

118 / 03-2021

# Lémaniques

Bulletin de l'Association pour la sauvegarde du Léman



**Le sol lémanique  
n'est pas un paillasson !**



# Le sol, une ressource vitale et négligée du territoire lémanique

« Le sol sous les pieds glisse et... crie »  
(Verlaine, *Poèmes saturniens*, 1866)

Pour un connaisseur du sol, il est déprimant de croiser un cortège de camions acheminant de la terre fraîchement excavée vers une décharge. La société lui semble bien désinvolte de se conduire ainsi envers un composant souvent plurimillénaire de son environnement, un héritage lentement mûri auquel elle doit tant et qui, maltraité, risque de libérer des polluants préalablement stockés ! Pareillement, quel promeneur n'a pas été choqué, en parcourant des parcelles forestières ou agricoles dont le sol, suite à des exploitations trop lourdes, est devenu un vaste chantier boueux et ruisselant ? Ou encore en voyant tous ces hectares étouffés par le bitume d'un énième parking ?

Le sol est probablement un objet trop quotidien, trop mal identifié, trop privé, trop abondant, voire trop complexe pour, qu'exception faite de l'agroécologie, on y prête vraiment attention et qu'on l'économise. Pourtant notre région, inquiète pour son grand lac, ne devrait-elle pas sentir et comprendre à quel point celui-ci est connecté via ses affluents et leurs plus ultimes ramifications, jusque sous nos pieds, aux sols de son bassin d'alimentation et à ce qu'on en fait ? Ne serait-il pas raisonnable de penser que le Léman, ce convalescent bien remis mais désormais soumis au dérèglement climatique, a besoin que nous portions plus de soins aux sols qui l'entourent et dont nous vivons ?

Ces questions sous-tendent l'hypothèse que nous défendons dans cet article : le sol est une ressource menacée mais vitale : 1) pour préparer le système Léman (« lac-territoire-usages ») au changement climatique en cours, en renforçant la qualité de ses eaux ; 2) pour contribuer à la

lutte contre les gaz à effets de serre, en y stockant plus de carbone.

## Le sol, ce trésor méconnu

Partons d'une définition : le mot « sol » désigne ici l'objet naturel que l'on peut qualifier ainsi car son existence ne doit quasi rien à l'humain (il doit tout ou presque au temps, on le verra). Officiellement, c'est la « couche de surface, meuble, résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère, de la roche mère sous-jacente sous l'influence de processus physiques, chimiques et biologiques ». Mais attention, le sol est une **couverture 3D** dont le fonctionnement ne se limite pas à celui de la couche de « terre » arable de l'agriculteur ou du jardinier. Ses fonctions sont celles d'un épiderme vivant de nos paysages.

## Fabrication : avec le temps, la roche mère devient un matériau meuble

Les sols sont un héritage naturel, en général nés d'une roche mère massive ou fragmentée (cailloutis, graviers...). Nos sols régionaux ont, pour les plus vieux, une dizaine de milliers d'années (retrait glaciaire). Les très jeunes, à peine nés, sont au front des glaciers, sur les dépôts d'alluvions. Millénaire après millénaire se forme un matériau meuble dont les propriétés et la chimie sont radicalement différentes de la roche dont il dérive (Legros 2007). Les agents de cette transformation sont l'eau, l'oxygène et l'activité biologique. Avec le temps ils font « pourrir » les roches par fragmentation (gel) et par dissolution des « ciments » qui les rendaient cohérentes, un phénomène qui libère les particules minérales préalablement emprisonnées. Celles-ci sont alors oxydées et « stressées » ; elles se divisent jusqu'à

donner des microparticules, dont les célebres « **argiles** » (taille < 2 µm). Tous ces processus s'accompagnent d'un relargage de nutriments utilisables par les végétaux et les micro-organismes (p. ex. : le phosphore). Une aventure analogue arrive à la litière<sup>1</sup> : elle est littéralement mise en pièces par la faune du sol puis une fois suffisamment divisée, elle est décomposée (« digérée »), ce qui provoque aussi une libération de nutriments (p.ex. l'azote). Des résidus moléculaires résultant de ce processus de décomposition s'assemblent pour créer l'autre composante mythique et très réactive du sol : « **l'humus** ».

Un matériau meuble est produit (en gros, 0,5 t/ha/an) par cette lente maturation des matières organiques et minérales ; le sol s'épaissit de 0,1 mm par an s'il est stable, c'est-à-dire sans érosion ni apports (alluvions). Le sol a une fin naturelle quand il est arasé par les dynamiques géologiques ; il peut aussi mourir prématurément, victime de nos activités : pollutions (sites industriels), salinisation (irrigation mal contrôlée) et surtout imperméabilisation (goudronnage, remblaiement) et excavation.

## Organisation : des petits trous, des petits trous !

### Pour un savoir-faire « eau »

La phase solide du sol est constituée de particules minérales de tailles différentes (argiles, limons, sables, graviers) combinées à des fractions organiques inertes et vivantes (dont les composants vont de la molécule au ver de terre). Un gramme de terre fine comporte des millions de particules et autant de composants organiques, mais le tout n'est pas assemblé aléatoirement. En fait, le sol a une structure, en grains ou mottes par exemple ; la solidité de celle-ci doit beaucoup à l'humus qui colle les particules les unes aux autres ainsi qu'aux filaments racinaires et aux mycéliums de champignons qui les emballent. La structure comprend un ensemble de vides qui forment un réseau associant en continuité des pores de tous diamètres (du µm au cm). L'eau (et son contenu en nutriments) et le gaz (oxygène, carbonique...) se partagent cet

Chers lectrices et lecteurs,

Ah ! Vous n'avez pas idée du trésor que représente ce sol que nous foulons chaque jour de nos pas innocents (hum) sans nous douter de sa préciosité, de sa fragilité, de l'incroyable complexité de sa géologie (on dit plutôt pédologie), biochimie, écologie et du temps qu'il a fallu pour en créer la puissance (attention, ressource non renouvelable !) qui nous offre ses fruits : forêts, cultures, prairies, marais qui façonnent depuis des millénaires nos paysages (bitume aussi, hélas, qui l'écrase de sa masse inerte et imperméable).

Jean-Marcel Dorioz<sup>1</sup>, notre vice-président, éminent géochimiste et hydroécologue, ne nous ménage pas. Il exige toute notre attention pour appréhender ce sujet si complexe. Bonne lecture, concentrez-vous !

Raphaëlle Juge

<sup>1</sup> Ancien directeur de recherche à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, France), Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques (CARTELL).

1. Feuilles mortes et débris végétaux en décomposition issus des organes aériens de la végétation qui recouvrent le sol.



### La grande variabilité du sol

Le sol de la région lémanique constitue une couverture assez continue mais avec de fortes différences d'un point à l'autre, en terme de couleur, de charge en cailloux, d'organisation ou non en couches, d'enracinement... Ces différences reflètent celles des propriétés et des fonctionnements, les

changements du degré d'altération des roches, de l'acidité, de l'engorgement en eau, de la dynamique organique...

Les principaux facteurs de variabilité sont la nature de la roche (sa chimie, sa fracturation...), le climat, et donc l'altitude, la topographie (pentes, érosion...) et la végétation et ses usages (lignéeuse/herbacée). La palette

des couleurs, observables notamment sur les sentiers, résulte principalement du mélange et de la dilution de deux colorants: la matière organique (teintes foncées jusqu'au noir) et le fer sous différents états chimiques (teintes du gris, brun-ocre, rouille au presque rouge). L'absence des colorants donne une couche blanche.

Photo J. Poulenard USMB

espace poral en proportions variables selon la sécheresse du sol. Les êtres vivants s'y « blottissent », le colonisent; racines et vers de terre le remanient, le créent (on reparlera de ces travailleurs de la terre).

Tout compte fait, la moitié du sol, c'est du vide! D'où son rôle de filtre et de plaque tournante des écoulements d'eau. Dans les pores les plus fins, l'eau est retenue par la capillarité, stockée, en partie disponible pour les racines. En revanche, au-delà d'un certain diamètre (> 15 µm), la gravité est plus forte et l'eau s'écoule, ce qui permet son infiltration et son transfert vers les nappes. Si, naturellement ou suite à du tassement, la porosité est insuffisante pour évacuer les apports d'eau, l'eau stagne (flaque, zone humide) ou ruisselle.

### Une vie intense et cachée, celle d'un bioréacteur multi-recyclages

En général, on sait que les sols sont vivants parce qu'on y voit des vers de terre! En fait la vie des sols est foisonnante: le sol est colonisé, dès sa naissance, par une gamme infinie d'être vivants de toutes catégories, de toutes tailles (du µm au cm) et de tous modes de vie (détritivore, décomposeur, parasite, prédateur). Quelques chiffres témoignent de cette biodiversité cachée. Une cuillère à café de terre contient plusieurs centaines de milliers de champignons (soit 3 t à l'hectare de filaments microscopiques) et jusqu'à plusieurs milliards de bactéries. Un m<sup>2</sup> de sol comprend des milliers d'espèces de micro-animaux, mollusques, acariens, insectes, la plupart se nourrissant de débris organiques qu'en fragmentant, ils rendent décomposables par les bactéries et les champignons. Deux hôtes du sol font sa réputation: les racines, dont la biomasse atteint couramment 5t/ha (soit des dizaines de milliers

de km/ha) et les lombrics pour une biomasse de 1,5 t/ha (soit plus que la charge en bétail pâturant au-dessus).

Tout ce microcosme est organisé autour du recyclage organique, travaille à la chaîne pour d'abord fragmenter la litière et les déchets, puis en dégrader les composés moléculaires, y compris les plus complexes et résistants comme la lignine. Sans la vie du sol, toutes ces matières naturelles auraient depuis longtemps envahi la planète.

### Fonctions des sols et enjeux climat du territoire lémanique

#### Les enjeux « sol-climat »

**Qualité des eaux, un enjeu régional ré-actualisé.** Grâce aux investissements consentis pour maîtriser l'eutrophisation, nous bénéficions aujourd'hui d'un lac dans un état satisfaisant. Mais l'émergence et l'amplification attendue des effets délétères du réchauffement climatique sur l'écosystème lacustre et ses usages nous obligent à plus d'exigence encore en matière de qualité de l'eau et des milieux terrestres par lesquels l'eau transite avant d'atteindre le lac. La perspective est de

stabiliser au maximum le bon état retrouvé du lac et de rendre ainsi le système plus résistant au stress attendu.

Dans ce contexte, il est indispensable de soutenir sans relâche les efforts en cours pour améliorer la collecte et les traitements des eaux usées, mais en veillant à aller au-delà d'un simple ajustement de ce qui existe en fonction de la croissance de la population. Les déficits hydriques estivaux de plus en plus fréquents et probablement accrus par l'artificialisation des sols, nous y contraindront, ne serait-ce que pour sauvegarder le bon état des affluents. Cependant, le contrôle des eaux usées, bien qu'indispensable, ne sera pas suffisant: il faudra aussi baisser la charge en **pollution diffuse**, ce cocktail sournois dont la maîtrise se joue au niveau des sols, de leurs fonctions, de leurs perturbations et des flux à risque qu'ils reçoivent. Une part importante des enjeux « eau-climat » dépend donc de l'état du sol du bassin lémanique.

**Bilan carbone, un enjeu global.** Il s'agit de prendre notre part dans la maîtrise globale des GES (gaz à effets de serre), notamment en améliorant le bilan net de carbone de nos sols grâce à davantage de stockage de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) sous forme de carbone organique et moins de relargage. Ceci suppose également des sols en bon état et bien traités.

#### Sol et qualité de l'eau: maîtriser (enfin) les pollutions diffuses

Les sols ont de longue date une fonction nourricière: ce sont les garde-manger de la couverture végétale de nos paysages. Les plantes y trouvent eau et nutriments, produits de l'altération et du recyclage organique, auxquels s'ajoutent, en conditions agricoles, des engrais et localement l'irrigation. La fonction agricole des sols peut être accompagnée de leurs contaminations.



Le lombric, un acteur clé de la vie et de l'état du sol sensible à sa pollution Photo J.-M. Dorioz



Sur le lieu des traitements agricoles, les molécules indésirables ou en excès apportées au sol ont la possibilité de « s'incruster » dans le complexe argilo-humique ou dans la microporosité. Cela peut en soustraire certaines, pour un temps parfois très long, à la « puissance de décomposition » de la vie du sol et empêcher leur recyclage. En général, une part de ces composés persistants n'échappe pas à la force exportatrice de l'eau qui coule sur (ruissellement et érosion) et dans les sols (infiltration et lessivage). Ceci fait du sol une plaque tournante redistribuant la pollution diffuse.

A l'aval, avant que l'eau polluée atteigne les ruisseaux et les affluents, il reste une chance pour que son contenu polluant soit intercepté, stocké et partiellement épuré quand l'eau stagne en bas de pente dans une zone humide ou qu'elle s'infiltré finalement dans le sol d'une prairie voisine, d'une haie d'un bosquet... bref dans une zone « filtrante ». Bien entendu, la capacité à stocker des charges polluantes n'est jamais infinie... qu'on se le dise!

Attention, il n'y a pas que l'agriculture qui soit concernée. La pollution diffuse ne débute pas toujours dans un champ: une route, une cour, un parking voire des bâtiments font l'affaire. Les contaminants s'accumulent sur ces surfaces imperméabilisées pendant les périodes sèches; ce sont des dépôts atmosphériques (micropolluants), des hydrocarbures, des microcaoutchoucs issus des pneus, des déjections, mégots, etc. Alors l'histoire se répète: transfert de cette pollution à la rivière lors des pluies, sauf si un marais ou une zone filtrante les intercepte pour les

stocker. D'où une idée générale: il faut favoriser le plus possible et judicieusement l'infiltration des eaux, en premier lieu en limitant drastiquement l'imperméabilisation des sols par goudronnage, pavage, tassement, compaction, mais aussi en ménageant les sols qui naturellement réaliseraient cette fonction sous réserve de pratiques agricoles adaptées, d'une couverture végétale pérenne, d'une activité biologique forte. Tout un programme! Qui ne serait d'ailleurs vraiment efficace et durable qu'accompagné:

- 1) d'une réduction drastique à la source de la pollution des sols par des bilans équilibrés en nutriments et par beaucoup moins de traitements toxiques pour la faune du sol;
- 2) d'une politique de maintien, de restauration ou de création de zones tampons dans nos paysages, en particulier des trames de haies et des ripisylves<sup>2</sup>.

### Sol et quantité d'eau, quand un régulateur hydrologique fait défaut

Les sols sont considérés comme des régulateurs hydrologiques susceptibles d'atténuer ou d'amplifier, selon leur état, les excès, inondations et sécheresses, en infiltrant et stockant plus ou moins les apports d'eau. L'infiltration recharge les stocks du sol, les nappes et les zones humides (qui sont dans une certaine mesure les « éponges » du paysage). L'imperméabilisation, en supprimant cette régulation, non seulement court-circuite la capacité

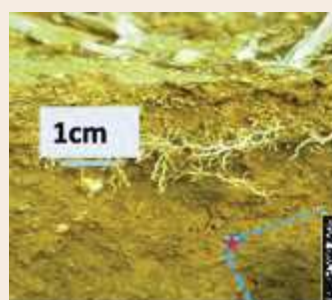
2. Végétation forestière ou arbustive bordant les milieux aquatiques; forêt (*sylva*) riveraine (*ripa*).

épuration du sol, mais créée aussi un excès d'eau ruisselante (et polluée) et un déficit dans le stockage d'eau, d'où une double peine: pour la rivière, moins de dilution des pollutions résiduelles et, pour le lac, augmentation des crues estivales dont l'impact sur la qualité sanitaire des eaux littorales défraie parfois la chronique lémanique. L'expansion des zones artificialisées imperméables étant une dynamique explosive de l'occupation des sols en périphérie du Léman, notamment dans le « Grand Genève », il très probable que la réduction de la fonction de régulation hydrologique du sol tende, à court terme, à exacerber les manquements à l'excellence en matière de qualité de l'eau.

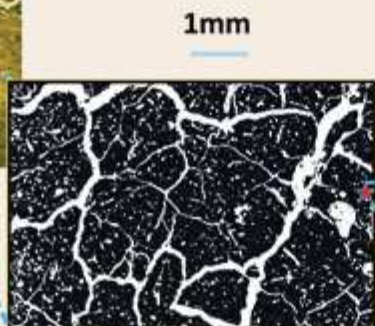
### Contribution du sol à l'amélioration du bilan net de carbone de la région

La lutte contre le changement climatique planétaire passe notamment par la maîtrise des teneurs de l'atmosphère en gaz carbonique, à la fois en réduisant ses émissions et en accroissant son stockage sous forme de carbone organique. Pour ces deux options, le sol et ses usages sont des leviers importants (Inrae 2009). Selon le GIEC, les sols du monde pourraient en théorie stocker jusqu'à deux fois la totalité du carbone présent sous forme de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère terrestre. Ceci doit nous encourager à agir localement pour améliorer notre bilan net régional, notamment grâce à un meilleur usage des sols dont les principes sont d'ailleurs compatibles avec ceux énoncés pour l'eau.

**Insérer les sols dans des cycles locaux.** La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> suppose un effort pour mieux utiliser le sol



### Voyage au centre d'un grain de terre



Ci-dessus coupe du sol échantillonné. Ci-contre cliché au microscope d'un grain de terre en coupe. Le grain est assez géométrique, délimité par des pores de grandes tailles qui assurent le drainage de l'eau du sol.

ZOOM N°1 microscope optique (X30) (lame mince)

Les particules minérales de ce cliché sont des « argiles ». La porosité entre les amas de particules est très fine. Elle assure le stockage de l'eau.



ZOOM N°2 Microscope électronique (MEB)

1µm

X 7500

L'agencement des particules minérales crée un énorme espace poral en général continu et déformable, associant des pores de toutes tailles du centimètre au micron. La porosité occupe la moitié de l'espace. Elle résulte en partie de la fissuration et de l'activité de la faune. Elle détermine le pouvoir infiltrant et filtrant du sol.

Photos INRA

## Stokage de carbone dans le sol

Les stocks organiques varient selon le type de sols et de végétation. Ils sont élevés sous les forêts, prairies et alpages (80 t/ha entre 0 et 30 cm de profondeur) ainsi que dans les zones humides (tourbes); ils tendent à s'accroître avec l'altitude. A l'inverse, le stock est plus limité sous les grandes cultures (50 t/ha) et probablement encore davantage sous les gazons urbains. Le stock des sols est réalisé sous forme de composés organiques résultant de l'accumulation des organes et organismes morts, essentiellement végétaux, des déjections animales et des organismes vivants, notamment des racines. La décomposition restitue le carbone à l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> mais les fractions les plus résistantes, y compris l'humus, ne se transforment que sur des temps très longs, restant stockés entre quelques décennies et plusieurs millénaires. Ce temps de stockage est augmenté quand la matière organique s'associe aux argiles qui lui assurent une protection contre l'action des décomposeurs (Chenu *et al.* 2014).

agricole pour de la production locale et le recyclage des bio-déchets, notamment urbains, deux manières d'économiser de l'énergie et du transport et de limiter d'autant les émissions de GES.

**Sauvegarder les stocks existants.** C'est-à-dire éviter de provoquer des transformations de l'état du sol et de la végétation qui intensifient le relargage de CO<sub>2</sub>. En cause, les brassages généralisés de sols associés aux divers chantiers, aux drainages et remblaiements de zones humides, à la transformation de prairies en culture, aux bouleversements liés à l'exploitation forestière lourde, aux incendies... Le souci constant de réduire le déstockage et de le compenser quand il est vraiment inévitable devrait être une priorité pour tous les citoyens, entreprises et décideurs.

**Augmenter le stockage.** Il s'agit de mettre en place des pratiques agricoles et paysagères qui favorisent l'intégrité de la couverture «sol»: travail minimum du sol, cultures intermédiaires, établissement de prairies et de l'agroforesterie, enherbement des vergers, création de haies... avec le retour d'un maximum de biomasse produite au sol. Les résultats de toutes ces actions sont attendus à moyen terme.

## Sauvegarder le sol, une affaire urgente et qui nous regarde tous

Le sol est l'épiderme vivant des continents. Les fonctions du sol sont nombreuses et cruciales. Nous avons insisté sur les trois fonctions des sols, nourricière, hydrologique, épuratoire; toutes s'avèrent très étroitement connectées aux enjeux de l'avenir du Léman. Impossible donc désormais de penser cet avenir sans prendre en compte le sol et ses liens avec les effets du changement climatique sur le lac. Nous avons également envisagé la

relation «sol-atmosphère» qui fait des sols et des paysages des leviers que chaque région, la nôtre en l'occurrence, doit actionner pour contribuer à contenir le réchauffement climatique en contrôlant son bilan de carbone. En revanche, nous n'avons pas parlé de l'incroyable biodiversité des sols, de leur réserve en composés moléculaires encore peu explorés (plusieurs antibiotiques ne viennent-ils pas des champignons du sol?) ni rappelé que le sol est un livre d'histoire et de sciences, et un objet mythique («Pachamama» la terre-mère, des peuples des Andes). «La vie fait le sol et le sol fait la vie» résumant Ruellan et Poss (2012).

Mais cette ressource a besoin de temps pour se constituer et n'est donc pas renouvelable au moins à moyen terme; la ménager devrait donc être une priorité pour assurer l'avenir. Maltraiter le sol, c'est d'ailleurs souvent en faire une source de polluants et supprimer sa fonction épuratoire. Le ménager, le restaurer, c'est conserver et créer un potentiel de recyclage, de recharge des nappes et un système paysager dont le bilan carbone est amélioré par son stockage dans les sols. Tous comptes faits, il nous faudrait un vrai «plan sol du Léman» qui s'occuperait des sols et pas juste de leur trouver une occupation...Le défi est lancé!

*Remerciements à P. Roux, R. Juge, S. Mader et C. Desvignes pour leurs patientes relectures.*

## Bibliographie

- Legros, J-P. 2007. *Les grands sols du monde*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 574 p. (Science & technologie de l'environnement)
- INRAE. 2009. *Le sol*. Dossier INRA mensuel, Paris, 183 p.;
- Chenu C. *et al.*, 2014. *Stocker du carbone dans les sols agricoles: évaluation de leviers d'action pour la France*. Innovations Agronomiques, 37, pp. 23-37.
- Ruellan, A. et Poss, R. 2012. *Les sols pour l'avenir de la planète Terre*, brochure, AFES, 15 p. <https://www.afes.fr/>

## Si affinités, poursuivre avec:

- <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/en-bref.html>
- <https://www.inrae.fr/actualites/sols-face-au-changement-climatique>
- <https://www.soil.ch>

## Sols, zones humides et gaz à effet de serre

Le méthane (CH<sub>4</sub>) est un gaz impliqué dans l'effet de serre. Il est produit par fermentation en condition anoxique dans les sols de nombreuses zones humides. Ceci ne donne pas pour autant un argument pour justifier leur drainage car ce type d'action se traduirait par : 1) un déstockage massif de CO<sub>2</sub> (décomposition de la tourbe) mais souvent aussi d'azote et de phosphore; 2) une perte de pouvoir tampon par rapport à la pollution diffuse et au stockage de l'eau et 3) un recul de la biodiversité.



Zone humide dans les bois de Versoix (GE). Photo ASL