

# PROCÉDÉ HUMI-STOP

**CLAUDE SACCARO**  
Case postale 3148  
2001 Neuchâtel CH  
tél./ fax : 032 724 30 66  
[http : // www.humi-stop.ch](http://www.humi-stop.ch)  
E-mail : [info@humi-stop.ch](mailto:info@humi-stop.ch)



**Bureau d'étude des sols  
Hervé Detomasi**  
Rue Davel 14  
1096 Cully CH  
tél. 021 799 46 53  
fax 021 799 46 54  
[www.detomasi.ch](http://www.detomasi.ch)  
E-mail : [solum.detomasi@bluewin.ch](mailto:solum.detomasi@bluewin.ch)

## L'ÉLECTRO-OSMOSE PASSIVE

### LE DEPERISSEMENT DE LA VIGNE LIE A LA DYNAMIQUE DES SOLS CONDITIONNES PAR L'EAU

#### LES SOLS HYDROMORPHES ET LES LIMITES DE L'EFFICACITE D'UN RESEAU DE DRAINAGE

Les sols hydromorphes sont des sols saturés de façon temporaire ou permanente par un excès d'eau, ils sont donc périodiquement privés d'oxygène pendant un temps plus ou moins long. Ces milieux engendrent des dysfonctionnements sur le développement de la vigne.

Le drainage est un excellent moyen pour éliminer l'eau excédentaire. Cependant, un drainage se limite pour l'essentiel, à l'élimination de « l'eau libre », comme celle des mouillères, par exemple.

Malheureusement de nombreux sols sont soumis à une hydromorphie temporaire sans que la technique du drainage soit efficace, c'est parce qu'il n'y a pas « d'eau libre ». Combien de mètres de tuyaux de drainage ont-ils été posés dans ces types de sols sans qu'ils éliminent le moindre litre d'eau ?

#### *L'influence de l'hydromorphie sur le sol et sur la vigne*

Dans un sol en équilibre, le fer est oxydé ( $Fe^{+++}$ ). Les matières organiques se transforment en humus, parce que le milieu est aéré. Le fer et l'humus enrobent les argiles. Il se forme un complexe qui confère au sol une structure. Dans ces conditions, les structures sont « grumeleuses » ; ce sont celles qui laissent le mieux circuler l'eau et l'air.

Lorsque le milieu est hydromorphe, le fer se réduit ( $Fe^{++}$ ). Sous cette forme, le fer ne se combine plus avec les argiles. Les matières organiques, dans ces milieux anaérobioses, se transforment incomplètement, elles n'aboutissent pas à la formation d'humus stable. Il se forme des acides organiques. Les acides organiques et le fer réduit élaborent alors un complexe indépendant des argiles. Les argiles, n'étant plus protégées, sont lessivées à l'intérieur du sol. Au niveau du sol, on observe des structures qui deviennent fragmentaires « anguleuses » voire « compactes ». Dans ce type de structures, l'eau et l'air du sol ne circulent pas normalement, les fluides stagnent. Le milieu devient alors, encore plus anaérobie. Donc, les matières organiques se décomposent encore moins bien. Or, à ce stade de décomposition, les matières organiques libèrent des gaz toxiques. L'ensemble de ces conditions : réduction du fer, transformation incomplète des

matières organiques, migration des argiles et production de gaz, entraînent, dans ce type de sols, le dépérissement de la vigne.

Dans un premier temps des nécroses apparaissent sur les racines de la vigne. Puis ces nécroses gagnent le talon du cep. Les canaux véhiculant les sèves brutes et élaborées ne fonctionnent que partiellement. Dans un deuxième temps, le feuillage de la vigne chlorose. Lorsqu'un grand nombre de feuilles sont chlorosées, la vigne ne produit plus assez de « sucres » pour ces réserves. Ainsi, le cep s'affaiblit et en quelques années (2 – 3 ans), il dépérit. Un cep rabougri ne résiste que très mollement aux attaques de parasites tels que : la dégénérescence infectieuse, le pourridié, l'esca, l'eutypiose, voire l'excoriose.

### ***Les limites de l'aération d'un sol hydromorphe***

Pour remédier à ce mécanisme d'hydromorphie, traditionnellement quelques techniques sont conseillées :

- Û Un amendement organique permet de reconstruire une structure. Cependant, ces amendements ont une action limitée à cause de leur décomposition incomplète dans ces milieux.
- Û Un autre moyen de reconstruire la structure est d'engazonner l'interligne. Toutefois, cette technique trouve rapidement ses limites à cause d'une concurrence hydrique très marquée. L'enracinement de la vigne reste superficiel parce que le sol est asphyxié en profondeur.
- Û Pour aérer le sol, il ne reste plus qu'à le travailler. Pour obtenir de bons résultats, il faut que la terre soit dans un état d'humidité « parfait ». Si la terre est trop humide, la structure est détruite, si la terre est trop sèche, la machine ne pénètre pas le sol. Donc, le choix du moment du travail du sol est déterminant. Cet état d'humidité « idéal » est difficile à cerner dans une exploitation où de multiples autres travaux quotidiens sont monnaie courante.

De trop nombreuses vignes ont une durée de vie écourtées à cause de l'hydromorphie. À ce stade, il est important de comprendre que plus un sol est hydromorphe, plus les mécanismes de détérioration du sol s'amplifient et par conséquent la vigne dépérit plus rapidement.

### **LA DÉGRADATION DES SOLS**

Dans un milieu sain, tous les mécanismes de dégradation du sol sont présents, mais ils se déroulent très lentement. Il n'en va pas de même dans un milieu hydromorphe. Les mécanismes de dissolution, d'hydratation et d'hydrolyses s'amplifient et de ce fait, le sol se dégrade d'autant plus vite.

#### ***La dissolution***

Dans un sol calcaire hydromorphe par exemple, la destruction du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) est une dissolution.

Dans un premier temps, il y a formation d'acide carbonique :  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$

Puis, altération du carbonate de calcium par cet acide.  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} (\text{HCO}_3^-)_2$

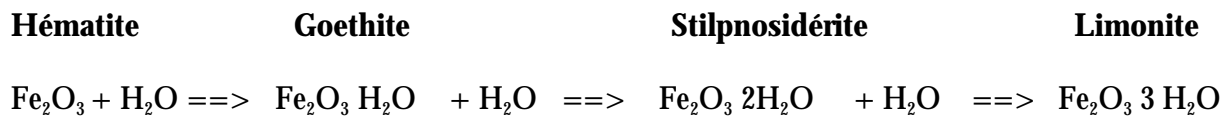
Cette altération est amplifiée dans les sols froids. Or, l'humidité ralentit considérablement le réchauffement du sol.

#### ***L'hydratation***

Cette altération est liée à la polarité de l'eau. Un réseau cristallin présente à sa périphérie des charges électriques. Les molécules d'eau s'orientent autour du réseau cristallin selon une polarité inverse. Or, un réseau cristallin n'est pas stable, il contient des fissures. Ces fissures présentent à l'intérieur des polarités différentes. Des molécules d'eau peuvent « forcer » le passage à la

périphérie de ces fissures et s'infiltrer à l'intérieur du réseau. À ce stade, n'oublions pas que, de par leur polarité les molécules d'eau vont encore augmenter l'instabilité. Ainsi de proche en proche l'eau altère un réseau cristallin.

Exemple d'hydratation : l'hématite qui se transforme en limonite



Précisons que la limonite est un traceur indiquant l'hydromorphie temporaire.

### ***L'hydrolyse***

Les argiles, au sens minéralogique, sont des phyllosilicates d'alumine. À l'échelle nanométrique, ils se présentent sous forme de feuillets empilés les uns sur les autres, un peu comme des pièces de pâtisserie : les mille feuilles. Ces feuillets sont liés entre-eux par des liaisons plus ou moins fortes selon le type d'argile.

Dans ce cas de figure, l'altération est une combinaison entre l'hydratation (pénétration des molécules d'eau entre les feuillets d'argile) et des phénomènes de substitution d'éléments composant le réseau cristallin. Dans un premier temps, les molécules d'eau sont capables d'écarter les feuillets d'argile. Elles fragilisent ainsi le réseau cristallin. Comme le réseau est déséquilibré, il va s'ensuivre toute une série de substitutions au sein des feuillets, entre des atomes comme le silicium ( $\text{Si}^{4+}$ ) qui sont « chassés » du réseau et remplacés par un ( $\text{Al}^{3+}$ ). Il existe également des substitutions entre l'aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Toutes ces substitutions entraînent une différence de potentiel électrique, l'argile devient électronégatif. À la périphérie des argiles, des films de molécules d'eau se forment. Ces molécules polarisées s'orientent selon la polarité de l'argile qui est devenue électronégative et le pôle positif de la molécule d'eau. On observe également la présence de cations dans la solution interstitielle, ils entourent l'argile en couches de plus en plus lâches au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'argile. À très long terme, tous ces mécanismes tendent à la transformation des argiles puis à leur destruction. Or, si les structures se détruisent, le milieu devient encore plus hydromorphe.

Heureusement l'évolution des techniques et des recherches permettent d'envisager, pour ces milieux, des solutions intéressantes.

### **LES FORCES THERMODYNAMIQUES**

La remontée de l'eau au travers du sol ne dépend pas du seul effet de la capillarité. Certes, la capillarité participe à ce mécanisme, mais dans une faible proportion, elle n'est pas seule en cause. Les phénomènes d'électro-osmose et d'électro-filtration jouent un rôle primordial. Ils trouvent leur origine physique à l'échelle nanométrique. C'est à l'interface des particules d'argile et de la solution interstitielle, où se forment des couches ioniques, que ces phénomènes se généralisent.

### ***L'électro-osmose***

Une différence de potentiel électrique provoque un déplacement du liquide interstitiel de l'anode vers la cathode en raison de la non uniformité de la distribution des cations et des anions au voisinage de la particule chargée, c'est l'électro-osmose.

### ***L'électro-filtration***

Réciproquement, l'application d'un gradient de potentiel hydrique fait que l'eau entraîne, dans sa circulation des particules chargées, ce qui donnent naissance à un courant électrique. Il s'agit de l'électro-filtration.

Ainsi, dans un sol l'existence de forces thermodynamiques : gradients de potentiel hydrique, de potentiel électrique et de potentiel chimique provoquent des flux de solutions, d'électrons et de ions. La différence de tension électrique est généralement très faible, il s'agit de millivolts.

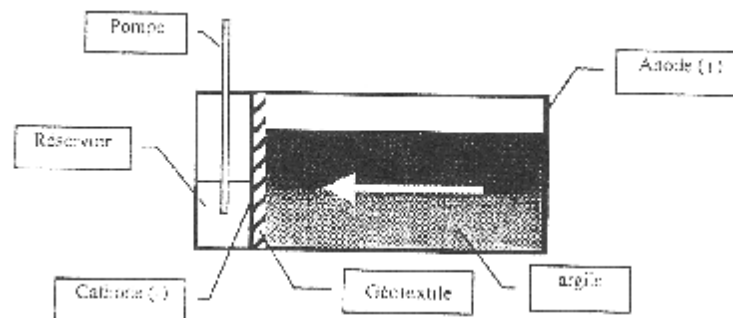
### **Utilisation de couplage thermo-électro-mécaniques**

Le procédé d'électro-osmose est utilisé en géotechnique pour la stabilisation provisoire des pentes en phase de terrassement ou encore dans la réhabilitation des bassins de décantation des carrières des boues de dragage et de lavage des granulats. Une équipe de chercheurs a mis en évidence un dispositif expérimental sur des échantillons de boue de lavage. La fraction argileuse de cette boue est une bentonite. Par conséquent, cette boue est très active car elle possède une grande capacité d'échange (cec). La teneur en eau pondérale initiale est d'environ 40 %.

Le dispositif expérimental employé est constitué de :

- deux types de cellules parallélépipédiques avec des électrodes,
- des tensionmètres (capteurs de pression interstitielle),
- des pHmètres, des électrodes de mesure de la chute de la tension dans l'échantillon.
- des thermocouples et une pompe péristaltique pour récupérer l'eau déplacée vers la cathode par l'électro-osmose.

L'essai a permis de constater que l'échantillon en question est « électro-osmosable ». L'apparition de l'eau à la cathode est pratiquement immédiate après l'établissement du courant électrique. L'essai est contrôlé en imposant une intensité électrique d'environ 50 mA, ce qui correspond à un gradient d'environ 1 V/cm.



Ces résultats démontrent l'efficacité de la méthode. De plus, à l'échelle mondiale plusieurs centres de recherches explorent ces domaines.

### **L'ELECTRO-OSMOSE PASSIVE**

Comment remédier à l'eau excédentaire dans les sols hydromorphes. Après avoir expertisé le sol à l'aide d'observations in situ et d'analyses appropriées, un correcteur de champ électromagnétique est fabriqué et installé d'après une méthodologie spécialement adaptée à chaque type de sols et à la vigne.

Dès la pose du système, une modification du champ électromagnétique s'opère. Dans un même temps le mouvement ascensionnel de l'eau se trouve ralenti. En créant un champ électromagnétique dans le couple sol-vigne, on rend ainsi passif les phénomènes de l'électro-osmose et de l'électro-filtration.

### **L'EFFET DE L'ELECTRO-OSMOSE ET DE L'ELECTRO-FILTRATION SUR LE SOL ET LA VIGNE**

Reprenons notre exemple du sol hydromorphe dont le mouvement ascensionnel est ralenti par l'application d'un correcteur. La remontée des eaux est limitée, le milieu va s'aérer. Le fer ferreux

va redevenir ferrugineuse. Les matières organiques vont se décomposer en humus puisque le milieu est aéré. L'humus va redonner une structure au sol. Le sol retrouve une structure. L'eau, par gravité, et surtout l'air vont circuler. Dans ces conditions, les racines de la vigne ne se nécrosent pas, les sèves brutes et élaborées remplissent leur mission, les feuilles ne chlorosent plus, la vigne fait ses réserves en sucres, le cep est sain. Une vigne saine résiste d'autant mieux aux attaques des parasites, surtout si ces derniers, les champignons par exemple, ne trouvent plus de matières organiques incomplètement décomposées pour se développer. De plus, une vigne saine voit sa durée de vie se prolonger.

### **Références viticoles :**

Clos de Vougeot, Bourgogne, France  
Vosne Romanée, Bourgogne, France  
Nuit Saint-Georges, 1<sup>er</sup> cru, Bourgogne, France  
Hautes-Côtes de Beaune, Bourgogne, France

### **Références Bibliographiques :**

J.-L. Aurault, T. Strzelecki, on the electro-osmotic flow in saturated porous media, *Int. J. Engrg. Sci.* 19 (1981) 915-928  
T. Lemaire, C. Moyone, D. Stemmelen, M.A. Murad, Electro-chemo-mechanical coupling in swelling clays derived by homogenization : electrivisions effects and Osanger's relation, in J.L. Aurault, et al. (Eds). *Proceedings of the Second Biot Conférences on Poromechanics*, Balkema, 2002, pp. 489-494.  
O. Storeman, B. jonsson, Electro-osmosis : velocity profiles in different geometries with both temporal and spatial resolution, *J. Phys. Chem.* 105 (23) (1996)  
K. Beddiar, Sur certains aspects de couplages dans les milieux poreux électrisé, Application à l'électro-osmose dans les argyles, Thèse de Doctorat de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 2001  
J.C. Bénét, Contribution à l'étude thermodynamique des milieux poreux non saturé avec changement de phase. Thèse de doctorat d'Etat de l'Université de Sciences et techniques du Landoc. Académie de Montpellier, 1981.  
L. Casagrande, Electro-osmosis stabilization of soils, *J. Boston Soc. Civ. Engrg.* 39 (1) (1949) 51-83.