



Test bêche sur une parcelle d'essai à Cessy, sur le site du CERN. Un mélange de 15 espèces a été semé (luzerne, trèfle violet, trèfle blanc, trèfle d'Alexandrie, lotier corniculé, ray-grass tardif, avoine commune, fétuque des prés...) sur un mélange composé à 70% (en volume) de molasse et 30% de compost de déchets verts.

La fabrique du sol

Afin de préserver les terres végétales, les technosols construits localement à partir de composts et de matériaux d'excavation sont une solution pour la mise en place d'espaces verts urbains. De nombreuses recherches sont en cours, ayant à terme l'objectif de proposer des processus de fabrication à grande échelle de ces sols artificiels. Visite de deux sites, à Lausanne et en France voisine, qui expérimentent ces procédés. Texte et photos: Alain-Xavier Wurst

Sous nos latitudes, il faut environ un siècle pour former 1 cm de sol. Avec cet ordre de grandeur à l'esprit, on comprend aisément les enjeux liés à la préservation du sol. Pour cette raison, un nombre grandissant de travaux scientifiques s'intéressent à la fabrication de sols artificiels, ou «technosols», à partir de matériaux d'excavation mélangés à des matières organiques. À l'occasion des 17^e journées d'études des sols, organisées début juillet à la Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture (HEPIA) de Genève, la visite de deux sites a permis d'illustrer les recherches en cours et leurs applications pratiques: la berme de l'avenue du Grey à Lausanne et la plateforme d'essais «Open Sky Laboratory» (OSL) du CERN à Cessy, en France voisine, à quelques kilomètres de la frontière genevoise.

Organisme européen de recherche sur le nucléaire, le CERN étudie la faisabilité d'un nouvel accélérateur de particules à l'horizon 2035. À cheval sur la Suisse et la France,

d'une circonférence de 90,6 km, il serait enfoui à 200 mètres sous terre. Si ce projet voit le jour, ce ne sont pas moins de 6 millions de m³ de matériaux qui seront excavés, composés à 95 % de molasse. «Le CERN a lancé en 2021 un concours international pour trouver des méthodes innovantes de réutilisation à l'échelle industrielle de la molasse. Cette formation géologique s'étale de la France jusqu'en Hongrie, en passant par la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche. Ces méthodes ne seraient pas simplement intéressantes pour le futur accélérateur, mais également pour tous les autres chantiers d'excavation alpins», explique la physicienne Luisa Ulrici, directrice-adjointe du Groupe Environnement du CERN et cheffe de projet de l'OSL.

Créer un complexe organo-minéral

L'une des propositions retenues du concours est de revaloriser les terres excavées à travers la fabrication de technosols. Ceux-ci se structurent en trois horizons: drainage,

support et croissance. L'horizon de drainage, à la base, assure l'évacuation de l'eau en excès pour éviter la saturation. L'horizon de support, intermédiaire, fournit une base physique stable, généralement composée de matériaux minéraux grossiers. Enfin, l'horizon de croissance constitue la couche active destinée au développement des plantes. Dans les essais menés sur le site du CERN, il est formé de molasse concassée, d'une granulométrie finale inférieure à 20 mm et fournissant la ration minérale, et de compost, apportant les matières organiques.

La plateforme d'essais comporte 44 parcelles de démonstration, avec des compositions de sol (horizon de croissance) variables: 100 % molasse, 85 % molasse-15 % compost, 70 % molasse-30 % compost, en combinaison avec 4 types de végétalisation différents: couvert végétal, mélange prairial, miscanthus et kernza (voir plan ci-contre). «Nous allons comparer les 44 parcelles entre elles et suivre sur trois ans comment le sol



À g.: Le test bêche sur la parcelle 70% molasse - 30% compost vert montre l'apparition de mottes d'agrégations, un développement accru de la rhizosphère, ainsi qu'un début de désintégration de la molasse. Des études ont montré qu'un taux de 30% de compost vert suffit pour établir rapidement une couverture végétale et obtenir un contenu en matière organique du sol d'environ 3%. Cependant, le compost étant une ressource limitée dans la région du Grand Genève, la plateforme OSL a aussi testé des parcelles à 15% de compost. À d.: couvert 100% miscanthus sur un horizon de croissance 85% molasse - 15% compost.

évolue en fonction a) du mélange minéral-organique original et b) du couvert végétal utilisé et de son développement racinaire», indique Maha Deeb-Collet, qui supervise les études du sol de l'OSL. «Soyons clairs, on ne pourra jamais remplacer un sol naturel. Mais ces technosols peuvent, entre autres, servir à lutter contre la dégradation du sol qu'on observe partout, à commencer en milieu urbain, ou encore à régénérer des friches industrielles», ajoute la spécialiste en pédogenèse et chercheuse à la Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève (HEPIA). Rappelons qu'en Suisse, environ 60% des sols urbains sont imper-

méabilisés, synonyme d'une destruction définitive de leurs fonctions écologiques.

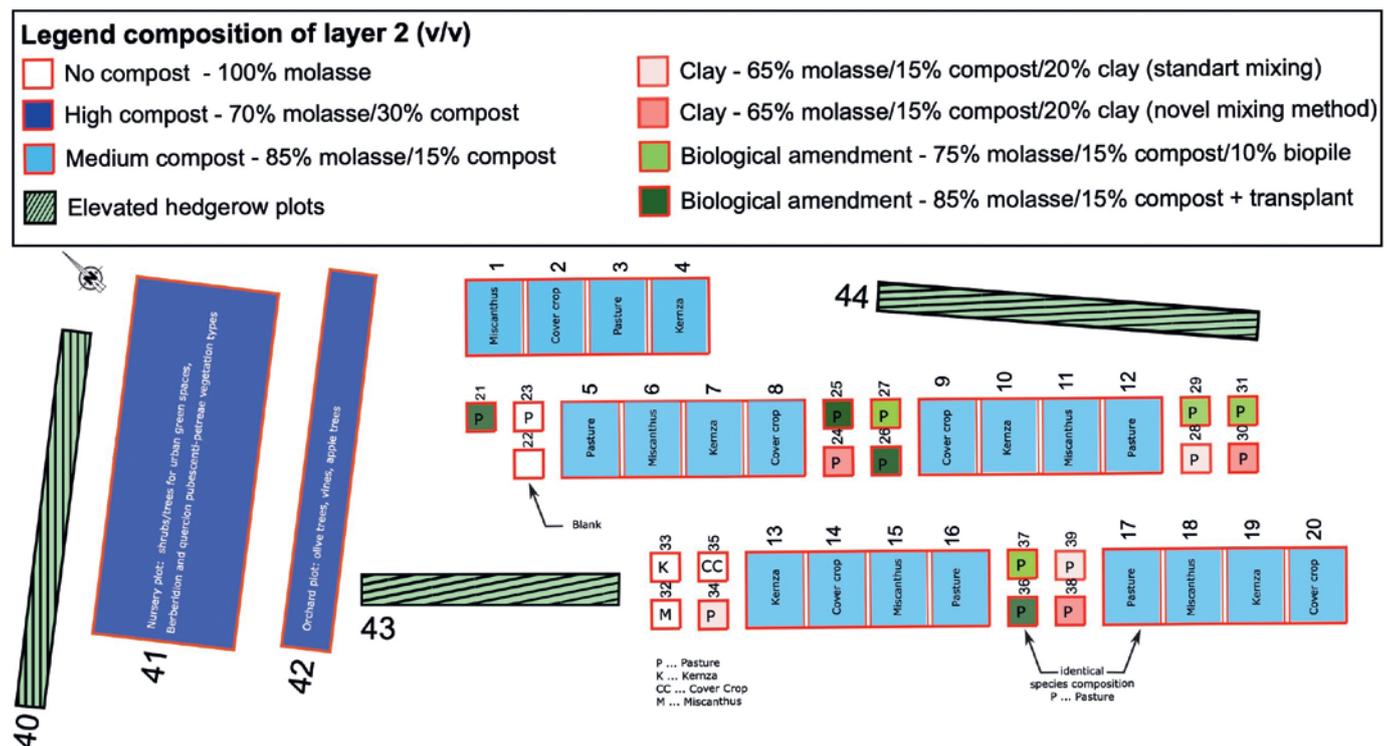
Le principe: Sous l'effet combiné du développement racinaire du couvert végétal et de l'action, cruciale, des vers de terre endogés, les composants minéraux et organiques du sol se mélangent et forment un complexe organo-minéral, sous forme d'agrégats. «Le mélange du sucre et de la farine ne fait pas encore un gâteau. C'est pareil avec le mélange de matières minérales et organiques, ça ne crée pas un sol. On a besoin des vers de terre et des plantes pour que la pâte prenne», résume Maha Deeb-Collet. La molasse ayant une faible teneur en argile, il a fallu l'incor-

porer dans le mélange. «L'homogénéisation de l'argile dans le substrat représente un défi majeur dans l'ingénierie de ces sols. L'argile est essentielle pour capter les nutriments et réaliser des complexes avec l'eau et le CO₂, important pour la porosité du substrat.»

Essais avec différents couverts

Le choix des plantations, réalisé en collaboration avec le spécialiste en couverts végétaux Nicolas Courtois (voir interview) et son collègue Aurélien Bouchet, s'est porté sur le miscanthus, le kernza, un mélange prairial et des couverts végétaux. Ce choix s'est fait en raison de leurs capacités à dé-

Plan des parcelles installées sur le site du CERN, à Cessy. croquis: C. Staudinger/OSL



velopper un système racinaire important, mais aussi de leurs usages potentiels pour l'horticulture et l'agriculture et de leurs effets sur la captation de CO₂.

1. Plante pérenne à mécanisme de photosynthèse C4 (comme le maïs ou la canne à sucre), le miscanthus supporte très bien la chaleur et la sécheresse et peut pousser même sur des milieux extrêmement pauvres en nutriments et matière organique. Son système racinaire arrive à casser des blocs compacts de terre et ainsi aérer le sol, permettant aux bactéries de se développer. «Si l'on exporte la biomasse aérienne, on observe après 2-3 années de culture une baisse du pH du sol. Cette propriété est intéressante, sachant que les sols construits à partir de la molasse sont alcalins, avec comme conséquence une disponibilité réduite des nutriments pour les plantes», relève Christiana Staudinger, biologiste et responsable du suivi des végétaux à l'OSL. En raison de sa grande capacité d'absorption en eau, supérieure à la paille, le miscanthus peut aussi être valorisé en litière pour les animaux. Il est également intéressant comme source renouvelable de biomasse, utilisée pour la production d'énergie et de matériaux durables pour les entreprises de construc-



La berme centrale de l'avenue du Grey, à Lausanne.

Interview Nicolas Courtois

Conseiller agricole indépendant, spécialiste d'agriculture de conservation des sols et ancien conseiller technique à AgriGenève de 2008 à 2023.

Vous travaillez d'habitude en zone agricole.

Quelles sont les particularités du projet OSL?

En zone agricole, il faut allier qualité des sols et rentabilité via la production des cultures de vente. On a une marge de manœuvre réduite sur le coût des semences. Sur le projet OSL, cette contrainte est faible, ce qui permet de densifier les semis. Par contre, sur le projet OSL, nous avons un sol qui évolue vite. Au départ, il ne possédait quasiment pas de portance. Cela rendait délicat le passage d'un tracteur. Après 4 mois, il s'est repris en masse et on risque d'avoir du mal à le travailler.

Comment avez-vous déterminé les mélanges végétaux?

Dans le couvert végétal comme dans le mélange prairie, on a privilégié sans surprise les légumineuses, qui captent l'azote de l'air et le restituent au sol, tandis que le compost leur donne le phosphate et la potasse. Pour les couverts, nous nous sommes inspirés de ceux

qu'on utilise en agriculture de conservation, ils doivent pouvoir pousser continuellement pendant 3 ans, sinon on les réensemencera au besoin. Ils comprennent aussi des non-légumineuses, comme des graminées, crucifères et quelques hydrophyllacées, qui sont des herbacées vivaces ou annuelles, ou encore des sous-arbrisseaux.

Quel est l'intérêt des couverts végétaux?

On mise beaucoup sur eux, car ils ont la capacité de produire beaucoup plus de biomasse que les mélanges de prairie, sur un temps beaucoup plus court. La production de biomasse fait aussi partie des objectifs du projet.

Quelles sont vos attentes pour le miscanthus et le kernza?

Le miscanthus est une plante pérenne, qui peut rester en place 20 ans si tout va bien. C'est un rhizome, donc la plante a beaucoup de réserves pour démarrer. Pour le moment, on voit qu'il pousse, mais il semblerait qu'il marque un peu le pas. Quant au kernza, il sera semé cet automne. En attendant, nous avons mis un couvert végétal sur les parcelles qui lui sont consacrées.

Quelles sont vos premières observations, 4 mois après avoir semé?

Pour le moment, quel que soit le mélange utilisé et indépendamment des proportions molasse-compost, seules les légumineuses poussent bien, voire très bien dans le mélange prairial suisse classique. Il faut préciser que toutes les légumineuses ont été inoculées, ce qui explique peut-être en partie ce résultat. Mais pour les non-légumineuses, c'est globalement très chétif. Nous avons amendé le sol avec du fumier de vache avant de semer au printemps, en imaginant que cela boosterait les non-légumineuses, mais ce n'est pas le cas. On va réensemencer les graminées pour voir, à l'avenir, si elles ont pu bénéficier de l'apport en azote des légumineuses. C'est encore un peu tôt pour tirer des conclusions.

Est-ce que ces sols pourraient déjà être utilisés pour des espaces verts d'agrément?

Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions, mais leur mise en place semble assez facile, ce qui est un avantage pour les espaces verts. Par contre, il faut encore voir comment ils évoluent dans le temps, notamment en été, dans des conditions très séchantes.

tion. Par ailleurs, sa valorisation comme substitut partiel ou total à la tourbe ouvre des perspectives prometteuses pour réduire l'empreinte environnementale. Enfin, le miscanthus contribue efficacement à la stabilisation des sols sur les terres marginales, limitant l'érosion et favorisant la création de bandes tampons végétalisées qui protègent les cours d'eau contre la pollution, tout en ralentissant l'expansion des espèces exotiques envahissantes.

2. Plante pérenne également, avec une faible demande en eau comparée au blé ou au maïs, le kernza est capable de repousser et de produire des grains et du fourrage pendant plusieurs années, sans être ressemé. Son système racinaire important peut atteindre trois mètres de profondeur, lui permettant de résister à des sécheresses temporaires. Enfin, en assurant un couvert permanent, elle protège le sol contre l'érosion, limite le lessivage des nitrates résiduels, et favorise le stockage du carbone et la vie biologique des sols. La culture du kernza est économe en intrants.

3. Les mélanges prairiaux, associant légumineuses et graminées, sont essentiels pour restaurer la structure et la fertilité des sols dégradés. Ils améliorent la capacité des sols à retenir l'eau et les nutriments, réduisant ainsi les risques d'érosion.

4. Une rotation de couverts végétaux, surtout des annuelles, qui vise à maximiser l'apport en matières organiques.

Enfin, quelques parcelles servent de substrats pour sélectionner des variétés d'arbres et arbustes plus adaptés à des sols construits et qui pourront être utilisés pour des revégétalisations à grande échelle ou dans les infrastructures vertes urbaines.

Après quelques mois de culture, il est encore trop tôt pour tirer des enseignements définitifs, mais les premiers résultats montrent que la formation d'agrégats, la porosité et la rétention d'eau sont meilleures après une saison de croissance dans les parcelles contenant 30% de compost, par rapport à celles contenant 15% de compost. «On voit aussi que les couvertures pérennes supportent mieux le régime hydrique dans les sols construits en cas de canicule, comparées aux couvertures annuelles. Et enfin,



Analyse de l'évolution du technosol sous l'action du couvert végétal, sur le site de Grey.

Publicité

La formulation organique azotée et potassique pour les terrains de sports, parcours de golf et surfaces vertes.

EVER NK

9-0-8

OSYR

INSIDE

www.semencesufa.ch - 058 433 67 99



ou des couverts végétaux partout où cela est possible. Renonçant à utiliser de la terre végétale agricole, les services verts de Lausanne privilégient les technosols, d'autant que leurs coûts s'avèrent inférieurs à ceux des terreaux naturels. C'est dans ce contexte que s'inscrit la revégétalisation de la berme centrale de l'avenue du Grey, pour laquelle la Ville a collaboré avec l'entreprise TeraSol, spécialisée dans le conseil et l'élaboration de sols artificiels. Dans ce projet, le technosol spécifique préparé par TeraSol porte le nom d'ExoSol.

Comme dans le cas de la plateforme OSL, on utilise là aussi des matériaux minéraux et organiques d'origine locale. Dans le cas de l'avenue du Grey, la matrice minérale provient de moraine excavée d'un chantier du Gros-de-Vaud. Après avoir été criblée pour éliminer les pierres supérieures à 30 mm de diamètre, la moraine est mélangée à un compost de déchets verts et fumiers. «Intervient ensuite l'étape la plus importante: on stocke le substrat en planches d'environ un mètre de haut, puis on l'ensemence en surface avec un mélange de légumineuses et graminées conçu pour développer un système racinaire maximal», souligne Gwenn Romillac, agronome et pédologue en charge du projet à TeraSol. Au cours de leur croissance, les racines viendront casser et aérer les mottes de substrat tout en réinjectant du CO₂ prélevé dans l'air.

Cette étape dite de maturation dure environ 11 mois et s'effectue, idéalement, sur des prairies de zone agricole, afin de favoriser la colonisation par les vers de terre. «On observe que les technosols qui ont mûris en milieu urbain ne sont pas ou très peu colonisés», relève Gwenn Romillac. «Sur la berme, on a comptabilisé environ 195 individus par mètre carré. Un résultat encourageant, qu'on va suivre dans les années à venir.»

Les analyses physico-chimiques réalisées un an après l'installation du technosol avenue du Grey, soit environ deux ans après sa fabrication, montre un taux de matières organiques à 2,8% et un pH légèrement

alcalin, sachant qu'un pH égal ou supérieur à 8 est typique des terres excavées.

Restitution de matière organique

Créé en avril 2023 à Bavois, l'ExoSol a donc été déplacé et mis en place au Grey en mars 2024. Il a été immédiatement réensemencé avec un mélange végétal composé de 21 espèces, là aussi à dominante légumineuses et graminées, auquel des narcisses ont été ajoutés en novembre, pour l'aspect esthétique. L'objectif est que les sols une fois mis en place gardent leur structure obtenue lors de leur préparation, et si possible qu'elle s'améliore. Ceci implique i) une couverture continue et dense et (ii) une restitution continue de matières organiques par les couverts. «C'est pour cela qu'il faut appliquer des couverts végétaux multif floraux sur les technosols, comme cela se pratique en agriculture de conservation, avec des espèces relais permettant d'assurer en permanence la production de biomasse tout au long de l'année», explique Pascal Boivin, spécialiste des sols, professeur à l'HEPIA et conseil de TeraSol sur ce projet. Les plantes choisies ont donc une précocité et des cycles différents. Certaines (sarrasin, pois fourrager...) vont pousser rapidement du semis au milieu de l'été. D'autres (vesces communes, sorgho...) vont pousser sur la fin de l'été. Ces deux catégories doivent disparaître durant l'hiver pour laisser place aux plantes les plus hivernantes (navettes, vesces velue...). Typiquement, le couvert végétal doit être semé à quelques centimètres de profondeur. «Une pratique inhabituelle pour les jardiniers urbains», relève Pascal Boivin. «Mais une fois qu'on leur a montré, ça fonctionne très bien.»

Risque de prise en masse

L'un des principaux risques des technosols est la prise en masse, observée à certains endroits des andains de préparation, ainsi que sur certaines parcelles de la plateforme OSL du CERN. «Si la matière organique n'est pas entretenue sous l'effet du couvert, on n'a pas encore créé le complexe organo-minéral. Le risque est alors celui d'une minéralisation totale de la matière organique fraîche et un effondrement de la structure, entraînant un retour au matériau morainique», explique Pascal Boivin, dont une étudiante en master étudie le processus. Pour l'heure, le technosol installé à Grey a conservé une bonne structure.

«La réussite de ce type de projet dépend de nombreux facteurs, qui interviennent à toutes les étapes de réalisation du projet. Il faut vraiment développer une cascade de compétences. La ville nous soutient, il faut s'en réjouir», conclut Pascal Boivin.

dans les mélanges de couvertures végétales, nous observons que l'établissement des graminées à croissance rapide (seigle fourrager, avoines) est faible lors de la première saison, tandis que les légumineuses et les graminées à pousse lente se sont très bien développées. Pour assurer une meilleure croissance des graminées, qui contribuent de manière importante au développement des porosités fines du sol, nous travaillons actuellement sur le développement d'un inoculant à base de mycorhizes, censé faciliter la pousse des graminées à croissance rapide dès l'installation des sols», précise Christiana Staudinger.

Lausanne mise sur les technosols

Autre exemple, Lausanne. Dans le cadre de son Plan Climat, la métropole vaudoise a initié une vaste campagne de désimperméabilisation des sols, afin de replanter des arbres

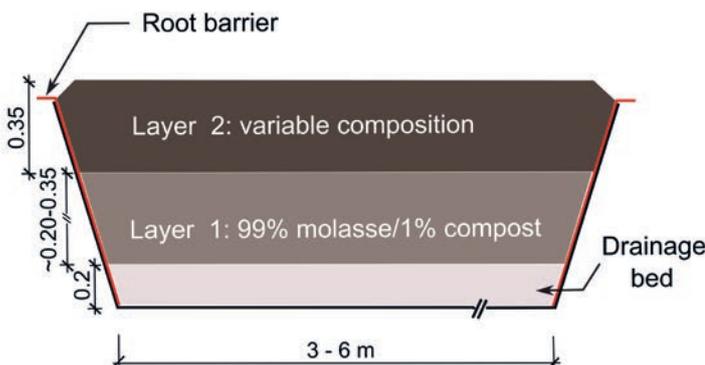


Schéma simplifié de la structure en trois horizons d'un technosol. croquis: C. Staudinger/OSL