

Les dégâts d'un ver

Un ver de terre tasse le sol plus que des bulldozers.

Dans le massif amazonien, de grandes surfaces de forêt sont abattues et brûlées puis transformées en pâturages. Cette déforestation entraîne un tassement du sol, attribué habituellement au passage des lourdes machines utilisées pour transporter les troncs et au piétinement du bétail. Toutefois, avec Eleusa Barros, de l'Institut brésilien de recherche amazonienne, à Manaus, et Armand Chauvel, de l'Institut de recherche pour le développement, nous avons découvert qu'un ver de terre participe activement au tassement des sols argileux d'Amazonie Centrale.

La transformation de la forêt en pâturage, qui soumet le sol à des alternances plus marquées de sécheresse et d'humidité, appauvrit fortement la faune du sol (vers de terre, termites, fourmis) : 70 à 80 pour cent des espèces d'invertébrés qui peuplent le sol forestier disparaissent. Une espèce de ver de terre, *Pontoscolex corethrurus*, envahit alors le sol du pâturage où sa densité peut dépasser 400 individus par mètre carré, constituant plus de 90 pour cent de la biomasse d'invertébrés ; ce ver compacte le sol, en réduisant le volume des pores au sein des agrégats de particules du sol et entre ceux-ci.

Nous avons comparé les variations de la porosité d'un échantillon de sol prélevé sous forêt au Nord de Manaus, entre zéro et cinq centimètres de profondeur, et dont l'humidité était conservée, d'une part lorsqu'il est soumis à une forte pression mécanique et d'autre



Les déjections du ver de terre *Pontoscolex corethrurus* (les concrétions blanches, nommées *turricules*), rejetées à la surface d'un sol de pâturage, s'agrègent et forment une couche compacte en se desséchant. Cette photographie a été prise en saison sèche, après formation de fentes de dessiccation.

part lorsqu'il transite dans le tube digestif de *Pontoscolex corethrurus*. Après l'application d'une forte pression, de 1 000 kilopascals (correspondant à une masse de 10 kilogrammes sur un centimètre carré), le volume des pores qui assurent la circulation et la rétention de l'eau utilisable par les plantes (de dimensions comprises entre 0,1 et 100 micromètres), est alors divisé par sept (de 21,7 à 3 centimètres cubes pour 100 grammes de sol). La compaction par *Pontoscolex corethrurus* est plus forte : dans les déjections de ce ver, le volume de la même classe de pores est divisé par 14. Dans le tube digestif du ver, la teneur en eau est doublée ; le sol est mélangé à du mucus (contenant des matières organiques hydrosolubles) et malaxé. Les petits agrégats d'origine biologique (de diamètres compris entre 10 et 500 micromètres), qui constituent une grande partie du sol sous forêt, disparaissent presque totalement dans ces déjections.

Dans certains pâturages, et même dans des zones déboisées manuellement

et non pâturées actuellement, une couche superficielle continue, de quelques centimètres d'épaisseur, se forme par la coalescence des déjections de vers de terre, déposées à l'état boueux, et qui durcissent en séchant. La masse des déjections ainsi produites peut dépasser 100 tonnes par hectare et par an. Cette couche compacte ralentit l'infiltration de l'eau et l'aération du sol. Celui-ci n'est plus oxygéné et devient gris ; l'herbe dépérit et des taches dépourvues de végétation s'étendent dans le pâturage. L'absence d'oxygène favorise aussi la production de méthane, gaz à effet de serre, par les micro-organismes du sol.

Dans le sol forestier, des pores sont créés en permanence par de nombreuses espèces «décompactantes» (termites, fourmis, autres espèces de vers de terre). La réintroduction de celles-ci, associée à une reconstitution au moins partielle du milieu forestier, semble aujourd'hui la meilleure solution pour redonner au sol ses qualités premières.

Michel GRIMALDI, IRD - INRA, Rennes

Le potassium et le chou

Le canal ionique qui transfère le potassium de la racine vers les vaisseaux où circule la sève a été identifié.

La chèvre mange le chou, l'homme, qui est un loup pour l'homme, mange la chèvre (et aussi le chou). Ajoutons un maillon en amont de cette chaîne alimentaire succincte : le chou absorbe les ions potassium. Ces ions, très étudiés par les agronomes, sont indispensables aux

plantes, notamment pour contrôler l'ouverture de pores, nommés stomates, disposés sur les deux faces des feuilles. Ces pores régulent les échanges de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone. Ils sont aussi essentiels au bon fonctionnement du système nerveux de la chèvre et de l'homme.

Deux sèves coexistent dans une plante. La sève brute, composée de l'eau et des sels minéraux (sodium, potassium, phosphates,...) que les végétaux puisent dans le sol, circule, dans les vaisseaux d'un tissu nommé xylème, des racines aux parties supérieures. La sève élaborée, qui contient principalement les sucres fabriqués dans les feuilles grâce

à la chlorophylle et la lumière, parcourt l'ensemble de l'organisme dans les vaisseaux d'un autre tissu, le phloème. Il existe des passages entre le phloème et le xylème.

Les ions s'infiltrant dans les différents tissus par des ouvertures constituées de protéines spécifiques, nommées canaux ioniques, insérées à travers la membrane des cellules. Jusqu'à présent, pour le potassium, seul le canal ionique qui permet aux ions de pénétrer dans les racines était connu. L'équipe de Hervé Sentenac, de l'Institut national de recherche agronomique et de Jean-Baptiste Thibaud, du CNRS, à Montpellier, a récemment identifié chez

Arabidopsis thaliana, une plante de la même famille que le chou (les crucifères) et bien adaptée aux études génétiques, le canal ionique, dénommé SKOR, qui transfère le potassium de la racine vers les vaisseaux qui véhiculent la sève.

Les ions potassium du sol pénètrent dans les cellules périphériques de la racine par le canal AKT1 découvert en 1992 par la même équipe ; puis ils circulent dans le réseau formé par les cellules jusqu'au cœur de la racine où des cellules les transfèrent par le canal SKOR dans les vaisseaux du xylème qui conduit la sève brute vers les parties supérieures de la plante. Une partie du

potassium redescend dans les vaisseaux du phloème et repasse dans les vaisseaux du xylème par un canal encore inconnu.

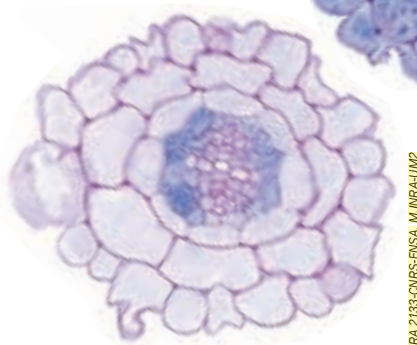
La protéine SKOR est formée de quatre sous-unités. Chacune de ces dernières est repliée pour for-

mer six segments parallèles qui traversent la membrane des cellules situées à la frontière entre les racines et les vaisseaux du xylème.

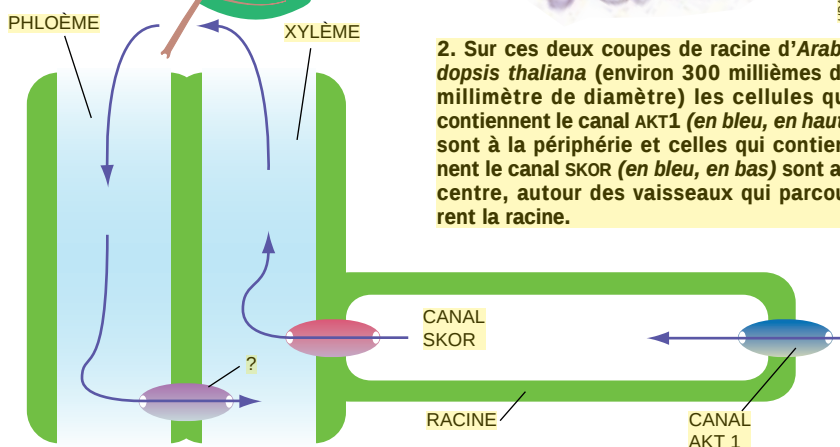
L'un des six segments est chargé électriquement et se déplace en fonction des concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane de la cellule : la protéine SKOR adopte ainsi deux états (ouvert ou fermé) dont dépend le passage des ions potassium. Ce mode de fonctionnement est proche de celui de canaux connus chez l'homme.

Ces canaux sont également contrôlés par l'acide abscissique, une hormone végétale impliquée dans les réactions au stress telles que la sécheresse et le froid, et qui agit sur l'ensemble de l'organisme, des racines aux feuilles.

Or la qualité du moût de raisin, et donc du vin, dépend de la concentration en potassium dans les baies : plus elles sont riches en potassium, plus l'acidité du moût et les qualités organoleptiques du vin diminuent. Toutefois, comme les ions potassium sont indispensables à la bonne croissance de la vigne, les agronomes cherchent à diminuer la teneur en potassium, mais uniquement dans les baies. Pour ce faire, ils tentent, par des modifications génétiques ciblées sur le canal SKOR, de contrôler le transport et la répartition des ions dans la vigne.



2. Sur ces deux coupes de racine d'*Arabidopsis thaliana* (environ 300 millièmes de millimètre de diamètre) les cellules qui contiennent le canal AKT1 (en bleu, en haut) sont à la périphérie et celles qui contiennent le canal SKOR (en bleu, en bas) sont au centre, autour des vaisseaux qui parcourent la racine.



1. Les ions potassium pénètrent dans la racine par le canal AKT1 (en bleu), puis sont sécrétés par le canal SKOR (en rouge) dans le xylème qui les véhicule jusque dans les feuilles. Ils empruntent ensuite le phloème et rejoignent le xylème par un canal inconnu (en violet).

Déchets contre déchets

La pulpe de betterave pour le traitement de l'eau.

Comment éviter les rejets de métaux lourds dans les eaux usées des usines ? Les lagunages qui sont à la mode dans nombre de communes rurales éliminent bien les composés organiques des eaux usées, mais ils ne retiennent pas les métaux comme le plomb, le cuivre et leurs cousins, tous toxiques en concentrations élevées. Jean-François Thibaut et ses collègues de la Station INRA de Nantes ont trouvé un procédé pour capter ces atomes à l'aide d'un déchet de l'industrie agro-alimentaire : ils font passer les eaux usées à travers des pulpes de betteraves.

Ces dernières sont produites en abondance par les industries sucrières : les

25 millions de tonnes de betteraves produites chaque année en France engendrent, après extraction du sucre, 1,3 million de tonnes de pulpe sèche. Celle-ci est vendue pour l'alimentation animale à raison de 700 francs par tonne, mais elle est composée de molécules intéressantes : quelques sucres résiduels, et, surtout, de la cellulose et de la pectine. Ne peut-on tirer un meilleur parti de ces molécules élaborées ?

La pectine est un polymère, c'est-à-dire une molécule composée par l'enchaînement de sucres élémentaires, essentiellement l'acide galacturonique. C'est une molécule que connaissent bien les cuisiniers qui font des confitures : quand on chauffe des fruits en présence de sucre, elle est extraite des parois et passe en solution ; puis, quand le mélange refroidit, les molécules de pectine s'associent et forment un gel, la confiture. Toutefois, toutes les molécules de pec-

tine ne gélifient pas : tout dépend de leur groupes latéraux, qui sont soit des groupes acide carboxylique ($-\text{COOH}$), soit des groupes acides estérifiés par du méthanol ($-\text{COOCH}_3$). Ne gélifient que les molécules de pectine méthylées, c'est-à-dire comportant une forte proportion (plus de 70 pour cent) de groupes latéraux estérifiés. Les molécules de pectine de betterave, qui comportent peu de groupe méthylés, ont longtemps semblé sans intérêt, parce qu'elles ne gélifient pas, mais cet inconvénient portait un avantage : les nombreux groupes acide carboxylique peuvent se lier aux atomes métalliques ionisés (c'est-à-dire qui ont perdu des électrons).

Ayant vérifié les propriétés d'absorption d'ions métalliques par la pulpe de betterave préalablement lavée, les chimistes de Nantes ont d'abord cherché un traitement qui augmenterait ces propriétés. Pourrait-on détacher le méthanol des