

# Quartier du Pommier

## Grand-Saconnex



## Expertise agropédologique

Décembre 2024

# Contexte de l'étude

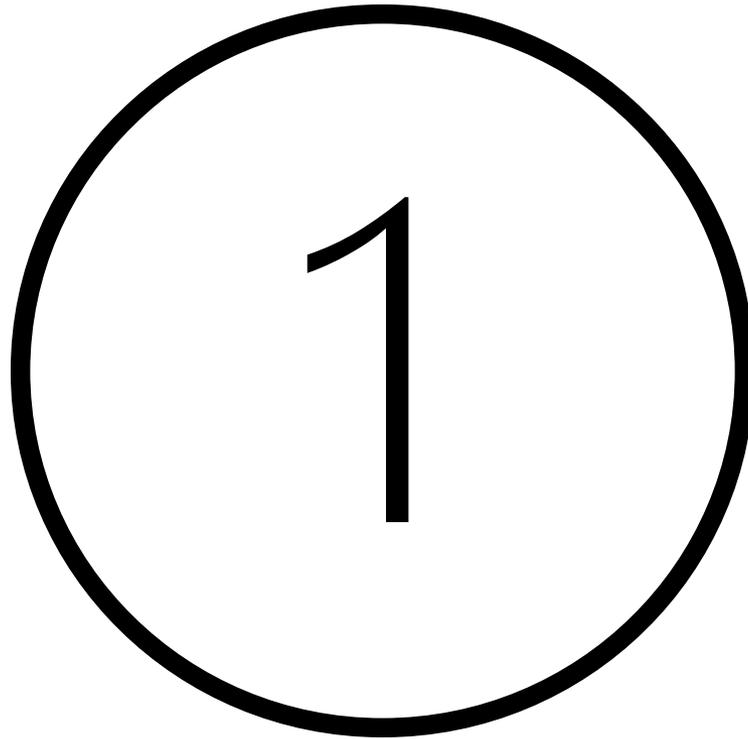
Dans le cadre du projet de renaturation des sols sur le quartier du Pommier, l'Office Cantonal de l'Eau (OCEau) sollicite TeraSol pour un accompagnement agrépédologique. L'objectif de cet accompagnement est d'apporter des préconisations opérationnelles pour reconstituer des sols fonctionnels, soit des sols capables d'assurer une croissance végétale, d'infiltrer rapidement les eaux pluviales et de stocker du carbone.

Cette étude repose sur cinq volets :

1. Une expertise pédologique destinée à évaluer les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols en place. L'objectif de cette démarche est de connaître les épaisseurs ainsi que les atouts et contraintes agronomiques des horizons constitutifs des sols sous l'enrobé bitumineux.
2. Une synthèse des préconisations opérationnelles pour la reconstitution de sols fertiles.
3. Une proposition de palette végétale pour le projet de plantation au regard des propriétés agronomiques des sols reconstitués.
4. Un bilan du suivi de chantier.
5. Une proposition d'indicateurs de suivi pédologique pour les 5 prochaines années.

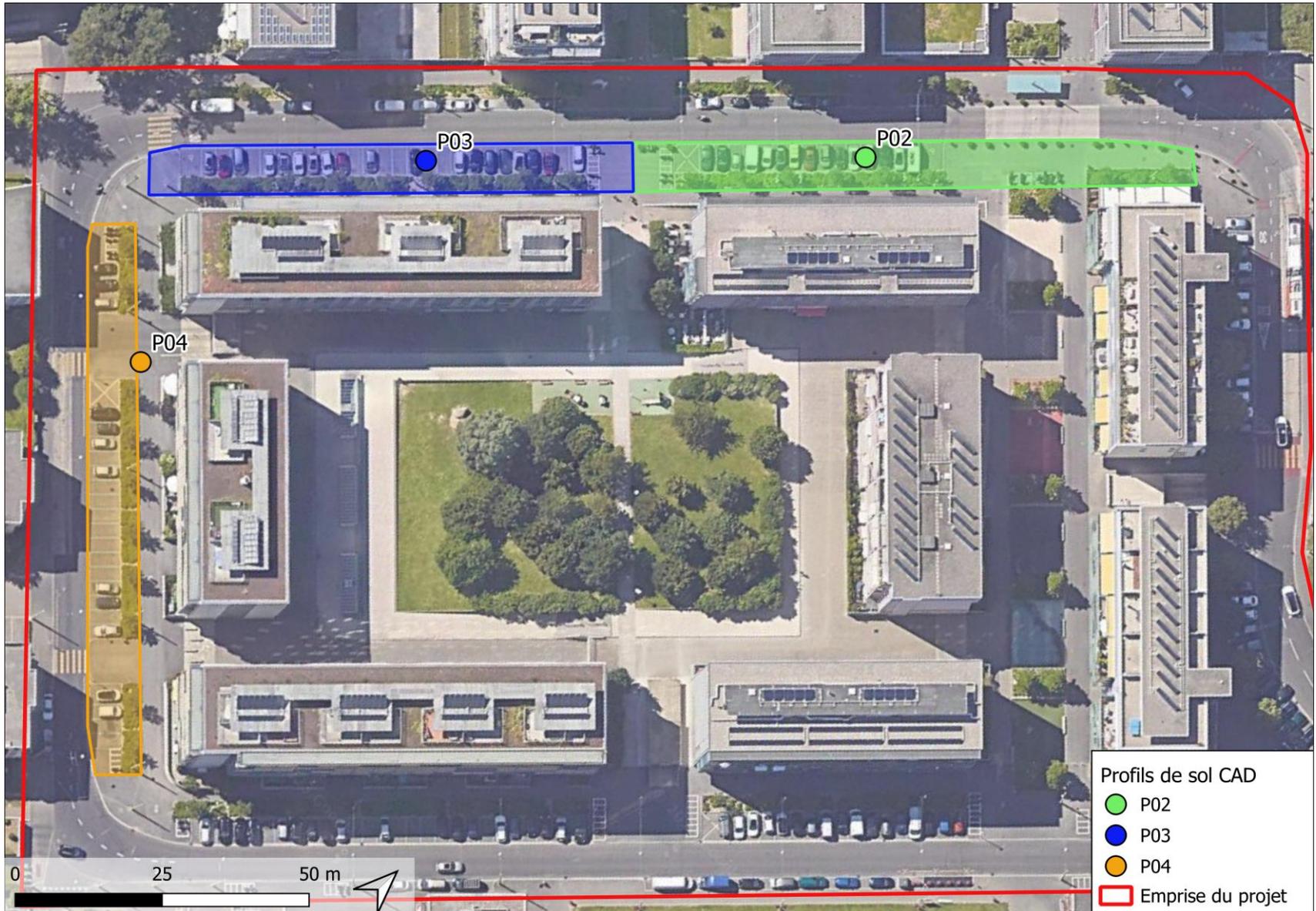


# Expertise pédologique

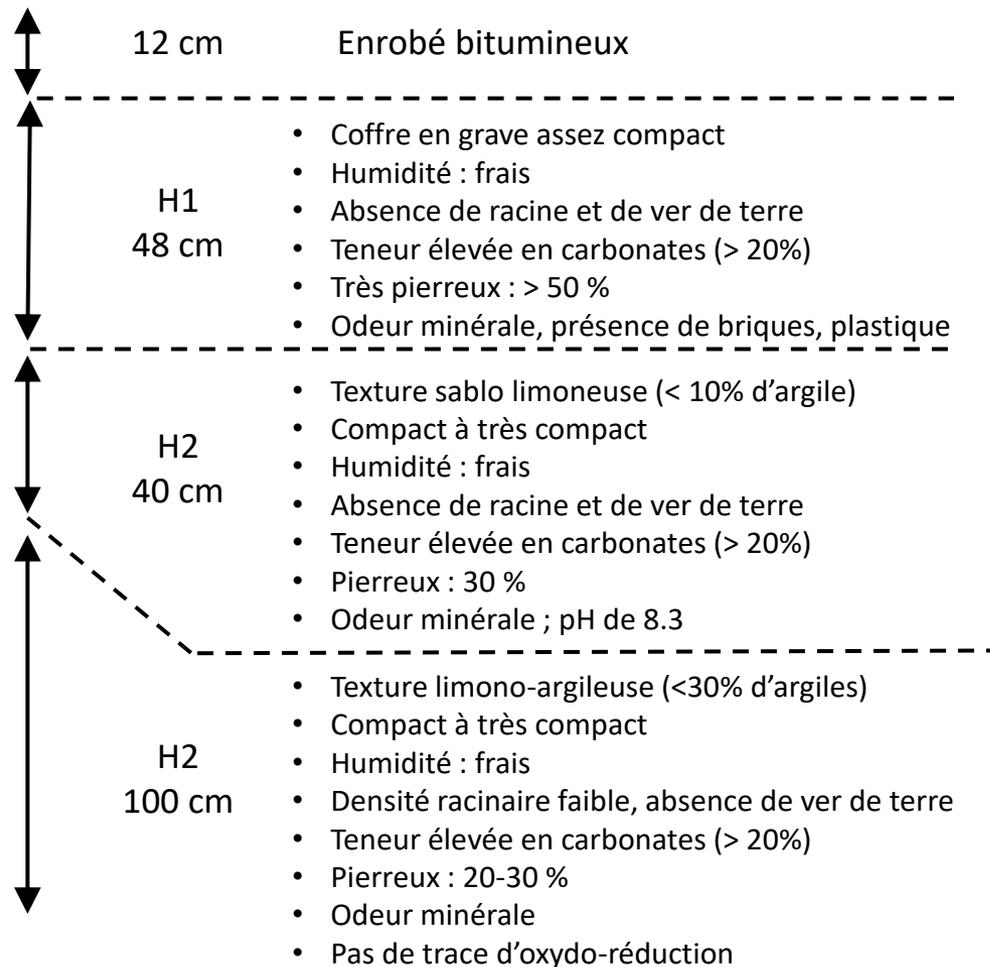


# Implantation des observations pédologiques

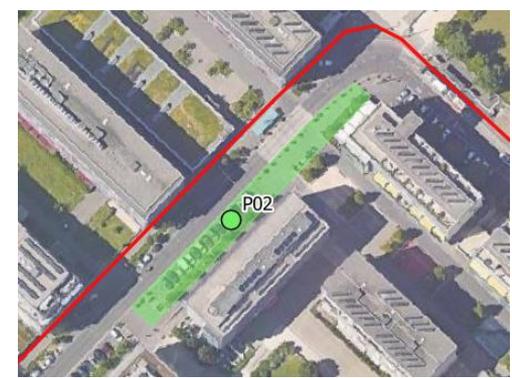
Profitant du chantier du CAD, 4 profils de sols ont été décrits le 1<sup>er</sup> et le 15 septembre ainsi que le 4 décembre 2023. Ces profils ont permis de distinguer 3 secteurs indiqués dans la carte suivante.



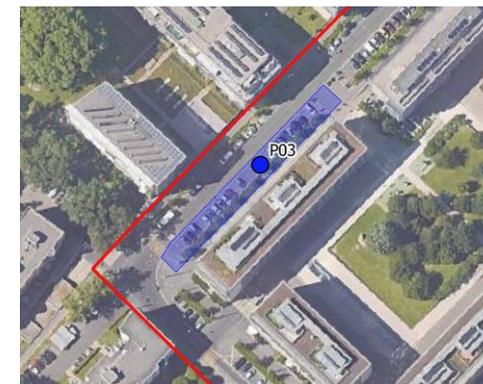
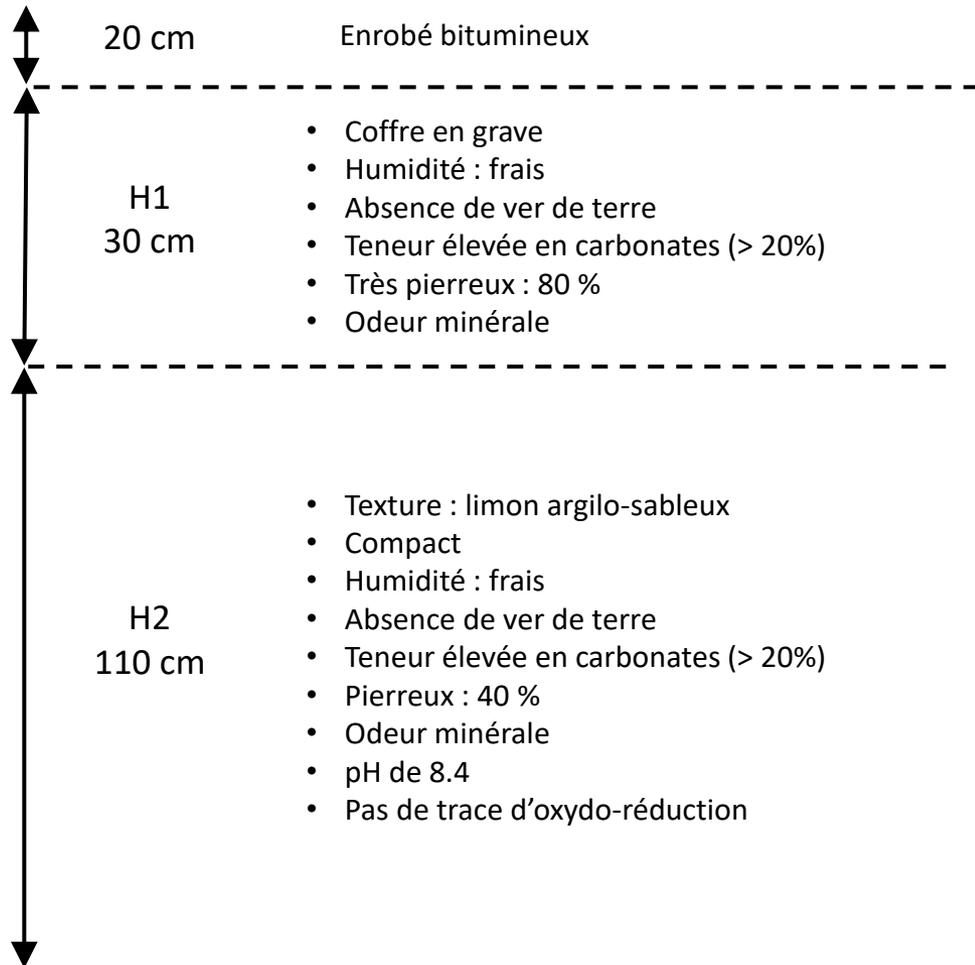
# Description du profil P02



Horizon	Atouts	Contraintes
H1	La texture grossière et la forte pierrosité permettent d'améliorer la portance et la porosité globale.	Très faible capacité de rétention en eau. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).
H2	La texture grossière et la forte pierrosité permettent d'améliorer la portance et la porosité globale.	Faible capacité de rétention en eau. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).
H3	Bonne capacité de rétention en eau.	Drainage lent. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).



# Description du profil P03



Horizon	Atouts	Contraintes
H1	La texture grossière et la forte pierrosité permettent d'améliorer la portance et la porosité globale.	Très faible capacité de rétention en eau. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).
H2	Bonne capacité de rétention en eau.	Drainage lent. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).

# Description du profil P04



20 cm

Enrobé bitumineux

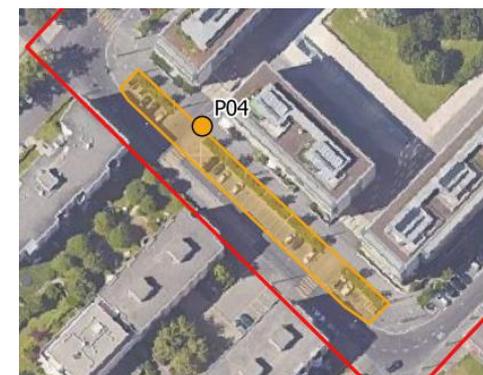
H1  
50 cm

- Coffre en grave
- Peu compact
- Humidité : frais
- Absence de ver de terre
- Teneur élevée en carbonates (> 20%)
- Très pierreux : 80 %

H2  
110 cm

- Texture argilo-sableuse (alternance de zones argileuses et sableuses)
- Compact à très compact
- Humidité : saturé
- Absence de ver de terre
- Teneur moyenne en carbonates (10- 20%)
- Pierreux : 30 %
- pH de 7.6
- Abondantes traces d'oxydation (> 40%)
- *A noter que la texture de cet horizon est assez variable côté bâti*

Horizon	Atouts	Contraintes
H1	La texture grossière et la forte pierrosité permettent d'améliorer la portance et la porosité globale.	Très faible capacité de rétention en eau. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).
H2	Bonne capacité de rétention en eau.	Drainage lent. Teneur élevée en carbonates (risque de chlorose ferrique).





# Dossier photo – profil P03



Dossier photo – profil P04



# Préconisations opérationnelles pour la reconstitution de sols fertiles

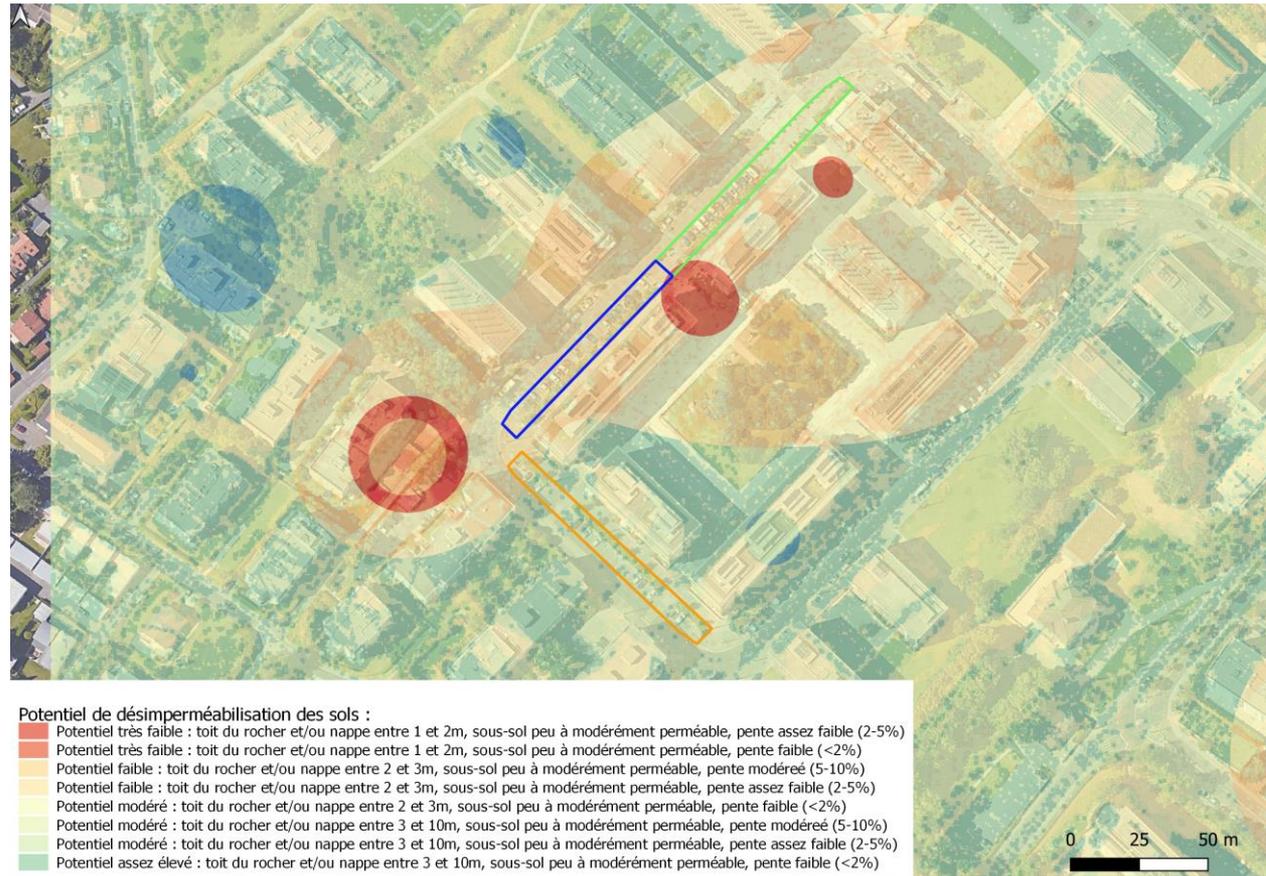


# Potentiel de désimperméabilisation des sols

La carte suivante indique le potentiel de désimperméabilisation des sols sur le quartier du Pommier. Elle est obtenue grâce à une analyse multicritère intégrant l'épaisseur de la zone non saturée, la profondeur d'apparition du toit du rocher, la perméabilité du sous-sol, la pente et la présence d'une construction souterraine. Cette analyse permet d'objectiver les observations de terrain décrites dans la partie précédente.

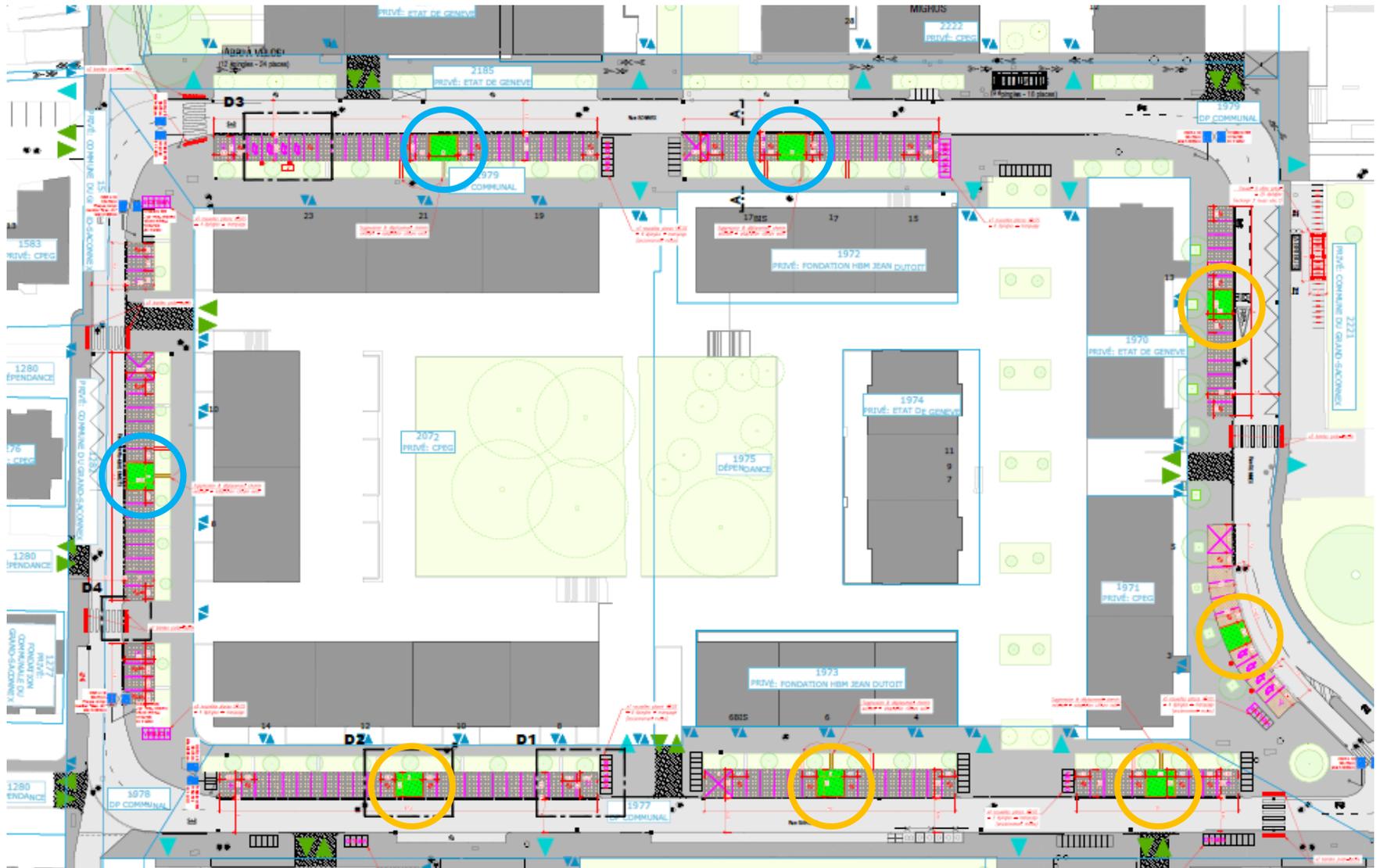
Selon les résultats de cette analyse, les surfaces scellées de la rue Sonnex présentent un potentiel de désimperméabilisation faible car la nappe phréatique se situe entre -2m et -3m de profondeur et que le sous-sol est peu perméable. Concernant la rue Alberto Giacometti, le potentiel modéré se justifie par le fait que la nappe est plus profonde (entre -3m et -10m).

Ces résultats sont cohérents avec nos observations de terrain, à savoir la présence d'un substrat à dominante limono-argileuse, donc peu perméable.



# Protocoles de renaturation des sols

Deux protocoles de renaturation des sols sont proposés. Le protocole de renaturation des sols n°1 concerne les 3 emplacements à végétaliser entourés en bleu sur le plan ci-dessous. Ce protocole a été défini au regard des modifications apportées par les travaux du CAD. Concernant les 5 emplacements restants (entourés en jaune) un deuxième protocole est proposé car les sols sous ces emplacements n'ont pas encore été modifiés par les travaux du CAD.



# Protocole de renaturation n°1



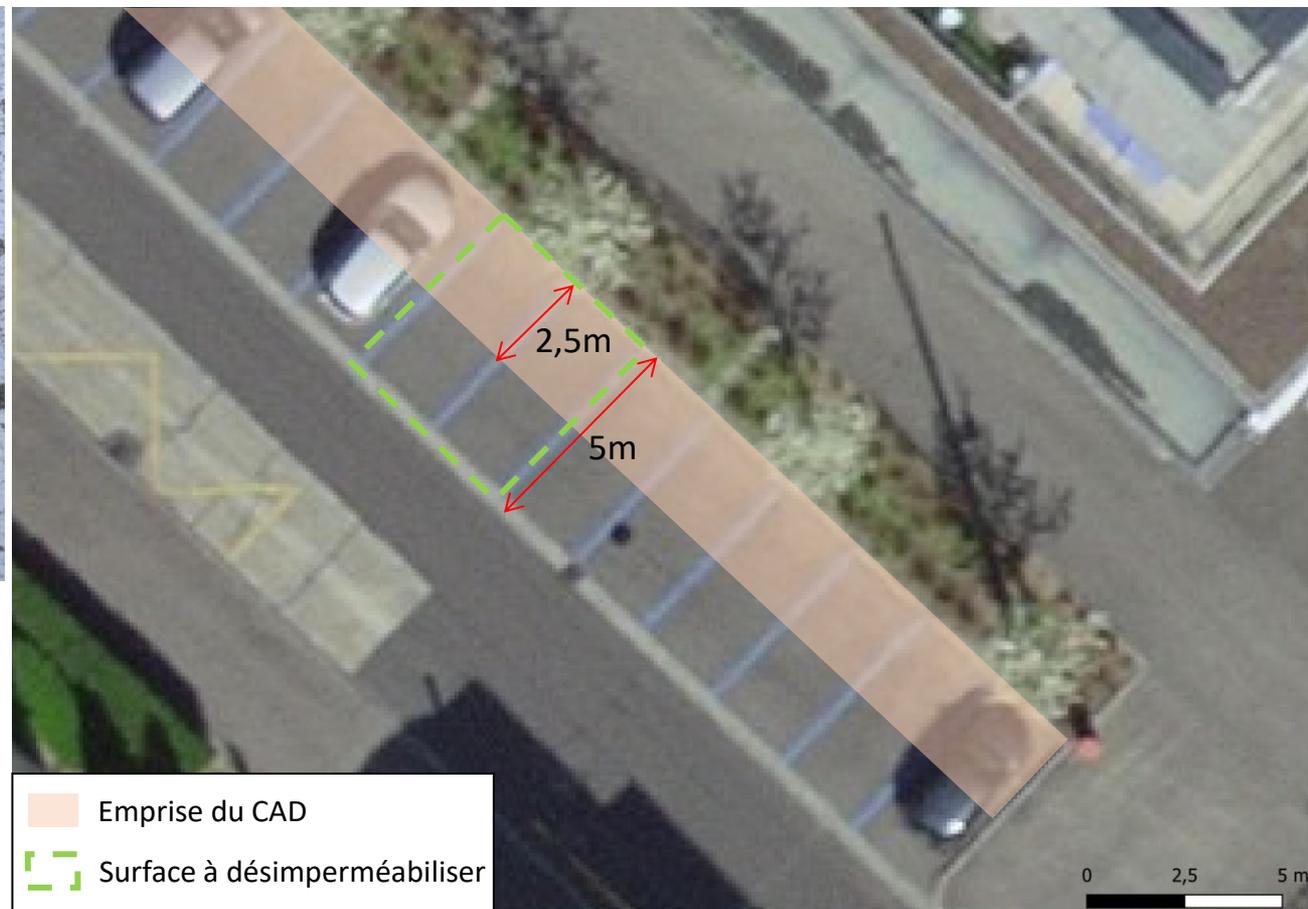
## Impact du CAD sur la reconstitution des sols

Il est important de rappeler que le tracé du CAD se superpose aux emprises à désimperméabiliser. Cette modification du tracé du CAD a un impact non négligeable sur le protocole de renaturation des sols. En effet, le tracé du CAD occupe à peu près la moitié de la largeur totale des places de parcs, soit 2,5m. Autrement dit, la totalité du volume de sol associé à l'emprise orangée (carte ci-dessous) est composée d'une grave sableuse dont la composition est identique au coffre observé sur les sondages P02, P03 et P04 décrits précédemment.

D'un point de vue agronomique, la présence de cette grave sableuse induit des conditions séchantes pour la végétation. Les espèces végétales ont donc été sélectionnées de manière à être résistantes au stress hydrique (xérophiles) et tolérantes au calcaire (calcicoles).



Grave sableuse composant le coffre

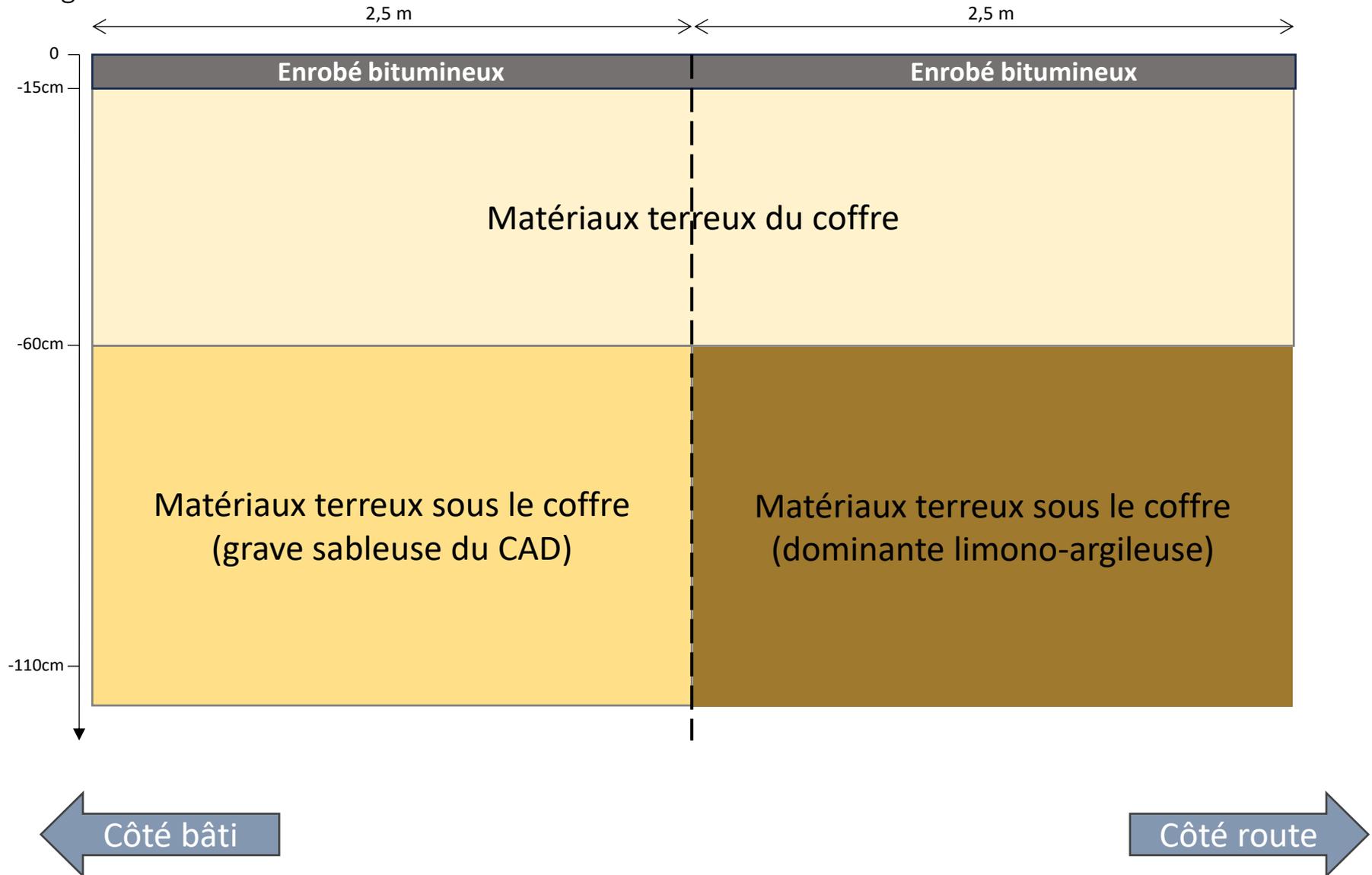


- Emprise du CAD
- Surface à désimperméabiliser

0 2,5 5 m

## Coupe de l'état actuel des sols

La coupe suivante permet d'expliquer graphiquement l'organisation du profil de sol sous les places de parc au vu des changements apportés par le CAD. L'épaisseur du coffre est variable le long de la rue Sonnex et la rue Alberto Giacometti, mais l'ensemble des zones concernées par le CAD présentent un profil de sol relativement homogène.



# Protocole de renaturation des sols n°1

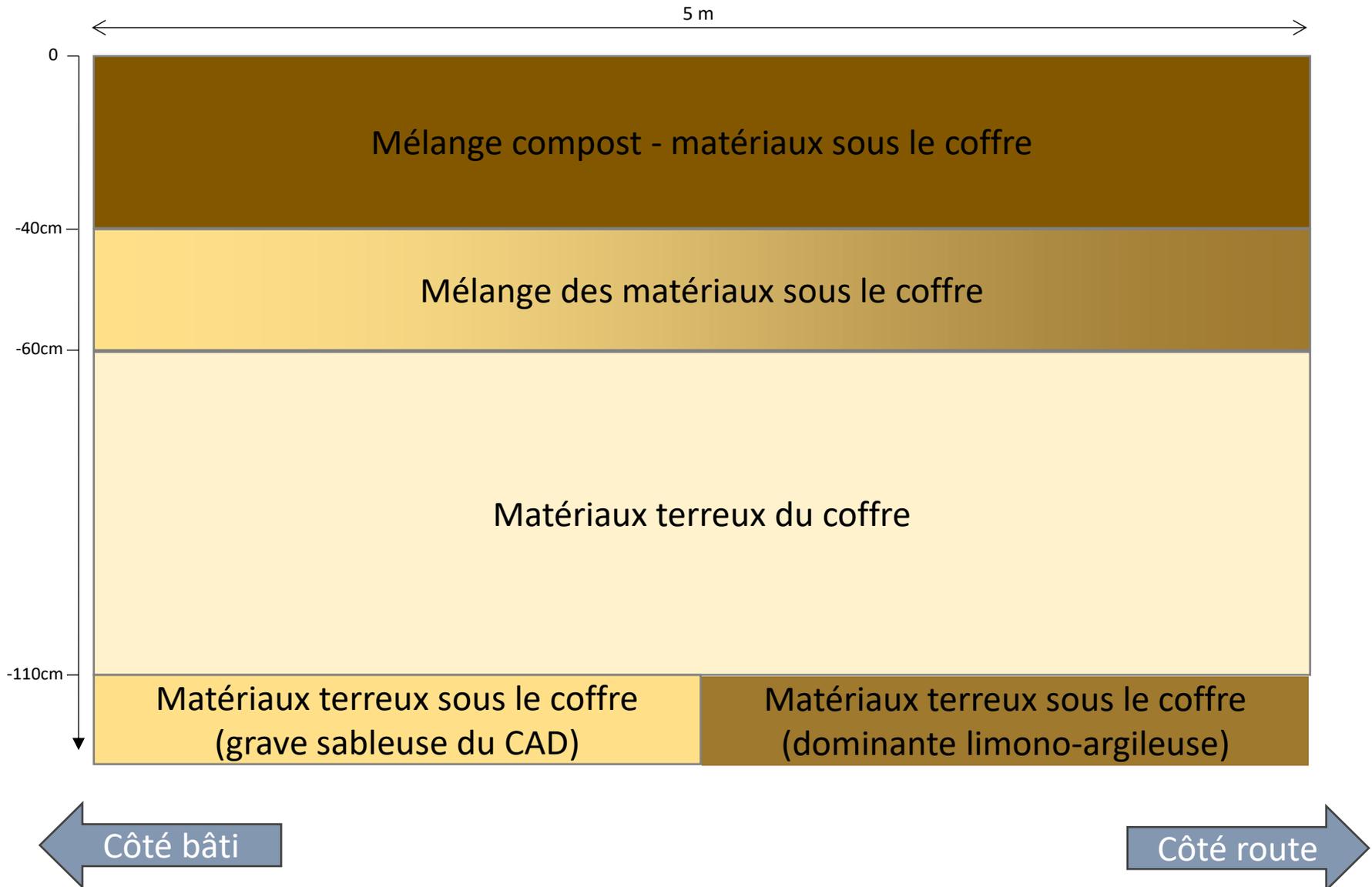
Le tableau suivant détaille les différentes étapes du protocole de renaturation des sols proposé pour le quartier du Pommier. Dans l'optique de faciliter la phase travaux, il a été décidé de ne proposer qu'un seul protocole applicable sur les 3 emplacements à végétaliser qui ont été remaniés par la mise en place du CAD. Ce positionnement se justifie par le fait que l'organisation du profil de sol reste globalement similaire sur l'ensemble du quartier. Des différences sont cependant observables concernant l'épaisseur des horizons ainsi que la teneur en argiles de l'horizon H2. Le monitoring des sols sur 5 ans permettra de vérifier si ces différences s'expriment au niveau du fonctionnement global des sols.

Description des étapes travaux	Métré (m2)	Métré (m3) *
Mise en place d'une benne pour stockage temporaire des dalles d'enrobé bitumineux (benne n°1).		20
Sciage de l'enrobé bitumineux à la scie diamant.	25	
Passage au marteau-piqueur pour fragmenter l'enrobé.	25	
Mise en benne des fragments d'enrobé.		4
Mise en place d'une benne pour le stockage des matériaux terreux du coffre (benne n°2).		20
Excavation des matériaux du coffre situé sous l'enrobé <b>sur 45cm d'épaisseur</b> (entre -15cm et -60cm de profondeur) à la pelle mécanique.	25	15
Vidages successifs des matériaux terreux du coffre vers la benne n°2.		16,25
Mise en place d'une benne pour le stockage des matériaux terreux situés sous le coffre (benne n°3).		20
Excavation des matériaux terreux situés sous le coffre <b>sur 50cm d'épaisseur</b> (entre -60cm et -110cm de profondeur) à la pelle mécanique.	25	16
Vidages successifs des matériaux terreux situés sous le coffre vers la benne n°3.		16
Mélange des matériaux de la benne n°3 par passages répétés du godet.		16
Grattage du fond de forme au godet à dent.	25	
Dépose des matériaux du coffre (benne n°2) entre -110cm et -60cm de profondeur.	25	15
Dépose d'une partie des matériaux de la benne n°3 entre -60cm et -40cm de profondeur.		
Mise en place d'une benne pour le stockage du compost (benne n°4) à proximité de la benne n°3.		20,00
Apport de compost mûr (60% de 0/10, 40% de 10/40, rapport MO/brut >25).		4,00
Prélèvement de la terre et du compost de leur benne respective à l'aide d'une pelle mécanique (10 To) équipée d'un <b>godet broyeur à étoile</b> .		12,00
Dépose du mélange criblé par le godet cribleur à étoile directement sur l'emprise de sol à reconstituer entre -40cm et 0cm de profondeur.	25	10,00
Compaction légère du mélange terre-compost.	25	
Plantation des espèces végétales sélectionnées.		
Arrosage sur l'ensemble de la surface de la séquence. Cet arrosage doit permettre de réhumecter au moins les 30 premiers cm.	25	

\* Tous les volumes sont exprimés pour des matériaux foisonnés.

# Coupe de l'état futur des sols

La coupe suivante permet d'expliquer graphiquement l'organisation du profil de sol après application du protocole de renaturation des sols n°1.

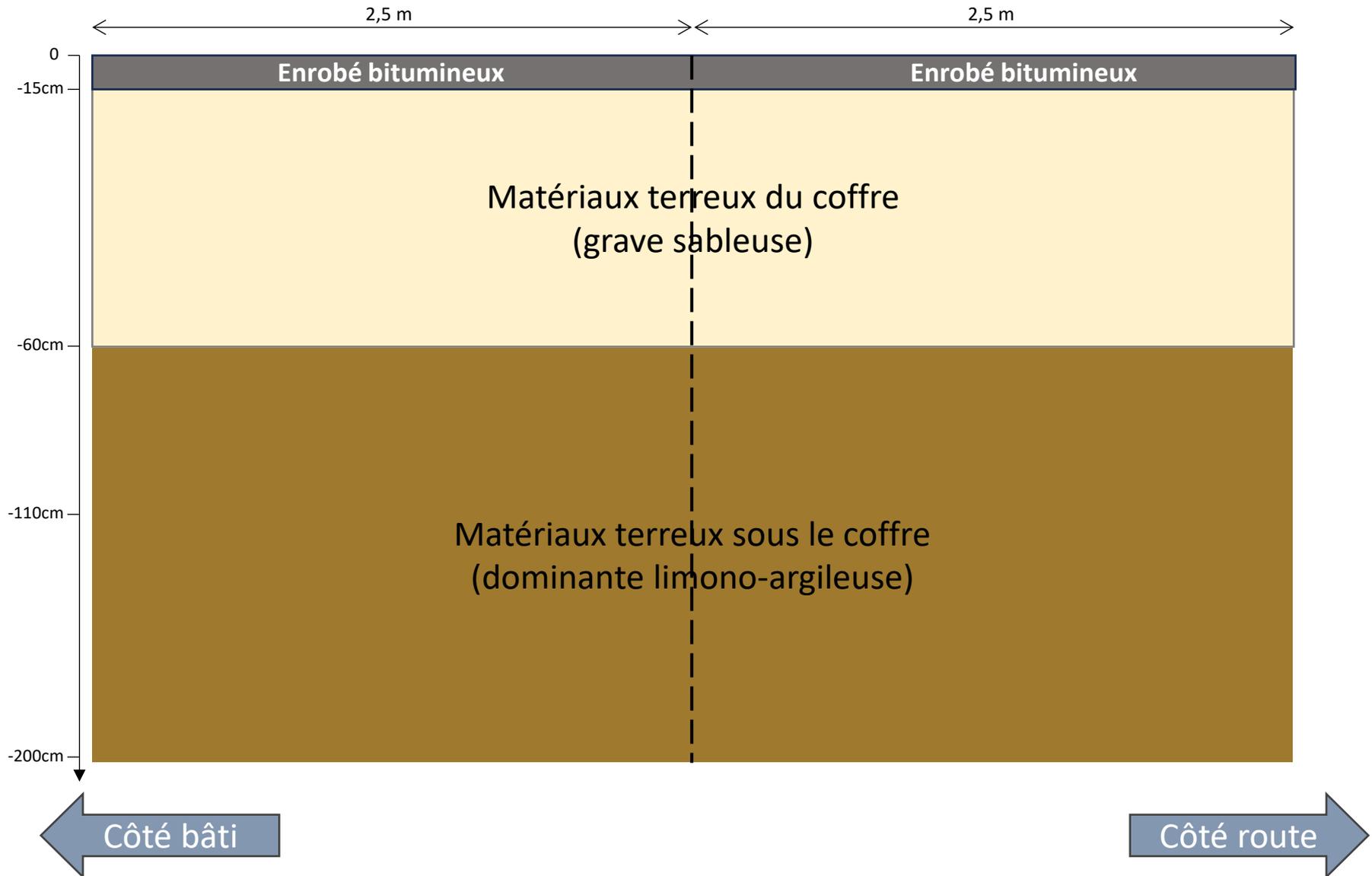


# Protocole de renaturation n°2



## Coupe de l'état actuel des sols

La coupe suivante permet d'expliquer graphiquement l'organisation du profil de sol sous les 5 emplacements qui n'ont pas encore été modifiés par le CAD. Nous partons de l'hypothèse que le profil de sol de la rue Gardiol est similaire à celui des rues Sonnex et Alberto Giacometti.



# Protocole de renaturation des sols n°2

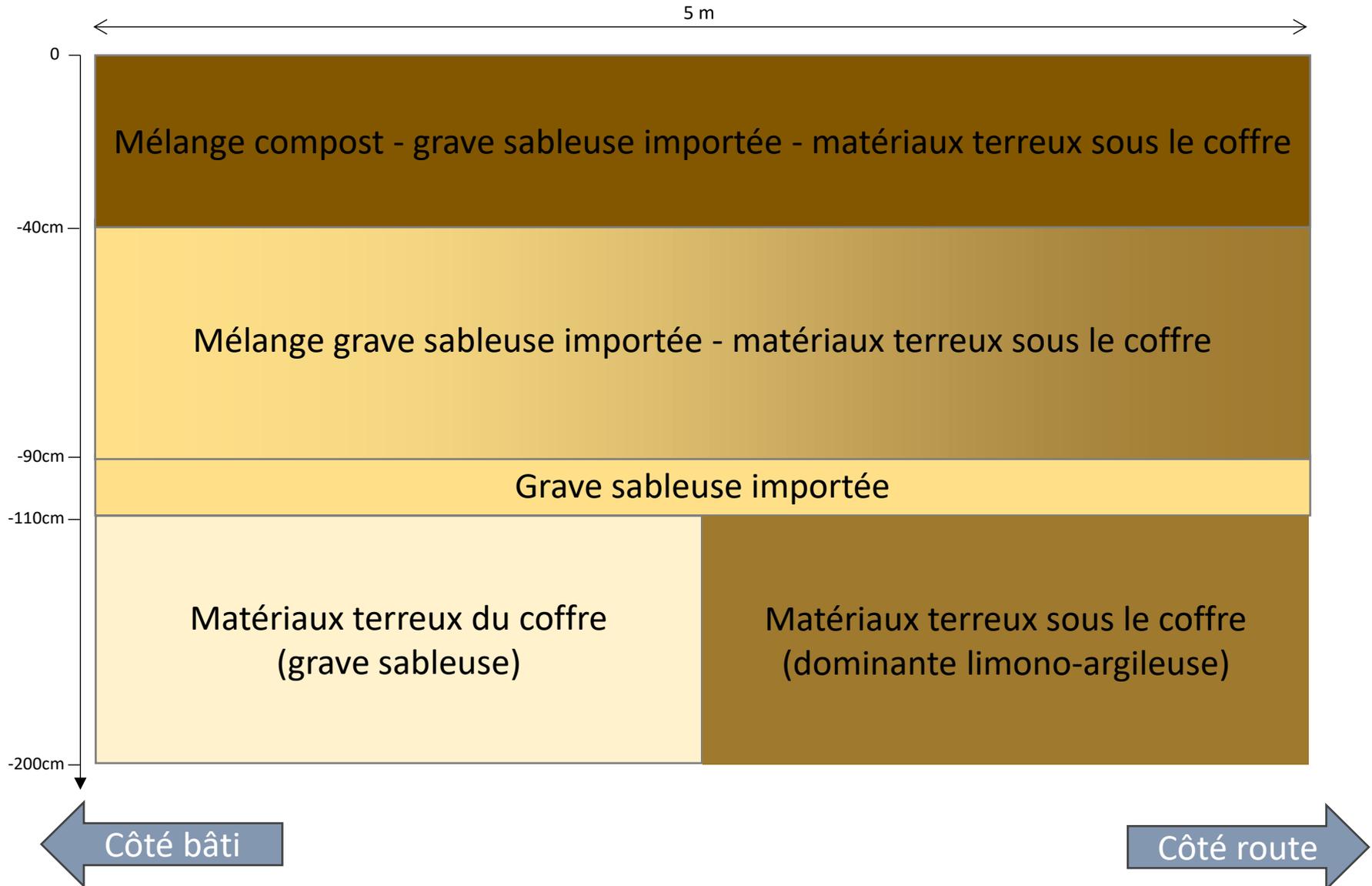
Le tableau suivant détaille les différentes étapes du protocole de renaturation des sols n°2. Dans l'optique de faciliter la phase travaux, il a été décidé de ne proposer qu'un seul protocole applicable sur l'ensemble des 5 emplacements concernés. Le monitoring des sols sur 5 ans permettra de vérifier si ces différences s'expriment au niveau du fonctionnement global des sols.

Description des étapes travaux	Métré (m2)	Métré (m3)*
Mise en place d'une benne de 20m3 pour stockage temporaire des dalles d'enrobé bitumineux (benne n°1).		
Sciage de l'enrobé bitumineux à la scie diamant.	25	
Passage au marteau-piqueur pour fragmenter l'enrobé.	25	
Mise en benne des fragments d'enrobé.		4
Mise en place d'une benne de 20m3 pour le stockage des matériaux terreux du coffre (benne n°2).		
Excavation des matériaux du coffre situé sous l'enrobé <b>sur 45cm d'épaisseur</b> (entre -15cm et -60cm de profondeur) à la pelle mécanique et mise en stock dans la benne n°2.	25	15
Mise en place d'une benne de 20m3 pour le stockage des matériaux terreux situés sous le coffre (benne n°3).		
Excavation des matériaux terreux situés sous le coffre <b>sur 50cm d'épaisseur</b> (entre -60cm et -110cm de profondeur) à la pelle mécanique et mise en stock dans la benne n°3.	25	16
Excavation des matériaux terreux situés sous le coffre <b>sur 90cm d'épaisseur</b> (entre -110cm et -200cm) à la pelle mécanique pour mise en place du CAD. Cette creuse ne concerne que la moitié de l'emprise de l'emplacement à végétaliser. Une deuxième benne sera sûrement nécessaire (benne n°4).	12,5	15
Dépose des matériaux du coffre (benne n°2) entre <b>-200cm et -110cm</b> de profondeur pour combler la tranchée du CAD. Ce comblement ne concerne que la moitié de l'emprise de l'emplacement à végétaliser.	12,5	15
Grattage du fond de forme au godet à dent sur la partie non concernée par le CAD.	12,5	
Apport de grave sableuse pour créer une sous-couche drainante et un mélange avec les matériaux terreux situés sous le coffre. Stockage de cette grave sableuse dans la benne n°2.		20
Dépose de la grave sableuse importée en fond de tranchée entre <b>-110cm et -90cm</b> de profondeur pour créer une sous-couche drainante sur l'ensemble de la surface de l'emplacement.		7
Mélange du reste de la grave sableuse importée avec les matériaux terreux situés sous le coffre (bennes n°3 et 4) par passages répétés du godet. L'objectif est "d'alléger" la texture limono-argileuse de ces matériaux.		34
Prélèvement du mélange grave sableuse importée - matériaux terreux situés sous le coffre à l'aide d'une pelle mécanique (10 To) équipée d'un <b>godet broyeur à étoile</b> .		16
Dépose du mélange grave sableuse importée - matériaux terreux situés sous le coffre entre <b>-90cm et -40cm</b> de profondeur.	25	16
Apport de compost mûr (60% de 0/10, 40% de 10/40, rapport MO/brut >25) et mise en place dans une benne de 20m3.		5
Prélèvement de la terre et du compost de leur benne respective à l'aide d'une pelle mécanique (10 To) équipée d'un <b>godet broyeur à étoile</b> .		13
Dépose du mélange criblé par le godet cribleur à étoile directement sur l'emprise de sol à reconstituer entre <b>-40cm et 0cm</b> de profondeur.	25	13
Compaction légère du mélange terre-compost.	25	
Plantation des espèces végétales sélectionnées.		
Arrosage sur l'ensemble de la surface de la séquence. Cet arrosage doit permettre de réhumecter au moins les 30 premiers cm.	25	

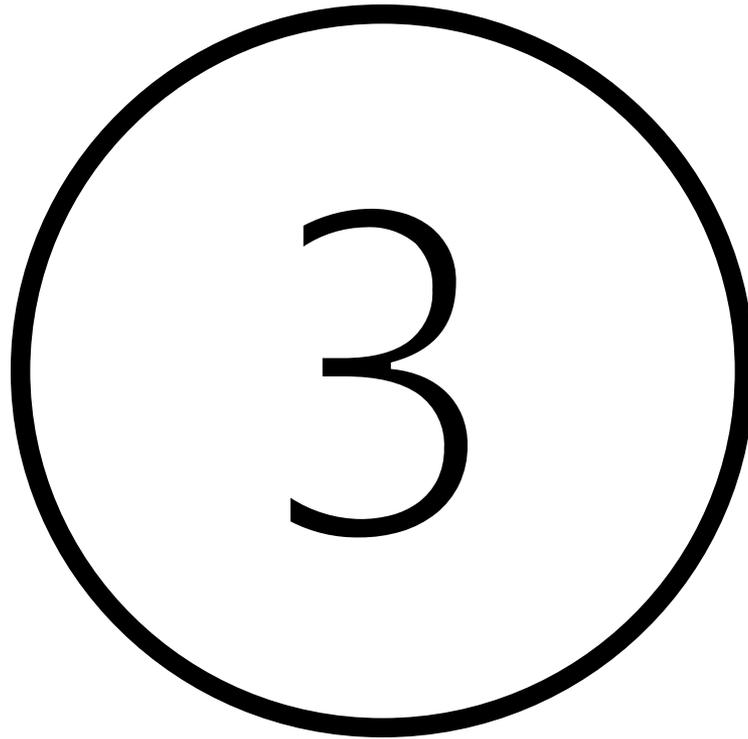
\* Tous les volumes sont exprimés pour des matériaux foisonnés.

## Coupe de l'état futur des sols

La coupe suivante permet d'expliquer graphiquement l'organisation du profil de sol après application du protocole de renaturation des sols n°2.



# Proposition de palette végétale



# Palette végétale

Une proposition de palette végétale a été réalisée sur la base de données d'autécologie. Ces données sont issues d'un travail de fond croisant plusieurs sources bibliographiques afin de connaître les conditions de développement des végétaux en milieu naturel. L'utilisation de ces données permet de vérifier que les espèces de la palette végétale se développent naturellement sur des sols similaires aux sols reconstitués sur le quartier du Pommier.

Trois typologies végétales ont été considérées : les sédums, vivaces et arbustes/arbres. Pour chacune de ces catégories, deux critères de sélection ont surtout été utilisés :

- **La tolérance au stress hydrique.** En effet, les zones renaturées demeurent entourées d'enrobé bitumineux, ce qui participe à augmenter la température de surface, et donc, le phénomène d'évaporation de l'eau contenue dans les premiers centimètres du sol.
- **La tolérance aux sols riches en calcaire.** En effet, les matériaux terreux réemployés pour reconstituer les sols présentent une teneur élevée en calcaire total (> 40%) ce qui peut limiter le développement de certaines espèces.

Les tableaux présentés en pages suivantes renseignent les différentes espèces végétales proposées. Une partie de ces espèces ont été sélectionnées par le Service des Parcs.

Sédums		
Espèce (nom commun)	Essence (nom latin)	Hauteur moyenne (en cm)
Orpin âcre	Sedum acre	3-15
Orpin blanc	Sedum album	8-20
Orpin des rochers	Sedum rupestre	30
Orpin doux	Sedum sexangulare	5-20

## Palette végétale (suite)

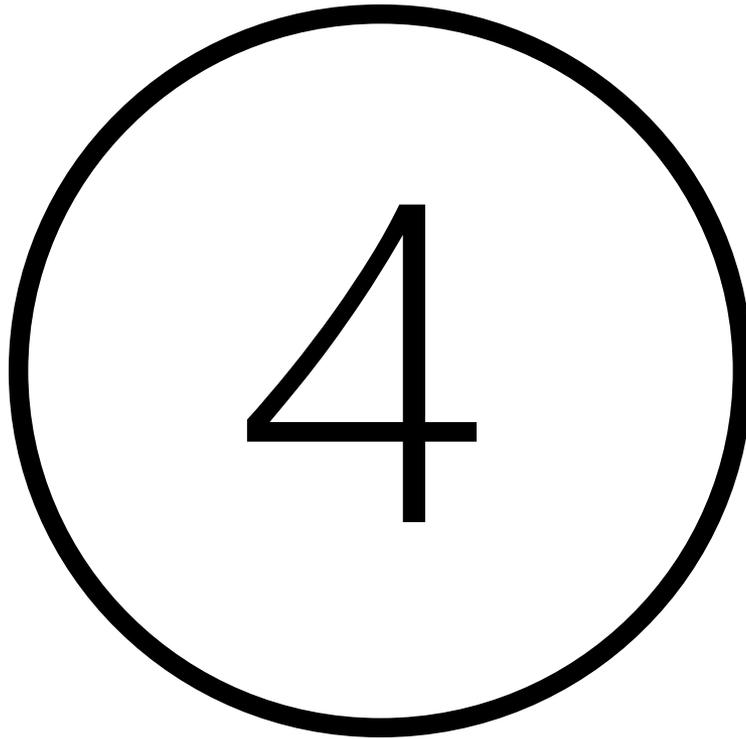
Vivaces		
Essence (nom commun)	Essence (nom latin)	Hauteur moyenne (en cm)
Luzerne lupuline	<i>Medicago lupulina</i>	30–60
Hélianthème nummulaire	<i>Helianthemum nummularium</i>	10–30
Gaillet jaune	<i>Galium verum</i>	30–100
Muscari à grappe	<i>Muscari racemosum</i>	10–20
Silène enflée	<i>Silene vulgaris</i>	20–80
Carotte sauvage	<i>Daucus carota</i>	30–100
Crépis à tiges capillaires	<i>Crepis capillaris</i>	20–50
Oeillet des chartreux	<i>Dianthus carthusianorum</i>	30–60
Euphorbe petit-cyprès	<i>Euphorbia cyparissias</i>	10–40
Fétuque ovine	<i>Festuca ovina</i>	10–30
Globulaire allongée	<i>Globularia bisnagarica</i>	5–15
Koelérie à grandes fleurs	<i>Koeleria macrantha</i>	20–60
Linaire commune	<i>Linaria vulgaris</i>	30–60
Lin à feuilles menues	<i>Linum tenuifolium</i>	30–50
Mauve alcée	<i>Malva alcea</i>	50–150
Bugrane épineuse	<i>Ononis spinosa</i>	30–80
Origan	<i>Origanum vulgare</i>	30–60
Petrorragie saxifrage	<i>Petrorragia saxifraga</i>	10–30
Potentille printanière	<i>Potentilla verna</i>	10–30
Réséda jaune	<i>Reseda lutea</i>	20–50
Sagine couchée	<i>Sagina procumbens</i>	2–10
Saponaire faux basilic	<i>Saponaria ocymoides</i>	10–30
Germandrée petit-chêne	<i>Teucrium chamaedrys</i>	15–40
Verveine officinale	<i>Verbena officinalis</i>	30–70

## Palette végétale (suite)

### Arbustes / arbres

Essence (nom commun)	Essence (nom latin)	Hauteur moyenne (en cm)
Cormier	<i>Sorbus domestica</i>	1ère grandeur (>20m)
Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>	1ère grandeur (>20m)
Chêne rouvre / Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	1ère grandeur (>20m)
Chêne chevelu	<i>Quercus cerris</i>	1ère grandeur (>20m)
Arbousier	<i>Arbutus unedo</i>	3ème grandeur (10-15m)
Charme houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	3ème grandeur (10-15m)
Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	3ème grandeur (10-15m)
Érable à feuilles d'obier, Érable d'Italie	<i>Acer opalus</i>	4ème grandeur (7-10m)
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	4ème grandeur (7-10m)
Cytise Faux ébénier Aubour	<i>Laburnum anagyroides</i>	4ème grandeur (7-10m)
Aubépine à un style	<i>Crataegus monogyna</i>	4ème grandeur (7-10m)
Baguenaudier Arbre à vessies	<i>Colutea arborescens</i>	5ème grandeur (<7m)
Cerisier de Sainte-Lucie	<i>Prunus mahaleb</i>	5ème grandeur (<7m)
Prunellier Épine noire	<i>Prunus spinosa</i>	5ème grandeur (<7m)
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	5ème grandeur (<7m)
Argousier Saule épineux	<i>Hippophae rhamnoides</i>	5ème grandeur (<7m)

# Suivi de chantier



# Suivi de chantier

La frise ci-dessous indique les dates d'intervention de TeraSol pour le suivi de chantier. Les interventions de février et mars 2024 ont permis de tester et valider la méthodologie proposée dans le cahier des charges de l'entreprise. Nous faisons notamment référence à l'utilisation du godet cribleur à étoile qui représente une véritable innovation technique pour opérer un mélange terre-compost le plus fin possible. Ce projet nous a permis de valider la pertinence d'utiliser ce matériel pour la reconstitution d'un horizon organique de surface.

13/02/2024  
↓

07/03/2024  
↓

20/03/2024  
↓

18/04/2024  
↓

22/04/2024  
↓

20/06/2024  
↓



*Mise en application du godet cribleur à étoile*



*Mélange terre-compost obtenu*

## Suivi de chantier – étapes travaux – 18.04.24

Les interventions d'avril 2024 ont permis de renseigner précisément l'ensemble des étapes relatives à la reconstitution des sols. Ces étapes sont détaillées dans les pages suivantes.

1) Décapage des matériaux sur 60cm de profondeur.

*Présence d'enrobé bitumineux vers 60-70cm de profondeur  
→ évacuation de ces matériaux.*



2) Dépôt des matériaux dans une benne.



3) De 60 à 110cm de profondeur, décapage de :

- Matériaux terreux (grave sableuse venant de la CAD) sur 2 m de longueur et évacuation des matériaux dans la benne 2.
- Matériaux terreux limono-argileux sur 3 m de longueur et évacuation des matériaux dans la benne 3.



- 4) Grattage du fond de forme avec le godet jusqu'à 110cm de profondeur.
- 5) Dépose des matériaux de coffrage situés dans la benne 2 entre 110 et 60cm de profondeur.



Des matériaux de sous-sol situés à Rue Sonnex 5 ont été ajoutés dans la benne 3. Ces matériaux comportent les mêmes caractéristiques pédologiques que les matériaux excavés *in situ*. Un ajout supplémentaire de terre végétale venant d'un îlot a également été réalisé.



Matériaux de sous-sol  
ajouté dans la benne  
venant de rue Sonnex 5

Terre végétale  
ajouté depuis un  
îlot situé dans la  
rue Sonnex 5

Matériaux limono-  
argileux décapé  
dans le P02

- 6) Dépose à part égale des matériaux des bennes 2 et 3 (matériaux terreux de coffrage + matériaux argilo-limoneux) entre -60 et -40cm (50/50) avec le godet cribleur à étoiles afin d'homogénéiser les matériaux terreux.



- 7) Dépose d'un compost mûr provenant de la compostière de Bernex (Site du Châtillon) dans la benne 3.



Compost

Mx argilo-limoneux  
(sous le coffre)

8) Mélange avec le godet cribleur à étoile directement dans la benne.

Résultat après le mélange :

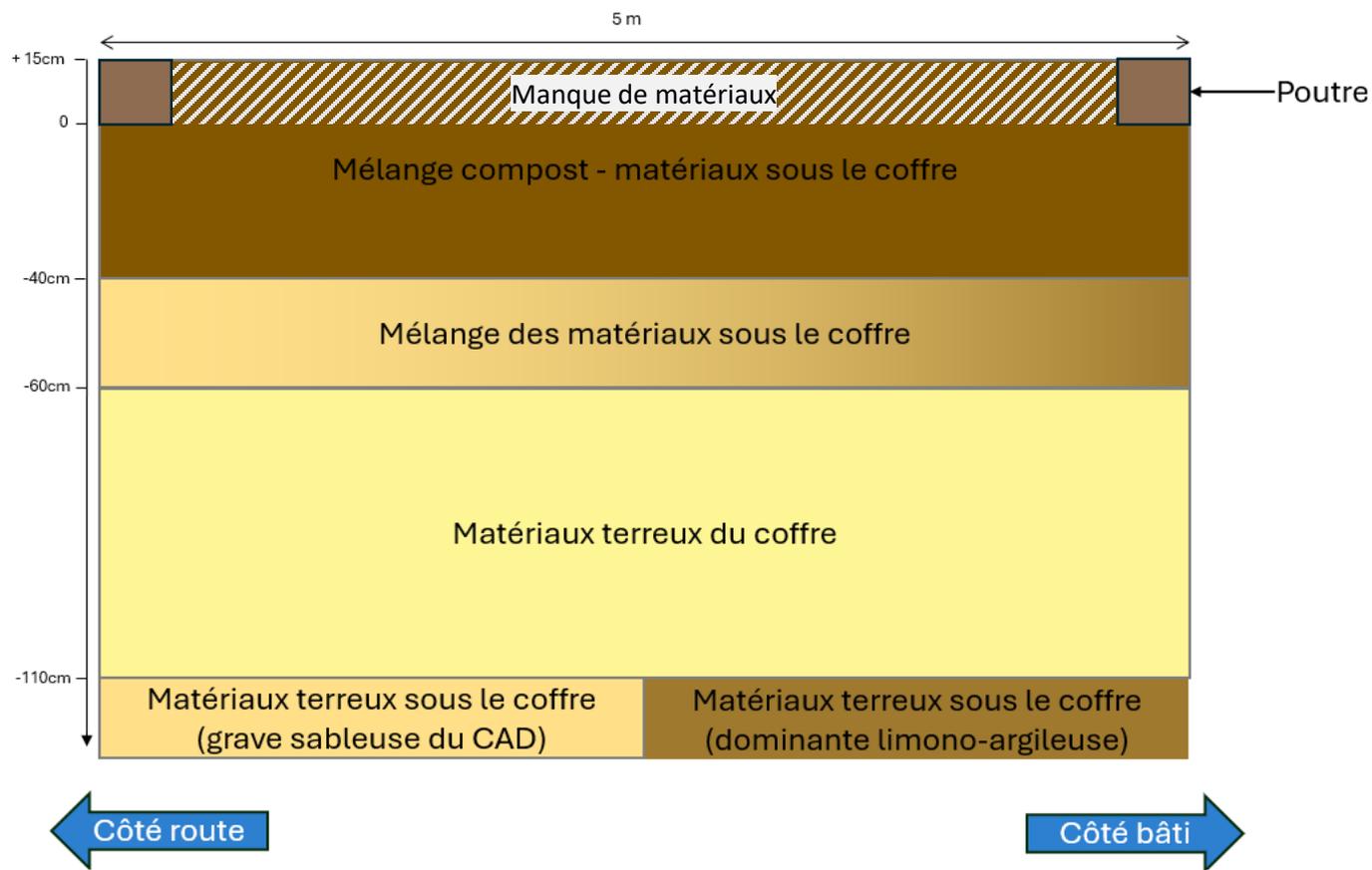


9) Dépose du mélange compost – matériaux argilo-limoneux dans la fosse.

10) Ajout des matériaux issus du coffrage dans la fosse.

11) Mélange de l'ensemble des matériaux dans la fosse, entre -40 cm et + 15 cm, à l'aide du godet cribleur.

Profil de sol obtenu à l'issue des travaux :



Remarque :

L'enlèvement de l'enrobé bitumineux et l'ajout de poutres (15cm d'épaisseur) induisent un manque de matière pour revenir au niveau. **Un apport supplémentaire de matériaux terreux de 8 m<sup>3</sup>** est nécessaire pour revenir au niveau des poutres en bois. Cet apport supplémentaire de matière devra être anticipé pour les prochaines surfaces végétalisées.

# Indicateurs pour le suivi pédologique



# Objectifs scientifiques

D'un point de vue pédologique, les sols reconstitués au cours de ces travaux entrent dans la catégorie des technosols ou anthroposols construits (Baize et Girard 2009 ; IUSS Working Group WRB 2022).

Deux protocoles différents ont été appliqués, donnant naissance à deux profils de sol différents. Certaines zones ayant été préalablement modifiées par les travaux du chauffage à distance, et d'autres non (TeraSol 2024).

L'objectif de ces opérations de génie pédologique était d'obtenir des technosols ayant une fonctionnalité la plus proche possible de sols naturels, et en particulier de permettre la croissance de la végétation et l'infiltration des eaux de pluie. D'autres services écosystémiques attendus des sols urbains sont la diminution de l'îlot de chaleur (par évapotranspiration) le stockage de carbone, l'épuration des eaux et de servir d'habitat pour la biodiversité (O'Riordan et al., 2021).

La fonctionnalité écosystémique des technosols construits se développe lentement, sous l'action de l'activité biologique et de la variabilité climatique (Vidal-Beaudet et al., 2016 ; Deeb et al., 2017 ; Jangorzo et al., 2018 ; El Farricha 2022). Les processus impliqués sont en particulier l'agrégation et la formation de la porosité, la minéralisation de la matière organique et son incorporation dans le complexe argilo-humique, la modification du pH et la modification de la disponibilité en phosphore.

Néanmoins, la vitesse de mise en place des fonctions écosystémiques et l'influence des matériaux de départ sont mal connues (Durand et al., 2024 ; Rees et al., 2019 ; Rokia 2014). Afin de s'assurer du bon développement des services écosystémiques dans les technosols construits du quartier du Pommier, nous souhaitons mettre en place un programme de suivi pluri-annuel. Les valeurs obtenues pourront ensuite être comparées aux valeurs typiquement mesurées dans les sols naturels.



# Protocole expérimental

Pour atteindre ces objectifs, nous suivrons plusieurs indicateurs sélectionnés dans la littérature scientifique pour leur lien avec les services écosystémiques rendus par les sols urbains (Deeb et al., 2020 ; Greiner et al., 2018 ; Rabot et al., 2018 ; Séré et al., 2023). Ces indicateurs sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètres	Processus et fonctions écosystémique	Service écosystémique
Conductivité à saturation (essai Porchet)	Agrégation	Infiltration de l'eau
Densité apparente et porosité	Agrégation	Infiltration de l'eau, fertilité physique, habitat pour la biodiversité
Stabilité structurale	Agrégation	Fertilité physique
Teneur en matière organique	Agrégation, minéralisation	Stockage de carbone, fertilité chimique
pH <sub>eau</sub>	--	Fertilité chimique, habitat pour la biodiversité
Teneur en carbonates, texture	Décarbonatation, lessivage	--
Pools de matière organique par pyrolyse RockEval	Agrégation, minéralisation	Stockage de carbone, fertilité chimique
P disponible (AAE10 ou Olsen)	--	Fertilité chimique
Capacité d'échange cationique	Mise en place du complexe argilo-humique	Fertilité chimique
Abondance et diversité des vers de terre	Colonisation par les macro-organismes	Habitat pour la biodiversité

Ces indicateurs seront mesurés une fois par an pendant cinq ans (2025-2029), en mars-avril, sur une profondeur de 0-40 cm . Des mesures indépendantes seront réalisées sur les deux types de technosols construits.

Pour les paramètres chimiques, un échantillon composite sera réalisé sur chacune des placettes. Pour les paramètres physiques, trois répliques seront réalisés sur des placettes différentes. Dans le cas où plus de trois placettes présentent le même type de sol (cercles jaunes sur la carte), nous prendrons trois placettes ayant des expositions différentes, afin de maximiser la prise en compte de la variabilité dans la mesure.

Nous analyserons ensuite l'évolution temporelle des variables mesurées et nous les comparerons aux valeurs typiquement observées sur les sols naturels dans les bases de données Suisses ou européennes (NABODAT ; RMQS ; LUCAS SOIL ; Deluz et al., 2024 ; Gupta et al., 2018 ; Panagos et al., 2024).

# Références bibliographiques

- Baize, D., Girard, M.C. (2009). *Référentiel Pédologique 2008*. Editions Quae (405 pp.).
- Deeb, M., Desjardins, T., Podwojewski, P., Pando, A., Blouin, M., & Lerch, T. Z. (2017). Interactive effects of compost, plants and earthworms on the aggregations of constructed Technosols. *Geoderma*, 305, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.014>
- Deeb, M., Groffman, P. M., Blouin, M., Perl Egenderf, S., Vergnes, A., Vasenev, V., Cao, D., Walsh, D., Morin, T., & Séré, G. (2020). Using constructed soils for green infrastructure – challenges and limitations. *Soil, European Geosciences Union (EGU)*, 6(2), 413–434. <https://doi.org/10.5194/soil-6-413-2020>
- Deluz, C., Sebag, D. Verrecchia, E., Boivin, P. (2024) Soil organic matter thermal pools as influenced by depth, tillage, and soil texture – A Rock-Eval® analysis study on the cropland soils of the Swiss Plateau. *Geoderma*, 445, 16871. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116871>
- Durand, M., Le Guyader, N., Gervais, J., Czarnes, S., & Pommier, T. (2024). N-microbial properties are key indicators of fertility in maturing technosols constructed for urban landscapes. *Ecological Indicators*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112563>
- El Farricha, S. (2022). *Fabrication d'agrégats à partir de déchets : recherche sur l'incorporation d'argiles réactives dans des matériaux dédiés aux filières de construction de sol* [Université de Limoges]. <https://theses.hal.science/tel-04520985>
- Gupta, S., Hengl, T., Lehmann, P., Bonetti, S., & Or, D. (2021). SoilKsatDB: global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. *Earth System Science Data*, 13, 1593–1612. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3752721>
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition*. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Jangorzo, N. S., Watteau, F., Schwartz, C., & Schwartz Ranking, C. (2018). Ranking of wetting-drying, plant, and fauna factors involved in the structure dynamics of a young constructed Technosol. *Journal of Soils and Sediments*, 18(9). <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1968-5>
- O'Riordan, R., Davies, J., Stevens, C., Quinton, J. N., & Boyko, C. (2021). The ecosystem services of urban soils: A review. *Geoderma*, 395. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115076>
- Panagos, P., De Rosa, D., Liakos, L., Labouyrie, M., Borrelli, P., & Ballabio, C. (2024). Soil bulk density assessment in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108907>
- TeraSol (2024) Quartier du Pommier, Grand-Saconnex, Expertise Agro-Pédologique
- Vidal-Beaudet, L., Rokia, S., Nehls, T., & Schwartz, C. (2016). Aggregation and availability of phosphorus in a Technosol constructed from urban wastes. *Journal of Soils and Sediments*, 18(2), 10. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1469-3>
- Greiner, L., Keller, A., Grêg-Regamey, A., & Papritz, A. (2018). Soil function assessment methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*, 69, 224–237.
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H.-J., Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H.-J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review Soil structure as an indicator of soil functions: A review Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- Rees, F., Dagois, R., Derrien, D., Fiorelli, J. L., Watteau, F., Morel, J. L., Schwartz, C., Simonnot, M. O., & Séré, G. (2019). Storage of carbon in constructed technosols: in situ monitoring over a decade. *Geoderma*, 337, 641–648. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.009>
- Rokia, S. (2014). *Contribution à la modélisation du processus d'agrégation et du transfert d'éléments nutritifs dans des Technosols construits à partir de déchets*. Université de Lorraine.
- Séré, G., Le Guern, C., Bispo, A., Layet, C., Ducommun, C., Clesse, M., Schwartz, C., & Vidal-Beaudet, L. (2023). Selection of soil health indicators for modelling soil functions to promote smart urban planning. *Science of the Total Environment*, 924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171347>