



Étude pédologique

Lausanne Jardins 2019

Réalisée par Yannick Poyat

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	3
I. Estimation de la capacité de rétention en eau du sol	4
1. Campagne de terrain.....	4
2. Méthodologie utilisée pour estimer la capacité de rétention en eau	12
i. Première étape : estimer la profondeur utile du sol.....	12
ii. Deuxième étape : estimer le volume d'eau stocké par volume de sol.....	15
3. Résultats obtenus.....	16
II. Régulation des îlots de chaleur urbains	24
1. Méthodologie utilisée pour estimer l'effet rafraichissant du sol.....	24
i. Étape 1 : calcul de la moyenne mensuelle de la pression de vapeur saturante	24
ii. Étape 2 : calcul de la moyenne mensuelle de la pression de vapeur	24
iii. Étape 3 : calcul de l'évapotranspiration mensuelle moyenne.....	25
iv. Étape 4 : calcul de la réserve utile en eau du sol.....	25
v. Étape 5 : calcul de l'évaporation annuelle	26
2. Résultats obtenus.....	27
III. Habitat pour la biodiversité	34
1. Le sol et sa relation au vivant.....	34
2. Méthode utilisée pour le comptage des vers de terre.....	35
3. Résultats obtenus.....	36
i. Abondance totale.....	36
ii. Structure fonctionnelle.....	38
Conclusion	40
Annexe 1.....	41
Annexe 2.....	47

Introduction

De manière intuitive, les espaces verts urbains sont considérés comme utiles aux habitants au regard des services socio-culturels qu'ils procurent. La fréquentation des espaces verts participe au développement personnel et à la cohésion sociale, en permettant des usages récréatifs, de loisirs ou encore spirituels. La proximité de parcs et jardins d'agrément joue donc un rôle non négligeable sur la santé humaine en réduisant le stress des habitants usagers. Si l'on devait attribuer une valeur à ces espaces, celle-ci serait intimement liée aux usages et à la singularité du paysage qu'ils portent.

Ces services socio-culturels induisent une première reconnaissance du rôle de la pleine terre en ville, partagée par les habitants. En effet, la pleine terre autorise la création d'espaces verts en zone urbaine à travers la fonction écologique de support de végétation. Toutefois, le rôle de la pleine terre en ville ne peut être réduit uniquement à des aspects socio-culturels mais inclut également des services de régulation et d'approvisionnement. À travers leur fonctionnement, les sols des espaces verts urbains interviennent dans la régulation du cycle de l'eau en infiltrant et en stockant les eaux de surface. Une partie de cette eau stockée est évaporée durant la période estivale, ce qui contribue à lutter contre les îlots de chaleur urbains. Les sols urbains peuvent également être considérés comme des réservoirs de biodiversité en abritant de nombreuses espèces animales et végétales. La matière organique issue du vivant est progressivement dégradée et stockée dans les premiers centimètres des sols urbains sous forme de carbone, ce qui permet de réguler le climat global. Enfin, les sols urbains peuvent également soutenir une production alimentaire et devenir ainsi une ressource précieuse pour soutenir les projets d'agriculture urbaine.

En consacrant cette 6^{ème} édition au thème de la pleine terre, *Lausanne Jardins 2019* porte l'ambition d'apporter une nouvelle lecture des espaces verts urbains par le prisme du sol. L'objectif étant d'explicitier les rôles portés par les sols suivant trois thématiques : l'eau, le climat local et la biodiversité. La présente étude a permis dans un premier temps d'évaluer la capacité des sols d'espaces verts urbains à infiltrer et retenir les eaux pluviales, et donc, à réguler le phénomène d'inondation. Au vu des inondations du 18 juin 2018, il apparaît intéressant de mieux comprendre le rôle de la pleine terre dans la limitation des ruissellements de surface. Dans un deuxième temps, cette étude a également permis d'évaluer le rôle joué par les espaces verts dans l'atténuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. L'effet « rafraichissant » des sols urbains est évalué sur la base d'une estimation de la quantité d'eau évaporée durant la période estivale. Plus cette quantité d'eau est élevée, meilleur est l'effet rafraichissant. Enfin, un inventaire de la biodiversité fonctionnelle inhérente aux sols a été réalisé pour souligner l'aspect « vivant » des sols urbains. Cet inventaire s'est focalisé sur le lombric, un animal emblématique du sol et indispensable à son bon fonctionnement.

I. Estimation de la capacité de rétention en eau du sol

1. Campagne de terrain

Avant de pouvoir estimer la capacité de rétention en eau du sol, il est nécessaire d'avoir recours à des observations pédologiques afin de mieux connaître les sols des sites inscrits au parcours *Lausanne Jardins 2019*. Ces observations ont été réalisées à partir de sondages à la tarière manuelle. Cette méthode d'observation du sol n'autorise pas une description aussi complète qu'un profil à la pelle mécanique, mais elle présente l'avantage d'être rapide d'exécution, adaptée à tout type de terrain et peu intrusive. Une condition indispensable pour éviter toute forme de dégradation (compaction du sol, décapage) sur des parcs historiques tels que le parc de Valency. La figure 1 indique les sites concernés par ces investigations pédologiques et précise le nombre de sondages effectués sur chacun d'entre eux. Au total, 67 sondages ont été réalisés sur les 11 sites étudiés au cours du mois d'avril (cf. annexe 1).



Figure 1 : Carte des sites concernés par les observations pédologiques.

Les sondages à la tarière manuelle offrent la possibilité d'apprécier qualitativement les différentes couches du sol (horizons), c'est-à-dire leurs propriétés physico-chimiques. Une description de ces propriétés est proposée au tableau 1 :

Propriété pédologique	Description
Profondeur de transition	Distinction des différents horizons suivant leur épaisseur
Texture	Répartition des éléments constitutifs de la matière minérale suivant leur géométrie (% argiles, limons et sables).
Humidité	État hydrique de l'horizon (sec, frais, humide)
Couleur	Description précise de la couleur des horizons à partir de la charte Munsell.

Teneur en carbonates (test HCL)	Renseigne la richesse en calcaire du sol. Cette propriété donne également une indication sur l'acidité du sol (pH).
Teneur en matière organique	Renseigne la quantité d'humus du sol
Hydromorphie	Appréciation du régime hydrique du sol. Permet de déduire un engorgement en eau temporaire ou permanent
Structure	Agencement naturel et durable des particules élémentaires entre elles
Porosité	Estimation du volume de vide dans le sol
Compacité	Niveau de compaction du sol
Charge en éléments grossiers naturels	% de graviers, cailloux, pierres d'origine naturelle
Charge en éléments anthropiques	% d'éléments d'origine anthropique (brique, verre, charbon, ciment, etc.)

Tableau 1 : Liste des propriétés pédologiques décrites à partir d'un sondage à la tarière manuelle.

Sur chaque sondage réalisé, toutes les propriétés listées au tableau 1 sont décrites par horizon, comme illustré en figure 2 :


Sondage	Profondeur	Horizon	Texture	Humidité	Couleur	Test HCL	Teneur en matière organique	Hydromorphie	Structure	Porosité	Compacité	% EG naturels	% EG anthropiques
	10 cm	H1	Sable limoneux	Frais	10YR43	Moyennement carbonaté	Assez riche (1-3%)	Aucune trace	Grumeleuse	Bonne (structurale)	Peu compact	0%	
	20 cm	H2	Sable limoneux	Frais	10YR44	Carbonaté	Assez riche (1-3%)	Aucune trace	Polyédrique	Bonne (texturale)	Peu compact	2% (graviers)	
	30 cm												
	40 cm	H3	Sableux	Frais	10YR44	Carbonaté	Peu riche (<1%)	Aucune trace	Polyédrique	Bonne (texturale)	Peu compact	0%	
	50 cm												
	60 cm	H4	Limoneux	Frais	10YR46	Carbonaté	Peu riche (<1%)	Aucune trace	Prismatique	Bonne (structurale)	Peu compact	0%	
	70 cm												
	80 cm												
	90 cm												
	100 cm	H5	Grave sableuse	Frais	10YR64	Carbonaté	Peu riche (<1%)	Aucune trace	Particulaire	Bonne (texturale)	Peu compact	0%	

Figure 2 : Exemple de fiche descriptive du sondage n° Sval014 (Parc de Valency).

L'analyse de ces données de terrain a permis d'identifier 61 secteurs à l'échelle des 11 sites investigués. Un secteur est délimité spatialement sur la base de ruptures physiques (chemins, routes, bâtis) ou sur des considérations d'ordre pédologiques (distinction de deux typologies de sol au sein d'une même parcelle). Nous avons fait le choix de définir une typologie de sol par secteur et non par site investigué afin de pouvoir rendre compte de la diversité des sols rencontrés. La répartition de ces 61 secteurs est précisée au tableau 2 :



Parc de Valency
(16 secteurs)



Square de Montétan
(3 secteurs)



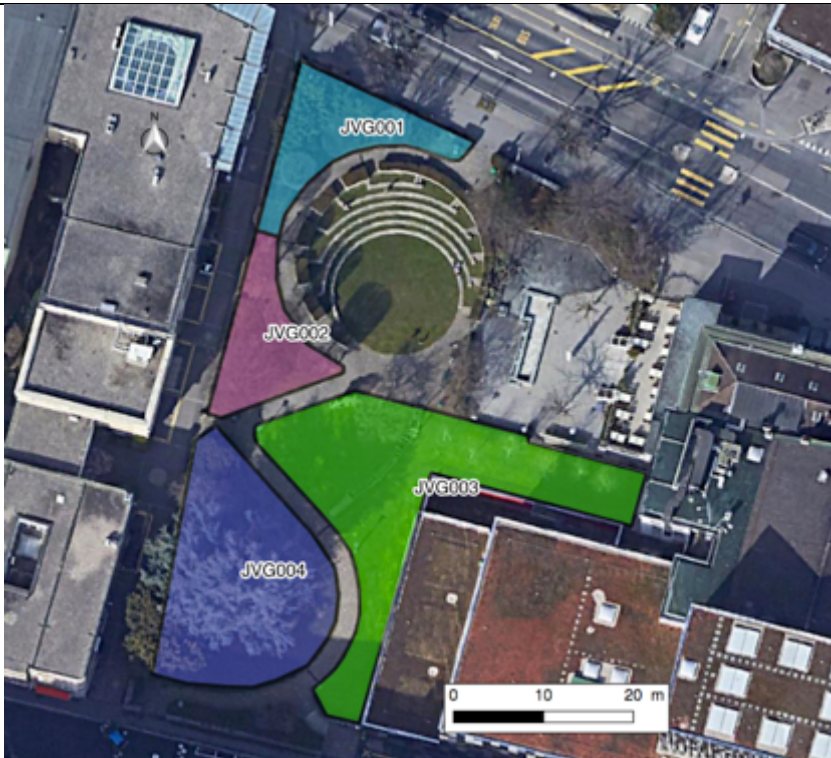
Forêt des Clochettes
(2 secteurs)



Jardin des Souches
(4 secteurs)



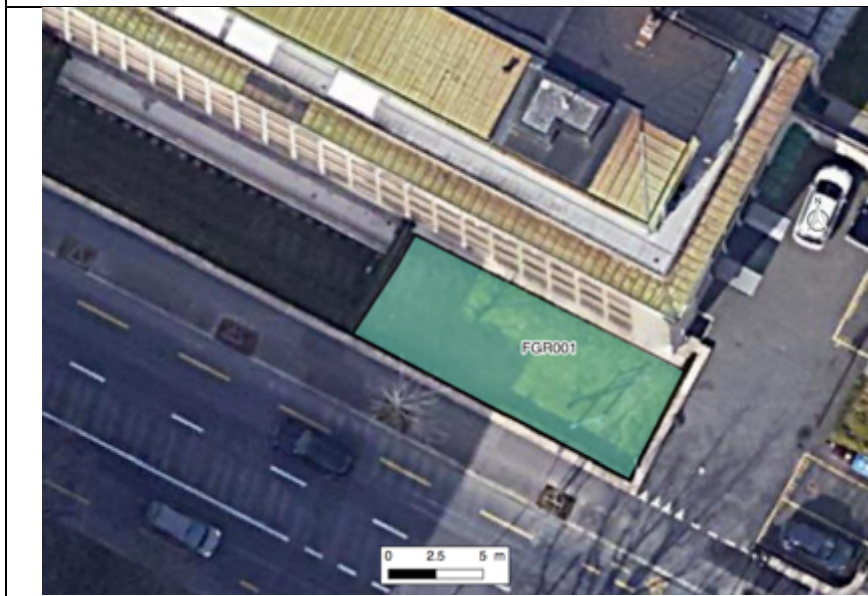
Place Chauderon
(3 secteurs)



Promenade Jean-Villard-Gilles
(4 secteurs)



Jardin-toiture de Bellefontaine
(8 secteurs)¹



Front garden de Rumine
(1 secteur)

¹ Le terre-plein central du jardin-toiture de Bellefontaine n'a pas fait l'objet d'investigations pédologiques compte tenu de la présence d'un géotextile à 25 cm de profondeur.



Préau Messidor
(5 secteurs)



Promenade Jean-Jacques-Mercier
(10 secteurs)



Tableau 2 : Répartition des 61 secteurs sur les 11 sites investigués.

Les observations pédologiques de terrain ont permis de construire une base de données sur les sols à l'échelle du parcours *Lausanne Jardins 2019*. L'objectif étant d'apporter une information sur le fonctionnement du sol, soit la manière dont il interagit avec les autres composantes des écosystèmes terrestres : hydrosphère, atmosphère, lithosphère et biosphère. Dans notre cas de figure, nous nous intéresserons dans un premier temps aux relations entre le sol et le cycle de l'eau (hydrosphère). Généralement assimilé à une éponge, le sol est en capacité d'infiltrer et de stocker les eaux pluviales, ce qui permet respectivement de recharger les nappes phréatiques et d'assurer la croissance végétale. En contexte urbain, la capacité d'infiltration/rétention en eau du sol joue également un rôle important dans la régulation des inondations en limitant le ruissellement favorisé par les surfaces artificialisées (routes, bâtis, etc.). L'intérêt de ce service de régulation peut être apprécié en observant la carte de l'aléa ruissellement (figure 3) centrée sur le parc de Valency.



Figure 3 : Extrait de la carte de l'aléa ruissellement (Source : Office Fédéral de l'Environnement).

Sur cette image, nous remarquons que le parc de Valency est entouré par des zones présentant un aléa ruissellement moyen (hauteur d'eau comprise entre 10 et 25 cm) à fort (hauteur d'eau supérieure à 25 cm). Ce parc apparaît donc comme une zone tampon, c'est-à-dire une zone d'infiltration des eaux pluviales permettant de ne pas renforcer l'aléa ruissellement des secteurs environnants. Les observations recueillies durant la campagne de terrain vont permettre de quantifier ce service de régulation rendu par les espaces ouverts en estimant leur capacité de rétention en eau.

2. Méthodologie utilisée pour estimer la capacité de rétention en eau

Avant toute chose, il est important de rappeler qu'il n'existe pas de méthode unanime au sein de la sphère scientifique pour estimer la capacité de rétention en eau d'un sol. En agronomie, de nombreux travaux ont été réalisés pour estimer la « réserve utile en eau », soit la quantité d'eau stockée par le sol et potentiellement disponible pour les plantes. Les méthodes développées au sein de ces travaux permettent d'obtenir un ordre de grandeur et non une quantité précise puisqu'il est tout simplement impossible de prédire avec exactitude le volume d'eau stocké au sein d'un sol. Dans notre cas de figure, la méthode employée se divise en deux étapes :

- 1) Estimer la profondeur utile du sol, soit le volume total de sol susceptible de contenir l'eau ;
- 2) Préciser le volume d'eau stocké par volume de sol en utilisant des fonctions de pédotransfert texturales.

i. Première étape : estimer la profondeur utile du sol

Comme évoqué précédemment, plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer la capacité de rétention en eau d'un sol. Afin de limiter les coûts et le temps d'analyse des données de terrain, nous avons privilégié une méthode déductive proposée par la Société Suisse de Pédologie². Cette méthode consiste à déduire la capacité de rétention en eau d'un sol à partir de la profondeur utile, soit la profondeur explorable par les racines. Pour les sols mi-lourds, on estime que la capacité de rétention en eau correspond approximativement au dixième de la profondeur utile. Par exemple, une profondeur utile de 80 cm correspond à une lame d'eau de 80 mm utilisable par les plantes, soit un volume d'eau de 80 litres par m² de sol.

Cependant, cette méthode reste adaptée pour les sols lourds à mi-lourds, c'est-à-dire présentant respectivement une texture très fine (argileux à argile lourde) à fine (du limon argilo-sableux à l'argile sableuse). Or les observations de terrain montrent que la majorité des sols rencontrés sont composés d'horizons à texture grossière (sable limoneux essentiellement). Le calcul de la profondeur utile est donc utilisée ici comme une étape préalable à l'estimation de la capacité de rétention en eau, pour évaluer le volume effectivement disponible pour stocker de l'eau. Une deuxième étape précisera le volume d'eau potentiellement stocké par volume de sol en tenant compte des différences texturales entre les horizons.

La profondeur utile totale d'un sol est obtenue en sommant la profondeur utile des horizons qui le constituent. La profondeur utile d'un horizon est déterminée en se basant sur l'épaisseur de l'horizon à laquelle est appliquée des facteurs de correction qui tiennent compte de la teneur en éléments grossiers, de l'hydromorphie, de la compacité et de la texture pour les sols à dominante sableuse. Le calcul de ces facteurs de correction s'inspire de la « *Méthodologie pédologique pour l'identification des nouvelles surfaces d'assolement* » développée par la Direction Générale de l'Environnement :

- **Facteur de correction pour les éléments grossiers (fc EG) :**
fc EG = 1 - teneur en éléments grossiers (%) / 100.
- **Facteur de correction pour l'hydromorphie (fc hydromorphie) :**
fc hydromorphie = 0,8 à 1 (traces d'oxydation peu exprimées ou traces de concrétion) ;

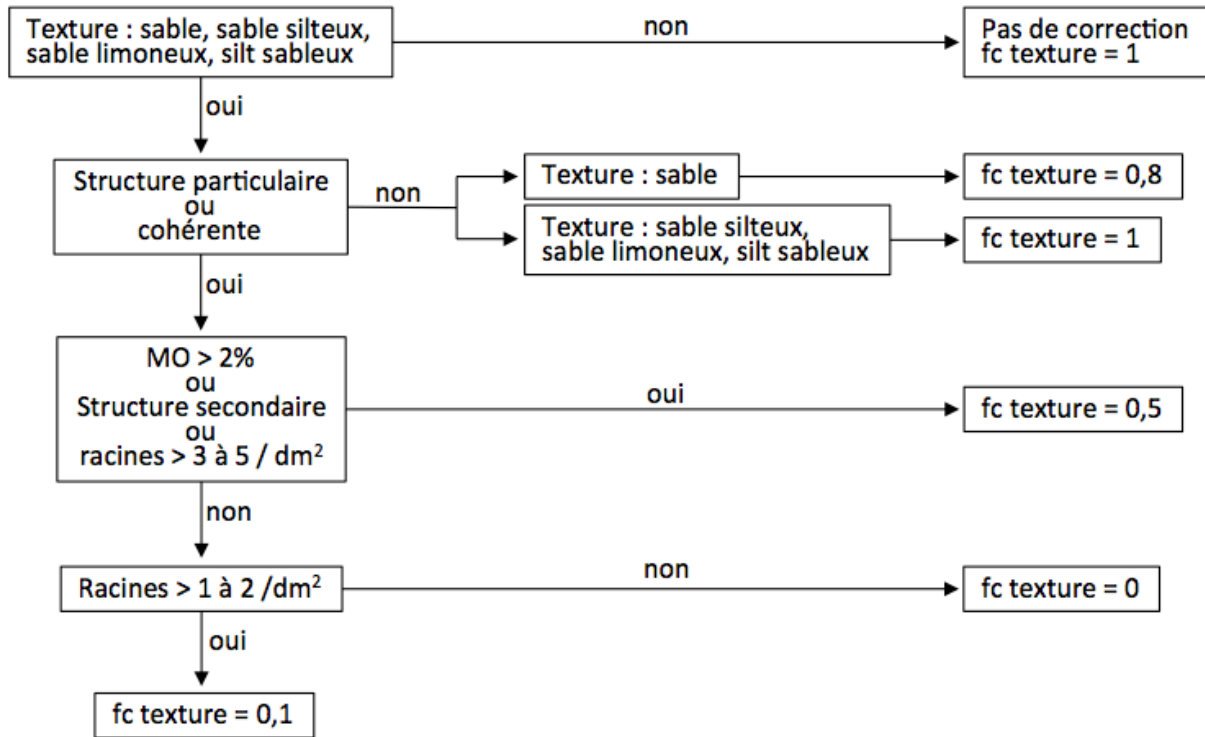
² Société Suisse de Pédologie (SSP) 2008. Classification des sols de Suisse : examen du profil, système de classification, définition des termes, exemples d'utilisation. Lucerne : SSP, 92p.

fc hydromorphie = 0,5 à 0,8 (traces d'oxydation d'intensité moyenne) ;
 fc hydromorphie = 0,1 à 0,5 (traces d'oxydation de forte intensité) ;
 fc hydromorphie = 0 à 0,1 (milieu en condition réductrice durable).

- **Facteur de correction pour la compacité (fcC) :**

fc compacité = 1 (horizon meuble à peu compact) ;
 fc compacité = 0,8 (horizon compact) ;
 fc compacité = 0,5 (horizon très compact).

- **Facteur de correction pour les textures à dominantes sableuse³ (fc texture) :**



La profondeur utile (PU) de chaque horizon est obtenue en multipliant l'épaisseur de l'horizon par chaque facteur de correction :

$$PU = \text{Épaisseur} \times fc \text{ EG} \times fc \text{ hydromorphie} \times fc \text{ compacité} \times fc \text{ texture}$$

Pour illustrer nos propos, nous prendrons l'exemple du sondage Sval014 présenté en figure 2 et représentatif du secteur Sval011 :

Horizon	Épaisseur	fc EG	fc hydromorphie	fc compacité	fc texture	Profondeur utile	Profondeur utile totale
H1	10 cm	1	1	1	1	10 cm	85,6 cm
H2	20 cm	0,98	1	1	1	19,6 cm	
H3	20 cm	1	1	1	0,8	16 cm	
H4	40 cm	1	1	1	1	40 cm	
H5	10 cm	1	1	1	0	0 cm	

Tableau 3 : Calcul de la profondeur utile par horizon sur le secteur Sval011.

³ Sable, sable silteux, sable limoneux et silt sableux.

La profondeur utile a été calculée pour chacun des 61 secteurs identifiés, permettant de dégager une valeur moyenne à l'échelle des 11 sites du parcours *Lausanne Jardins 2019*. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

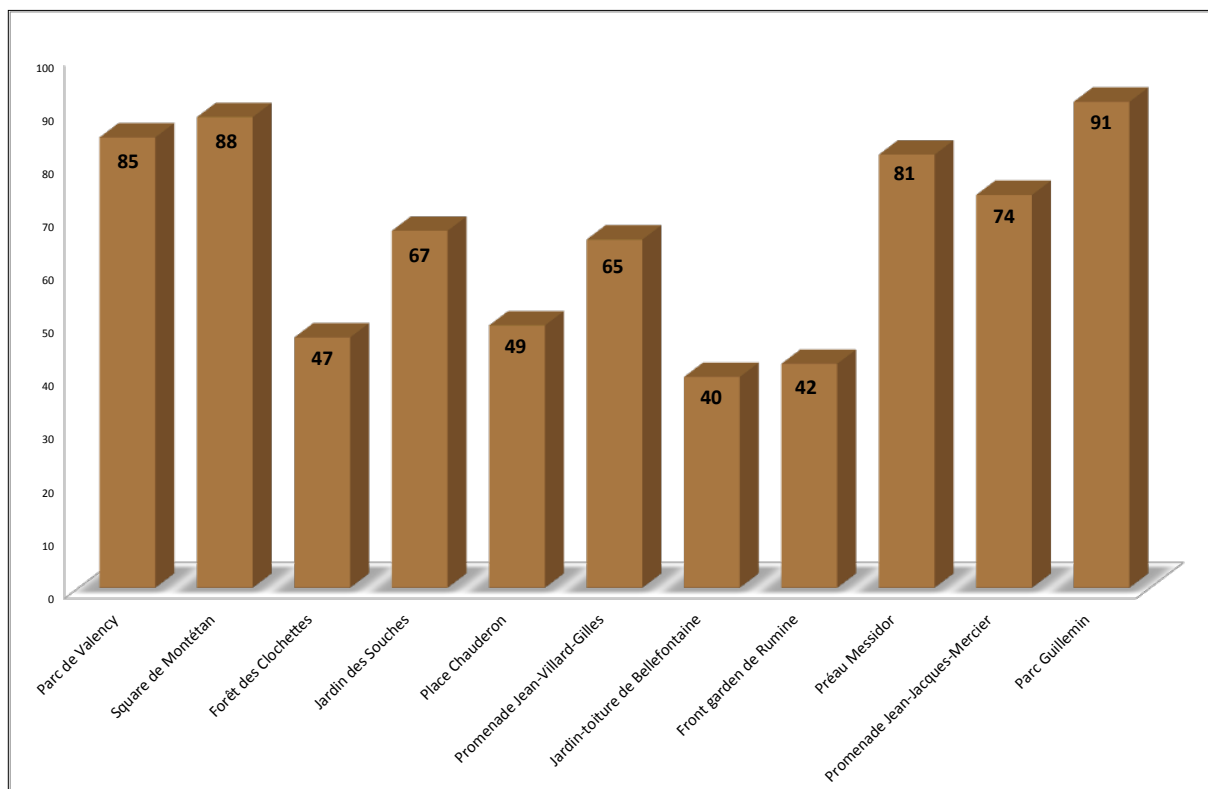


Figure 4 : Profondeur utile moyenne sur les 11 sites du parcours *Lausanne Jardins 2019* (en cm).

La lecture de ce graphique permet de distinguer les sites d'étude en 3 groupes :

- Les espaces verts présentant une profondeur utile relativement élevée (supérieure à 80 cm) regroupant le parc de Valency, le square de Montétan, le préau Messidor et le parc Guillemin.
- Les espaces verts présentant une profondeur utile moyenne (comprise entre 50 et 80 cm) regroupant le jardin des Souches, les promenades Jean-Villard-Gilles et Jean-Jacques Mercier.
- Les espaces verts présentant une faible profondeur utile (inférieure à 50 cm) regroupant la forêt des Clochettes, la place Chauderon, le jardin-toiture de Bellefontaine et le front garden de Rumine.

Il est intéressant de constater que les sites présentant une profondeur utile moyenne à élevée sont également les sites les plus anciens du parcours. Une analyse des photos aériennes anciennes permet en effet de dater approximativement la création des 11 sites investigués (figure 5).

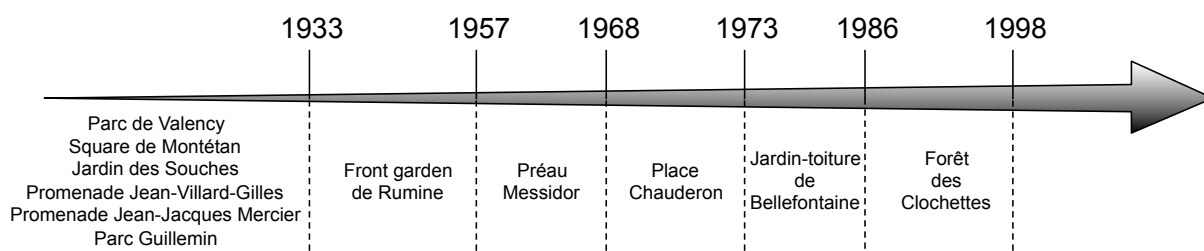


Figure 5 : Périodes de création des sites de pleine terre inscrits au parcours *Lausanne Jardins 2019*.

Tous les sites associés à une profondeur utile moyenne à élevée ont été créés avant 1933. Concernant le préau Messidor, ce site a été créé entre 1957 et 1968 mais sa création résulte de la conversion d'un espace déjà ouvert en 1933. Seul le front garden de Rumine fait figure d'exception, en étant associé à la fois à une faible profondeur utile et une date de création ancienne (entre 1933 et 1957).

Une fois la profondeur utile estimée, il est possible de calculer le volume total de sol susceptible de retenir l'eau en multipliant par la superficie du secteur concerné. Pour reprendre l'exemple du secteur Sval011 présentant une superficie d'environ 2385 m², le volume total de sol est précisé au tableau suivant :

Horizon	Profondeur utile	Volume des horizons	Volume total de sol
H1	10 cm	239 m ³	1226 m ³
H2	19,6 cm	467 m ³	
H3	16 cm	382 m ³	
H4	40 cm	138 m ³	
H5	0 cm	0 m ³	

Tableau 4 : Calcul du volume de sol susceptible de retenir l'eau.

Ce calcul a été répété sur chacun des 61 secteurs identifiés et les résultats sont présentés en annexe 2.

ii. Deuxième étape : estimer le volume d'eau stocké par volume de sol

Afin de préciser le volume d'eau stocké en fonction des variations texturales, nous nous sommes basés sur les fonctions de pédotransfert⁴ proposées par Al Majou *et al.* (2007)⁵. Il est important de rappeler que ces fonctions de pédotransfert ont été développées à partir d'un jeu de données (diversité de sols) différent de celui utilisé dans le cadre de cette étude. Les résultats apportés doivent donc être interprétés comme des tendances et non des estimations exactes.

Suivant le niveau de texture des horizons (grossière à très fine), des teneurs en eau volumique sont proposées pour différentes valeurs de potentiel matriciel⁶ (pF). Dans notre cas de figure, nous nous sommes intéressés aux valeurs de teneur en eau volumique correspondant à la capacité au champ (pF = 2,0). D'un point de vue agronomique, la capacité au champ correspond à la capacité maximale de stockage en eau d'un sol. Cet état hydrique aussi appelé point de ressuyage est atteint lorsque l'eau libre, c'est-à-dire l'eau issue des précipitations qui n'est pas retenue par le sol, s'évacue totalement en profondeur sous l'effet de la gravité. La quantité d'eau retenue par le sol à la capacité au champ correspond donc au volume d'eau disponible pour les végétaux occupant la mésoporosité (pores de dimension comprise entre 0,2 µm et 10 µm), et le volume d'eau non disponible contenue dans la microporosité (pores de dimension inférieure à 0,2 µm). Le tableau 5 (page suivante) indique les différentes prédictions de teneur en eau volumique à la capacité au champ en fonction des classes texturales et du type d'horizon (horizon de surface ou de profondeur) :

⁴ Une fonction de pédotransfert correspond à un algorithme ou une équation permettant d'apprécier une propriété pédologique dite complexe à partir d'une ou plusieurs propriétés facilement mesurables. Dans notre cas de figure, la capacité de rétention en eau (propriété complexe) est estimée à partir de la texture (propriété facilement mesurable).

⁵ AL MAJOU, H., BRUAND, A., DUVAL, O., COUSIN, I. 2007. Comparaison de fonctions de pédotransfert nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau. *Étude et Gestion des Sols* **14**, 2, 103-116.

⁶ Le potentiel matriciel permet de rendre compte de la force exercée par les surfaces solides du sol sur l'eau. En agronomie, le concept de potentiel matriciel est utilisé pour décrire différents états de l'eau dans le sol et évaluer sa disponibilité pour la croissance végétale.

Type de texture	Volume d'eau / volume de sol (Horizon de surface)	Volume d'eau / volume de sol (Horizon de profondeur)
Très fine	39,3%	42,6%
Fine	36,9%	37,3%
Moyennement fine	32,2%	33%
Moyenne	30,8%	33%
Grossière	20%	14,9%

Tableau 5 : Teneurs en eau volumique, exprimées en % de sol, à la capacité au champ.

Voici un exemple d'interprétation du tableau : pour un horizon de surface (0 à -20cm de profondeur) présentant une texture très fine, alors 39,3% du volume de l'horizon sera occupé par de l'eau. Ce pourcentage monte à 42,6% pour un horizon de profondeur (-20 à -100 cm) à texture très fine.

3. Résultats obtenus

L'estimation de la capacité de rétention en eau a été réalisée sur chacun des 61 secteurs associés au parcours *Lausanne Jardins 2019*, à partir des données de terrain. Pour faciliter la lecture des résultats, les valeurs obtenues ont été exprimées à l'échelle des sites investigués. Le graphe suivant indique pour chaque site le pourcentage d'eau stocké par rapport au volume total de sol.

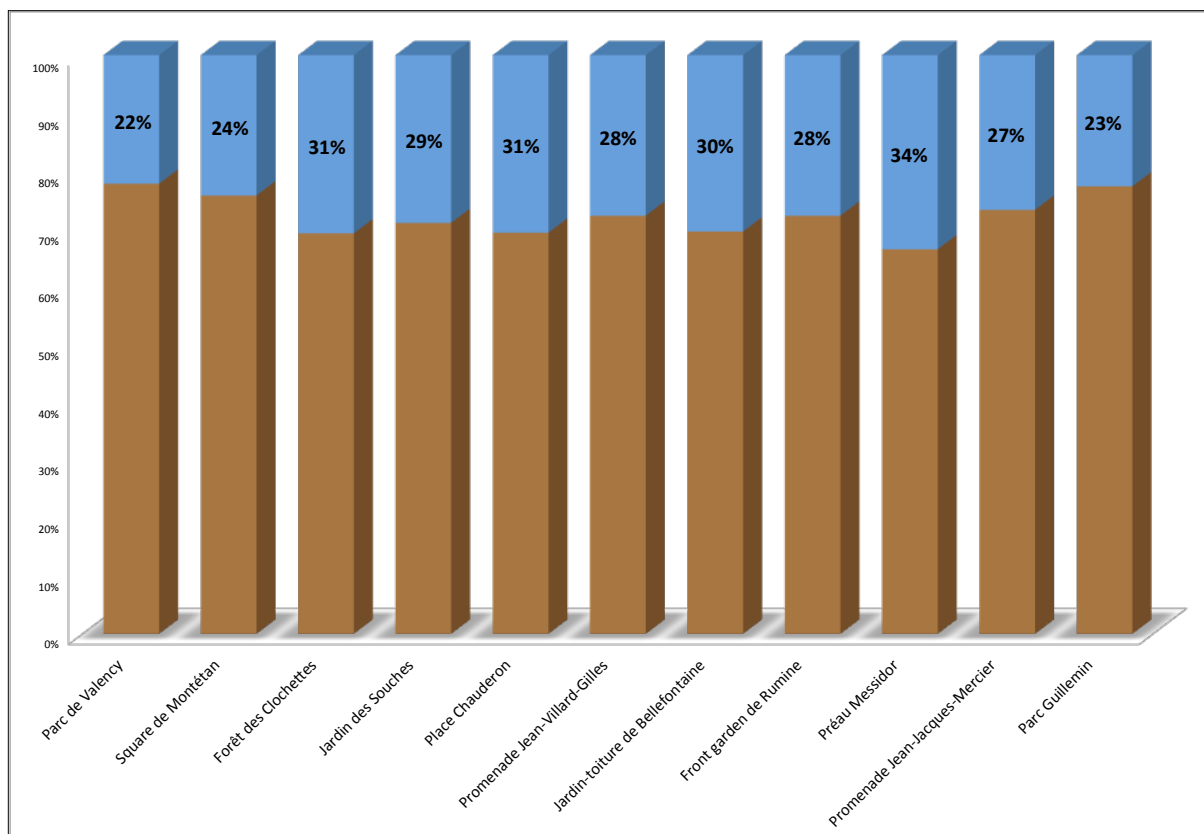


Figure 6 : Volume d'eau stocké (en bleu) par volume de sol sur les 11 sites du parcours *Lausanne Jardins 2019* (en % du volume total).

À l'échelle des sites investigués, l'eau occupe en moyenne entre 22% et 34% du volume de sol. En termes volumiques, la quantité d'eau maximale stockée par les sols de chaque site est précisée au tableau suivant :

Site	Volume d'eau stocké (en m ³)	Volume d'eau stocké (en litres)	Équivalent ménages
Parc de Valency	7 326	7 326 000	43 608
Square de Montétan	52	52 000	308
Forêt des Clochettes	22	22 000	130
Jardin des Souches	122	122 000	728
Place Chauderon	123	123 000	733
Promenade Jean-Villard-Gilles	213	213 000	1 267
Jardin-toiture de Bellefontaine	84	84 000	498
Front garden de Rumine	12	12 000	71
Préau Messidor	513	513 000	3 052
Promenade Jean-Jacques-Mercier	787	787 000	4 685
Parc Guillemin	2 117	2 117 000	12 604

Tableau 6 : Volume d'eau stocké par le sol sur les 11 sites investigués.

Les résultats obtenus doivent être interprétés comme des ordres de grandeur et non des estimations exactes. Néanmoins, ces chiffres permettent de rendre compte de l'importance des espaces de pleine terre urbains dans la régulation des écoulements de surface. Par exemple, les sols du parc de Valency ont la capacité de stocker plus de 7 000 m³ d'eau, ce qui représente la consommation d'eau quotidienne de plus de 43 000 ménages⁷. Les bacs ornementaux de la place Chauderon jouent également un rôle dans la régulation des eaux pluviales en stockant près de 123 000 litres d'eau au total, soit la consommation journalière de plus de 700 ménages. Les figures 7 à 17 précisent le volume d'eau stocké (en m³) par secteur sur chacun des 11 sites investigués.

⁷ Source : Office Fédéral de l'Environnement (OFEV). La consommation d'eau journalière des ménages privés et petites entreprises est estimée à 168 litres en 2016.

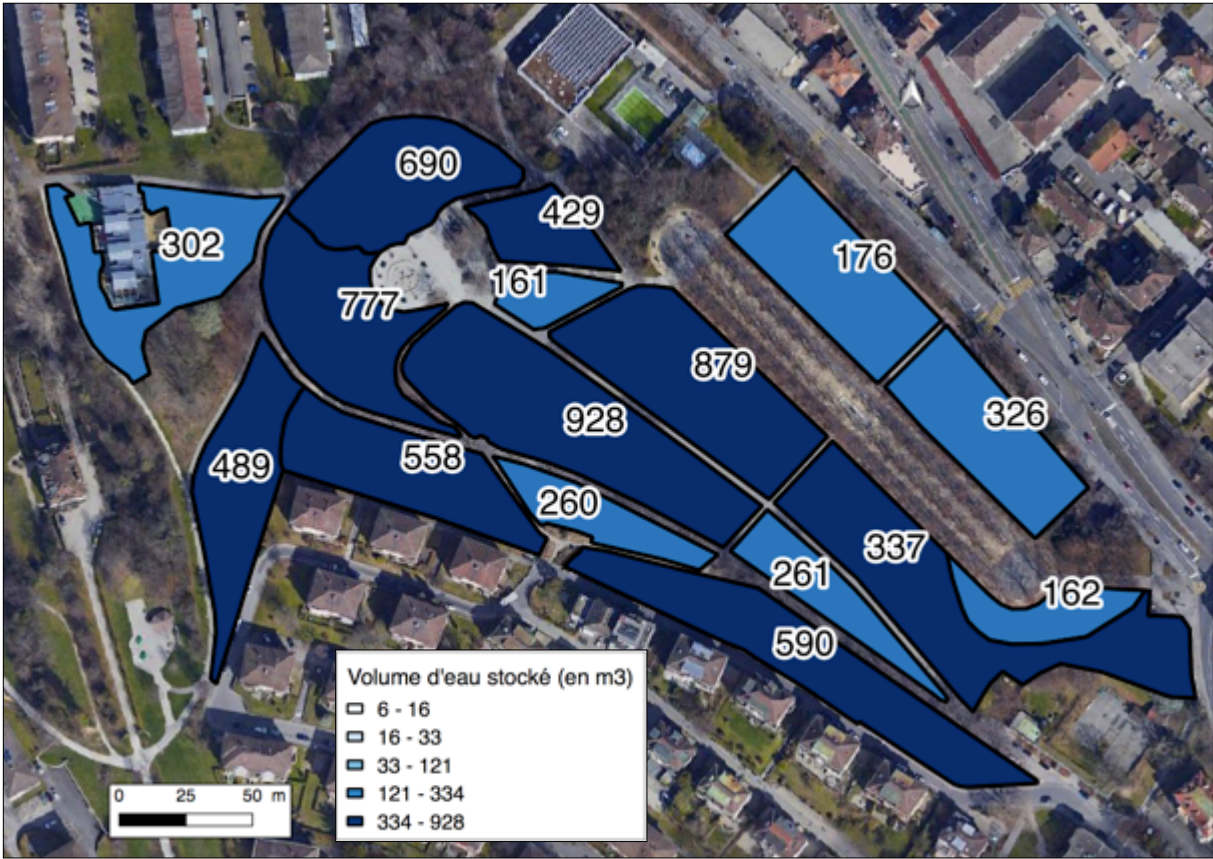


Figure 7 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du parc de Valency.



Figure 8 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du square de Montétan.

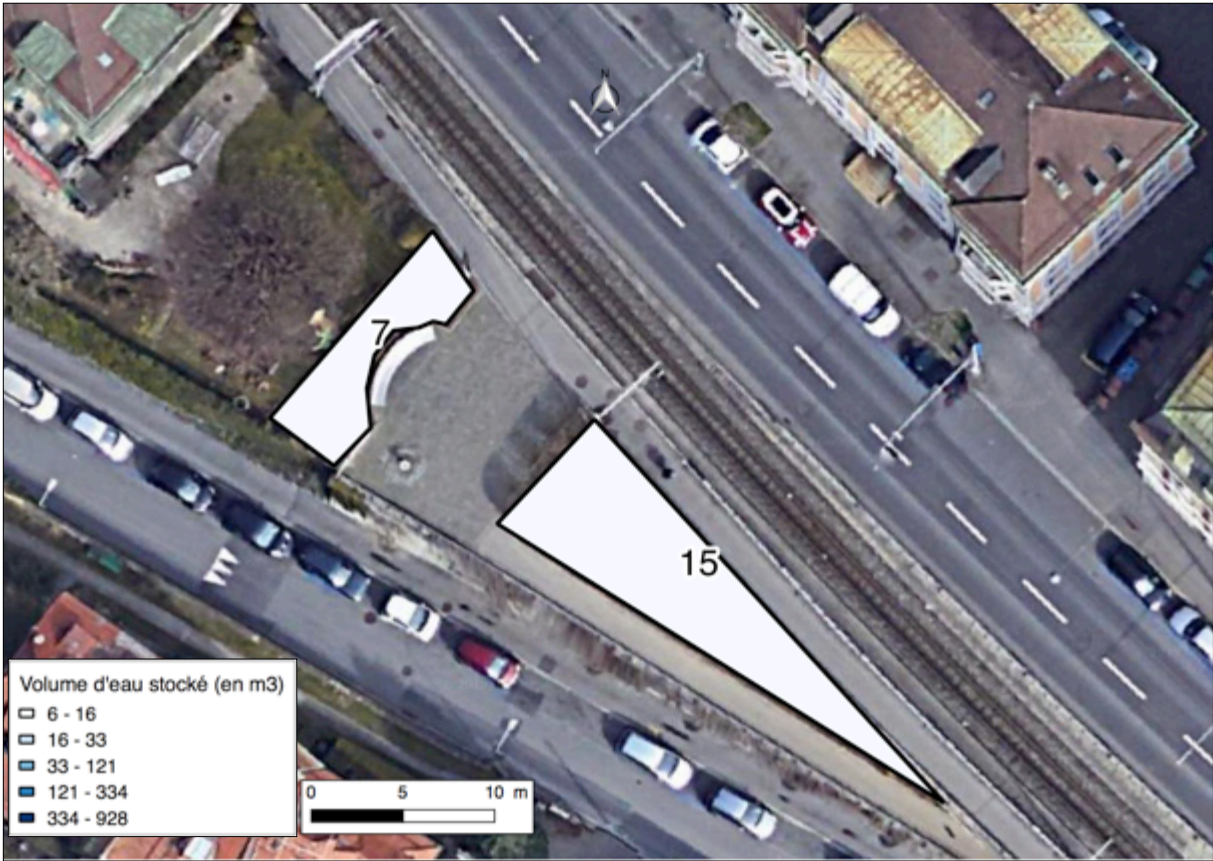


Figure 9 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols de la forêt des Clochettes.

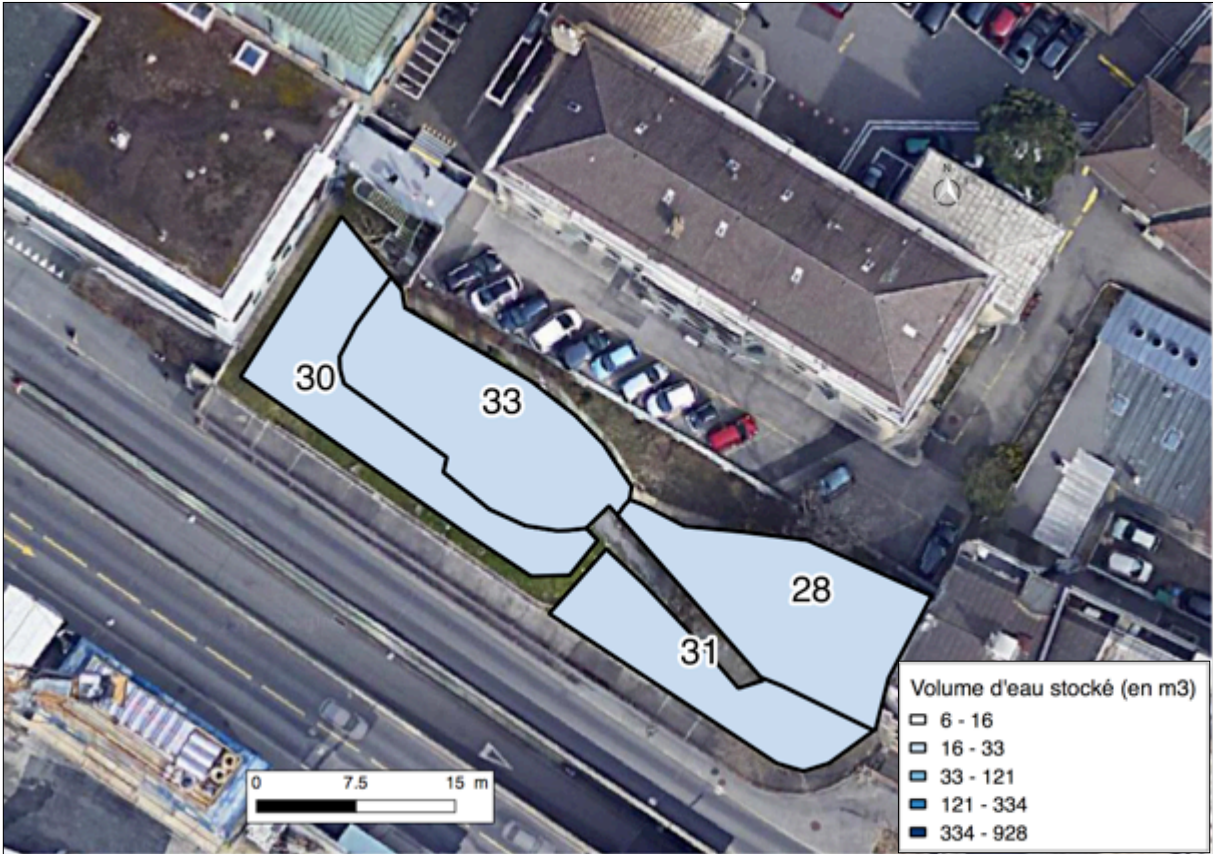


Figure 10 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du jardin des Souches.

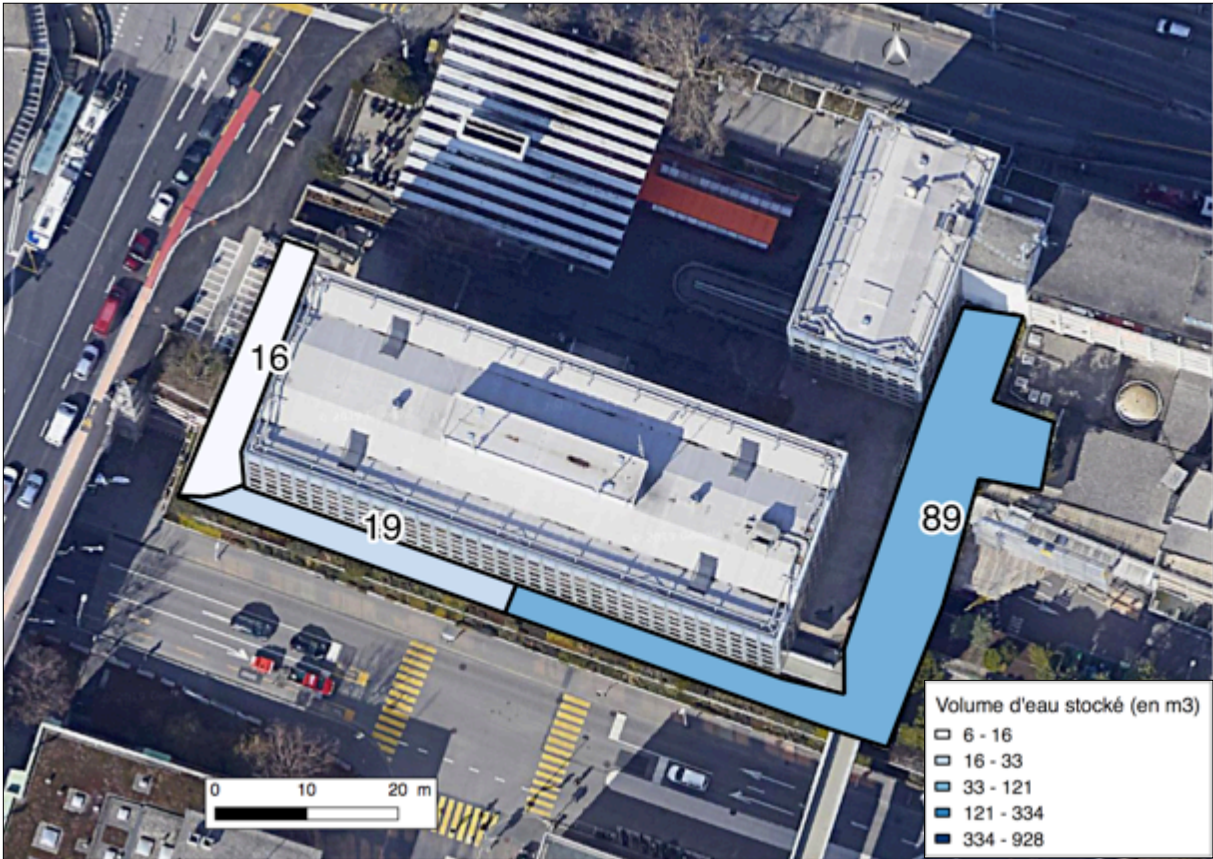


Figure 11 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols de la place Chauderon.



Figure 12 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols de la promenade Jean-Villard-Gilles.

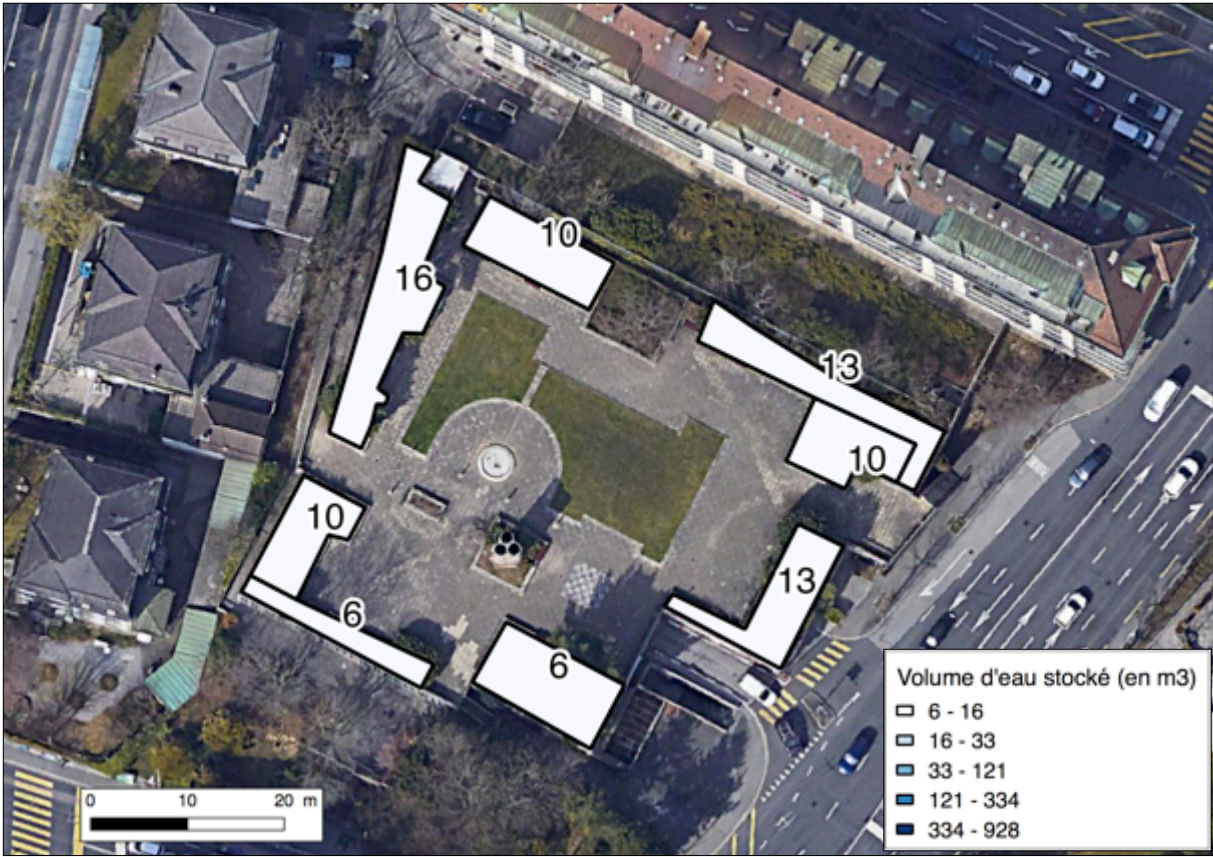


Figure 13 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du jardin-toiture de Bellefontaine.

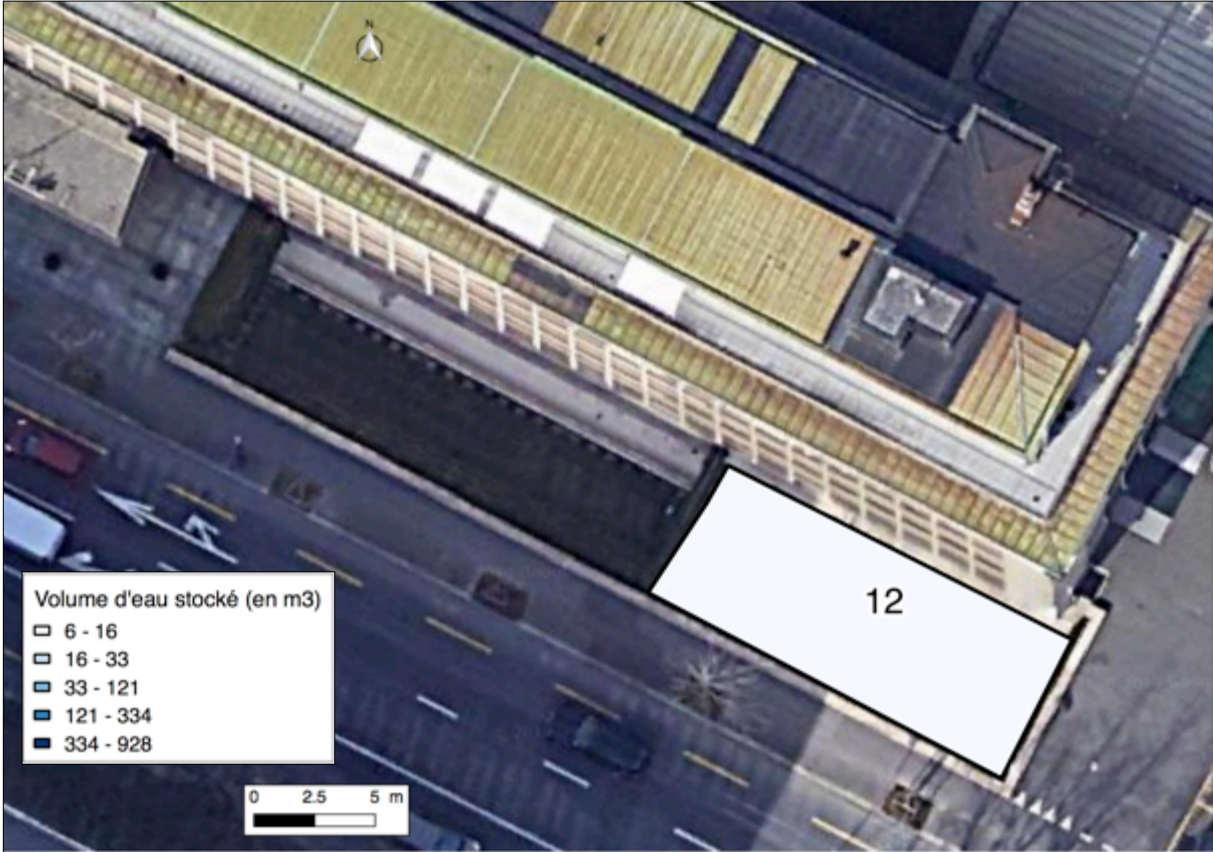


Figure 14 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du front garden de Rumine.

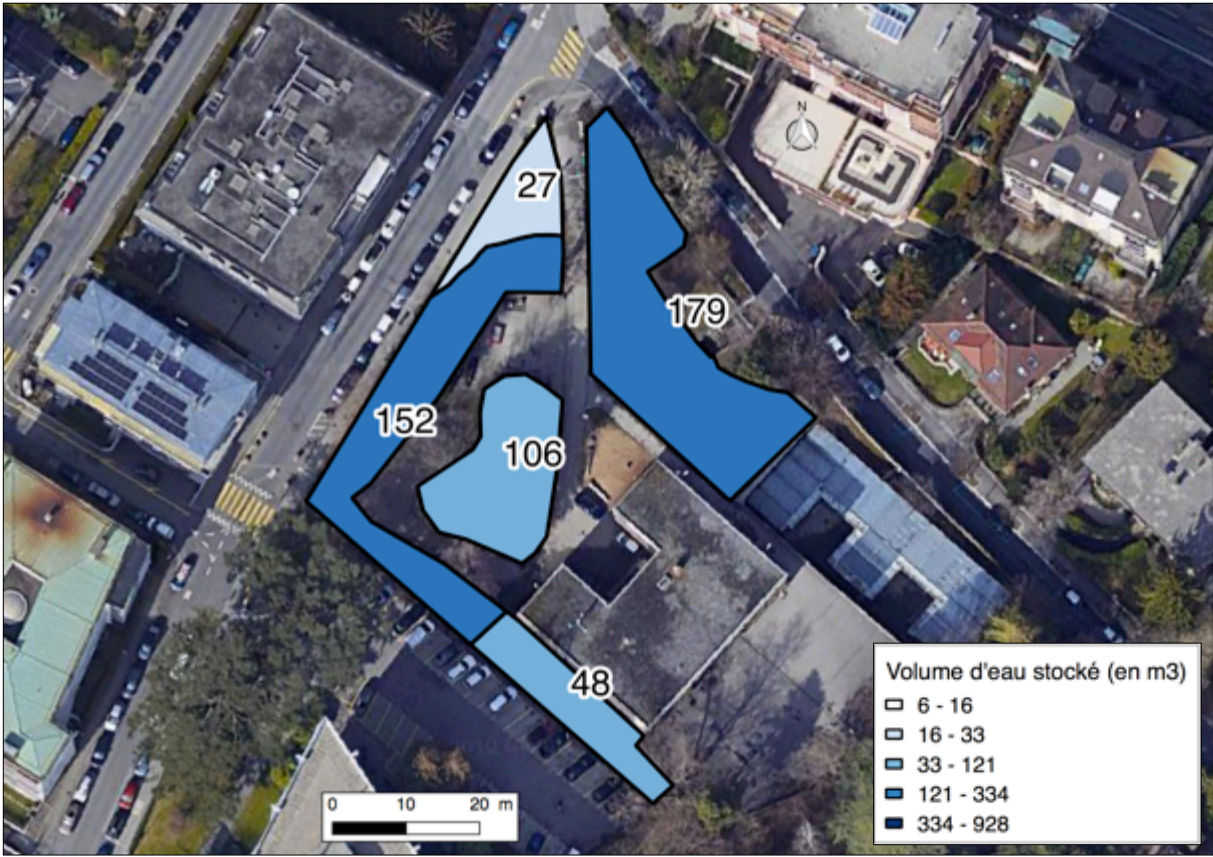


Figure 15 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du préau Messidor.



Figure 16 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols de la promenade Jean-Jacques-Mercier.

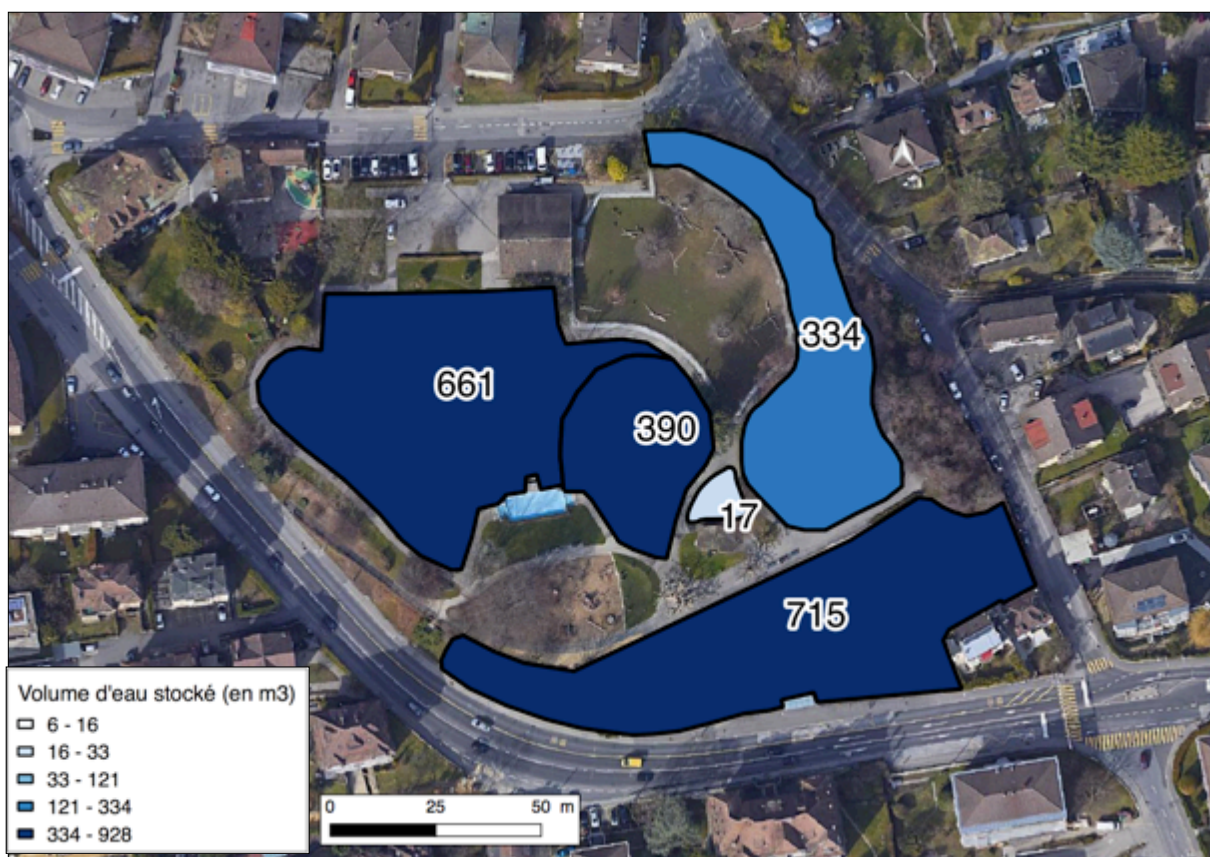
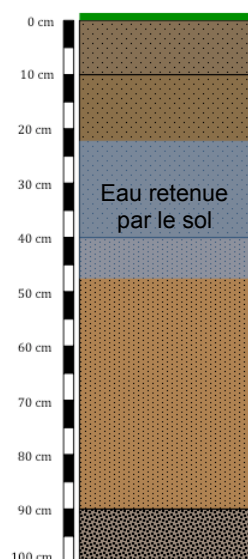


Figure 17 : Volume maximal d'eau (en m³) stocké par les sols du parc Guillemain.

Ce qu'il faut retenir (partie I)



- L'évaluation de la profondeur utile du sol permet d'estimer le volume de sol susceptible de contenir les eaux pluviales.
- L'eau occupe en moyenne entre 22% et 34% du volume du sol.
- La capacité de rétention en eau moyenne sur l'ensemble des sites d'étude est de 180 litres par m².
- La quantité d'eau totale retenue par les sols des sites étudiés est d'environ 11 300 m³, soit la consommation en eau journalière de 71 000 ménages suisses.

II. Régulation des îlots de chaleur urbains

Nous avons vu dans la partie précédente que les sols des sites inscrits au parcours *Lausanne Jardins 2019* ont la capacité de stocker les eaux pluviales. Les espaces de pleine terre en milieu urbain jouent donc un rôle important au sein du cycle de l'eau et permettent notamment de limiter le risque d'inondation.

Une partie de l'eau stockée par le sol est évaporée en période estivale, ce qui contribue à rafraîchir l'air ambiant et donc à lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Sur un sol scellé, l'énergie nécessaire à l'évaporation de cette eau se dissipe sous forme de chaleur, accentuant ainsi la température ambiante dans les cœurs urbains. Nous faisons référence ici au principe d'inertie thermique, soit la capacité d'un matériau à accumuler puis restituer un flux thermique. Ce principe représente l'une des premières causes de formation des îlots de chaleur urbains puisque les matériaux de construction ont une inertie thermique bien plus grande que la pleine terre.

L'objectif de cette deuxième partie est d'estimer la quantité d'eau évaporée par les sols pendant la période estivale (avril à septembre) et donc d'évaluer l'effet rafraîchissant des espaces de pleine terre. La méthodologie employée s'inspire du projet **TUSEC-IP** (Programme Espaces Alpin Interreg III B)⁸. L'effet rafraîchissant des sols est déduit de la quantité d'eau évaporée par surface de sol (en l/m²) et peut être convertie en unités énergétiques (Mégajoule ou kilowatt-heure).

1. Méthodologie utilisée pour estimer l'effet rafraîchissant du sol

La méthode proposée dans le cadre du projet TUSEC-IP se décline en 5 étapes successives et se base sur des données météorologiques et pédologiques. L'ensemble des données météorologiques est issu de l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse et correspondent à des moyennes mensuelles établies entre 1981 et 2010.

i. Étape 1 : calcul de la moyenne mensuelle de la pression de vapeur saturante

La pression de vapeur saturante (E en hPa) est calculée pour chaque mois de l'année selon la formule de Rankine :

$$E_{janvier} = EXP(13,7 - 5120 / \text{moyenne } T^{\circ}C \text{ janvier})$$

Les valeurs de pression de vapeur saturante mensuelles sont précisées au tableau suivant :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
E	8,3	9,3	11,6	15,3	19,9	25	30	28,2	22,8	16,4	11,1	8,7

Tableau 7 : Pression de vapeur saturante mensuelle sur Lausanne (en hPa).

ii. Étape 2 : calcul de la moyenne mensuelle de la pression de vapeur

La pression de vapeur (e en hPa) est calculée pour chaque mois de l'année selon la formule suivante :

$$e_{janvier} = \text{Humidité relative (janvier)} * \frac{E_{janvier}}{100}$$

Les valeurs de pression de vapeur mensuelles sont précisées au tableau suivant :

⁸ LEHMANN, A., DAVID, S. & STAHR, K. 2013. *TUSEC - Technique for Soil Evaluation and Categorization for Natural and Anthropogenic Soils (English Version)*. Stuttgart : Hohenheim University, 224p.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
e	6,5	7	8	10,3	13,4	16,5	19,2	18,9	16,6	12,8	8,6	6,9

Tableau 8 : Pression de vapeur mensuelle sur Lausanne (en hPa).

iii. Étape 3 : calcul de l'évapotranspiration mensuelle moyenne

L'évapotranspiration (ETP en mm/mois) est estimée à partir des deux variables calculées précédemment (pression de vapeur saturante et pression de vapeur) selon la formule suivante :

$$ETP_{janvier} = ft^9_{janvier} * (E - e) * \text{nombre de jours en janvier}$$

Les valeurs mensuelles d'évapotranspiration sont présentées au tableau suivant :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
ft	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,26	0,26	0,26	0,24	0,21	0,14	0,14
ETP	8,1	10,8	20,2	28,2	36,7	68,6	87,1	74,9	45,7	23,5	10,6	8

Tableau 9 : Évapotranspiration mensuelle sur Lausanne.

Ces trois premières étapes permettent de pouvoir calculer l'évapotranspiration moyenne annuelle sur Lausanne (ETPa), soit **422,4 mm d'eau par an**.

iv. Étape 4 : calcul de la réserve utile en eau du sol

Nous avons vu dans la partie précédente qu'il existait trois états de l'eau dans le sol : l'eau libre qui percole sous l'effet de la gravité sans être retenue par le sol, l'eau disponible pour les végétaux et l'eau non disponible. Dans notre cas de figure, nous avons cherché à estimer la quantité d'eau disponible, soit l'eau contenue dans le sol susceptible d'être évaporée durant la période estivale. Nous avons donc calculé la différence de teneur en eau volumique entre la capacité au champ (pF = 2) et le point de flétrissement (pF = 4,2) pour estimer la réserve utile en eau du sol. Le tableau suivant exprime les teneurs en eau volumique exprimées en % en fonction de la texture et du type d'horizon :

Type de texture	Volume d'eau / volume de sol (Horizon de surface)	Volume d'eau / volume de sol (Horizon de profondeur)
Très fine	13,4%	9,9%
Fine	13,1%	11,7%
Moyennement fine	17%	14,5%
Moyenne	16,8%	13,9%
Grossière	11,4%	9%

Tableau 10 : Teneurs en eau volumique, exprimées en % de sol, entre la capacité au champ et le point de flétrissement.

Pour faciliter la lecture des résultats, les proportions en eau disponible (réserve utile du sol) sont indiquées en figure 18 à l'échelle des 11 sites de pleine terre du parcours *Lausanne Jardins 2019*. On remarque que la proportion en eau disponible est relativement faible sur l'ensemble des sites investigués, en excédant pas 20% du volume de sol.

⁹ ft correspond au facteur « Haude », il permet de calculer l'évapotranspiration journalière.

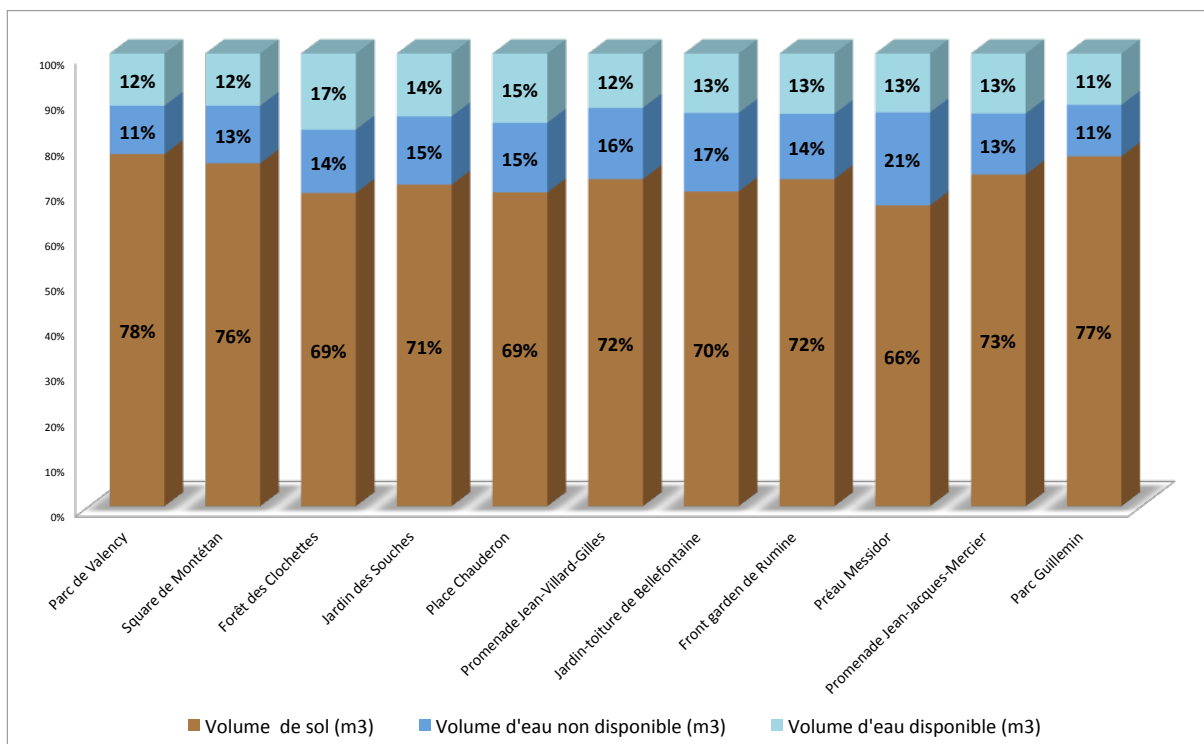


Figure 18 : Proportions d'eau disponible et non disponible relatives aux sols des 11 sites investigués.

Suivant les sites investigués, les proportions en eau disponible et non disponible varient en fonction des dominantes texturales. Par exemple, sur le parc de Valency et la forêt des Clochettes, la proportion en eau disponible est légèrement plus élevée que celle en eau non disponible. Cette observation est à mettre en relation avec la présence d'une texture plus grossière sur ces deux sites (sable limoneux et sable argileux dominants). En revanche, sur le jardin-toiture de Bellefontaine et le préau Messidor, nous remarquons que les proportions s'inversent : l'eau non disponible constitue l'état hydrique le plus représenté. Les observations de terrain ont permis de montrer une texture fine sur ces deux sites avec une dominance de limon-argilo-sableux.

La quantité d'eau disponible susceptible d'être évaporée (RU) a été estimée pour chaque secteur et est exprimée en l/m². Ce calcul représente l'avant dernière étape pour estimer l'effet rafraichissant de la pleine terre, soit la quantité d'eau totale évaporée à l'année.

v. Étape 5 : calcul de l'évaporation annuelle

Pour chaque secteur, la capacité d'évaporation en eau annuelle (Eva en l/m²) est estimée à travers la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Eva} = & \mathbf{0,39 * \text{somme des précipitations d'avril à septembre}} \\
 & + \\
 & \mathbf{0,08 * \text{somme des précipitations de janvier à mars et d'octobre à décembre}} \\
 & + \\
 & \mathbf{153 * RU_{\text{secteur}}} \\
 & + \\
 & \mathbf{0,12 * ETP_a} \\
 & - \\
 & \mathbf{109}
 \end{aligned}$$

2. Résultats obtenus

Les cinq étapes présentées précédemment permettent de fournir une estimation de la quantité annuelle d'eau évaporée (en l/m²) par les 11 sites de pleine terre du parcours *Lausanne Jardins 2019*. L'appréciation de l'effet rafraichissant s'inspire d'une grille de lecture proposée dans le cadre du projet TUSEC-IP, plus la capacité d'évaporation en eau est élevée, meilleur est l'effet rafraichissant. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Site	Capacité d'évaporation en eau (en l/m ²)	Équivalent énergétique (en kW*h/m ²)	Effet rafraichissant
Parc de Valency	534	366	Assez élevé
Square de Montétan	541	371	Assez élevé
Forêt des Clochettes	523	359	Moyen
Jardin des Souches	533	366	Assez élevé
Place Chauderon	517	355	Moyen
Promenade Jean-Villard-Gilles	520	357	Moyen
Jardin-toiture de Bellefontaine	496	340	Assez faible
Front garden de Rumine	501	344	Moyen
Préau Messidor	543	373	Assez élevé
Promenade Jean-Jacques Mercier	536	366	Assez élevé
Parc Guillemin	540	370	Assez élevé

Tableau 11 : Estimation de l'effet rafraichissant des 11 sites étudiés.

L'avantage de cette méthode est que l'effet rafraichissant est exprimé par unité surfacique (au m²), ce qui permet de ne pas dénigrer le rôle des sites présentant une faible superficie de pleine terre (square de Montétan, forêt des Clochettes, front garden de Rumine) dans la régulation des îlots de chaleur urbains. De manière intuitive seuls les grands espaces verts tels que le parc de Valency ou le parc Guillemin, semblent jouer un rôle important sur le climat local. Mais en exprimant la capacité d'évaporation en eau par unité de surface, nous pouvons constater que les petits espaces verts présentent un effet rafraichissant équivalent voire plus élevé que les grands espaces.

Si la superficie n'influence pas la capacité d'évaporation du sol, la profondeur utile en revanche reste intimement liée à cette variable. En effet, les sites associés à un effet rafraichissant assez élevé (capacité d'évaporation en eau comprise entre 525 et 550 l/m²) présentent une profondeur utile moyenne supérieure à 67 cm, tandis que les sites associés à un effet rafraichissant assez faible à moyen (capacité d'évaporation en eau comprise entre 475 et 525 l/m²) présentent une profondeur utile comprise entre 40 et 65 cm.

Afin de rendre ces résultats plus parlants, la capacité d'évaporation en eau a été convertie en unité énergétique (kW*h/m²). Sur nos sites étudiés, l'énergie solaire est mobilisée pour assurer l'évaporation de l'eau disponible contenue dans le sol. Nous observons qu'en moyenne sur nos 11 sites d'étude, près de 361 kilowatt-heure sont « consommés » par m² de sol pour évaporer l'eau. Une quantité d'énergie équivalente à la consommation annuelle de 8 vélos électriques. Dans le cas d'un sol scellé (asphalte, béton) cette énergie se dissipe sous forme de chaleur et contribue à augmenter la température ambiante.

Pour illustrer l'évitement en termes de perte énergétique à l'échelle des sites étudiés, la capacité d'évaporation a été convertie en équivalent ménages sur chaque secteur. Un équivalent ménage correspond à la consommation moyenne annuelle en énergie d'un ménage suisse, soit environ 4000 kW*h.



Figure 19 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le parc de Valency.



Figure 20 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le square de Montétan.

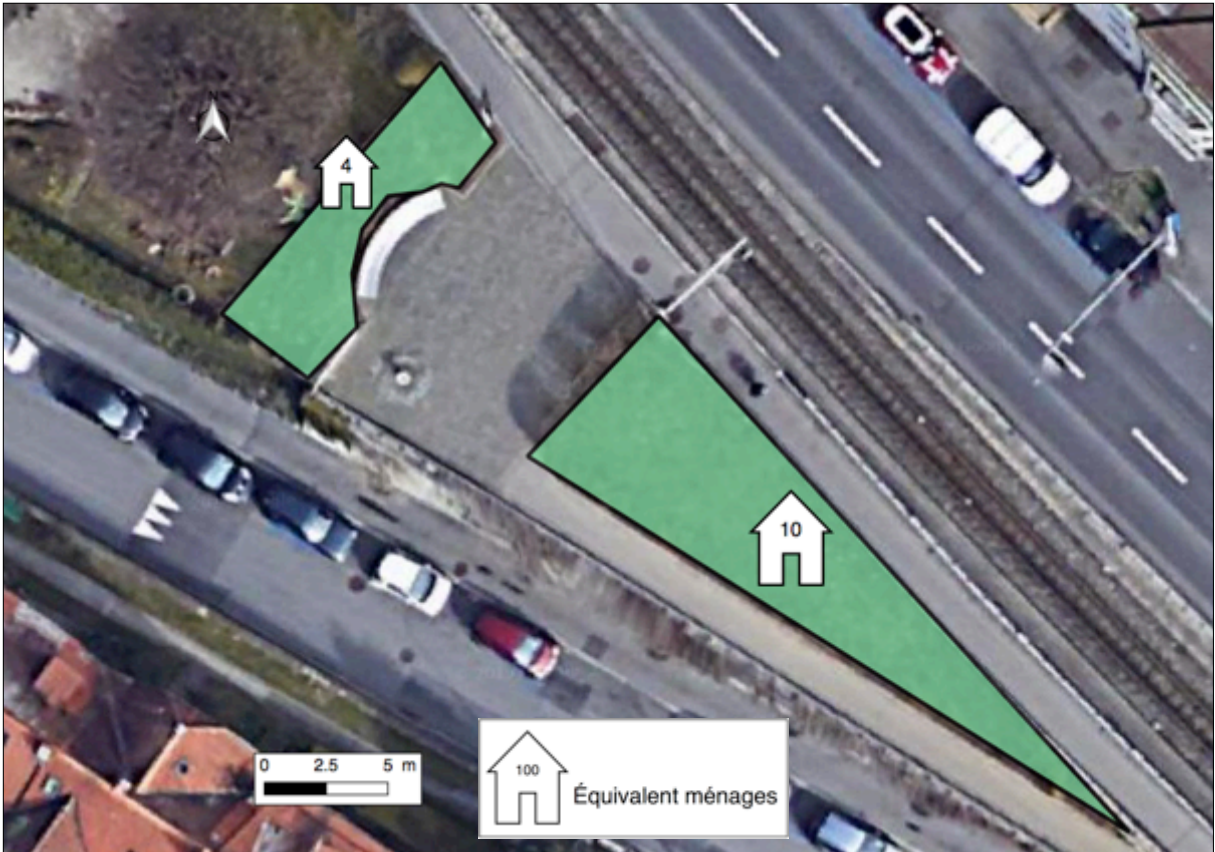


Figure 21 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur la forêt des Clochettes.



Figure 22 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le jardin des Souches.

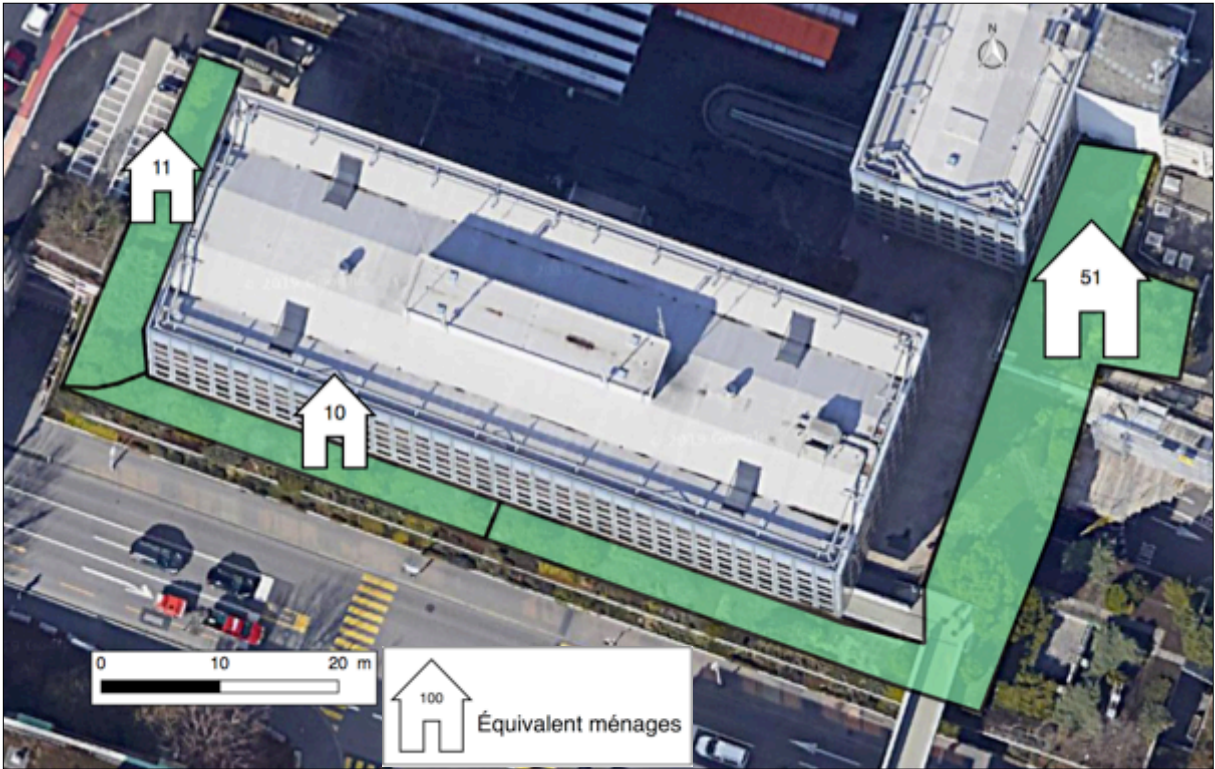


Figure 23 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur la place Chauderon.

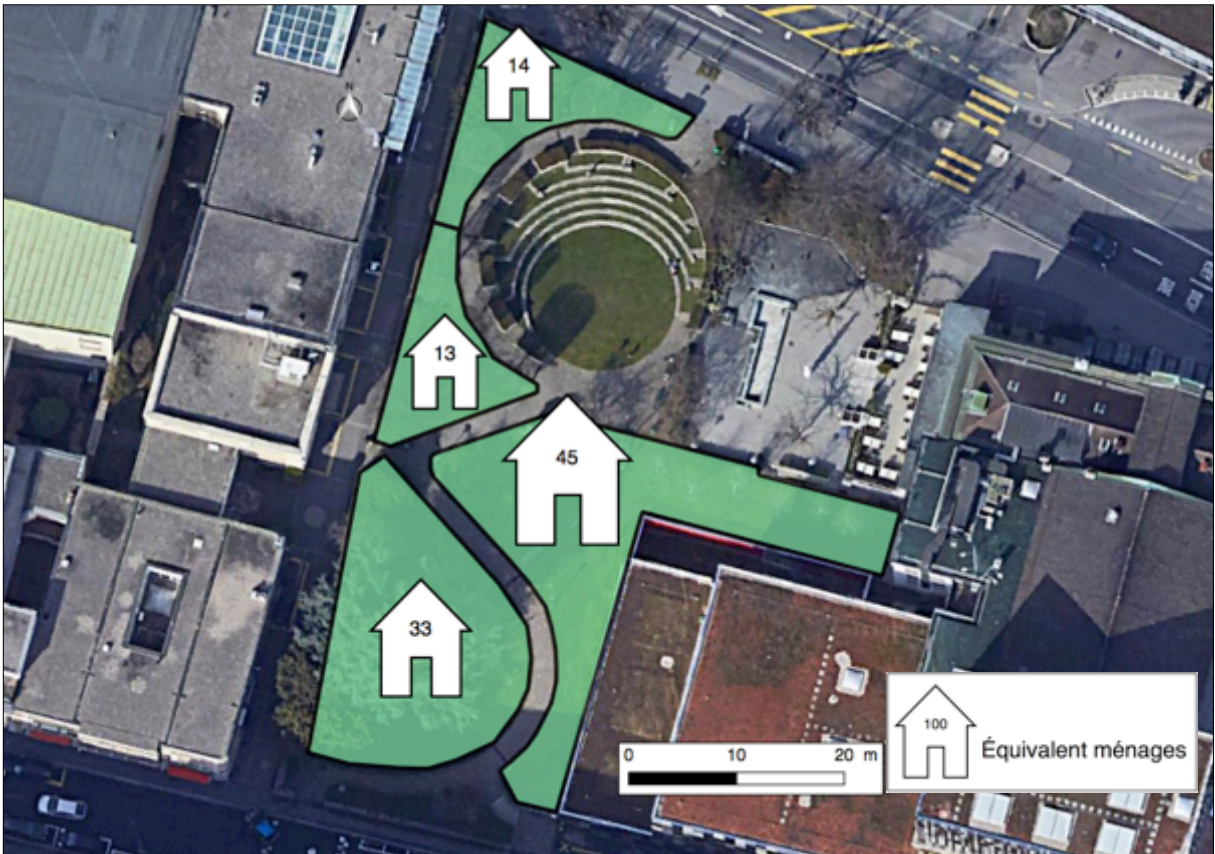


Figure 24 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur la promenade Jean-Villard-Gilles.

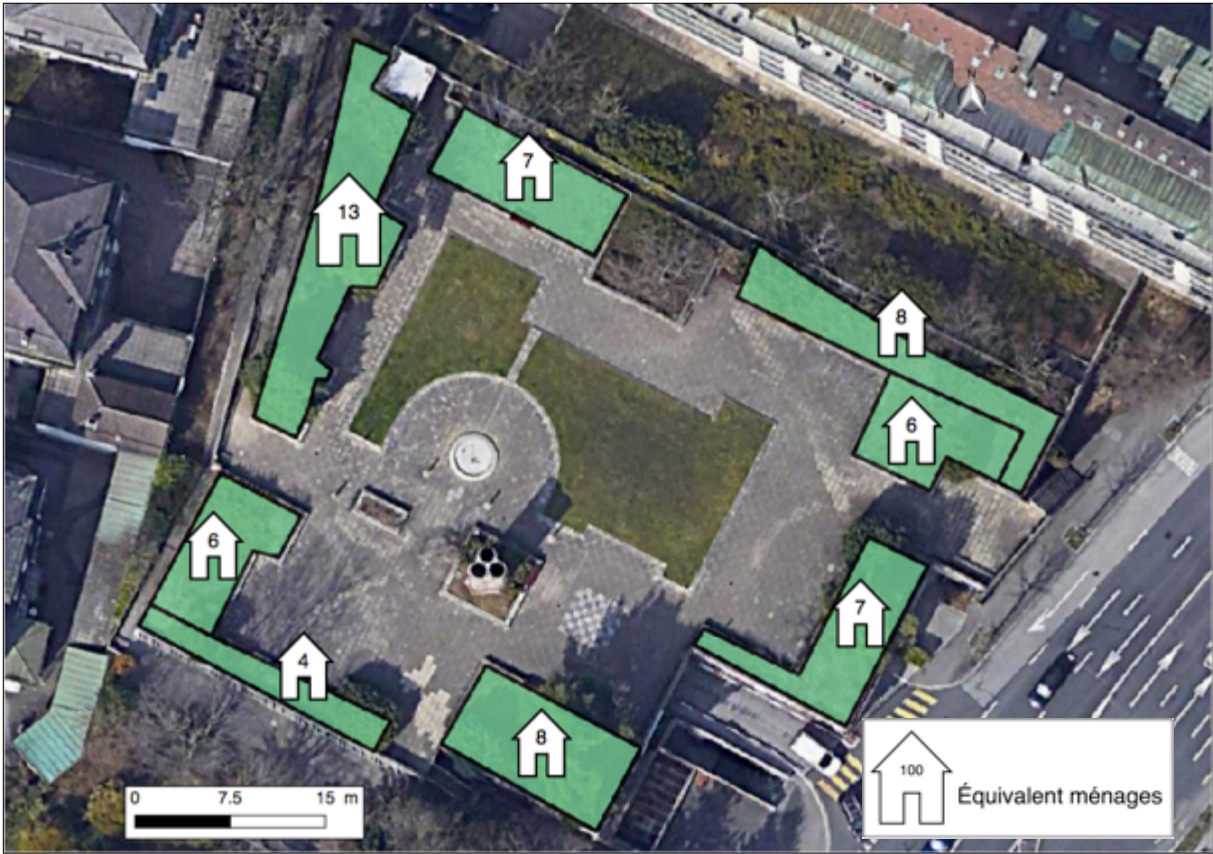


Figure 25 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le jardin-toiture de Bellefontaine.



Figure 26 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le front garden de Rumine.

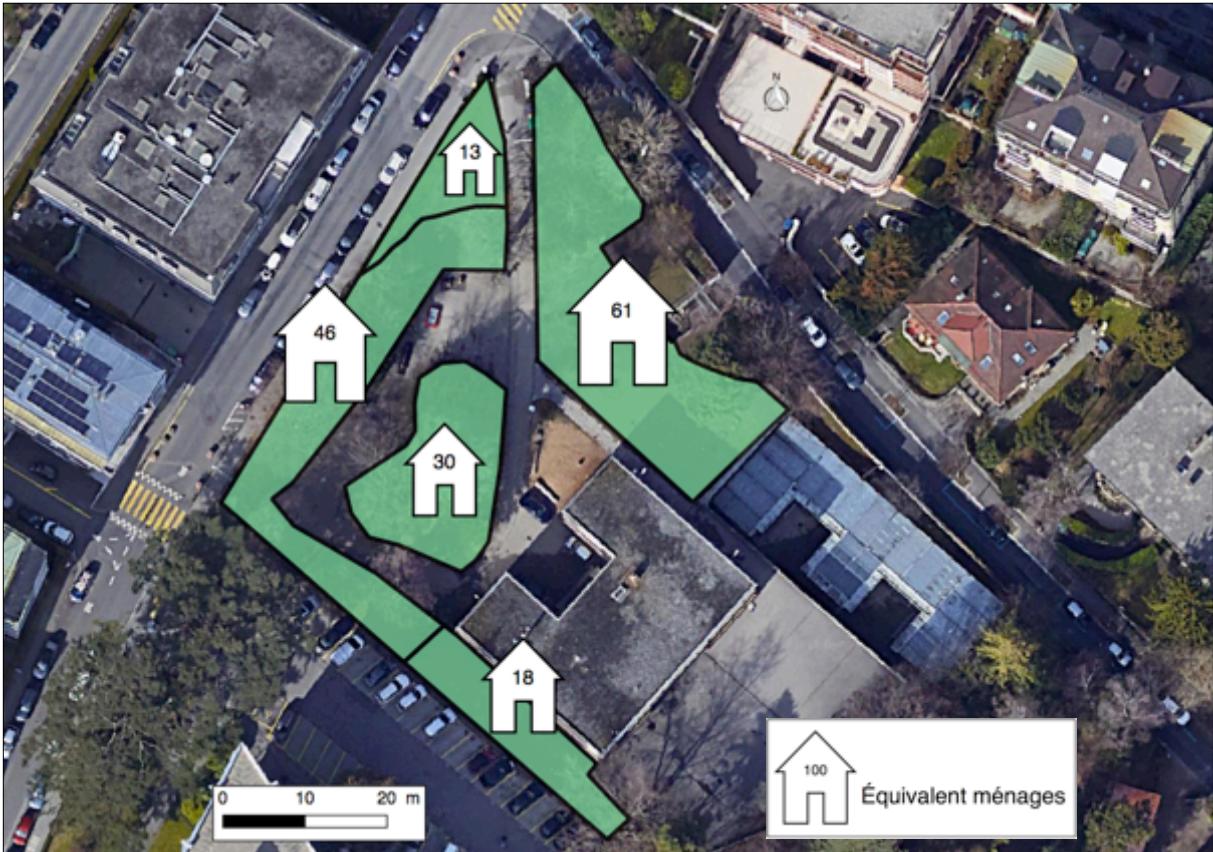


Figure 27 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le préau Messidor.

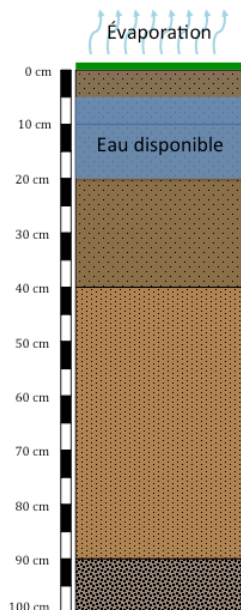


Figure 28 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur la promenade Jean-Jacques-Mercier.



Figure 29 : Énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau exprimée en équivalent ménages sur le parc Guillemain.

Ce qu'il faut retenir (partie II)



- L'eau disponible (susceptible d'être évaporée) occupe en moyenne entre 12% et 17% du volume de sol.
- En moyenne, la quantité d'eau évaporée par les sols du parcours *Lausanne Jardins 2019* est de 526 litres par m².
- En moyenne, les sols du parcours *Lausanne Jardins 2019* ont un effet rafraichissant assez élevé.
- L'énergie « consommée » par l'ensemble des sols du parcours *Lausanne Jardins 2019* équivaut à la consommation moyenne en énergie de plus de 5 000 ménages suisses.

III. Habitat pour la biodiversité

1. Le sol et sa relation au vivant

Nous avons vu précédemment que le sol est intimement lié au cycle de l'eau à travers sa capacité à infiltrer et retenir les eaux de surfaces (limitation du risque d'inondation) et à évaporer une partie de l'eau qu'il contient (régulation du climat local). Cependant le fonctionnement d'un sol, c'est-à-dire les interactions qu'il assure avec les autres composantes des écosystèmes (lithosphère, hydrosphère, atmosphère), reste fortement dépendant de l'activité des êtres vivants qu'il contient. En effet, les sols abritent près du quart de la totalité des espèces vivantes sur Terre, dont seule une partie serait connue de la communauté scientifique. Cette relation au vivant confère au sol le statut de réservoir de biodiversité, dont le ver de terre représente le principal représentant sur le plan pondéral.

L'objectif de cette dernière partie est d'établir un inventaire des vers de terre sur les sites du parcours *Lausanne Jardins 2019*. Généralement décrit comme « l'ingénieur des sols », le ver de terre joue un rôle direct sur la formation et le fonctionnement des sols, et donc sur les services écosystémiques qui en découlent. Les différents rôles assurés par le ver de terre sont rappelés dans la figure suivante :

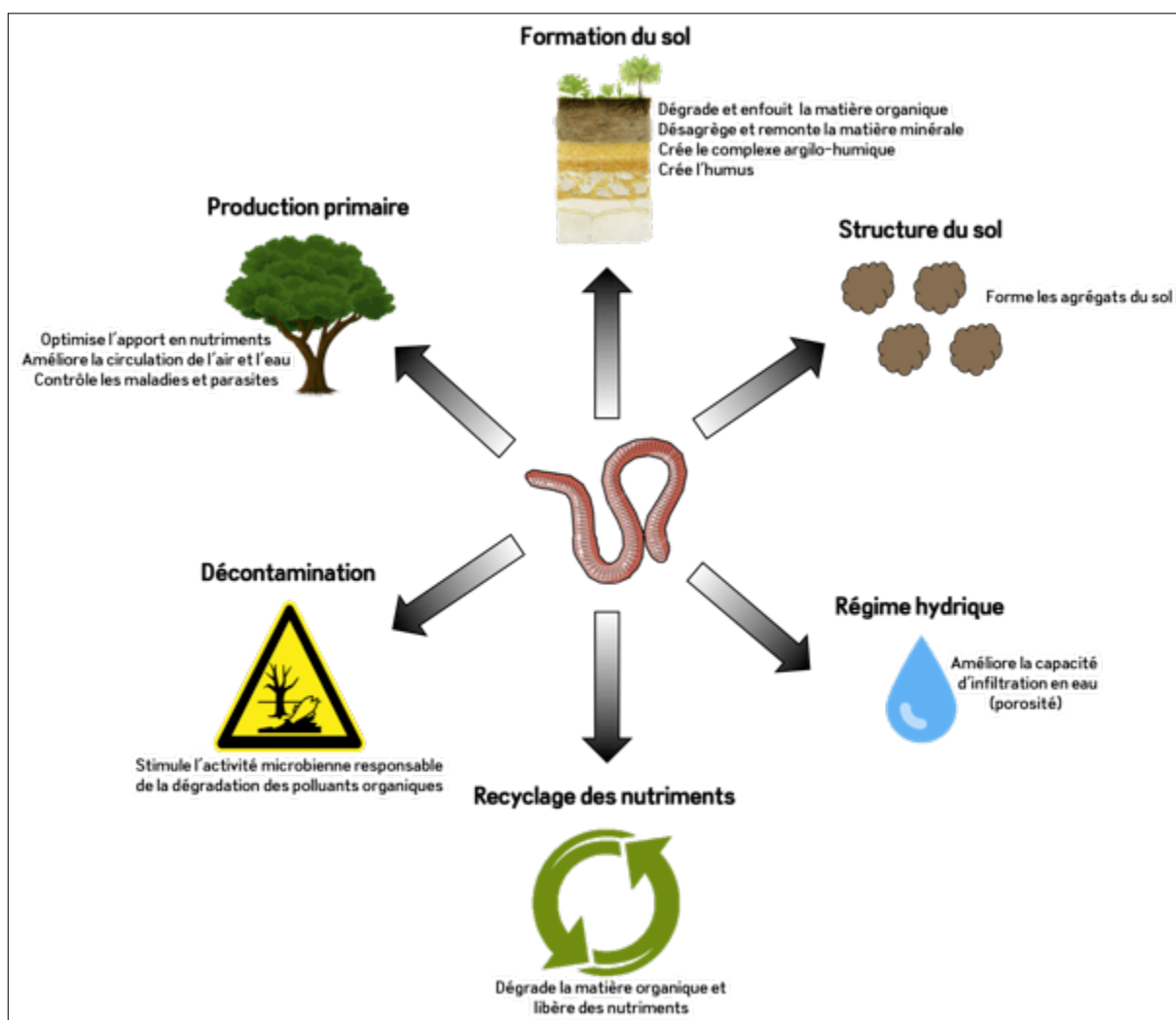


Figure 30 : Les différents rôles portés par le ver de terre dans la formation et le fonctionnement des sols.

2. Méthode utilisée pour le comptage des vers de terre

L'inventaire des vers de terre se base sur le protocole « Test bêche » mis en place par le laboratoire ECOBIOSOL de l'université de Rennes. Le principe de cette méthode consiste à extraire un bloc de sol (figure 31a) à l'aide d'une bêche et de comptabiliser les vers de terre qui s'y trouvent en désagrégeant progressivement les mottes de terre qui composent le bloc. Pour estimer le nombre moyen de vers de terre par m² sur une parcelle donnée, le protocole consiste à extraire simultanément 6 blocs de sol, correspondant à une placette d'observation, sur une emprise de 3 m sur 15 m soit une superficie de 75 m² (figure 31b). L'abondance en vers de terre à l'échelle de la parcelle est déduite par extrapolation des résultats obtenus sur une placette.

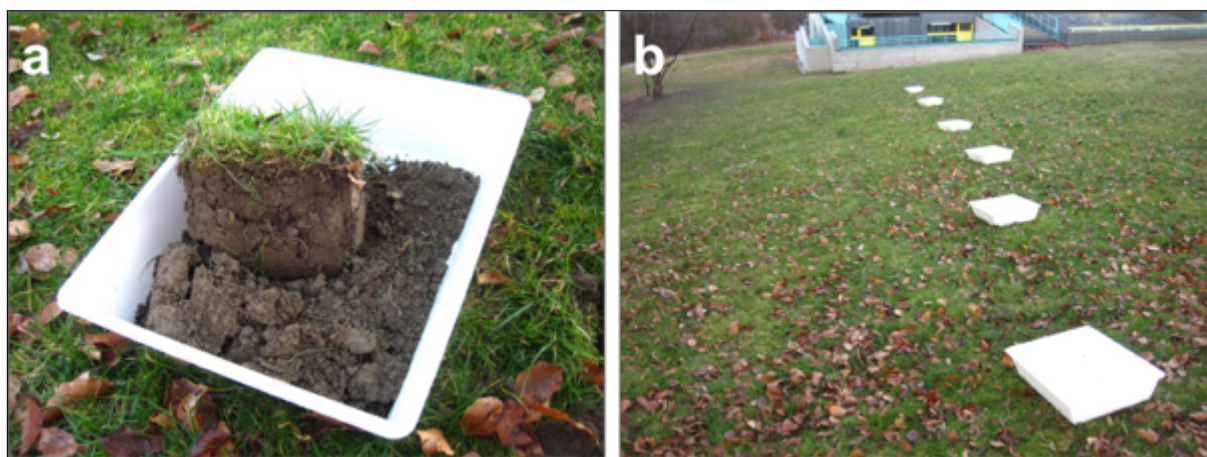


Figure 31 : Bloc de sol extrait à la bêche (a) et placette d'observation sur une parcelle (b).

Au total, 9 sites ont été retenus pour cet inventaire et 18 placettes ont été mises en place. Les observations de terrain ont eu lieu de février à début mai, correspondant approximativement à la période d'activité des vers de terre (de janvier à avril). Le nombre d'observations par site est précisé au tableau suivant :

Site	Nombre de placettes
Parc de Valency	8
Square de Montétan	2
Forêt des Clochettes	1
Jardin des Souches	1
Promenade Jean-Villard-Gilles	1
Front garden de Rumine	1
Préau Messidor	1
Promenade Jean-Jacques-Mercier	1
Parc Guillemin	2

Tableau 12 : Nombre de placettes par site investigué.

En plus de mesurer l'abondance totale en vers de terre, cet inventaire a permis de distinguer les individus rencontrés suivant trois principaux groupes fonctionnels :

- Les **épigés** (figure 32a) : de petite taille (1 – 5cm), rouge sombre, vivent en surface et participent activement au fractionnement de la matière organique.
- Les **anéciques** (figure 32b) : de 10 à 110cm, présentant un gradient de couleur antéro-postérieur, vivent dans l'ensemble du profil, creusent des galeries en permanence, brassent et mélangent la matière organique et minérale.

- Les **endogés** (figure 32c) : de taille moyenne à grande (1 – 20cm), faiblement pigmentés (couleur rose à gris clair), vivent plus profondément dans le sol, ils influencent la formation d'agrégats (structure grumeleuse) et jouent un rôle sur la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol.



Figure 32 : Les trois groupes fonctionnels : épigés (a), anéciques (b) et endogés (c) (Source : a : Université de Rennes, b et c: Y. Poyat).

3. Résultats obtenus

i. Abondance totale

Le graphique suivant indique l'abondance totale en vers de terre sur les 9 sites investigués. Nous remarquons une hétérogénéité entre nos sites d'études puisque l'abondance varie de 204 individus au m² sur le front garden de Rumine à 883 individus sur la forêt des Clochettes. Il est important de préciser que les observations de terrain ont été effectuées à des dates et sous des conditions météorologiques différentes. Cette variabilité de conditions d'observations pourrait expliquer l'hétérogénéité observée entre les sites. Ces résultats doivent donc être interprétés comme des tendances et non des estimations exactes.

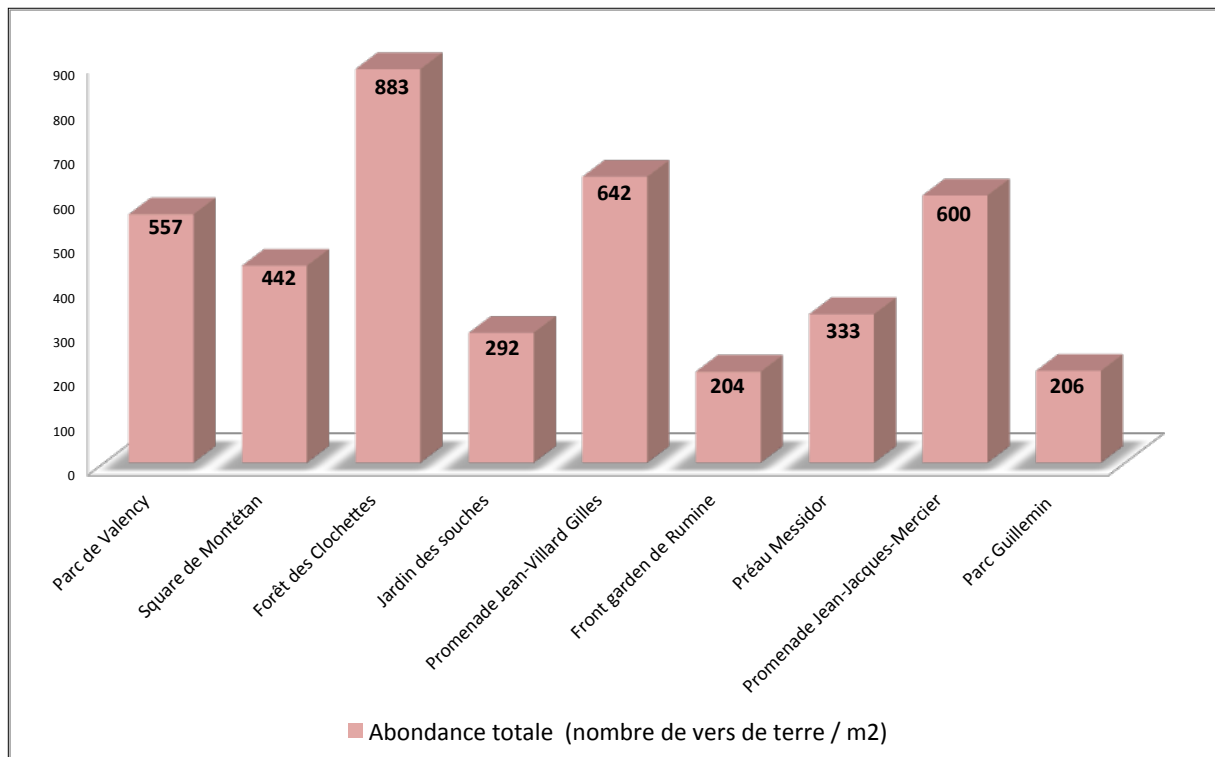


Figure 33 : Abondance totale en vers de terre observée sur les 9 sites d'étude.

Pour une meilleure appréciation de ces données, il apparaît intéressant de pouvoir comparer les résultats obtenus avec les moyennes d'abondance en vers de terre disponibles dans la littérature. À l'échelle de la Suisse, il n'existe pas de moyenne nationale suivant le type

d'occupation du sol. Néanmoins, un article paru dans le journal en ligne BioActualités¹⁰ indique qu'une population de 120 à 140 vers de terre par m² représente une bonne densité pour les plateaux agricoles suisses. Les travaux de Joël Amossé¹¹ (Université de Neuchâtel) apportent un éclairage sur l'abondance moyenne observée sur les sols urbains du Canton de Neuchâtel avec environ 220 vers de terre par m². Enfin, selon l'observatoire national de la biodiversité (France), l'abondance lombricienne moyenne des sols en métropole (période 2005-2015) est de 264 individus par m², toute occupation confondue.

À titre de comparaison, l'abondance lombricienne moyenne observée à l'échelle des 9 sites investigués est de **462** individus par m², soit une abondance nettement plus élevée que les moyennes nationales et « cantonales » évoquées précédemment. Il est également intéressant de souligner la dichotomie observée entre les services écosystémiques de support d'activités de loisirs et de support d'habitat pour la biodiversité. Pour illustrer nos propos, nous prendrons l'exemple de la forêt des Clochettes qui reste un espace emblématique en termes de biodiversité. En effet, la forêt des Clochettes n'accueille aucun usage particulier contrairement au parc de Valency ou au parc Guillemin, qui représentent des espaces de loisirs appropriés par les habitants. Pourtant, la forêt des Clochettes correspond au site *Lausanne Jardins 2019* présentant la plus forte abondance lombricienne avec une moyenne de 883 individus par m². Cette forte abondance peut être mise en relation avec l'absence de perturbation du cycle de vie des vers de terre par les piétinements répétés des riverains, qui induisent des vibrations voire un tassement du sol. De plus, les investigations pédologiques ont montré que les sols de la forêt des Clochettes présentent une texture assez fine (sable argileux), appréciée par les vers de terre. Enfin, cette forte abondance peut également s'expliquer par la nature des matériaux terreux apportés pendant l'aménagement de ce site, qui pouvaient présenter une richesse en cocons.

Rapportée à la superficie totale de nos sites d'étude, l'abondance lombricienne obtenue peut être utilisée pour estimer la masse totale en vers de terre. Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant, nous partons du principe que le poids moyen d'un ver de terre est d'environ 1 gramme.

Site	Masse totale en vers de terre (en kg)	Équivalent homme (70 kg)
Parc de Valency	1753	25
Square de Montétan	53	1
Forêt des Clochettes	88	1
Jardin des souches	146	2
Promenade Jean-Villard Gilles	728	10
Front garden de Rumine	20	0
Préau Messidor	515	7
Promenade Jean-Jacques- Mercier	277	4
Parc Guillemin	346	5

Tableau 13 : Masse totale en vers de terre sur les sites d'étude (en kg).

¹⁰ <https://www.bioactualites.ch/cultures/sol/ver-de-terre.html>

¹¹ AMOSSÉ, J. 2014. *La faune du sol comme indicateur de qualité des sols urbains*. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, 237p.

Ainsi, le parc de Valency accueille 1,7 tonnes de vers de terre, ce qui représente environ 25 personnes d'un point de vue pondéral. Les espaces plus réduits tels que le square de Montétan, le jardin des souches ou encore le front garden de Rumine accueillent respectivement 53, 146 et 20 kg de vers de terre. Ces estimations permettent de rendre compte de l'importance des espaces verts, même réduits, dans la conservation de la biodiversité en zone urbaine. En effet, au-delà du rôle essentiel joué par le ver de terre dans la formation et le fonctionnement des sols urbains, ce dernier demeure un maillon indispensable de la chaîne alimentaire. Le hérisson, la taupe, le blaireau, la musaraigne le renard roux et la plupart des oiseaux urbains font partie des espèces animales se nourrissant directement de lombrics. Le maintien de sols vivants en zone urbaine représente donc un enjeu pour le maintien des réseaux écologiques.

ii. Structure fonctionnelle

Nous avons vu précédemment que les vers de terre peuvent être classés en trois groupes fonctionnels : les épigés, les anéciques et les endogés. La structure fonctionnelle permet d'apprécier la proportion de chacun de ces trois groupes sur nos sites d'étude. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

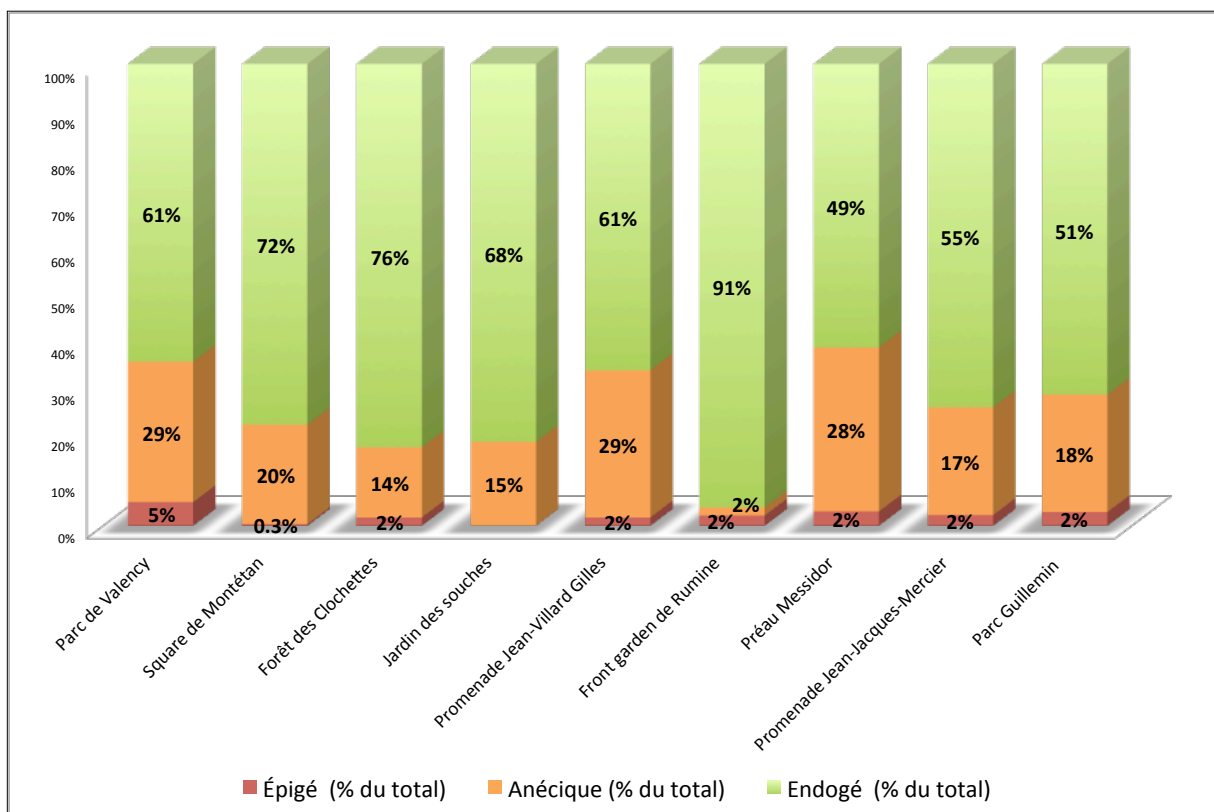


Figure 34 : Structure fonctionnelle des communautés lombriciennes sur les sites d'étude¹².

Nous remarquons que les populations de vers de terre rencontrées sont majoritairement composées d'endogés (62% en moyenne), suivis par les anéciques (18% en moyenne), puis les épigés (3% en moyenne). La diversité fonctionnelle observée sur nos sites d'études se rapproche de celle rencontrée sur système prairial, où les espèces endogées sont dominantes. Cette observation peut être mise en relation avec l'adoption de l'entretien différencié des espaces verts par le service des parcs et domaine lausannois à partir de 1992. En effet, la prairie du parc de Valency est issue de cette initiative et ce mode de gestion a sans doute eu une influence sur la

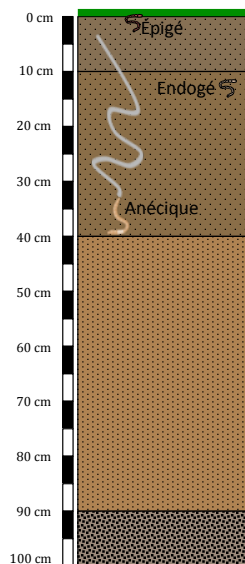
¹² Le pourcentage cumulé est inférieur à 100% sur tous les sites d'étude en raison du pourcentage d'individus non déterminés qui n'est pas comptabilisé. En effet, lors de l'extraction du bloc de sol, certains vers de terre sont sectionnés par la bêche et les morceaux qui en résultent ne permettent de dire avec précision le groupe fonctionnel auquel ils appartiennent. Ces individus non déterminés sont pris en compte pour le calcul de l'abondance totale mais pas pour la diversité fonctionnelle.

répartition des communautés lombriciennes. Concernant les autres sites d'étude, la dominance des espèces endogées peut être le résultat d'une conséquence évolutive. Suivant cette hypothèse, les espèces endogées se seraient mieux adaptées au contexte urbain d'où une plus grande diversité au sein de ce groupe fonctionnel et donc une abondance plus forte.

Concernant les espèces épigées, leur faible abondance est certainement liée à l'absence de litière organique en surface qui constitue leur espace de vie. En effet, la plus forte proportion d'épigés est observée sur le parc de Valency, en particulier sur la zone boisée en partie ouest du site (secteur Val014). Cette zone se caractérise par la présence d'une litière permanente en surface composée de débris végétaux et propice au développement des espèces épigées.

Enfin, la forêt des Clochettes et le front garden de Rumine se distinguent des autres sites en présentant les plus faibles proportions d'espèces anéciques. Contrairement aux épigés et endogés, les espèces anéciques se développent sur l'ensemble du profil de sol qui s'avère être restreint sur ces deux sites. La faible profondeur utile observée (50 cm) peut représenter un facteur limitant le développement des communautés anéciques.

Ce qu'il faut retenir (partie III)



- Le ver de terre joue un rôle essentiel dans la formation et le fonctionnement des sols.
- Les sols du parcours *Lausanne Jardins 2019* présentent une abondance lombricienne élevée avec une moyenne de 462 vers de terre par m².
- Près de 4 tonnes de vers de terre vivent au sein des sols du parcours *Lausanne Jardins 2019*.
- La structure fonctionnelle des communautés lombriciennes se rapproche de celle observée sur les prairies.

Conclusion

Les résultats apportés par cette étude pédologique nous offrent l'opportunité de concevoir la pleine terre en ville comme une véritable ressource pour assurer le bien-être des habitants. Le sol urbain ne peut être limité à un simple matériau terreux dont la seule fonction est de contenir les réseaux et de soutenir la végétation. La prise en compte du sol et de son fonctionnement en milieu urbain permet d'aborder la question de la résilience territoriale, soit la capacité d'un territoire à continuer de fonctionner en dépit des perturbations extérieures. Le 18 juin 2018, la ville de Lausanne fût concernée par un violent épisode pluvieux qui entraîna des inondations causant près de 2 millions de francs de dégâts. La résilience territoriale a donc un coût et celui-ci peut être réduit en exploitant au mieux la capacité d'infiltration et de rétention en eau du sol.

Cette notion de résilience s'exprime également à travers la lutte contre les îlots de chaleur urbains et les impacts sur la santé humaine qui en découlent. L'évaporation de l'eau contenue dans le sol permet de limiter ce phénomène urbain en rafraichissant l'air ambiant pendant la période estivale.

Cette étude a également permis de souligner le rôle joué par la pleine terre comme réservoir de biodiversité. Le ver de terre représente sans nul doute l'espèce animale la plus représentée sur le plan pondéral et participe activement au bon fonctionnement du sol et des services qu'il rend à la société. De plus, en tant que maillon clé de la chaîne alimentaire, la présence de vers de terre en milieu urbain participe activement au maintien de nombreuses espèces animales et végétales.

La pleine terre en ville peut effectivement être perçue comme une ressource au vu des services de régulation des aléas d'inondation, d'îlots de chaleur urbain et de conservation de la biodiversité. Bien qu'importants pour le bien-être des citoyens, ces services ne représentent pourtant qu'une partie du rôle joué par les sols urbains dans la résilience des territoires. En effet, en plus d'infiltrer et de retenir les eaux de surfaces, le sol est en capacité de purifier l'eau qui y circule avant de rejoindre les nappes phréatiques. Ce rôle de filtre concerne également la qualité de l'air puisque la pleine terre constitue une surface d'échange permettant de fixer les polluants atmosphériques et les particules fines. Un service d'autant plus précieux que les affections respiratoires dues aux gaz d'échappement sont en constante augmentation ces dernières années. À une échelle plus large, les sols urbains interviennent également dans la régulation du climat global à travers leur capacité à stocker du carbone. Enfin sur le plan social, la pleine terre en ville reste un moyen de conserver un lien avec la nature en permettant à tout un chacun de planter, jardiner et récolter les fruits de son travail.

Annexe 1

Plan d'implantation des sondages à la tarière manuelle sur les 11 sites investigués.



Figure 35 : Implantation des sondages au parc de Valency (18 sondages).



Figure 36 : Implantation des sondages au square de Montétan (3 sondages).



Figure 37 : Implantation des sondages à la forêt des Clochettes (2 sondages).

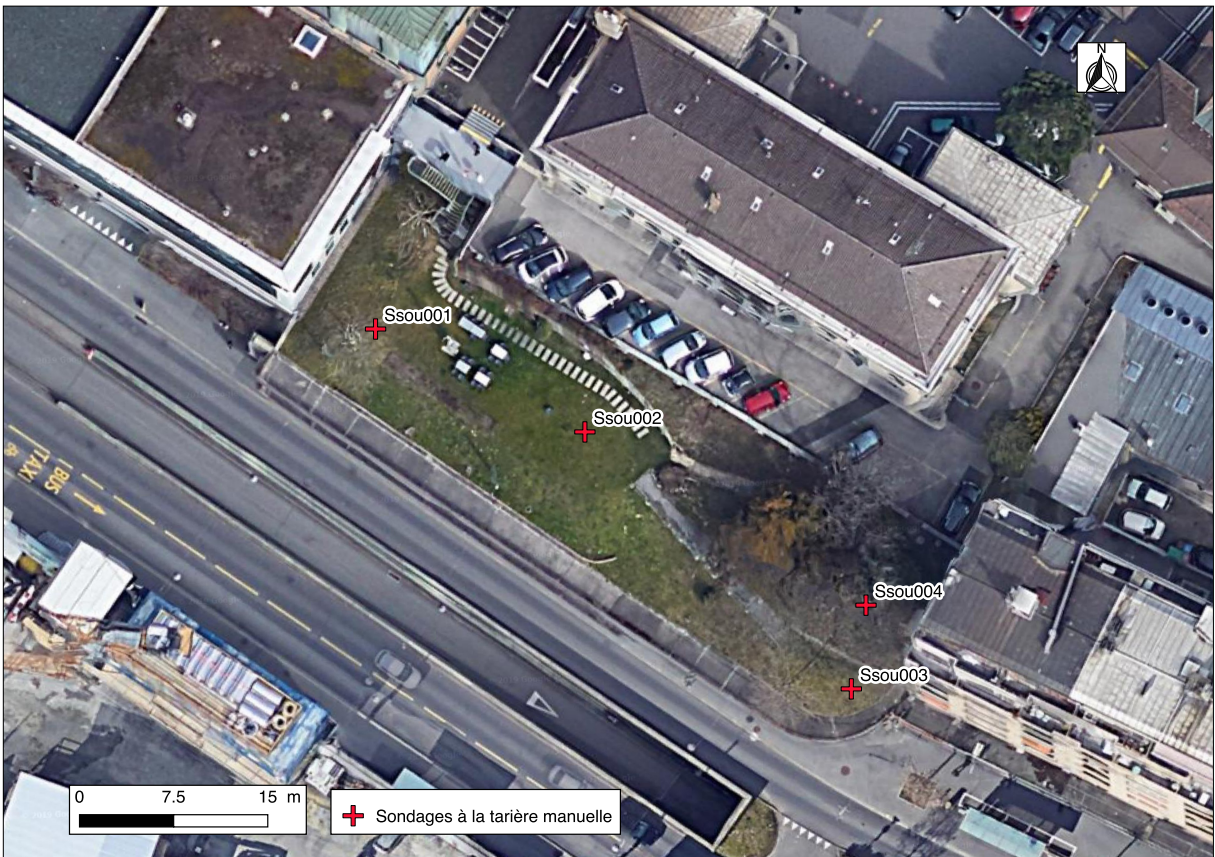


Figure 38 : Implantation des sondages au jardin des Souches (4 sondages).

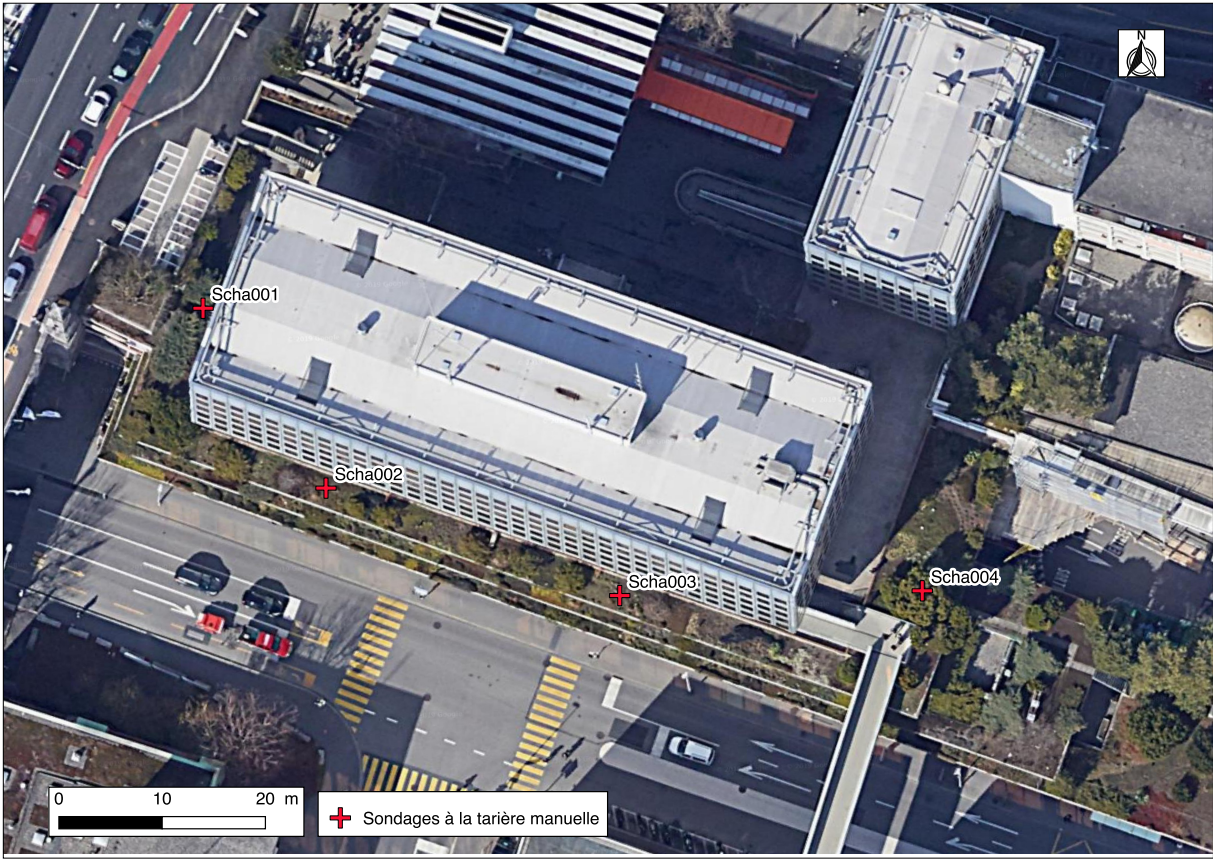


Figure 39 : Implantation des sondages sur la place Chauderon (4 sondages).

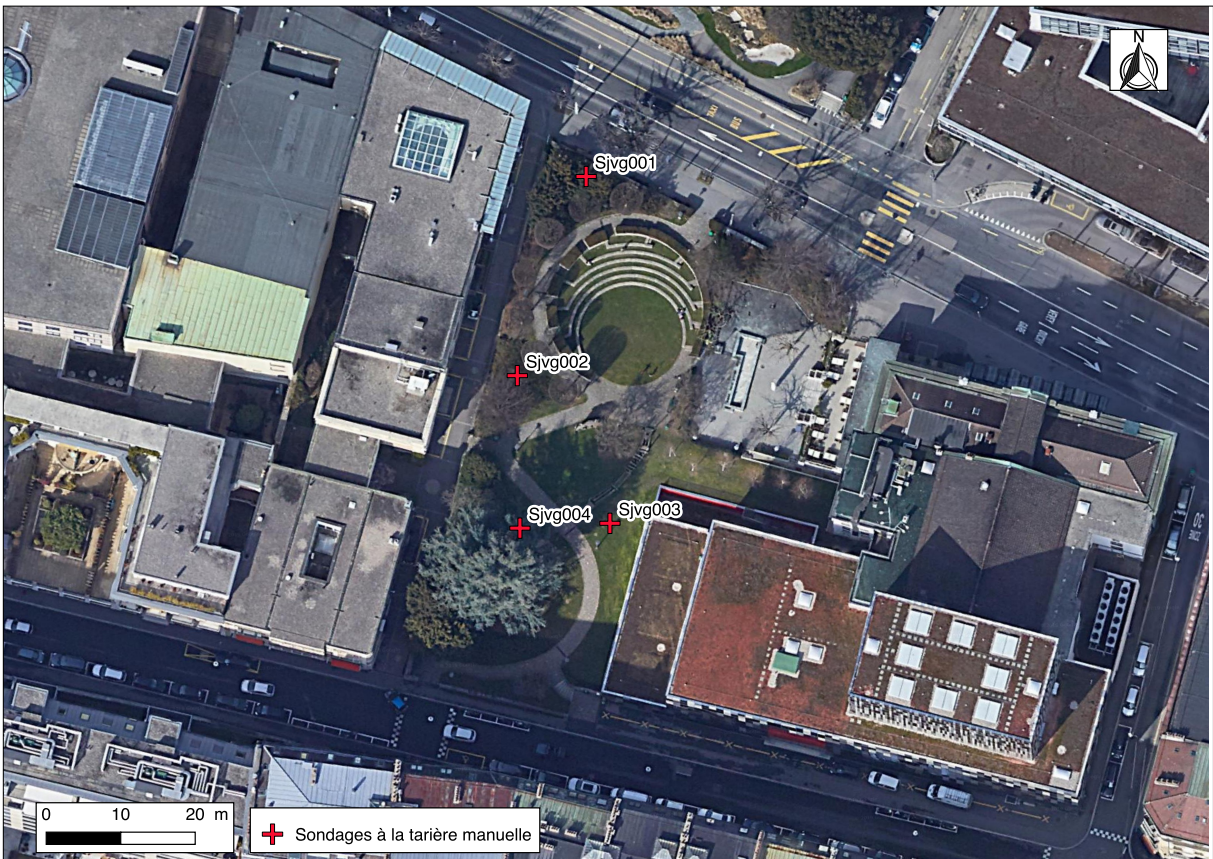


Figure 40 : Implantation des sondages sur la promenade Jean-Villard-Gilles (4 sondages).

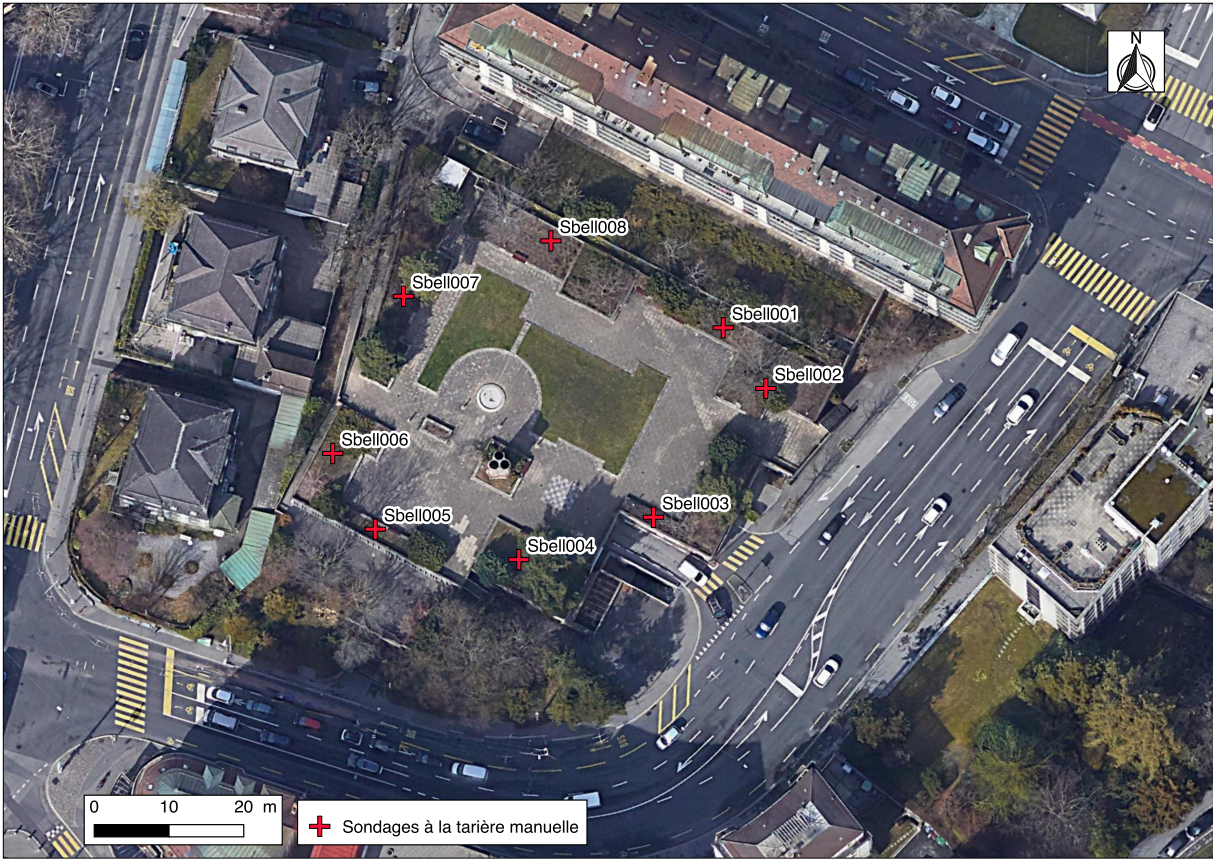


Figure 41 : Implantation des sondages sur le jardin-toiture de Bellefontaine (8 sondages).

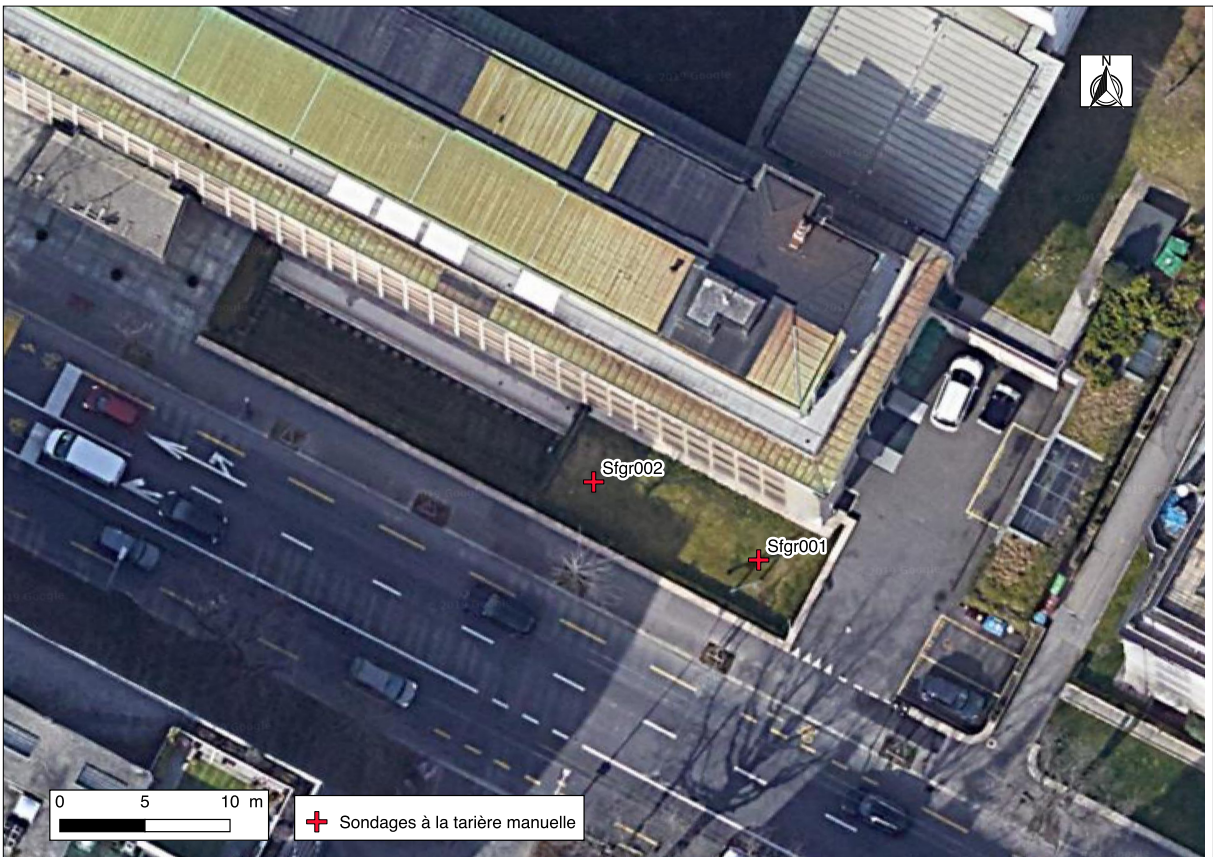


Figure 42 : Implantation des sondages sur le front garden de Rumine (2 sondages).

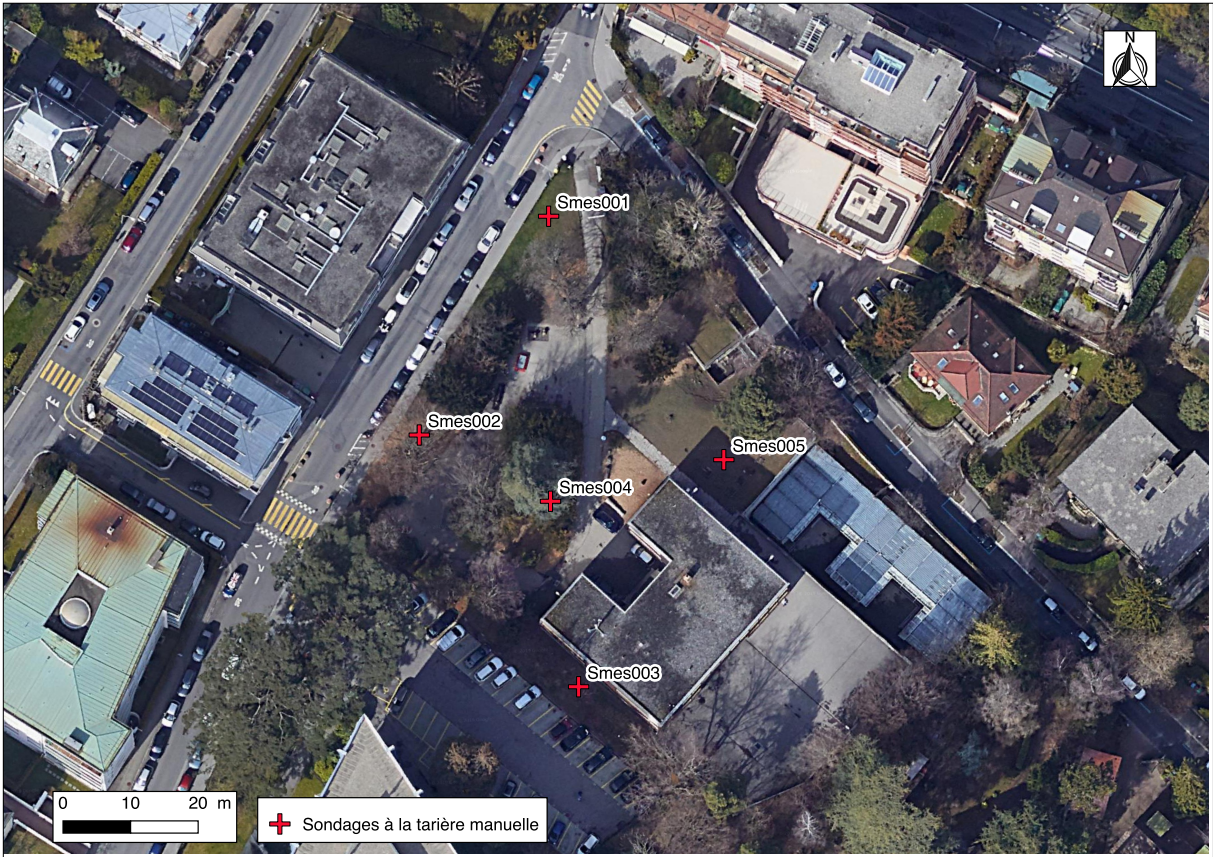


Figure 43 : Implantation des sondages sur le préau Messidor (5 sondages).



Figure 44 : Implantation des sondages sur la promenade Jean-Jacques-Mercier (10 sondages).



Figure 45 : Implantation des sondages sur le parc Guillemain (7 sondages).

Annexe 2

Calcul de la profondeur utile et du volume de sol par secteur.

Nom secteur	Surface secteur (m2)	Profondeur utile H1 (en cm)	Profondeur utile H2 (en cm)	Profondeur utile H3 (en cm)	Profondeur utile H4 (en cm)	Profondeur utile H5 (en cm)	Profondeur utile secteur (en cm)	Volume de sol secteur (en m3)
Val001	2804	9.8	8.55	20.52	0	0	38.87	1090
Val002	2468	9.9	25.65	42.75	6.84	0	85.14	2101
Val003	3671	9.9	27	18	38	0	92.9	3410
Val004	5434	9.8	9	19.44	0	0	38.24	2078
Val005	1072	10	68.6	19.6	0	0	98.2	1053
Val006	4597	10	28.5	46.5	0	0	85	3907
Val007	1287	10	32.55	41.85	6	0	90.4	1163
Val008	3475	9.5	18	28.8	27	0	83.3	2895
Val009	1171	14.85	33.25	47.5	0	0	95.6	1119
Val010	2627	10	9.7	23.75	42.75	9.7	95.9	2519
Val011	2385	10	19.6	16	40	0	85.6	2042
Val012	2596	9.7	38	27	0	0	74.7	1939
Val013	2834	9.9	28.5	28.5	20	10	96.9	2746
Val014	2707	10	14.55	24.25	29.7	19.8	98.3	2661
Val015	1709	9.9	23.75	43.65	19.6	0	96.9	1656
Val016	641	9.9	23.75	43.65	19.6	0	96.9	621
Mon001	45	9.9	38.8	28.5	0	0	77.2	35
Mon002	130	9.5	38	28.5	19.8	0	95.8	125
Mon003	59	10	38	44.1	0	0	92.1	54
Clo001	44	49	0	0	0	0	49	22
Clo002	110	45	0	0	0	0	45	50
Sou001	159	13.5	9	14.4	28.5	0	65.4	104
Sou002	191	27	27.9	4	0	0	58.9	112
Sou003	119	27	36	18.6	9.5	0	91.1	108
Sou004	185	18.6	8	26.04	0	0	52.64	97
Cha001	131	24.5	24.5	0	0	0	49	64
Cha002	117	19.6	29.7	0	0	0	49.3	58
Cha003	565	29.7	19.8	0	0	0	49.5	280
JVG001	161	7.92	22.8	25.2	0	0	55.92	90
JVG002	137	9.9	29.4	25.2	19	0	83.5	114
JVG003	482	23.75	20.925	47.5	0	0	92.175	444
JVG004	397	7.6	22.32	0	0	0	29.92	119
Bell001	95	14.7	24.75	0	0	0	39.45	37
Bell002	69	4.85	43.65	0	0	0	48.5	33
Bell003	87	9.9	29.7	0	0	0	39.6	34
Bell004	102	9.9	29.1	0	0	0	39	40
Bell005	48	9	28.5	0	0	0	37.5	18
Bell006	70	8.5	29.295	0	0	0	37.795	26
Bell007	147	9.7	26.19	0	0	0	35.89	53

Bell008	83	9.8	29.1	0	0	0	38.9	32
Fgr001	102	9.5	32.55	0	0	0	42.05	43
Mes001	139	19	28.5	17.1	0	0	64.6	90
Mes002	489	9.3	32.55	52.25	0	0	94.1	460
Mes003	195	19	39.06	10	0	0	68.06	133
Mes004	313	19	27.9	47.5	0	0	94.4	295
Mes005	645	9.5	13.95	33.48	28.5	0	85.43	551
Jjm001	231	48.5	25.5	0	0	0	74	171
Jjm002	236	33.95	19.4	38.475	0	0	91.825	217
Jjm003	500	14.85	24.5	0	0	0	39.35	197
Jjm004	444	9.9	47.5	36	0	0	93.4	415
Jjm005	404	9.8	38	19	0	0	66.8	270
Jjm006	407	4.95	33.95	19	0	0	57.9	236
Jjm007	568	9.9	47.5	25.65	0	0	83.05	472
Jjm008	445	9.8	47.5	0	0	0	57.3	255
Jjm009	418	9.9	39.2	47.5	0	0	96.6	404
Jjm010	401	9.9	48.5	19	0	0	77.4	310
Gui001	3438	9.8	33.48	18	22.95	0	84.23	2896
Gui002	1212	10	38	47.5	0	0	95.5	1157
Gui003	2055	9.8	27	31.5	18.6	0	86.9	1786
Gui004	119	9.8	46.5	37.2	0	0	93.5	111
Gui005	3530	9.8	36	36	14.25	0	96.05	3391