

**Programme de recherche
INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS TERRITOIRES, PAYSAGES
ET ECOSYSTEMES
ITTECOP**

APR 2020

Rapport final d'activité
Volume 2 – Annexes

Date remise : 18/10/2024

TITRE DE LA RECHERCHE

Capacité des infrastructures de transport à répondre à la demande
en Services Écosystémiques du MiliEu URbain



Responsable(s) scientifique(s) :
Basak BAYRAMOGLU

INRAE, *basak.bayramoglu@inrae.fr*

Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE

ESPI Paris, ESPI2R, *c.cantuarias@groupe-espi.fr*

Date d'engagement de la convention : 05/10/2021

Montant du budget : 89 975,00 euros

Cofinancements obtenus : financement de 2 stages de M1 par l'ESPI2R.

Partenaires : INRAE, PSAE, ESPI, ESPI2R, AgroParisTech, Valorhiz, Grand Lyon.

Rédacteurs du rapport : Basak BAYRAMOGLU, Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE,
Soukaina ANOUGMAR, Jeffrey BLAIN, Hassan BOUKCIM, Inès CANDELA, Maia DAVID,
Jérôme NESPOULOUS, Laetitia TUFFERY.

Table des matières

Table des matières.....	2
ANNEXE 1. LISTE DE PARTICIPANTS A L'EQUIPE PROJET.....	5
ANNEXE 2 - VALORISATION DE LA RECHERCHE.....	7
ANNEXE 3. SCHEMA DE PLAN DE GESTION DE DONNEES	10
ANNEXE 4 : LISTE DES PROPRIETES DES SOLS RELIES AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES OU FONCTIONS DE SUPPORT ET DE REGULATION	11
ANNEXE 5 : LES ENTRETIENS DES GESTIONNAIRES D'ILTe ET ANALYSE SWOT.....	13
ANNEXE 6 : LISTE DES PROPRIETES DES SOLS RELIES AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES OU FONCTIONS DE SUPPORT ET DE REGULATION.....	17
RESULTATS DES ANALYSES EN LABORATOIRE SUR LES INDICATEURS DU SOL MESURES.	18
ANNEXE 7 : CARTOGRAPHIE DES TYPOLOGIES D'OCCUPATION DU SOL.....	25
ANNEXE 8. VIDEOS DE PRESENTATION DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS....	27
ANNEXE 9. LISTE DES ATTRIBUTS, DESCRIPTION ET NIVEAUX DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS.....	28
ANNEXE 10. EXEMPLE DE CARTE DE CHOIX DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS.....	29
ANNEXE 11 : CARTE DE LOCALISATION DES 7 COMMUNES D'ETUDES ET LEUR DIVISION EN 95 IRIS.....	30
ANNEXE 12. THEMATIQUES ET VARIABLES DE LA GRILLE D'OBSERVATION DU DIAGNOSTIC TERRITORIAL	31
ANNEXE 13. THEMATIQUES ANALYSEES DANS L'OUTIL <i>HEALTHY STREETS</i>	32
ANNEXE 14 : REVENU DISPONIBLE MOYEN EN EUROS PAR MENAGE A SAINT-FONS ET DANS LA METROPOLE DE LYON	33
ANNEXE 15 : LES CSP DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON	33
ANNEXE 16 : NIVEAU D'ETUDE DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON	34
ANNEXE 17 : STATUT DE RESIDENCE DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON	34
ANNEXE 18 : TAUX D'EVOLUTION DES PRIX DE L'IMMOBILIER (€/M ²) PAR COMMUNE POUR L'ENSEMBLE DE LA PERIODE 2014-2022	35
ANNEXE 19 : EVOLUTION DES PRIX DE L'IMMOBILIER (€/M ²) PAR COMMUNE ET PAR ANNEE DE 2014 A 2022	35
ANNEXE 20 : CARTE DES NOTES DES GRILLES D'OBSERVATION	36
ANNEXE 21 : LISTES DES 48 COMPOSANTES PRINCIPALES SELECTIONNEES A PARTIR DES RESULTATS DE L'ACP	37
ANNEXE 22 : GRAPHIQUES REPRESENTANT LES SCORES DE L'OUTIL HEALTHY STREETS POUR LES RUES MARCEL ETIENNE SEMBAT ET CARNOT A SAINT-FONS, ACTUELLEMENT ET APRES LA CONSTRUCTION DU T10.....	39

ANNEXE 23 : CARTE DU TAUX DE LA POPULATION EXPOSEE A AU MOINS UN POLLUANT AU-DESSUS DES SEUILS RECOMMANDES PAR L'OMS	39
ANNEXE 24 : CARTE DU TAUX DE LA POPULATION RESIDANT DANS UNE ZONE COUVERTE PAR UN PPRT	40
ANNEXE 25 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE FEYZIN.....	41
ANNEXE 26. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE FEYZIN.....	41
ANNEXE 27 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE D'IRIGNY	42
ANNEXE 28. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE IRIGNY	42
ANNEXE 29 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LYON 7ème.....	43
ANNEXE 30. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LYON 7ème	43
ANNEXE 31 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LYON 8ème.....	44
ANNEXE 32 : OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LYON 8ème	44
ANNEXE 33 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE PIERRE-BENITE	45
ANNEXE 34. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE PIERRE-BENITE.....	45
ANNEXE 35 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE VENISSIEUX	46
ANNEXE 36. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE VENISSIEUX	46
ANNEXE 37 : LA CAS DU T10 - EXTRAIT DU CAHIER DES AMENAGEMENTS DE L'AVANT-PROJET DU TRAM T10.....	47
ANNEXE 38 : BILAN DES INCIDENCES ET DES MESURES SUR LE MILIEU NATUREL DANS LE CADRE DU PROJET T10.....	47
ANNEXE 39 : CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS DUS AUX AMENAGEMENTS DU T10.....	48
ANNEXE 40 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – EROSION DU SOL	49
ANNEXE 41 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – REGULATION DU CLIMAT GLOBAL	50
ANNEXE 42 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – BIODIVERSITE.....	51
ANNEXE 43 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – REGULATION DE L'EAU PLUVIALE ET PREVENTION DES RISQUES D'INONDATION	52
ANNEXE 44 : EVALUATION DE LA CAPACITE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT A REpondre A LA DEMANDE EN SERVICES ECOSYSTEMIQUES DU MILIEU URBAIN	53

RAPPORT DE FIN D'ETUDE A L'ECOLE CENTRALE LYON DE CHLOE GIACINTI, SUIVI PAR VALORHIZ ET LE GRAND LYON.....	53
ANNEXE 45 : DOCUMENT DE TRAVAIL EN REVISION POUR LA REVUE <i>LAND ECONOMICS</i>	54
« THE URBAN GREEN SPACE DILEMMA : IMPROVED ECOSYSTEM SERVICES OR SMOOTH TRAFFIC ?”	54
TUFFERY, L., ANOUGMAR, S., BAYRAMOGLU, B., CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, C., DAVID, M.....	54

ANNEXE 1. LISTE DE PARTICIPANTS A L'EQUIPE PROJET

INRAE

Basak Bayramoglu, directrice de recherche à l'INRAE, économiste de l'environnement (UMR Paris-Saclay Applied Economics), HDR en sciences économiques, responsable scientifique du projet.

Soukaina Anougmar, post-doctorante en économie de l'environnement à l'INRAE, actuellement chercheuse à l'Université d'Anvers.

Laetitia Tuffery, post-doctorante en économie de l'environnement à l'INRAE, enseignante-chercheuse en économie à l'ESPI, actuellement maître de conférence à l'Université de Nîmes.

AgroParisTech

Maia David, Professeur HDR en sciences économiques, (UMR Paris-Saclay Applied Economics), responsable de tâche 2 du projet.

Groupe ESPI – laboratoire ESPI2R

Jeffrey Blain, enseignant-chercheur en géographie et aménagement du territoire, responsable de la tâche 3 du projet.

Carmen Cantuarias-Villessuzanne, enseignante-chercheuse en économie et responsable scientifique du projet.

Lolita Gillet, éditrice.

Anaïs Portela, stagiaire.

Myriam Zeller-Cohen, stagiaire.

Mairie de Saint-Fons

Nicolas Delporte, chef de projet agriculture urbaine et nature en ville, direction du développement urbain et des services techniques.

Lydie Gharib, chargée de mission Habitat – Mobilité – Développement durable, direction du développement urbain et des services techniques.

Grand Lyon

Anaïs Henry, technicienne études – chargée de l'accompagnement de la végétalisation de l'espace public.

Pascal Goubier, directeur du Patrimoine Végétal.

Hind Nait-Barka, paysagiste conceptrice DPLG, chargée d'études et aménagements.

Frédéric Segur, directeur Arbre, Ville et Paysage.

Valorhiz

Hassan Boukcim, CEO & président.

Inès Candela, géomaticienne.

Estelle Hedri, ingénieure Sol & environnement.

Jérôme Nespoulous, ingénieur, responsable de tâche 1 du projet.

Olivier Taugourdeau, ingénieur chercheur, responsable de tâche 1 du projet.

MEMBRE DU COMITE DU SUIVI

Marion Aubrat, Eiffage.

Yannick Autret, ITTECOP, MTE.

Laura Brown, ESPI Bordeaux.

Sophie Carre, PUCA, MTE.

Samuel Depraz, laboratoire ESPI2R, Groupe ESPI.

Celine Durand, ilex paysages.

Simon Laurent, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Sophie Legras, INRAE.
Edhem Muslic, Eiffage.
Diane Payrard, Eiffage.
Muriel Roche, SYTRAL Mobilités.
Yohan Sahraoui, Université de Franche-Comté.
Pierre Taillant, ADEME.
Léa Tardieu, INRAE.
Emmanuelle Virey, UrbaLyon.

ANNEXE 2 - VALORISATION DE LA RECHERCHE

TACHE 1 (Valorhiz)

- Présentations de premiers résultats (typologies de sols et mode de gestion de ILTe) aux acteurs concernés (Grand Lyon, service Patrimoine végétal).
- Rapport de stage de Chloé GIACINTI. 2022. « Evaluation de la capacité des infrastructures de transport à répondre à la demande en Services Ecosystémiques du milieu urbain. » Ecole Centrale de Lyon, Valorhiz, voir annexe 44.

TACHE 2 (INRAE, AgroParisTech, ESPI)

Présentations en séminaires et conférences nationaux et internationaux en économie de l'environnement

- Les 13èmes Journées thématiques FAERE, l'Université Gustave Eiffel (Champs-sur-Marne), 1-2 juin 2023, sur le thème « Villes et Environnement » – Carmen Cantuarias-Villessuzanne (présentatrice).
- 71^{ème} Congrès de l'AFSE (Paris), 14-16 juin 2023 – Laetitia Tuffery (présentatrice).
- 28^{ème} Conférence Européenne de l'EAERE (Chypre), 27-30 juin 2023 – Soukaina Anoumar (présentatrice).
- 29^{ème} Conférence Européenne de l'ERES (Londres), 12-15 juillet 2023 – Laetitia Tuffery (présentatrice).
- Séminaire interne de l'unité CEE-M (Montpellier), 23 juin 2023– Laetitia Tuffery (présentatrice).
- 17^{ème} Congrès Européen de l'EAAE (Rennes), 29 août – 1 septembre 2023 – Soukaina Anoumar (présentatrice).
- 10^{ème} Conférence de la FAERE (Montpellier), 7 et 8 septembre – Laetitia Tuffery (présentatrice).
- Séminaire de recherche CIRED (Nogent-sur-Marne), 25 juin 2024 – Maia David (présentatrice).

Publications écrites

- Tuffery, L., Anoumar, S., Bayramoglu, B., Cantuarias-Villessuzanne, C., David, M. (2024) *The Urban Green Space Dilemma: Improved ecosystem services or smooth traffic? Working paper*, en révision pour la revue *Land Economics*, voir annexe 45.
- Vaissière, A-Ch., Calvet, C., Anoumar, S., Bayramoglu, B., Cantuarias-Villessuzanne, C., David, M., Tardieu, L., Tuffery, L., Roussel, S. (2023). Caractériser la demande sociale pour la biodiversité et les services écosystémiques à l'aide des sciences économiques : le cas du tramway. Dans : Bonin, S. Infrastructures créatives : alternatives, connectivités, impacts, opportunités, gouvernance. Ed. Quae.

TACHE 3 (ESPI Lyon, Grand Lyon)

Présentations en séminaires et conférences nationaux et internationaux

- Blain J, Cantuarias-Villessuzanne C, Barois B, Zeller-Cohen M. *How to characterize a 15-minute city? A study case of Saint-Fons, Lyon, France*. 28th European Real Estate Society Annual Conference. Milan 22-25, juin 2022.
- Blain J, Cantuarias-Villessuzanne C, Barois B, Zeller-Cohen M. *Network assessment of a territory: real estate market, territorial diagnosis, and analysis of the productive city of a ¼ hour*. Colloque international du groupe ESPI – Immobilier durable, quelle soutenabilité, quelles perspectives ? Octobre 2022, Paris, France.
- Blain J, Cantuarias-Villessuzanne C, Barois B, Zeller-Cohen M. *How to characterize a 15-minute city? A study case of Saint-Fons, Lyon, France*. Urban Transitions - Integrating urban and transport planning, environment and health for healthier urban living. Sitges, Barcelone, 8-10 novembre 2022.

Publications écrites

- Bouhaddou, M-K., Tuffery, L., Cantuarias-Villessuzanne, C. Nature en ville. in Blain, J., Brown, L. Les grandes notions de l'urbanisme pour les métiers de l'immobilier, Dunod, 2024, 978-2-10-086199-6.
- Blain, J., Cantuarias-Villessuzanne, C., Barois, B., Zeller-Cohen, M., 2023. How can infrastructure enable 15-minute cities? *Construction journal*. [How can infrastructure enable 15-minute cities? | Journals | RICS](#)
- Document de travail : The productive fifteen-minute city concept as a framework for territorial diagnosis and a tool for decision makers: an application in Saint-Fons, Lyon, France. Revue visée : CITIES, Elsevier.
- Document de travail « Zoom Recherche », Cahiers ESPI2R, Zeller-Cohen, M., Blain, J., Cantuarias-Villessuzanne C, Barois B. Comment caractériser la ville du quart d'heure ? L'étude de cas de Saint-Fons.

ACTIVITES DE VALORISATION DU PROJET

- Colloque The Nature of Cities Festival (TNOC), 30 mars 2022. Session “Assessing the capacity of transport infrastructure to meet the demand of urban ecosystem services”. <https://www.tnoc-summit.org/>
- Session spéciale SEMEUR « *City renaturation: rethinking infrastructures and real estate* » au colloque international ESPI2R, 19-21 octobre, 2022. <https://www.colloque-international-groupe-espi.com/programme-jeudi-20-octobre-2022>
- Présentation du cadre conceptuel du projet SEMEUR, intitulée « *Providing visibility to the urban ecosystem services of a territory: economic analysis of urban forests and green spaces - Framework of the research project SEMEUR* », au colloque : *International Conference on Environmental Sustainability and Resource Security*, IC-ENSURES 2022, 8-9 mars 2022 à Johor Bahru, Malaisie (participation à distance).
- Participation au programme de Nations Unies sur les partenariats public-privé et les infrastructures, UNECE 2023, du 3-5 mai à Athènes. Soumission de l'étude de cas avec le soutien de l'opérateur et constructeur du T10 à Saint-Fons, SYTRAL Mobilités. https://unece.org/sites/default/files/2023-04/Case_Study_Database_PPP_Forum_2023.pdf (pages 105-110).
- Participation aux activités ITTECOP : Journée 2022 (présentation d'un poster), Journée 2024 (présentation orale et poster).
- Carnet de recherche du projet : <https://semeur.hypotheses.org/>

SEMINAIRES SCIENTIFIQUES INTERNES AU PROJET SEMEUR

22/10/2021 : Séminaire de lancement du projet à Lyon, le 22 octobre 2021 (format hybride).

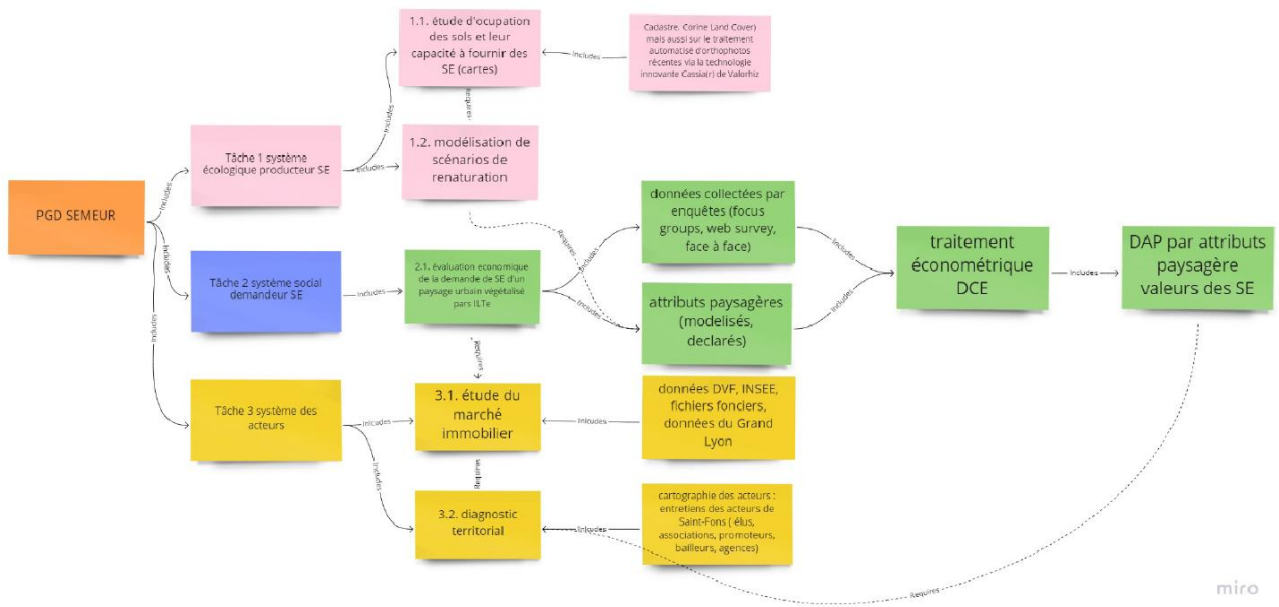
02/06/2022 : 1^{er} Séminaire inter-tâches (à distance).

14/06/2022 : 1^{ère} Réunion du comité de suivi (à distance).

12/06/2023 : 2^e Réunion du comité de suivi et 2^e Séminaire inter-tâches (à distance).

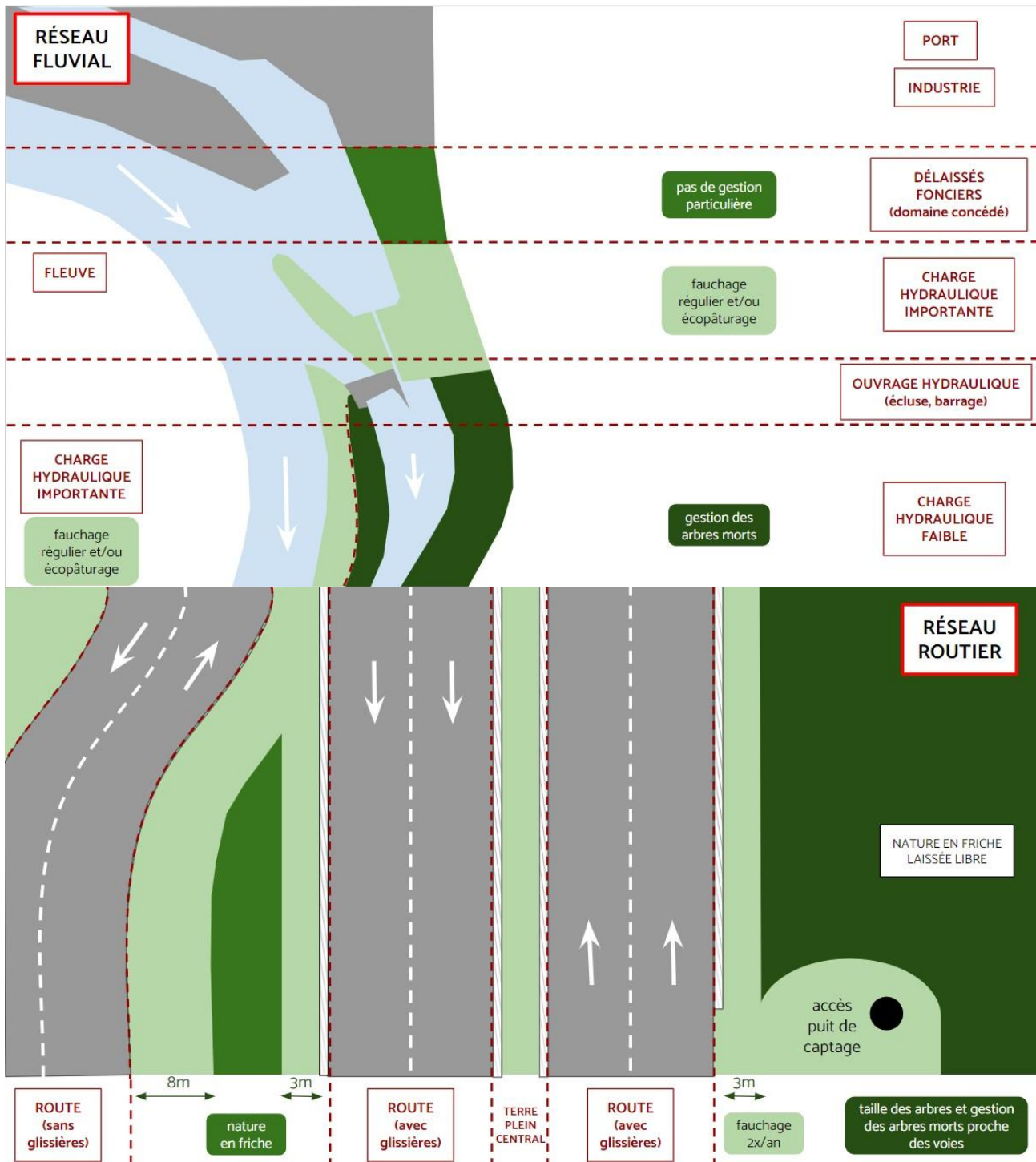
04/10/2024 : Séminaire de fin du projet à Saint-Fons (format hybride).

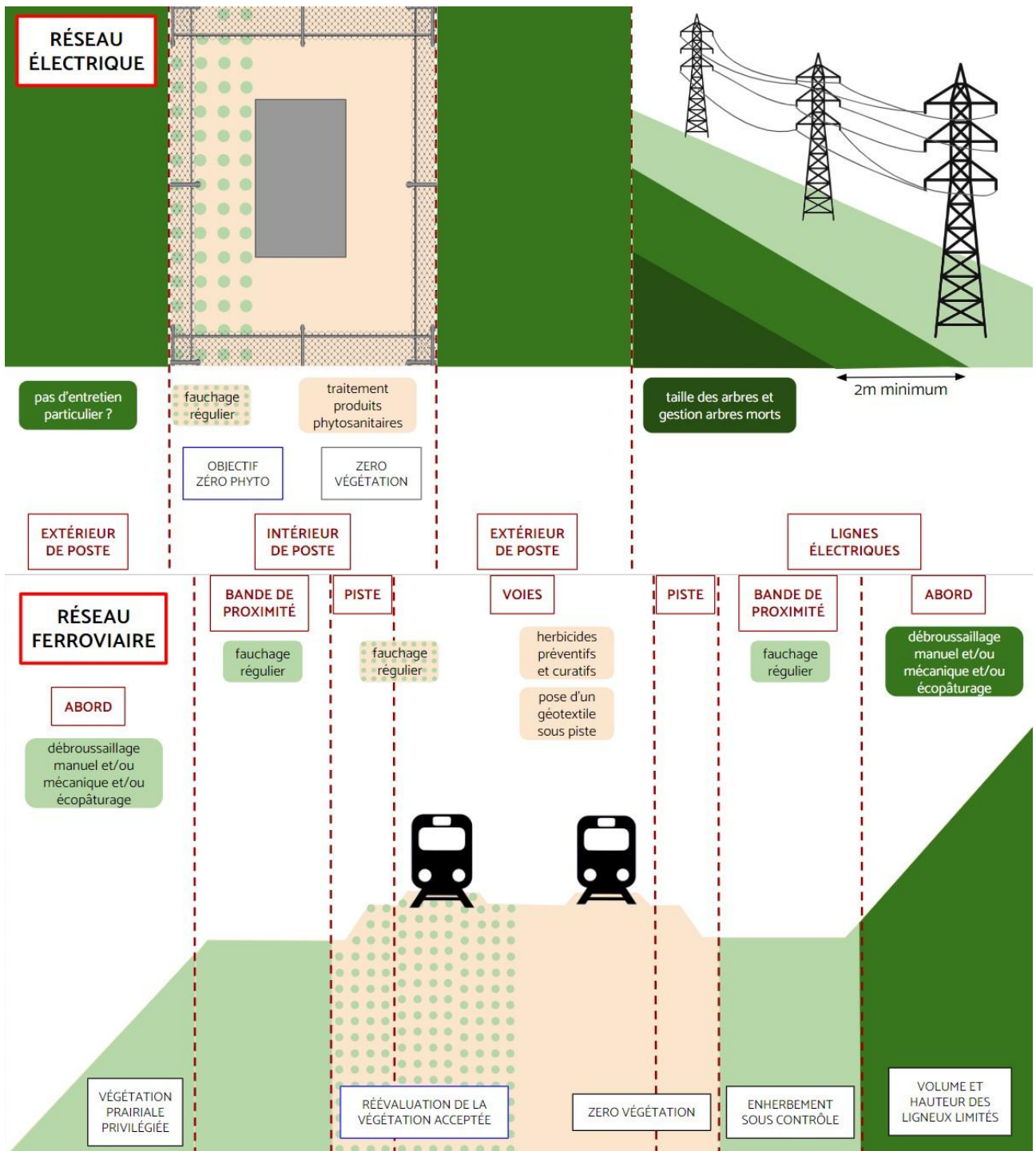
ANNEXE 3. SCHEMA DE PLAN DE GESTION DE DONNEES



Source : SEMEUR, 2022. Plan de gestion des données du projet de recherche SEMEUR

ANNEXE 4 : LISTE DES PROPRIETES DES SOLS RELIES AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES OU FONCTIONS DE SUPPORT ET DE REGULATION





Source : ADHIKARI ET AL., 2015, EXTRAIT DE BAPTIST ET AL., 2018.

ANNEXE 5 : LES ENTRETIENS DES GESTIONNAIRES D'ILTe ET ANALYSE SWOT

RESEAU ELECTRIQUE

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité (végétale et animale) : milieu urbains et péri-urbains pauvres en biodiversité. On ne parle pas du même type de biodiversité selon si l'on est dans le cas de parcelles closes (intérieur de postes RTE) ou ouvertes (espaces « délaissés » à l'extérieur des postes RTE, sous les lignes électriques). Côté végétal : gestion différenciée liée à l'usage. Côté animal : espaces clos ne seront accessibles qu'aux insectes et oiseaux. Le sujet de la déminéralisation commence à apparaître.</p> <p>Pas de prise en compte du sol dans l'approche ZAN de RTE, mis à part dans le cas de lignes souterraines où l'on considère que le sol a été artificialisé à partir du moment où il a été retourné pour les travaux.</p> <p>Pas abordés : érosion des sols, infiltration eau de pluie, régulation climat global et local.</p>	<p>Sécurité électrique (la maintenance nécessite d'être formé).</p> <p>Intérieur des postes dont le sol est intégralement recouvert de cailloux et dont l'état est maintenu par utilisation d'herbicides (glyphosate). Possibilité de strates herbacées dans les postes sur laquelle on peut marcher et rouler.</p> <p>Problème sous les jeux de barres où la végétation ne peut pas dépasser mètre de hauteur car cela poserait des soucis au niveau de la maintenance, notamment quand l'herbe est mouillée (conducteur). Si on reste autour d'une herbe qui fait 5-10 cm de hauteur ça va très bien (projet ZéroPhyto). On veut éviter les ligneux : il faudra donc faucher 1 fois par an mais on peut se contenter d'une fauche tardive faite au mois d'aout. Il y a donc 2 types d'espaces intéressants et le plus intéressant des deux c'est celui qu'on fauche une fois par an car cela laisse plus de temps et de place à la biodiversité.</p>
Origine externe (environnement)	<p>3 types de zones intéressantes :</p> <p>Sous les lignes électriques et entre les pylonnes : corridors de biodiversité, trames vertes (végétation sous les lignes, abris sous les pylonnes pour déplacement des animaux).</p> <p>Espaces « délaissés » à l'extérieur à proximité des postes RTE : projets de jardins ouvriers/familiaux. Projet Foncier Futé chargé de recenser ces espaces et leur potentiel.</p> <p>Sols à l'intérieur des postes RTE : projets de végétalisation de ces sols originellement recouverts de cailloux et de produits phyto pour désherber (projet ZéroPhyto).</p>	<p>Pas de foncier RTE sur la commune de Saint-Fons donc pas de possibilités au niveau des délaissés de postes.</p> <p>La gestion des lignes électriques est laissée à Enedis. Cependant les terres sur lesquelles passent les lignes n'appartiennent pas à Enedis ni RTE.</p>

RESEAU ROUTIER

	Positif	Négatif
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité végétale : Il y a 20 ans utilisation de produits chimiques pour désherber les abords de voiries. Aujourd'hui abandon de ce mode de gestion : réflexion menée depuis 10 ans sur la végétation en abords de routes. La priorité reste la sécurité des usagers et du personnel d'entretien mais si la végétation ne gêne pas, ils essaient au maximum de la laisser s'installer sans la contraindre (friches, arbres).</p> <p>Régulation des ilots de chaleur : prise en compte à travers la volonté de conserver les arbres qui ne gênent pas en abord de voirie.</p> <p>Régulation du climat global pas mentionnée mais un enjeu important (émission de CO2 par les voitures).</p> <p>Biodiversité animale : réflexion menée autour de la protection des pollinisateurs aux abords des routes.</p> <p>Pas de prise en compte particulière de l'érosion des sols.</p> <p>Infiltration de l'eau de pluie : abordée uniquement sous le prisme des réseaux d'assainissement là pour évacuer les eaux de pluies pour éviter les accidents.</p>	<p><u>De nombreuses contraintes :</u></p> <p>Sécurité des usagers (visibilité de la signalétique routière, arbres qui tombent sur la voie, etc.)</p> <p>Sécurité des travailleurs lors de la maintenance + gestion du trafic routier (implique des fermetures de voies coordonnées avec les autres réseaux). Visibilité des caméras de surveillance.</p> <p>Calendrier de maintenance serré : fixé un semestre à l'avance. 12 semaines par semestre pour réaliser la maintenance sur toutes les infrastructures gérées par la Métropole. Pas possible de faire plus en termes de fréquence de maintenance.</p> <p>Protection des services d'assainissement (fosse béton) qui sont là pour évacuer les eaux et éviter les accidents. Présence d'un réseau d'éclairage public, d'un réseau d'assainissement très profond et d'un réseau de gaz très bien identifié (balises jaunes).</p> <p><u>Du fait de ces contraintes, gestion imposée :</u></p> <p>Taille des arbres en hauteur et de la végétation qui dépasse vers la route.</p> <p>Fauche de la végétation des terre-plein centraux et des bords extérieurs des routes au minimum sur une distance de 3m pour permettre aux usagers de se mettre à l'abri derrière les barrières en cas d'accident. Si clôture proche de la limite de fauchage on fauche tout, sinon on laisse la friche ou la forêt telle quelle en veillant à prévenir les risques de chute d'arbres (repérage des arbres morts, abattage et les laisser en place). Si pas de présence de glissière, on fauche les 8 premiers mètres.</p> <p>Nettoyage des feuilles aux abords pour éviter de boucher les réseaux d'assainissement.</p> <p>Fauchage pour maintenir l'accessibilité à certaines infrastructures (ex : puits de captage)</p>
Origine externe (environnement)	<p>Actuellement on trouve aux abords des routes des bois, des prairies, des friches, mais aussi des espaces délaissés. Faibles contraintes au-delà de 3 mètres derrière la glissière.</p> <p>Arbres sur les talus : ok pour planter des arbres de façon stable. Problématique quand il s'agit d'une implantation spontanée (arbres mal fixés qui finissent par tomber).</p>	<p>Problématiques nouvelles liées aux aménagements : prolifération de sangliers dans la région car ils ont des endroits végétalisés sous lesquels s'abriter. Il ne faudrait donc pas les laisser s'installer et cela a des conséquences en termes de végétation permise.</p> <p>Contraintes imposées par les pouvoirs publics : l'arrivée par la route dans la ville doit être super « propre » donc fauchage très court, il ne faut pas laisser de friches ça ne fait pas propre. Nécessité de faire évoluer les mentalités sur ce qui est « propre » ou ne l'est pas.</p>

RESEAU FLUVIAL

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité végétale en partie prise en main : lorsque cela est possible les abords de fleuve sont laissés en friche ou autonomes (arbres). Il semble même que sur Saint-Fons les abords du Rhône sont les zones les plus végétalisées de la commune.</p> <p>Pas abordé : biodiversité animale, régulation du climat local et global.</p> <p>Erosion du sol : prise en compte à travers la surveillance des effets produits par les infrastructures hydro-électriques : contrôler la présence de tassements de terrain, donner des indications sur les désordres hydrauliques qui affaibliraient la structure : végétation herbacée rase.</p> <p>Inondations : amorties par les infrastructures hydrauliques.</p>	<p>La charge hydraulique avant l'usine hydroélectrique est très importante donc on a une gestion plus stricte, un entretien plus ras de la végétation pour surveiller le bon fonctionnement de la digue. Alors que dans le canal de l'écluse après l'usine hydroélectrique (côté Saint Fons) pas de charge hydraulique donc on peut laisser pousser librement la végétation sans entretien.</p> <p>Lorsqu'il y a des arbres trop grands qui menacent la sécurité des usagers on fait un abattage au cas par cas.</p> <p>Gestion des ouvrages extérieurs (drains, etc.)</p>
Origine externe (environnement)	<p>Sur Saint-Fons on retrouve plusieurs zones, certaines sur lesquelles il serait possible d'aménager :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des délaissés fonciers autour des emprises du port de Lyon qui appartiennent au domaine concédé - un parcellaire morcelé à proximité d'infrastructures routières sur lequel rien n'est fait actuellement. <p>D'autres sur lesquelles l'aménagement ne peut être amélioré :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des zones aménagées aux abords des infrastructures électriques de Pierre-Bénite sur lesquels un entretien est fait par pastoralisme, - Des berges peu entretenues : broussailles, grands arbres, végétation variée. 	<p>Pente : Sur les berges, terrain qui plonge (pente de 7-8 mètres d'écart). Question de la présence spontanée d'arbres qui demande un certain entretien pour la sécurité des usagers.</p> <p>Gestion des zones à proximité des voiries : quel besoin d'entretien si elles restent sous gestion CNR et pas Métropole de Lyon ?</p>

RESEAU FERROVIAIRE

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité animale : quelques compensations aux abattages (réensemencement des talus sous forme de prairies fleuries) ont pu ramener des papillons et des oiseaux (association Lyon « Espèces par millions »).</p> <p>Biodiversité végétale : Au Nord de Lyon, pratiques de fauches tardives) mais au Sud (notamment Saint Fons), les gens sont peu sensibilisés. Quelques tentatives de projets d'aménagement (haies). Mais problématiques d'entretien et de proximité avec les riverains.</p> <p>Erosion des sols et ruissellement des eaux de pluie : plusieurs visions coexistent au sein de l'entreprise. Nécessité d'avoir des arbres (apport du système racinaire) vs les arbres ne seraient pas la solution, il faudrait privilégier les strates herbacées. Manque d'évaluations solides pour justifier telle ou telle politique.</p> <p>Réduction du climat local et global : aucune réflexion sur les ilots de chaleur ou sur la séquestration carbone.</p>	<p>Contraintes de production très importantes. Proximité avec les riverains (actions judiciaires) renforce les politiques « zéro risque ».</p> <p>Gestion des irrégularités et prévention des risques (chute d'arbres) : opérations de remise à niveau trop exigeantes (abattage d'un grand nombre d'arbres et débroussaillages) sans arbitrage précis (très peu d'évaluations réalisées). Gestion des risques ne s'appuie que sur les questions de hauteur et distance par rapport aux voies. Il faut mettre en place une vraie stratégie. L'objectif étant de préciser les cas de réels risques et les cas dans lesquels on pourrait éviter de supprimer de la biodiversité gratuitement.</p> <p>Sous-dimensionnement des équipes de maintenance : pas capables d'avoir une gestion spécialisée dans la biodiversité végétale. Manque de formation des employés de la maintenance sur les sujets de la biodiversité notamment.</p>
Origine externe (environnement)	<p>Biodiversité animale : Lorsque l'on réalise des aménagements on peut vite à nouveau accueillir de la biodiversité.</p> <p>Gestion de l'érosion des sols au niveau des talus : nécessité qu'il y ait au moins une strate herbacée pour maintenir les talus. Strate arbustive envisageable.</p>	<p>Gestion des plantes invasives (EEE) notamment ailante, robinier, ambrosie.</p> <p>Végétation limite le bon drainage de la plateforme voie. Feuilles mortes favorisent l'enrayage ou le patinage des trains. Chutes d'arbres et de branches peuvent occasionner l'arrêt des circulations. Végétation gêne la surveillance des équipements de la voie et peut cacher les installations de signalisation. Un embroussaillage excessif constitue un refuge pour le grand gibier (risque accru de collisions).</p>

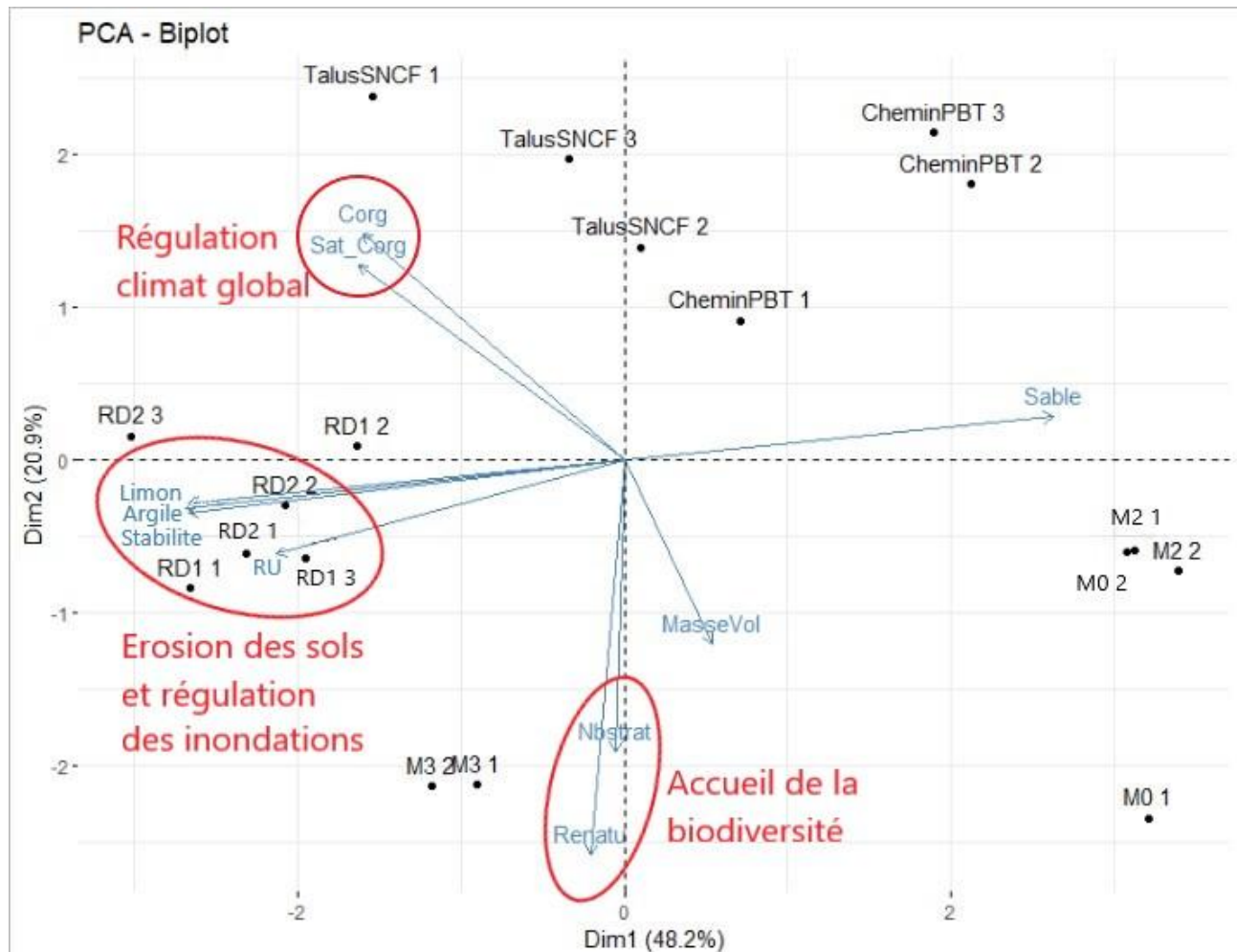
ANNEXE 6 : LISTE DES PROPRIETES DES SOLS RELIES AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES OU FONCTIONS DE SUPPORT ET DE REGULATION

SAINT FONS	Id classe	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Type de couverture du sol	Sol scellé	Sol semi-scellé			Sol non scellé				
		imperméabilisé > 90%	imperméabilisé entre 50% et 90%			imperméabilisé < 50%				
		Voie de circulation lisse (béton, goudron,...etc)	Voie de circulation non lisse (pavés, graviers,...etc)	Voie de circulation non lisse (pavés, graviers,...etc)		Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti
		Sans végétation	Sans végétation	Strate herbacée partielle		Sans végétation (sol nu : terre)	Strate herbacée uniforme	Strate arbustive (+haies)	Strate arborée	Eau
Type d'ILTe	Usages									
Réseau ferroviaire	Gare SNCF									
	Voies ferrées									
	Piste									
	Bande de proximité									
	Abords de voies (talus)									
Réseau électrique	Intérieur poste RTE									
	Abords extérieur poste RTE									
	Abords ligne basse tension									
	Abords ligne haute tension									
	Sous jeux de barres									
Réseau routier/ autoroutier	Routes départementales/nationales/autoroutes									
	Entre voie d'accès et installation (ex : puits de captage)									
	Talus									
	Abords de proximité (3m après la glissière)									
	Abords lointains (au-delà de 3m après la glissière)									
	Abords de proximité (8m de la route si pas de glissière)									
Abords lointains (au-delà des 8m de distance de la route)										
Réseau fluvial	Bâti (port)									
	Fleuve									
	Abords en amont de l'installation hydroélectrique									
	Abords en aval de l'installation hydroélectrique									

Source : Adhikari et al., 2015. Extrait de Baptist et al., 2018.

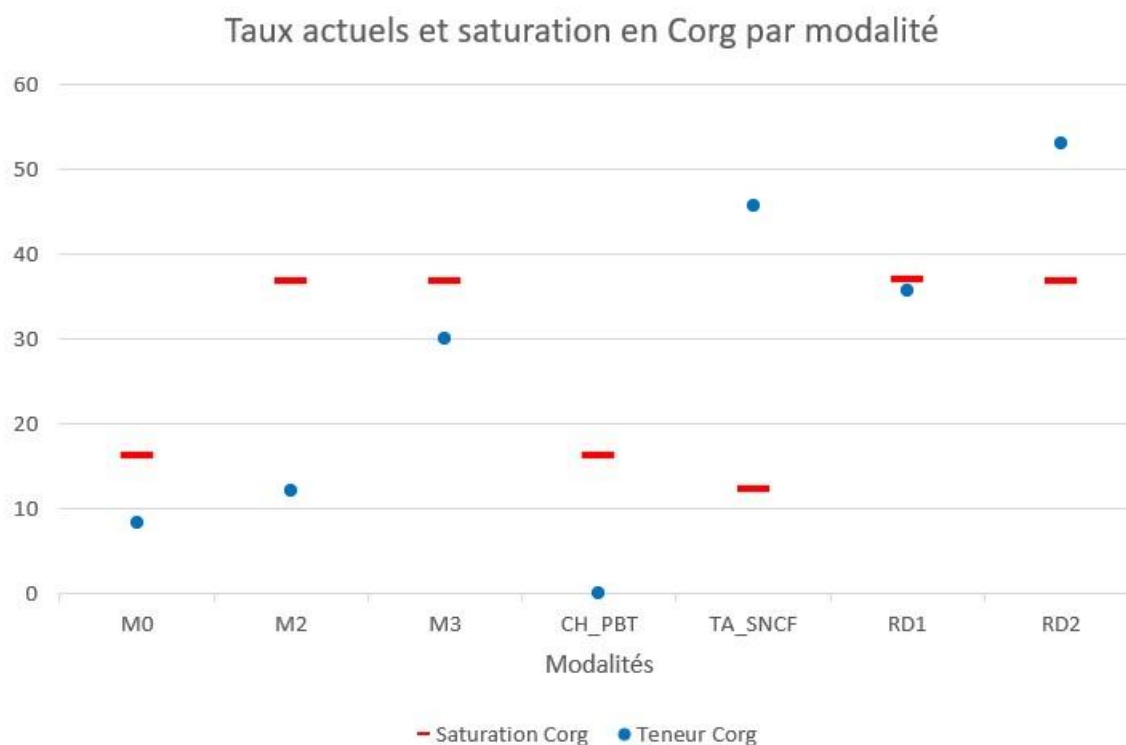
RESULTATS DES ANALYSES EN LABORATOIRE SUR LES INDICATEURS DU SOL MESURES.

Annexe 6.1. Analyse en composantes principales (ACP) des résultats physico-chimiques (en bleu) et mise en avant de leurs relations avec les SE associés (en rouge). Projection des modalités en individus (en noir).



Source : SEMEUR, Valorhiz.

Annexe 6.2. Teneur et saturation en cos des sites étudiés en fonction des modalités et répétitions



Source : SEMEUR, Valorhiz

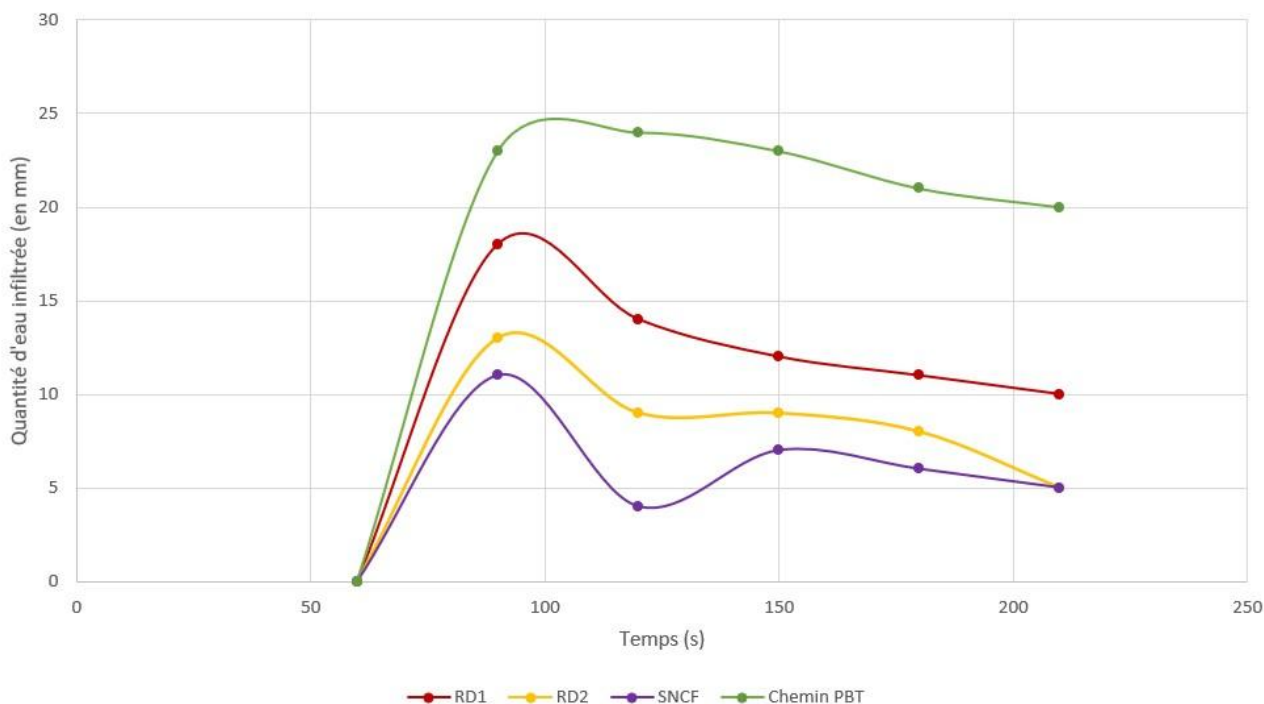
Annexe 6.3. Analyse des résultats de stabilité structurale

Code terrain	Commentaire	MWD	Interprétation stabilité selon mesures CG.	Résultats triangle des textures : Stabilité structurale
M0_PBT_R1	EG > 60%	0	Très instable	
M0_PBT_R3	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R1	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R3	EG > 60%	0	Très instable	
M3_PBT_R1		2,999	Très stable	
M3_PBT_R3		2,627	Très stable	
CH_PBT_R1	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R2	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R3	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
PR_RD1_R1		2,859	Très stable	Instable
PR_RD1_R2		2,994	Très stable	Instable
PR_RD1_R3		3,121	Très stable	Instable
ARB_RD2_R1		2,945	Très stable	Très instable
ARB_RD2_R2		2,903	Très stable	Instable
ARB_RD2_R3		2,771	Très stable	Très instable
TA_SNCF_R1		2,642	Très stable	Instable
TA_SNCF_R2		2,381	Très stable	Moyen
TA_SNCF_R3		1,619	Stable	Instable

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.4. Graphique des moyennes d'infiltration non cumulée au cours du temps selon les modalités

Moyennes de l'infiltration non cumulée au cours du temps par modalité



Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.5. Résultats de texture et pH

Code terrain	Argile	Limons Fins	Limons Grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Refus à 2 mm	Texture	pH Eau	pH analyse	Réaction du sol
	< 0,002	[0.002 à 0.02 mm]	[0.02 à 0.05 mm]	[0.05 à 0.2 mm]	[0.2 à 2 mm]	>2mm				
M0_PBT_R1	3,80%	7,90%	9,40%	10,90%	68%		Légère sableuse - S	8,4	Très élevé	Sol très alcalin
M0_PBT_R3	5,10%	8,30%	8,30%	12,70%	65,60%		Légère sableuse - S	8,5	Très élevé	Sol très alcalin
M2_PBT_R1	4,70%	8%	8,20%	12,70%	66,40%		Légère sableuse - S	8,2	Très élevé	Sol très alcalin
M2_PBT_R3	3,50%	6,20%	8,80%	14,30%	67,20%		Légère sableuse - S	7,9	Très élevé	Sol très alcalin
M3_PBT_R1	14,30%	14,20%	16,30%	18,50%	36,70%		Sable limoneux - SL	7,3	Elevé	Sol alcalin
M3_PBT_R3	15%	14,60%	19,70%	16,90%	33,80%		Sable limoneux - SL	7,2	Elevé	Sol alcalin
CH_PBT_R1	7,9%	11,1%	23,0%	22,8%	35,2%	2,00%	Sable limoneux - SL	7,5	Elevé	Sol alcalin
CH_PBT_R2	7,2%	8,8%	14,6%	26,3%	43,1%	2,00%	Légère sableuse - S	7,8	Très élevé	Sol très alcalin
CH_PBT_R3	7,9%	9,0%	15,9%	25,7%	41,5%	2,00%	Légère sableuse - S	7,7	Elevé	Sol alcalin
TA_SNCF_R1	11,1%	13,2%	12,6%	19,9%	43,2%	1,00%	Sable argileux - Sa	8,3	Très élevé	Sol très alcalin
TA_SNCF_R2	8,6%	11,3%	12,2%	15,0%	52,9%	5,00%	Légère sableuse - S	7,7	Elevé	Sol alcalin
TA_SNCF_R3	11,0%	17,4%	6,4%	14,3%	50,9%	7,00%	Sable argileux - Sa	8,2	Très élevé	Sol très alcalin
PR_RD1_R1	14,4%	12,5%	25,5%	24,0%	23,6%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,6	Elevé	Sol alcalin
PR_RD1_R2	14,7%	12,5%	24,2%	26,0%	22,6%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,6	Elevé	Sol alcalin
PR_RD1R3	14,2%	12,6%	25,1%	26,9%	21,2%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,4	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R1	14,6%	14,4%	29,8%	15,9%	25,3%	1,00%	Limon sablo-argileux - Lsa	7,5	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R2	16,1%	15,5%	20,3%	18,3%	29,8%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,7	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R3	17,0%	13,6%	31,1%	19,9%	18,4%	3,00%	Limon sablo-argileux - Lsa	7,7	Elevé	Sol alcalin

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.6. Résultats de stabilité structurale

Code terrain	Masse totale échantillon	Masse initiale	Masse EG>2mm	Masse éléments >2mm	Masse éléments]2-1mm]	Masse éléments]1-0,5mm]	Masse éléments]0,5-0,21mm]	Masse éléments]0,2-0,1mm]	Masse éléments]0,1-0,05mm]	Masse <0,05mm	Commentaire	MWD	Interprétation stabilité selon mesures CG.	Résultats triangle des textures : Stabilité structurale
M0_PBT_R1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M0_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M3_PBT_R1	206,0	9,516	0,928	6,923	0,472	0,617	0,957	0,205	0,139	0,047		2,999	Très stable	
M3_PBT_R3	291,0	9,409	1,404	5,313	0,758	0,949	1,559	0,321	0,248	0,065		2,627	Très stable	
CH_PBT_R1	896,2	9,907	9,430	0,145	0,053	0,050	0,095	0,046	0,045	0,003	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
PR_RD1_R1	261,7	9,767	0,693	6,983	0,635	0,382	0,601	0,255	0,198	0,042		2,859	Très stable	Instable
PR_RD1_R2	291,4	9,949	1,262	7,132	0,451	0,233	0,434	0,206	0,185	0,051		2,994	Très stable	Instable
PR_RD1_R3	260,5	10,001	0,178	8,536	0,316	0,176	0,382	0,210	0,170	0,038		3,121	Très stable	Instable
ARB_RD2_R1	228,1	9,812	1,105	6,968	0,487	0,412	0,521	0,141	0,130	0,033		2,945	Très stable	Très instable
ARB_RD2_R2	171,8	9,881	0,865	7,068	0,567	0,450	0,606	0,154	0,115	0,029		2,903	Très stable	Instable
ARB_RD2_R3	195,8	9,788	0,326	7,018	0,632	0,549	0,688	0,231	0,241	0,051		2,771	Très stable	Très instable
TA_SNCF_R1	238,6	5,853	0,624	0,521	1,036	0,224	0,141	0,007		0,007		2,642	Très stable	Instable
TA_SNCF_R2	227,3	2,179	0,268	0,268	0,418	0,230	0,153	0,015	EG>60%	0,015		2,381	Très stable	Moyen
TA_SNCF_R3	372,9	1,706	0,603	0,520	1,033	0,502	0,322	0,052	EG>90%	0,052		1,619	Stable	Instable

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.7. Résultats de densité pour la fraction prélevée (toutes fractions confondues)

Modalités	Saturation Corg						
	Sat Corg g/kg	da (<2mm) kg/m^3	profondeur m	Sat Corg kg/kg	Sat Corg kg/m2	Sat Corg kg/ha	Sat Corg t/ha
M0	7,2228	1500	0,15	0,0072228	1,62513	16251,3	16,2513
M2	16,39304	1500	0,15	0,01639304	3,688434	36884,34	36,88434
M3	16,35292	1500	0,15	0,01635292	3,679407	36794,07	36,79407
CH_PBT	7,25026667	1500	0,15	0,00725027	1,63131	16313,1	16,3131
TA_SNCF	16,44072	1500	0,05	0,01644072	1,233054	12330,54	12,33054
RD1	16,49608	1500	0,15	0,01649608	3,711618	37116,18	37,11618
RD2	16,37792	1500	0,15	0,01637792	3,685032	36850,32	36,85032

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.8. Résultats de densité pour la fraction fine (inférieure à 2mm de diamètre)

Code terrain	Stratification	Richesse spécifique des ligneux	Nombre d'arbres porteurs de microhabitats	Fréquence de fauchage	Nombre de formes de fleurs	Nombre de formes de feuilles	Nombre de couleur de fleurs	Présence d'espèces exotiques envahissantes	Type de clôture, murs et haies	Taux de couverture végétation	Proximité du site par rapport à un site labellisé (géoportail)	Score total RENATU
M0_PBT	4	1	5	5	5	5	1	5	0	5	5	41
	2	0	0	5	5	5	1	5	0	5	5	33
M2_PBT	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
M3_PBT	4	5	5	5	5	3	3	-1	0	5	5	39
	4	5	5	5	5	1	1	5	0	5	5	41
CH_PBT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
PR_RD1	1	0	0	5	5	5	3	-1	0	5	4	27
	1	0	0	5	5	5	3	-4	0	5	4	24
	1	0	0	5	3	5	2	0	0	5	4	25
ARB_RD2	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
TA_SNCF	2	1	0	2	0	5	0	-4	0	5	3	14
	2	1	0	2	1	5	0	-1	0	5	3	18
	2	3	0	2	1	5	1	-4	0	5	3	18

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.9. Résultats de densité pour la fraction fine (inférieure à 2mm de diamètre)

Code terrain	volume prélevé (cm3)	Poids humide prélevé (g)	Poids humide fraction >2mm (g)	Poids humide fraction <2mm (g)	Poids sec fraction >2mm (g)	Poids sec fraction <2mm (g)	Densité apparente <2mm : Da (g/cm3)	Teneur en eau massique
M0_PBT_R1	100	169,4	81,4	87,6	79,7	82,4	0,824	6,31%
M0_PBT_R3	100	133,5	69,3	63,8	67,1	60,0	0,6	6,33%
M2_PBT_R1	100	134,4	53,6	80,0	52,5	76,3	0,763	4,85%
M2_PBT_R3	100	169,9	83,3	86,0	82,6	83,7	0,837	2,75%
M3_PBT_R1	100	130,5	55,7	74,0	53,6	70,9	0,709	4,37%
M3_PBT_R3	100	110,9	52,2	58,5	49,2	54,5	0,545	7,34%
CH_PBT_R1	100	169,9	94,8	74,9	94,3	74,4	0,744	0,67%
CH_PBT_R2	100	162,8	106,2	55,9	104,2	55,0	0,55	1,64%
CH_PBT_R3	100	123,1	71,1	51,6	70,2	51,0	0,51	1,18%
PR_RD1_R1	100	121,1	22,7	98,5	21,9	96,3	0,963	2,28%
PR_RD1_R2	100	101,2	33,5	67,4	32,8	65,8	0,658	2,43%
PR_RD1_R3	100	123,0	38,9	83,5	39,3	81,5	0,815	2,45%
ARB_RD2_R1	100	106,4	40,7	65,0	39,0	62,5	0,625	4,00%
ARB_RD2_R2	100	100,8	46,1	54,4	44,3	52,6	0,526	3,42%
ARB_RD2_R3	100	102,8	45,5	56,8	55,0	43,9	0,439	29,38%
TA_SNCF_R1	100	81,7	21,9	58,8	18,3	51,2	0,512	14,84%
TA_SNCF_R2	100	98,0	29,4	68,2	27,4	62,5	0,625	9,12%
TA_SNCF_R3	100	97,3	21,9	74,4	20,8	67,9	0,679	9,57%

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.10. Résultats de l'indicateur RENATU de biodiversité)

Code terrain	Stratification	Richesse spécifique des ligneux	Nombre d'arbres porteurs de microhabitats	Fréquence de fauchage	Nombre de formes de fleurs	Nombre de formes de feuilles	Nombre de couleur de fleurs	Présence d'espèces envahissantes	Type de clôture, murs et haies	Taux de couverture végétation	Proximité du site par rapport à un site labellisé (géoportail)	Score total RENATU
M0_PBT	4	1	5	5	5	5	1	5	0	5	5	41
	2	0	0	5	5	5	1	5	0	5	5	33
M2_PBT	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
M3_PBT	4	5	5	5	5	3	3	-1	0	5	5	39
	4	5	5	5	5	1	1	5	0	5	5	41
CH_PBT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
PR_RD1	1	0	0	5	5	5	3	-1	0	5	4	27
	1	0	0	5	5	5	3	-4	0	5	4	24
	1	0	0	5	3	5	2	0	0	5	4	25
ARB_RD2	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
TA_SNCF	2	1	0	2	0	5	0	-4	0	5	3	14
	2	1	0	2	1	5	0	-1	0	5	3	18
	2	3	0	2	1	5	1	-4	0	5	3	18

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.11. Résultats de stockage de carbone organique

Modalités	Stock de Corg							
	Corg %	Corg g/kg	da (<2mm) kg/m3	profondeur m	Corg kg/kg	Corg kg/m2	Corg kg/ha	Corg t/ha
M0	0,79	7,9	712	0,15	0,0079	0,84372	8437,2	8,4372
M2	1,005	10,05	800	0,15	0,01005	1,206	12060	12,06
M3	3,205	32,05	627	0,15	0,03205	3,0143025	30143,025	30,143025
CH_PBT	1,73699489	17,3699489	601	0,15	0,017369949	1,56590089	15659,0089	15,6590089
TA_SNCF	11,2771936	112,771936	812	0,05	0,112771936	4,57854059	45785,4059	45,7854059
RD1	4,48504914	44,8504914	530	0,15	0,044850491	3,56561407	35656,1407	35,6561407
RD2	5,83914667	58,3914667	605,333333	0,15	0,058391467	5,30194518	53019,4518	53,0194518

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.12. Résultats de saturation en carbone organique

Saturation Corg							
Modalités	Sat Corg	da (<2mm)	profondeur	Sat Corg	Sat Corg	Sat Corg	Sat Corg
	g/kg	kg/m ³	m	kg/kg	kg/m ²	kg/ha	t/ha
M0	7,2228	1500	0,15	0,0072228	1,62513	16251,3	16,2513
M2	16,39304	1500	0,15	0,01639304	3,688434	36884,34	36,88434
M3	16,35292	1500	0,15	0,01635292	3,679407	36794,07	36,79407
CH_PBT	7,25026667	1500	0,15	0,00725027	1,63131	16313,1	16,3131
TA_SNCF	16,44072	1500	0,05	0,01644072	1,233054	12330,54	12,33054
RD1	16,49608	1500	0,15	0,01649608	3,711618	37116,18	37,11618
RD2	16,37792	1500	0,15	0,01637792	3,685032	36850,32	36,85032

Source : SEMEUR, Valorhiz

Annexe 6.13. Résultats de réserve utile (pfmètre)

Calcul de la Réserve Utile (RU)					
Code terrain	CR (%)	da (g/cm ³)	profondeur z (cm)	RU (mm/cm)	RU (en mm)
TA_SNCF_R1	0,100	0,512	15	0,512	7,686
TA_SNCF_R2	0,045	0,625	15	0,284	4,263
TA_SNCF_R3	0,033	0,679	15	0,221	3,315
ARB_RD2_R1	0,085	0,625	15	0,532	7,976
ARB_RD2_R2	0,112	0,526	15	0,592	8,875
ARB_RD2_R3	0,121	0,439	15	0,529	7,937
PR_RD1_R1	0,102	0,963	15	0,981	14,714
PR_RD1_R2	0,068	0,658	15	0,446	6,690
PR_RD1_R3	0,086	0,815	15	0,702	10,531
CH_PBT_R1	0,058	0,744	15	0,431	6,463
CH_PBT_R2	0,051	0,550	15	0,283	4,241
CH-PBT-R3	0,038	0,510	15	0,193	2,897
M0-PBT-R1	0,031	0,824	15	0,257	3,860
M0-PBT-R3	0,034	0,600	15	0,206	3,093
M2-PBT-R1	0,035	0,763	15	0,268	4,025
M2-PBT-R3	0,034	0,837	15	0,287	4,299
M3-PBT-R1	0,056	0,709	15	0,398	5,969
M3-PBT-R3	0,079	0,545	15	0,431	6,465

Source : SEMEUR, Valorhiz

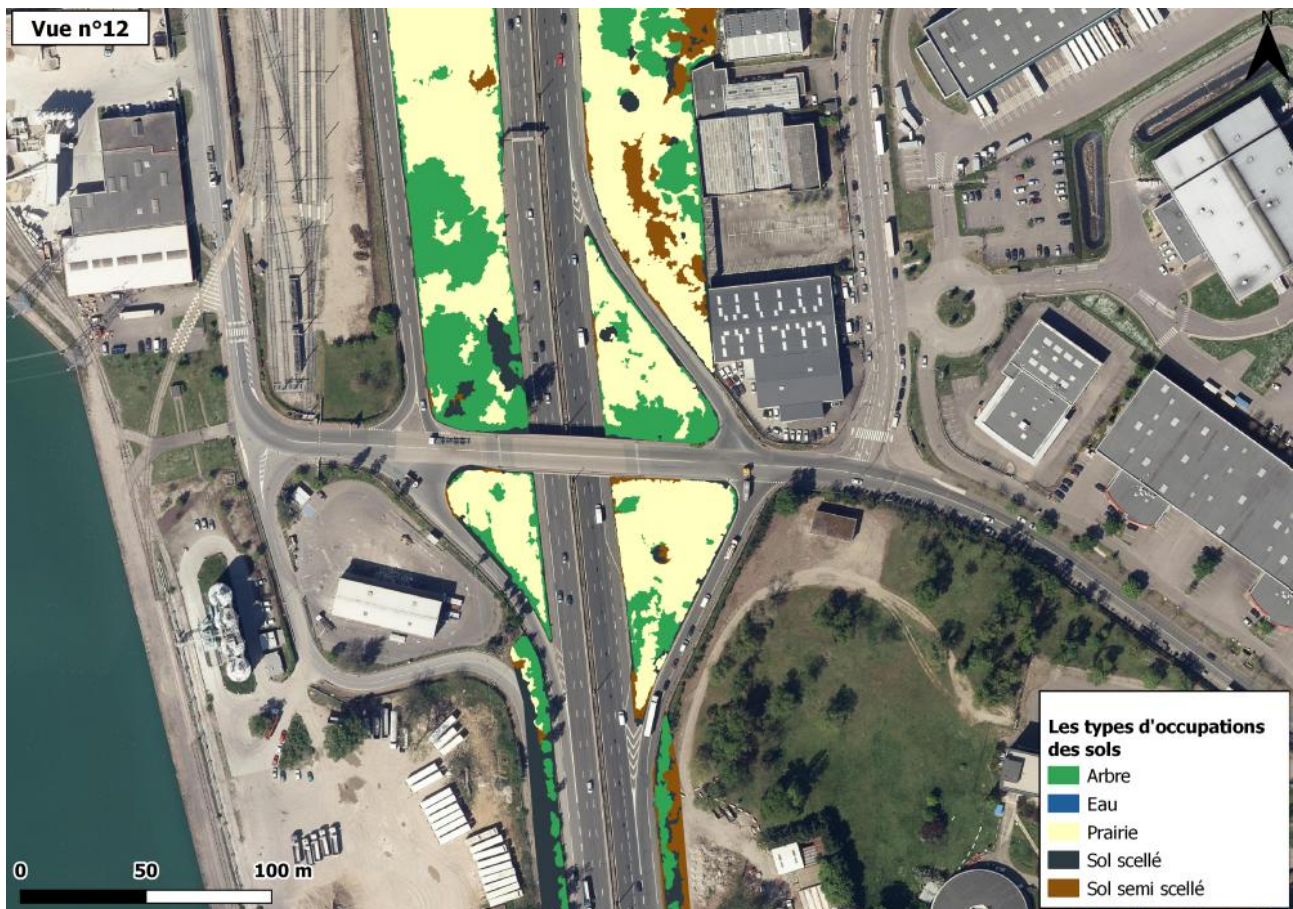
Annexe 6.14. Résultats d'infiltration

Moyennes des quantités infiltrées (non cumulées)						
Temps (en seconde)	60	90	120	150	180	210
RD1	0	18	14	12	11	10
RD2	0	13	9	9	8	5
RD3	0	34	23	24	23	23
SNCF	0	11	4	7	6	5
Chemin PBT	0	23	24	23	21	20

Source : SEMEUR, Valorhiz

ANNEXE 7 : CARTOGRAPHIE DES TYPOLOGIES D'OCCUPATION DU SOL

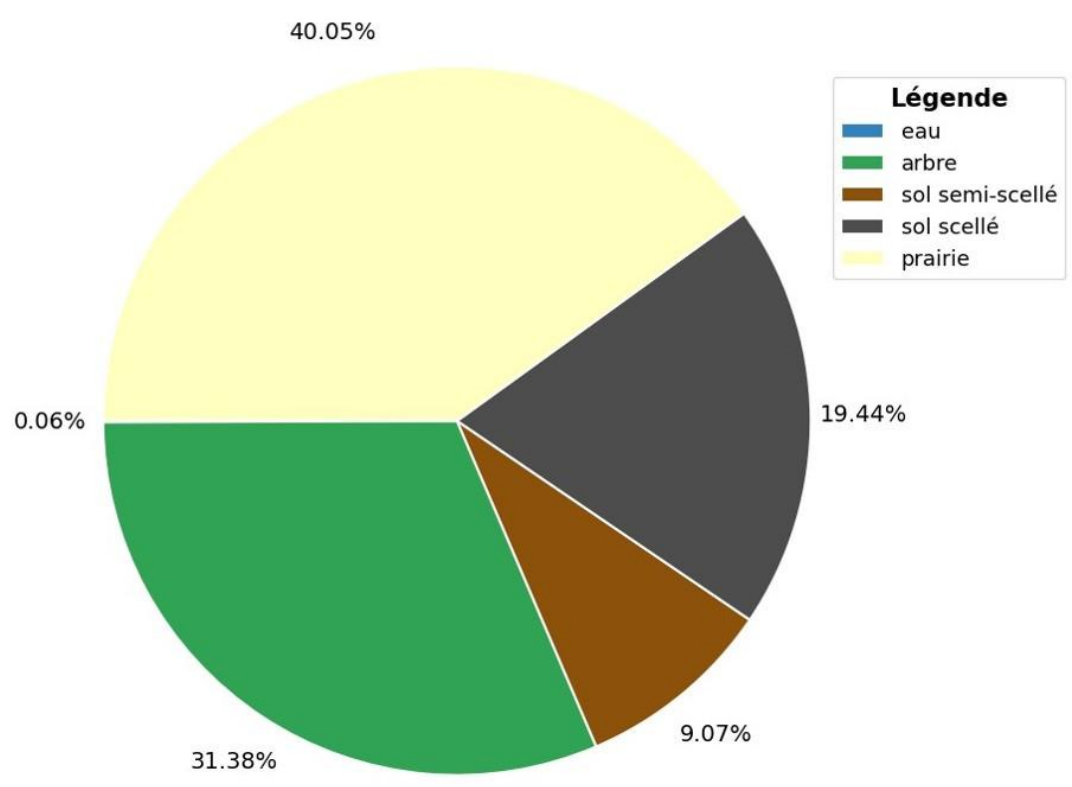
Annexe 7.1. Cartographie de la typologie d'occupation du sol autour d'un tronçon routier



Exemple zoomé de Carte de l'occupation du sol sur la vue n°12. Source : <https://cassia-technologies.com/>

Source : SEMEUR, Valorhiz.

Annexe 7.2. Distribution des types d'occupation du sol le long de la RD383 sur une bande de 10m



Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 8. VIDEOS DE PRESENTATION DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS







<https://biteable.com/watch/3627418/e503f7e1de77c26272066366e03eccc>



<https://biteable.com/watch/3627980/0a9b23b4d6ec62ca6266ee870a98cf47>













Source : SEMEUR. Laetitia TUFFERY, Soukaina ANOUGMAR, Basak BAYRAMOGLU, Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, Maia DAVID.

ANNEXE 9. LISTE DES ATTRIBUTS, DESCRIPTION ET NIVEAUX DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS

Attributes	Description	Levels	Illustrations
<p>Shade and cool zone</p> <p>Temperature drops during hot weather</p>	<p>In periods of high heat, vegetation helps to reduce the air temperature and provides shade.</p>	<p>-0°C, -1°C et -2 °C</p>	
<p>Bird abundance</p> <p>Increase in the number of birds (of different species)</p>	<p>Vegetation helps to preserve and restore biodiversity in urban areas. The abundance of birds is an indicator of this biodiversity.</p>	<p>+0%</p> <p>+5%</p> <p>+20%</p>	
<p>Traffic and parking</p> <p>Reduction of available space around the tram</p>	<p>The vegetation around the tramway reduces the space available for roads and parking spaces.</p>	<p>« No reduction »</p> <p>« Low reduction »</p> <p>« High reduction »</p>	
<p>Cost</p> <p>Increase of monthly local tax</p>	<p>Increase in € per month and for your whole household of your local taxes.</p>	<p>+0€, +1€, +4€, +10€</p>	

Source : SEMEUR. Laetitia TUFFERY, Soukaina ANOUGMAR, Basak BAYRAMOGLU, Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, Maia DAVID.

ANNEXE 10. EXEMPLE DE CARTE DE CHOIX DE L'EXPERIENCE DE CHOIX DISCRETS

	Alternative 1	Alternative 2	Status Quo
Shade and cool zone Temperature drops during hot weather			
Bird abundance increase in the number of birds (of different species)	+0% 	+5% 	+0% 
Traffic and parking Reduction of available space around the tram	No reduction 	Low reduction 	No reduction 
Cost Increase of monthly local tax	 +10€	 +4€	 +0€
Your choice	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Source : SEMEUR. Laetitia TUFFERY, Soukaina ANOUGMAR, Basak BAYRAMOGLU, Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, Maia DAVID.

ANNEXE 11 : CARTE DE LOCALISATION DES 7 COMMUNES D'ETUDES ET LEUR DIVISION EN 95 IRIS.



Source : SEMEUR, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 12. THEMATIQUES ET VARIABLES DE LA GRILLE D'OBSERVATION DU DIAGNOSTIC TERRITORIAL

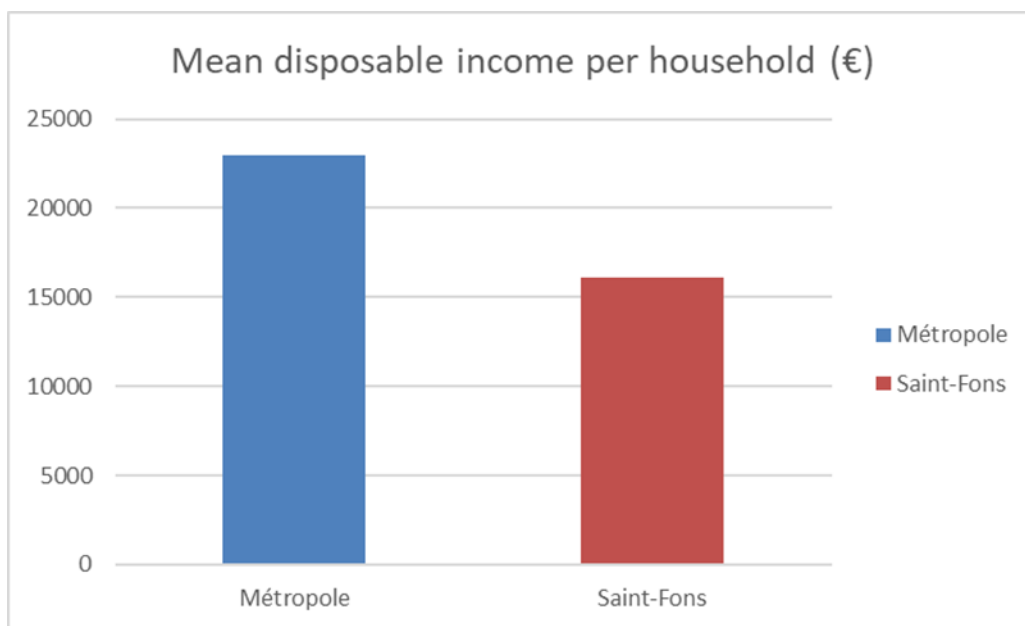
1. Aménités du territoire
 - 1.1. Présence d'espaces culturels et de loisirs
 - 1.2. Présence de commerces et relevé de leur typologie
 - 1.3. Présence de services de proximité et relevé de leur typologie
 - 1.4. Présence d'axes de transports (commerces, industriels) / typologie
 - 1.5. Présence de transport en commun / piste cyclable
2. Eléments naturels
 - 2.1. Présence d'espaces verts
 - 2.2. Présence de végétation
 - 2.3. Présence d'autres éléments naturels
3. Habitat, logement, bâtis
 - 3.1. Esthétique générale / qualité architecturale
 - 3.2. Typologie et mixité des bâtis
 - 3.3. Volumétrie du bâti
4. Lieux de convivialité
 - 4.1. Identification de points de centralité au sein du territoire : place de marché/espaces fréquentés/ autres
 - 4.2. Présence de jardins collectifs semi-privatifs : jardins familiaux, jardins d'insertion, jardins partagés
 - 4.3. Mobilier urbain/ qualité du mobilier urbain
 - 4.4. Terrains de sport en libre accès / espaces de récréation
5. Salubrité urbaine
 - 5.1. Présence de détritrus
 - 5.2. Graffitis observés
 - 5.3. Qualité de l'enrobé
 - 5.4. Dégradation des équipements
6. Environnement sécurisé
 - 6.1. Largeur suffisante des cheminements piétons
 - 6.2. Sécurité signalétique routière
7. Nuisances
 - 7.1. Niveau de nuisance sonore
 - 7.2. Pollutions des sols / sites classés ICPE / SEVESO
 - 7.3. La pollution de l'air
8. Critères supplémentaires définis par les étudiants
 - 8.1. Présence mixité sociale
 - 8.2. Biodiversité
 - 8.3. Sécurité

ANNEXE 13. THEMATIQUES ANALYSEES DANS L'OUTIL *HEALTHY STREETS*

Variables	Thématiques									
	Qualité de l'air	Territoire inclusif	territoire apaisant	Attractions	Sentiment de sécurité	Mobilités douces	Bruit	Présence de points d'arrêt	Ombres et abris	Facilité de traverser
Vitesse de circulation	X	X	X		X	X	X			X
Mixité de typologie des véhicules	X	X	X		X	X	X			X
Volume du trafic motorisé	X	X	X		X	X	X			X
Qualité du revêtement de la chaussée		X	X			X				
Espaces pour la circulation des cyclistes		X	X		X	X	X	X		
Sécurité des cyclistes aux carrefours		X	X		X	X				
Stockage public des vélos		X	X			X	X			
Aménagement de passages piétons aux intersections		X	X		X	X				X
Priorité de la traversée aux intersections		X	X		X	X				X
Navigation des passages pour les personnes souffrant de déficiences visuelles		X	X		X	X				X
Qualité du chemin piétonnier		X	X		X	X	X			
Espaces pour la circulation des piétons		X	X		X	X	X	X		
Arbres		X	X	X		X			X	
Infrastructure verte		X	X	X		X				
Arrêts de bus		X	X			X	X	X	X	
Bancs publics		X	X	X		X	X	X		
L'éclairage		X	X		X	X				
Fontaines d'eau potable		X	X			X		X		

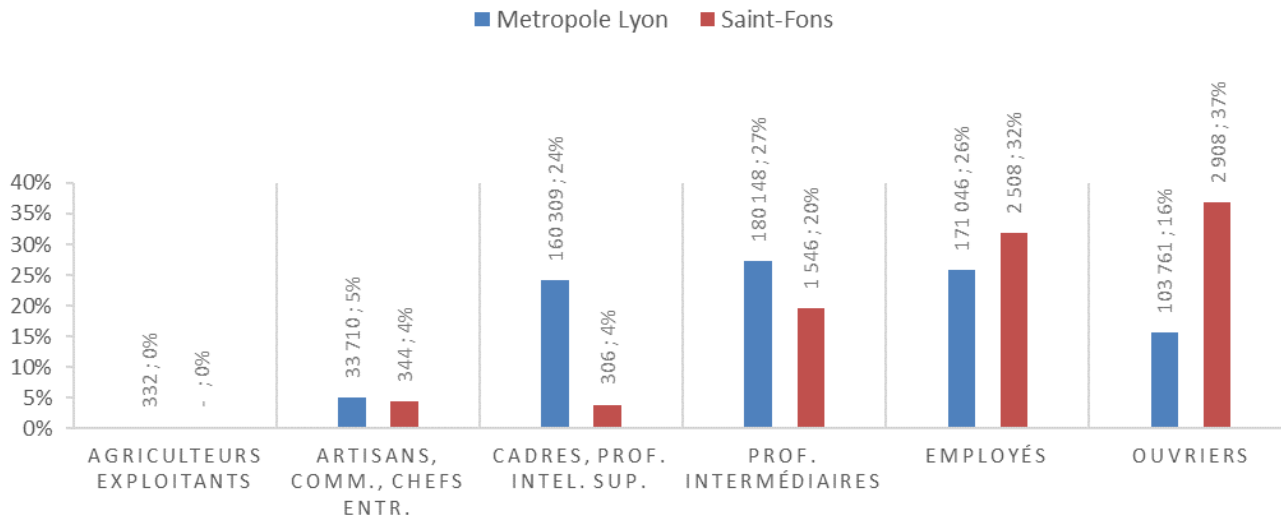
Source : SEMEUR, adaptation de l'outil Healthy Streets, Traitement : Anaïs Portela, Jeffrey Blain.

ANNEXE 14 : REVENU DISPONIBLE MOYEN EN EUROS PAR MENAGE A SAINT-FONS ET DANS LA METROPOLE DE LYON



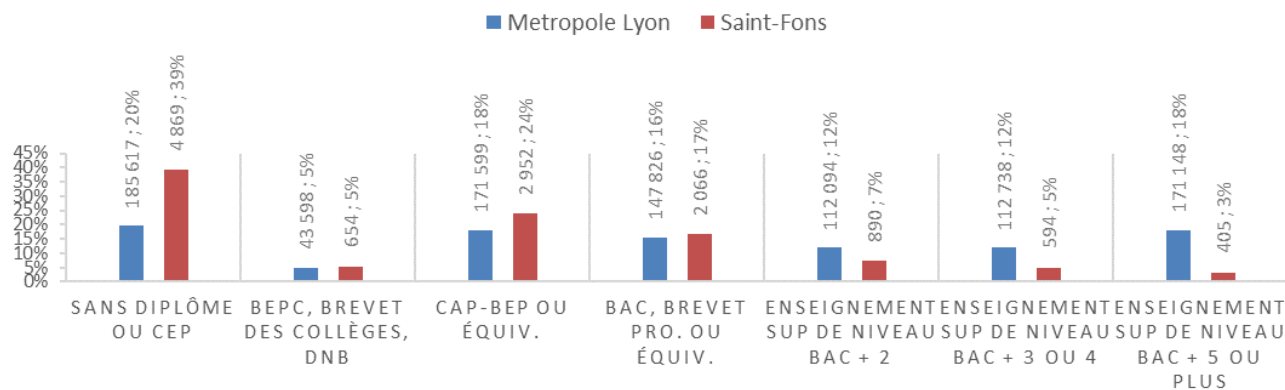
Source : SEMEUR, Traitement de données INSEE Kathleen Berthou.

ANNEXE 15 : LES CSP DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON



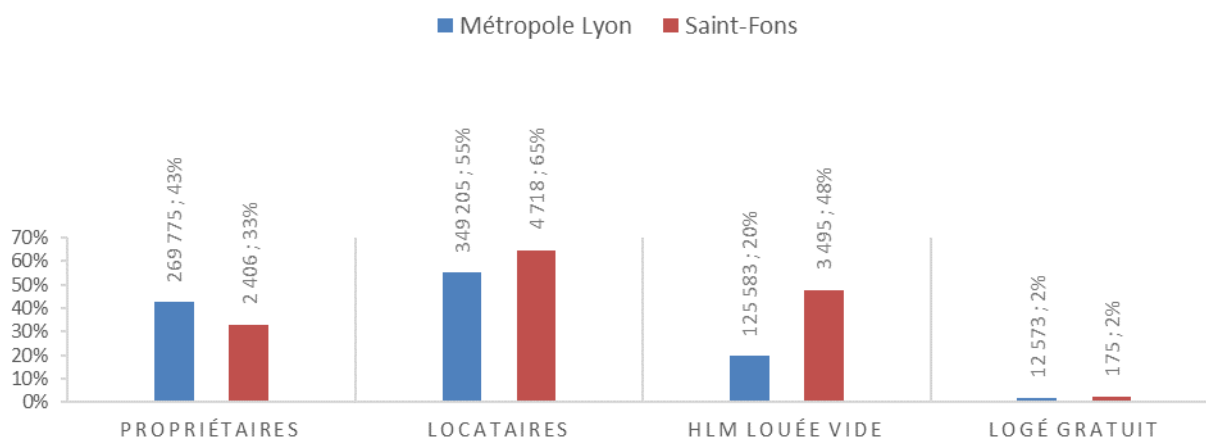
Source : SEMEUR, traitement de données INSEE Kathleen Berthou.

ANNEXE 16 : NIVEAU D'ETUDE DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON



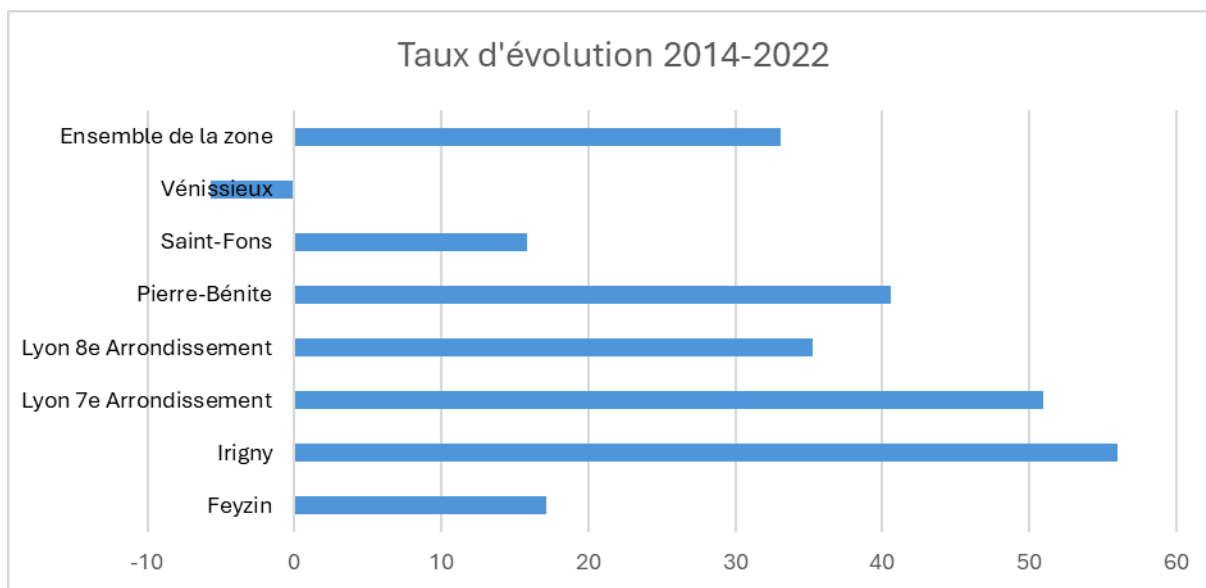
Source : SEMEUR, Traitement de données INSEE : Kathleen Berthou.

ANNEXE 17 : STATUT DE RESIDENCE DE LA POPULATION DE SAINT-FONS ET DE LA METROPOLE DE LYON



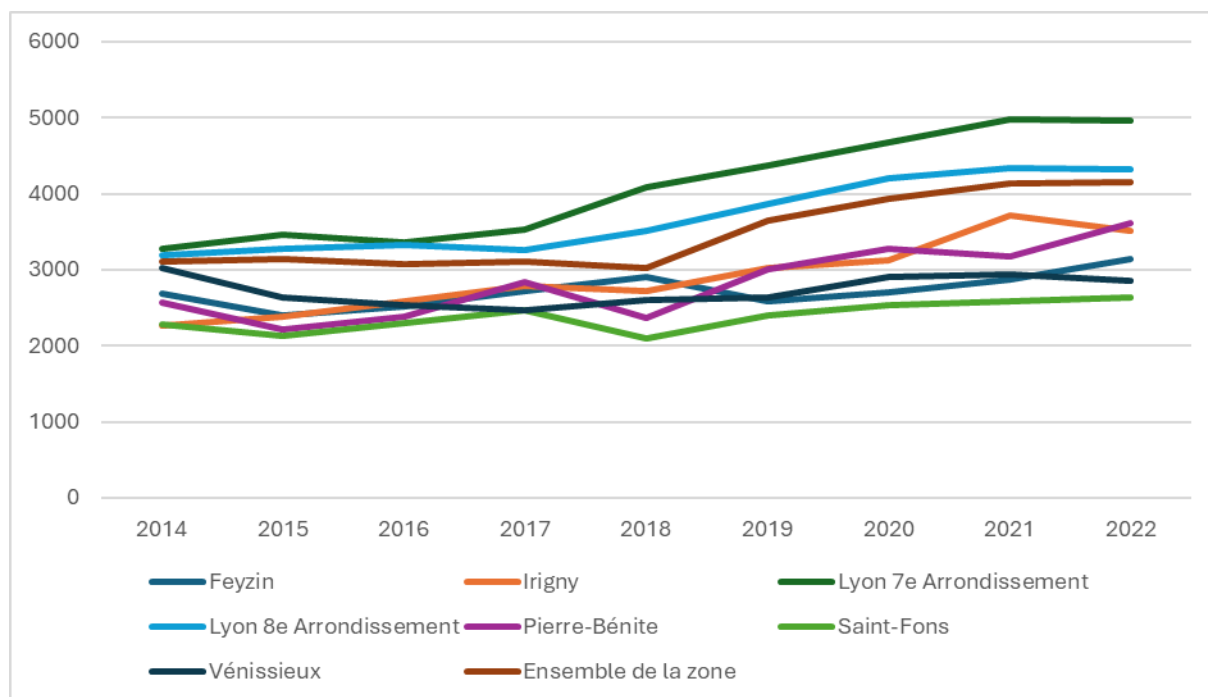
Source : SEMEUR, Traitement de données INSEE : Kathleen Berthou.

ANNEXE 18 : TAUX D'EVOLUTION DES PRIX DE L'IMMOBILIER (€/M²) PAR COMMUNE POUR L'ENSEMBLE DE LA PERIODE 2014-2022



Source : SEMEUR, traitement de données DVF : Laëticia TUFFERY, Jeffrey BLAIN.

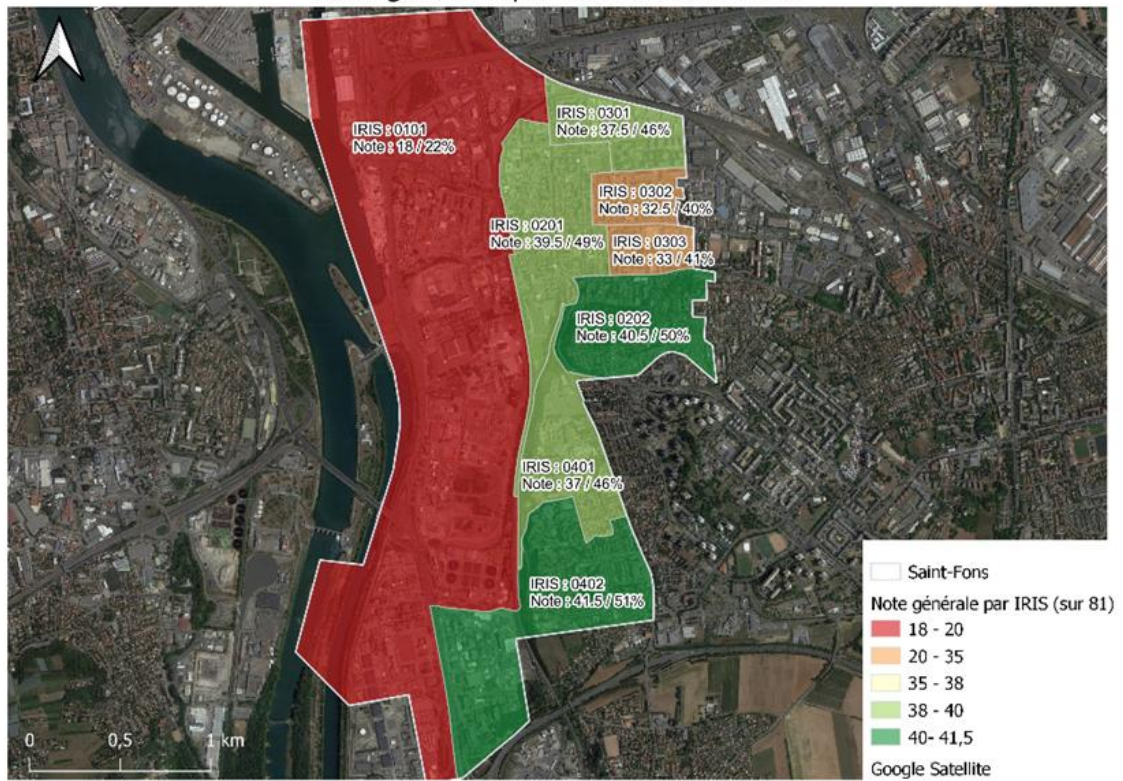
ANNEXE 19 : EVOLUTION DES PRIX DE L'IMMOBILIER (€/M²) PAR COMMUNE ET PAR ANNEE DE 2014 A 2022



Source : SEMEUR, traitement de données DVF : Laëticia TUFFERY, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 20 : CARTE DES NOTES DES GRILLES D'OBSERVATION

Note générale par IRIS à Saint-Fons



Source : SEMEUR, étudiants de l'ESPI, traitement : Anaïs PORTELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 21 : LISTES DES 48 COMPOSANTES PRINCIPALES SELECTIONNEES A PARTIR DES RESULTATS DE L'ACP

	Var %	Var% Cum	Description
TO LIVE			
Well being	23.563	23.563	Industrial and communication facilities
	12.444	36.007	Transport and car support
	10.248	46.255	Social support
Sociability	19.993	19.993	Civic participation
	13.010	33.002	Elderly services
	12.343	45.346	Accomodation centers
Inclusivity	20.183	20.183	Local pollution
	15.664	35.847	Low thermic isolation
	11.249	47.097	Housing energy efficiency
TO WORK			
Well being	28.520	28.520	Commercial activities
	10.779	39.299	Tertiary activities and facilities
	8.877	48.176	Working population
Sociability	32.084	32.084	Sharing places
	20.173	52.257	Repair economy
Inclusivity	47.399	47.399	Soft mobility
	18.963	66.362	Car dependency
TO SUPPLY			
Well being	26.590	26.590	General food shop
	11.198	37.788	Food convenience store
	6.856	44.644	Retailers
Sociability	32.796	32.796	Administration
	16.309	49.105	Solidary groceries and local services
	12.783	61.888	Proximity services
Inclusivity	23.670	23.670	Local production
	15.474	39.144	Waste management
	13.720	52.864	Service and fair traid
TO CARE			
Well being	22.588	22.588	Health services
	13.357	35.946	Medical services
	9.366	45.312	Wellbeing
Sociability	26.571	26.571	Sport
	13.383	39.954	Waterplaces
	10.774	50.727	Specific sports
Inclusivity	26.762	26.762	Environmental and public health
	25.849	52.611	Family and child services
TO LEARN			
Well being	24.986	24.986	Students
	13.301	38.286	Education level
	10.665	48.952	Education centers
Sociability	30.634	30.634	After-school activities
	25.585	56.218	Living labs

Inclusivity	24.924	24.924	Reinsertion assistance
	16.363	41.287	Disability and orientation
	14.157	55.444	Prioritary centers
TO ENJOY			
Well being	29.839	29.839	Audiovisual service locations
	17.111	46.949	Book and digital services locations
	14.430	61.379	Other cultural places
Sociability	50.178	50.178	Coffee, bar and restaurant
Inclusivity	26.051	26.051	Green and social places
	15.304	41.355	Social welfare service
	14.291	55.646	Share garden

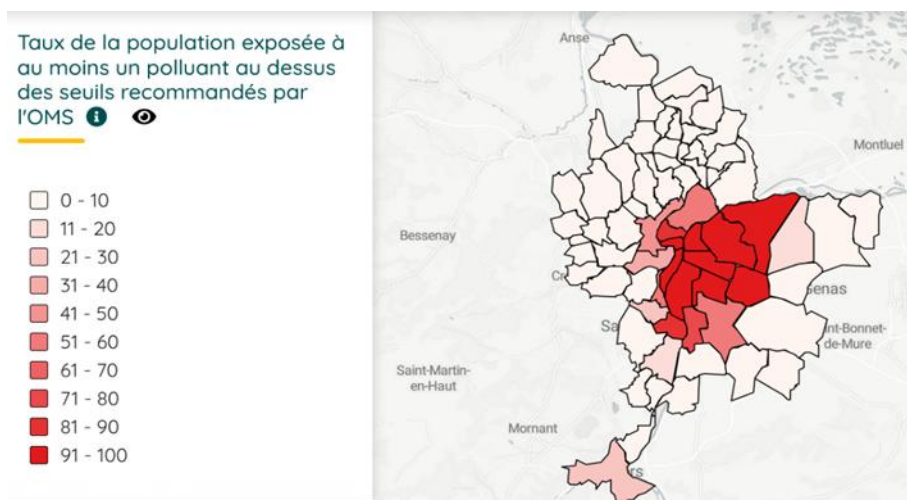
Source : SEMEUR, Traitement et interprétation des données : Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, Myriam ZELLER-COHEN, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 22 : GRAPHIQUES REPRESENTANT LES SCORES DE L'OUTIL HEALTHY STREETS POUR LES RUES MARCEL ETIENNE SEMBAT ET CARNOT A SAINT-FONS, ACTUELLEMENT ET APRES LA CONSTRUCTION DU T10



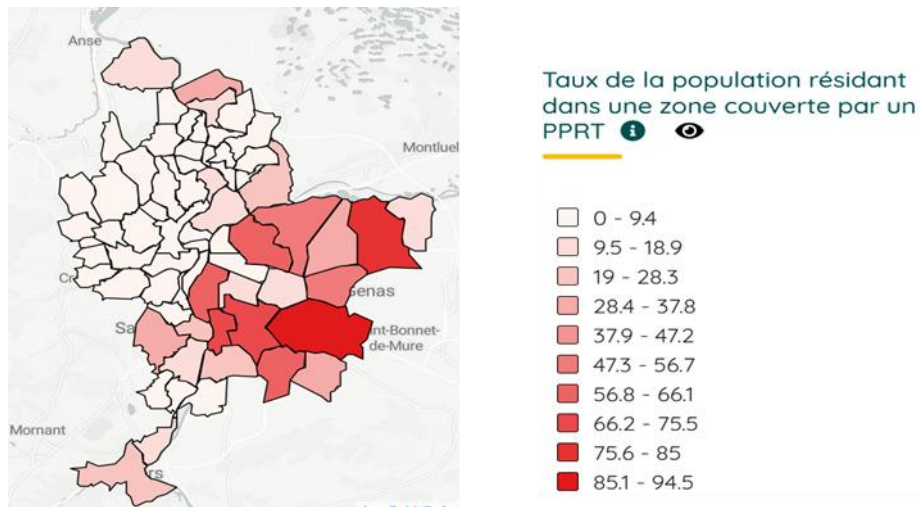
Source : SEMEUR, Anaïs PORTELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 23 : CARTE DU TAUX DE LA POPULATION EXPOSEE A AU MOINS UN POLLUANT AU-DESSUS DES SEUILS RECOMMANDES PAR L'OMS



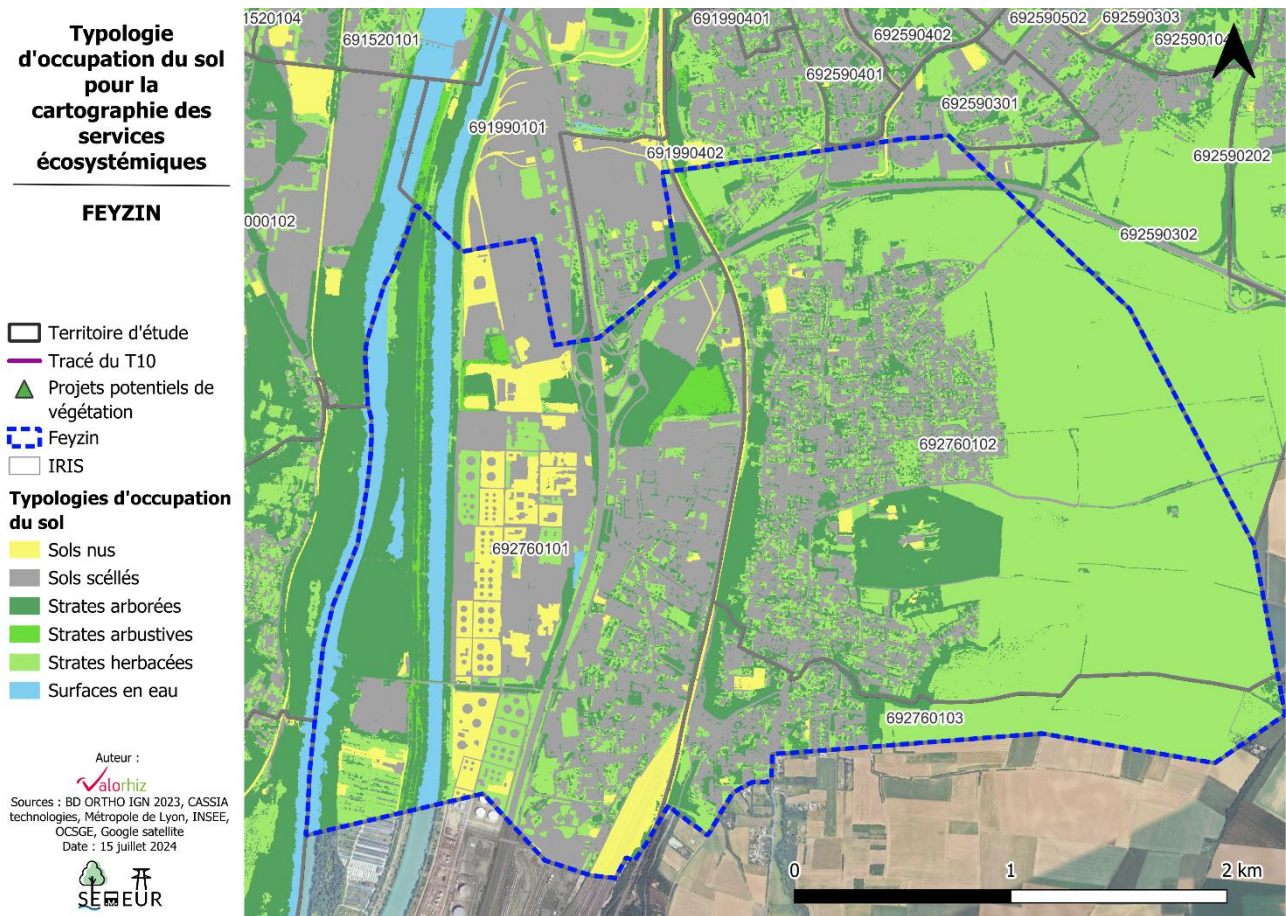
Source : www.oocit.fr

ANNEXE 24 : CARTE DU TAUX DE LA POPULATION RESIDANT DANS UNE ZONE COUVERTE PAR UN PPRT



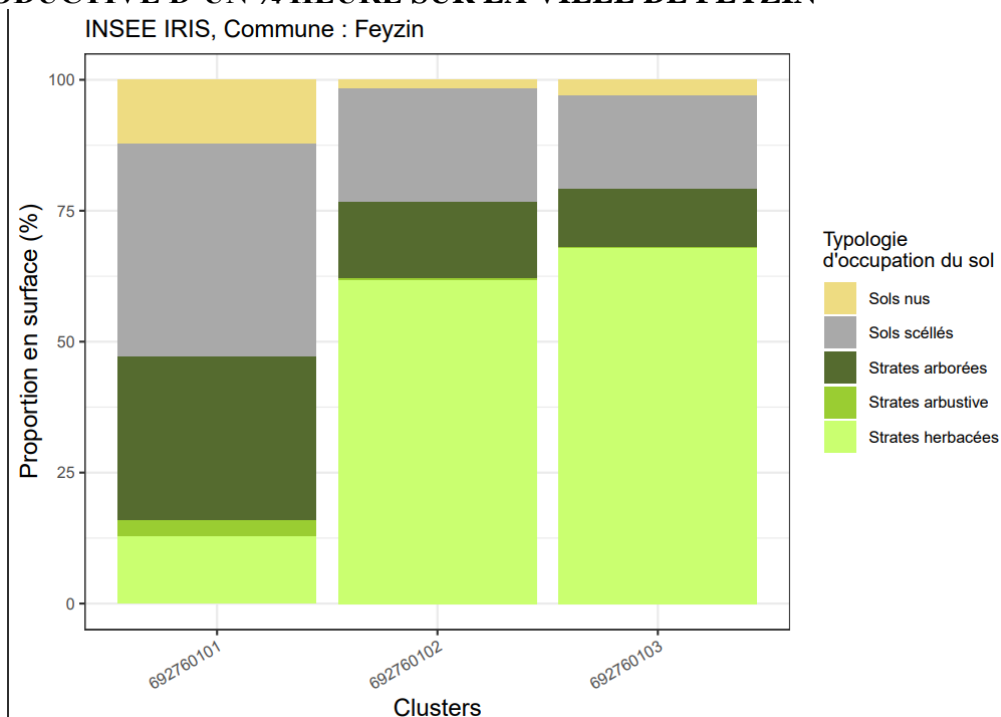
Source : www.oocit.fr

ANNEXE 25 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE FEYZIN



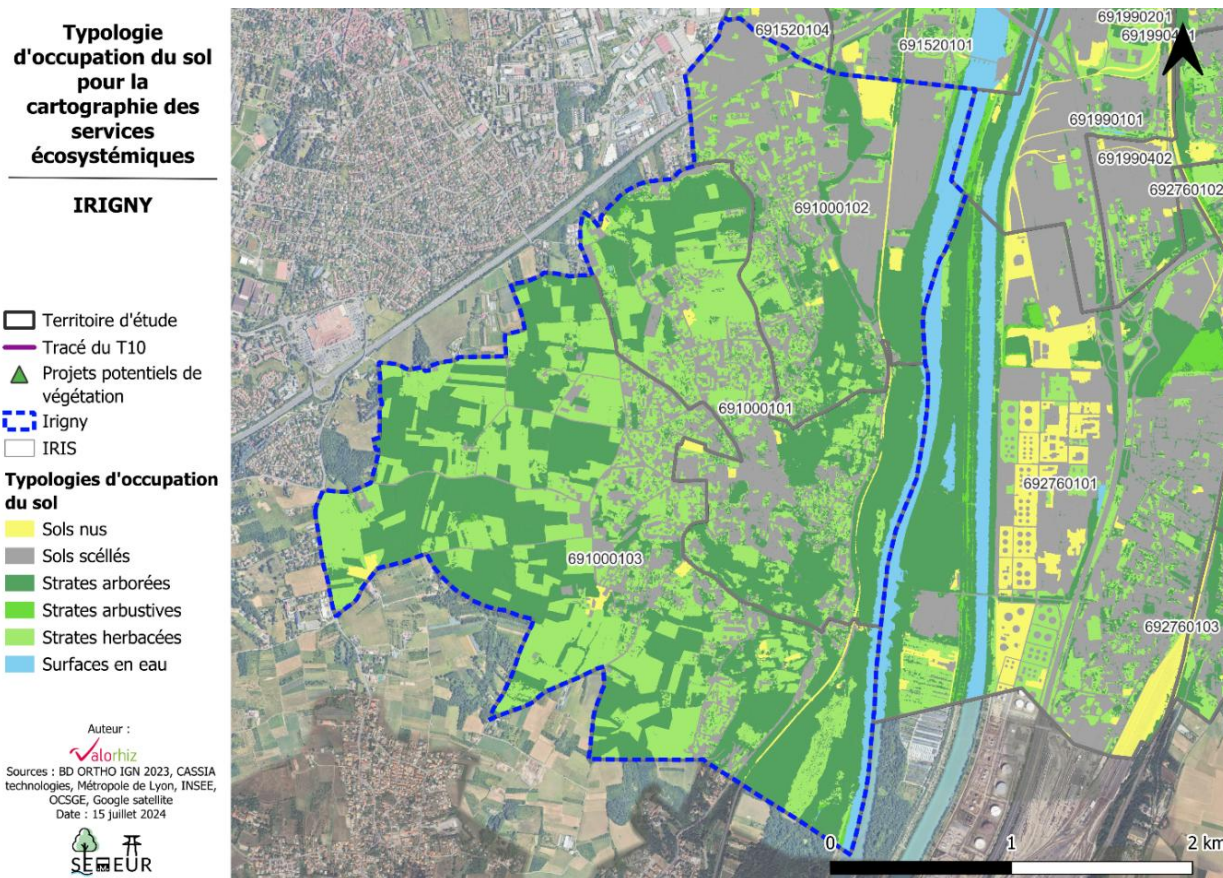
Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 26. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE FEYZIN



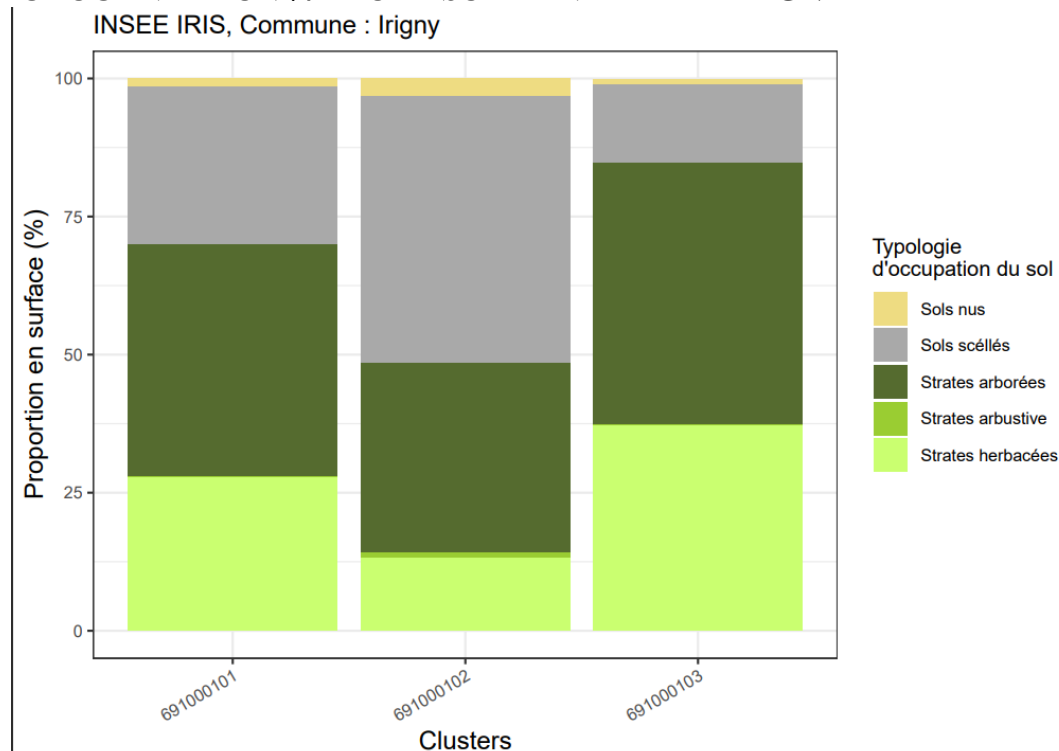
Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 27 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE D'IRIGNY



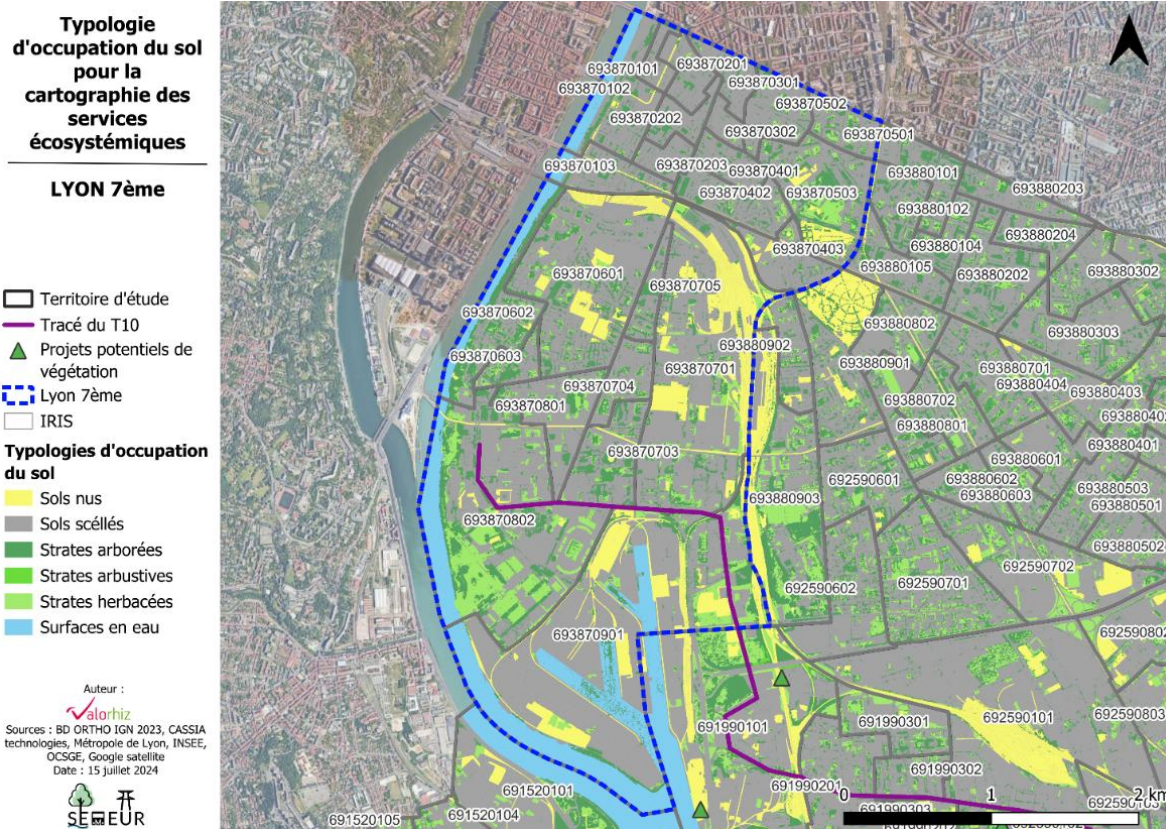
Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 28. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE IRIGNY



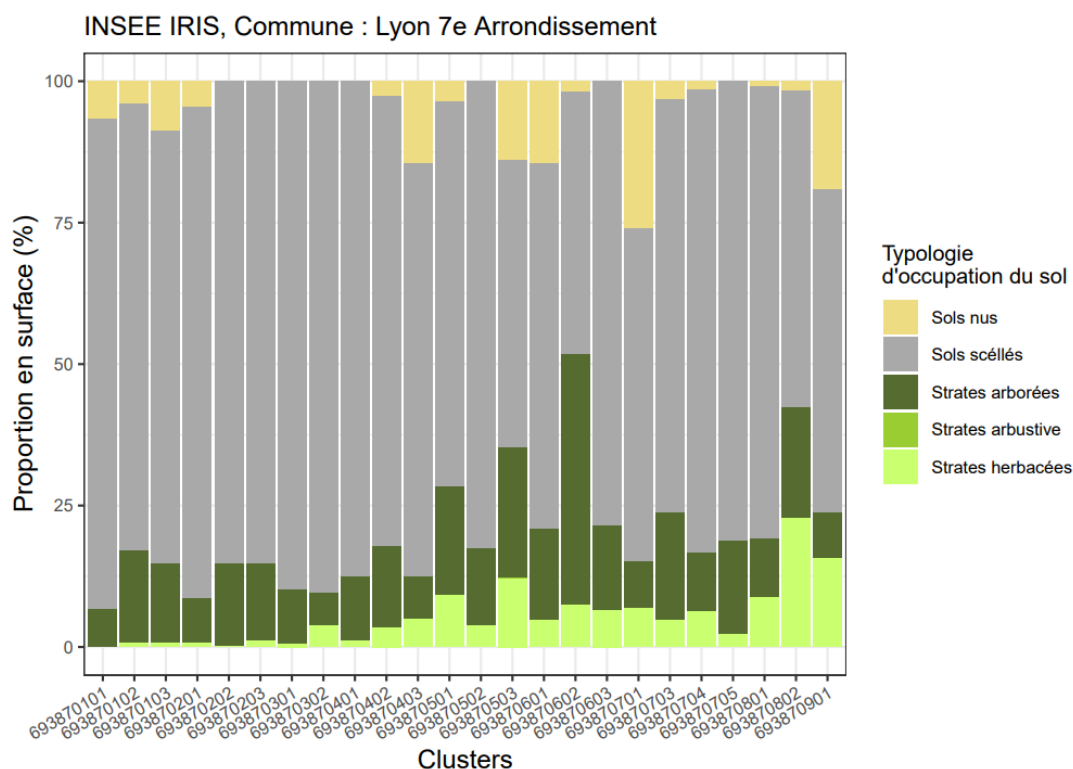
Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 29 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LYON 7ème



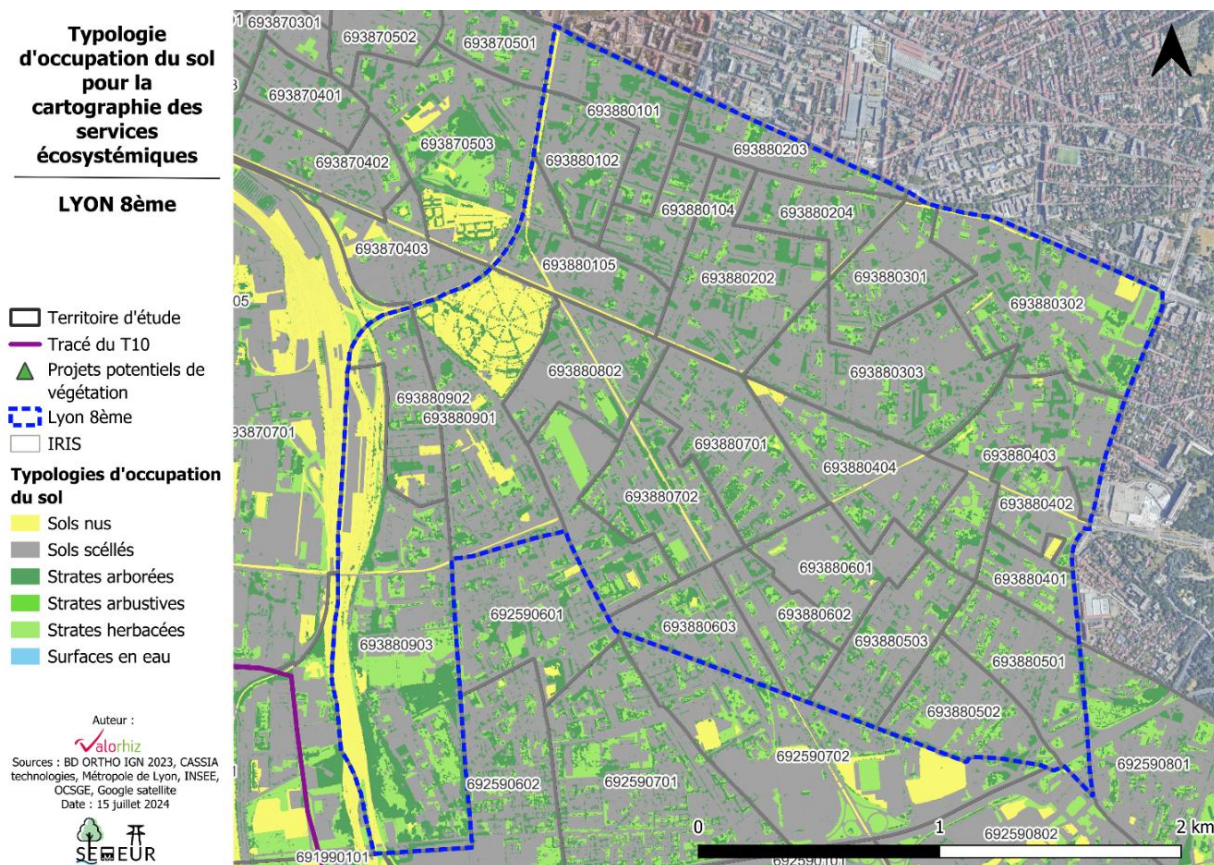
Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 30. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LYON 7ème



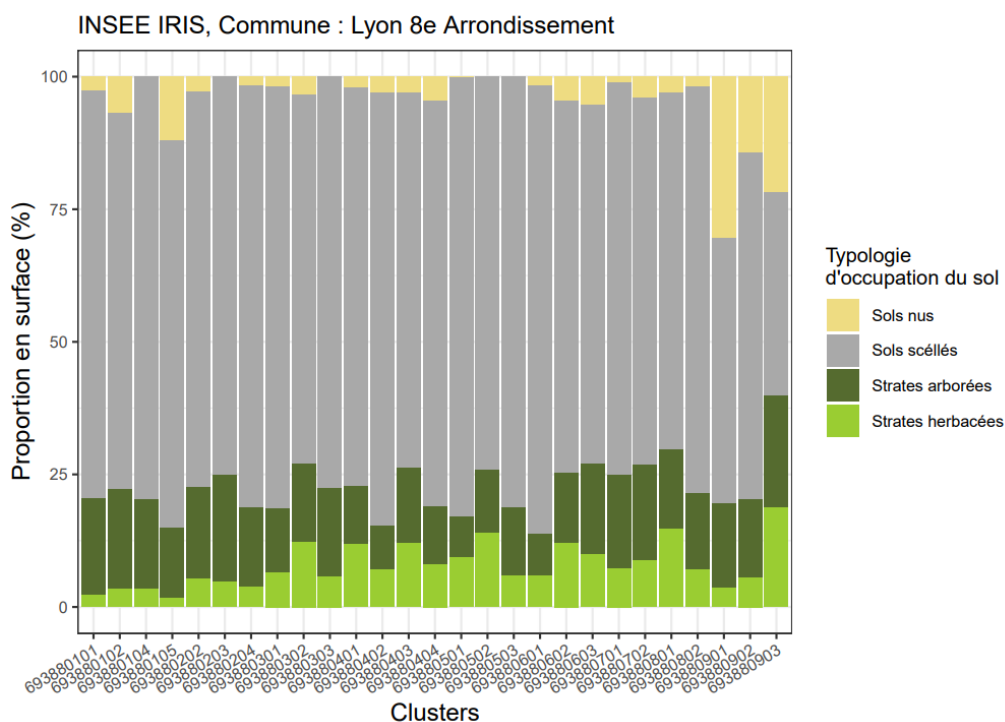
Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 31 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LYON 8ème



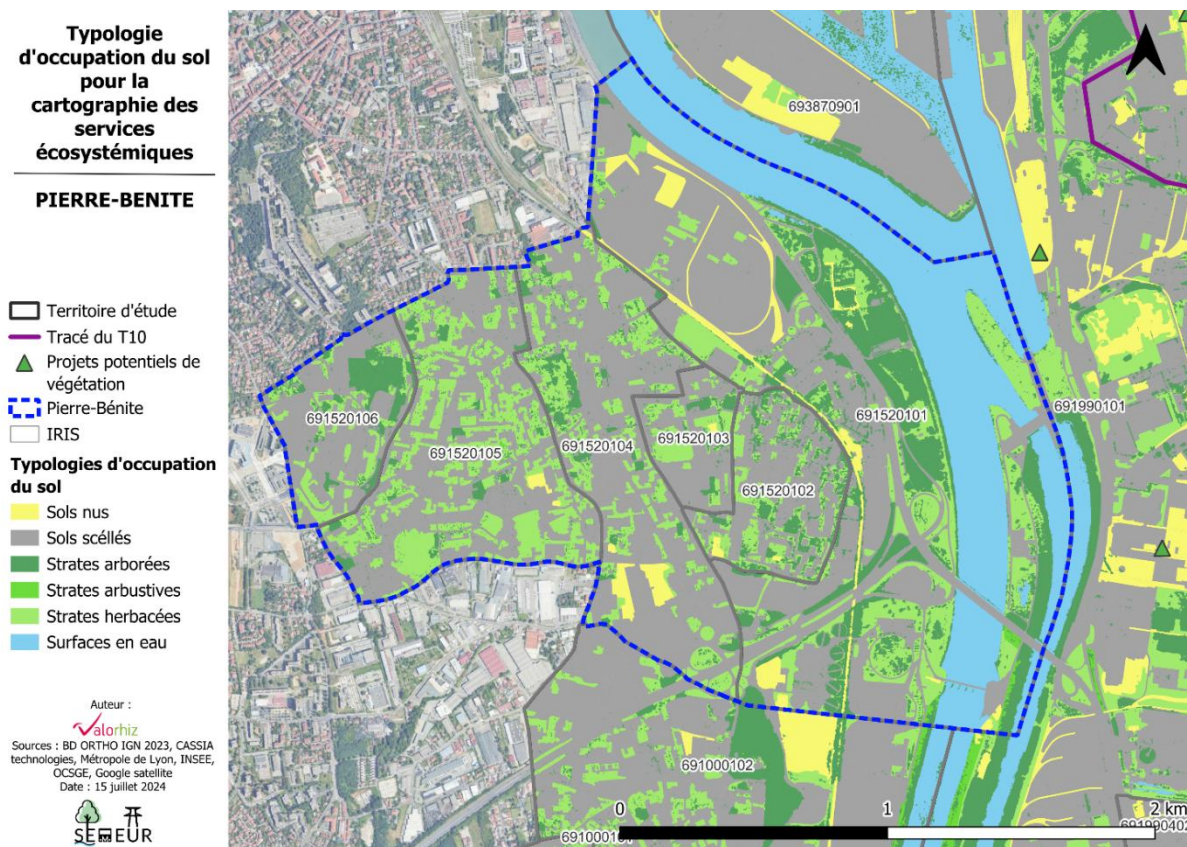
Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 32 : OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LYON 8ème



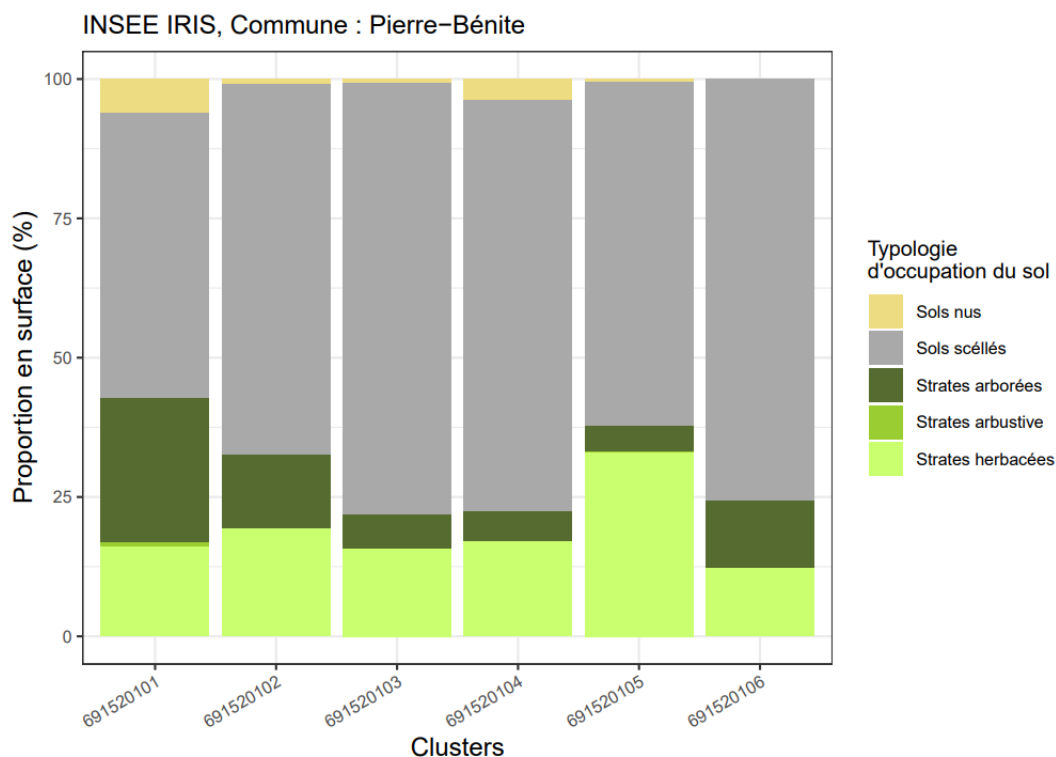
Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 33 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE PIERRE-BENITE



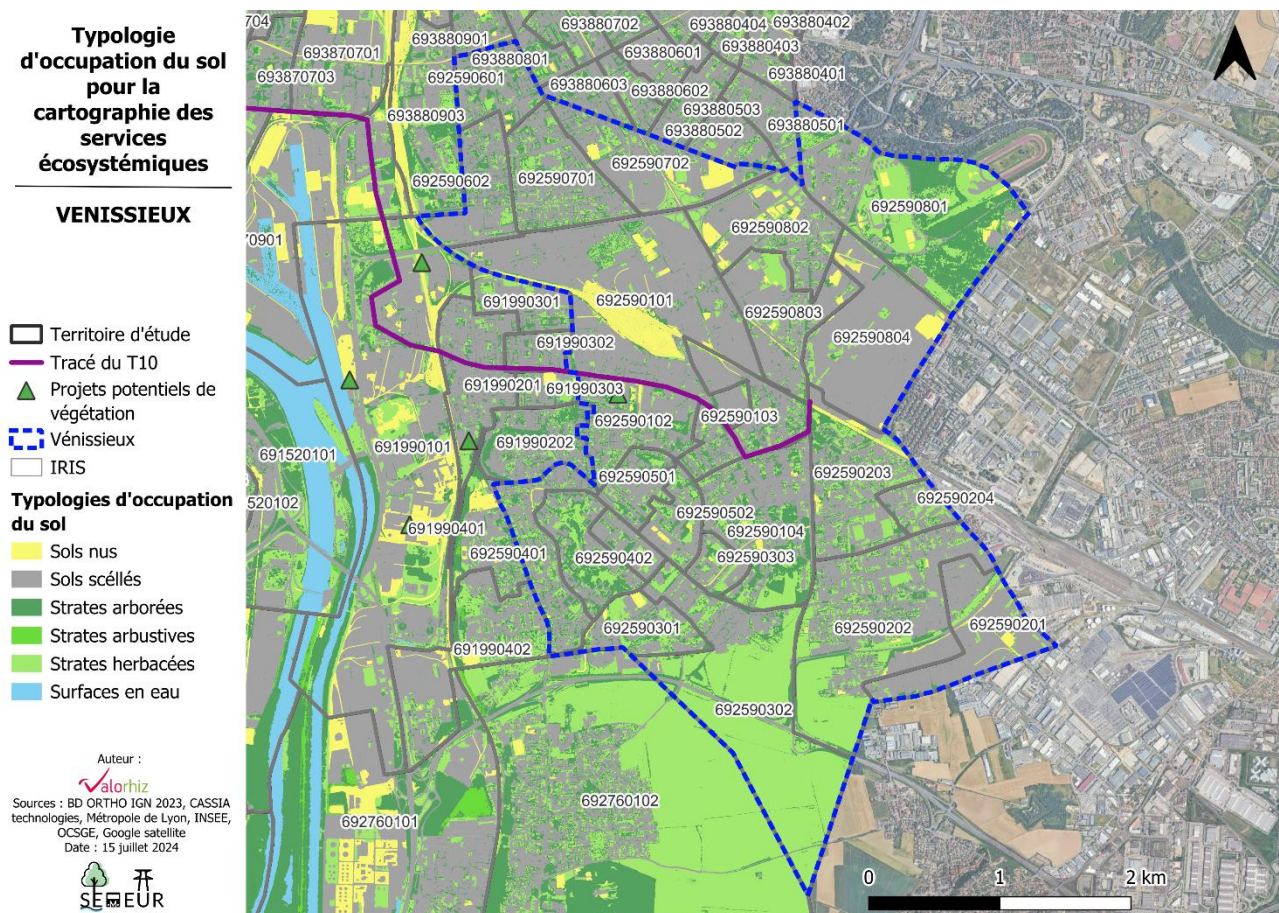
Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 34. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE PIERRE-BENITE



Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

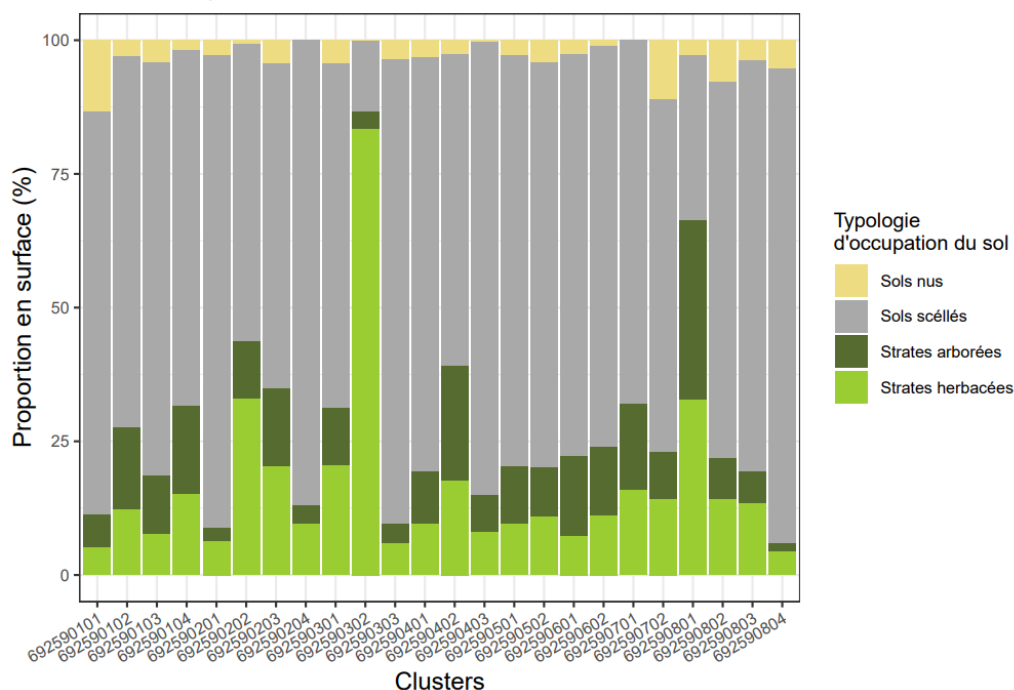
ANNEXE 35 : CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE D'OCCUPATION DU SOL POUR LA VILLE DE VENISSIEUX



Source : SEMEUR, Valorhiz.

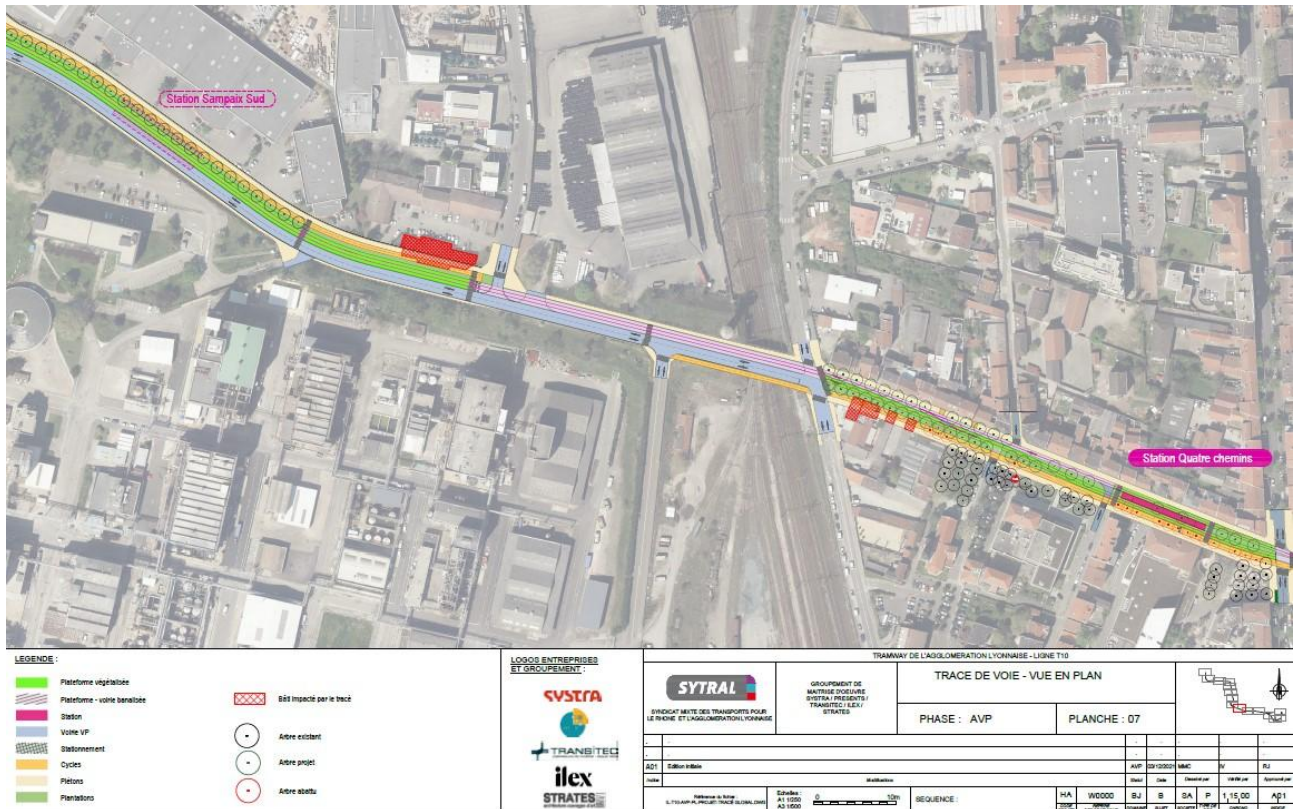
ANNEXE 36. OCCUPATION DE SOL PAR CLUSTER DE L'ANALYSE DE LA VILLE PRODUCTIVE D'UN ¼ HEURE SUR LA VILLE DE VENISSIEUX

INSEE IRIS, Commune : Vénissieux



Source : SEMEUR, Ines CANDELA, Jeffrey BLAIN.

ANNEXE 37 : LA CAS DU T10 - EXTRAIT DU CAHIER DES AMENAGEMENTS DE L'AVANT-PROJET DU TRAM T10



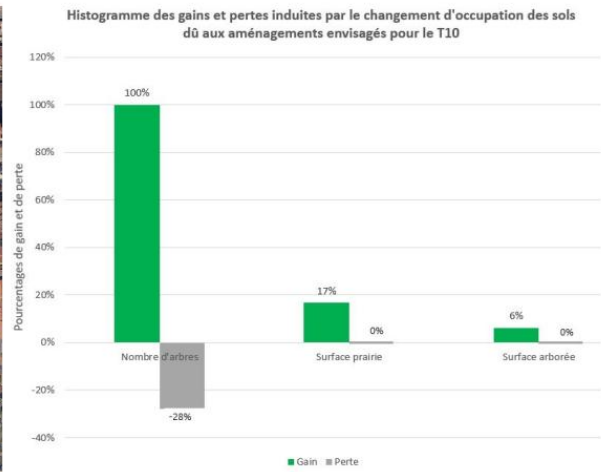
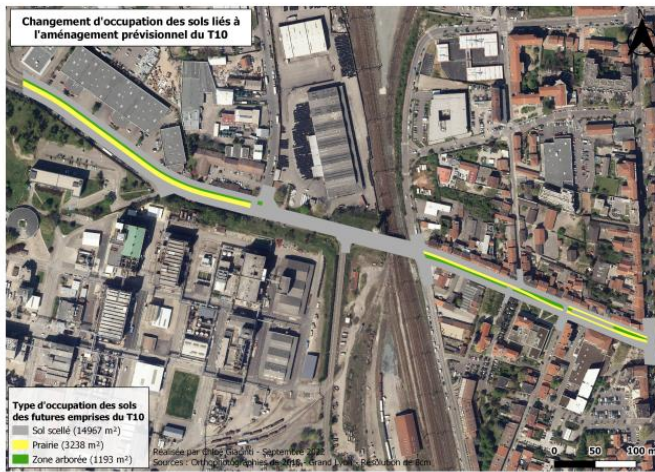
Source : SYTRAL.

ANNEXE 38 : BILAN DES INCIDENCES ET DES MESURES SUR LE MILIEU NATUREL DANS LE CADRE DU PROJET T10

	État initial	Conservée (intégrant mesures d'évitement)	Incidence brute	Mesures de réduction	Finale	Incidence résiduelle
Surfaces végétalisées (hors plateforme tramway)	5,6 ha	0,9 ha	4,7 ha	6,7 ha	7,6 ha	+2,0 ha
Plateforme tramway végétalisée	0	-	-	3,3 ha	3,3 ha	+ 3,3 ha
Arbres totaux :	1220 ind.	740 ind.	480 ind.	2 776 ind.	3 516 ind.	+ 2 296 ind.
• Dont Arbres d'alignement	954 ind.	548 ind.	406 ind.	1 200 ind.	1 748 ind.	+ 794 ind.
• Dont Arbres à cavités	32 ind	26 ind	6 ind	+ 6 gîtes artificiels	12 ind	0
Milieus boisés, parcs et jardins	109 647 m ²	101 856 m ²	7 791 m ²	4 000m ² (Remise en état)	105 856 m ²	- 3791 m ²

Source : SYTRAL, Dossier d'enquête publique unique. Pièce C – Evaluation environnementale, page 64.

ANNEXE 39 : CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS DUS AUX AMENAGEMENTS DU T10



(a) Les prévisions d'occupations de sols selon le projet d'aménagement du tram T10

(b) Diagramme des gains et pertes lié au changement d'occupation des sols

Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 40 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – EROSION DU SOL

**Services
écosystémiques rendus
par les sols urbains en
fonction de la
typologie d'occupation
du sol**

**Coefficient du contrôle
de l'érosion des sols**



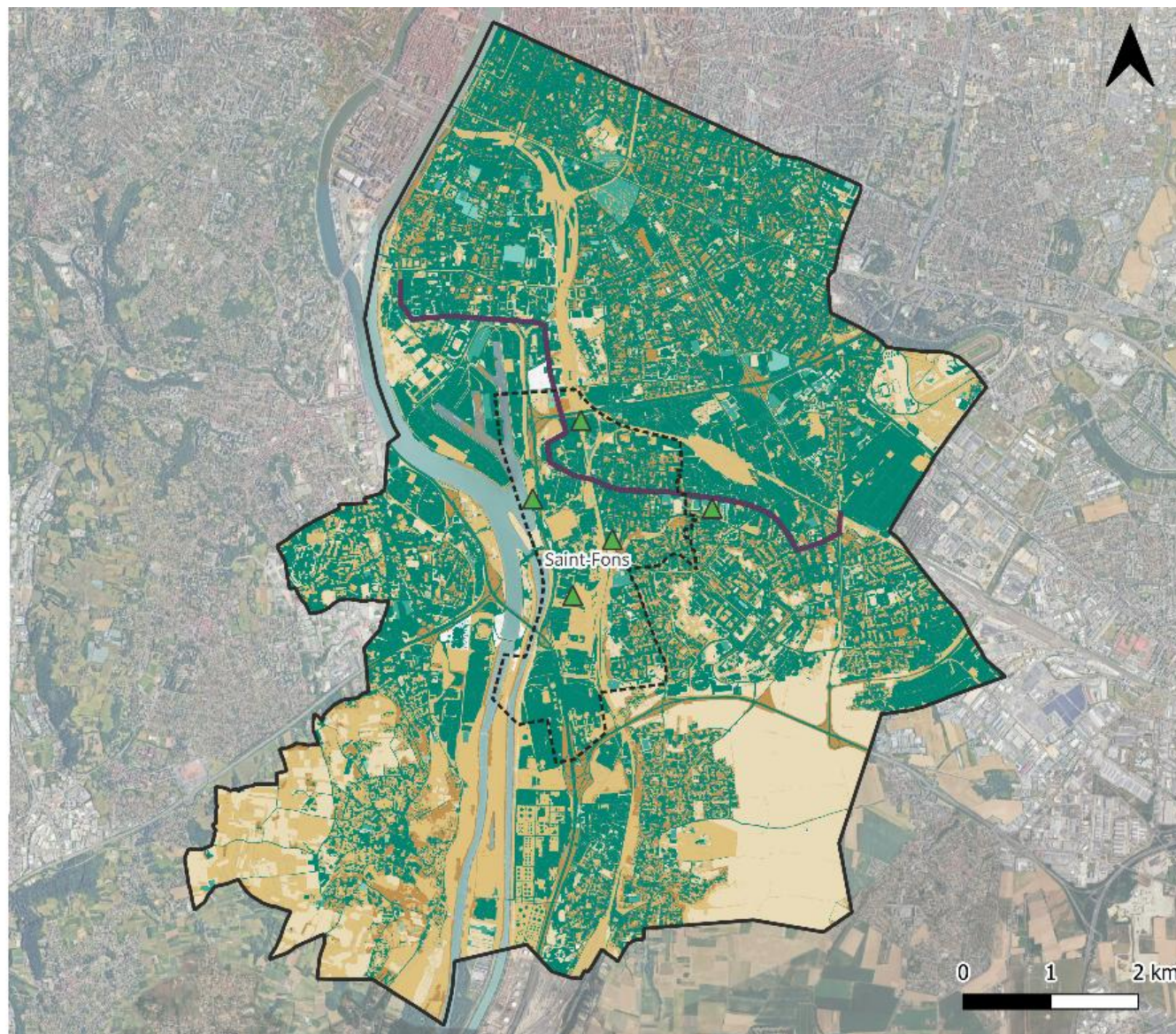
-  Territoire d'étude
-  Saint-Fons
-  Tracé du T10
-  Projets potentiels de végétation

**Coefficient du contrôle
de l'érosion des sols**



Auteur :

Sources : BD ORTHO IGN 2023, CASSIA technologies, Métropole de Lyon, INSEE, OCSGE, Google satellite
Date : 15 juillet 2024



Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 41 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – REGULATION DU CLIMAT GLOBAL

Services
écosystémiques rendus
par les sols urbains en
fonction de la
typologie d'occupation
du sol

Coefficient pour la
régulation du climat
global



- Territoire d'étude
- Saint-Fons
- Tracé du T10
- Projets potentiels de végétation

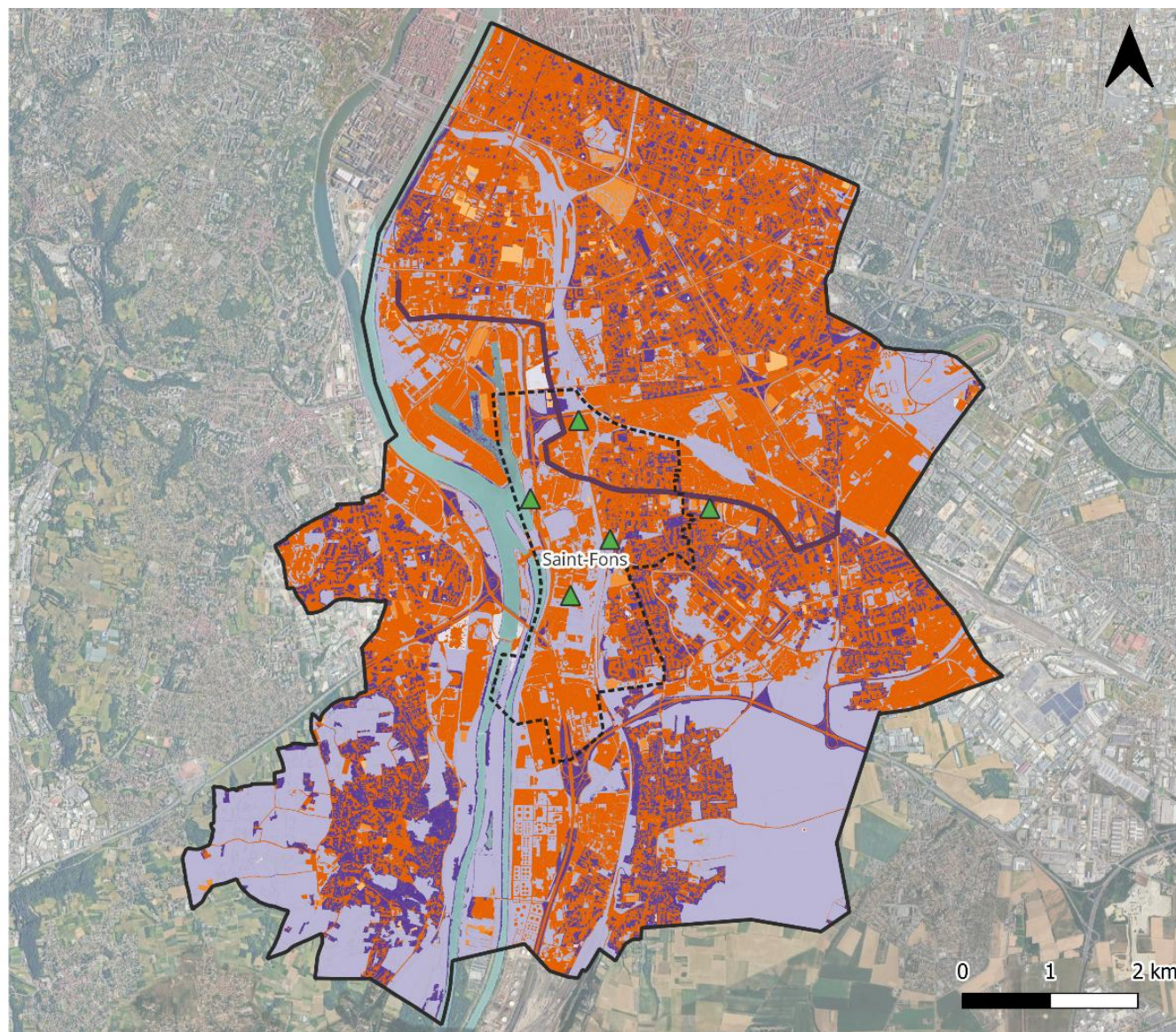
Coefficient pour la
régulation du climat global



Auteur :

Valorhiz

Sources : BD ORTHO IGN 2023, CASSIA technologies, Métropole de Lyon, INSEE, OCSGE, Google satellite
Date : 15 juillet 2024



Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 42 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – BIODIVERSITE

Services
écosystémiques rendus
par les sols urbains en
fonction de la
typologie d'occupation
du sol

Coefficient d'accueil de
la biodiversité



- Territoire d'étude
- Saint-Fons
- Tracé du T10
- Projets potentiels de végétation

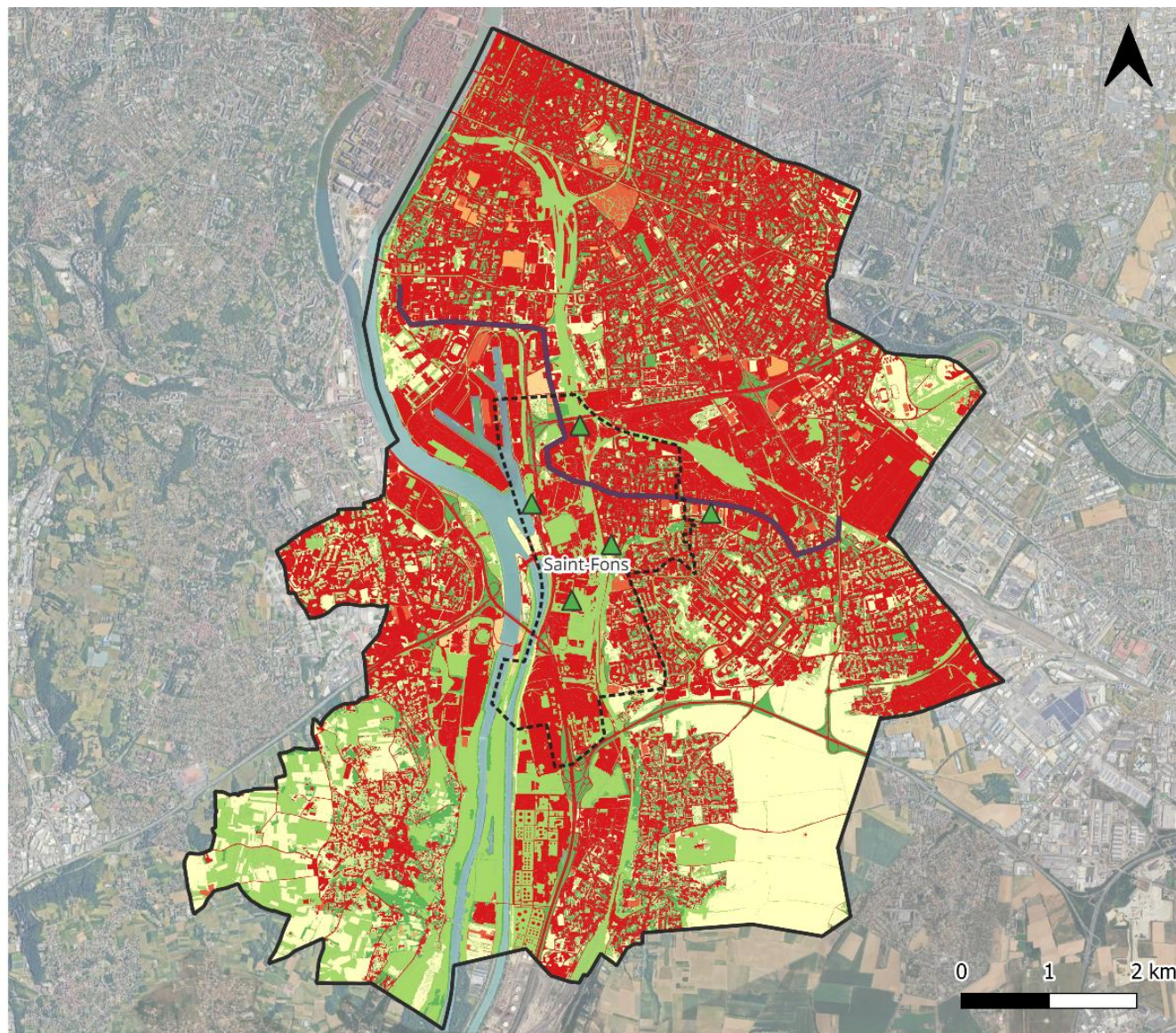
Coefficient de biodiversité



Auteur :

Valorhiz

Sources : BD ORTHO IGN 2023, CASSIA technologies, Métropole de Lyon, INSEE, OCSGE, Google satellite
Date : 15 juillet 2024



Source : SEMEUR, Valorhiz.

ANNEXE 43 : CARTOGRAPHIE DES SEU RENDUS – REGULATION DE L'EAU PLUVIALE ET PREVENTION DES RISQUES D'INONDATION

Services
écosystémiques rendus
par les sols urbains en
fonction de la
typologie d'occupation
du sol

Coefficient pour la
régulation de l'eau
pluviale et prévention
des risques
d'inondations



□ Territoire d'étude

— Tracé du T10

▲ Projets potentiels
de végétation

⋯ Saint-Fons

Coefficient pour la
régulation de l'eau
pluviale et prévention
des risques d'inondations



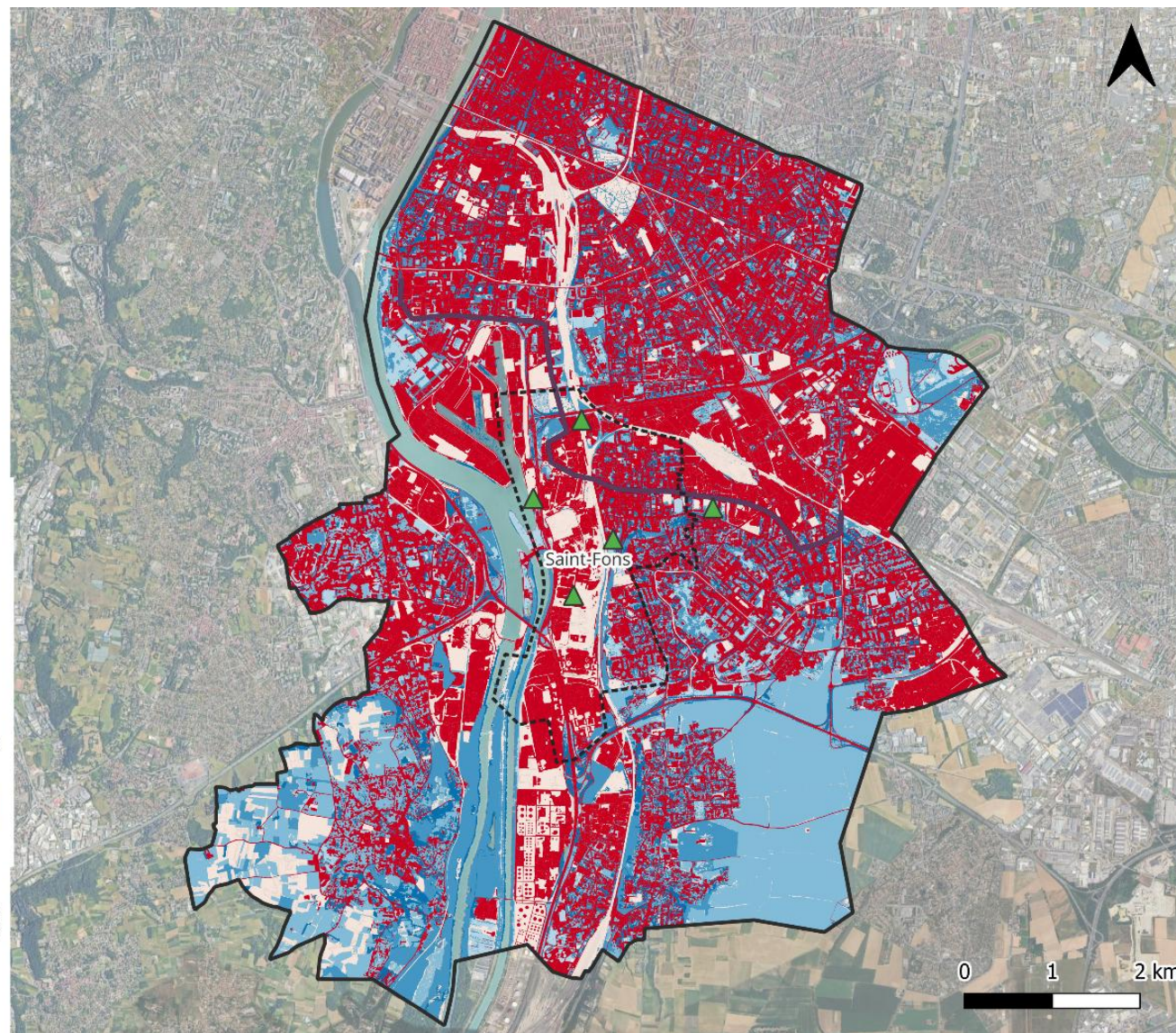
Auteur :

✓ alorhiz

Sources : BD ORTHO IGN 2023, CASSIA
technologies, Métropole de Lyon, INSEE,
OCSGE, Google satellite
Date : 15 juillet 2024



Source : SEMEUR, Valorhiz.



**ANNEXE 44 : EVALUATION DE LA CAPACITE DES INFRASTRUCTURES DE
TRANSPORT A REpondre A LA DEMANDE EN SERVICES ECOSYSTEMIQUES
DU MILIEU URBAIN**

**RAPPORT DE FIN D'ETUDE A L'ECOLE CENTRALE LYON DE CHLOE GIACINTI,
SUIVI PAR VALORHIZ ET LE GRAND LYON**

ANNEXE 45 : DOCUMENT DE TRAVAIL EN REVISION POUR LA REVUE *LAND ECONOMICS*

« THE URBAN GREEN SPACE DILEMMA : IMPROVED ECOSYSTEM SERVICES OR SMOOTH TRAFFIC ? »

TUFFERY, L., ANOUGMAR, S., BAYRAMOGLU, B., CANTUARIAS-VILLESSUZANNE, C., DAVID, M.



GRANDLYON
la métropole



TRAVAIL DE FIN D'ETUDE

Rapport final

Evaluation de la capacité des infrastructures de transport à répondre à la demande en Services Écosystémiques du milieu urbain

Autrice :

M^{me} Chloé GIACINTI
chloe.giacinti@ecl17.
ec-lyon.fr

Encadrants :

M. Pietro SALIZZONI
M. Pascal GOUBIER
M. Olivier TAUGOURDEAU

4 avril 2022 - 30 septembre 2022

Remerciements

Deux structures d'accueil signifient deux fois plus de personnes à remercier. Du côté Valorhiz je souhaite remercier en premier lieu Olivier Taugourdeau pour son accompagnement tout au long du stage, pour m'avoir fait confiance et avoir répondu à chacune de mes sollicitations avec réactivité et pédagogie. Merci aux membres du bureau Sols dit "La guinguette". Tout d'abord Elian Escande pour m'avoir accompagnée dans chaque étape du stage, du terrain en passant par le labo jusqu'à l'analyse des résultats. Je ne deviendrais peut-être pas pédologue mais j'en garde un très bon souvenir! Ensuite, Clothilde Schreiber et Yannis Pittatore pour leur écoute, leur patience et leur conseils rassurants dans mes moments de panique. Un grand merci aux occupants du bureau d'à côté, Thibault Douady d'abord pour m'avoir transmis les ficelles du métier de technicien labo et pour nos conversations politiques enflammées; Julie Berder et Laurène Robert ensuite, pour leur bienveillance et leur soutien dans les moments d'errance face au pfmètre. En dehors du bâtiment 1900 mais non loin de là, je remercie Quentin Hamzaoui pour le temps passé à transcrire en cartographie ce qu'il y avait dans ma tête. Merci également à Jérôme Nespoulous pour s'être arraché les cheveux avec moi sur l'analyse du test de stabilité structurale. Enfin, plus globalement, un énorme merci à tous les membres de Valorhiz que j'ai eu la chance de cotoyer pendant ces six mois et qui ont fait de ce stage une expérience si riche.

Côté Métropole de Lyon, je souhaite remercier vivement Pascal Goubier pour sa confiance sans faille et pour avoir partagé avec moi cette envie de faire bouger les choses. Merci à Anaïs Henry et Hind Naït-Barka pour l'accueil qu'elles m'ont fait, pour avoir été mes repères dans cette grande structure qu'est la Métropole et avoir partagé avec moi leur engagements associatifs passionnants. Merci à Emilie Travaux pour sa réactivité et sa bienveillance à mon égard.

Enfin, un grand merci à tous les acteurs qui ont permis à ce projet d'être transversal, ancré sur le terrain et je l'espère, utile. Pour cela je remercie tout particulièrement Gérard Volay et Ghazi Mehili pour avoir pris le temps de m'accompagner plusieurs fois sur le terrain. Un grand merci à Caroline Dechaume-Moncharmont pour m'avoir éclairée sur les politiques en matière de biodiversité de la SNCF et avoir rendu possible une partie de la phase terrain. Merci à Lydie Nicieja-Gharib et Philippe Baron pour les échanges au sujet des aménagements de tram. Enfin merci à Jean-François Lesigne, Yves Lopez et Anne Bougeret pour ces échanges tous plus intéressants les uns que les autres à propos de vos projets respectifs.

Résumé : Le présent stage a été réalisé dans le cadre du projet de recherche multipartenarial ITTECOP-SEMEUR piloté en partie par les deux structures encadrantes : la Métropole de Lyon et l'entreprise Valorhiz. Le but global de ce stage a été de participer au développement d'une méthodologie d'évaluation de la capacité des infrastructures linéaires de transport à répondre à la demande en services écosystémiques du milieu urbain. Les résultats attendus étaient la réalisation d'une typologie d'occupation des sols du milieu urbain en lien avec la capacité des infrastructures linéaires de transport à rendre des services écosystémiques ; la participation à la réalisation de cartographies de ces services rendus par les sols urbains sur la zone d'étude de Saint-Fons (Grand Lyon). Ce stage est donc transdisciplinaire : il touche à l'écologie, la pédologie, la botanique, la cartographie, la gestion des infrastructures de transport et l'aménagement du territoire urbain notamment la végétalisation des villes ; et regroupe un certain nombre de missions allant de la gestion de projet à la réalisation de prélèvements terrain et d'analyses en laboratoire. Ce rapport présente le contexte du projet, les missions effectuées durant les six mois de stage ainsi que les résultats obtenus.

Mots clés : Services écosystémiques - Milieu urbain - Aménagement durable - Végétalisation - Infrastructures linéaires de transports - Cartographie - Pédologie

Abstract : This internship was carried out within the framework of the multi-partner research project ITTECOP-SEMEUR, which is partly led by the two supervising structures : the Metropolis of Lyon and the company Valorhiz. The overall goal of this internship was to participate in the development of a methodology to evaluate the capacity of linear transport infrastructures to meet the demand for ecosystem services in the urban environment. The expected results were the realization of a typology of urban land use in relation to the capacity of linear transport infrastructures to provide ecosystem services ; the participation in the realization of maps of these services provided by urban soils in the study area of Saint-Fons (Grand Lyon). This internship is therefore transdisciplinary : it touches on ecology, pedology, botany, cartography, transport infrastructure management and urban land use planning, in particular the vegetation of cities ; and includes a number of missions ranging from project management to the performance of field sampling and laboratory analysis. This report presents the context of the project, the missions carried out during the six-month internship and the results obtained.

Key words : Ecosystem services - Urban environment - Sustainable development - Vegetation - Linear transport infrastructures - Mapping - Pedology

Liste des abréviations

AVP : Avant-projet
CLC : Corine Land Cover
CBS : Coefficient de biotope par surface
Corg : Carbone organique
COS : Carbone organique du sol
COT : Carbone organique total
EFESE : Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques
EG : Eléments grossiers
EIE : Evaluation de l'incidence sur l'environnement
ILTe : Infrastructures linéaires de transports et leurs emprises
INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
ITTECOP : Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages
MEA : Millenium Ecosystem Assessment
MOS : Matière organique du sol
SE : Services écosystémiques
RTE : Réseau de transport d'électricité
RFU : Réserve facilement utilisable
RU : Réserve utile
SIG : Système d'information géographique
UPGE : Union professionnelle du génie écologique

Table des matières

1	Introduction	1
2	Contexte du stage	3
2.1	Présentation des structures et services d'accueil	3
2.1.1	Le service Patrimoine Végétal de la Métropole de Lyon . . .	3
2.1.2	L'entreprise Valhoriz	3
2.2	Présentation du projet SEMEUR	4
2.2.1	Du Plan Canopée au projet SEMEUR	4
2.2.2	Un territoire d'étude : la commune de Saint-Fons	5
2.2.3	Objectifs du projet et acteurs impliqués	6
3	Cahier des charges du stage	8
3.1	Les missions du stage	8
3.2	Aspects théoriques : les principes scientifiques utilisés	9
3.2.1	La pédologie	9
3.2.2	La cartographie SIG	11
3.2.3	L'aménagement du territoire urbain	11
4	Stratégie choisie et moyens mis en oeuvre	13
4.1	Etat des connaissances sur la problématique posée	13
4.1.1	L'évaluation de l'offre en services écosystémiques	13
4.1.2	Les Infrastructures Linéaires de Transports	15
4.2	Les entretiens des gestionnaires d'ILTe	16
4.2.1	Objectifs des entretiens	16
4.2.2	Présentation des entretiens menés	17
4.3	Construction d'une typologie d'occupation des sols	19
4.4	Scores associés aux SE via des mesures terrain	20
4.4.1	Etape 1 : Choix des SE et des indicateurs de mesure	21
4.4.2	Etape 2 : Sites de mesures sélectionnés	26
4.4.3	Etape 3 : Protocole de mesure	29
4.4.4	Etape 4 : Méthodes d'analyse des résultats	33
4.5	Cartographies de l'offre en services écosystémiques	43
5	Présentation des résultats et discussions	44
5.1	Analyse des entretiens menés	44
5.1.1	Grille de lecture des entretiens	44
5.1.2	Restitution des entretiens : les profils d'usages d'ILTe	45
5.2	Définir les contraintes d'usage via la typologie d'occupation des sols	51

Table des matières

5.3	Scores associés aux SE à partir des analyses terrain	53
5.3.1	Résultats des analyses	53
5.3.2	Scores associés aux indicateurs	64
5.4	Cartographie des SE rendus par les sols urbains	66
5.4.1	Cartographie des occupations en lien avec les contraintes usages	66
5.4.2	Cartographie des SE rendus par les sols urbains selon les occupations du sol	68
5.4.3	Le cas du tram T10	69
6	Conclusion	71
7	Annexes	80

1 Introduction

En 2020, 55% de la population mondiale vivait en ville, soit 4,2 milliards d'être humains. Selon les prédictions, d'ici 2050 le nombre actuel de citoyens devrait doubler, et pratiquement 7 personnes sur 10 dans le monde vivront en milieu urbain (Banque Mondiale, 2020). Avec près de trois quarts des citoyens de l'Union Européenne et plus de 80% de la population française qui vit en ville, l'Europe et la France ne font pas exception à la règle (INSEE, 2019). Après un nouvel épisode de canicule et sécheresses estival lors de cet été 2022, une énième série d'incendies ravageant les espaces forestiers et la multiplication des épisodes d'inondations dûs à des pluies diluviennes, on constate une nouvelle fois que les villes sont particulièrement exposées aux risques de catastrophe et aux risques climatiques. Le développement des villes durables répond à un besoin pressant en matière d'adaptation aux effets des dérèglements climatiques. Dans un contexte mondial d'urbanisation croissante, d'érosion de la biodiversité et d'intensification des pressions sur les ressources naturelles, la prise en compte de l'environnement dans l'aménagement urbain devient un enjeu incontournable pour rendre les villes viables et plus durables. Réguler et prévenir les îlots de chaleur urbains, l'érosion des sols, les inondations ou encore les pollutions est alors au coeur des préoccupations contemporaines. Les scientifiques et les urbanistes intègrent aujourd'hui ces objectifs dans leur stratégie de développement des aires urbaines.

Au coeur de cette question urbaine, les infrastructures linéaires de transports et leurs emprises (ILTe) sont des éléments clés du paysage urbain : voies ferrées, autoroutes urbaines, transport d'électricité voire même transport fluvial. En France métropolitaine, elles représentent presque 30% du total des surfaces artificialisées [Kraszewski, 2019] et semblent offrir un corridor potentiel de biodiversité urbaine [Clevenot et *al.*, 2017]. Les écosystèmes fournissent des biens et des services essentiels à l'Homme : la végétation urbaine, qu'ils s'agissent d'arbres, de parcs, de toits végétalisés, de jardins ou de forêts urbaines, contribuent à atténuer les températures estivales extrêmes ou les crues lors de fortes précipitations, à améliorer la qualité de l'air ou encore à réduire le bruit. Le potentiel des villes à rendre des services écosystémiques, notamment à accueillir la biodiversité, est sous-exploité. De plus, les écosystèmes urbains sont fortement dépendants des sols qui construisent la ville. Ces sols sont une ressource précieuse, capables de rendre de précieux services mais sont cependant insuffisamment pris en compte dans le développement de la ville durable. Les sols urbains sont souvent scellés par le bâti, les routes et le peu de sols à l'air sont

caractérisés par de très fortes variabilités. Il est donc bien plus commun de trouver dans les villes des sols très dégradés par la compaction ou la pollution notamment dans les friches ou aux abords d'infrastructures, que des sols très fonctionnels dans certains parcs ou jardins [Greinert *et al.*, 2017].

Le projet de recherche ITTECOP-SEMEUR, porté par un consortium de partenaires dont font partie la Métropole de Lyon et l'entreprise Valorhiz, répond à un besoin de développer les approches biodiversité-climat en matière d'aménagement. Il se focalise sur la capacité des ILTe à accueillir et à maintenir des services écosystémiques urbains par une restauration écologique de sols. Ainsi, il a pour objectif le développement d'une méthodologie d'analyse de l'offre et de la demande en services écosystémiques du milieu urbain afin d'inciter les infrastructures linéaires de transport à contribuer à la restauration écologique du territoire. Il s'appuie, pour cela, sur la commune de Saint-Fons en banlieue lyonnaise, comme territoire d'étude du projet. Le but global de ce stage est de participer au développement de la méthodologie d'évaluation de la capacité des infrastructures linéaires de transport à répondre à la demande en service écosystémiques du milieu urbain. Ainsi, l'objectif premier du stage est de réaliser une typologie fonctionnelle d'occupation des sols de la zone d'étude en lien avec leur capacité à fournir des SE. Le second objectif du stage est de contribuer à la cartographie de ces services écosystémiques rendus par les sols des ILTe sur la zone d'étude.

Ce rapport présente le travail accompli durant le stage de fin d'études. Après une rapide présentation des structures d'accueil, une remise en contexte sera effectuée, donnant le cadre global du projet SEMEUR. La problématique globale et les résultats attendus du stage seront ensuite spécifiés. Le rapport se poursuivra par une présentation des grands domaines d'application de ce stage : la pédologie, la cartographie SIG et l'aménagement des territoires. Quelques explications théoriques seront ensuite fournies en détaillant l'état des connaissances sur la problématique posée, notamment à propos de l'évaluation des services écosystémiques et des infrastructures linéaires de transport. La stratégie choisie sera ensuite détaillée étape par étape ainsi que les différentes solutions retenues et les moyens utilisés pour leur mise en oeuvre. Enfin, les résultats obtenus à l'issue de chaque étape seront présentés et discutés.

2 Contexte du stage

2.1 *Présentation des structures et services d'accueil*

2.1.1 Le service Patrimoine Végétal de la Métropole de Lyon

La Métropole de Lyon est une collectivité locale unique en France née le 1er janvier 2015 suite à la fusion de la communauté urbaine de Lyon et du conseil général du Rhône. Elle rassemble 59 communes réparties sur 538 km² et son conseil métropolitain est aujourd'hui composé de 165 élus. Aujourd'hui, 1 402 326 habitants vivent sur le Grand Lyon et il dispose de compétences dans les domaines suivants : gestion des déchets, environnement et écologie, stratégie alimentaire, urbanisme, collège, prospective et dialogue public et santé. Le stage s'est déroulé au sein du service Patrimoine Végétal et de l'équipe Nature et conseil de la Métropole de Lyon. L'encadrement du stage a été réalisé par Pascal Goubier, directeur adjoint du Service Patrimoine Végétal, qui coordonne la tâche 1 du projet SEMEUR. D'autres membres de l'équipe du Service Patrimoine Végétal ont été un appui important dans le cadre du stage notamment Hind Nait-Barka, paysagiste-conceptrice, et Anaïs Henry, chargée d'étude de la végétalisation de l'espace public.

2.1.2 L'entreprise Valhoriz

L'entreprise Valhoriz est une PME innovante spécialisée en requalification de friches urbaines, industrielles ou agricoles via une ingénierie écologique intégrant la valorisation des sols en place ou la reconstruction de sols fonctionnels dans le cadre de l'économie circulaire. L'expertise de Valhoriz sur le projet SEMEUR fait notamment suite à plusieurs projets portés par Valhoriz autour des infrastructures de transport d'une part et des friches urbaines d'autres part (notamment les projets TalVeg, TalVeg2, REBU, BioTUBES). Ces projets de RD collaborative ont permis de développer des méthodes de suivi et d'évaluation des sols reconstruits intégrant les services écosystémiques et de développer des filières innovantes de revalorisation des friches. Pour mener à bien le projet SEMEUR, Valhoriz a mobilisé son équipe RD constituée d'ingénieurs et chercheurs spécialistes des sols et des écosystèmes, notamment Olivier Taugourdeau chargé d'encadrer le stage côté Valhoriz, de pédologues (Elian Escande, Jérôme Nespoulous et Yannis Pittatore), de techniciens laboratoire (Thibault Douady, Julie Berder et Laurène Robert) et d'un géomaticien (Quentin Hamzaoui) pour la production des cartes SIG. Leurs contributions seront explicitées dans la suite du présent rapport.

2.2 Présentation du projet SEMEUR

2.2.1 Du Plan Canopée au projet SEMEUR

Initié en 2017, le Plan Canopée [Todaro et *al.*, 2019] est la déclinaison opérationnelle de la Charte de l'Arbre [Ségur et *al.*, 2011], mise en place en 2011. Il s'agit d'un dispositif territorial partenarial associant à ce jour plus de 120 acteurs publics, privés et associatifs de la métropole de Lyon. Le Plan Canopée fédère l'ensemble des initiatives et contributions des signataires de la Charte de l'arbre. Il propose des actions concrètes, des objectifs quantifiés et des moyens permettant par ce biais de répondre aux enjeux d'adaptation au changement climatique préconisés par le Plan climat du Grand Lyon. Réactualisé en 2020, le Plan Canopée s'articule autour de 4 axes stratégiques majeurs :

- (i) pérenniser et développer le patrimoine arboré,
- (ii) améliorer la santé et la mobilisation des citoyens,
- (iii) fédérer les professionnels autour du Plan Canopée,
- (iv) développer la recherche et l'innovation en faveur de la Canopée.

Ces axes sont déclinés en 30 actions qui concourent toutes à protéger et à développer la canopée du territoire de la métropole de Lyon. Le plan est marqué par l'interdisciplinarité et l'association de plusieurs disciplines (climatologie, hydrologie, sociologie, pédologie, géographie, économie, etc.).

Le projet scientifique SEMEUR a été lancé en septembre 2020 et entre dans le cadre du programme de recherche ITTECOP (Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages) piloté par le ministère de la Transition écologique [Cadre méthodologique du projet ITTECOP-SEMEUR, 2020]. Il s'insère dans le Plan Canopée, afin de cibler les actions prioritaires et d'accompagner les acteurs de la commune de Saint-Fons dans la transformation de leurs Infrastructures linéaires de transports et leurs emprises (ILTe). Les connaissances générées dans le projet SEMEUR seront valorisées pour orienter les choix d'aménagement en terme de stratégie (où, quoi, avec qui planter) et d'itinéraires techniques (dépollution de sols en amont de la plantation).

Le projet SEMEUR présente donc l'opportunité d'initier des coopérations avec des structures de recherche et de favoriser le dialogue entre expertises pour déployer le Plan Canopée, car il soutient directement (et indirectement) plusieurs actions comme celle d'associer le développement des mobilités à celui de la Canopée, de développer une stratégie de sols fertiles ou encore de promouvoir une économie de la Canopée.

2.2.2 Un territoire d'étude : la commune de Saint-Fons

Saint-Fons est la commune pilote sélectionnée par le Grand Lyon pour la déclinaison opérationnelle du dispositif Plan Canopée, et la zone d'étude choisie dans le cadre du projet SEMEUR. Il s'agit d'un ancien hameau de Vénissieux créée en 1888, alors que le territoire connaissait une forte augmentation de sa population. Le développement économique était également important, en raison de l'implantation de nombreuses usines. La ville a poursuivi son développement économique et démographique tout au long du XXe siècle et la totalité du territoire est aujourd'hui urbanisé. Les communes limitrophes sont Lyon 7e, Lyon 8e au nord, Vénissieux à l'est, Feyzin et Irigny au sud, Pierre-Bénite à l'ouest.

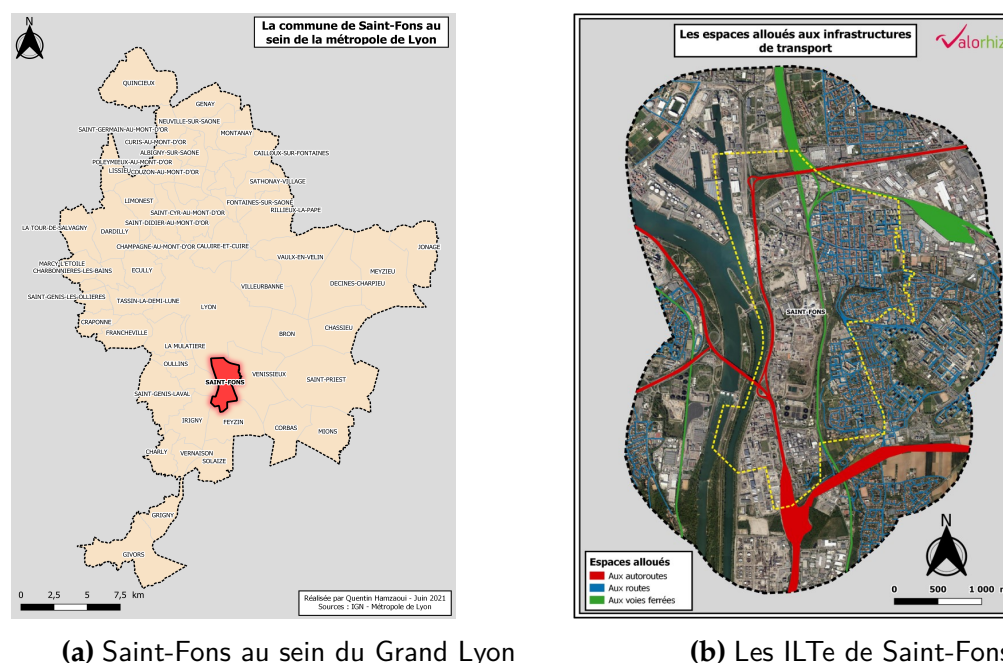


FIGURE 1 – La commune de Saint-Fons et ses ILTe

La population communale de Saint-Fons s'élève à 18 556 habitants, avec une densité de 2881,7 hab/km². Saint-Fons présente une forte dynamique démographique. Le poids des quartiers prioritaires de la ville (QPV) est prépondérant, car ils représentent 45% des habitants de la commune. La part des habitants vivant en QPV et en quartier de veille active atteint 85% de la population. Saint-Fons est une commune fortement marquée par un niveau de précarité significatif à l'échelle de l'ensemble de la métropole.

Dans le Plan Canopée, Saint-Fons fait partie des territoires de la métropole fortement carencés [Grand Lyon, 2018]. En effet, la canopée ne représente que 15% de son territoire. Dans cette commune, le Plan Canopée a pour enjeux principaux de lutter contre les îlots de chaleur, de pallier au manque d'espaces de nature accessibles à la population, et de participer à la création d'emplois en favorisant le développement local de la filière paysage. Le taux de chômage est deux fois plus élevé que la moyenne de la métropole, et 40% des jeunes sont demandeurs d'emplois.

Saint-Fons accueille de nombreuses infrastructures de transport et de projets d'aménagement dans un territoire de 6,1 km². Les enjeux socio-économiques et environnementaux à Saint-Fons et les impacts des ILTe placent ce territoire comme un site d'expérimentation idéal pour concevoir la déclinaison des actions du Plan Canopée en faveur de la transformation du paysage et de la contribution des ILTe à la végétalisation d'un territoire.

2.2.3 Objectifs du projet et acteurs impliqués

Le projet SEMEUR aborde la question de la capacité des infrastructures de transport et leurs emprises (ILTe) à répondre à la demande en services écosystémiques du milieu urbain. Il prend en compte non seulement des aspects de la demande et de l'offre de services écosystémiques mais aussi du système d'acteurs d'un territoire urbain. Ses objectifs du projet sont les suivants :

- Développer une méthodologie d'évaluation de la demande en SE d'un territoire urbain ;
- Evaluer la capacité des infrastructures de transport et de leurs emprises à répondre, en partie, à ces demandes à travers la refonctionnalisation écologique des sols et la végétalisation de la ville ;
- Evaluer dans quelle mesure et avec quels moyens — techniques, financiers, réglementaires et organisationnels — un territoire peut accueillir un projet de renaturation.

Le projet se découpe en trois tâches pour une durée de trois ans :

La **tâche 1** concerne l'offre de services écosystémiques et mobilise des méthodes basées sur le vivant, dites de génie écologique et de refonctionnalisation des sols. Le principe est d'améliorer leur fonctionnement à travers des interventions ciblées sur les sols (descellement, décompaction, éventuellement amendements) et l'introduction d'espèces végétales et microbiennes adaptées et locales.

Les contributions des ILTe à la restauration écologique des forêts urbaines et la végétalisation de la ville seront modélisées et valorisés. Cette tâche est copilotée par le Grand Lyon et Valorhiz dont Pascal Goubier et Olivier Taugourdeau sont les chefs de projet et respectivement encadrants du présent stage.

La **tâche 2** concerne la demande de services écosystémiques. Le projet a été pensé pour mobiliser des méthodes économiques d'évaluation monétaire de la demande en SE, plus précisément la méthode d'expérience de choix (Discrete Choice Experiment). Ces méthodes sont capables de révéler les préférences des habitants/usagers et monétariser la valeur qu'ils accordent aux SE d'un territoire urbain, qui n'ont pas de prix en l'absence de marché..

La **tâche 3** concerne l'analyse du système des acteurs du territoire. Le projet SEMEUR a pour but d'incorporer une étude du marché immobilier de la ville de Saint-Fons (et des villes environnantes) et des diagnostics territoriaux afin de mettre en lumière les impacts de ILTe dans les dynamiques urbaines. Le projet cherchera à sensibiliser les acteurs du territoire aux projets de renaturation et végétalisation du Plan Canopée. Cette analyse s'intéresse en particulier au rôle des promoteurs immobiliers.

Le projet SEMEUR vise également à identifier les leviers d'actions adaptés à chaque type d'infrastructures. En fonction de l'état initial des sols déterminés dans le cadre de la tâche 1, l'objectif est de proposer des scénarios de végétalisation adaptés. Les résultats du projet, en plus de contribuer au Plan Canopée, seront mis à disposition des gestionnaires afin d'améliorer le processus de prise de décision.

L'équipe du projet SEMEUR réunit des économistes de l'environnement (AgroParisTech, ESPI Paris, INRAE), des écologues/agronomes spécialistes des services rendus par les sols urbains (Valorhiz), des experts dans les diagnostics territoriaux (ESPI Lyon) et le service Arbre et paysage du Grand Lyon (Métropole de Lyon).



3 Cahier des charges du stage

3.1 Les missions du stage

L'objectif du stage réside exclusivement dans la tâche 1 du projet SEMEUR, et inversement, la bonne réalisation de la tâche 1 du projet s'appuie en grande partie sur les avancées du présent stage. Les missions du stage avaient été dimensionnées en visant comme objectifs :

- L'analyse des besoins et la formalisation du périmètre de travail de la tâche 1 du projet SEMEUR.
- La réalisation d'une typologie fonctionnelle d'occupation des sols de la zone d'étude de Saint-Fons et de son buffer, en lien avec leur capacité à fournir des SE.
- La proposition, sur la base de mesures terrains et de la littérature, de valeurs nominales pour l'offre en Services Ecosystémiques.
- La contribution à la production d'une carte d'occupation des sols de la zone d'étude sur la base de la typologie proposée. Cette étape s'appuie à la fois sur les données disponibles (cadastre, Corine Land Cover), sur le traitement automatisé d'orthophotos récentes via la technologie innovante Cassia(r) de Valorhiz et sur les résultats obtenus sur le terrain. La résolution visée est métrique.

La réalisation de la première mission du stage a permis une réelle appropriation des enjeux du projet SEMEUR et du rôle du stage pour mener à bien la tâche 1. En effet, la contribution du stage a été prépondérante dans le cadre de la tâche 1.

Les résultats attendus de la tâche 1 du projet SEMEUR et du stage sont donc les suivants :

- Une carte d'occupation des sols avec une typologie basée sur la capacité à fournir des services écosystémiques.
- Des valeurs nominales associées aux services écosystémiques pour chaque type d'occupation de sols et les références utilisées.

Nous le verrons par la suite, seule la mission attrayant à la proposition de valeurs nominales associées à l'offre en SE a été modifiée au cours du stage.

Voici, dans les grandes lignes, le planning du stage.

Activités	2022																																			% du stage							
	avril					mai					juin					juillet					août					septembre																	
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																	
Gestion de projet et administratif	Lyon - Montpellier																																			10%							
Formalisation du périmètre de travail																																						10%					
Entretiens des gestionnaires d'ILTe																																						10%					
Choix des services écosystémiques (SE)																																						5%					
Choix des indicateurs et protocole de mesure																																						5%					
Prélèvements terrain																																					10%						
Manip laboratoire des échantillons prélevés																																					10%						
Analyse des résultats des manip et scores associés																																										15%	
Cartographies des contraintes d'usage et des scores																																										10%	
Capitalisation des avancées du stage et transmission																																											15%
																																						TOTAL	100%				

FIGURE 2 – Planning réalisé du stage. Localisations en couleur : Montpellier (jaune), Lyon (bleu), Mixte (vert)

3.2 Aspects théoriques : les principes scientifiques utilisés

3.2.1 La pédologie

Par définition, la pédologie est la science du sol. Elle étudie l'origine des constituants du sol et leurs propriétés liées aux facteurs du milieu et à l'histoire du sol. Le sol est une interface dynamique essentielle dans l'environnement entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il est issu de la dégradation des organismes vivants dans le sol et à sa surface (biosphère) qui fournit de la matière organique, et l'altération des roches (lithosphère) qui apporte la matière minérale : argiles, limons, sables, éléments grossiers. L'ensemble des processus conduisant à la formation et à l'évolution des sols est appelé pédogenèse. La pédogenèse est lente : il faut environ 300 ans pour former 1 cm de sol. Tandis qu'ils s'épaississent, les sols tendent également à se différencier verticalement par transformation et réarrangement de leurs composants. Cette variabilité verticale, observable par une succession de couches appelées horizons, diffère en fonction des situations environnementales : climat, relief, organismes vivants, lithologie. Cela génère une très grande diversité de sols.

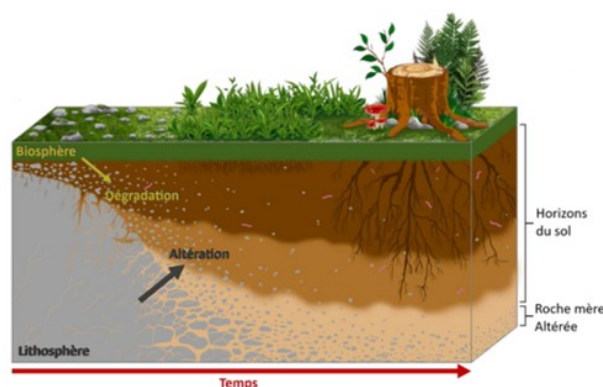


FIGURE 3 – Le sol et son évolution au cours du temps. Source : C. Ducommun et E. Lucot, 2017.

Les sols sont une ressource non renouvelable à l'échelle humaine, ce qui en fait un élément incontournable à prendre en compte en matière d'écologie. En effet, de grands enjeux planétaires sont liés aux sols : sécurité alimentaire, changement climatique, accaparement des terres, urbanisation, artificialisation, gestion de l'eau, etc.

Ainsi, la pédologie a une place importante dans la tâche 1 du projet SEMEUR et donc dans ce stage. En effet, la compréhension du fonctionnement d'un sol et des enjeux environnementaux qui y sont liés ont permis de sélectionner les SE pertinents dans le contexte d'évaluation des services rendus par les sols. De plus, comme détaillé dans la partie 4 du présent rapport, des mesures terrain (prélèvements d'échantillons de sols et analyse en laboratoire) ont été réalisées sur la base d'indicateurs choisis pour évaluer les différents SE sur la zone d'étude. Pour ces raisons, une formation sur la composition et le fonctionnement d'un sol a été dispensée lors de la première semaine du stage par un pédologue de Valorhiz, formateur à l'Union Professionnelle du Génie Ecologique (UPGE).

La pédologie s'appuie sur une analyse à différentes échelles d'observation qui peuvent être celles d'un territoire, par exemple une région entière ; des pédopaysages qui délimitent de façon simplifiée des unités pédo-géomorphologique à grande échelle ; l'échelle parcellaire ; l'analyse des profils (ou horizons) de sols ou enfin, une analyse plus précise des échantillons de sols prélevés, aux échelles macro et micro. Les bases analytiques de la pédologie sont variées : analyses physiques ; analyse élémentaire par voies chimiques et spectrométrie ; in situ, analyses minéralogiques et cristallographiques ; biochimie des substances humides et techniques de microbiologie. Dans le cadre du stage SEMEUR, les échelles qui seront privilégiées sont l'observation des pédopaysages afin de délimiter les différentes modalités de sols étudiées aux abords d'infrastructures ;

l'échelle parcellaire, afin de définir, en se basant sur l'homogénéité des modalités, les différentes répétitions lors des mesures terrain ; et enfin, l'échelle des échantillons de sol qui seront analysés en laboratoire selon plusieurs tests.

3.2.2 La cartographie SIG

L'objectif d'un Système d'Information Géographique est d'aider les organisations et les collectivités à optimiser la prise de décision relative à l'aménagement territorial, notamment à la gestion des équipements et des infrastructures et le diagnostic de végétalisation du milieu urbain. Un système d'information géographique (SIG) est un système servant à modéliser, analyser et cartographier tous les types de données souhaités. Il peut s'agir, par exemple, de cartographier les données de température afin d'analyser les îlots de chaleur et de fraîcheur d'un territoire, ou, dans un autre registre, d'étudier l'association entre l'exposition à une pollution chronique et un événement de santé. Le SIG rassemble les données provenant de sources diverses, les connecte à une carte afin d'intégrer aux données de localisation tous types d'informations descriptives.

Les documents cartographiques SIG sont des outils sur lesquels il est intéressant de s'appuyer pour préciser les éléments d'un projet d'aménagement. Ils servent à faciliter la compréhension des études, notamment dans l'objectif de localiser avec précision la présence d'habitats naturels ou d'espèces faunistiques et floristiques, de délimiter les éléments des trames verte et bleues, les zones humides ou encore de définir la vocation de certains espaces. Parmi les logiciels de SIG les plus connus on retrouve QGIS, MapInfo, Autocad Map 3D, qui peuvent servir à la création de bases de données faune-flore, à la cartographie des habitats ou de l'occupation des sols par photo-interprétation, à la délimitation de zones humides, ou encore à l'analyse de la consommation d'espace pour les documents d'urbanisme.

Des connaissances sur les outils de cartographie (notamment QGIS) ont été sollicitées dans le cadre du stage. Les objectifs de la cartographie et les outils utilisés seront détaillés par la suite du rapport.

3.2.3 L'aménagement du territoire urbain

L'aménagement du territoire désigne l'ensemble des politiques mises en œuvre pour encadrer ou orienter les évolutions d'un territoire. Il s'agit de répartir harmonieusement sur le territoire national les hommes, les activités, les

infrastructures de transport, etc. en corrigeant les déséquilibres géographiques entre régions, entre villes et campagnes, entre zones dynamiques et zones déshéritées. L'aménagement du territoire s'appuie sur des prises de décisions politiques et d'un contexte historique, social, environnemental, et se trouve être l'une des formes de l'appropriation d'un territoire. Ses champs d'application sont divers : armatures et réseaux urbains ; planification et priorités en matière d'infrastructures et d'équipements structurants ; relocalisation des activités productives ; préoccupations écologiques, etc.

Dans le cadre du projet SEMEUR, le focus est fait sur les infrastructures de transport et leurs emprises (ILTe), des éléments clés du paysage urbain : voies ferrées, autoroutes urbaines, transport d'électricité voire même transport fluvial. Ces infrastructures présentent à la fois des emprises conséquentes et un niveau d'artificialisation important [Kraszewski, 2019]. En France métropolitaine, les infrastructures de transport représentent 27,8% du total des surfaces artificialisées, et les réseaux routiers 23,9% [Fosse et *al.*, 2019]. Clevenot et *al.* (2017) ont montré pour le cas du Grand Paris comment les ILTe offrent un corridor potentiel pour la biodiversité urbaine. D'autres ont recensé des impacts négatifs [Seiler, 2001] et positifs ([Ranta, 2008] ; [Penone et *al.*, 2012]) des ILTe. Mettre en évidence ces impacts facilite l'intégration des ILTe dans les écosystèmes urbains ([Savard et *al.*, 2000]).

Le projet SEMEUR aborde les territoires sous l'angle des systèmes socio-écologiques urbains ([Folke, 2006] ; [Colding et Barthel, 2019]). L'enjeu pour les socio-écosystèmes urbains est de trouver un équilibre durable entre l'aménagement du territoire, notamment les ILTe, et le maintien des fonctions écologiques assurées par la biodiversité (voir en annexes Fig.46). Les systèmes socio-écologiques sont marqués par une dualité entre le besoin d'accueillir toujours plus de personnes sur un territoire restreint et celui de donner un cadre de vie de qualité aux habitants en s'appuyant en particulier sur les fonctions récréatives et de régulation apportées par la biodiversité [Bretagnolle et *al.*, 2020].

4 Stratégie choisie et moyens mis en oeuvre

4.1 Etat des connaissances sur la problématique posée

4.1.1 L'évaluation de l'offre en services écosystémiques

Emprunté au monde de l'économie, le terme **service écosystémique** a été proposé pour la première fois en 1997 par un article fondateur [Costanza et al., 1997]. Sa définition était alors : *"les biens et les services de l'écosystème représentent les bénéfices que les populations humaines tirent, directement ou indirectement, des fonctions de l'écosystème"*. Cette définition, qui a été largement discutée depuis, présente le mérite de décrire clairement les SE comme les bénéfices finaux auxquels les populations ont directement accès du fait du fonctionnement des écosystèmes et reposent sur une considération de la nature centrée sur l'humain. Ils sont *"les contributions que les écosystèmes ont sur le bien-être humain"*, d'après la définition du rapport du Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). Le groupe de travail EFESE (évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques) définit les biens et services écosystémiques comme des *"avantages socio-économiques retirés par l'Homme de son utilisation durable des fonctions écologiques des écosystèmes que l'Homme peut éventuellement modifier ou exploiter en apportant du capital ou du travail"* [Puydarrieux et al., 2017]. Dans les publications scientifiques, les services rendus par les écosystèmes sont souvent présentés sous formes de listes et de classifications. Comme visible dans la Fig.4, trois catégories de services écosystémiques sont généralement reconnus dans ces listes :

- Les services d'approvisionnement sont à l'origine des «produits finis» que l'on peut extraire des écosystèmes, tels que la nourriture, les différents matériaux et fibres naturels, etc.
- Les services de régulation sont ceux, non matériels, contribuant plus indirectement au bien-être de l'Homme à travers les fonctions de régulation des écosystèmes, telles que la régulation du climat ou des incendies, mais aussi le maintien de cycle de vie et d'écosystème.
- Les services culturels sont liés aux différentes valeurs immatérielles que l'on peut attribuer aux écosystèmes, une valeur esthétique, symbolique (comme les valeurs emblématiques) et récréative, telles que les activités de pleine nature (chasse, pêche, randonnée, etc.).

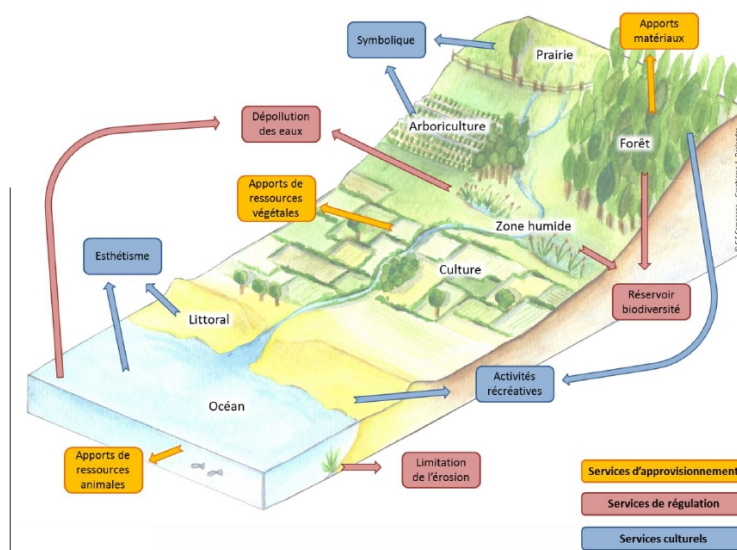


FIGURE 4 – Illustration des services écosystémiques les plus produits par les écosystèmes. Source : C.S. Campagne- Graphisme A. Deslandes

Une des premières classifications des différents services écosystémiques vient du *Millennium Ecosystem Assessment*, selon lequel il est possible de rajouter à ces 3 catégories les services de support ou de soutien [Reid et al., 2005]. Ce sont les services nécessaires à la production des autres services. Ils créent les conditions de base au développement de la vie sur Terre (formation des sols, production primaire, air respirable, etc).

Services de production	Services de régulation	Services de soutien	Services culturels
= Les produits qui sont fournis par les écosystèmes	= Les avantages des processus de régulation des écosystèmes	= Les services qui sont essentiels pour d'autres services	= Les avantages immatériels des écosystèmes
Eau pure	Epuration de l'eau	Cycle de l'eau	Tourisme et loisirs
Nourriture	Purification de l'air	Photosynthèse	Inspiration
Matériaux de construction	Limitation des inondations	Production primaire	Enrichissement intellectuel
Médicaments	Régulation du climat	Cycles des nutriments	Détente et relaxation
Combustibles	Lutte contre l'érosion	Formation du sol	

FIGURE 5 – Classification des Services Ecosystémiques issue du Millennium Ecosystem Assessment. Source : MEA

Ces classifications s'adaptent de plus en plus au contexte de l'étude, notamment lorsque l'on se réfère aux services rendus par les écosystèmes urbains. Jusqu'à présent, les études portant sur les fonctions et les SE ont surtout

porté sur les milieux naturels (forêt et habitat aquatique) ou modérément anthropisés (agricoles). La transposition du concept de services écosystémiques dans l'environnement urbain et l'aménagement du territoire est plutôt récente [Bolund et Hunhammar, 1999]. Quelque soit la classification choisie, un des enjeux actuels pris en main par les différents acteurs est de pouvoir relier ces services aux fonctions et propriétés du sols et d'identifier les indicateurs par lesquels il va être possible de mesurer ces services. Une partie du stage a donc consisté à définir les Services Ecosystémiques à prendre en compte dans le cadre du projet SEMEUR, c'est à dire un cadre urbain qui se concentre sur les ILTe, puis à y associer des indicateurs de mesures des fonctions du sol.

4.1.2 Les Infrastructures Linéaires de Transports

Les infrastructures linéaires de transport sont définies comme des "*installations fixes destinées au transport de voyageurs ou de marchandises, de longue distance et de proximité.*" [Commissariat général au développement durable, 2018]). Ces infrastructures linéaires de transport (ILT) prennent différentes formes selon le type de besoin de transport auxquelles elles répondent. Il peut s'agir d'un réseau routier (autoroutes concédées ou non ; routes nationales/départementales/comunales), d'un réseau ferroviaire, d'un réseau ferré de transport urbain (métros et RER), d'un réseau fluvial, réseau de transport d'électricité, d'un réseau de transport de gaz (conduites) ou encore d'un réseau de transport aérien.

Nous l'avons vu plus haut, les ILTe constitue un élément stratégique de l'aménagement du territoire, en formant, à vaste échelle, un réseau de lignes qui connectent les différentes zones géographiques et permettent le transport de personnes et de marchandises. Si l'on regarde de plus près, une ILT est une bande de largeur variable constituée de plusieurs zones identifiables comme l'on peut voir sur les schémas du CILB¹. Les axes à grande vitesse tels que les autoroutes ou les lignes ferroviaires forment une coupure dans le paysage, de plusieurs dizaines de mètres par endroits, comprenant la chaussée, les rails ou la route, les accotements, et les bandes enherbées latérales jusqu'aux clôtures lorsqu'il y en a. Plus cette bande est large, plus elle est fréquentée, plus la vitesse des véhicules est élevée, et plus la barrière écologique qu'elle constitue est difficile et dangereuse à franchir pour les espèces animales. Ces infrastructures offrent souvent un potentiel d'accueil de biodiversité végétale, mais sont souvent sous-exploitées.

1. <https://www.cilb.fr/les-infrastructures-lineaires>

4.2 Les entretiens des gestionnaires d'ILTe

Une des premières missions du stage a été d'identifier un maximum d'infrastructures linéaires de transport présentes sur le territoire de la commune de Saint-Fons (en comptant un buffer d'un kilomètre autour des limites communales).

Type d'infrastructure	Géré par	Précisions infrastructure
Réseau routier	Métropole de Lyon	D383
	Mairie de Saint-Fons	D307
	Métropole de Lyon	M7 (anciennement A7)
Réseau ferroviaire	SNCF	Gare de Saint-Fons et lignes TER
Réseau électrique	Enedis	Lignes électriques
	RTE	Postes électriques
Réseau fluvial	Compagnie Nationale du Rhône (CNR)	Rhône
Réseau tramways	Mairie de Saint-Fons	Tram T10
	Métropole de Lyon	Tram T10
Réseau pipelines	Solvay	Usine Seveso Seuil Haut et Centre R&S RICL
	KemOne	Usine Seveso Seuil Haut
	Polytechnil SAS (DOMO Chemicals)	Usine Seveso Seuil Haut
	Elkem Silicones	2 sites Seveso Seuil Haut

FIGURE 6 – Tableau résumé des infrastructures de transports et de leurs emprises sur le territoire d'étude.

On retrouve dix différents types de réseaux : routier, ferroviaire, électrique, fluvial, tramways et pipelines (qui prend en compte les oléoducs et gazoducs). Il a d'abord fallu faire un état des lieux des infrastructures et déterminer les gestionnaires. Le tableau suivant résume cette identification.

4.2.1 Objectifs des entretiens

S'en est suivie une période de prise de contact avec les différents représentants de ces infrastructures afin de fixer des entretiens. L'objectif de ces mises en relation a été double. Premièrement, échanger sur les contraintes d'usage de chaque type d'infrastructure afin d'évaluer le champs des contraintes et les opportunités en termes de refunctionalisation des sols. Les contraintes d'usage, qui seront explicitées par la suite, se définissent comme des zones sur lesquelles l'aménagement des ILTe impose des conditions en termes notamment de végétation acceptée (hauteur, largeur, profondeur, conditions de maintenance, pente, etc.). Ces entretiens ont été analysés et restitués sous forme de profils d'ILTe résumant les contraintes d'usages et les aménagements possibles en terme de couverture végétale. Ils serviront à alimenter la matrice croisée entre les contraintes

d'usage et la typologie d'occupation des sols qui sera présentée plus loin. Ces profils se veulent génériques pour le type d'infrastructure étudié et non pas spécifique au fonctionnement des infrastructures du Grand Lyon. Ils peuvent donc, à priori, s'appliquer à tout le territoire national.

Le deuxième objectif de ces entretiens est d'échanger sur la possibilité de réaliser des prélèvements terrain pour caractériser ces sols et mesurer les services écosystémiques. Quand la phase terrain semble possible, le but était aussi d'identifier, en s'appuyant sur la connaissance terrain des gestionnaires, les zones intéressantes pour réaliser ces prélèvements et de se renseigner sur les contraintes d'accès et les consignes sécurité à appliquer. Au total, neuf entretiens ont pu être réalisés dans le cadre du stage.

4.2.2 Présentation des entretiens menés

Pour le **réseau électrique**, deux entretiens ont été menés. Le premier avec Jean-François Lesigne, attaché environnement du Pôle Gestion de l'Infrastructure chez RTE et représentant au Club infrastructures linéaires et biodiversité (CILB). Cet entretien a permis d'identifier les politiques RTE en termes de gestion de la biodiversité et d'avoir une présentation des projets expérimentaux autour de la déminéralisation. Le second entretien s'est déroulé avec Anne Bourgeret, responsable du projet "Foncier Futé", un projet intrapreneurial de chasse au gaspillage du foncier. Il s'agit de recenser, qualifier et verrouiller un inventaire du patrimoine RTE afin de lancer des projets de valorisation environnementale de ces espaces délaissés. Nous avons trouvé un point commun intéressant aux projets SEMEUR et Foncier Futé : l'identification de zones sur lesquelles il serait possible de proposer des scénarios de valorisation, notamment de refunctionalisation des sols. Malheureusement, après recherche, nous avons déterminé qu'il n'existe pas, sur la commune de Saint-Fons et son buffer, de délaissé foncier valorisable. Par ailleurs, une formation à l'habilitation au risque électrique (Pass RTE) a permis de comprendre les contraintes en termes de sécurité liées à la cohabitation entre la présence humaine et de végétation aux abords des lignes électriques.



Pour le **réseau ferroviaire**, une visioconférence a eu lieu avec Caroline Dechaume-Montcharmont, spécialiste Maîtrise de la végétation dans la région lyonnaise. Cet échange a permis de mieux comprendre les politiques de la SNCF en matière de gestion de la biodiversité et a pu aboutir à la sélection d'un site de mesure pertinent sur le territoire de Saint-Fons. L'analyse des entretiens et le site sélectionné seront présentés plus bas.



Pour le **réseau routier**, deux rencontres se sont déroulées. La première avec Gérard Volay, qui dirige une équipe de techniciens en charge de l'entretien, notamment des espaces-verts, pour les voies rapides et les tunnels au sein du Service Voiries et Tunnels de la Métropole de Lyon. Cet échange a permis d'identifier précisément les contraintes d'usages et de maintenance liées à la présence de biodiversité végétale aux abords des routes ainsi que la prise en compte de différents services écosystémiques dans les politiques de gestion. Ce premier entretien a permis la mise en relation avec un deuxième représentant des infrastructures routières, Ghazi Mehili, technicien en charge de l'entretien de la route départementale RD383 qui traverse Saint-Fons du Nord au Sud, côté Ouest. Cette entrevue a permis de se rendre sur le terrain pour visiter notamment les échangeurs routiers et visualiser les zones intéressantes pour réaliser des mesures. Elle a abouti à l'organisation d'une journée de prélèvement terrain et de tests in situ sur un échangeur routier de la RD383.

Pour le réseau de **pipelines** (gazoducs et oléoducs) malheureusement aucun entretien n'a pu aboutir. Le peu de disponibilité des gestionnaires industriels sollicités a été un frein important. Pour une plus grande représentativité des ILTe du territoire il serait intéressant de creuser cette piste. Des recherches ont néanmoins été faites afin d'identifier des contraintes d'usages pour ce type d'infrastructure. En effet, comme il est fréquent que des ILTe gazières croisent des infrastructures routières, ou électriques, il faut donc pouvoir croiser leurs contraintes d'usages. Par exemple, si à première vue il apparaît possible de proposer, sur une zone d'échangeur routier, une valorisation du type décompaction de sol et plantation d'arbres, mais qu'un gazoduc traverse la parcelle, il faudra pouvoir le prendre en compte dans le scénario d'aménagement.



Pour le **réseau fluvial**, un entretien a eu lieu avec Yves Lopez, délégué territorial de la Compagnie Nationale du Rhône. Il a permis, via une visite satellite grâce au logiciel CNR Maps, d'identifier l'intégralité des parcelles sous gestion CNR de la zone d'étude du projet SEMEUR, les contraintes d'usages liées aux infrastructures fluviales et les occupations de sols qui y sont associées. Nous le verrons ultérieurement, le choix des sites de mesures ne s'est pas porté sur une des parcelles du réseau fluvial. En effet, sur cette ILTe, les contraintes d'usage et la végétation permise semblent coïncider au mieux. Autrement dit, il ne semble pas possible de proposer des aménagements en termes de refonctionnalisation des sols et de végétalisation qui diffèrent de l'occupation du sol actuelle, du fait des contraintes d'usages.

Le cas du réseau de **tramway**, est un peu particulier, étant donné que le tram T10, qui traversera la commune de Saint-Fons par le nord, n'en est encore qu'au stade de l'avant-projet (AVP). Le réseau de tramway ne sera donc pas détaillé sous forme de profil ou analysé comme les autres réseaux. Néanmoins, deux entretiens ont été menés auprès de deux personnes impliquées dans l'AVP : le premier avec Philippe Baron, chef du service Nature et fleuves de la Métropole de Lyon en charge notamment de la maintenance de la végétation aux abords du réseau de tramways lyonnais ; le second avec Lydie Gharib, chargée de mission Habitat Mobilité Développement Durable à la mairie de Saint-Fons. Ces échanges ont pu amener à mieux comprendre les aménagements prévus pour le T10 en termes de suppression de végétation et de sols fonctionnels existants et de travaux de végétalisation. L'objectif, concernant le réseau de tramways, étant de réaliser un histogramme des profils et pertes en SE dus à l'aménagement du T10.

Saint-Fons

4.3 Construction d'une typologie d'occupation des sols

Le premier résultat attendu du stage est la réalisation d'une typologie d'occupation des sols, autrement dit une classification des différentes couvertures de sols qui sont représentatives des ILTe. La visualisation des couvertures de sol

par imagerie satellite, les visites des sites de Saint-Fons ainsi que les échanges avec les représentants d'infrastructures ont permis d'identifier huit classes d'occupation de sol urbain présentes sur Saint-Fons grâce auxquelles nous avons construit la typologie suivante :









Id classe	1	2	3	4	5	6	7	8
	Sol scellé		Sol semi-scellé			Sol non scellé		
	Imperméabilisé > 90%		Imperméabilisé entre 50% et 90%			Imperméabilisé < 50%		
Type de couverture du sol	Voie de circulation lisse (béton, goudron,...etc)		Voie de circulation non lisse (pavés, graviers,...etc)		Non bâti			Non bâti
	Sans végétation		Strate herbacée partielle		Sans végétation (sol nu : terre)	Strate herbacée uniforme	Strate arbustive (+haies)	Strate arborée
								

FIGURE 7 – Typologie d'occupation du sol illustrée. Source : CG

Ces huit classes sont réparties en trois catégories : sol scellé, sol semi-scellé et sol non scellé qui correspondent à des taux d'imperméabilisation différents. Les critères choisis pour réaliser les différentes classes sont la présence ou non, et le type, de bâti (béton, pavés, graviers, terre nue, etc.) ainsi que la présence ou non, et le type, de végétation présente (partielle, herbacée, arbustive, arborée, etc.).

4.4 Scores associés aux SE via des mesures terrain

Le deuxième résultat attendu du stage était la détermination de valeurs nominales associées à la capacité de fourniture de SE. Ces valeurs nominales devaient être déterminées à l'aide de la littérature existante ainsi que sur la base de mesures terrain. Est présentée, ci-après, la méthodologie mise en place afin d'associer, à l'évaluation des SE des valeurs nominales. Nous verrons par la suite que ces valeurs nominales ont peu à peu été abandonnées pour les remplacer par des scores associées aux différents SE. Les étapes présentées sont les suivantes :

- Le choix des SE à considérer pour les sols urbains des ILTe ainsi que les indicateurs de mesures permettant d'évaluer ces SE ;
- Le choix des sites de mesures ;
- Le protocole d'échantillonnage des mesures réalisées in situ ;
- Les méthodes d'analyse des résultats.

4.4.1 Etape 1 : Choix des SE et des indicateurs de mesure

La première étape a consisté, sur la base de la littérature existante, des éléments apparus durant les entretiens des représentants d'ILTe ainsi qu'en échangeant avec les experts pédologues et botanistes de Valorhiz, de déterminer quels SE sont à évaluer dans le cadre du projet SEMEUR.

Pour cela, il a tout d'abord fallu réaliser une recherche bibliographique approfondie des études basées sur l'évaluation des SE du sol en milieu urbain. Plusieurs résultats de projets ont été par ailleurs très utiles dans le choix des SE ainsi que la sélection d'indicateurs d'évaluation de ces services, parmi lesquels :

- Le projet Destisol, un projet de recherche et développement sélectionné par l'ADEME. Il se penche sur la mise au point d'une méthodologie améliorant la prise en compte des potentialités des sols dans la définition des programmes d'urbanisation. Dans le cadre du projet Destisol, une comparaison des classifications de SE sur la base de la littérature a notamment été présentée (voir en annexes la figure 47) [Cherel et *al.*, 2017]
- Le projet Bio-TUBES, financé par l'ADEME et porté par Valorhiz, le BRGM et Elisol environnement, qui visait à étudier les services écosystémiques rendus par les sols urbains réhabilités écologiquement. Ce travail a notamment permis de mieux comprendre les relations complexes entre fournitures de services écosystémiques (gestion de l'eau, séquestration du carbone, régulation du climat local, etc.) et fonctionnement des sols (rétention de l'eau, dynamique de la matière organique, biodiversité, etc.). [Taugourdeau et *al.*, 2021]
- Le projet RECORD (2018), financé par l'ADEME et porté par Biotope, Vertigo Lab et le BRGM, qui a trait à la mesure de la biodiversité et l'évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés. Le rapport méthodologique final présente notamment une liste d'indicateurs de services écosystémiques permettant de faciliter leur prise en compte et leur évaluation dans le cadre des mesures de restauration. [Baptist et *al.*, 2018]
- Le projet IDEFESE porté par l'EFESE, qui vise à proposer aux acteurs de l'aménagement urbain des méthodes d'évaluation pour une meilleure intégration des services écosystémiques dans leurs politiques publiques d'aménagement. Le rapport final propose notamment des fiches méthodologiques détaillées par service écosystémique urbain. [Tardieu et *al.*, 2021]
- L'étude commandée par la DREAL Haut-de-France et menée par l'INRAE qui a notamment abouti en un guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement

[Roche *et al.*, 2021] qui a pu être largement utile à la priorisation des SE à prendre en compte dans le milieu urbain.

Plusieurs études ont également été essentielles à la meilleure compréhension du contexte urbain :

Finalement, les SE retenus dans le cadre du projet SEMEUR sont les suivants :

Accueil de la biodiversité : les sols constituent un réservoir important de biodiversité. Cette dernière contribue au bon fonctionnement des écosystèmes à travers trois dimensions que sont (i) l'intensité des processus biogéochimiques (production primaire, décomposition, cycle des nutriments), (ii) la diversité fonctionnelle (présence d'organismes présentant des traits fonctionnels variés) et (iii) la structuration des habitats. Ces éléments de biodiversité peuvent par ailleurs être utiles à la conception d'indicateurs de bon état écologique de certains milieux. La biodiversité constitue, directement ou indirectement, le support pour l'expression de certains SE. C'est pour cela qu'il est courant de ne pas prendre en compte l'accueil de biodiversité comme un SE. Néanmoins, la biodiversité végétale nous est apparue essentielle à prendre en compte dans le projet SEMEUR du fait du contexte d'application du Plan Canopée du Grand Lyon.

Régulation du climat global : les sols et la végétation constituent les principaux réservoirs continentaux de carbone. Le rôle du carbone dans les sols est double : il a, d'une part, un effet direct sur le réservoir utilisable, c'est-à-dire la réserve d'éléments nutritifs, la structure du sol et la végétation, et d'autre part un effet indirect sur les fonctions de régulation des flux hydriques et du climat. En effet, les sols sont capables de piéger une partie des gaz à effets de serre émis, limitant ainsi la contribution de ces gaz aux dérèglements climatiques. Les sols urbains, du fait d'une importante artificialisation, sont parmi les sols les moins enclins à stocker du carbone de façon stable ;

Régulation des eaux pluviales et prévention des risques d'inondations : La problématique des inondations en milieu urbain apparaît incontournable aujourd'hui. Les sols constituent la principale interface entre l'eau atmosphérique (pluie) et les masses d'eaux superficielles et souterraines. Certains sols, de par leurs propriétés intrinsèques et leur couverture (bâti, végétation), sont plus aptes que d'autres à réguler le cycle de l'eau, permettant une meilleure infiltration des eaux de ruissellement. Ils limitent non seulement le risque de saturation en eau lors des précipitations de forte intensité mais aussi le risque d'érosion

([Ilstedt et *al.*, 2007]) et procurent des îlots de fraîcheur lors des phénomènes caniculaires, de plus en plus nombreux. L'infiltration est favorisée par l'activité des organismes du sol, notamment les ingénieurs du sol [Lavelle et *al.*, 2006]. Ainsi, un sol scellé (imperméabilisé à plus de 90%) et donc nu de toute couverture végétale, sera moins enclin à permettre l'infiltration de l'eau atmosphérique. ;

Contrôle de l'érosion des sols : l'érosion, c'est-à-dire l'ablation des couches superficielles du sol et du déplacement de ces éléments sous l'action de l'eau, du vent, des rivières, des glaciers ou de l'Homme est un processus qui peut conduire à la dégradation d'écosystèmes et d'infrastructures en aval. Au même titre que les conditions climatiques, la topographie, l'usage du sol et sa couverture et les propriétés intrinsèques des sols conditionnent l'intensité du phénomène d'érosion ;

Régulation du climat local : La recherche de solution à la problématique des îlots de chaleurs urbain (ICU) est aujourd'hui incontournable dans une perspective de réponse à la demande du milieu urbain. Les sols et les végétaux contribuent à des mécanismes d'évaporation ou de transpiration de l'eau ainsi qu'à la réflexion des rayons du soleil, participant ainsi à la diminution du phénomène d'ICU par création d'îlots de fraîcheur. Cependant, la mise en place, dans la temporalité du stage, d'une campagne de mesure des températures n'ayant pas pu aboutir, l'évaluation de ce SE a été abandonnée. Des réflexions ont néanmoins eu lieu qui pourront être poursuivies après le stage, dans la suite de la tâche 1 du projet.

Afin de fixer le choix des SE, une lecture des entretiens a permis d'identifier les SE mentionnés par les gestionnaires d'infrastructures. Ces derniers sont répertoriés dans le tableau ci-après.

	Réseau électrique	Réseau fluvial	Réseau routier	Réseau ferroviaire	Réseau tramways
Accueil de la biodiversité végétale	X	X	X	X	X
Accueil de la biodiversité animale	X		X	X	
Régulation du climat global			(X)		
Régulation du climat local			X		(X)
Régulation des inondations		X			
Contrôle de l'érosion du sol		X		X	

FIGURE 8 – SE mentionnés lors des différents entretiens de représentants d'ILTe. Les X indiquent que le sujet a été abordé de façon autonome par les interrogés, les (X) qu'une question a été posée sur le sujet.

On remarque que la question de l'accueil de biodiversité végétale est apparue pour chacun des réseaux d'infrastructure. Elle est une part essentielle, à la fois de l'aménagement du territoire en milieu urbain, notamment de la gestion des ILTe, mais aussi un facteur important de la santé du sol. La question de la biodiversité animale, moins mentionnée, a tout de même semblé importante aux yeux des gestionnaires d'ILTe. Bien que les références aient été faites en majorité à la macrofaune ou la mégafaune (insectes notamment pollinisateurs, oiseaux, voire même de plus gros animaux), il est important de noter que dans le cadre de l'évaluation des SE du sol, la biodiversité animale est très importante et fait référence plutôt à la mésofaune et la microfaune (vers de terre, nématodes, etc.). Nous verrons par la suite que la biodiversité animale n'a pas été retenue, telle qu'elle, comme un SE à mesurer dans le cadre du projet SEMEUR. Néanmoins, l'indicateur de biodiversité choisi, qui sera présenté plus loin, a intégré la prise en compte de quelques éléments d'accueil de biodiversité animale. Enfin, les questions de la régulation du climat local (réduction des îlots de chaleur) et global (stockage du carbone), de la régulation des inondations ou du contrôle de l'érosion du sol sont apparus pour certains entretiens mais ont nettement été moins mentionnées.

Une fois ces SE sélectionnés, il a fallu choisir des indicateurs pour les mesurer. Cette phase s'est déroulée encore une fois à partir de l'analyse de la littérature. Une étude a notamment été très utile dans le choix de ces indicateurs [Adhikari et al., 2015]. Un tableau présent en Annexes (voir Fig. 48) résume les différents paramètres des sols utiles pour évaluer les services écosystémiques. Sont surlignés en jaunes les SE qui nous intéressent (à savoir régulation du climat, érosion et contrôle des inondations, séquestration du carbone et support pour la diversité) ainsi que les indicateurs correspondants. Parmi ces indicateurs,

certains ont été sélectionnés via les échanges avec les experts pédologues de Valorhiz. Ils sont résumés dans le schéma suivant (Fig. 9) :

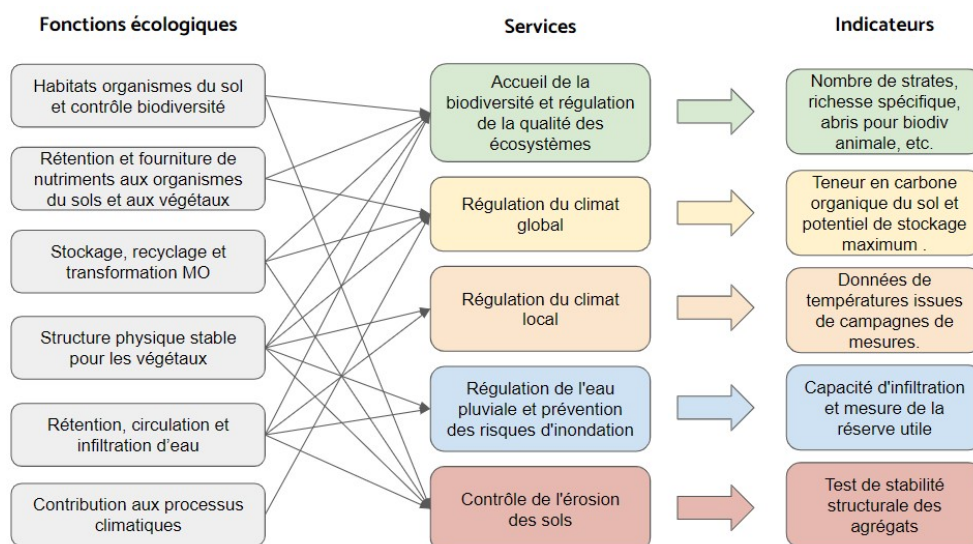


FIGURE 9 – Les fonctions à l’origine des cinq SE étudiés dans le cadre du projet SEMEUR et les indicateurs associés.

Après avoir sélectionné les indicateurs de mesure des SE, il s’agit de définir le type de mesure à effectuer. Les significations des indicateurs ainsi que les choix de mesures associés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Indicateur	Signification	Type de mesure
Caractéristiques générales des sols : texture, pH	Répartition granulométrique des constituants du sol. Informations utiles à la gestion de l'eau et de la fertilisation.	Technique de sédimentation ou de granulométrie laser + test pH
Matière organique du sol	Capacité de l'écosystème à stocker du carbone atmosphérique	Rock-Eval (mesure de la teneur en Corg du sol)
Biodiversité végétale	Capacité du sol à servir de support de biodiversité aux plantes	Indicateur RENATU (richesse spécifique, etc.)
Infiltration de l'eau	Capacité du sol à se drainer lorsqu'il est saturé en eau	Mesure de la vitesse d'infiltration (protocole Valorhiz)
Stabilité des agrégats	Capacité des agrégats à résister à l'érosion hydrique ou éolienne	Test de stabilité structurale (norme ISO 10930. 2012)
Hydrostructure	Capacité du sol à stocker l'eau pour les plantes	Pfymètre (mesure de la réserve utile)
Densité du sol	Indicateur du compactage du sol. Information utile sa capacité de rétention en eau et sa porosité totale.	Pesées humides puis sèches pour un volume donné

FIGURE 10 – Signification des indicateurs choisis et type de mesure associé

Les protocoles de fonctionnement et la méthode d’analyse des résultats des différentes mesures seront détaillés dans les étapes 3 et 4.

4.4.2 Etape 2 : Sites de mesures sélectionnés

La sélection des sites de mesure s'est faite via :

- 1) Des observations macroscopiques globales à l'échelle de l'infrastructure pour déterminer la diversité des zones d'occupations. Un des critères étant que la zone d'étude soit représentative des couvertures de sols présentes en abord de ce type d'infrastructure. L'idéal aurait été de choisir plusieurs sites d'étude pour chaque infrastructure et pour des occupations de sols différentes afin de pouvoir les comparer entre elles. Les deux paramètres qui sont entrés en jeu dans le choix des modalités sont : le type d'occupation de sol (parmi les 8 classes définies plus haut) et la topographie. En effet, il est apparu important de prendre en compte la pente dans l'évaluation de certains services comme l'infiltration de l'eau pluviale ou encore l'érosion du sol.
- 2) Les recommandations des gestionnaires d'infrastructures de transports lors des entretiens, en se basant sur les contraintes d'usages ainsi que les possibilités d'accès et les conditions de sécurité.

Finalement 3 sites dont 8 modalités et 21 répétitions ont été sélectionnés sur deux communes et sont présentés ci-après :

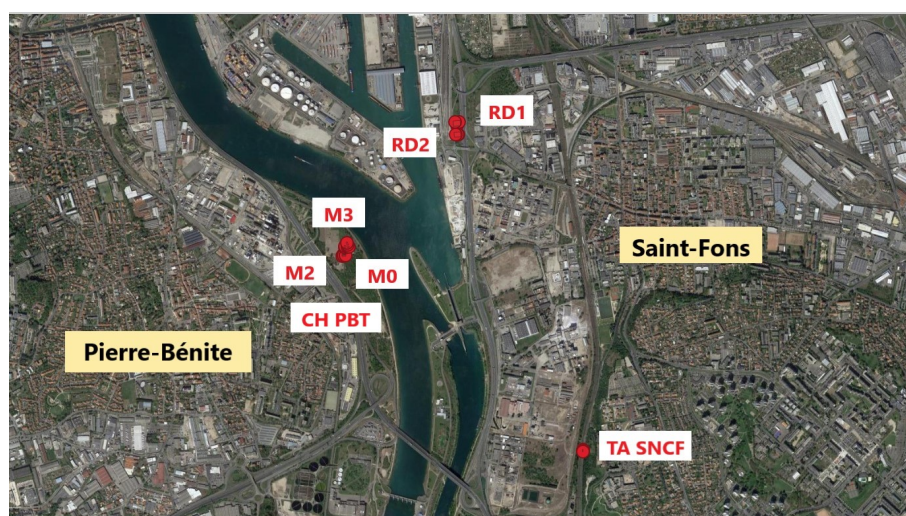


FIGURE 11 – Vue satellite légendée des sites et modalités sélectionnées

Les modalités M0, M2 et M3 du projet Bio-TUBES à Pierre-Bénite

Le site se trouve dans la Vallée de la Chimie, au sud de Lyon, dans une zone classée Seveso. Il a été occupé autrefois par un lycée technique de BTP puis a été laissé à l'abandon. Un partenariat entre la Métropole de Lyon et l'entreprise Valorhiz a eu lieu sur ce site, en 2016, dans le cadre du projet REBU (Réhabilitation Ecologique en faveur de la Biodiversité en zone Urbaine) afin de réhabiliter le site en zone boisée. Ce projet a ensuite été suivi par le projet Bio-TUBES (Bio Technosols Urbains en faveur de la Biodiversité Et des Services écosystémiques), un projet expérimental s'appuyant sur 12 modalités comprenant des paramètres différents en termes de type de sol (des technosols c'est-à-dire des sols fonctionnels reconstruits horizon par horizon à partir de matériaux extérieurs au site ; du décompactage en surface ou en profondeur) et en termes de végétation implantée (semis de convalescence, plantation forestière ou plantation paysagère).

Parmi ces modalités, trois ont été choisies dans le cadre de ce stage : M0, parcelle témoin n'ayant subi aucune intervention ; la parcelle M2, décompactée en profondeur et semée de jeunes plants et d'un semis accompagnateur ; et enfin M3, un technosol issu de matériaux riches sur lequel ont été semés des grands plants ainsi qu'un semis accompagnateur. Dans chaque modalité, seules les répétitions 1 et 3 ont été sélectionnés du fait d'un manque de temps sur le terrain.



FIGURE 12 – Présentation des modalités M0, M2 et M3 du site de Pierre-Bénite, choisies dans le cadre du projet SEMEUR

La modalité "Talus SNCF" à Saint-Fons

A l'issue de l'entretien avec Caroline Dechaume-Montcharmont, un site a été sélectionné : il s'agit d'une parcelle située sur un talus aux abords du réseau ferroviaire, longeant la rue Paul Descartes et appartenant à la SNCF. Il s'agit d'un espace globalement recouvert d'une végétation prairiale et en pente. Il s'agissait d'un des rares sites ferroviaires de la commune de Saint-Fons permettant d'assurer les conditions de sécurité lors des prélèvements de sols et mesures in situ.

FIGURE 13 – Présentation des répétitions de la modalité "Talus SNCF" à Saint-Fons



La modalité "Chemin" à Pierre-Bénite

Pour que les mesures soient représentatives des couvertures de sols fréquentes aux abords d'infrastructures linéaires, il a été décidé de prélever choisir un site "Chemin", c'est-à-dire un sol semi-scillé, qui se trouve être ici sous forme de graviers. N'ayant pas repéré de tel zone aux abords des ILTe de la commune de Saint-Fons, il a fallu se rabattre sur un chemin du site de Pierre-Bénite.



FIGURE 14 – Présentation des répétitions de la modalité "Chemin" à Pierre-Bénite

Les modalités RD1, RD2 et RD3 de la RD383 à Saint-Fons

Les entretiens avec les gestionnaires d'infrastructures routières ont permis d'aboutir à la sélection d'un site situé au niveau de l'échangeur routier "Saint-Fons centre" de la RD383. Deux modalités ont pu être dessinées comme visibles sur les photos 15 : la modalité RD1 représente une zone herbacée, prairiale, plate. La modalité RD2 représente, quant à elle, une végétation arborée, plate.



(a) Présentation des répétitions de la modalité "Prairie RD1" (b) Présentation des répétitions de la modalité "Arborée RD2"

FIGURE 15 – Les répétitions des modalités RD1 et RD2 de l'échangeur routier RD383 à Saint-Fons

Il est possible de retrouver en annexes (voir figure 49) un résumé des sites sélectionnés et de leurs caractéristiques en termes de couverture de sol et de topographie.

4.4.3 Etape 3 : Protocole de mesure

Une fois les sites sélectionnés, il a fallu mettre en place un protocole de mesure précis à réaliser sur chaque répétition de chaque modalité. Voici le protocole d'échantillonnage mis au point à partir des conseils des experts pédologues de Valorhiz et d'indicateurs existants (comme l'indicateur de biodiversité RENATU, détaillé plus bas).

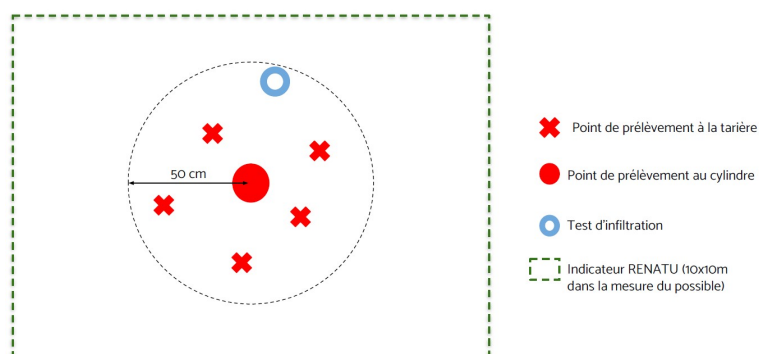


FIGURE 16 – Protocole d'échantillonnage des mesures terrain. Source : CG

Pour chaque répétition, un composite de 5 points de prélèvement se trouvant dans un cercle de rayon 50cm a été réalisé dans un sac de 3kg. Cet échantillon composite regroupe :

- un échantillon envoyé en analyse dans un laboratoire externe pour en déterminer notamment la texture et pH.
- un échantillon envoyé en analyse Rock-éval² dans un laboratoire extérieur.
- un échantillon analysé via un test de stabilité structurale des agrégats dans le laboratoire de Valorhiz.
- un échantillon analysé via le pf mètre dans le laboratoire de Valorhiz, pour en déterminer la réserve utile.

Un second prélèvement, au cylindre cette fois, a été réalisé pour la densité et transporté à part.

Enfin, deux tests in situ ont été réalisés : des tests d'infiltration et des relevés botaniques suivant les protocoles détaillés plus bas.

Mesure d'infiltration via l'infiltromètre

L'objectif de cette mesure est d'évaluer la capacité du sol à se drainer une fois saturé en eau. Pour cette mesure, les experts de Valorhiz s'appuient sur un outil appelé infiltromètre à membrane. Il s'agit de sectionner la végétation sur un cercle de 10cm de diamètre en étant prudent de ne pas arracher les racines. Il s'agit ensuite de recouvrir ce cercle de sable afin de rendre la surface plane. On remplit la colonne d'eau puis on vient la placer sur la sable en s'assurant que le contact est bien établi. On lance le chronomètre et on mesure toutes les 30

2. Cette méthode est détaillée dans l'étape suivante

secondes le volume d'eau restant dans la colonne. Une des exigences de cette mesure est donc d'attendre un temps suffisant pour que ce soit bien la capacité de drainage que l'on mesure et non pas la vitesse de remplissage des interstices présents dans le sol. Si l'on voit que le débit est encore trop important il est possible de prolonger la mesure. Nous verrons dans la partie "Résultats et discussions" que cet indicateur semble n'être pas très fiable. Un nouveau protocole et matériel de mesure sera ainsi proposé pour la mesure d'infiltration.

Evaluation de la biodiversité : l'indicateur RENATU

L'indicateur RENATU (pour RENATUration) est un outil de prédiagnostic écologique d'un site à l'usage des opérateurs d'aménagement et des gestionnaires [Pech et *al.*, 2014]. Il est issu d'un projet de recherche financé par le programme ITTECOP (tout comme le projet SEMEUR) qui visait à analyser dans quelles mesures les ILTe peuvent avoir un impact positif pour la biodiversité et quelles sont les modalités de renaturation potentielles dans le cadre de tissus urbains denses le long de ces ILTe. L'indicateur RENATU est un outil simple reposant sur des critères descriptifs de l'état de la biodiversité. Il attribue des scores entre 0 et 5³ aux 9 catégories suivantes :

- La diversité des strates (strates arborée, arbustive, herbacée, muscinale, nu sans végétation ou nu artificiel) car plus le milieu est complexe plus il est susceptible d'abriter de la biodiversité diversifiée.
- La richesse spécifique en espèces ligneuses qui favorisent grandement le nombre d'habitats, de refuges et de ressources de biodiversité.
- Le nombre d'arbres porteurs de micro-habitats (lierre, mousses, lichens, champignons, écorces, bois mort, coulée de sève, etc.) qui favorisent la nutrition, la reproduction, la nidification ainsi que la création d'abris pour insectes, oiseaux, chauves-souris, petits mammifères.
- La fréquence de tonte ou de fauche de la strate herbacée (utilisation de produits phytosanitaires, nombre et période de fauche, etc.). Plus les fauches sont tardives et espacées, plus elles favorisent la pollinisation et la présence de la faune. Cette information a été récoltée lors des entretiens avec les représentants d'infrastructures.
- La forme et les couleurs des fleurs et la forme des feuilles de la strate herbacée. Plus les espèces sont variées plus le milieu est attractif pour les insectes pollinisateurs.
- La présence de clôtures, murs ou haies pouvant servir de refuges, de lieux

3. Pour plus de détails sur les scores, se référer au mode d'emploi de l'indicateur RENATU

de nidification et de ressources

- La présence d'espèces exotiques envahissantes (EEE) fortement compétitrices qui empêchent le développement d'une flore et/ou d'une faune diversifiée et locale. Ces espèces invasives sont la deuxième cause de perte de biodiversité dans le monde.
- Le nombre d'installations pour la biodiversité (hôtel à insectes, tas de bois morts, murets de pierres sèches, mares, nichoirs, etc.) qui augmentent la capacité d'accueil, de refuge, de nidification de la faune.
- La proximité à un réservoir de biodiversité (espace naturel sensible, réserve régionale ou nationale, site Natura 2000, ZNIEFF, etc.) qui favorise le déplacement de certaines espèces. Cette information est récupérée sur le site de l'IGN (Géoportail) qui donne accès à la localisation des sites labellisés considérés comme réservoirs de biodiversité.

L'indicateur RENATU, en plus d'avoir été testé sur plus de 100 sites dans la moitié Nord de la France, a été comparée sur 11 sites à l'indicateur de Shannon de biodiversité alpha afin d'évaluer la corrélation entre ces deux indicateurs. Les résultats ont été positifs, avec une corrélation de presque 80% ($R^2=0.7991$) entre les valeurs de RENATU et celles de Shannon.

Une légère adaptation a néanmoins été faite dans le cadre du projet SEMEUR. Le critère du nombre d'installations pour la biodiversité a été supprimé, comme conseillé dans le mode d'emploi de l'indicateur. En effet, celui-ci précise : "*Si le site ne contient pas d'installation, retirer l'indice de l'indicateur*". Etant donné qu'aucun des sites de mesures sélectionnés ne comprend d'installations, nous avons donc remplacé cet indice par un indice du taux de couverture végétale sur la surface étudiée, tel que ci-dessous :

Taux de recouvrement végétal de la zone	Score
0%	0
25%	1
50%	3
75%	4
100%	5

4.4.4 Etape 4 : Méthodes d'analyse des résultats

Les caractéristiques générales du sol : texture, pH et densité

Certains paramètres nous fournissent des informations générales de compréhension des sols que l'on étudie. Parmi eux, trois paramètres ont semblé importants dans le cadre du projet SEMEUR : la texture, le pH et la densité apparente.

La texture

La texture du sol se définit par ses proportions relatives en éléments minéraux et en matière organique présents dans le sols. Ces éléments sont classés par ordre de taille croissant : les argiles (diamètre < 2µm), les limons (diamètre compris dans l'intervalle [2µm-20µm]), les sables (diamètre compris dans l'intervalle [20µm-2mm]). Au-delà, on parle de graviers (diamètre 1cm) ou de cailloux (diamètre 10 cm). Pour déterminer la texture d'un sol à partir de sa composition en éléments minéraux il suffit de s'appuyer sur le triangle des textures (Fig. 17), dont les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.

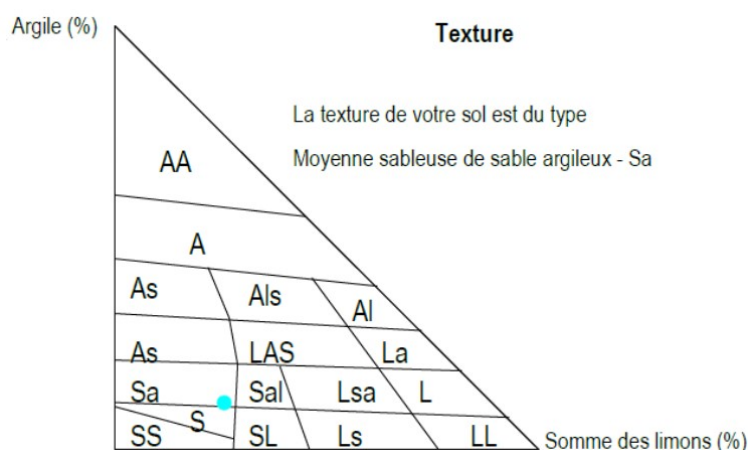


FIGURE 17 – Exemple de résultat issu du triangle des textures (Source : Laboratoire Teyssier Analyses agricoles)

Ces particules interviennent sur les propriétés physiques du sol. La texture apporte des informations utiles pour déterminer les propriétés écologiques du sol. Il détermine, par exemple, la capacité de stockage et de drainage de l'eau en analysant le volume des pores et la structure primaire. Il détermine également la capacité de stockage des nutriments et des polluants à travers la surface des grains et la sensibilité du sol découvert à l'érosion par la proportion de limon

et de sable fin. Ainsi, connaître la texture des sols prélevés dans le cadre du stage a permis de vérifier la cohérence générale des résultats obtenus lors des manipulations en laboratoire.

Le pH

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité du sol dans une échelle de 1 à 14. Un milieu est neutre quand son pH est de 7. En dessous, il est acide, au-dessus, il est basique ou alcalin. Le pH est lié à la texture du sol : les sols calcaires sont en général basiques, alors que les sols sableux ou très riches en matière organique (voir humus) sont plutôt acides. Le pH a aussi un impact sur la végétation capable de s'implanter dans le sol : la plupart des plantes s'accommodent d'un pH autour de la neutralité (entre 6 et 7,5) mais certaines exigent une terre acide (comme les plantes acidophiles) ou au contraire calcaire.

La densité apparente

La densité apparente correspond à la masse de sol présente dans un volume donné, exprimée en $g.cm^{-3}$. Elle est un indicateur du compactage du sol. Comme nous le verrons co-après, elle est nécessaire pour convertir la teneur en éléments (par exemple, la teneur en carbone organique du sol) en stock (le stock de carbone organique du sol ici). Les sols naturels peuvent avoir des densités apparentes très différentes, allant de $0,5 g.cm^{-3}$ pour une couche supérieure organique à $2,2 g.cm^{-3}$ pour une couche inférieure minérale massive. Un sol minéral bien structuré a généralement une masse volumique apparente d'environ $1,3 g.cm^{-3}$. La densité apparente est déterminée en prélevant un volume connu de sol non remanié à l'aide d'un cylindre d'échantillonnage en métal et en le pesant avant et après séchage à $105^{\circ}C$.

Teneur en Carbone organique et potentiel de stockage

Présentation de la méthode Rock-éval®

Le principe de la méthode Rock-Eval® repose sur la mesure continue des composés carbonés issus d'un échantillon, simultanément à sa dégradation thermique progressive alors qu'il est soumis à une température croissante programmée. La dégradation thermique est opérée en deux étapes de chauffe successives : une pyrolyse (chauffe en absence d'oxygène), suivie d'une combustion du résidu de pyrolyse (chauffe en présence d'oxygène), l'oxydation. Ces modes de

chauffe distincts présentent l'avantage, d'une part, de caractériser les composés thermiquement labiles grâce à la pyrolyse, et d'autre part, d'oxyder le résidu de pyrolyse pendant la combustion, donnant ainsi accès aux teneurs en carbone organique et minéral.

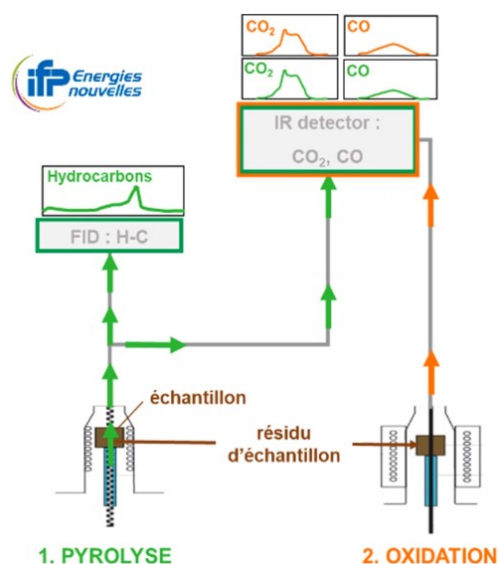


FIGURE 18 – Schéma d'analyse Rock-Eval® avec les procédés de pyrolyse et d'oxydation pour la caractérisation du carbone du sol.

Un échantillon d'une masse comprise entre 4 et 150 mg selon sa nature est placé dans un four à pyrolyse, où il est chauffé à température croissante tout en étant balayé par un gaz inerte. Les composés hydrocarbonés libérés par l'échantillon et entraînés par le gaz vecteur sont analysés par un détecteur à ionisation de flamme. Simultanément, les gaz CO et CO₂ libérés par l'échantillon et entraînés par le gaz vecteur sont analysés par un détecteur infrarouge (IR).

Cinq thermogrammes résultent ainsi de la mesure continue dans le temps des composés hydrocarbures, du CO, du CO₂ et du SO₂ qui sont issus de l'échantillon pyrolysé puis oxydé. Ces thermogrammes forment des pics en fonction de la température, qui sont interprétés selon la réactivité thermique des composés dégradés. On peut ainsi identifier et quantifier différents types de composés.

Calcul du stock de COS (carbone organique du sol) à saturation

La plupart des modèles actuels de dynamique de matière organique du sol (MOS) supposent une cinétique de premier ordre pour la décomposition de divers pools conceptuels de matière organique, ce qui signifie que les stocks de carbone (C) à l'équilibre sont linéairement proportionnels aux apports de carbone. Ces modèles prédisent que les stocks de C du sol peuvent, en théorie,

être augmenté sans limite, à condition que les apports de C augmentent sans limite, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'hypothèse de saturation en C du sol. Les niveaux de C du sol natif reflètent l'équilibre des apports de C et les pertes de C dans des conditions natives (c.-à-d. productivité, régimes d'humidité et de température).

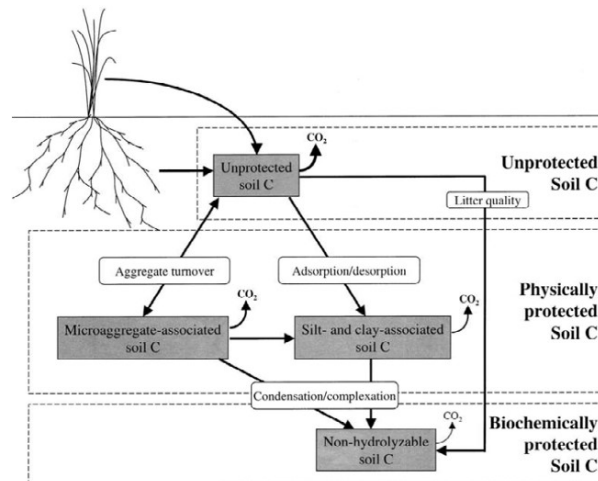


FIGURE 19 – Modèle conceptuel de la dynamique de la matière organique du sol (MOS) avec des pools mesurables. Les processus de formation/dégradation des agrégats du sol, l'adsorption/désorption de la MOS, de la condensation/complexation de la MOS et de la qualité de la litière de la MOS. Source :Six et al. 2002.

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, à partir d'une synthèse des connaissances issues d'un article intitulé « Stabilization mechanisms of soil organic matter : Implications for C-saturation of soils » [Six et al., 2002] sur les mécanismes de stabilisation des différents pools de matière organique du sol, ils ont conceptualisé un modèle de dynamique des MOS basé sur quatre pools de C mesurables : (1) un biochimiquement protégé et non-hydrolysable, (2) un protégé par l'association avec les limons et les argiles, (3) un protégé au sein des micro-agrégats, et (4) un non protégé (labile ou libre).

Size class ^a	Ecosystem	Intercept	Slope	r ²
0–20 μm	Cultivated	4.38±0.68 ^b	0.26±0.01	0.41
	Grassland	2.21±1.94	0.42±0.08	0.44
	Forest	-2.51±0.55	0.63±0.01	0.55
0–50 μm	Cultivated	7.18±3.04	0.2±0.04	0.54
	Grassland	16.33±4.69	0.32±0.07	0.35
	Forest	16.24±6.01	0.24±0.08	0.35
Size class	Clay type	Intercept	Slope	r ²
0–20 μm	1:1	1.22±0.37	0.30±0.01	0.74
	2:1	3.86±0.49	0.41±0.01	0.39
0–50 μm	1:1	5.5±5.93	0.26±0.13	0.38
	2:1	14.76±2.37	0.21±0.03	0.07

^aTwo size classes for silt and clay were reported in the literature.

^bValue±95% confidence interval.

FIGURE 20 – Equations des régressions linéaires des proportions d’argile et de limon fin en fonction du COS associé aux argiles et limons, considéré comme le COS le plus stable selon les occupations ou du type d’argile qui compose le sol. En rouge est encadrée la relation utilisée pour le calcul des stocks de C à saturation. Source : Six et al.2002.

Le tableau ci-dessus montre les différentes équations des régressions linéaires réalisées pour l’article cité précédemment. Pour notre calcul de saturation, nous nous appuyons sur les proportions d’argiles et de limons fins issus des analyses de texture, qui correspondent à la classe granulométrique de 0 à 50 μm. La formule de calcul pour la saturation du stock de COS est la suivante :

$$C_{saturation}(g/kg) = a(Argile(\%) + Limonfin(\%)) + b$$

La quantité de COS à saturation en g/kg sera rapporté à la masse volumique du sol et à la profondeur d’expertise pour avoir in fine des tonnes/hectare. Dans le cadre du projet SEMEUR, nous avons choisi des coefficients a et b selon les couvertures de nos sols prélevés. Ainsi nous avons appliqué :

- aux écosystèmes prairial (grassland), soit les modalités Talus SNCF et RD1, des coefficients a=0,32 et b=16,33
- aux écosystèmes forestiers (forest), soit les modalités M3 et RD2, des coefficients a=0,24 et b=16,24
- aux écosystèmes cultivés (cultivated), soit les modalités M0, M2 et Chemin qui correspondent à des sols fortement dégradés par l’activité humaine, des coefficients a=0,2 et b=7,18

Il est évident que ce modèle aura une estimation grossière du stock à saturation car seules les proportions d’argile et de limons fins sont pris en compte alors que plein d’autre mécanisme joue un rôle dans le stockage du COS.

Test de stabilité structurale - Risque de battance et d'érosion

Approche et méthodologie

Le comportement physique d'un sol soumis à l'action de la pluie peut être évalué par des tests de stabilité structurale. En effet, toutes les mottes de terre soumises à l'action de l'eau ne résistent pas de la même façon. La stabilité des agrégats est étroitement liée à de nombreux services du sol tels que la séquestration du carbone, la rétention des nutriments et la limitation de l'érosion. Pour un contexte pédoclimatique donné, la stabilité structurale dépend du contexte physique du sol, de la teneur en matière organique et des interactions des organismes vivants du sol qui agrègent les particules lors de leur digestion [Amézketa, 1999]. Ainsi, la résistance à la battance et l'érosion hydrique d'un sol, de ses mottes de terre jusqu'à la plus fine échelle de ses agrégats, diffère en fonction des. Cette résistance peut être évaluée par simulation en laboratoire sur les échantillons de sol prélevés selon plusieurs méthodes existantes. Dans le cadre du projet SEMEUR, nous avons sélectionné le test d'immersion à l'eau représentatif d'une contrainte d'humectation brutale telle que des pluies intenses lors d'orages ou d'irrigation par submersion [Le Bisonnais et Le Souder, 1995]. Cette méthode est normalisée Afnor depuis 2005 (NF X31-515) et est devenue norme internationale ISO depuis 2012 (ISO 10930 : 2012 "Qualité du sol–Mesure de la stabilité d'agrégats de sols soumis à l'action de l'eau").

L'essai d'immersion comprend 3 étapes : (1) un échantillon de sol représentatif du mélange à tester est désagrégé par immersion dans de l'eau, puis (2) il est mesuré le fractionnement des particules post-désagrégation ce qui permet de (3) calculer le Diamètre Moyen Pondérale (DMP en mm), un indicateur de stabilité du sol face à l'érosion (Fig.21).

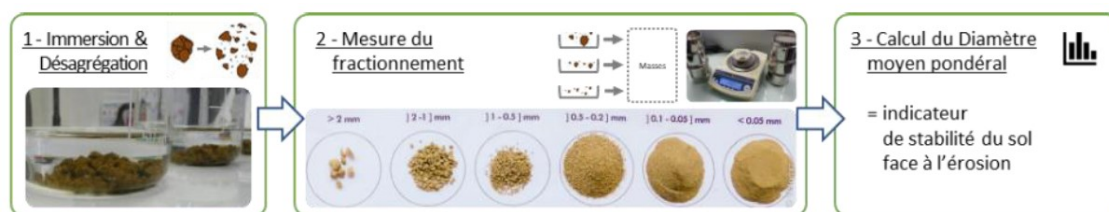


FIGURE 21 – Etapes du test d'immersion de la stabilité des agrégats du sol (norme ISO 10930. 2012). Source : Valorhiz

Analyse des résultats

L'indicateur obtenu traduit un risque d'érosion et de sensibilité à la battance selon le tableau de classes associé suivant (Fig. 22).

DMP (mm)	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0.4	Très instable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0.4 - 0.8	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toutes situations
0.8 - 1.3	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1.3 - 2.0	Stable	Occasionnelle	Risque limité
> 2.0	Très stable	Très rare	Risque très faible

FIGURE 22 – Classes de stabilité, battance et érosion hydrique en fonction de valeurs du diamètre moyen pondéral après désagrégation (DMP). D'après ISO 10930 (2012).

4.4.4.4 Réserve utile du sol

Dans le sol, l'eau peut être répartie en 3 états :

- 1 - l'eau de gravité ou de saturation contenue dans les espaces lacunaires (entre les agrégats) qui s'écoule par gravité vers la nappe. Le point de ressuyage correspond à la fin d'écoulement de l'eau par gravité.
- 2 - la Réserve Utile (RU) ou capacité d'alimentation hydrique d'un sol pour la végétation. Il s'agit de la fraction de la réserve potentielle en eau du sol exploitable par la plante, c'est-à-dire la fraction retenue sous forme de films épais autour des particules de terre ou dans les fins capillaires qui est accessible par les racines et absorbable par leur succion. Lorsque que la RU est épuisée, on est à ce que l'on appelle le "point de flétrissement permanent". La RU peut être divisée en 2 parties : le RFU (Réserve Facilement Utilisable) ou confort hydrique et la RDU (Réserve Difficilement Utilisable) qui engendre du stress hydrique.
- 3 - l'eau inutilisable, l'eau retenue très énergiquement sous forme de films très minces autour des particules de terre et inutilisable par les plantes.

Dans le sol, l'eau peut prendre diverses directions du fait des forces en présence :

- la gravité : écoulement de l'eau en profondeur.
- la tension superficielle : attraction de l'eau par les particules de sol. La tension superficielle est d'autant plus forte que les particules sont fines et compactées.

- la pression osmotique due à la présence de sels dans le sol : son effet est considéré comme négligeable en l'absence de vapeur.
- la succion des racines : attraction vers les racines.

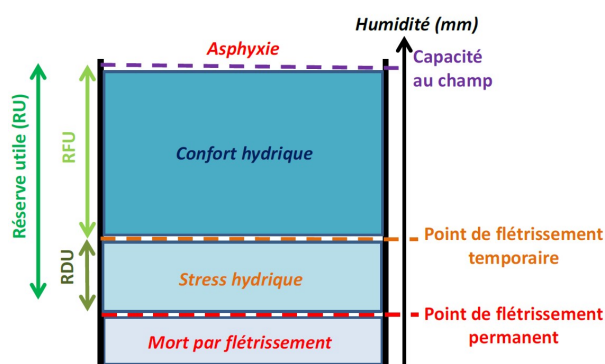


FIGURE 23 – Schéma de la réserve hydrique des sols ; Source : Bulletin SOLAG n°4 du 2/05/2018

Ces forces ont pour effet de limiter la mobilité de l'eau. Au-delà d'une certaine distance entre les molécules d'eau et les particules de sol, la force d'attraction est plus faible que la pesanteur et l'eau s'écoule donc par gravité. Quand ces 2 forces se neutralisent, la capacité au champ est atteinte. L'utilisation de l'eau par les plantes est possible tant que la force de succion des racines est supérieure à celle exercée par le sol. Quand la force exercée par le sol devient supérieur à celle des racines, le point de flétrissement est atteint, les racines n'arrivent plus à absorber l'eau. On parle de point de flétrissement temporaire quand la plante flétrit la journée suite à une évaporation dépassant la vitesse d'absorption l'eau par les racines et redevient turgescence la nuit. Au point de flétrissement permanent, la plante souffre de sécheresse et se fane.

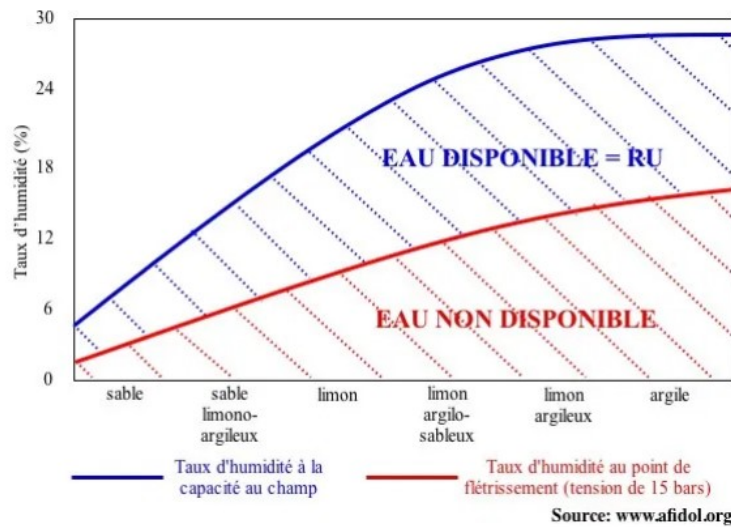


FIGURE 24 – Graphique de la RU et de l'eau non disponible selon différents types de textures; Source : Buckman et Brady, 1965

La Réserve Utile (R.U.) se calcule par la différence entre deux états hydriques d'un volume de sol donné : sa teneur en eau à l'état ressuyé (« capacité au champ », pF 3) et sa teneur en eau indisponible pour la végétation (« point de flétrissement », pF 4.2). Elle se calcule par la formule ci-dessous :

$$RU(kg/kg) = (\omega_{pF3} - \omega_{pF4.2})$$

Avec : ω_{pF3} la teneur en eau gravimétrique à la capacité au champ (en kg/kg) et $\omega_{pF4.2}$ la teneur en eau gravimétrique au point de flétrissement (en kg/kg).

Cette quantité d'eau (en mm) qui peut être stockée par un cm de sol sera, dans le cadre du projet SEMEUR, exprimée en mm/cm via la formule suivante : $RU(mm/cm) = \frac{RU(kg/kg) \times da}{100}$ avec da la densité apparente du sol (en g/cm^3).

Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessus (Fig. 24), la texture des sols a une influence directe sur la RU. Dans la littérature, on retrouve les ordres de grandeurs suivants :

Classe de texture (selon le triangle de Jamagne)	Humidité % à la capacité au champ (pF=2.5)	Humidité % au point de flétrissement permanent (pF=4.2)	Eau utile (g d'eau pour 100 g de sol)	Densité apparente (sans dimension)	Réservoir utilisable (mm d'eau par cm de sol)
S	8	3	5	1.35	0.7
SL	12	5	7	1.40	1.0
SA	19	10	9	1.50	1.35
LIS	15	7	8	1.50	1.20
LS	19	9	10	1.45	1.45
LmS	20	9	11	1.45	1.60
LSA	22	11	11	1.50	1.65
LAS	24	12	12	1.45	1.75
LI	17	8	9	1.45	1.30
Lm	23	10	13	1.35	1.75
LA	27	13	14	1.40	1.95
AS	33	22	11	1.55	1.70
A	37	25	12	1.45	1.75
AL	32	19	13	1.40	1.80
A lourde	29	18	11	1.50	1.65

FIGURE 25 – Tableau des réservoirs en eau selon les textures ; Source : Baize et Jabiol, 1995

Nous retiendrons les valeurs :

- 0.7 à 1.35 mm/cm de sol pour un sable
- 1.3 à 1.95 mm/cm de sol pour un limon argileux
- 1.70 à 1.80 mm/cm de sol pour un sol argileux, argilo limoneux, argilo sableux.

Plusieurs facteurs peuvent faire varier la RU d'un sol :

- l'enracinement des plantes, plus il sera important, plus la plante pourra utiliser l'eau présente en profondeur.
- la structure du sol qui va influencer la circulation de l'eau, l'infiltration de l'eau, la remontée capillaire et la qualité d'enracinement de la culture.
- le taux de matière organique : l'humus a un pouvoir de rétention en eau important, il peut retenir jusqu'à 5 à 6 fois son poids en eau.
- le % d'éléments grossiers, graviers, cailloux. Tout espace occupé par ces éléments, représente un volume en moins pour l'eau.

4.5 Cartographies de l'offre en services écosystémiques

Le troisième objectif de la tâche 1 du projet SEMEUR et donc de ce stage, et de fournir des cartographies répondant aux objectifs suivants :

- Cartographier l'occupation actuelle des sols par photo-interprétation afin d'identifier les différentes couvertures de végétation ;
- Associer sous forme de légendes les valeurs nominales en SE qui auront été déterminées sur la base de mesures terrain et de la littérature ;
- Visualiser différents scénarios d'aménagement pour mieux présenter les idées et pour mieux appréhender l'étendue des solutions possibles.

Pour cela, deux outils seront utilisés : le logiciel QGIS et la technologie Cassia®.

QGIS

QGIS (fka. QuantumGIS) est un logiciel SIG et permet à ce titre de traiter de l'information géographique. Il est gratuit, opensource, disponible en ligne sur le site www.qgis.org et est le logiciel SIG préconisé dans le SILL 2019.

Cassia®

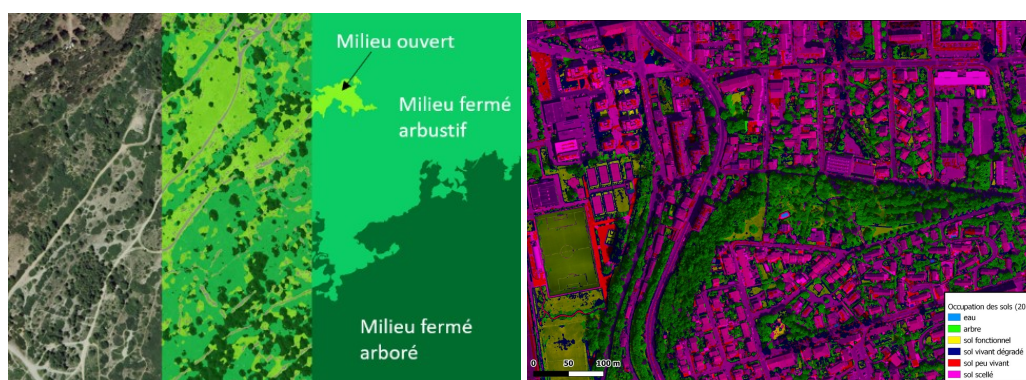
Cassia® (www.cassia-technologies.com) est une approche innovante de cartographie des écosystèmes basée sur des outils d'intelligence artificielle issus de la recherche scientifique. L'approche innovante Cassia® a été créée par Valorhiz afin de permettre aux experts métiers (écologues, pédologues, agronomes...) d'assurer le transfert d'échelle de leur expertise sur de grandes surfaces (jusqu'à plusieurs centaines de km²) de manière rapide, fiable et répétable. Cassia® permet ainsi de mettre au service des gestionnaires des outils d'aide à la décision (OAD) offrant des informations précises, réutilisables et pouvant être actualisés à la demande.

L'application de la technologie Cassia® se déroule en 4 temps :

- Acquisition de l'image géoréférencée : Pour le projet Semeur, nous utilisons une image géoréférencée datant de 2018, et d'une résolution de 8 cm.
- Apprentissage : Sur la base d'un jeu d'apprentissage ciblé (issus de données expertes et d'observations), des algorithmes vont analyser les images pour apprendre à reconnaître automatiquement les différentes entités

d'intérêt (type de revêtement/couvert, type de végétation...).

- Application : Le processus de reconnaissance va ensuite être appliqué sur la totalité de la zone d'étude, avec une précision à l'échelle du pixel (ici 8 cm). Différents post-traitements sont ensuite réalisés pour améliorer le rendu et agréger l'information à une échelle opérationnelle.
- Validation : Les données obtenues seront ensuite vérifiées par nos experts métiers. Les données sont ensuite présentées sous forme de cartes thématiques.



(a) Cartographie des différentes strates de végétation par Cassia®; Source : <https://cassia-technologies.com/>
 (b) Exemple de télédétection par Cassia® sur la commune de Saint-Fons (Source : Valorhiz)

FIGURE 26 – La technologie Cassia

L'approche Cassia® permet ainsi de réaliser des cartographies à des échelles particulièrement fines à la fois spatialement mais aussi en termes de typologie de végétation. Un certain nombre de post-traitements ont donc été développés pour permettre de produire des cartes opérationnelles aux échelles souhaitées.

5 Présentation des résultats et discussions

5.1 Analyse des entretiens menés

5.1.1 Grille de lecture des entretiens

Les entretiens ont été analysés en suivant la méthode d'analyse SWOT qui est l'acronyme de "Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats" autrement dit "Menaces - Opportunités - Forces - Faiblesses". Il s'agit d'un outil de diagnostic stratégique qui présente l'avantage de synthétiser les forces et faiblesses d'une

structure ou d'un projet au regard des opportunités et menaces générées par son environnement. Il s'agira donc de lire les entretiens selon le tableau suivant :

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	Forces (ex : pratiques déjà existantes de valorisation des SE)	Faiblesses (ex : contraintes de gestion, politiques liées aux risques)
Origine externe (environnement)	Opportunités (ex : aménagements envisageables malgré les contraintes)	Menaces (ex : problématiques qui restent malgré les aménagements)

FIGURE 27 – Grille de lecture des entretiens selon la méthode SWOT

On retrouve en annexes les différentes grilles d'analyses correspondants aux entretiens menés.

5.1.2 Restitution des entretiens : les profils d'usages d'ILTe

Les contraintes d'usages, déterminées à partir des entretiens et de recherches bibliographiques, ont donc été résumées sous forme de profils schématisés pour les différentes ILTe. Pour rappel, seuls les réseaux ferroviaire, routier, fluvial et électrique ont été représentés. Le travail réalisé sur le réseau de tramway est un peu différent et sera présenté plus loin. Le réseau de pipelines ne sera pas détaillé ici car aucun entretien n'a permis d'approfondir cette thématique. Ces profils permettent d'apporter des précisions aux profils existants proposés par le CILB : <https://www.cilb.fr/les-infrastructures-lineaires>. Comme visible sur la légende (figure 28), plusieurs informations apparaissent sur ces profils : d'un côté on retrouve nos huit classes de la typologie d'occupation des sols urbains ; et de l'autre, les découpages liés aux contraintes d'usage ainsi que les politiques en matière d'occupation de sol acceptée et de maintenance.

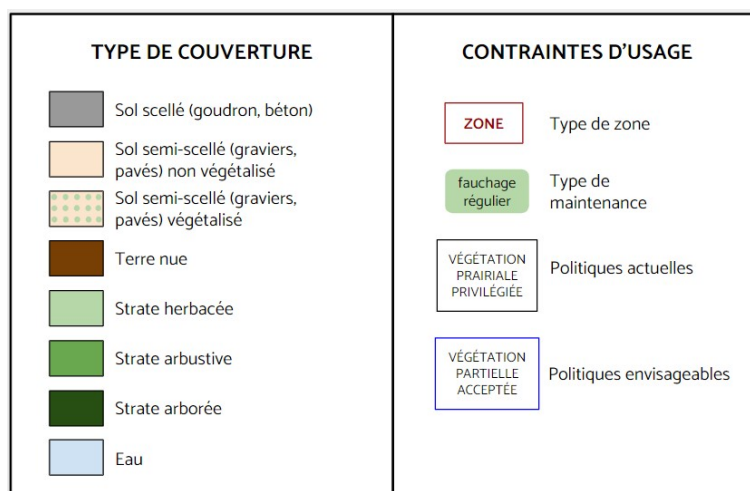


FIGURE 28

Le réseau ferroviaire

Commençons par présenter le réseau ferroviaire. On retrouve plusieurs zones correspondant à des contraintes d'usages et des couvertures de sols différentes : les voies, les pistes, les bandes de proximité et enfin les abords.

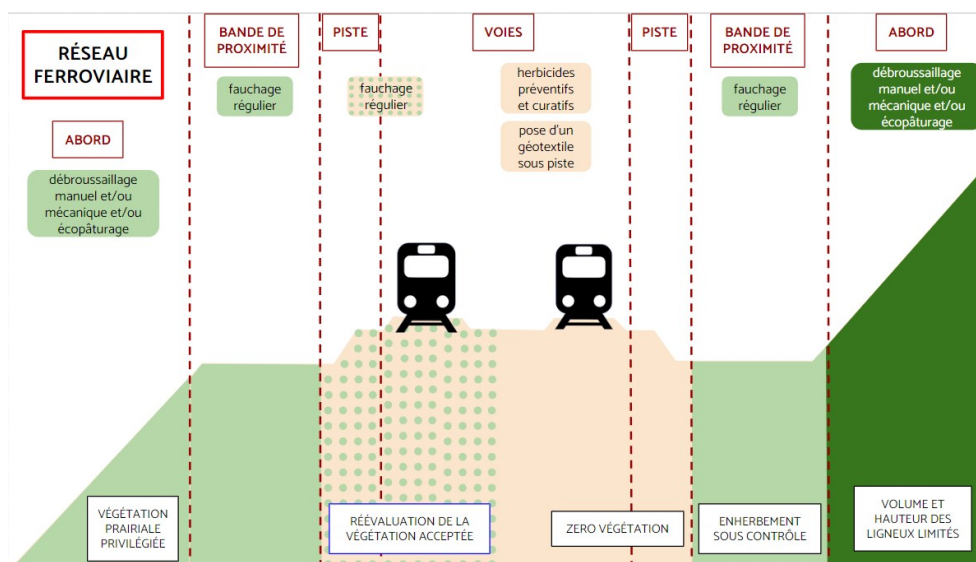


FIGURE 29 – Profil de contraintes d'usage du réseau ferroviaire

- Les **voies** et **pistes** sont principalement couvertes de graviers par dessus un géotextile et traitées à l'aide d'herbicides préventifs et curatifs. En effet,

la végétation empêche le bon drainage de la plateforme voie, ce qui en fait un enjeu de sécurité important. Pour cela, la politique actuelle consiste à laisser "Zéro" végétation. Cependant, à l'heure de l'arrêt de l'utilisation de produits phytosanitaires et autres pesticides, cette politique est en cours de réévaluation, peut-être vers de nouveaux standards d'acceptabilité de la végétation, variables selon les catégories de voies.

- Les **bandes de proximité** sont gérées de façon à maintenir un enherbement "sous contrôle" pour limiter le travail d'érosion tout en garantissant une bonne visibilité afin de limiter les accidents. Pour cela, des fauches régulières ont lieu.
- Les **abords** suivent un objectif de limitation du volume et la hauteur des arbres à haute tige en maintenant une végétation prairiale. Pour cela, des débroussaillages manuels et/ou mécaniques ont lieu. Ainsi, si la présence d'espèces ligneuses, notamment d'arbres, semble possible, la SNCF semble appliquer une politique stricte en matière de gestion des irrégularités et de prévention des risques. Les raisons à cela sont une intense pression de production, des risques encourus importants, le sous-dimensionnement et le manque de formation des équipes de maintenance sur les sujets de biodiversité et une grande proximité avec les riverains. Ainsi, de nombreuses opérations d'abattages d'arbres et de débroussaillage ont lieu sans qu'il n'y ait d'arbitrage précis appuyés par des évaluations des risques. La gestion des risques s'appuie simplement sur des questions de hauteur et de distance vis-à-vis des voies. Ainsi, une piste d'amélioration pourrait être la mise en place d'une stratégie visant à préciser les cas de réels risques et les cas dans lesquels la suppression inutile de végétation pourrait être évitée. Néanmoins, d'autres enjeux de sécurité semblent entrer en jeu, comme le fait que les feuilles mortes peuvent favoriser l'enrayage ou le patinage des trains; le fait que les chutes d'arbres et de branches peuvent occasionner l'arrêt des circulations; le fait que la végétation peut gêner la surveillance des équipements de la voie et cacher les installations de signalisation; ou encore le fait qu'un embroussaillage excessif peut constituer un refuge pour le grand gibier et donc accroître le risque de collisions. La présence d'une végétation arborée en abords de voies ferroviaires semble donc déconseillée. Cependant, rien ne semble aller contre une végétation arbustive de type "haie". Cela pourrait, par ailleurs, permettre un enrayement des plantes invasives et une limitation de l'érosion des sols et du ruissellement.

Le réseau électrique

Voyons maintenant de plus près le réseau électrique. On retrouve là encore plusieurs zones ayant des contraintes d'usages propres impliquant différentes couvertures de sols acceptées : les dessous et abords des lignes électriques ainsi que les intérieurs et extérieurs des postes électriques.

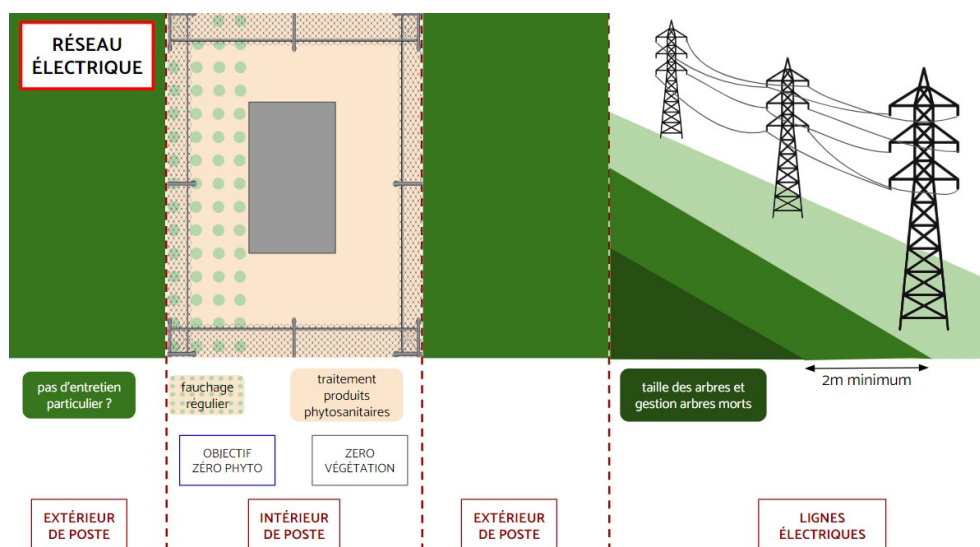


FIGURE 30 – Profil de contraintes d'usage du réseau électrique

- Les **lignes électriques** imposent des règles strictes en matière de végétation acceptée. Sous les jeux de barres, la végétation ne peut pas dépasser une certaine hauteur car cela poserait des soucis au niveau de la maintenance (risques de créer des arcs électriques). En effet, l'herbe mouillée est conductrice, et cela pourrait mettre en danger le personnel lors des interventions sur les lignes. Pour éviter la croissance de ligneux, il faut faucher à minima une fois par an. Néanmoins, cette fauche peut être tardive, réalisée au mois d'août, afin de laisser plus de place à la biodiversité. Des projets sont d'ailleurs en cours pour tenter de faire de ces espaces des corridors écologiques pour la faune (mise en place d'abris sous les pylonnes pour permettre le déplacement des animaux). A proximité des lignes, les règles de sécurité électrique imposent des distances vis-à-vis des espèces ligneuses permises. Ces distances sont variables en fonction du type de ligne (haute tension ou basse tension) et donc du type d'isolateur (rigides ou suspendus) et du type de câble (fils nus conducteurs non isolés ou câble torsadé conducteurs isolés). Ces distances sont résumées

dans le tableau Fig. 50) en Annexes.

- Les **intérieurs de postes** sont intégralement recouverts de cailloux dont l'état est maintenu par utilisation d'herbicides (glyphosate). Cette politique de gestion est historique, mais ne semble plus justifiée aujourd'hui. Ainsi, des projets sont en cours (projets ZéroPhyto) afin de permettre de l'implantation d'une strate herbacée rase et ayant une croissance faible, sous condition de permettre la circulation du personnel et des engins.
- Les **extérieurs de postes** sont aujourd'hui, pour beaucoup, négligés. En effet, ces zones appelées "délaisés" de postes, sont des espaces autour des postes électriques, à l'extérieur des grillages, qui sont souvent laissées à l'abandon. RTE mène notamment un projet appelé "Foncier futé" de recensement et de valorisation de ces espaces délaisés.

Le réseau routier

Le réseau routier, quant à lui, se décompose en trois zones : les routes, les abords de proximité des routes (qui prend en compte le terre-plein central lorsqu'il existe) et les abords lointains des routes.

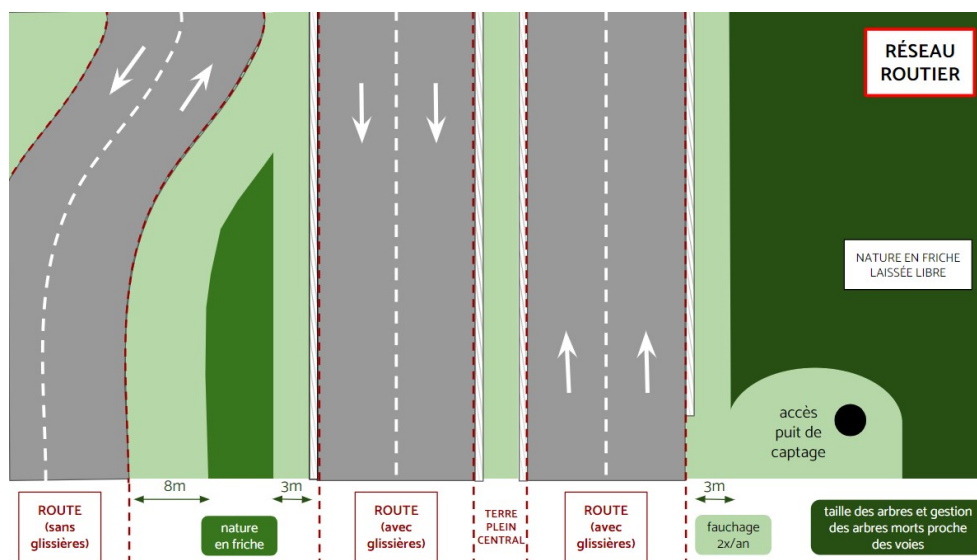


FIGURE 31 – Profil de contraintes d'usage du réseau routier

- Les **routes** qui correspondent à des sols scellés, imperméabilisés à plus de 90%. Ces dernières peuvent être de plusieurs types, à une ou plusieurs voies, de différentes largeurs et vitesses. Elles peuvent être longées de

glissières permettant aux usagers de se mettre en sécurité s'ils rencontrent un problème.

- Les **abords de proximité** La présence ou non de ces glissières induira une contrainte d'usage adaptée sur le type de végétation permise sur ces abords de proximité. Dans le cas où une glissière serait présente, la règle est de maintenir une végétation herbacée rase dans les 3 premiers mètres derrière la glissière. S'il n'y a pas de glissière, alors il faudra maintenir une végétation rase sur les 8 premiers mètres. Ces règles sont faites pour assurer la sécurité des usagers en cas d'incident ainsi que du personnel de maintenance et pour permettre une visibilité complète de la signalisation routière. Le terre plein central est, lui aussi considéré comme un abord de proximité. Sur ces zones, un fauchage mécanique est donc mis en place deux fois par an.
- Les **abords lointains** sont considéré au delà des distances citées ci-dessus (3m si présence de glissière, 8m sinon). La végétation permise sur cette zone est libre. La seule opération de maintenance concerne la taille des arbres à proximité des voies et la gestion des arbres morts. Ces zones, relativement peu boisées en réalité, offrent une piste d'amélioration en terme d'accueil de biodiversité. Dans le cas où une installation se trouveraient au niveau des abords routiers (puit de captage, réseau gazier), les contraintes d'usages seraient alors modifiées pour permettre l'accès à ces équipements et ne pas risquer de les endommager.

Le réseau fluvial

On trouve ensuite le réseau fluvial, qui se décompose, lui, en deux zones principales : les zones en amont jusqu'au niveau des ouvrages hydroélectriques (barrage, écluse) et les zones en aval. On retrouve également, comme dans le cas du réseau électrique, des délaissés fonciers et des zones de bâti (ports, industrie) auxquels sont appliqués les mêmes conditions que précédemment.

- La zone qui se trouve en amont et jusqu'au niveau des ouvrages hydroélectriques comme les barrages et les écluses, concentre une charge hydraulique extrêmement importante. Il est donc essentiel de maintenir une végétation très rase afin de pouvoir surveiller les éventuels tassements de terrain et désordres hydrauliques qui pourraient affecter durablement les installations et créer des dégâts sur la bords du fleuve. Il est fréquent, du moins dans le cas du Rhône, ne faire appel à de l'écopâturage afin de maintenir cette végétation herbacée rase.
- En aval et du côté de ces installations, la charge hydraulique est nettement

moins importante. La végétation permise est alors bien plus vaste. L'usage le plus fréquent est d'y laisser une végétation arborée libre, en friche, sur laquelle seule une gestion des arbres morts est mise en place.

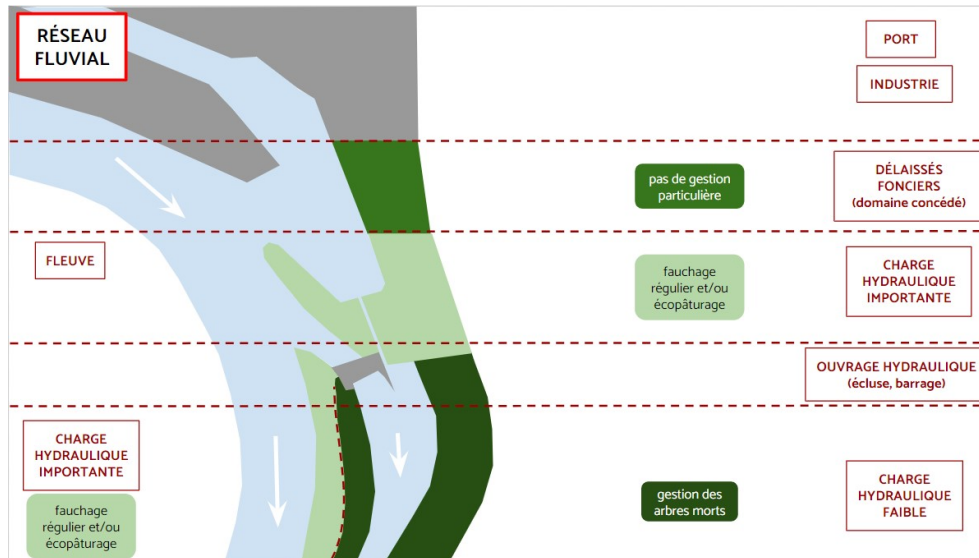


FIGURE 32 – Profil de contraintes d'usage du réseau fluvial

5.2 Définir les contraintes d'usage via la typologie d'occupation des sols

Sur la base des informations recueillies lors des entretiens (mises en forme via les profils d'usages) et de la typologie d'occupation des sols définie précédemment (Fig. 7), une matrice croisée a été construite, qui prend la forme :

de la dépendance à un calendrier de gestion partagé entre différentes ILTe, au dimensionnement des équipes de maintenance qui limite la capacité de gestion, à la faisabilité économique ou encore à des politiques de la ville. Ces contraintes peuvent disparaître ou être réduites si des changements sont opérés à courte échelle de temps. Sur ce type de contraintes, un travail de réduction des contraintes pourra être envisagé dans des perspectives de végétalisation des abords des ILTe.

5.3 Scores associés aux SE à partir des analyses terrain

L'objectif a ensuite été, à partir des mesures réalisées sur le terrain et en laboratoire, d'interpréter les résultats et d'y associer des scores de capacité de services rendus.

5.3.1 Résultats des analyses

Afin de regarder la cohérence générale des résultats, une analyse en composantes principale a été réalisée. Il s'agit d'une méthode d'analyse des données et de statistique multivariée qui permet d'évaluer la corrélation entre des variables. Elle consiste à transformer des variables liées entre elles en nouvelles variables décorrélatées les unes des autres qui sont nommées « composantes principales » ou axes principaux. C'est une approche à la fois géométrique, car les variables sont représentées selon des directions d'inertie maximale, et statistique, car les axes sont indépendants et choisis de façon à expliquer au mieux la variabilité des données.

Dans le cadre du stage, l'ACP obtenue est la suivante :

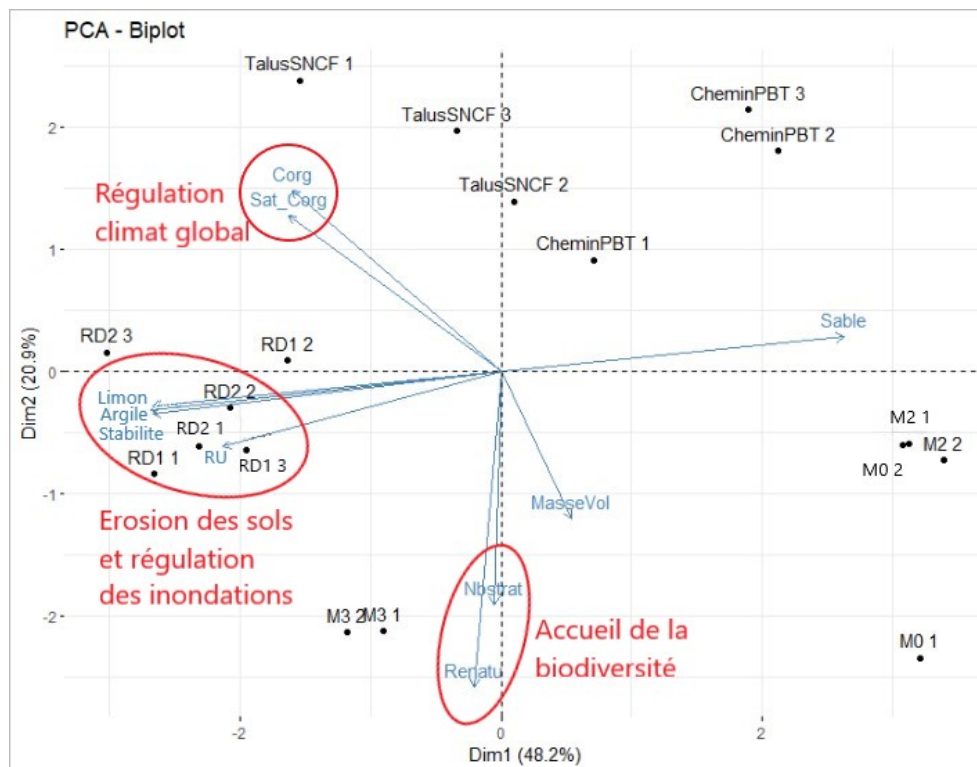


FIGURE 34 – Graphique d'ACP (avec la texture)

On remarque que le premier axe (Dim 1) conserve presque 50% de l'inertie du nuage. Il existe une structuration importante des données qui va se manifester sur le premier axe. Le second axe (Dim 2) conserve une part importante de l'inertie totale, environ 20%. Ainsi, la somme de l'inertie expliquée par chacun des axes représente une partie importante de l'inertie totale. Cette somme est une mesure de la fiabilité de la qualité globale explicative de l'analyse. En suivant le critère de Kaiser, on peut décider de ne retenir que ces deux premiers axes qui forment le premier plan factoriel, ce dernier expliquant 70% de l'inertie du nuage sans trop le déformer. Nos résultats paraissent donc satisfaisants pour permettre de commenter les données et leurs dispersions.

Les points les plus intéressants sont généralement ceux qui sont assez proches d'un des axes, et assez loin de l'origine. Ces points sont bien corrélés avec cet axe et sont les points explicatifs pour l'axe. On s'intéresse donc essentiellement aux points bien représentés (i.e. situés loin du centre). Si deux points sont proche l'un de l'autre, il est probable que les réponses des individus qu'ils représentent soient très similaires. En effet, la proximité dans l'espace entre deux individus

bien représentés traduit la ressemblance réelle de ces deux individus du point de vue des valeurs prises par les variables. La proximité entre deux variables sur un axe donne, si les deux variables sont bien représentées sur l'axe (proches de l'axe et du bord du cercle), une approximation de leur corrélation :

- Deux variables proches sont corrélées positivement
- Deux variables qui s'opposent sont corrélées négativement
- Deux variables orthogonales sont non corrélées.

Il faut cependant se méfier : il se peut que sur un axe ils soient très proches, alors que sur un autre ils sont très loin l'un de l'autre. Il faut donc les regarder par rapport à tous les axes qui ont été retenus pour l'analyse. S'ils sont bien corrélés avec l'axe qui les montre proches, alors, on peut conclure qu'ils sont vraiment proches.

Les axes factoriels sont des axes virtuels issus d'une synthèse entre les variables de l'analyse. Ils n'ont pas nécessairement un sens précis même si on peut souvent leur trouver un sens en s'aidant notamment de la représentation des variables sur le cercle de corrélation.

Rappelons que la représentation de ce cercle et des variables sur le mapping de l'ACP se fait sur une échelle arbitraire, ce qui fait que la proximité des points variables par rapport aux points individus n'a absolument aucun sens.

Prêtons donc attention maintenant à notre représentation. On distingue trois groupes de variables corrélées entre elles :

- Les variables de texture (limon, argile et sable), la variable de réserve utile et la variable de stabilité structurale des agrégats qui covarient (bien que le sable soit inversement corrélées par rapport aux autres) et proches de l'axe 1 (angle fermé) ce qui explique qu'elles sont très bien représentées par cet axe. Leurs faibles valeurs sur l'axe 2 montrent qu'elles contribuent très peu à celui-ci.
- L'indicateur RENATU et la variable du nombre de strate qui sont corrélées entre elles de façon logique puisque que le nombre de strate fait partie intégrante des indices pris en compte dans RENATU. Elles sont proches de l'axe 2 donc très bien représentées par cet axe mais pas par l'axe 1 dont elles sont éloignées.
- Les variables de teneur en carbone organique et de saturation en carbone organique qui sont liées entre elles de façon évidente puisque la saturation est calculée sur la base d'une formule qui intègre la teneur en Corg. Elles sont bien représentées sur les 2 axes à la fois, et semblent covarier de manière assez analogue au premier groupe et de manière inverse au second groupe.

Ces trois pôles représentent d'ailleurs les 4 services écosystémiques étudiés.

Seule la variable de masse volumique semble plus proche du centre que les autres variables (et donc loin du cercle de corrélation qui n'est pas tracé ici). Ainsi elle ne covarie pas avec les autres groupes de variables. Cela s'explique probablement par le fait que les densités considérées ici donc celles de la fraction inférieure à 2mm et non pas la masse volumique du sol en place. Le refus étant important pour ces sols, cela a probablement une influence sur la variable. Il aurait été plus logique que la variable soit corrélée au premier lot de variables décrits (réserve utile, stabilité des agrégats, texture).

Il faut ensuite regarder les points associés à nos modalités et nos répétitions terrain. Les points correspondants aux modalités des routes départementales de Saint-Fons, RD1 (Prairie) et RD2 (Arboré) et les modalités M0 et M2 de Pierre-Bénite, semblent proches les unes des autres et bien représentées par l'axe 2, c'est-à-dire par les composantes de l'axe liées aux variables de texture, de stabilité structurale et de réserve utile. Les points qui correspondent à la modalité M3, sont bien représentées par l'axe 1 et les variables de biodiversité. Enfin, les points correspondants à la modalité talus SNCF semblent bien représentées par les variables de teneur et de saturation en Corg.

Voyons maintenant, variable par variable les résultats brut obtenus et le lien avec l'interprétation de l'ACP ci-dessus.

5.3.1.1 Les caractéristiques générales du sol : texture, pH et densité

Les résultats bruts de texture sont disponibles en Annexes (voir Fig.52). On remarque que les sols étudiés sont plutôt d'une texture sableuse. Ils sont répartis en cinq catégories :

- Des sols sableux (modalités M0, M2, Chemin PBT)
- Des sables argileux (modalité Talus SNCF)
- Des sables limoneux (modalité M3)
- Des sables argilo-limoneux (modalité RD1)
- Des limons argilo-sableux (modalité RD2)

Tous les sols ont un pH qui varie entre 7,2 (pH élevé, sol alcalin) et 8,5 (pH très élevé, sol très alcalin).

Les résultats bruts de mesure de densité des sols prélevés sont accessibles en Annexes (Fig.54). En les comparant aux textures de sols et aux valeurs de références issues de la littérature (voir tableau Fig.25), on remarque que les valeurs

obtenus de densité apparente pour les modalités Talus SNCF, RD1 et RD2 sont relativement faibles. Cela peut s'expliquer par le fait que ce ne sont pas des sols naturels mais artificiels et donc la compaction initiale a été modifiée au cours de l'aménagement des infrastructures linéaires de transport. La faible densité de la modalité Chemin, quant à elle, peut s'expliquer par le fait que le prélèvement a été particulièrement compliqué du fait du grand nombre d'éléments grossiers (cailloux) ce qui a probablement faussé la mesure. Enfin, les modalités M0, M2 et M3 semblent avoir des densités proches de celles de la littérature. Les modalités M2 et M3 sont en effet moins compactes que la modalité témoin M0.

5.3.1.2 L'accueil de biodiversité

Les résultats obtenus grâce à l'indicateur RENATU, pour évaluer le SE accueil de biodiversité, sont accessibles en Annexes (voir Fig.56). Le premier constat que l'on peut faire en comparant les répétitions terrain est que les résultats obtenus sont relativement homogènes au sein d'une même modalité. La seule modalité pour laquelle on retrouve un écart notable est la modalité M0 à Pierre-Bénite. Cette différence est due à l'implantation spontanée d'arbres sur une partie de la parcelle. De façon intuitive ensuite, la modalité chemin a un score quasi-nul du fait de l'absence totale de couverture végétale. Un deuxième constat que l'on peut faire en comparant des modalités possédant une couverture végétale arborée et prairiale est que ces scores peuvent être similaires. En effet, l'indicateur RENATU valorise autant la présence de ligneux (notamment d'arbres) que la présence de fleurs qui sont un atout majeur pour la pollinisation. Par exemple, les scores de la modalité RD1 et RD2 sont donc très similaires alors qu'ils ne possèdent pas du tout la même couverture végétale. La modalité qui se trouve rendre le plus de services en matière d'accueil de biodiversité végétale est la modalité M3 à Pierre-Bénite, car elle accueille en même temps de la végétation arborée et de la végétation prairiale fleurie.

5.3.1.3 La teneur en COS et la saturation en COS

Les résultats bruts sont accessibles en Annexes (voir Fig.58). Sur les graphiques ci-dessous on retrouve à gauche les résultats pour la teneur en carbone organique du sol pour chaque modalité et répétition et à droite, de la même façon, les résultats pour la saturation en COS. Les deux graphiques sont très similaires au niveau de l'ordonnement des modalités. On rappelle qu'en plus de s'appuyer sur la teneur en COS (en %), le calcul de saturation en t/ha prend en compte à la fois la profondeur d'horizon (15 cm ici) et la densité apparente de

chaque sols sur la fraction de sol inférieure à 2mm de diamètre (résultats en annexes Fig.55), qui ont été mesurées précédemment. Ainsi, il n'est pas obligatoire que ces deux courbes soient similaires : par exemple, des sols très grossiers ayant une haute teneur en COS auront une saturation en COS probablement beaucoup plus faible car nous ne prenons en compte que les densités apparentes de la fraction fine. Les sols étudiés dans le cas de SEMEUR sont des sols urbains non naturels.

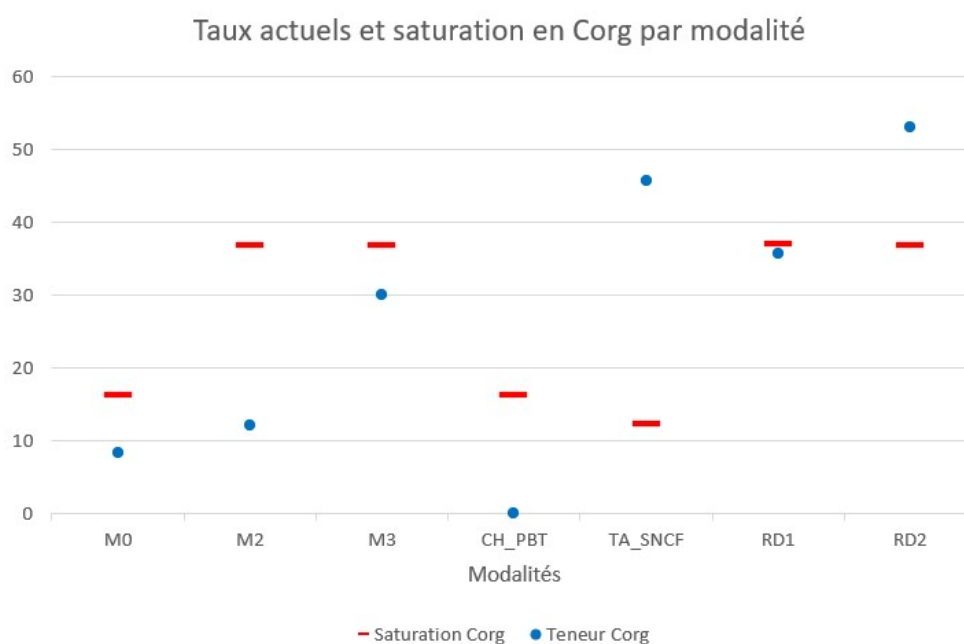


FIGURE 35 – Teneur et saturation en COS des sites étudiés en fonction des modalités et répétitions

Dans la littérature, le taux de carbone dans les sols de prairie qui varie entre 60 et 120 tC/ha dans les premiers 30cm du sol [GIS Sol, 2014].

Stocks de référence par unité de surface	Sol (30 cm)	Litière	Biomasse	Total
	tC/ha	tC/ha	tC/ha	tC/ha
Cultures	50		0	50
Prairies zones herbacées	69		0	69
Prairies zones arbustives	69		7	76
Prairies zones arborées	69		31	100
Feuillus	60	9	59	128
Mixtes	60	9	57	126
Conifères	60	9	73	142
Peupleraies	60	9	52	121
Zones humides	125		0	125
Vergers	46		16	62
Vignes	39		5	44
Sols artificiels imperméabilisés	30		0	30
Sols artificiels arbustifs	69		7	76
Sols artificiels arborés et buissonnants	60		31	91
Haies associées aux espaces agricoles	0		57	57

Source : ALDO - ADEME

FIGURE 36 – Tableau des stocks de référence par unité de surface dans l’horizon 0-30cm du sol selon l’outil ALDO de l’ADEME

Pour pouvoir comparer nos valeurs obtenus sur l’horizon 0-15cm aux valeurs de la littérature (horizons 0-30cm), nous multiplierons nos valeurs par 2 pour la plupart des modalités (RD1, RD2, RD3, M0, M2 et M3). A noter que ces valeurs sont susceptibles d’être légèrement surestimées car la plus grande partie du COS se trouve généralement dans les 15 premiers centimètres du sol. Cependant certains sols notamment forestiers (RD2) et prairial (RD1) étant très organiques, l’horizon de sol qui contient du Corg est probablement plus important que les 15cm prélevés. La modalité Talus-SNCF ne sera pas multipliée car le sol de cette modalité s’est révélé être très court. Une profondeur de 5 cm sera considéré pour mieux représenter la réalité du terrain. Ainsi les valeurs retrouvées dans les modalités M3 (60 tC/ha en moyenne) et RD1 (71 tC/ha en moyenne) correspondent à des teneurs retrouvées sur des sols de prairie. Les valeurs retrouvées sont du même ordre de grandeur que celles retrouvées sur d’autres sols urbains [Consalès et *al.*, 2016]. Les deux autres modalités M0 (16 tC/ha) et M2 (24 tC/ha) présentent des teneurs en carbone dans le sol bien plus faibles, ce qui semble cohérent étant donné qu’il s’agit de matériel dégradé n’ayant presque pas suivi de génie écologique. La décompaction et la mise en place d’un couvert végétal semblent néanmoins avoir été efficaces pour relever la teneur en carbone de la modalité M2 par rapport à M0 (pour un sol similaire on le rappelle). Les teneurs obtenues pour la modalité chemin sont étonnamment élevées (31 tC/ha en moyenne) étant donné que nous étudions le carbone organique et non minéral, et que la couverture végétale sur cette modalité était inexistante. Enfin, les valeurs

obtenus pour les modalités Arboré-RD2 (106 tC/ha en moyenne) et Prairie-Talus SNCF (91 tC/ha en moyenne) sont nettement plus élevées. Un score aussi élevé pour la modalité Talus SNCF s'explique par le fort taux de matière organique présent dans le sol qui a été amené. En effet, la couleur très sombre du sol nous a fait supposer qu'il ne s'agit pas du sol en place mais que celui-ci a été apporté d'ailleurs et fortement enrichi en compost.

Concernant maintenant la saturation, les valeurs obtenues pour les modalités M0, M2, M3, Chemin semblent être réalistes. Cependant on remarque que les taux de saturation des modalités RD1, RD2 et Talus SNCF sont plus bas que les stocks actuels de Corg mesurés. Cela peut s'expliquer par le fait que du Corg ait été stocké de façon artificielle (sol enrichi en MO) ou que l'on retrouve des éléments type hydrocarbures qui augmentent la teneur en Corg. Pour déterminer cela il faudrait pousser l'analyse RockEval en observant les thermogrammes. Néanmoins, il y a de fortes chances qu'à long terme le sol cherche à s'équilibrer en dégazant pour atteindre le seuil de saturation. Ainsi, le flux sortant en Corg serait plus important que le flux entrant. Cela peut-être un élément à prendre en compte en contexte urbain dans l'évaluation du service écosystémique régulation du climat global.

Finalement, il semblerait que le modèle utilisé pour le calcul de saturation ne soit pas idéal : en effet, ce modèle est calibré sur des sols dits "naturels" qui correspondent mal au contexte urbain du projet SEMEUR. Néanmoins l'ordonnement des résultats a du sens. Pour aller plus loin il faudrait pouvoir connaître l'origine des sols étudiés afin de mieux retracer leur évolution.

5.3.1.4 Stabilité structurale - Risque de battance et d'érosion

Les résultats bruts sont accessibles en Annexes (voir Fig.53). Les résultats finaux de stabilité structurale sont les suivants (colonne jaune) :

Code terrain	Commentaire	MWD	Interprétation stabilité selon mesures CG.	Résultats triangle des textures : Stabilité structurale
M0_PBT_R1	EG > 60%	0	Très instable	
M0_PBT_R3	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R1	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R3	EG > 60%	0	Très instable	
M3_PBT_R1		2,999	Très stable	
M3_PBT_R3		2,627	Très stable	
CH_PBT_R1	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R2	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R3	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
PR_RD1_R1		2,859	Très stable	Instable
PR_RD1_R2		2,994	Très stable	Instable
PR_RD1_R3		3,121	Très stable	Instable
ARB_RD2_R1		2,945	Très stable	Très instable
ARB_RD2_R2		2,903	Très stable	Instable
ARB_RD2_R3		2,771	Très stable	Très instable
TA_SNCF_R1		2,642	Très stable	Instable
TA_SNCF_R2		2,381	Très stable	Moyen
TA_SNCF_R3		1,619	Stable	Instable

FIGURE 37 – Analyse des résultats de stabilité structurale

Les modalités M0, M2 et Chemin ont été mises à zéro du fait de la grande quantité d'éléments grossiers les composants (colonne orange). En effet, le protocole du test stipule qu'au delà de 40% d'EG, le test n'est pas concluant. Une critique majeure peut-être émise face aux résultats obtenus : de façon étonnante, les sols étudiés semblent être tous très stables structurellement (colonne bleue) car, après tests, les valeurs des diamètres moyens pondérés des agrégats sont supérieures à 2mm . Si l'on compare avec les résultats avec ceux issus du triangle des textures (colonne verte) on remarque qu'ils sont bien moins stables. La raison à cela est que ce test en laboratoire est soumis à un important biais opérateur et demande une grande maîtrise des gestes de simulation de contact avec l'eau pour être correctement réalisé. Il est probable ainsi que les agrégats n'aient simplement pas été suffisamment sollicités pour mesurer leur capacité de résistance. La méthode semble fiable donc reste préconisée ici. Elle nécessite simplement un entraînement plus important afin d'atteindre une rigueur satisfaisante.

5.3.1.5 Réserve utile du sol

Les valeurs obtenues pour la réserve utile (en mm/cm de sol) varient entre 0.193 et 0.981 (voir Annexes Fig.59). Par rapport aux ordre de grandeurs de la littérature citées plus tôt, ces valeurs sont donc très basses. En effet, des valeurs de RU entre 0.7 et 1.2 mm/cm de sol correspondent à un sol sableux. Or toutes nos valeurs étant inférieures ou égales à 0.9 mm/cm, tous nos sols, même

ceux non sableux, entrent dans cette catégorie. Si l'on compare maintenant aux textures de nos sols, les résultats paraissent cohérent : les sols qui contiennent le plus d'argile sont ceux avec une RU la plus élevée ; les sols limoneux sont intermédiaires et les sols sableux ont une RU la plus faible. On retrouve sur l'ACP ces corrélations. En effet, les textures argile et limon ont la même direction et longueur que l'indicateur de RU alors que le sable montre une corrélation inverse en ayant une direction opposée.

On remarque également que l'enracinement des plantes semble en effet augmenter la RU. En effet, les modalités très végétalisées (herbacées notamment le talus SNCF et la prairie RD1, arborées notamment la zone arborée RD2 et la modalité M3) ont des RU plus élevées que les autres. Cependant, cette information ne semble pas apparaître sur l'ACP qui donne des directions presque orthogonales aux indicateurs de biodiversité et à la RU.

Enfin, plusieurs paramètres peuvent expliquer que nos résultats soient si faibles. Premièrement le fait que nos sites d'études sont des sols urbains présents aux abords d'infrastructures routières ou industrielles et non pas des sols agricoles ou naturels sur lesquels se font habituellement ces études. Deuxièmement, ces mesures sont généralement réalisées sur un horizon de sol 0-30cm or nous n'avons pris en compte que l'horizon 0-15cm. Nous avons par ailleurs vu plus haut dans ce rapport que d'autres paramètres que la végétation peuvent impacter la RU. Ainsi, pour aller plus loin il aurait fallu évaluer la teneur en matière organique ainsi que le taux de refus >4mm pour chacun des échantillons et évaluer la corrélation entre la RU et ces deux paramètres.

5.3.1.6 Infiltration

Les résultats d'infiltration sont disponibles en Annexes (voir 61). Les résultats des modalités M0, M2 et M3 ne seront pas présentés ici car des erreurs ont été commises lors des tests *in situ*, ne donnant pas lieu à des résultats cohérents. En effet, l'infiltromètre avait été mal manipulé, donnant lieu à des infiltrations quasi-nulles. Les résultats des quatre autres modalités, bien que présentés ci-dessous, ne sont pas non plus satisfaisants car il semblerait que la mesure via l'infiltromètre à membrane aient plusieurs limites. La première est qu'il est difficile d'atteindre avec certitude l'état de saturation en eau du sol dans un temps si court, afin de mesurer, non pas la capacité de remplissage des interstices du sol, mais bien sa capacité de drainage une fois saturé. Sur le graphique ci-dessous qui présente l'infiltration non cumulée, le volume infiltré à chaque pas

de temps semble décroître. Cependant il faudrait un temps plus grand pour s'assurer de l'atteinte du régime saturé et on perdrait ainsi l'avantage principal de cette mesure qui est sa rapidité.

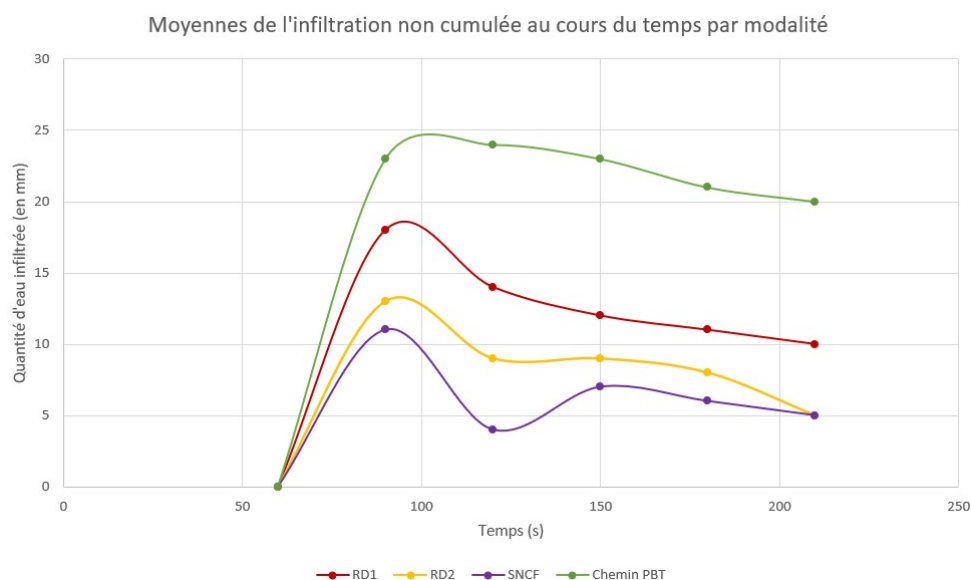


FIGURE 38 – Graphique des moyennes d'infiltration non cumulée au cours du temps selon les modalités

De plus, les résultats obtenus sur ce graphique nous ont interpellé, notamment le fait que la modalité Chemin-PBT semble avoir le meilleur taux d'infiltration. Or, comme on le retrouve sur la Fig.39a, prise un lendemain de jour de pluie, cette modalité n'a pas une grande capacité d'infiltration. Une seconde limite est apparue qui peut justifier cette erreur : comme visible sur la Fig.39b de l'eau s'échappe par les côtés de l'infiltromètre malgré un contact intégral avec le sable. L'infiltration mesurée ne serait pas celle du sol mais la vitesse à laquelle l'eau s'écoule sur les côtés.



(a) Photo de la modalité Chemin prise en lendemain de pluie (b) Photo du test d'infiltration sur la modalité Chemin

FIGURE 39

Face à ces limites, une autre méthode a été testée et est donc préconisée dans le cadre d'une étude similaire. Il s'agit de la méthode Beerkan qui permet également de mesurer le potentiel d'infiltration du sol in situ [Lassabatere et *al.*, 2006]. Il s'agit de verser un volume d'eau fixe de 1cm de hauteur d'eau sur la surface du sol et de mesurer le temps d'infiltration dans le sol pour chaque volume d'eau. Il est alors possible de calculer le taux d'infiltration de l'eau en millimètres par minute grâce à la courbe d'infiltration de l'eau à son état d'équilibre. Cette méthode semble permettre avec plus de sécurité d'atteindre le pallier pour lequel le sol est saturé en eau et commence à se drainer, sans quoi notre mesure d'infiltration est fautive. Néanmoins, elle est plus longue (30 min par échantillon) ce qui a orienté notre choix sur l'autre méthode, plus rapide donc plus adaptée ici.

Ces limites mises de côté, la mesure d'infiltration par l'infiltromètre à membrane semble peu corrélée à la végétation et plus à l'état du sol (décompacté, présence de cailloux, texture).

5.3.2 Scores associés aux indicateurs

L'analyse des résultats obtenus lors des tests in situ et des manipulations en laboratoire a ensuite permis d'associer chaque type de couverture de sol à un score de services rendus, entre 0 (aucun service rendu) et 1 (service rendu

maximal). Le test d'infiltration n'ayant pas été concluant, il a été simplement supprimé des indicateurs. Le SE de régulation des eaux pluviales sera donc uniquement représenté par la mesure de réserve utile. Par ailleurs, comme des tests différenciés n'ont pas été réalisés selon la présence de végétation ou non des sols semi-scillés ou bien la présence d'arbustes ou d'arbres pour les sols non scillés, des scores similaires leur ont été affectés. Le test de stabilité structurale. Le scoring proposé est le suivant :

SAINT FONS	Id classe	1		2		3		4		5		6		7		8	
		Sol scellé		Sol semi-scellé				Sol non scellé									
		Imperméabilisé > 90%		Imperméabilisé entre 50% et 90%				Imperméabilisé < 50%									
		Voie de circulation lisse (béton, goudron,...etc)		Voie de circulation non lisse (pavés, graviers,...etc)		Voie de circulation non lisse (pavés, graviers,...etc)		Non bâti		Non bâti		Non bâti		Non bâti		Non bâti	
Sans végétation		Sans végétation		Strate herbacée partielle		Sans végétation (sol nu : terre)		Strate herbacée uniforme		Strate arbustive (+haies)		Strate arborée		Eau			
Coefficient de biotope par surface (CBS)		0		0,1-0,2				0,3-0,4		0,5-0,7		0,8-1,0		-			
Contrôle érosion des sols (Stabilité structurale)		0		0-0,1				0,2-0,4		0,4-0,8		0,7-1,0		-			
Régulation climat global (Stockage COS)		0		0,1-0,3				0,3-0,6		0,7-1		0,7-1		-			
Accueil de biodiversité (RENATU)		0		0-0,1				0,2-0,3		0,4-0,7		0,8-1		-			
Régulation eau de pluie (Réserve utile)		0		0,1-0,3				0,4		0,5-1		0,6-1		-			

FIGURE 40 – Scores associés aux SE via les indicateurs de mesure

Analysons de plus près les scores associés à chaque service écosystémique :

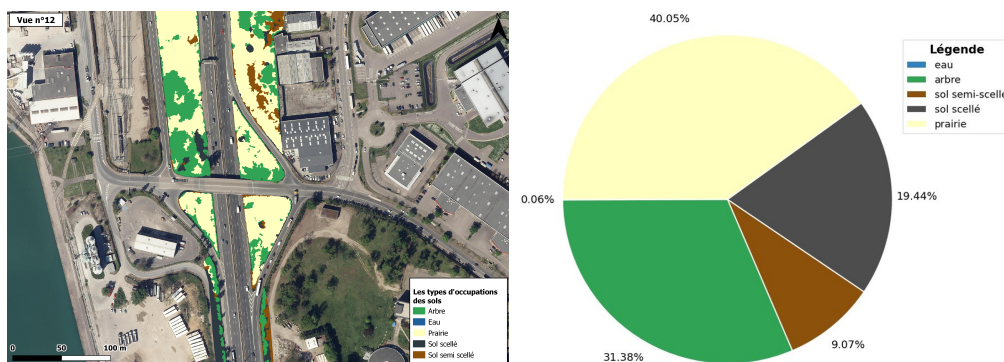
- **Contrôle de l'érosion des sols** : les résultats obtenus via le test de stabilité structurale n'ayant pas été très rigoureux, les scores ont été affectés sur la base des dires des experts de Valorhiz et sur les données de références présentes dans la littérature. Ainsi, si un sol semi-scillé rend un service quasi-nul, les couvertures herbacée et arborée rendent, elles, d'importants services de réduction de l'érosion des sols.
- **Régulation du climat global** : les scores sont issus des résultats obtenus via la mesure du stock de COS et de la saturation. On remarque que les couvertures herbacée et arborée sont sur des intervalles de services rendus similaires. En effet, comme nous nous sommes concentrés sur les sols et non pas sur la capacité de stockage de carbone organique de la biomasse végétale aérienne, certaines prairies sont susceptibles de stocker autant de COS que des zones arborées.
- **Accueil de la biodiversité** : les scores entre 0 et 55 proposées dans le cadre de l'indicateur RENATU ont été ramenés sur l'intervalle 0-1. Pour avoir un échantillonnage plus important que les sites étudiés dans le cadre de SEMEUR, les valeurs obtenus dans le cadre de l'étude menée lors de la mise en place de l'indicateur ont été utiles.
- **Régulation des eaux pluviales** : les scores associés ont été définis sur la base des résultats obtenus via le pfmètre, de mesure de la réserve utile. Ils ont été ramenés sur un intervalle 0-1 puis complétés sur la base du dire

d'experts. Néanmoins, nous avons analysé que ces résultats étaient plus corrélés à la texture du sol qu'au type de végétation présente. Ces scores doivent donc être considérés avec prudence.

5.4 Cartographie des SE rendus par les sols urbains

5.4.1 Cartographie des occupations en lien avec les contraintes usages

Un premier travail a été réalisé à l'aide de l'intelligence artificielle Cassia®⁴ développée par Valorhiz afin d'identifier les surfaces occupées par les différentes couvertures de sols issues de la typologie d'occupation des sols (pour rappel, voir 7) sur les abords d'une infrastructure routière présente sur le territoire de Saint-Fons. Les occupations de sols ont donc été évaluées sur une bande de 10m le long de la route départementale 383. Comme visible sur la figure 41b, on remarque que 40% de la surface totale hors voirie est occupée par une couverture prairiale, 31% par une couverture arborée, environ 19% par un sol scellé (comprenant le bâti est les routes bétonnées/goudronnées), 9% par un sol semi-scillé (type graviers, pavés) et presque 0% par de l'eau. La zone semble donc majoritairement occupée par des couvertures capables de rendre des services écosystémiques.



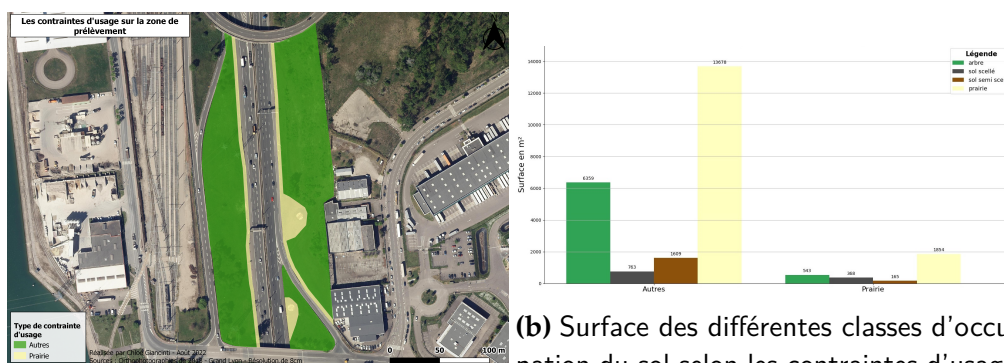
(a) Carte de l'occupation du sol selon les (b) Taux d'occupation des différentes classes de la typologie. Source : <https://cassia-technologies.com/> classes d'occupation du sol le long de la RD383 sur une bande de 10m

FIGURE 41

La suite du travail a consisté à se concentrer sur une portion de la RD383, qui se trouve être l'échangeur routier "Saint-Fons centre". Une découpe a été

4. <https://cassia-technologies.com/>

réalisée selon les contraintes d'usage de ce type d'infrastructure en suivant les règles établies dans les profils de gestion. En dehors de la route qui ne peut être que sous forme de sol scellé, on retrouve sur la Fig.42a une contrainte d'usage au niveau de l'infrastructure routière. Il s'agit des zones entre 0 et 3 mètres de distance après la glissière ainsi que des zones d'accès aux installations type puits de captages, dans lesquelles une couverture "prairie" est imposée (zone jaune "Prairie"). Le reste des abords de la RD383 n'est pas soumis à une contrainte (zone verte "Autres").



(a) Découpage de la zone aux abords de la sur une zone de prélèvement échangeur RD383 (Saint Fons) selon les contraintes routier de la RD383 d'usage

FIGURE 42

A partir de cette identification, des statistiques ont été réalisées (voir Fig.42b) pour tenter d'évaluer :

- la **corrélation entre contraintes d'usages et occupation réelle du sol**. Pour cela il faut observer la répartition des occupations sur la zone soumise à contrainte d'usage (partie droite "Prairie"). 63% de cette zone est effectivement sous couverture prairiale, 19% ont été détectés comme étant sous couverture arborée, 6% sous sol semi-scillé et 12% sous sol scellé. Ces écarts peuvent être dus à la précision des méthodes de classification supervisée qui n'atteignent jamais statistiquement les 100% et du découpage réalisé dû à la précision de l'opérateur.
- les **opportunités en termes de végétalisation sur les zones non soumises à des contraintes d'usage**. Ainsi, on remarque que sur la zone "Autres", seulement 28% du sol est occupé par une couverture arborée. La grande majorité est recouverte de prairie (61%), 7% sont recouverts par un sol semi-scillé et 3% par un sol scellé. On identifie donc, sur cette zone, un fort potentiel en termes de plantation d'arbres.

5.4.2 Cartographie des SE rendus par les sols urbains selon les occupations du sol

L'occupation des sols par télédétection (Cassia®) a ensuite été croisée avec le tableau des scores associés à chaque service écosystémique pour obtenir des cartes de SE rendus en fonction de l'occupation des sols (QGIS). Des scores médians ont été déterminés pour chaque couverture de sol au sein des intervalles définis précédemment et la même échelle a pu être utilisée pour réaliser les quatre cartes visibles dans la figure 43. Globalement les gradualités des différents services rendus semblent être relativement similaires pour les différents services. D'une part les zones identifiées comme ne rendant aucun SE (zones en rouge) sont les mêmes pour chacun des SE. Elles correspondent aux zones de sols scellés. Il semble y avoir cependant des différences pour les sols non scellés : les zones arborées notamment sur la partie nord ouest de l'échangeur semblent rendre des services autour du contrôle de l'érosion des sols, de l'accueil de biodiversité et du climat global mais rendre moins de services autour de la régulation des eaux pluviales. Les zones prairiales semblent rendre plus de services en matière de lutte contre l'érosion, de régulation de l'eau pluviale et de stockage de carbone organique que d'accueil de biodiversité.

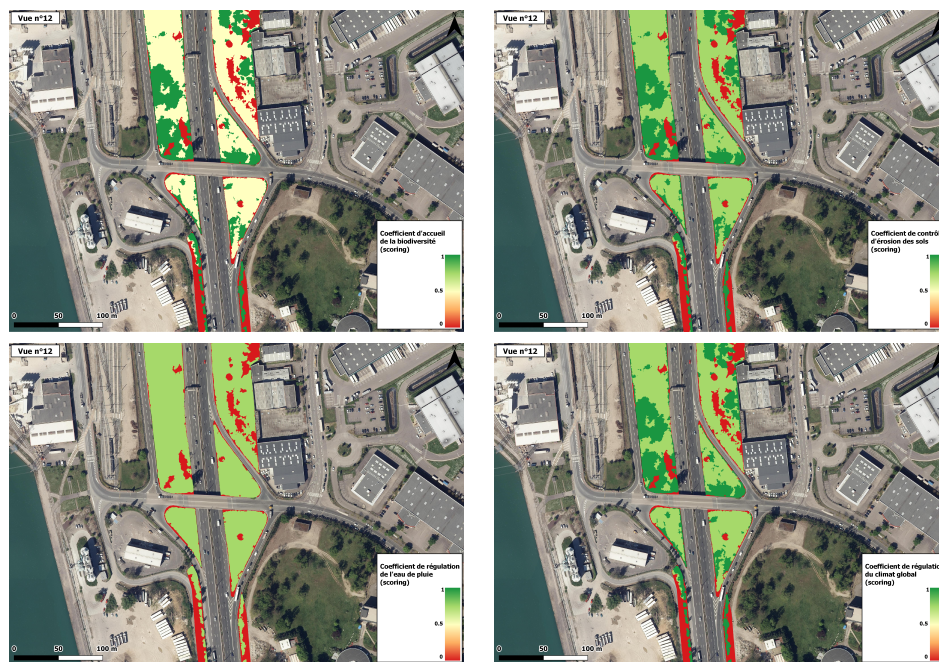


FIGURE 43 – Cartes des coefficients de SE rendus par les sols urbains (infrastructure routière) en fonction de l'occupation des sols

5.4.3 Le cas du tram T10

Le travail effectué sur le tram s'est appuyé sur les schémas issus du cahier des aménagements de l'avant-projet du tram T10 (voir Fig.44). Une partie du tram a été sélectionnée, il s'agit de la zone entre la station Quatre chemins et la station Sampaix Sud. On peut identifier grâce à cette coupe que 43 arbres vont être conservés lors des aménagement, 17 enlevés et 60 plantés soit un passage de 60 arbres avant à 86 arbres après aménagements. A noter qu'aucune artificialisation supplémentaire ne va avoir lieu alors qu'une désartificialisation de certains espaces va être réalisée : en effet, des plantations d'arbres sont prévues ainsi que la mise en place d'une plateforme végétalisée.

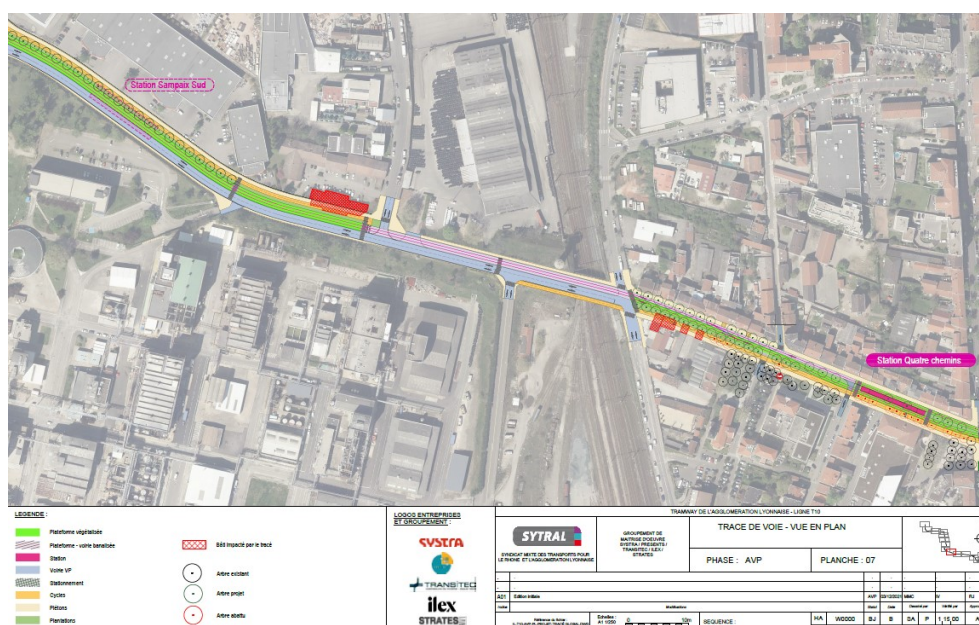


FIGURE 44 – Extrait du cahier des aménagements de l'avant-projet du tram T10

A l'aide d'un géoréférencement sur QGIS, ces propositions d'aménagement ont pu être comparées avec l'occupation actuelle du sol. Ainsi, il a été possible d'identifier des modifications de l'occupation du sol que l'on retrouve sur la figure ?? Pour une surface initiale bétonnée totale de 19398m², 77% vont rester sous forme de sol scellé, 17% vont être aménagés en plateforme végétalisée et 6% vont accueillir de nouveaux arbres.

6 Conclusion

Le présent stage, réalisé dans le cadre du projet ITTECOP-SEMEUR, avait pour objectif la réalisation d'une typologie d'occupation des sols du milieu urbain en lien avec la capacité des infrastructures linéaires de transport à rendre des services écosystémiques et à participer à la réalisation de cartographies de ces services rendus par les sols urbains sur la zone d'étude de Saint-Fons.

Les objectifs du stage ont globalement été atteints. Comme présenté dans le présent rapport, une matrice croisée entre une typologie d'occupation des sols et les contraintes d'usages des infrastructures linéaires de transports a été proposée; des mesures terrains et recherches bibliographies ont été réalisées afin de proposer des valeurs nominales et scores associés à l'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols du milieu urbain; enfin, des cartographies ont été produites afin de mettre en avant l'occupation des sols de la zone d'étude de Saint-Fons, les contraintes d'usages des infrastructures ainsi que les services écosystémiques rendus par ces sols. Une attention particulière a été portée à la capitalisation et la transmission des informations recueillies et des travaux produits lors du stage. Pour cela, en plus des séances de travail collaboratives avec les experts de Valorhiz, diverses présentations ont eu lieu auprès des autres structures engagées dans le projet SEMEUR ainsi qu'auprès de membres de directions de la Métropole de Lyon, l'objectif étant de faire connaître le projet SEMEUR en s'appuyant notamment sur les résultats de ce stage.

Plusieurs difficultés ont été rencontrées au cours des six mois de stage. Premièrement, la difficulté d'obtenir des entretiens avec certains gestionnaires d'infrastructures linéaires de transport, notamment les industriels gestionnaires des infrastructures type pipelines. Ainsi, même si la plupart des ILTe ont pu être représentées, toutes ne l'ont pas été. Cela constitue une première piste d'amélioration pour la suite du projet SEMEUR ou pour son opérationnalisation. La seconde difficulté a résidé dans le temps restreint alloué à la réalisation de mesures terrain. En effet, la phase de prélèvements d'échantillons de sol et tests in situ et en laboratoire a été plus chronophage que ce qui avait été anticipé. De ce fait et en raison des difficultés d'accès à certaines ILTe, le nombre de sites sélectionnés a donc été réduit. La détermination de valeurs nominales et de scores associés aux services écosystémiques rendus par les sols a été rendue peu fiable du fait du nombre réduit de valeurs obtenues. Néanmoins, étant donné que le projet SEMEUR consiste au développement d'une méthodologie et non pas à l'application concrète de cette méthodologie, cela n'est pas réellement

problématique. Si l'analyse des résultats issus de la phase terrain a nécessité un peu plus de recul, la méthodologie, elle, reste fiable car appliquée et vérifiée par les experts pédologues de Valorhiz. Enfin, la dernière difficulté concernait la réalisation de cartographies notamment l'ampleur du travail à effectuer pour appliquer les contraintes d'usages sur toute la zone d'étude. Pour pallier cela, nous avons donc choisi de restreindre la zone d'application de la méthode afin de montrer sa faisabilité.

Ce stage est à la croisée de plusieurs disciplines techniques notamment l'écologie, la pédologie, la botanique, la gestion des infrastructures de transport, l'aménagement du territoire urbain. Il a regroupé des missions de gestion de projet (formalisation du périmètre de travail, discussions avec les différents acteurs, capitalisation et transmission), de terrain (prélèvements de sols, relevés botaniques), de laboratoire (analyse des sols prélevés), de cartographie (SIG notamment), d'analyse des résultats, de recherches bibliographiques, etc. Il a permis de creuser le fonctionnement de ce type de projet d'envergure, issus d'un partenariat multi-acteur entre public, privé et recherche, ayant des ambitions de développement d'une ville durable. De par cette multidisciplinarité mais aussi grâce à la pluralité des acteurs rencontrés et à l'investissement des structures encadrantes, le stage réalisé a été une expérience très enrichissante et formatrice.

Références

- [Kraszewski, 2019] Kraszewski, M., 2019, *Evaluation du taux d'artificialisation en France : comparaison des sources Teruti-Lucas et fichiers fonciers.*, 60 pages, téléchargeable au lien : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-08/evaluation-du-taux-d-artificialisation.pdf>.
- [Clevenot et al., 2017] Clevenot, L., De Chastenet, C., Frascaria, N., Jacob, P., Raymond, R., Simon, L. Pech, P., 2017, *Do "Linear Transport Infrastructures provide a potential corridor for urban biodiversity? Case study in Greater Paris, France.*, Cybergeog : European Journal of Geography. Environment, Nature, Landscape, document 803, téléchargeable au lien : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27895>.
- [Greinert et al., 2017] A. Greinert, Levin, M. J., Kim, K. H. J., Morel, J. L., Burghardt, W., Charzyński, P., Shaw, R. K., 2017, *Soils Within Cities : Global Approaches to Their Sustainable Management : Composition, Properties, and Functions of Soils of the Urban Environment*, Catena Soil Sciences, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/314114601-Functions-of-soils-in-the-urban-environment-A-Greinert-2017>.
- [Séguir et al., 2011] Frédéric Séguir, Audrey Benassi, Aurélie Noyel, Jeanne Neyret, Flavie Duprey, 2011, *La Charte de l'Arbre du Grand Lyon*, 82 pages, téléchargeable au lien : <https://www.grandlyon.com/fileadmin/user-upload/media/pdf/environnement/chartearbre.pdf>.
- [Todaro et al., 2019] Benjamin Todaro, Olivine Thirion, Séléna Lecron, 2019, *Le plan Canopée de Lyon Métropole, Séminaire d'analyse des projets urbains*, 24 pages, téléchargeable au lien : <https://jacquesteller.files.wordpress.com/2021/04/uliege-plan-canopee-de-lyon-metropole-benjamin-todaroolivine-thirion.pdf>.
- [Cadre méthodologique du projet ITTECOP-SEMEUR, 2020] Programme de recherche ITTECOP, 2020, *Capacité des infrastructures de transport à répondre à la demande en Services Ecosystémiques du MiliEu URbain (SEMEUR) - Cadre méthodologique et site d'expérimentation au territoire de Saint-Fons (Grand Lyon)*, 31 pages, document interne.
- [Grand Lyon, 2018] Grand Lyon, 2018, *Diagnostic Santé Environnement des habitants de la métropole de Lyon*, 252 pages, téléchargeable au lien : <https://www.grandlyon.com/fileadmin/user-upload/media/pdf/environnement/plan-metropolitain-sante-environnement-diagnostic-sante.pdf>.

- [Fosse et al., 2019] Fosse, J., et al., 2019, *Objectif « Zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols?*, Rapport technique France Stratégie, 54 pages, téléchargeable au lien : <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-2019-artificialisation-juillet.pdf>
- [Seiler, 2001] Seiler, A., 2001, *Ecological effects of roads.*, A review. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/240639937-Ecological-Effects-of-Roads-A-review>.
- [Ranta, 2008] Ranta, P., 2008, *The importance of traffic corridors as urban habitats for plants in Finland*, Urban Ecosystems, Volume 11, pages 149-159, accès obtenu via le lien : <https://www.researchgate.net/publication/The-importance-of-traffic-corridors-as-urban-habitats-for-plants-in-Finland>
- [Penone et al., 2012] Penone, C., Machon, N., Julliard, R., Le Viol, I., 2012, *Do railway edges provide functional connectivity for plant communities in an urban context?*, Biological Conservation, Volume 148, pages 126-133, accès obtenu via le lien : <https://www.researchgate.net/publication/232656466-Do-railway-edges-provide-functional-connectivity-for-plant-communities-in-an-urban-context>
- [Savard et al., 2000] Savard, J-P., Clergeau, P., Mennechez, G., 2000, *Biodiversity concepts and urban ecosystems*, Landscape and Urban Planning, Volume 48, pages 131-142, accès obtenu via le lien :
- [Folke, 2006] Folke, C., 2006, *Resilience : the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses*, Global Environmental Change, Volume 16, pages 253–267, accès obtenu via le lien : <https://www.researchgate.net/publication/222434321-Resilience-The-Emergence-of-a-Perspective-for-Socio-Ecological-Systems-Analyses>
- [Colding et Barthel, 2019] Colding, J., Barthel, S., 2019, *Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later* Ecology and Society, Volume 24, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/330528764-Exploring-the-social-ecological-systems-discourse-20-years-later>
- [Bretagnolle et al., 2020] Bretagnolle, V. et al., 2020, *ECOBIOSE : le rôle de la biodiversité dans les socio-écosystèmes de Nouvelle-Aquitaine. Rapport de synthèse*, 378 pages, CNRS, téléchargeable au lien : <https://www.ecobiose.fr/>.
- [Costanza et al., 1997] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997, *The value of the world's ecosystem*

- services and natural capital*, Nature, Volume 387, pages 253-260, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/40197297-The-value-of-the-world's-ecosystem-services-and-natural-capital-Nature>.
- [Puydarrieux et al., 2017] Philippe Puydarrieux, William Beyou, Guéhanne Beaufaron, Enora Bruley, Ophélie Darses, Patrick Degeorges, Jérémy Devaux, Christel Fiorina, Yann Kervinio, Jurgis Sapijanskas, 2017, *Efese - Le cadre conceptuel*, 887 pages, téléchargeable au lien : <https://www.ecologie.gouv.fr/levaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques>.
- [Reid et al., 2005] Reid Walter, Mooney Harold, Cropper A., Capistrano D., Carpenter Stephen, Chopra Kartik, Dasgupta Partha, Dietz Thomas, Duraiappah Anantha, Hassan Rashid, Kaspersen R., Leemans Rik, May Robert, McMichael Andrew, Pingali Prabhu, Samper, C., Scholes Robert, Watson R, Zakri A.H., Zurek Monika, 2005, *Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report*, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/40119375-Millenium-Ecosystem-Assessment-Synthesis-Report>.
- [Bolund et Hunhammar, 1999] Per Bolund a, Sven Hunhammar, 1999, *Ecosystem services in urban areas*, Ecological Economics Volume 29, pages 293–301, <https://www.academia.edu/3311907/Ecosystem-services-in-urban-areas>.
- [Commissariat général au développement durable, 2018] Commissariat général au développement durable, 2018, *Les écosystèmes urbains. L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques EFESE*, téléchargeable au lien : <https://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/efese-ecosystemes-urbains-cle2e6fdf.pdf>
- [Cherel et al., 2017] Johan CHEREL, Geoffroy SERE, Laëtitia BOITHIAS, Gilles WAROT, Christophe SCHWARTZ, Patrice MORANDAS, 2017, *Destisol : les sols un opportunité pour un aménagement urbain durable*, 56 pages, téléchargeable au lien : <https://www.ademe.fr/content/biotubes-bio-technosols-urbains-faveur-biodiversite-services-ecosystemiques>.
- [Taugourdeau et al., 2021] Olivier Taugourdeau, Jennifer Hellal, Daniel Montfort, Elsa Limasset, Camille Chauvin., 2021, *Enjeux de la reconversion d'une friche et comment évaluer la réhabilitation écologique d'un sol dégradé, Synthèse projet Bio-TUBES.*, 42 pages, téléchargeable au lien : <https://librairie.ademe.fr/sols-pollues/biotubes.html>
- [Baptist et al., 2018] Florence Baptist, Thierry Disca, Jennifer Hellal, Elsa Limasset, Mailys Horiot, Thomas Binet, 2018, *RECORD, Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés. Méthodes et*

- retours d'expérience.*, étude n° 17-1021/1A, 142 pages, téléchargeable au lien : <https://librairie.ademe.fr/sols-pollues/1261-mesure-de-la-biodiversite-et-evaluation-des-services-ecosystemiques-des-milieus-restaures.html>.
- [Tardieu et al., 2021] Tardieu, Léa and Viguié, Vincent and Hamel, Perrine and Lemonsu, Aude and Munck, Cécile and Kervinio, Yann and Coste, Lana and Claron, Charles and Faure, Emmanuel and Geoffroy, Emile and Liotta, Charlotte and Mikou, Mehdi and Ta, Mai-Thi and Levrel, Harold, 2021, *Prise en compte des services écosystémiques dans les décisions d'aménagement urbain - Méthodologie et retour d'expérience pilote IDEFESE menée en Île-de-France*, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/Prise-en-compte-des-services-ecosystemiques-dans-les-decisions-d-amenagement-urbain-Methodologie-et-retour-d-experience-pilote-IDEFESE-menee-en-Ile-de-France>.
- [Branchu et al., 2022] Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L., Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Moulin J. Néel C., Sheriff R., 2022, *MUSE. Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme.*, 184 pages, téléchargeable au lien : <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5415-muse-integrer-la-multifonctionnalite-des-sols-dans-les-documents-d-urbanisme.html>.
- [Roche et al., 2021] Roche, P.K. et Campagne, C.S. 2021, *Guide pour la prise en compte des services écosystémiques dans les évaluations des incidences sur l'environnement, Guide méthodologique*, DREAL, 131 pages, téléchargeable au lien : <https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Evaluer-les-services-ecosystemiques>.
- [Ilstedt et al., 2007] Ilstedt, Ulrik and Malmer, Anders and Elke, Verbeeten and Murdiyarso, Daniel, 2007, *The effect of afforestation on water infiltration in the tropics : A systematic review and meta-analysis*, *Forest Ecology and Management*, 45-51 pages, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/The-effect-of-afforestation-on-water-infiltration-in-the-tropics-A-systematic-review-and-meta-analysis>.
- [Lavelle et al., 2006] Lavelle, Patrick and Decaëns, Thibaud and Aubert, Michaël and Barot, Sébastien and Blouin, Manuel and Bureau, Fabrice and Margerie, Pierre and Mora, Philippe and Rossi, Jean-Pierre, 2006, *Soil Invertebrates and Ecosystem Services*, *European Journal of Soil Biology*, Volume 42, pages S3-S15, accès obtenu via le lien : <https://www.researchgate.net/publication/Soil-Invertebrates-and-Ecosystem-Services>.
- [Blanchart et al., 2017] Anne Blanchart, Geoffroy Sere, Johan Cherel, Gilles Warot, Marie Stas, Jean Noël Consales et Christophe Schwartz, 2017, *Contri-*

- bution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue*, Environnement Urbain, 31 pages, téléchargeable au lien : <http://journals.openedition.org/eue/1809>.
- [Calvaruso et al., 2021] Calvaruso Ch. et Blanchart A., Bertin S., Grand C., Pierart A. et Eglin T., 2021, *Quels paramètres du sol mesurer pour évaluer les fonctions et les services écosystémiques associés? Revue de la littérature et sélection de paramètres en ateliers participatifs*, Etude et Gestion des Sols, Volume 28, pages 3-29, téléchargeable au lien : <https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2020/11/EGS-2021-28-Calvaruso-03-29.pdf>.
- [Morel et al., 2015] Jean-Louis Morel, Claire Chenu, Klaus Lorenz, 2015, *Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs)*, 8 pages, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/Ecosystem-services-provided-by-soils-of-urban-industrial-traffic-mining-and-military-areas-SUITMAs>.
- [Adhikari et al., 2015] Kabindra Adhikari, Alfred E. Hartemink, 2015, *Linking soils to ecosystem services — A global review*, pages 101-111, accès demandé via : <https://www.researchgate.net/publication/281283592-Linking-soils-to-ecosystem-services-A-global-review>.
- [Blanchart et al., 2019] Anne Blanchart, Christophe Calvaruso, Thomas Eglin, Antoine Pierart et Cécile Grand, 2019, *Méthodologies d'évaluation des fonctions et des services écosystémiques rendus par les sols, Synthèse séminaire du 12 juin 2019, INRA Orléans*, 31 pages, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/methodologie-des-fonctions-et-services-rendus-par-les-sols-synthese-seminaire>.
- [Lotfi et al., 2017] Mehdi Lotfi, Weber Christiane, Di Pietro Francesca et Selmi Wissal, 2017, *Les services écosystémiques urbains, vers une multifonctionnalité des espaces verts publics : revue de littérature*, Environnement Urbain, Volume 11, téléchargeable au lien : <http://journals.openedition.org/eue/1575>
- [Brauman et Thoumazeau, 2020] Brauman A. et Thoumazeau A., 2020, *Biofunc-tool® : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol*, Etude et Gestion des Sols, Volume 27, pages 287-303, téléchargeable au lien : <https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2020/07/EGS-2020-27-Brauman-289-304.pdf>.
- [Lothodé et al., 2020] Lothodé M., Séré G., Blanchart A., Chérel J., Warot G. et Schwartz C., 2020, *Prendre en compte les services écosystémiques rendus par les sols urbains : un levier pour optimiser les stratégies d'aménagement*, Etude et Gestion des Sols, Volume 27, pages 361-376, téléchargeable

- au lien <https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2020/11/EGS-2020-27-Lothode-361-376.pdf>.
- [Baggethun et al., 2013] Gómez-Baggethun, Erik Gren, Åsa Barton, David Langemeyer, Johannes McPhearson, Timon O'Farrell, Patrick Andersson, Erik Hamstead, Zoe Kremer, Peleg., 2013, *Urban Ecosystem Services*, pages 175-251, téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/257408447-Urban-Ecosystem-Services>.
- [Weber et Lotfi, 2012] Christiane Weber, Lotfi Mehdi, 2012, *Ecosystem Services Provided by Urban Vegetation : A Literature Review*, , téléchargeable au lien : <https://www.researchgate.net/publication/Ecosystem-Services-Provided-by-Urban-Vegetation-A-Literature-Review>.
- [Le Bissonais et Le Souder, 1995] Le Bissonais, Y., Le Souder, C., 1995, *Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité battance et à l'érosion*, Etude Gestion des Sols, Volume 2, pages 43-56, téléchargeable au lien : <https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS-2-1-bissonais.pdf>.
- [GIS Sol, 2014] GIS Sol, 2014, *Carbone organique des sols : l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat*, , téléchargeable au lien : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-22284-sols-agricoles.pdf>.
- [Pech et al., 2014] Pierre Pech, Cédissia About, Nathalie Frascaria-Lacoste, Philippe Jacob, Laurent Simon, 2014, *Carbone organique des sols : l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat*, 151 pages, téléchargeable au lien : <https://ittecop.fr/fr/tous-les-projets/recherches-2014/projets-de-recherche-2014/item/127-renatu>.
- [Six et al., 2002] J. Six, R. T. Conant, E. A. Paul K. Paustian, 2002, *Stabilization mechanisms of soil organic matter : Implications for C-saturation of soils*, pages 155-176, téléchargeable au lien : <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.591.896rep=rep1type=pdf>.
- [Amézketa, 1999] Amézketa, E., 1999, *Soil Aggregate Stability : A Review*, Journal of Sustainable Agriculture, pages 83-151.
- [Consalès et al., 2016] Jean Noël Consalès, Sophie Joimel, France Cordier, Cloé Jareno, Élodie-Denise Chenot et Christophe Schwartz, 2016, *De l'argument à l'action : la biodiversité au service des jardins familiaux*, Projets de paysages, Volume 13, <https://journals.openedition.org/paysage/9603>
- [Lassabatere et al., 2006] Lassabatere, Laurent and Angulo-Jaramillo, Rafael and Ugalde, Javiera and Cuenca, Richard and Braud, Isabelle and Haverkamp,

Randel, 2006, *Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments*, Soil Science Society of America Journal - SSSAJ, Volume 70, <https://www.researchgate.net/publication/Beerkan-Estimation-of-Soil-Transfer-Parameters-through-Infiltration-Experiments>

7 Annexes

Annexe 1 : Les socio-écosystèmes urbains liés aux ILTe

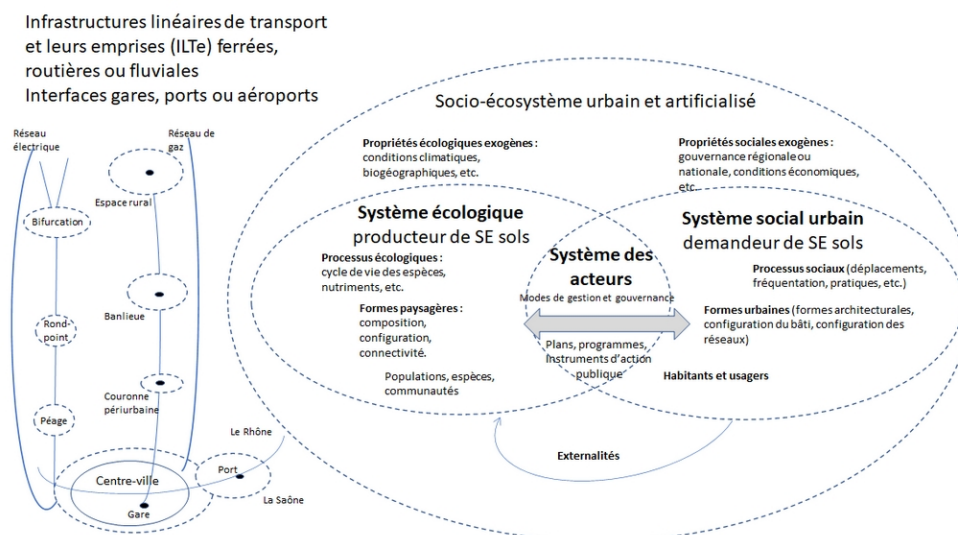


FIGURE 46 – Socio-écosystème urbain et artificialisé par les ILTe. Inspiré du comité ECOBIOSE.

Annexe 2 : Services Ecosystémiques et propriétés des sols associées

Costanza et al., 1997		Traitement des déchets	
Régulation des gaz		Pollinisation	
Régulation du climat		Contrôle biologique	
Régulation des perturbations		Refuge biologique	
Régulation de l'eau		Production de nourriture	
Apport d'eau		Matériaux de construction	
Contrôle de l'érosion		Ressources génétiques	
Formation du sol		Récréation	
Cycle des nutriments		Service culturel	

a

de Groot et al., 2002			
Régulation	Régulation des gaz	Habitat	Refuge biologique
	Régulation du climat		Habitat de reproduction
	Régulation des perturbations	Production	Nourriture
	Régulation de l'eau		Matériaux de construction
	Apport d'eau		Ressources génétiques
	Rétention par le sol		Ressources médicales
	Formation du sol		Ressources ornementales
	Cycle des nutriments	Information	Esthétique
	Traitement des déchets		Récréation
	Pollinisation		Culturel et artistique
Contrôle biologique	Spirituel et historique		
			Education et sciences

b

MEA, 2003, 2005			
Régulation	Régulation de la qualité de l'air	Approvisionnement	Aliments
	Régulation du climat		Fibres
	Régulation de l'eau		Carburant
	Régulation de l'érosion		Ressources génétiques
	Purification de l'eau et traitement des déchets		Eléments pharmaceutiques, biochimiques
	Régulation des maladies		Ressources ornementales
	Régulations des ravageurs	Culturel	Eau douce
	Pollinisation		Valeurs spirituelles et religieuses
	Régulation des dangers naturels		Valeurs esthétiques
	Valeurs d'héritage culturel		Récréation et écotourisme
Support	Formation de sol	Sens de la place	
	Photosynthèse	Diversité culturelle	
	Production primaire	Systèmes de savoirs	
	Cycle des nutriments	Valeurs d'éducation	
			Inspiration
			Relations sociales

c

de Groot et al., 2010			
Régulation	Régulation de la qualité de l'air	Approvisionnement	Aliments
	Régulation du climat		Fibres et carburant
	Régulation de l'eau		Ressources génétiques
	Régulation de l'érosion		Eléments pharmaceutiques, biochimiques
	Purification de l'eau et traitement des déchets		Ressources ornementales
	Formation et régulation du sol		Eau douce
	Régulation biologique	Culturel	Valeurs spirituelles et religieuses
	Pollinisation		Valeurs esthétiques
	Régulation des dangers naturels		Récréation et écotourisme
	Ressources génétiques		Héritage culturel et sens de la place
Support	Habitat de reproduction		Inspiration

d

Figure 10. Classifications des services écosystémiques : a) Costanza et al., 1997 ; b) de Groot et al., 2002 (bleu = identique à Costanza et al., 1997) ; c) MEA, 2003 et 2005 (bleu = identique à Costanza et al., 1997, vert = identique à de Groot et al., 2002) ; d) de Groot et al., 2010 (orange = identique au MEA; vert = identique à de Groot et al., 2002).

FIGURE 47 – Comparaison de classifications de SE présentes dans la littérature ; source : rapport du projet Destisol [Cherel et al., 2017]

Paramètres du sol/services écosystémiques	Services de régulation							Services support		
	Régulation du climat et des gaz à effet de serre	Régulation de l'eau	Erosion et contrôle des inondations	Pollinisation et dispersion des semences	Contrôle biologique (maladies et invasives)	Séquestration du carbone	purification de l'eau	altération, formation des sols	Cycles biogéochimiques	Support pour la diversité
Teneur en carbone organique du sol	x	x	x		x	x		x	x	x
Texture (% sable, limons et argiles)	x	x	x			x	x	x	x	
pH					x		x	x	x	
Profondeur de l'horizon d'altération		x	x				x			
Densité	x									
Réserve d'eau utile	x	x	x				x			
CEC (Capacité d'échange cationique)							x		x	
Conductivité électrique									x	
Porosité et perméabilité à l'air	x									
Conductivité hydraulique et infiltration de l'eau	x	x	x				x			
Composante biologique des sols	x			x	x	x	x	x	x	x
Structure et agrégation du sol	x	x	x					x		x
Température du sol					x			x	x	
Minéralogie des argiles								x	x	
Nature du sous-sol		x	x							

FIGURE 48 – Liste des propriétés des sols liés aux services écosystémiques ou fonctions de support et de régulation [Adhikari et al., 2015] (extrait de [Baptist et al., 2018])

Annexe 3 : Les sites sélectionnés et leurs caractéristiques

Date	Commune	Code terrain	Modalité	Répétitions	Type de couverture	Pente
01/06/2022	Pierre-Bénite	M0-PBT-R1	M0	1	Arboré	Plat
		M0-PBT-R2		2		
		M2-PBT-R1	M2	1	Herbacé	Plat
		M2-PBT-R2		2		
		M3-PBT-R1	M3	1	Arboré	Plat
		M3-PBT-R2		2		
21/06/2022	Saint-Fons	TA-SNCF-R1	TA SNCF	1	Herbacé	Talus
		TA-SNCF-R2		2		
		TA-SNCF-R3		3		
20/06/2022	Pierre-Bénite	CH-PBT-R1	CH PBT	1	Graviers	Plat
		CH-PBT-R2		2		
		CH-PBT-R3		3		
	Saint-Fons	PR-RD1-R1	RD1	1	Herbacé	Plat
		PR-RD1-R2		2		
		PR-RD1-R3		3		
		ARB-RD2-R1	RD2	1	Arboré	Plat
		ARB-RD2-R2		2		
		ARB-RD2-R3		3		
		PR-RD3-R1	RD3	1	Herbacé	Talus
		PR-RD3-R2		2		
		PR-RD3-R3		3		

FIGURE 49 – Description des sites sélectionnés

Annexe 4 : Les entretiens des gestionnaires d'ILTe

RESEAU FERROVIAIRE

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité animale : quelques compensations aux abattages (réensemencement des talus sous forme de prairies fleuries) ont pu ramener des papillons et des oiseaux (association Lyon « Espèces par millions »).</p> <p>Biodiversité végétale : Au Nord de Lyon, pratiques de fauches tardives) mais au Sud (notamment Saint Fons), les gens sont peu sensibilisés. Quelques tentatives de projets d'aménagement (haies). Mais problématiques d'entretien et de proximité avec les riverains.</p> <p>Erosion des sols et ruissellement des eaux de pluie : plusieurs visions coexistent au sein de l'entreprise. Nécessité d'avoir des arbres (apport du système racinaire) vs les arbres ne seraient pas la solution, il faudrait privilégier les strates herbacées. Manque d'évaluations solides pour justifier telle ou telle politique.</p> <p>Réduction du climat local et global : aucune réflexion sur les ilots de chaleur ou sur la séquestration carbone.</p>	<p>Contraintes de production très importantes. Proximité avec les riverains (actions judiciaires) renforce les politiques « zéro risque ».</p> <p>Gestion des irrégularités et prévention des risques (chute d'arbres) : opérations de remise à niveau trop exigeantes (abattage d'un grand nombre d'arbres et débroussaillages) sans arbitrage précis (très peu d'évaluations réalisées). Gestion des risques ne s'appuie que sur les questions de hauteur et distance par rapport aux voies. Il faut mettre en place une vraie stratégie. L'objectif étant de préciser les cas de réels risques et les cas dans lesquels on pourrait éviter de supprimer de la biodiversité gratuitement.</p> <p>Sous-dimensionnement des équipes de maintenance : pas capables d'avoir une gestion spécialisée dans la biodiversité végétale. Manque de formation des employés de la maintenance sur les sujets de la biodiversité notamment.</p>
Origine externe (environnement)	<p>Biodiversité animale : Lorsque l'on réalise des aménagements on peut vite à nouveau accueillir de la biodiversité.</p> <p>Gestion de l'érosion des sols au niveau des talus : nécessité qu'il y ait au moins une strate herbacée pour maintenir les talus. Strate arbustive envisageable.</p>	<p>Gestion des plantes invasives (EEE) notamment ailante, robinier, ambroisie.</p> <p>Végétation limite le bon drainage de la plateforme voie. Feuilles mortes favorisent l'enrayage ou le patinage des trains. Chutes d'arbres et de branches peuvent occasionner l'arrêt des circulations. Végétation gêne la surveillance des équipements de la voie et peut cacher les installations de signalisation. Un embroussaillage excessif constitue un refuge pour le grand gibier (risque accru de collisions).</p>

RESEAU ELECTRIQUE

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité (végétale et animale) : milieu urbains et péri-urbains pauvres en biodiversité. On ne parle pas du même type de biodiversité selon si l'on est dans le cas de parcelles closes (intérieur de postes RTE) ou ouvertes (espaces « délaissés » à l'extérieur des postes RTE, sous les lignes électriques). Côté végétal : gestion différenciée liée à l'usage. Côté animal : espaces clos ne seront accessibles qu'aux insectes et oiseaux. Le sujet de la déminéralisation commence à apparaître.</p> <p>Pas de prise en compte du sol dans l'approche ZAN de RTE, mis à part dans le cas de lignes souterraines où l'on considère que le sol a été artificialisé à partir du moment où il a été retourné pour les travaux.</p> <p>Pas abordés : érosion des sols, infiltration eau de pluie, régulation climat global et local.</p>	<p>Sécurité électrique (la maintenance nécessite d'être formé).</p> <p>Intérieur des postes dont le sol est intégralement recouvert de cailloux et dont l'état est maintenu par utilisation d'herbicides (glyphosate). Possibilité de strates herbacées dans les postes sur laquelle on peut marcher et rouler.</p> <p>Problème sous les jeux de barres où la végétation ne peut pas dépasser mètre de hauteur car cela poserait des soucis au niveau de la maintenance, notamment quand l'herbe est mouillée (conducteur). Si on reste autour d'une herbe qui fait 5-10 cm de hauteur ça va très bien (projet ZéroPhyto). On veut éviter les ligneux : il faudra donc faucher 1 fois par an mais on peut se contenter d'une fauche tardive faite au mois d'aout. Il y a donc 2 types d'espaces intéressants et le plus intéressant des deux c'est celui qu'on fauche une fois par an car cela laisse plus de temps et de place à la biodiversité.</p>
Origine externe (environnement)	<p>3 types de zones intéressantes :</p> <p>Sous les lignes électriques et entre les pylonnes : corridors de biodiversité, trames vertes (végétation sous les lignes, abris sous les pylonnes pour déplacement des animaux).</p> <p>Espaces « délaissés » à l'extérieur à proximité des postes RTE : projets de jardins ouvriers/familiaux. Projet Foncier Futé chargé de recenser ces espaces et leur potentiel.</p> <p>Sols à l'intérieur des postes RTE : projets de végétalisation de ces sols originellement recouverts de cailloux et de produits phyto pour désheber (projet ZéroPhyto).</p>	<p>Pas de foncier RTE sur la commune de Saint-Fons donc pas de possibilités au niveau des délaissés de postes.</p> <p>La gestion des lignes électriques est laissée à Enedis. Cependant les terres sur lesquelles passent les lignes n'appartiennent pas à Enedis ni RTE.</p>

RESEAU ROUTIER

	Positif	Négatif
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité végétale : Il y a 20 ans utilisation de produits chimiques pour désherber les abords de voiries. Aujourd'hui abandon de ce mode de gestion : réflexion menée depuis 10 ans sur la végétation en abords de routes. La priorité reste la sécurité des usagers et du personnel d'entretien mais si la végétation ne gêne pas, ils essaient au maximum de la laisser s'installer sans la contraindre (friches, arbres).</p> <p>Régulation des ilots de chaleur : prise en compte à travers la volonté de conserver les arbres qui ne gênent pas en abord de voirie.</p> <p>Régulation du climat global pas mentionnée mais un enjeu important (émission de CO2 par les voitures).</p> <p>Biodiversité animale : réflexion menée autour de la protection des pollinisateurs aux abords des routes.</p> <p>Pas de prise en compte particulière de l'érosion des sols.</p> <p>Infiltration de l'eau de pluie : abordée uniquement sous le prisme des réseaux d'assainissement là pour évacuer les eaux de pluies pour éviter les accidents.</p>	<p><u>De nombreuses contraintes :</u></p> <p>Sécurité des usagers (visibilité de la signalétique routière, arbres qui tombent sur la voie, etc.)</p> <p>Sécurité des travailleurs lors de la maintenance + gestion du trafic routier (implique des fermetures de voies coordonnées avec les autres réseaux). Visibilité des caméras de surveillance.</p> <p>Calendrier de maintenance serré : fixé un semestre à l'avance. 12 semaines par semestre pour réaliser la maintenance sur toutes les infrastructures gérées par la Métropole. Pas possible de faire plus en termes de fréquence de maintenance.</p> <p>Protection des services d'assainissement (fosse béton) qui sont là pour évacuer les eaux et éviter les accidents. Présence d'un réseau d'éclairage public, d'un réseau d'assainissement très profond et d'un réseau de gaz très bien identifié (balises jaunes).</p> <p><u>Du fait de ces contraintes, gestion imposée :</u></p> <p>Taille des arbres en hauteur et de la végétation qui dépasse vers la route.</p> <p>Fauche de la végétation des terre-plein centraux et des bords extérieurs des routes au minimum sur une distance de 3m pour permettre aux usagers de se mettre à l'abri derrière les barrières en cas d'accident. Si clôture proche de la limite de fauchage on fauche tout, sinon on laisse la friche ou la forêt telle quelle en veillant à prévenir les risques de chute d'arbres (repérage des arbres morts, abattage et les laisser en place). Si pas de présence de glissière, on fauche les 8 premiers mètres.</p> <p>Nettoyage des feuilles aux abords pour éviter de boucher les réseaux d'assainissement.</p> <p>Fauchage pour maintenir l'accessibilité à certaines infrastructures (ex : puits de captage)</p>
Origine externe (environnement)	<p>Actuellement on trouve aux abords des routes des bois, des prairies, des friches, mais aussi des espaces délaissés. Faibles contraintes au-delà de 3 mètres derrière la glissière.</p> <p>Arbres sur les talus : ok pour planter des arbres de façon stable. Problématique quand il s'agit d'une implantation spontanée (arbres mal fixés qui finissent par tomber).</p>	<p>Problématiques nouvelles liées aux aménagements : prolifération de sangliers dans la région car ils ont des endroits végétalisés sous lesquels s'abriter. Il ne faudrait donc pas les laisser s'installer et cela a des conséquences en termes de végétation permise.</p> <p>Contraintes imposées par les pouvoirs publics : l'arrivée par la route dans la ville doit être super « propre » donc fauchage très court, il ne faut pas laisser de friches ça ne fait pas propre. Nécessité de faire évoluer les mentalités sur ce qui est « propre » ou ne l'est pas.</p>

RESEAU FLUVIAL

	Positif (pour atteindre l'objectif)	Négatif (pour atteindre l'objectif)
Origine interne (organisationnelle)	<p>Biodiversité végétale en partie prise en main : lorsque cela est possible les abords de fleuve sont laissés en friche ou autonomes (arbres). Il semble même que sur Saint-Fons les abords du Rhône sont les zones les plus végétalisées de la commune.</p> <p>Pas abordé : biodiversité animale, régulation du climat local et global.</p> <p>Erosion du sol : prise en compte à travers la surveillance des effets produits par les infrastructures hydro-électriques : contrôler la présence de tassements de terrain, donner des indications sur les désordres hydrauliques qui affaibliraient la structure : végétation herbacée rase.</p> <p>Inondations : amorties par les infrastructures hydrauliques.</p>	<p>La charge hydraulique avant l'usine hydroélectrique est très importante donc on a une gestion plus stricte, un entretien plus ras de la végétation pour surveiller le bon fonctionnement de la digue. Alors que dans le canal de l'écluse après l'usine hydroélectrique (côté Saint Fons) pas de charge hydraulique donc on peut laisser pousser librement la végétation sans entretien.</p> <p>Lorsqu'il y a des arbres trop grands qui menacent la sécurité des usagers on fait un abattage au cas par cas.</p> <p>Gestion des ouvrages extérieurs (drains, etc.)</p>
Origine externe (environnement)	<p>Sur Saint-Fons on retrouve plusieurs zones, certaines sur lesquelles il serait possible d'aménager :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des délaissés fonciers autour des emprises du port de Lyon qui appartiennent au domaine concédé - un parcellaire morcelé à proximité d'infrastructures routières sur lequel rien n'est fait actuellement. <p>D'autres sur lesquelles l'aménagement ne peut être amélioré :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des zones aménagées aux abords des infrastructures électriques de Pierre-Bénite sur lesquels un entretien est fait par pastoralisme, - Des berges peu entretenues : broussailles, grands arbres, végétation variée. 	<p>Pente : Sur les berges, terrain qui plonge (pente de 7-8 mètres d'écart). Question de la présence spontanée d'arbres qui demande un certain entretien pour la sécurité des usagers.</p> <p>Gestion des zones à proximité des voiries : quel besoin d'entretien si elles restent sous gestion CNR et pas Métropole de Lyon ?</p>

Distances minimales arbre / isolateur		
Lignes basse tension	En agglomération	Hors agglomération
	2 mètres de largeur 2 mètres de hauteur	3 mètres de largeur 2 mètres de hauteur
Lignes isolées basse tension	1 mètre de largeur 1 mètre de hauteur	
Lignes haute tension	Isolateurs rigides	Isolateurs suspendus
	4 mètres de largeur 3 mètres de hauteur	5 mètres de largeur 3 mètres de hauteur

FIGURE 50 – Distances minimales de sécurité entre les lignes électriques et les arbres. Source : site EDF

Annexe 5 : Résultats bruts et analyse en composantes principales

```

data <-read.csv2("TestACPChloe.csv")

#### Installer et charger les packages #### ----

#install.packages("magrittr") # pour le pipe %>%
#install.packages("ade4") # Calcul de l'ACP
#install.packages("factoextra")# Visualisation de l'ACP

library(ade4)
library(factoextra)
library(magrittr)

# Pour changer le nom de cette colonne par exemple, il suffit de faire :

rownames(data)= paste(data$Modalite,data$Repetition)

# scree plot #

#### Calculer l'ACP avec dudi.pca() #### ----
res.pca <- dudi.pca(subset(data,select=-c(Modalite,Repetition,Infiltration,Sable,Limon,Argile)),
                    scannf = FALSE, nf = 5
)

fviz_pca(res.pca)

```

FIGURE 51 – Script R studio pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

Code terrain	Argile	Limons Fins	Limons Grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Refus à 2 mm	Texture	pH Eau	pH analyse	Réaction du sol
	< 0,002]0,002 à 0,02 mm]]0,02 à 0,05 mm]]0,05 à 0,2 mm]]0,2 à 2 mm]	>2mm				
M0_PBT_R1	3,80%	7,90%	9,40%	10,90%	68%		Légère sableuse - S	8,4	Très élevé	Sol très alcalin
M0_PBT_R3	5,10%	8,30%	8,30%	12,70%	65,60%		Légère sableuse - S	8,5	Très élevé	Sol très alcalin
M2_PBT_R1	4,70%	8%	8,20%	12,70%	66,40%		Légère sableuse - S	8,2	Très élevé	Sol très alcalin
M2_PBT_R3	3,50%	6,20%	8,80%	14,30%	67,20%		Légère sableuse - S	7,9	Très élevé	Sol très alcalin
M3_PBT_R1	14,30%	14,20%	16,30%	18,50%	36,70%		Sable limoneux - SL	7,3	Elevé	Sol alcalin
M3_PBT_R3	15%	14,60%	19,70%	16,90%	33,80%		Sable limoneux - SL	7,2	Elevé	Sol alcalin
CH_PBT_R1	7,9%	11,1%	23,0%	22,8%	35,2%	2,00%	Sable limoneux - SL	7,5	Elevé	Sol alcalin
CH_PBT_R2	7,2%	8,8%	14,6%	26,3%	43,1%	2,00%	Légère sableuse - S	7,8	Très élevé	Sol très alcalin
CH_PBT_R3	7,9%	9,0%	15,9%	25,7%	41,5%	2,00%	Légère sableuse - S	7,7	Elevé	Sol alcalin
TA_SNCF_R1	11,1%	13,2%	12,6%	19,9%	43,2%	1,00%	Sable argileux - Sa	8,3	Très élevé	Sol très alcalin
TA_SNCF_R2	8,6%	11,3%	12,2%	15,0%	52,9%	5,00%	Légère sableuse - S	7,7	Elevé	Sol alcalin
TA_SNCF_R3	11,0%	17,4%	6,4%	14,3%	50,9%	7,00%	Sable argileux - Sa	8,2	Très élevé	Sol très alcalin
PR_RD1_R1	14,4%	12,5%	25,5%	24,0%	23,6%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,6	Elevé	Sol alcalin
PR_RD1_R2	14,7%	12,5%	24,2%	26,0%	22,6%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,6	Elevé	Sol alcalin
PR_RD1R3	14,2%	12,6%	25,1%	26,9%	21,2%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,4	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R1	14,6%	14,4%	29,8%	15,9%	25,3%	1,00%	Limon sablo-argileux - Lsa	7,5	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R2	16,1%	15,5%	20,3%	18,3%	29,8%	1,00%	Sable argilo-limoneux - Sal	7,7	Elevé	Sol alcalin
ARB_RD2_R3	17,0%	13,6%	31,1%	19,9%	18,4%	3,00%	Limon sablo-argileux - Lsa	7,7	Elevé	Sol alcalin

FIGURE 52 – Résultats de texture et pH

Code terrain	Masse totale échantillon	Masse initiale	Masse EG>2mm	Masse éléments >2mm	Masse éléments]2-1mm]	Masse éléments]1-0,5mm]	Masse éléments]0,5-0,21mm]	Masse éléments]0,2-0,1mm]	Masse éléments]0,1-0,05mm]	Masse <0,05mm	Commentaire	MWD	Interprétation stabilité selon mesures CG.	Résultats triangle des textures : Stabilité structurale
M0_PBT_R1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M0_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M2_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 60%	0	Très instable	
M3_PBT_R1	206,0	9,516	0,928	6,923	0,472	0,617	0,957	0,205	0,139	0,047		2,999	Très stable	
M3_PBT_R3	291,0	9,409	1,404	5,313	0,758	0,949	1,559	0,321	0,248	0,065		2,627	Très stable	
CH_PBT_R1	896,2	9,907	9,430	0,145	0,053	0,050	0,095	0,046	0,045	0,003	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
CH_PBT_R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EG > 90%	0	Très instable	Moyen
PR_RD1_R1	261,7	9,767	0,693	6,983	0,635	0,382	0,601	0,255	0,198	0,042		2,859	Très stable	Instable
PR_RD1_R2	291,4	9,949	1,262	7,132	0,451	0,233	0,434	0,206	0,185	0,051		2,994	Très stable	Instable
PR_RD1_R3	260,5	10,001	0,178	8,536	0,316	0,176	0,382	0,210	0,170	0,038		3,121	Très stable	Instable
ARB_RD2_R1	228,1	9,812	1,105	6,968	0,487	0,412	0,521	0,141	0,130	0,033		2,945	Très stable	Très instable
ARB_RD2_R2	171,8	9,881	0,865	7,068	0,567	0,450	0,606	0,154	0,115	0,029		2,903	Très stable	Instable
ARB_RD2_R3	195,8	9,788	0,326	7,018	0,632	0,549	0,688	0,231	0,241	0,051		2,771	Très stable	Très instable
TA_SNCF_R1	238,6	5,853	0,624	0,521	1,036	0,224	0,141	0,007				2,642	Très stable	Instable
TA_SNCF_R2	227,3	2,179	0,268	0,268	0,418	0,230	0,153	0,015	EG>60%	0,015		2,381	Très stable	Moyen
TA_SNCF_R3	372,9	1,706	0,603	0,520	1,033	0,502	0,322	0,052	EG>50%	0,052		1,619	Stable	Instable

FIGURE 53 – Résultats de stabilité structurale

Modalité	volume prélevé (cm3)	poids humide avec sac (g)	poids humide sans sac (g)	poids sec avec coupelle (en g)	poids coupelle (g)	poids sec sans coupelle (g)	Densité apparente : Da (g/cm3)	Teneur en eau massique
TA_SNCF	100	110,72	97,42	83,62	2,90	80,72	0,8072	20,69%
	100	100,09	86,79	74,89	2,95	71,94	0,7194	20,64%
	100	107,25	93,95	85,95	2,96	82,99	0,8299	13,21%
CH_PBT	100	178,62	165,32	166,38	2,90	163,48	1,6348	1,13%
	100	134,33	121,03	121,32	2,98	118,34	1,1834	2,27%
	100	149,14	135,84	134,39	2,96	131,43	1,3143	3,36%
PR_RD1	100	122,00	108,70	105,75	3,15	102,60	1,026	5,95%
	100	124,50	111,20	109,87	2,97	106,90	1,069	4,02%
	100	132,02	118,72	119,14	2,94	116,20	1,162	2,17%
ABR_RD2	100	117,78	104,48	93,57	2,95	90,62	0,9062	15,29%
	100	94,22	80,92	77,85	2,93	74,92	0,7492	8,01%
	100	130,74	117,44	114,48	2,90	111,58	1,1158	5,25%
M0_PBT	100	173,74	160,44	157,40	2,93	154,47	1,5447	3,86%
M2_PBT	100	159,77	146,47	128,64	2,90	125,74	1,2574	16,49%
M3_PBT	100	144,88	131,58	143,27	2,92	140,35	1,4035	-6,25%

FIGURE 54 – Résultats de densité pour la fraction prélevée (toutes fractions confondues)

Code terrain	volume prélevé (cm3)	Poids humide prélevé (g)	Poids humide fraction >2mm (g)	Poids humide fraction <2mm (g)	Poids sec fraction >2mm (g)	Poids sec fraction <2mm (g)	Densité apparente <2mm : Da (g/cm3)	Teneur en eau massique
M0_PBT_R1	100	169,4	81,4	87,6	79,7	82,4	0,824	6,31%
M0_PBT_R3	100	133,5	69,3	63,8	67,1	60,0	0,6	6,33%
M2_PBT_R1	100	134,4	53,6	80,0	52,5	76,3	0,763	4,85%
M2_PBT_R3	100	169,9	83,3	86,0	82,6	83,7	0,837	2,75%
M3_PBT_R1	100	130,5	55,7	74,0	53,6	70,9	0,709	4,37%
M3_PBT_R3	100	110,9	52,2	58,5	49,2	54,5	0,545	7,34%
CH_PBT_R1	100	169,9	94,8	74,9	94,3	74,4	0,744	0,67%
CH_PBT_R2	100	162,8	106,2	55,9	104,2	55,0	0,55	1,64%
CH_PBT_R3	100	123,1	71,1	51,6	70,2	51,0	0,51	1,18%
PR_RD1_R1	100	121,1	22,7	98,5	21,9	96,3	0,963	2,28%
PR_RD1_R2	100	101,2	33,5	67,4	32,8	65,8	0,658	2,43%
PR_RD1_R3	100	123,0	38,9	83,5	39,3	81,5	0,815	2,45%
ARB_RD2_R1	100	106,4	40,7	65,0	39,0	62,5	0,625	4,00%
ARB_RD2_R2	100	100,8	46,1	54,4	44,3	52,6	0,526	3,42%
ARB_RD2_R3	100	102,8	45,5	56,8	55,0	43,9	0,439	29,38%
TA_SNCF_R1	100	81,7	21,9	58,8	18,3	51,2	0,512	14,84%
TA_SNCF_R2	100	98,0	29,4	68,2	27,4	62,5	0,625	9,12%
TA_SNCF_R3	100	97,3	21,9	74,4	20,8	67,9	0,679	9,57%

FIGURE 55 – Résultats de densité pour la fraction fine (inférieure à 2mm de diamètre)

Code terrain	Stratification	Richesse spécifique des ligneux	Nombre d'arbres porteurs de microhabitats	Fréquence de fauchage	Nombre de formes de fleurs	Nombre de formes de feuilles	Nombre de couleur de fleurs	Présence d'espèces exotiques envahissantes	Type de clôture, murs et haies	Taux de couverture végétation	Proximité du site par rapport à un site labellisé (géoportail)	Score total RENATU
M0_PBT	4	1	5	5	5	5	1	5	0	5	5	41
	2	0	0	5	5	5	1	5	0	5	5	33
M2_PBT	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
	2	0	0	5	1	3	1	5	0	5	5	27
M3_PBT	4	5	5	5	5	3	3	-1	0	5	5	39
	4	5	5	5	5	1	1	5	0	5	5	41
CH_PBT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
PR_RD1	1	0	0	5	5	5	3	-1	0	5	4	27
	1	0	0	5	3	5	2	0	0	5	4	25
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
ARB_RD2	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	5	5	0	5	0	0	0	5	4	27
	2	1	0	2	0	5	0	-4	0	5	3	14
TA_SNCF	2	1	0	2	1	5	0	-1	0	5	3	18
	2	3	0	2	1	5	1	-4	0	5	3	18

FIGURE 56 – Résultats de l'indicateur RENATU de biodiversité

Modalités	Stock de Corg							
	Corg %	Corg g/kg	da (<2mm) kg/m3	profondeur m	Corg kg/kg	Corg kg/m2	Corg kg/ha	Corg t/ha
M0	0,79	7,9	712	0,15	0,0079	0,84372	8437,2	8,4372
M2	1,005	10,05	800	0,15	0,01005	1,206	12060	12,06
M3	3,205	32,05	627	0,15	0,03205	3,0143025	30143,025	30,143025
CH_PBT	1,73699489	17,3699489	601	0,15	0,017369949	1,56590089	15659,0089	15,6590089
TA_SNCF	11,2771936	112,771936	812	0,05	0,112771936	4,57854059	45785,4059	45,7854059
RD1	4,48504914	44,8504914	530	0,15	0,044850491	3,56561407	35656,1407	35,6561407
RD2	5,83914667	58,3914667	605,333333	0,15	0,058391467	5,30194518	53019,4518	53,0194518

FIGURE 57 – Résultats de stockage de carbone organique

Saturation Corg							
Modalités	Sat Corg	da (<2mm)	profondeur	Sat Corg	Sat Corg	Sat Corg	Sat Corg
	g/kg	kg/m ³	m	kg/kg	kg/m ²	kg/ha	t/ha
M0	7,2228	1500	0,15	0,0072228	1,62513	16251,3	16,2513
M2	16,39304	1500	0,15	0,01639304	3,688434	36884,34	36,88434
M3	16,35292	1500	0,15	0,01635292	3,679407	36794,07	36,79407
CH_PBT	7,25026667	1500	0,15	0,00725027	1,63131	16313,1	16,3131
TA_SNCF	16,44072	1500	0,05	0,01644072	1,233054	12330,54	12,33054
RD1	16,49608	1500	0,15	0,01649608	3,711618	37116,18	37,11618
RD2	16,37792	1500	0,15	0,01637792	3,685032	36850,32	36,85032

FIGURE 58 – Résultats de saturation en carbone organique

Calcul de la Réserve Utile (RU)					
Code terrain	CR (%)	da (g/cm ³)	profondeur z (cm)	RU (mm/cm)	RU (en mm)
TA_SNCF_R1	0,100	0,512	15	0,512	7,686
TA_SNCF_R2	0,045	0,625	15	0,284	4,263
TA_SNCF_R3	0,033	0,679	15	0,221	3,315
ARB_RD2_R1	0,085	0,625	15	0,532	7,976
ARB_RD2_R2	0,112	0,526	15	0,592	8,875
ARB_RD2_R3	0,121	0,439	15	0,529	7,937
PR_RD1_R1	0,102	0,963	15	0,981	14,714
PR_RD1_R2	0,068	0,658	15	0,446	6,690
PR_RD1_R3	0,086	0,815	15	0,702	10,531
CH_PBT_R1	0,058	0,744	15	0,431	6,463
CH_PBT_R2	0,051	0,550	15	0,283	4,241
CH-PBT-R3	0,038	0,510	15	0,193	2,897
M0-PBT-R1	0,031	0,824	15	0,257	3,860
M0-PBT-R3	0,034	0,600	15	0,206	3,093
M2-PBT-R1	0,035	0,763	15	0,268	4,025
M2-PBT-R3	0,034	0,837	15	0,287	4,299
M3-PBT-R1	0,056	0,709	15	0,398	5,969
M3-PBT-R3	0,079	0,545	15	0,431	6,465

FIGURE 59 – Résultats de réserve utile (pfmètre)

Moyennes des quantités infiltrées (non cumulées)								
Temps (en seconde)	60	90	120	150	180	210	240	270
RD1	0	18	14	12	11	10		
RD2	0	13	9	9	8	5		
RD3	0	34	23	24	23	23		
SNCF	0	11	4	7	6	5		
Chemin PBT	0	23	24	23	21	20		

FIGURE 60 – Résultats d'infiltration

Annexe 7 : Cartographie des SE rendus par les sols des ILTe

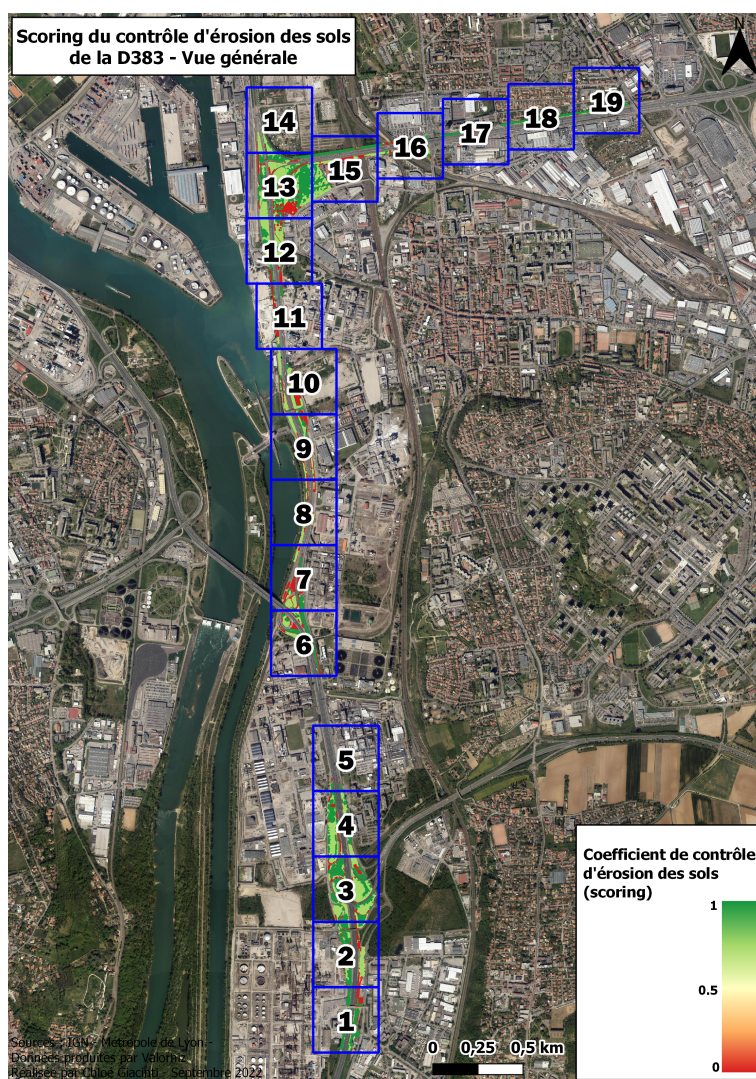


FIGURE 61 – Découpages des zones sur l'infrastructure RD383

Ce formulaire est à insérer après la page de garde de votre rapport. Il atteste que le rapport a été validé par l'entreprise et peut être communiqué en l'état au Service de la Scolarité de l'Ecole Centrale de Lyon.

VALIDATION DU RAPPORT DE TFE

PAR L'ENTREPRISE

Références du Travail de Fin d'Etudes

Nom de l'élève :

Titre du rapport :

Entreprise :

Nom du Tuteur entreprise :

Nom du Tuteur ECL :

L'entreprise reconnaît avoir pris connaissance du rapport mentionné ci-dessus et autorise sa transmission à l'Ecole Centrale de Lyon.

- L'entreprise autorise la diffusion du rapport sur internet
- L'entreprise demande une limitation de la diffusion à l'intranet de l'Ecole Centrale
(*razer la mention inutile*)

Le représentant de l'entreprise

Nom :

Fonction :

Date :

Signature et cachet

The Urban Green Space Dilemma: Improved ecosystem services or smooth traffic?

Tuffery, L.^{1,2}, Anougmar, S.^{2,3}, Bayramoglu, B.²,
Cantuarias-Villessuzanne, C.^{1,2,4}, and David, M.²

¹*ESPI2R Research in Real Estate, ESPI, France*

²*PSAE, INRAE, AgroParisTech, University of Paris-Saclay, France*

³*University of Antwerp, Belgium*

⁴*Bordeaux School of Economics, France*

Abstract

The effects of climate change, biodiversity loss and pollution are leading local authorities to develop urban green spaces and the related ecosystem services. While ecosystem services help to increase the quality of life of city inhabitants, they may result in a substantial reduction of the space available for car traffic and parking. We know little about the preferences of individuals regarding these urban planning issues. We first propose a theoretical framework to analyse the trade-off between urban ecosystem services and space for cars, and to identify potential sources of individual heterogeneity in preferences. We then present the results of a discrete choice experiment on tram network greening in the French metropolitan area of *Lyon*. A survey was conducted on 500 inhabitants indicating a significant valuation of urban greening for its potential for reducing air temperatures during heat waves and for increasing biodiversity, but an opposition to a high reduction in the space available for traffic and parking. We find a significant heterogeneity in inhabitants' preferences. Those who live in the city center, use private vehicles, are less sensitive to the environment, have high incomes and/or have less children are more likely to be opposed to the tram greening.

1 Introduction

Cities account for almost 60% of the world population and more than 80% of the population in France¹. They are facing increasing numbers of environmental problems (heat waves, floods, poor air quality, noise, reduced biodiversity, etc.), and issues related to urban planning strategies to maintain inhabitants' well-being (Revi et al., 2014; Wolch et al., 2014).

In this context, public authorities and urban planners are keen to develop urban green spaces (UGS) such as urban parks, periurban forests, street trees, and green walls and their related ecosystem services (air quality, air cooling, recreational activities, flood risk mitigation, storm-water runoff retention, landscape aesthetics, etc.), which could improve the quality of life of many inhabitants (Revi et al., 2014). For example, UGS have been shown to improve landscape aesthetics, air quality, and cooling (Aram et al., 2019), encourage recreational activities (Arnberger and Eder, 2011) and social interactions (Jennings and Bamkole, 2019), and reduce urban noise (Rey Gozalo et al., 2017).

While UGS can meet the new challenges of urban well-being, in a context of increasing competition for land use, they can reduce the space available for parking and road traffic and exacerbate traffic jams. Therefore, there is a trade-off between more ecosystem services from an urban green space and increased constraints on land for private mobility. The preferences of individuals when faced with this trade-off need to be highlighted in order to inform public authorities about the social acceptability of UGS. To our knowledge, the trade-off between UGS and space for private cars has not been specifically addressed in the economic literature. We propose to fill this gap by, first, developing a theoretical framework that describes this trade-off and provides insights into the heterogeneity of residents' preferences for UGS. We then measure residents' preferences in terms of their willingness to pay (WTP) for greening the tram network in the *Lyon* metropolitan area, France, using a discrete choice experiment.

Several studies use hedonic pricing to demonstrate the benefits associated with proximity to UGS, depending on their type (forest, park, cemetery) and their size and location (Morancho Bengochea, 2003; Czembrowski and Kronenberg, 2016; Liebelt et al., 2019). The results are unambiguous and show the strong preference among populations for proximity to green spaces in urban areas, with a positive and significant WTP for these UGS.

Some discrete choice experiments (DCEs) also find a positive WTP for different types

of UGS such as green walls (Collins et al., 2017; Fruth et al., 2019), green roofs (Vanstockem et al., 2018) and street trees (Giergiczny and Kronenberg, 2014; Ng et al., 2015; Soto et al., 2018; Fruth et al., 2019; Dongen and Timmermans, 2019; Mokas et al., 2021; Welling et al., 2022) or green spaces with different naturalness (Bronnmann et al., 2020; Ta et al., 2022). These studies describe UGS based on their landscape attributes (type and density of land use and vegetation, plant diversity, etc.) while very few studies provide direct assessments of the associated ecosystem services. In a DCE conducted in Austria, Arnberger and Eder (2011) assessed people’s preferences for recreational amenities taking account of congestion effects (numbers of joggers, cyclists or dogs) and cleanliness in urban parks. Their results show that preferences depend on the age of the individual interviewed. Liu et al. (2020) found a positive WTP among Beijing residents for proximity to a neighborhood park, a central city park, or national parks. They conclude that respondents exposed to high levels of air pollution have a higher WTP for an additional national park. In the case of Singapore, Jaung et al. (2020) employed a DCE to study the social preferences for five ecosystem services – changes to air pollution, temperature reductions, noise abatement, conservation of biodiversity (abundance of bird, butterfly, or plant species), and community programs providing cultural benefits such as community gardens, or therapeutic horticulture courses. Their results indicate that people value reductions in temperatures and air pollution, and connection to nature, but do not value significantly noise reduction or increased biodiversity.

The literature does not seem to consider the specific link between UGS and transport infrastructure. A large proportion of urban space is dedicated to transport, and greening the transport infrastructure would provide a significant opportunity to increase UGS and their associated ecosystem services. However, the greening of transport space has consequences for other uses of public space in cities, particularly traffic with roads often located alongside the public transport infrastructure. We focus on greening the tram network which increased 545% between 1990 and 2014 in France to become the leading (measure as km of track) urban rail transport network (CGDD-SOeS and Paquel, 2016), outweighing the metro network. The tram infrastructure clearly offers scope for conversion to green areas and increasing the supply of ecosystem services and livability in cities but can reduce the space available for parking and road traffic and exacerbate traffic jams. Therefore, there is a trade-off between more ecosystem services from a greener transport infrastructure and increased constraints on land for private mobility.

Current events demonstrate the centrality of this trade-off in urban policy. Debate in Paris regarding Mayor Anne Hidalgo’s pedestrianization of the Seine riverbank routes has been intense. [Oltra et al. \(2021\)](#) and [Durrmeyer and Martinez \(2022\)](#), suggest that the problem stems from the fact that policies that limit private car use in cities (congestion charging, traffic control, low emission zones) put constraints on individuals. The model proposed by [Durrmeyer and Martinez \(2022\)](#) for the Paris case shows that the benefits related to traffic restrictions and road pricing policies are not sufficient compensation for the losses suffered by individuals who switch to other modes of transport or to off-peak hours (although the model does not include the benefits deriving from enhanced ecosystem services other than reduced pollutant emissions). Similarly, [Godillon \(2023\)](#) analyzes the way that the population perceives the 30km/h speed reduction policy, by comparing media discourses in Paris and Montreal. Godillon concludes that media articles related to the Paris case are significantly more negative about the car speed limit than those related to Montreal (35% versus 9% of the articles). The objection launched by the French press relates to the population’s dependence on private cars and the lack of alternatives for those living in suburban or rural areas. The introduction of low-emission zones in Barcelona led to similar conflicts over land use. [Oltra et al. \(2021\)](#) show that car ownership was higher among opponents to the project than among its supporters (respectively 80% and 62%). Case studies in the Netherlands ([Rienstra et al., 1999](#)), Edinburgh ([Allen et al., 2006](#)), and Stockholm ([Eliasson and Jonsson, 2011](#)) have produced similar results.

In this paper, we first develop a theoretical framework based on the public good provision model of Samuelson (1954). Each consumer consumes three goods: two private goods (car use as a private mode of transport and a bundle of other private goods) and a public good (UGS) financed by individual taxes. The specificity here is that the public good generates a negative externality which reduces the utility derived from car use. This reflects the congestion problems and speed reductions generated by the green spaces which reduce the space available for car traffic and parking. Here, we take the level of the private car use as given and analyze the marginal WTP of inhabitants for UGS. This simple theoretical framework helps to identify some sources of individual heterogeneity in preferences, such as inhabitant’s environmental sensitivity to UGS and the type of main transport mode. Then, in the empirical section, we analyze whether in the *Lyon* metropolitan area case, the heterogeneity in the WTP for UGS can be explained by these individual characteristics. We draw on the responses to a DCE survey of 500 respondents

representative of the area administered in 2022. In addition to estimating the average WTP, we analyze the determinants of individual heterogeneity in the WTP such as the place of residence, frequency of use of public transport, car ownership, etc. Our results provide a better understanding of the social acceptability of a greener tram network, which should be informative for the design of local public policies and other cities where urban greening is becoming a priority and a necessity.

The paper is organized as follows. Section 2 provides a conceptual discussion of the trade-off between UGS and traffic within a theoretical framework. Section 3 describes our case study area. The sections 4 and 5 present the DCE design and the econometric framework respectively. Section 6 presents the descriptive statistics of the sample and the results from the different econometric models. Finally, section 7 concludes the paper with a discussion of the main results.

2 Conceptual background

In this section we provide a conceptual discussion of the trade-off between the advantages of UGS providing ecosystem services and the potential negative consequences of UGS on car traffic and parking. We develop a simple theoretical framework, based on the public good provision model of Samuelson (1954).

We consider I consumers indexed by $i = 1, 2, \dots, I$. Each one consumes three goods: two private goods (car use as a private mode of transport and a bundle of other private goods) and a public good (UGS). In our case study developed in the following sections, UGS are represented by the green areas along the tram infrastructure and its rights of way. In this model, the public good (UGS) can be interpreted as a pure public good (collective consumption good) as in Samuelson (1954); however, the specificity here is that this public good generates a negative externality which reduces the utility derived from car use which is constrained as UGS increase.²

The utility of a consumer i , $U^i(M^i, C^i, G)$ depends on the amount M^i dedicated to a bundle of private goods, on car use as a private mode of transport C^i , and on the public good G .

We make the following assumptions regarding the components of the utility function, where the subscripts denote derivatives:

$$\text{a) } \frac{\partial U^i}{\partial M^i} = U_M^i > 0; \frac{\partial U^i}{\partial C^i} = U_C^i > 0; \frac{\partial U^i}{\partial G} = U_G^i > 0.$$

$$\text{b) } \frac{\partial^2 U^i}{\partial M^{i2}} = U_{MM}^i \leq 0; \frac{\partial^2 U^i}{\partial C^{i2}} = U_{CC}^i \leq 0; \frac{\partial^2 U^i}{\partial G^2} = U_{GG}^i \leq 0.$$

$$\text{c) } \frac{\partial^2 U^i}{\partial C^i \partial G} = U_{CG}^i < 0; \frac{\partial^2 U^i}{\partial C^i \partial M^i} = U_{CM}^i = 0; \frac{\partial^2 U^i}{\partial G^i \partial M^i} = U_{GM}^i = 0.$$

Assumptions a) and b) are the standard increasing and (weakly) concave utility function assumptions. The assumption $U_G^i > 0$ in a) indicates that UGS increase agents utility through enhanced ecosystem services (*e.g.* improved biodiversity, landscape aesthetics, air quality, air cooling, recreational activities, reduction of urban noise). Assumption c) indicates that the cross derivative between UGS and car use is negative, $U_{CG}^i < 0$, meaning that the marginal utility from car use decreases as UGS increase. This assumption reflects the congestion problems and speed reductions generated by the green spaces which reduce the space available for car traffic and parking. The higher the congestion, the lower the utility from private car use. We discard potential interactions between the bundle of private goods and car use, and between the bundle of private goods and UGS *i.e.* $U_{CM}^i = U_{GM}^i = 0$.

We assume that the production cost of the public good is represented by an increasing and convex function $D(G)$, with $\frac{\partial D}{\partial G} = D_G > 0$ and $\frac{\partial^2 D}{\partial G^2} = D_{GG} > 0$. The production of the public good is financed by individual taxes: each consumer pays t^i to contribute to the provision of the public good. In our DCE, these taxes take the form of monthly local taxes.

The budget constraint of consumer i is written as follows:

$$M^i + p_C C^i = \bar{R}^i - t^i \quad (1)$$

where \bar{R}^i denotes the initial endowments of consumer i which are given exogenously, and p_C is the price associated to car use. In the remaining parts of the paper, we consider the choice of car use as exogenous \bar{C}^i but we study the impact of UGS on the marginal utility derived from car use (*i.e.* U_{CG}^i). Therefore, the available amount M^i for the consumption of the bundle of private goods is:

$$M^i = \bar{R}^i - t^i - p_C \bar{C}^i \quad (2)$$

As an example, let us consider the following utility function:

$$U^i(M^i, \bar{C}^i, G) = \alpha M^i + \beta \bar{C}^i + \delta G - \gamma \bar{C}^i G \quad (3)$$

with α, β, δ and γ positive constants. We see in this utility function that G (UGS) has two effects on consumer utility: a direct positive effect δ (consumers appreciate UGS because

they provide urban ecosystem services), and an indirect negative effect $\gamma\bar{C}^i$ related to the congestion problem caused by increased UGS.

To meet Assumption a), we assume that: $U_C^i = (\beta - \gamma G) > 0$, and $U_G^i = (\delta - \gamma\bar{C}^i) > 0$. In line with Assumption c), the marginal utility from the car use decreases with larger UGS: $\frac{\partial^2 U^i}{\partial C^i \partial G} = U_{CG}^i = -\gamma < 0$. The parameter γ thus represents the extent of the marginal disutility of UGS on car use.

Here, we represent the congestion problem in a stylized way with a reduced-form function $-\gamma\bar{C}^i G$. Our modelling reflects the reduced quality of the public good due to less space available for car use rather than an increase in the number of (car) users, as is usually modelled in the congestion literature (see for instance [Edwards \(1990\)](#); [McGreer and McMillan \(1993\)](#)). [Czajkowski et al. \(2022\)](#) model visual pollution as a negative externality of outdoor advertising, using a variable that measures the proportion of outdoor advertising space relative to total city space. However, our model differs in that we consider a public good that generates negative externalities by reducing the marginal utility of the consumption of a private good, rather than a private good leading to negative externalities.

The marginal willingness-to-pay (WTP) for UGS equals the marginal rate of substitution between UGS and the amount available for the consumption of the private goods, and can be expressed as:

$$\frac{\frac{\partial U^i}{\partial G}}{\frac{\partial U^i}{\partial M^i}} = \frac{(\delta - \gamma\bar{C}^i)}{\alpha} \quad (4)$$

Note that this marginal WTP for UGS increases with the consumer's environmental sensitivity to UGS (*i.e.* with δ). Environmental sensitivity can be measured using proxies such as involvement in pro-environmental activities (donations, voluntary work, etc.) or the consumption of organic products. Also, the marginal WTP for UGS decreases with the disutility on car use (*i.e.* with $\gamma\bar{C}^i$), because of the traffic congestion and traffic speed problems triggered by an increase in UGS. This is amplified for an inhabitant whose main transport mode is a private car. In the empirical section, we analyze whether in the *Lyon* metropolitan area case the heterogeneity in the WTP for UGS can be explained by these individual characteristics.

For the sake of illustration, we have considered here a simple utility function. Discrete choice experiments (DCEs) are a first step in eliciting precisely the consumer utility functions. In the following, we develop a DCE to estimate household marginal utilities

with regard to UGS and car use. Specifically, our work allows to estimate not only the global WTP for UGS but also the detailed WTP for certain ecosystem services associated to UGS and for the space dedicated to car traffic and parking. Let us now present our case study.

3 Case study : Canopy Plan and urban transport infrastructure in the *Lyon* metropolitan area

In 2009, the *Lyon* metropolitan area canopy was estimated to be 27% of the territory's surface area. However, access to green space is unevenly distributed across the metropolis. An assessment of the environmental health of the *Lyon* metropolitan area ([Anzivino et al., 2018](#)) showed that the southern part (*i.e.* the chemical valley) frequently experiences odor and noise nuisances which affect both residential and industrial areas. These nuisances are caused by the presence of major industries (e.g. refineries, chemical industries, wastewater treatment plants) and the transport infrastructure (roads and rail networks) and are exacerbated by the local climatic conditions (*i.e.* topography and prevailing winds favor the dispersion of pollutants).

The Canopy Plan, implemented in 2017, was a response to these issues and included metropolitan scale concrete climate change adaptation actions and biodiversity measures. The regional Mobility Plan for 2021–2026³ reinforced territorial cohesion and proposed several extensions to the tram network. Four new lines and nearly 25 km of track will be created, and will provide connections with the main existing metro and tram lines. The *Lyon* metropolitan area is considering incorporating UGS in these new tram lines. The greening of the tram infrastructure in this metropolitan area would contribute to the Canopy Plan and provide an opportunity to transform the landscape and restore ecosystem services in the city. The figure 1 depicts the existing and future tram lines. It shows that these lines are located in very artificialized zones, which increases the potential benefits from increasing the vegetation around this transport infrastructure.

The UGS associated with transport infrastructure are considered nature-based solutions ([European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2021](#)) to address climate resilience, biodiversity enhancement, and human health and well-being among others. Urban planners and decision-makers require additional research that connects specific urban nature-based solutions with their corresponding benefits ([Babí Alme-](#)

nar et al., 2021).

We are interested here in the social acceptability of the *Lyon* metropolitan area initiative to incorporate green spaces in its tram infrastructure. We use a DCE to identify and quantify the main benefits and constraints for inhabitants resulting from the implementation of such a project.

4 The discrete choice experiment

4.1 Choice of the attributes and levels

In our DCE, urban ecosystem services are defined by certain attributes and their levels whose combination generates different situations or alternatives which can be grouped into choice sets. Each choice set includes two hypothetical alternatives and a third reference or “status-quo” (SQ) alternative which corresponds to the current situation, *i.e.* a tram as it currently exists without vegetation and with mineral surroundings. The scenarios (current situation and greening scenarios) are presented to the respondents through videos containing illustrations (such as the one in Figure 2). Further details on the information delivered to respondents are developed in part 4.2.

The SQ alternative is the same for all the choice sets while the attributes levels vary in the two hypothetical alternatives. For each attribute, the level associated with the SQ is specified below. The respondents were asked to indicate their preferred alternative within each choice set.

The process of selecting the attributes and their levels comprised three main steps. First, a literature review of studies assessing changes in the demand for urban ecosystem services followed by selection of an extended list of potential attributes and levels to measure these changes. Second, organization of three focus groups held in the *Lyon* metropolitan area: one with experts in urban planning, environmental management, and the public transport network; one with students of real estate management; and one with inhabitants of the *Lyon* metropolitan area. The focus groups allowed us to refine our extended list of attributes and add other attributes suggested by participants. The attribute levels were also discussed with the focus group participants. Third, administration of a face-to-face pilot survey to 20 inhabitants to test how the chosen attributes were understood and the relevance of their levels. Figure 3 depicts the selected attributes and their levels.

The first attribute “Shade and cool zone”, corresponds to the impact of planted areas on the temperatures during heat waves. Vegetation in an urban area can provide shade and reduce air temperatures. We established three levels for this attribute: -0°C (reference level, *i.e.* SQ option), -1°C , and -2°C . The choice of these levels was based on the average effects of linear vegetation on reducing weather temperatures in cities proposed in the literature (Hamada and Ohta, 2010; Huang et al., 2018; Aram et al., 2019).

The second attribute “Bird abundance”, relates to the impact of UGS on urban biodiversity. Several studies measure this in terms of bird diversity and abundance (Caula, 2007; Pellissier et al., 2013; Dupuis et al., 2014). We defined three levels to measure changes in this attribute: $+0\%$ (reference level, *i.e.* SQ option), $+5\%$, and $+20\%$ of individuals of different bird species. These levels were chosen based mainly on the literature review and were confirmed by expert opinion from a recognized environmental association.

The third attribute “Traffic and parking” refers to the impact of UGS on traffic and available parking areas. This attribute emerged not from the literature review but from the focus group discussions. Although it is not considered in the literature, focus group participants considered it crucial, which demonstrates the vital trade-off between greening (and therefore, increasing pedestrian space) and smooth automobile traffic and parking. We realized, thanks to these focus groups, the centrality of this trade-off in the issue of social acceptability for UGS and therefore developed the theoretical model presented in section 2. We defined three qualitative levels of reduction to the space dedicated to traffic and parking: no reduction (reference level, *i.e.* SQ option), low reduction, and high reduction.

The fourth attribute “Cost”, refers to the potential increase in monthly local taxes (in € per month and for the whole household) associated with the different proposed tram greening scenarios. The levels chosen were 0€ (reference level, *i.e.* SQ option), 1€, 4€ and 10€ per month. The choice of these levels was based on local tax levels in high-income countries and in the *Lyon* metropolitan area. Other works on UGS use multiple types of monetary attributes: increased rents (Bronnmann et al., 2020); annual contribution to an urban green fund (Fruth et al., 2019); direct costs associated to green walls (Collins et al., 2017); increased monthly charges for the maintenance (including cleaning) of common residential areas (Jaung et al., 2020); the surcharge associated to development costs (Kim et al., 2020); and green roof installation costs/m² and maintenance fees (Vanstockem et al., 2018; Vollmer et al., 2016). The most frequent tax type considered in the literature

is monthly taxes which are also the most general type of payment mechanism (Giergiczny and Kronenberg, 2014; Liu et al., 2020; Ng et al., 2015; Soto et al., 2018). For these reasons, and following the focus groups feedback, we choose a monthly local tax as the payment mechanism.

Note that the chosen attributes are considered as independent. This is due to the fact that the greening scenarios do not necessarily affect the attributes in the same way. For example, certain types of vegetation, such as very large trees, can improve shading and cool areas without improving much bird biodiversity. A vertical vegetation may improve substantially biodiversity without impacting space for parking and traffic and/or without reducing the temperature. For these reasons, we assume that the attributes' levels can vary independently.

4.2 Experimental design, questionnaire, and data collection

The next step involves determining which choice sets to present to respondents. With four attributes, each with three or four levels, representing all possible attribute level combinations (full-factorial design) involves a too high cognitive load. We used *Ngene* software (Rose et al., 2010) to generate a Bayesian D-efficient design⁴. In order to determine the priors necessary for an efficient design, we conducted a face-to-face pilot survey on the tram lines and in tram stations in the *Lyon* metropolitan area (20 respondents, corresponding to 120 choices). These pilot data are not included in the final sample. The efficient design generated 12 choice sets, divided into two equal blocks; respondents were randomly assigned to a particular block. Within each block, six choice sets were successively proposed in random order; the respondents thus had to make six choices between two different greening alternatives and the SQ. The figure 4 depicts an example choice set.

The survey questionnaire comprised four sections. The first asked about the respondent's socio-economic profile; the second asked about the respondent's current practices and perceptions related to urban greening and public transport; the third presented the six choice sets; and the fourth accounted for hypothetical bias⁵. Given the hypothetical nature of the DCE, respondents may overstate their WTP. The high cognitive burden imposed on them can affect their ability to understand the different situations presented to them and lead to biased responses. This last section posed questions designed to distinguish biased responses.

Two videos accompanied the questionnaire. The first was a description of the general issue of greening cities, followed by a more specific presentation of the tramway greening project and its potential impact on urban well-being. The scenarios, the current situation (the SQ, *i.e.* the tramway without any vegetation) and the greening scenarios, were presented using illustrations as in Figure 2. To increase the consequentiality⁶ of the method, the video explained that the study would help urban and transport planners to take their decisions in the *Lyon* metropolitan area. The second video described the attributes and the choice sets in detail and in a simplified way for non-experts. Showing a video ahead of a choice experiment can reduce hypothetical and informational bias (Colombo et al., 2022; Chowdhury et al., 2010).

Data collection took place in May 2022. The final questionnaire was administered to 500 respondents, inhabitants of the *Lyon* metropolitan area, by the French polling organization BVA which complies with the rules of ethics and deontology of data collection and respects protection of personal data.

5 Econometric background

We rely on the Random Utility Model (RUM) in which an individual choice in the DCE results from the maximization of the relative utility derived from the different alternatives (McFadden, 1974; Mariel et al., 2021). Respondents choose the alternative that provides the highest expected utility. The RUM assumes that individual i ($i = 1, \dots, I$) chooses an alternative j among J possible multi-attribute alternatives ($j = 1, \dots, J$) in choice set t ($t = 1, \dots, T$), and that the associated utility U_{ijt} is:

$$U_{ijt} = V_{ijt} + \epsilon_{ijt} \quad (5)$$

where V_{ijt} is the indirect utility from choosing alternative j , and ϵ_{ijt} is the error term capturing all unobserved elements, and assumed to have an IID (independent and identically distributed) extreme value type-I distribution (Gumbel distribution).

In our case, the indirect utility function can be detailed as:

$$V_{ijt} = \beta_{iSQ}SQ + \beta_{iAir}AirCooling_{jt} + \beta_{iBiodiv}Biodiv_{jt} + \beta_{iSpace}SpaceReduc_{jt} + \beta_{iPayment}Payment_{jt} \quad (6)$$

where SQ is an alternative-specific constant (ASC) dummy variable equal to 1 in the status quo option and to zero otherwise. β_{iSQ} captures the preference for the SQ situation.

AirCooling and *Biodiv* are the attributes “Shade and cool zone” and “Bird abundance”. *SpaceReduc* is the reduction in the space available for private vehicles and is related to attribute “Traffic and parking”. *Payment* is the monetary attribute “Cost” (*i.e.* the additional tax). The $\beta_i k$ are the estimated parameters associated to each attribute k .

The difference between the utility function in the conceptual background $U^i(M^i, C^i, G)$ (subsection 2) and the utility function U_{ijt} in equation (5) occurs because the latter is the utility the respondent i derives from her choices in the DCE and the former is the underlying general utility of individual i . The indirect utility V_{ijt} in equation (6) is very similar to the general utility $U^i(M^i, C^i, G)$ but details the role of the four attributes chosen for the DCE and the respondents’ preferences for the SQ. More precisely, *AirCooling* and *Biodiv* are parts of the public good G in subsection 2, *SpaceReduc* is linked to the impact of UGS on car use U_{CG}^i , and *Payment* is related to the tax t^i and affects the remaining revenues M^i available to consume private goods.

The individual’s preferences for the various attributes may depend on his/her socioeconomic characteristics. If we denote $Z_i = (z_{i1}, \dots, z_{ia}, \dots, z_{iA})$ the vector of the A socioeconomic characteristics of individual i (*e.g.* age, income, gender,...), the indirect utility can be written as:

$$V_{ijt} = \beta_{iPayment} Payment_{jt} + \beta'_i X_{jt} + \alpha'_i X_{jt} Z_i \quad (7)$$

where $\beta_{iPayment}$ is the coefficient of the monetary attribute for individual i , $Payment_{jt}$ is the level of the monetary attribute of the alternative j in choice set t , X_{jt} is the vector of the levels of the three non-monetary attributes and the ASC, β_i is the vector of the associated parameters, and the vector α_i captures the effect of the individual’s socioeconomic characteristics on his/her preferences for the attributes.

Different econometric models, relying on different assumptions about the distribution of the error terms ϵ_{ijt} and on the randomness of the β_i and α_i parameters, can be used to analyze the discrete choices.

5.1 Random parameter logit in preference-space

To account for the heterogeneity in preferences and individual specificities we consider a mixed logit or random parameter logit (RPL) model. Unlike the conditional logit, the RPL considers β_i and α_i as random parameters which can vary across individuals, and relaxes the assumption of IIA (independence of irrelevant alternatives) (McFadden and

Train, 2000; Dahlberg and Eklöf, 2003). We assume that the random parameters β_i , α_i and $\beta_{Payment}$ follow a normal distribution.

The RPL model allows us to estimate the distributions of the random parameters, and in the RPL model with interactions, to estimate the parameters of the attributes interacted with respondents' socioeconomic characteristics.

We can then compute the mean WTP for each non-monetary attribute k :

$$WTP_k = \frac{\beta_k}{|\beta_{Payment}|} \quad (8)$$

where β_k and $\beta_{Payment}$ are the mean parameters associated respectively to attribute k and the monetary attribute. However, the normal distribution of the cost parameter $\beta_{Payment}$ could generate problems in equation (8) since draws close to zero could result in undefined mean WTP (Hensher and Greene, 2003; Train and Weeks, 2005; Mariel et al., 2021). We address this by using a WTP-space model.

5.2 Random parameter logit in WTP-space

To compute the WTP, we apply a RPL in the WTP-space in which the marginal WTP for the non-monetary attributes are estimated directly which avoids any problems related to the ratios of the parameters where the numerator is close to zero (Train and Weeks, 2005; Hess and Train, 2017). The indirect utility can be rewritten as:

$$U_{ijt} = \beta_{iPayment}[Payment_{jt} + wtp'X_{jt}] + \epsilon_{ijt} \quad (9)$$

where wtp is the vector of the WTP associated to attributes X_{jt} . The expression (9) is equivalent to the expression (7) for the preference-space (excluding the socioeconomic interactions), factorized by the cost parameter $\beta_{iPayment}$ as $wtp' = \beta'_i/\beta_{iPayment}$, which allows us to estimate the marginal WTP directly. The presented models can be estimated using the maximum simulated log-likelihood method (Train and Weeks, 2005).

5.3 Latent class model

Similar to the RPL models, latent class models (LCM) allow for heterogeneity (parameters β_i can vary from one individual to another). However, in contrast to the RPL, the LCM relaxes the assumptions about the distribution of preferences among the population and allows for unobserved preference heterogeneity with membership in latent classes of preferences. Let us consider a population split into Q classes. Preferences can differ

across classes while maintaining the same within-class preferences. The probability that individual i chooses alternative j in the choice set t given that he/she belongs to class q is :

$$P(y_{it} = j | class = q) = P_{it|q}(j) = \frac{\exp(X'_{ijt}\beta_q)}{\sum_{j=1}^J \exp(X'_{ijt}\beta_q)}$$

For a given class q , individual i 's contribution to the likelihood is:

$$P_{i|q} = \prod_{t=1}^T \prod_{j=1}^J (P_{it|q})^{y_{ijt}}$$

where y_{ijt} is a binary variable that is equal to 1 if individual i chooses alternative j in the choice set t , and is 0 otherwise.

Greene and Hensher (2003) denote H_{nq} as the prior probability that individual i belongs to class q :

$$H_{iq} = \frac{\exp(Z'_i\theta_q)}{\sum_{q=1}^Q \exp(Z'_i\theta_q)}, q = 1, \dots, Q, \theta_Q = 0$$

where Z_i is the set of the A observable socioeconomic characteristics which impact class membership and θ_q are class membership parameters. Individual's likelihood is :

$$P_i = \sum_{q=1}^Q H_{iq} P_{i|q}$$

The sample log-likelihood is :

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^N \ln\left(\sum_{q=1}^Q H_{iq} P_{i|q}\right)$$

After estimating θ_q for each individual we can obtain the probability that he/she belongs to class q given his/her responses to the choice sets. The posterior membership probability is estimated as follows :

$$\hat{H}_{q|i} = \frac{\hat{P}_{i|q} \hat{H}_{iq}}{\sum_{q=1}^Q \hat{P}_{i|q} \hat{H}_{iq}}$$

Last, to explore the influence of socioeconomic characteristics on class membership, we regress the posterior probability $\hat{H}_{q|i}$ on the A socioeconomic variables:

$$\log\left(\frac{\hat{H}_{q|i}}{1 - \hat{H}_{q|i}}\right) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_A X_A$$

Section 6 presents the results of the different econometric models.

6 The discrete choice experiment results

6.1 Descriptive statistics and sample representativeness

The initial sample based on the panel of respondents constructed by the polling institute was near representative of the socioeconomic and demographic characteristics of the population of the *Lyon* metropolitan area. However, to achieve perfect representativeness, we adjusted our sample using French National statistics data for 2015 at the metropolitan area geographic scale. Table 1 presents the statistics for gender, age, socio-professional category (SPC), and location (city center *versus* suburb) for the initial non-weighted sample (*non-weighted sample* column) and the population census sample which corresponds to the final weighted sample (*weighted sample* column). The statistics are very similar for all the variables except age. Therefore, to ensure that our study is based on a representative sample, we used the weighted sample for our econometric analyses.

Using the follow-up questions in the fourth section of the questionnaire, we removed 20 respondents considered either to have given *protest answers* or who claimed not to understand the DCE. Specifically, we asked those respondents who always chose the SQ to explain their choice and excluded respondents who answered: “I did not understand the different scenarios”, “There were too many elements to consider”, “It is not my responsibility to pay”, or “I need more information to make up my mind”. Our final sample thus includes 480 inhabitants.

6.2 The results of the random parameter logit

The variables “AirCooling” and “Biodiversity” associated to the attributes “Shade and cool zone” and “Bird abundance,” respectively, were coded as continuous variables; “SpaceReduc” associated to the attribute “Traffic and parking”, was analyzed using a categorical variable whose baseline was “No Reduction”.

Table 2 presents the results of the RPL. The upper part of the table shows that all the coefficients except “SpaceReduc - Low” associated to the chosen attributes are statistically significant, and have consistent signs. The coefficient “Payment (in €)” is strongly significant and has a negative sign. As expected all else being equal, respondent utility decreases as monthly local taxes increase. The coefficient “SQ” refers to the ASC and represents the utility associated with the current situation (*i.e.* no greening, no improved ecosystem services, no reduction in the space dedicated to traffic and parking,

no cost) as opposed to the hypothetical alternatives of tram greening. The negative sign and high significance of the ASC show that on average, respondents favor tram transport greening compared to remaining in the current situation. The positive signs and strong significance of the coefficients “AirCooling” and “Biodiversity” indicate that on average, respondents have a strong preference for the impact of greening on respectively reducing temperatures during hot periods and improving urban biodiversity. Note that the standard deviations of the mentioned coefficients are all highly significant, demonstrating strong heterogeneity in the preferences for these attributes. In other words, on average respondents are in favor of urban greening but there is no consensus among respondents (some are against it, others are indifferent, others are strongly in favor).

The coefficients of “SpaceReduc - Low” and “SpaceReduc - High” indicate the respective variation in respondents’ utility when the space available for traffic and parking is slightly or strongly reduced. The statistical insignificance of “SpaceReduc - Low” shows that, on average, people are indifferent about a small reduction, with relatively homogeneous preferences (insignificant standard deviation). However, the negative sign and statistical significance of “SpaceReduc - High” shows that, on average, people are against a major reduction in the space available for car traffic and parking, although some are in favor and others are against it (strong heterogeneity in preferences indicated by the strongly significant standard deviation).

The lower part of table 2 presents the interactions between our attributes and several socioeconomic and attitudinal variables which allow us to understand the relation between the respondent’s profile and his/her preferences. Table 2 includes only the significant interactions for the variables age, gender, education level, income, number of children in the household, whether the respondent uses a car/bike/tram/other public transport as the main transport means, whether the respondent lives in or outside the city of the *Lyon*, whether the respondent is involved in pro-environmental activities, regularly consumes organic products (variable “Bio”), whether the respondent considers there is too little vegetation around the tram network (variable “TramVege”), the distance from the respondent’s residence to the closest tram station and the proportion of green space (% and hectares) in the municipality of residence.

The last two columns in table 2 show that respondents who regularly consume organic products (proxy for environmental sensitiveness) - and/or believe there is insufficient vegetation around the tram network – are more in favor of temperature reductions (greater

awareness of climate change). They are also more sensitive to biodiversity improvements and are more willing to accept a substantial reduction in the space dedicated to parking and traffic.

We computed the WTP for our attributes employing the WTP-space model (see table 3). On average, our respondents are willing to pay 3.82€ per month for each degree of air temperature reduction during a heat wave. They are also willing to pay 0.77€ per month to increase the local bird population by 1%. Finally, they indicated that to accept a major decrease in the space available for traffic and parking they would need to receive the equivalent of 2.38€ per month on average in the form of a reduction in local taxes. Again we observed strong heterogeneity in the estimated coefficients among respondents regarding WTP for changes, as shown by the strongly significant standard deviations.

Given the strong heterogeneity in preferences shown in the RPL in preference and WTP-space models, we need to examine the different profiles and respondent classes in more detail. We complete our estimations with a LCM.

6.3 The latent class model results

As described in section 5, the LCM allocates respondents to different classes, allowing specific coefficient estimates for each class. It describes the classes based on how the respondent’s socioeconomic characteristics affect the probability of assignment to a given class.

Table 4 presents the results for several tests to determine the optimal number of classes in the LCM. According to the “predictive quality” criteria, which measures the proportion of individuals who do belong to the class assigned to them based on their observed choices (Nylund et al., 2007), the optimal number of classes is 2.

Table 5 presents the LCM results for the weighted sample and the two classes. The results in the upper part of table 5 show that the respondents in Class 2 are pro-tram green-ing (negative and strongly significant coefficient of SQ) and that on average respondents in Class 1 are indifferent about a greener alternative (insignificant coefficient of SQ). Both classes prefer not to pay higher taxes (strongly significant and negative coefficient of “Payment in €”) which is consistent with the intuition. While both classes would appreciate reduced air temperatures during hot periods, it can be seen that Class 2 is more sensitive to this climate change issue. Also, while Class 1 is indifferent to biodiversity (insignificant coefficient), respondents in Class 2 are strongly concerned about this issue (strongly sig-

nificant and positive coefficient of biodiversity improvement). Both classes are indifferent to a small reduction in the space available for traffic and parking but while those in Class 2 are also indifferent to a large reduction in this space respondents in Class 1 are strongly opposed to it (negative and strongly significant coefficient of “SpaceReduc - High”).

In sum, it would seem that 76.1% of respondents (Class 2) are pro-greening and sensitive to climate regulation and biodiversity preservation (strongly significant and positive coefficients of “AirCooling” and “Biodiversity”) and would accept a reduction in the space available for car traffic and parking (insignificant coefficients of “SpaceReduc” parameters) whereas 23.9% of respondents (Class 1) are indifferent about greening strategies or the SQ (insignificant coefficient of “SQ”), and biodiversity. They would appreciate cooler temperatures during the summer but less so than those in Class 1. Respondents in Class 2 do not favor a high reduction in the space for traffic and parking resulting from more greening (negative and strongly significant coefficient of “SpaceReduc - High”).

The lower part of Table 5 provides information on the characteristics of the two classes of respondents. We can see that respondents whose main means of transport is private car are more likely to be included in Class 1 (positive and strongly significant coefficient of “Car”). We see that respondents living within the city of *Lyon* (“City center”) and/or with larger incomes (“Income”) are also more likely to be included in Class 1.

These findings for both city center residents and higher incomes seem counter-intuitive given that suburban inhabitants with on average lower incomes are generally the most dependent on private cars and thus generally more sensitive to this type of green urban planning. An explanation would be that those individuals in Class 1 include city center residents who are also car owners, already experiencing reductions in the space available for cars (due to additional bus and tram lanes, cycle paths, pedestrian areas, etc). They are likely to be more concerned about the proposed greening scenarios whereas those living outside the city center (where there is more space) would be less affected by any reductions in space. This is confirmed by the significant and positive variable “CityCenter x Car”.

We note that respondents with children and/or involved in pro-environmental activities (donations, voluntary work) are more likely to belong to Class 2 (negative and significant coefficients of “Children” and “EnvInvolv”). This environmental involvement, as well as the fact of consuming organic products, are proxies for respondent’s environmental sensitiveness⁷.

7 Conclusion

Cities are forced to accommodate growing populations in increasingly polluted and artificialized environments. In France, summer 2022 was marked by heat waves and forest fires which were the worst experienced for 16 years. This led to the introduction of short term measures by the French government who announced a fund of 500 million euros for the “renaturation” of cities where the heat effects were most significant. The aim was to support local communities to make adaptations to the consequences of climate change and promote nature-based “islands of freshness” in cities. One way to introduce more nature in cities is greening the transport infrastructure. The metropolis of *Lyon*, which suffers recurrent heat waves, has been implementing greening measures for several years by increasing the vegetation (trees and urban parks) and by investing in the public transport infrastructure (the tram network in particular).

While a greener tram network provides ecosystem services such as cooler air temperatures and urban biodiversity, it reduces the space available for vehicle traffic and parking. This contribution proposes, in a first step, a theoretical model to present this trade-off and, in a second step, a DCE to measure the WTP of the inhabitants of the *Lyon* metropolis for greening the tram network. In addition to estimating average WTP, we analyze the determinants of individual heterogeneity in the WTP.

On a sample of 500 respondents, we show that, on average, respondents are in favor of urban greening and have a strong preference for lower temperatures during hot periods and greater abundance of birds. However, it seems that, on average, respondents are against a high reduction in the available space for car traffic and parking resulting from the development of green areas. We find that the high heterogeneity in inhabitants’ preferences is driven by their sensitivity and commitment to the environment, the size of their household, their place of residence, and income.

Our empirical results suggest that, were a referendum held in the study region to decide about implementation of a greening program on the tram network, the majority would be in favor, although a significant proportion of the population demonstrates concerns about the space implications of such a program. Therefore, a solution which does not encroach too much on space - such as vertical vegetation – would be relevant. Also, our results indicate that greening outside the city center and in areas with more families (presence of children in the households) would be more acceptable. Our study thus helps

to understand the potential reluctance and acceptability of inhabitants for green tram network in the *Lyon* metropolis, contributing to guide the design of greening policies in large cities.

There are several possibilities for future research. The present study does not consider the choice of transport mode: use of private car or public transport was taken as given. However, the greening of the urban transport infrastructure, by reducing available public space dedicated to traffic, could cause congestion and generate additional costs and longer travel times for private car passengers. Therefore, individuals may modify their choice of transport mode in favor of public transport, which should be investigated in future research. In addition, the development of a greener urban transport infrastructure is not neutral in terms of house prices and housing location choices. An analysis using hedonic prices of residential property or tertiary real estate transaction data might provide useful complementary results.

References

- Allen, S., M. Gaunt, and T. Rye (2006). An investigation into the reasons for the rejection of congestion charging by the citizens of edinburgh. *European Transport Trasporti Europei* 32, 95–113.
- Anzivino, L., M. Venzac, A.-L. Badin, M. Philippot, B. Miège, F. Reydellet, A. Nguyen, and X. Olny (2018). Diagnostic santé environnement des habitants de la métropole de lyon. Rapport, Metropole de Lyon, ORS Auvergne-Rhône-Alpes, Cerema.
- Aram, F., E. Higuera Garcia, E. Solgi, and S. Mansournia (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon* 5, 1339.
- Arnberger, A. and R. Eder (2011). The influence of age on recreational trail preferences of urban green-space visitors: a discrete choice experiment with digitally calibrated images. *Journal of Environmental Planning and Management* 54, 891–908.
- Babí Almenar, J., T. Elliot, B. Rugani, B. Philippe, T. Navarrete Gutierrez, G. Sonnemann, and D. Geneletti (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy* 100, 104898.
- Bronnmann, J., V. Liebelt, F. Marder, J. Meya, and M. Quaas (2020). The value of naturalness of urban green spaces: Evidence from a discrete choice experiment. *Land Economics*.
- Caula, S. (2007). *L’usage de l’avifaune comme indicateur écologique et socio-économique dans l’espace urbain*. Ph. D. thesis.
- CGDD-SOeS and V. Paquel (2016). *Les infrastructures linéaires de transport : évolutions depuis 25 ans*. Technical report, CGDD-SOeS.
- Chowdhury, S., J. Meenakshi, K. Tomlins, and C. Owor (2010). Are consumers in developing countries willing to pay more for micronutrient-dense biofortified foods? evidence from a field experiment in uganda. *American Journal of Agricultural Economics* 93, 83–97.
- Collins, R., M. Schaafsma, and M. Hudson (2017). The value of green walls to urban biodiversity. *Land Use Policy* 64, 114–123.

- Colombo, S., W. Budziński, M. Czajkowski, and K. Glenk (2022). The relative performance of ex-ante and ex-post measures to mitigate hypothetical and strategic bias in a stated preference study. *Journal of Agricultural Economics* 73.
- Czajkowski, M., M. Bylicki, W. Budziński, and M. Buczyński (2022). Valuing externalities of outdoor advertising in an urban setting – the case of Warsaw. *Journal of Urban Economics* 130(C).
- Czembrowski, P. and J. Kronenberg (2016). Hedonic pricing and different urban green space types and sizes: Insights into the discussion on valuing ecosystem services. *Landscape and Urban Planning* 146, 11–19.
- Dahlberg, M. and M. Eklöf (2003). Relaxing the iia assumption in locational choice models: A comparison between conditional logit, mixed logit, and multinomial probit models. Working Paper Series 2003:9, Uppsala University, Department of Economics.
- Dongen, R. and H. Timmermans (2019). Preference for different urban greenscape designs: A choice experiment using virtual environments. *Urban Forestry & Urban Greening* 44, 126435.
- Dupuis, V., B. Deceuninck, F. Jiguet, and N. Issa (2014). Evolution des oiseaux nicheurs de france métropolitaine, indicateurs de biodiversité. *Ornithos* 21, 121–131.
- Durrmeyer, I. and N. Martinez (2022). The welfare consequences of urban traffic regulations. Working Paper Series 2022:1378, Toulouse School of Economics.
- Edwards, J. (1990). Congestion function specification and the “publicness” of local public goods. *Journal of Urban Economics* 27(1), 80–96.
- Eliasson, J. and L. Jonsson (2011). The unexpected "yes": Explanatory factors behind the positive attitudes to congestion charges in stockholm. *Transport Policy* 18, 636–647.
- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners. Technical report, European Commission.
- Fruth, E., M. Kvistad, J. Marshall, L. Pfeifer, L. Rau, J. Sagebiel, D. Soto, J. Tarpey, J. Weir, and B. Winiarski (2019). Economic valuation of street-level urban greening: A case study from an evolving mixed-use area in berlin. *Land Use Policy* 89.

- Giergiczny, M. and J. Kronenberg (2014). From valuation to governance: Using choice experiment to value street trees. *Ambio* 43, 492–501.
- Godillon, S. (2023). Réduire les usages de l’automobile en ville : une comparaison des débats médiatiques sur la réduction de la vitesse à 30 km/h à paris et à montréal. *Cybergeo: European Journal of Geography* 931.
- Greene, W. and D. Hensher (2003). A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit. *Transportation Research Part B: Methodological* 37(8), 681–698.
- Greiner, R. (2016). Factors influencing farmers’ participation in contractual biodiversity conservation: a choice experiment with northern australian pastoralists. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 60(1), 1–21.
- Hamada, S. and T. Ohta (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening* 9, 15–24.
- Hensher, D. (2010). Hypothetical bias, choice experiments and willingness to pay. *Transportation Research Part B: Methodological* 44(6), 735–752.
- Hensher, D. and W. Greene (2003). The mixed logit model: the state of practice. *Transportation* 30(2), 133–176.
- Hess, S. and K. Train (2017). Correlation and scale in mixed logit models. *Journal of choice modelling* 23, 1–8.
- Huang, M., P. Cui, and X. He (2018). Study of the cooling effects of urban green space in harbin in terms of reducing the heat island effect. *Sustainability* 10.
- Jaung, W., L. Carrasco, S. Ahmad, P. Tan, and D. Richards (2020). Temperature and air pollution reductions by urban green spaces are highly valued in a tropical city-state. *Urban Forestry & Urban Greening* 55, 126827.
- Jennings, V. and O. Bamkole (2019). The relationship between social cohesion and urban green space: An avenue for health promotion. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16, 452.

- Johnston, R., K. Boyle, W. Adamowicz, J. Bennett, R. Brouwer, T. Cameron, W. Hanemann, N. Hanley, M. Ryan, R. Scarpa, et al. (2017). Contemporary guidance for stated preference studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 4(2), 319–405.
- Kim, H., Y. Shoji, T. Tsuge, T. Aikoh, and K. Kuriyama (2020). Understanding services from ecosystem and facilities provided by urban green spaces: A use of partial profile choice experiment. *Forest Policy and Economics* 111, 102086.
- Liebelt, V., S. Bartke, and N. Schwarz (2019). Urban green spaces and housing prices: An alternative perspective. *Sustainability* 11, 3707.
- Liu, Z., N. Hanley, and D. Campbell (2020). Linking urban air pollution with residents' willingness to pay for greenspace: A choice experiment study in beijing. *Journal of Environmental Economics and Management* 104, 102383.
- Mariel, P., D. Hoyos, J. Meyerhoff, M. Czajkowski, T. Dekker, K. K. Glenk, J. Jacobsen, U. Liebe, S. Olsen, J. Sagebiel, et al. (2021). *Environmental valuation with discrete choice experiments: Guidance on design, implementation and data analysis*. Springer Nature.
- McFadden, D. (1974). *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior*, Chapter 4, pp. 105–142.
- McFadden, D. and K. Train (2000). Mixed mnl models for discrete response. *Journal of applied Econometrics* 15(5), 447–470.
- McGreer, E. and M. McMillan (1993). Public output demands from alternative congestion functions. *Journal of Urban Economics* 33(1), 95–114.
- Mokas, I., S. Lizin, T. Brijs, N. Witters, and R. Malina (2021). Can immersive virtual reality increase respondents' certainty in discrete choice experiments? a comparison with traditional presentation formats. *Journal of Environmental Economics and Management* 109, 102509.
- Morancho Bengochea, A. (2003). A hedonic valuation of urban green areas. *Landscape and Urban Planning* 66, 35–41.

- Ng, W.-Y., C.-K. Chau, G. Powell, and T.-M. Leung (2015). Preferences for street configuration and street tree planting in urban hong kong. *Urban Forestry & Urban Greening* 14, 30–38.
- Nylund, K., T. Asparouhov, and B. Muthén (2007). Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A monte carlo simulation study. *Structural equation modeling: A multidisciplinary Journal* 14 (4), 535–569.
- Oltra, C., R. Sala, S. López-Asensio, S. Germán, and Boso (2021). Individual-level determinants of the public acceptance of policy measures to improve urban air quality: The case of the barcelona low emission zone. *Sustainability* 13(3).
- Pellissier, V., J. Touroult, R. Julliard, J.-P. Sibley, and F. Jiguet (2013). Assessing the natura 2000 network with a common breeding birds survey. *Animal Conservation* 16, 566–574.
- Revi, A., D. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R. Kiunsi, M. Pelling, D. Roberts, and W. Solecki (2014). Urban areas. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Chapter 8, pp. 535–612. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Rey Gozalo, G., J. Morillas, D. González, and P. Moraga (2017). Relationships among satisfaction, noise perception, and use of urban green spaces. *Science of The Total Environment* 624, 438–450.
- Rienstra, S., P. Rietveld, and E. Verhoef (1999). The social support for policy measures in passenger transport.: A statistical analysis for the netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 4(3), 181–200.
- Rose, J., A. Collins, M. Bliemer, and D. Hensher (2010). *Ngene, 1.0.2*. ed. Statistical Software, ChoiceMetrics Pty Ltd.
- Samuelson, P. (1954). The pure theory of public expenditure. *The Review of Economics and Statistics* 36(4), 387–389.

- Soto, J., H. Khachatryan, and D. Adams (2018). Consumer demand for urban forest ecosystem services and disservices: Examining trade-offs using choice experiments and best-worst scaling. *Ecosystem Services* 29, 31–39.
- Ta, M.-T., L. Tardieu, and H. Levrel (2022). Characterizing the Demand Side of Urban Greening to Inform Urban Planning -A Discrete Choice Experiment in the Paris Metropolitan Region. *Revue d'économie politique* 2022(6), 907–950.
- Train, K. and M. Weeks (2005). Discrete choice models in preference space and willingness-to-pay space. In *Applications of simulation methods in environmental and resource economics*, pp. 1–16. Springer.
- Vanstockem, J., L. Vranken, B. Bleys, B. Somers, and M. Hermy (2018). Do looks matter? a case study on extensive green roofs using discrete choice experiments. *Sustainability* 10(2).
- Vollmer, D., A. Ryffel, K. Djaja, and A. Grêt-Regamey (2016). Examining demand for urban river rehabilitation in indonesia: Insights from a spatially explicit discrete choice experiment. *Land Use Policy* 57, 514–525.
- Welling, M., E. Zawajska, and J. Sagebiel (2022). Information, consequentiality and credibility in stated preference surveys: A choice experiment on climate adaptation. *Environmental and Resource Economics* 82.
- Wolch, J., J. Byrne, and J. Newell (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’. *Landscape and Urban Planning* 125.

Notes

¹<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL>

²Note that the car (private good) use, also generates externalities (local pollution, noise, climate change) which are not studied here.

³<https://www.sytral.fr/611-les-realisation.html>

⁴An efficient rather than an orthogonal DCE design uses priors (*a priori* parameters related to respondent preferences) to generate the most efficient subset of choice sets to elicit respondent preferences. Efficient designs reduce the statistical errors of the econometric treatment ([Greiner, 2016](#)).

⁵In a survey, hypothetical bias is induced when in a fictitious market situation, respondents find it difficult to express their preferences, *i.e.* what the individual says he/she would do or would want to do hypothetically is not necessarily what the individual would do in reality ([Hensher, 2010](#)).

⁶Consequentiality refers to the fact that the DCE responses have consequences in real-life, which has been shown to increase the respondent's incentive to answer truthfully ([Johnston et al., 2017](#)).

⁷The same model replacing “EnvInvolv” with “Bio” produces very similar results.

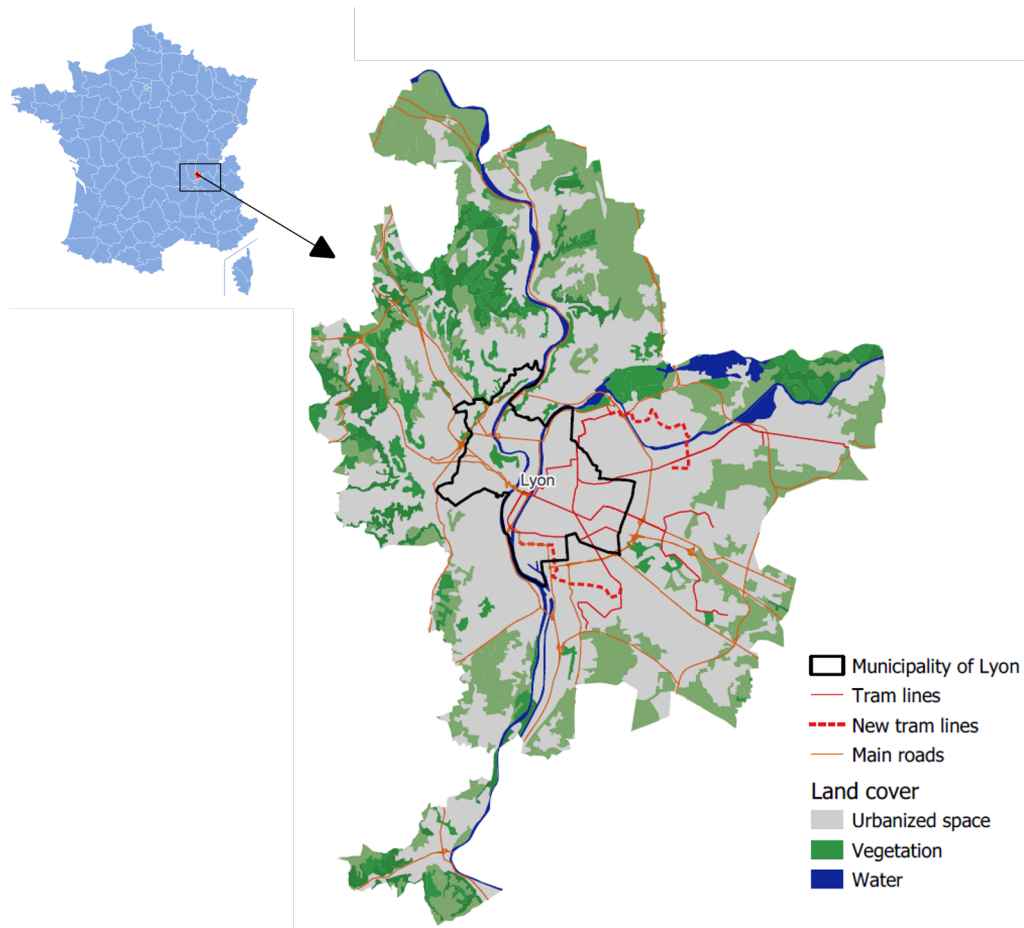


Figure 1: Land use and mobility in the *Lyon* metropolitan area

Sources : data.grandlyon.com; Sytral; Corine Land Cover 2018. Created by Anaïs Portela



Figure 2: Scenario presentation : from the current or *status quo* situation (left) to the scenarios with little vegetation (centre) and with a lot of vegetation (right).

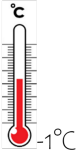
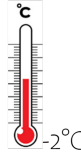
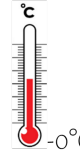









	Alternative 1	Alternative 2	Status Quo
<p>Shade and cool zone</p> <p>Temperature drops during hot weather</p>			
<p>Bird abundance</p> <p>Increase in the number of birds (of different species)</p>	<p>+0%</p> 	<p>+5%</p> 	<p>+0%</p> 
<p>Traffic and parking</p> <p>Reduction of available space around the tram</p>	<p>No reduction</p> 	<p>Low reduction</p> 	<p>No reduction</p> 
<p>Cost</p> <p>Increase of monthly local tax</p>			
<p>Your choice</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 4: Example of a choice set

Table 1: Sample descriptive statistics

	Non-weighted sample	%	Weighted sample	% *	
Gender					
	<i>Man</i>	199	39,8%	233	46,6%
	<i>Woman</i>	301	60,2%	267	53,4%
Age					
	<i>18-34</i>	84	16,8%	175	35,0%
	<i>35-49</i>	158	31,6%	124	24,7%
	<i>50-64</i>	144	28,8%	102	20,5%
	<i>> 65</i>	114	22,8%	99	19,8%
Socio-Professional Categories **					
	<i>SPC +</i>	177	35,4%	178	35,5%
	<i>SPC -</i>	141	28,2%	133	26,7%
	<i>Inactive</i>	182	36,4%	189	37,8%
Location					
	<i>City center</i>	173	34,6%	195	39,0%
	<i>Suburb</i>	327	65,4%	305	61,0%
Total		500	100,0%	500	100,0%

* Source : French National statistics, INSEE RGP 2015

** SPC + : Farmer / craftsman, trader, company manager, self-employed / Executive, intellectual profession, liberal profession ; SPC - : Employee / Worker; Inactive : Retired / Student / Inactive person (at home, looking for a first job...)

Table 2: The RPL with and without interactions

	(1)		(2)		(3)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Payment €	-0.28*** (0.04)	0.25*** (0.04)	-0.30*** (0.03)	0.28*** (0.03)	-0.26*** (0.03)	0.27*** (0.03)
SQ	-2.61*** (0.75)	3.07*** (0.59)	-2.37*** (0.42)	-3.06*** (0.30)	-2.32*** (0.47)	2.90*** (0.34)
AirCooling	0.67*** (0.12)	0.91*** (0.12)	0.48*** (0.12)	0.63*** (0.10)	-0.05 (0.15)	-0.08 (0.16)
Biodiversity	0.14*** (0.02)	0.16*** (0.03)	0.10*** (0.02)	0.14*** (0.02)	0.05* (0.02)	0.10*** (0.02)
SpaceReduc-Low	0.02 (0.17)	0.20 (0.17)	0.09 (0.17)	-0.17 (0.14)	0.17 (0.18)	-0.008 (0.12)
SpaceReduc-High	-0.94*** (0.30)	1.66*** (0.40)	-1.00*** (0.30)	1.82*** (0.30)	-1.98*** (0.46)	1.36*** (0.22)
Bio×AirCooling			0.93*** (0.18)	-1.24*** (0.17)	0.99*** (0.23)	-1.50*** (0.27)
Bio×Biodiversity			0.08*** (0.03)	0.14*** (0.02)	0.11*** (0.04)	0.19*** (0.05)
Bio×SpaceReduc-High			0.66* (0.34)	0.02 (0.61)	0.70** (0.33)	1.52*** (0.40)
TramVege×AirTemp					0.67*** (0.17)	0.57*** (0.15)
TramVege×Biodiv					0.05* (0.03)	0.06 (0.05)
TramVege×SpaceReduc-High					1.20*** (0.43)	1.27*** (0.25)
Observations	8640		8640		8640	
N_clust	480.00		480.00		480.00	
ll	-2075.82		-2042.33		-2021.62	
aic	4175.64		4120.66		4091.24	
bic	4260.41		4247.81		4260.78	

Standard errors in parentheses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Table 3: RPL in WTP-space estimations

	Mean	S.D.
AirCooling	3.82*** (1.34)	5.76*** (1.34)
Biodiversity	0.77*** (0.30)	1.04*** (0.22)
SpaceReduc-Low	1.25 (1.18)	4.59** (1.99)
SpaceReduc-High	-2.38* (1.38)	11.38*** (1.85)
Observations	8640	
N_clust		
ll	-2211.77	
aic	4445.54	
bic	4523.24	

Standard errors in parentheses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Table 4: Information criteria and model selection

	Number of classes					
	2 classes	3 classes	4 classes	5 classes	6 classes	7 classes
AIC	4518.34	4333.56	4229.45	4168.79	4115.37	4075.38
BIC	4610.18	4467.78	4413.11	4401.91	4383.80	4372.07
Predictive quality (%)	97%	74%	37%	33%	32%	31%

Table 5: Latent class model results

	Class 1		Class 2	
	Coefficient		Coefficient	
	(S.E.)		(S.E.)	
Attributes				
SQ	-0.42		-1.51***	
	(0.40)		(0.35)	
Payment €	-0.26***		-0.07***	
	(0.04)		(0.03)	
AirCooling	0.20*		0.61***	
	(0.12)		(0.13)	
Biodiversity	0.02		0.07***	
	(0.02)		(0.01)	
SpaceReduc - Low	-0.10		0.26	
	(0.19)		(0.18)	
SpaceReduc -High	-1.73***		0.49	
	(0.34)		(0.39)	
Membership				
EnvInvolv	-1.24***	-1.17***		Ref.
	(0.36)	(0.37)		
City center	0.56**			Ref.
	(0.25)			
Car	0.71***			Ref.
	(0.27)			
CityCenter×Car		0.75**		Ref.
		(0.33)		
Children	-0.32**	-0.30**		Ref.
	(0.13)	(0.14)		
Income	0.12*	0.12*		Ref.
	(0.07)	(0.07)		
Gender	0.09	0.09		Ref.
	(0.25)	(0.25)		
Age	-0.00	-0.00		Ref.
	(0.00)	(0.00)		
Education	0.05	0.04		Ref.
	(0.10)	(0.10)		
Log Likelihood	-2240.37	-2242.68		
AIC	4522.74	4525.37		
BIC	4671.09	4666.65		
Predictive quality		97%		
N (obs.)		8640		
Class membership	23.9%		76.1%	

Standard errors in parentheses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$