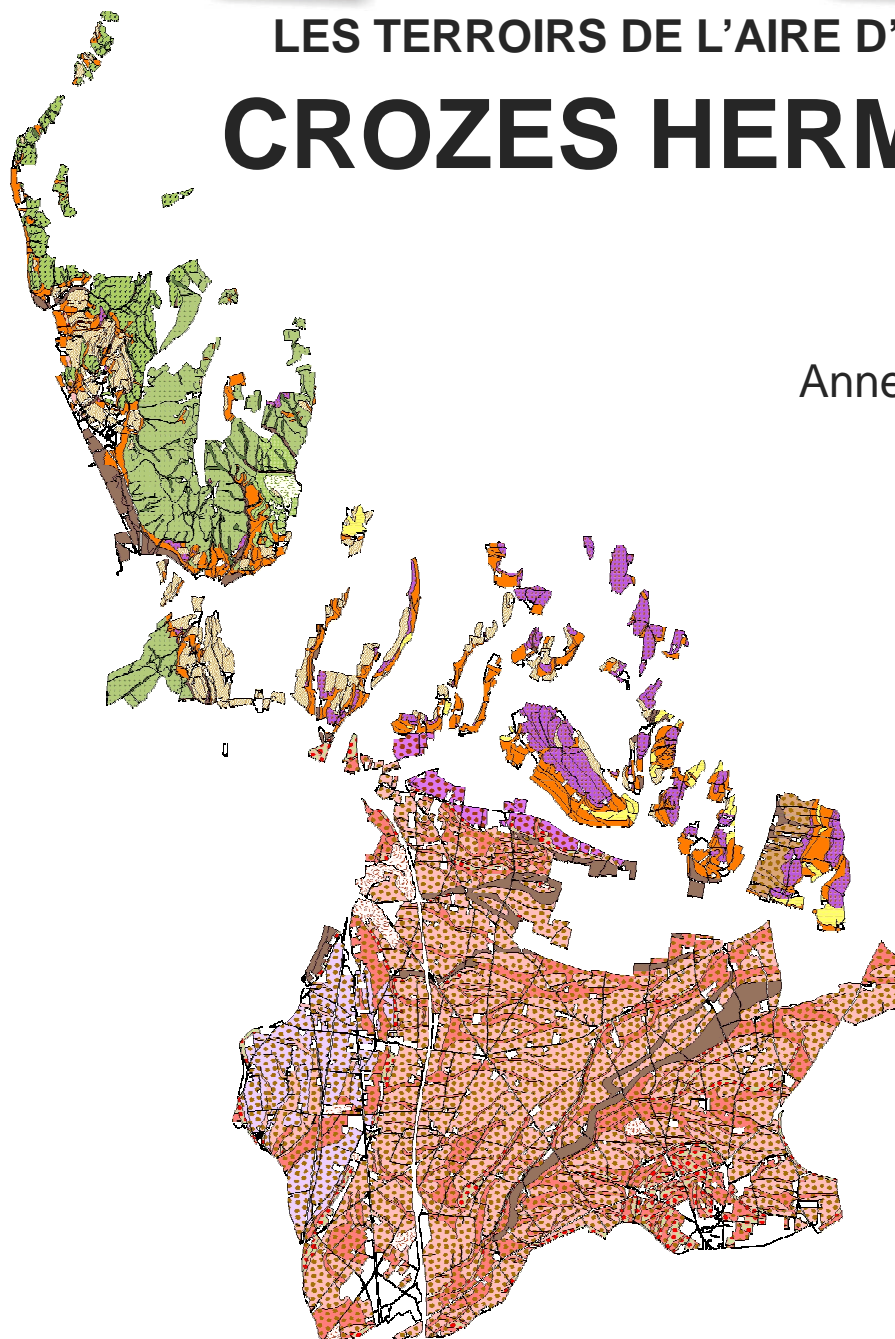




LES TERROIRS DE L'AIRE D'APPELLATION **CROZES HERMITAGE**

Cahier 2

Annexes Techniques



Porteur de projet



Partenaire

Rhône-Alpes Région

Réalisation



Juillet 2009 - Février 2011

TABLE DES MATIERES - CAHIER TECHNIQUE

1. RELATIONS SOL/VIGNE	4
1.1. L'ETAT DES CONNAISSANCES	4
1.1.1. Les profils hydriques	4
1.1.2. Construction, lecture des schémas hydrique et racinaires	5
1.1.3. Les potentiels hydriques : Ψ_{Fb} , Ψ_{Fb}	6
1.1.4. L'itinéraire hydrique	6
1.1.5. Le « delta C13 »	6
1.1.6. Quelques résultats croisés	7
1.1.7. Quelques ordres de grandeur... ..	9
1.2. RETROUVER CES RELATIONS SUR LE TERRAIN	10
2. PÉDOLOGIE	11
Une vitipédologie ?	11
2.1. RAPPELS GÉNÉRAUX.....	12
2.2. TERMES DE PÉDOLOGIE IMPORTANTS.....	13
2.2.1. Texture- structure du sol	13
2.2.2. L'argile: bonne ou mauvaise, vraie ou fausse?	14
2.2.3. La Roche mère du pédologue : le matériau parental.....	16
2.2.4. Quelques précisions sur les mots liés au calcaire	17
2.3. CLEF POUR LES RÉFÉRENCES DE SOLS UTILISES	25
3. FONCTIONNEMENT DES SOLS.....	29
3.1. LES ANALYSES DE TERRE.....	29
3.1.1. Utilisation pour l'étude.....	29
3.1.2. Utilisation du triangle des textures du GEPPA	31
3.1.3. Clefs de lectures des analyses de terre	32
3.2. LA RÉSERVE EN EAU - QUANTITÉ / "QUALITÉ"	44
3.2.1. Quantité d'eau stockée dans un sol	44
3.2.2. Gestion de l'eau du sol	46
3.2.3. Peut on modifier la taille du réservoir et son accessibilité.....	48
3.2.4. Conclusion sur le volet hydrique	49
3.3. GÉNÉRALITÉS SUR L'HYDROMORPHIE ET L'HYDROLOGIE.....	51
3.3.1. Les origines des excès d'eau	51
3.3.2. Les marqueurs visibles	52
NOMS DES SOLS	54
LEXIQUE	55
BIBLIOGRAPHIE-liens.....	59

1. RELATIONS SOL/VIGNE

Avant de détailler tous les éléments du sol qui interviennent dans son rôle, ce premier chapitre fait le point sur un certain nombre de résultats de recherches récentes concernant l'eau dans le sol et dans la plante. On peut consulter ce site puis naviguer de liens en liens (bibliographie), ils sont de plus en plus nombreux. **Prendre soin de distinguer les sites commerciaux des sites issus des organismes de recherche/développement.** Les premiers sont toujours assortis de résultats mirifiques.

1.1. L'ETAT DES CONNAISSANCES

1.1.1. Les profils hydriques

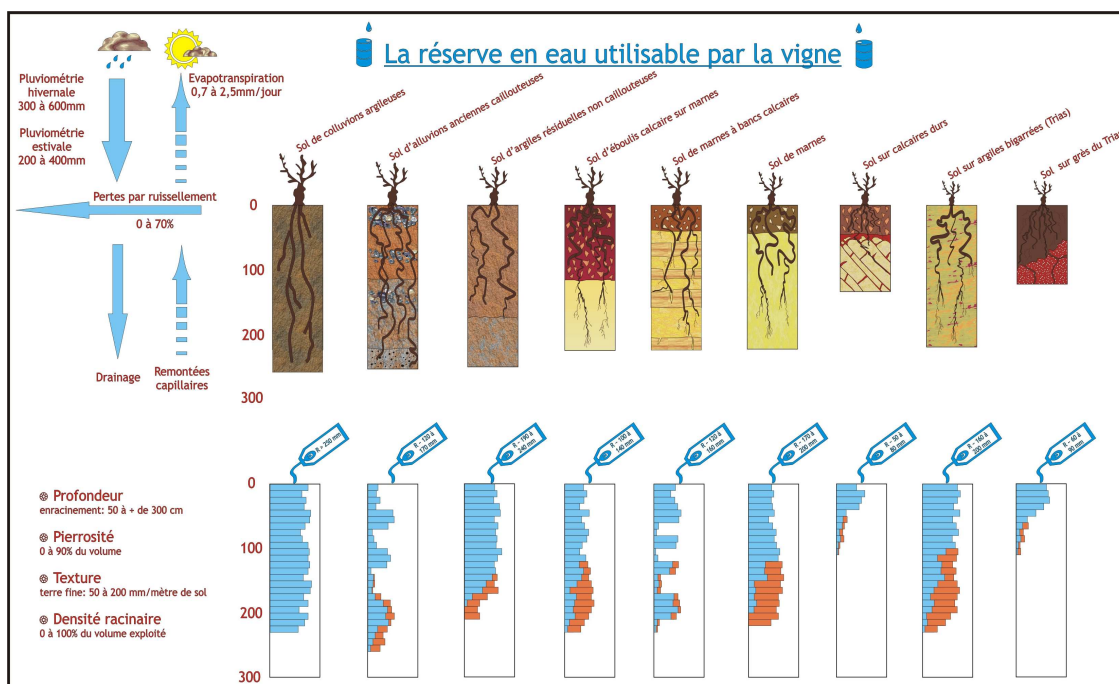
L'alimentation hydrique de la plante dépend pour partie:

- du millésime -au sens élargi, incluant les pluies de l'automne et de l'hiver précédent, et les pertes par évapotranspiration.
- du stock d'eau disponible présent dans le sol.

La taille du 'réservoir-sol' varie selon les sols, de 40l à 350l /m² de terroir soit 40 à 350mm ou 400 à 3500m³ /ha. Il peut être plus ou moins rempli en fin d'hiver ; On peut suivre les stocks au démarrage de la végétation, à la floraison, à la véraison...

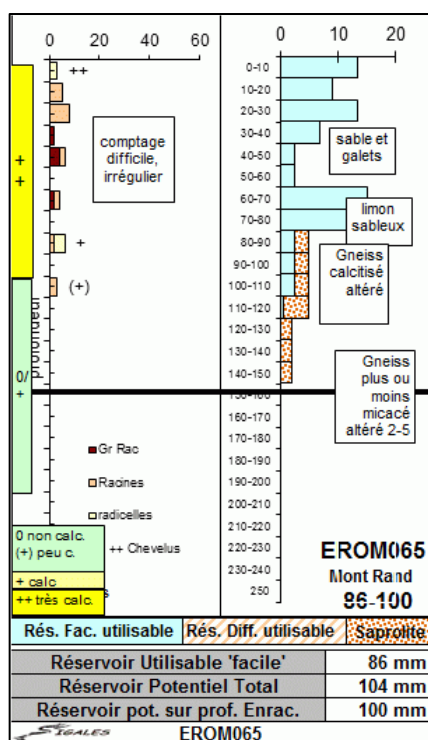
NB : L'état d'aération intervient aussi puisque dans un sol gorgé d'eau stagnante non oxygénée les échanges ne se feront pas.

Ces deux facteurs déterminent au final l'offre en eau à chaque étape du développement de la plante. En face de cette offre, on peut poser les besoins de la vigne en place qui constituent la demande en eau. Ces besoins dépendent étroitement des stades phénologiques et en particulier de la surface foliaire à chaque date, mais aussi des objectifs finaux du vigneron (quantitatifs et qualitatifs) qui ne sont pas "cartographiable". Tout au long d'un millésime, une vigne sur son sol suit donc un « ITINERAIRE HYDRIQUE » qui lui est propre.



1.1.2. Construction, lecture des schémas hydrique et racinaires

Une visualisation très schématique est permise par nos 'profils', dont voici le guide de lecture :



a- La colonne jaune et verte à gauche rappelle les teneurs en calcaire de la terre fine (0 à +++): Ex: le profil est calcaire jusqu'à 90cm, pas ensuite en EROM065, tout acide en CHAN011.

b- Le profil racinaire à gauche: il décrit la répartition des racines en :

GR-grosses racines diamètre supérieur à 5mm

R-racines diamètre supérieur à 2mm

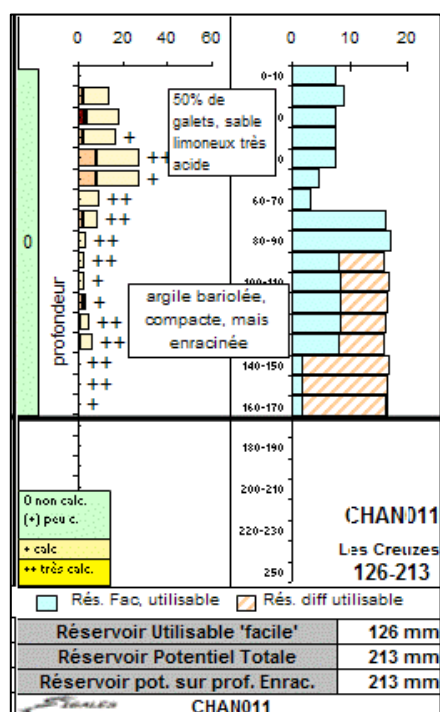
r-fines racines diamètre inférieur à 2mm

+, ++, +++ abondance des chevelus très fins non dénombrables

(#), #, ## chevelus feutrants les prismes de marne, ou d'argile. Ex: l'enracinement est faible et/ou très peu visible en EROM065.

c- Le profil hydrique à droite: il évalue pour chaque tranche de 10cm de sol la quantité d'eau en mm (= volume en litre par m2 de sol) stockable: Elle peut varier de 0 (pas de terre fine) à 20mm pour un limon argileux sans cailloux par exemple.

Les barres toutes bleues correspondent à un volume d'eau potentiel entièrement disponible



Les zones orangées hachurées, correspondent aux volumes non rocheux durs, mais compacts et très mal explorés. (marnes, argiles prismatiques, moraines de fond..etc.): Ils stockent de l'eau mais sont souvent très peu oxygénés; L'eau est moins facile à utiliser par les racines qui y sont très rares voire absentes. Ex: CHAN011

Enfin les pointillées orangées veulent évoquer la contribution du saprolite de granite altéré, poreux et un peu enraciné. Ex: EROM65, environ 20mm? Pour le moment ce chiffre est très approximatif.

Les trois chiffres de cumul en bas du bloc de schéma correspondent :

Le 1^{er} au cumul de tout le bleu : 86 et 126mm

Le 2^{ème} au cumul bleu + orange sur toute la profondeur observée, avec ou sans racines ici 104 et 213mm

Le 3^{ème} (RUM) = au cumul bleu + orange jusqu'aux dernières racines + 10cm. Soit 120cm et 170cm

(Coefficient racinaire non nul tant qu'il y a encore un peu de bleu dans la tranche horizontale).

NB: Pour le détail des calculs : demander la « moulinette » à contact@sigales.fr

1.1.3. Les potentiels hydriques : Ψ_{Fb} , Ψ_{Fb}

L'état d'équilibre entre l'offre et la demande peut être mis en évidence par la délicate mesure du "potentiel hydrique de feuille avant l'aube" = "potentiel foliaire de base = Ψ_{Fb} ". Cette mesure reflète très fidèlement le niveau de contrainte hydrique de la plante à une date donnée, puisque la plante se met en équilibre avec son sol en fin de nuit. C'est la mesure de référence pour tous les travaux liés au thème. Ce niveau de contrainte dépend (en moyenne) à part égale de la fraction de millésime écoulée et du sol (voir tableau AP1 page 8) : La taille du réservoir dépend du sol et de l'implantation racinaire plus ou moins réussie en profondeur, son remplissage dépend du millésime, de la topographie et des apports latéraux et de l'état de surface (bonne perméabilité mais bonne protection contre l'évaporation), la rapidité de son épuisement dépend en gros du millésime, de la plante et du vigneron (enherbement etc).



On peut faire cette mesure en milieu de journée, ce qui est beaucoup plus facile, mais beaucoup plus sensible aux diverses conditions de la journée, à condition d'ensacher les feuilles.

Plus le potentiel de base est négatif, plus la contrainte est forte. Chaque ensemble cépage/sol/millésime suivra donc un parcours hydrique particulier.

1.1.4. L'itinéraire hydrique

On sait aujourd'hui que même en l'absence de contraintes visibles -à l'œil- sur la plante (étude menée par la coopérative d'Arques - Limoux), des modifications physiologiques à forte incidence sur la qualité des produits finaux sont corrélées aux niveaux de contraintes hydriques progressivement atteints dans le sol, mesurés par les mesures de potentiel foliaire de base Ψ_{Fb} tout au long du cycle de la vigne, bien avant la maturation proprement dite. On peut ainsi parler d'« itinéraire hydrique » (ITV-France JC.Payan). Si l'on découpe le cycle de la vigne en 5 périodes et que l'on affecte un chiffre de 0 = pas de contrainte ($\Psi_{Fb} > -2$) à 5 =(contrainte très forte $\Psi_{Fb} < -9$) le niveau de contrainte atteint, chaque parcelle peut se voir décrite par un code du type 00124, 01201 par exemple. Comme cet itinéraire hydrique est évidemment tout autant dépendant du sol (réservoir/réserve) que du millésime ou du mode de culture (cépage, porte greffe, conduite), nous l'avons en point de mire en permanence pour choisir nos codes de cartographie.

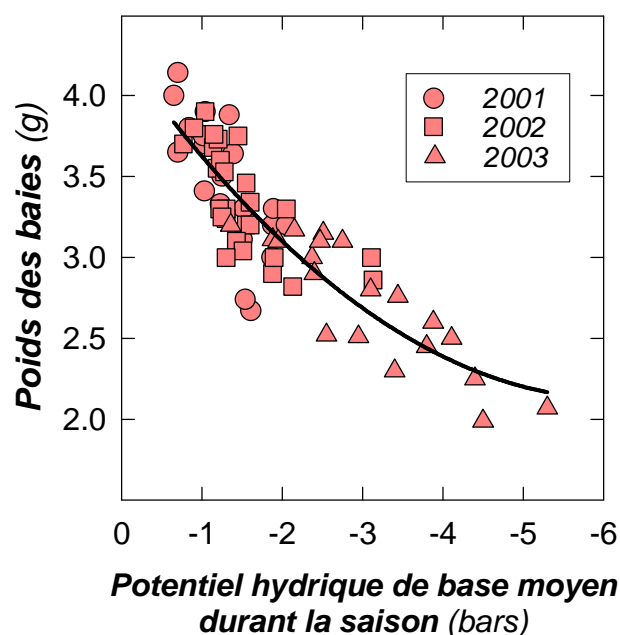
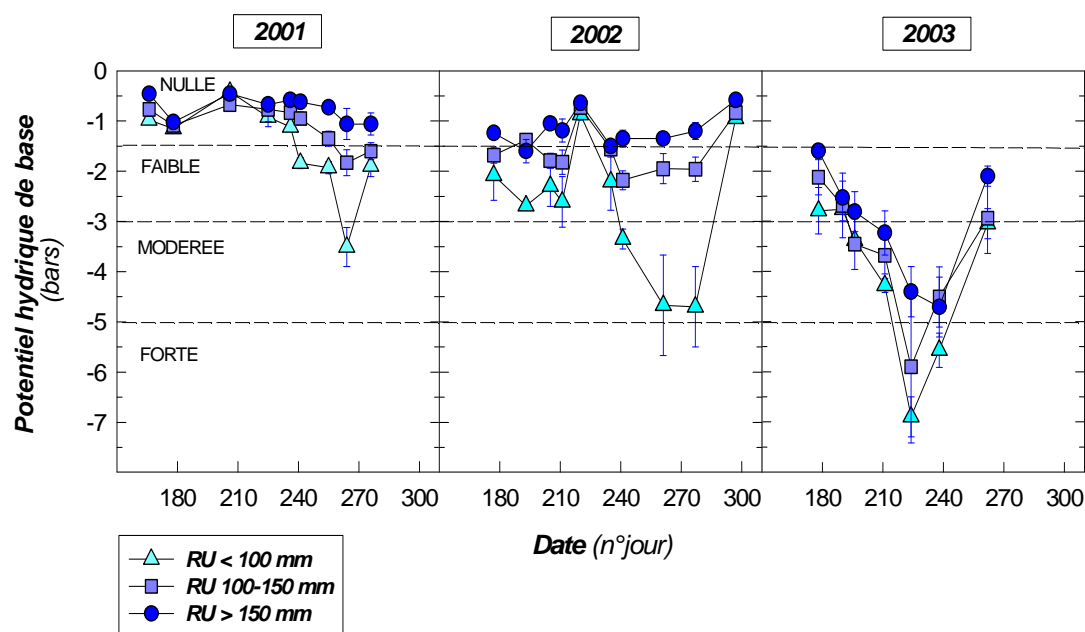
1.1.5. Le « delta C13 »

Avec la mesure du potentiel foliaire de base, qu'elle complète parfaitement d'ailleurs, c'est l'une des nouveautés issue de la recherche publique qui est vraiment utilisable en pratique et pas trop coûteuse. C'est un indicateur global de la contrainte hydrique subie par la vigne durant le millésime.

Pour résumer : selon la contrainte hydrique qu'elle subit, la plante n'absorbe pas la même quantité des deux isotopes du carbone : Carbone 12 ou Carbone 13. On mesure le rapport C13/C12 (deltaC13 noté $\delta C13$), dans les moûts à maturité, voire dans les vieux vins, et on peut en déduire des relations de cause à effet entre qualité et contrainte globale subie. Ces relations sont le plus souvent très étroites.

1.1.6. Quelques résultats croisés

Les suivis qui ont été menés de 2001 à 2003 par l'équipe de recherche en viticulture de la Station de recherche Agroscope Changins Wädenswil (Suisse) ont bien montré l'étroite relation qui existe entre le sol et de multiples paramètres importants mesurés sur la plante.. Ces courbes ont été obtenues après un nombre conséquent de mesures: 15 point par cycle et plus de 50 parcelles suivies sur 3 grands types de sols (à réservoirs de taille différentes) :



Des études menées parallèlement par l'UMR d'écophysiologie et génomique fonctionnelle de la vigne, dans le vignoble bordelais, ont isolé le poids relatif de chaque facteur sur différents paramètres mesurés de la vigne ou des moûts. Nous avons résumé grossièrement ces résultats dans le tableau suivant, à titre d'exemple pour une région (bordeaux) et un cépage rouge (le merlot) donnés. Ces résultats ne sont pas transposables tels quels.

Il semble également que ces comparaisons aient été faites sur des terroirs plats, car il n'est pas fait mention de l'altitude, de la pente ni de l'exposition, facteurs qui auront d'autant plus d'importance que l'on montera en latitude, et que les régimes pluviométriques sont contrastés.

En mono-cépage (Merlot):	Rôle du millésime	Rôle du sol	Clone + porte greffe??
Date d'arrêt de croissance des rameaux	83%	17%	?
Date de véraison	99%	1%	?
Poids des baies	44%	56%	?
Sucres à maturité	27%	73%	?
Acidité malique	92%	8%	?
Anthocyanes	44%	56%	?
Potentiel hydrique	52%	48%	?

Tableau AP1: Relations terroir / vigne d'après C.van Leeuwen

Le **potentiel hydrique de base**, lui-même expliqué à part presque égales par le millésime et le sol, est le facteur **le mieux en relation** avec les paramètres facilement mesurables sur la baie ou la plante. Le tableau ci-dessous donne des exemples de corrélations (adapté de Kees van Leeuwen - Bordelais- Merlot)

Coefficient de Corrélation entre les mesures de potentiel hydrique et...		Type de relation	Signification
1-La teneur en Anthocyanes	77%	linéaire décroissant	Plus la contrainte hydrique est forte (=Potentiel très négatif) plus la teneur en Anthocyanes est forte
2-La taille des baies	76%	linéaire croissant	Plus la contrainte hydrique est forte (=Potentiel très négatif) plus la taille est faible
3-La date d'arrêt de croissance des rameaux	70%	linéaire croissant	Plus la contrainte est forte (=Potentiel très négatif) plus la date est précoce
4-La teneur en sucres à maturité	72%	courbe en cloche	Contrainte hydrique nulle/très faible ou très forte: baisse des sucres
5-L'acide malique	52%	linéaire croissant	Plus la contrainte hydrique est forte (=Potentiel très négatif) plus la teneur est faible

Tableau AP-2: Relation potentiel hydrique / caractères de la baie

On retrouverait donc, en simplifiant abusivement, une influence moyenne de 30 à 40% (77% x 48% par exemple pour les anthocyanes) du seul sol, par l'intermédiaire de sa fonction de réservoir hydrique, dans les différentes mesures sur le végétal. Cela mérite donc de s'y attarder.

1.2. RETROUVER CES RELATIONS SUR LE TERRAIN

De telles relations devraient être simples à mettre en évidence. La pratique montre que ce n'est pas le cas, même pour des parcelles d'observations scientifiques apparemment très maîtrisées d'où l'intérêt des études décrites précédemment qui concernent de nombreuses parcelles. Une première raison est qu'il existe rarement des sols absolument jumeaux, et que l'étude fine de micro-parcelles nécessite de mettre en œuvre des micro-vinifications qui ne sont pas toujours représentatives.

Dans les conditions normales d'exploitation, on se trouvera souvent devant deux types de configurations :

A- Une parcelle culturale s'étend sur plusieurs types de sol

- Dans une parcelle culturale, homogène du point de vue de son histoire et de la conduite du végétal, vinifiée par un seul propriétaire, en situation de pente, et démarrant sur un banc rocheux pour se terminer dans des colluvions profondes, la contrainte hydrique va passer de très forte en haut de pente à nulle en bas. Cette situation est relativement courante dans les vignobles de côte.
 - ✓ Les raisins montrent à maturité d'importantes différences de poids, de teneurs en sucres et en anthocyanes.
 - ✓ Ces différences sont plus marquées les millésimes extrêmes.
 - ✓ S'il y a séparation des raisins, les effets du sol seront à 100% explicatifs des différences entre les cuvées.
 - ✓ Si tout le raisin est vendangé en même temps et se retrouve dans la même cuve, avec une vinification commune, le rôle propre du sol est évidemment brouillé, c'est un « assemblage naturel ».
 - ✓ De plus un vigneron avisé ajustera les fumures, les interventions et la charge au sein même de sa parcelle culturale
- On peut, mais plus rarement, trouver dans une même parcelle culturale des différences d'origine purement microclimatiques : exposition, abri aux vents dominants ou pente (réception de l'énergie solaire différente).

B- Une unité de sol homogène est occupée par plusieurs parcelles culturales distinctes

- Dans deux parcelles prises au même niveau d'une pente homogène, sur un même type de sol, mais appartenant à deux viticulteurs de personnalités très différentes, avec des clones, des portes greffe différents, 100% des différences dans les vins viendront d'autres facteurs que du sol. Tout au long de la chaîne de production, de la préparation du sol jusqu'à la dégustation, les causes de différenciation entre deux bouteilles se démultiplieront au fil du temps.
 - ✗ Premier aiguillage dès le choix du matériel végétal, mais aussi les conditions climatiques (sécheresse, aoûtement, gel) ayant régné les premières années de la vigne au moment où se constitue les charpentières racinaires, les modes de préparation du sol.
 - ✗ Second aiguillage selon les choix culturaux généraux: densité de plantation, fertilisation, conduite
 - ✗ Troisième aiguillage selon les choix culturaux annuels de début de végétation (taille, charge, fertilisation)
 - ✗ Quatrième aiguillage après la véraison, égrappage, vendanges en verts, dates de récolte
 - ✗ Cinquième aiguillage et pas le moindre, tout ce qui se passe après la vendange, quand le vigneron va vouloir imprimer sa personnalité sur ses produits...gommer, atténuer, ou au contraire mettre en valeur des particularités.

2. PÉDOLOGIE

Nous essayons de n'employer qu'un minimum de termes très techniques, pour faciliter la communication entre les vignerons, et les techniciens de différentes communes ou régions.

La prise en main d'un vocabulaire pertinent pour la description des sols viticoles reste cependant une priorité de l'étude. Il faut donc préciser un certain nombre de termes pour qu'aucune ambiguïté ne subsiste lorsqu'on parlera de limon, de marne, de grès. Nous développons dans les paragraphes qui suivent les notions de formation des sols, de texture, de structure, d'argile et de roche mère.

Une vitipédologie ?

La vigne, mi-liane, mi-arbuste, possède une capacité impressionnante à coloniser toutes les couches pénétrables et les moindres fissures. La colonisation des matériaux parentaux à peine transformés par des quantités parfois extraordinaires de racines grosses et très lignifiées crée un milieu particulier en profondeur avec une activité biologique originale (pas encore étudiée) et probablement centrée autour des champignons microscopiques, mycorhizes et surtout endomycorhizes (à l'intérieur de la racine, donc invisibles).

Dans cette relation de symbiose, le mycorhize aide la plante à obtenir l'eau et certains sels minéraux présents dans le sol (principalement l'azote mais surtout le phosphore, dont on ne connaît pas de carence vraie, pour cette raison), tout en la protégeant d'attaques d'autres organismes pathogènes (production d'antibiotiques ?).

Par un genre d'effet « agro-forestier », on pourrait ainsi comprendre qu'un sol de vigne bien mené se "fasse" sur plusieurs générations et ne connaisse les problèmes traditionnellement attribués aux grandes monocultures intensives que dans des cas d'erreurs ou d'excès en sols particulièrement fragiles (battants, tassés, acides, peu argileux, humides, etc.). L'épuisement direct est moins fréquent que pour la plupart des grandes cultures européennes, puisqu'en viticulture ce n'est pas la quantité maximale, mais la qualité qui est recherchée. La quantité d'éléments exportés annuellement autres que l'eau et le carbone et est en réalité assez faible sur la durée de vie de la vigne.

Quand la roche elle-même est explorée par les racines (cailloutis, roche fissurée ou à couches de marnes..., saprolite), il faut soigneusement l'intégrer à la description du profil. Si l'observation des couches superficielles (=agrologie) apporte de bonnes réponses aux questions posées par les cultures annuelles et dans les toutes premières années de la jeune vigne, nous sommes, en viticulture non irriguée, dans une problématique qui intéressera beaucoup plus les couches profondes et peu transformées du sol, souvent inaccessible à la tarière. Répétons que les racines de vigne mycorhizées peuvent assurer des transferts de la roche vers la plante, sans qu'il y ait forcément de matière organique autre que les racines et des microorganismes dans l'horizon : il y a utilisation directe ou indirecte de la totalité de l'épaisseur du sol (sens large), parfois jusqu'à plusieurs mètres de profondeur et pas seulement pour l'eau.

Pour nous la formalisation scientifique d'une viti-pédologie, avec ses contraintes et ses besoins en réponses spécifiques, se justifie avec entre autre :

- Des exigences particulières en matière de prospection cartographique (plus de profils profonds, avec formation à l'autodiagnostic pour les vignerons).
- Un lexique mieux adapté aux roches altérées (exemple des saprolites) et aux formations polygéniques ou poly-lithiques.
- Des outils d'évaluation du réservoir hydrique (quantité qualité) et un vocabulaire normalisé.
- La création de noms de sols normalisés mais mieux ciblés si l'on veut que les utilisateurs viticoles comprennent et respectent les pédologues. Les correspondances exactes avec les référentiels (français et étrangers) seraient assurés par des 'traducteurs' rompus à cet exercice.
- Des échanges facilités entre régions viticoles, avec des visites croisées de séries de profils profonds.

2.1. RAPPELS GÉNÉRAUX

Un peu de poésie! La norme ISO 11074 définit ainsi le sol: "Couche supérieure de la croûte terrestre composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes".

Les fonctions du sol sont multiples et fondatrices de la plupart des civilisations:

- *contrôle des cycles des éléments (carbone, phosphore azote) et de l'énergie en tant que compartiment des écosystèmes;*
- *support des plantes, des animaux et de l'homme;*
- *base et/ou constituants des constructions et des immeubles;*
- *production agricole;*
- *rétenion de l'eau et des dépôts;*
- *réserve génétique (très méconnue);*
- *mémoire de l'histoire et de la nature, archive archéologique et paléo-écologique.*

Vaste sujet, donc, invisible pour les yeux, et que l'on néglige souvent.

C'est la peau vivante et vitale de notre planète, la frontière entre la roche brute (étudiée par la géologie et connue en France par les cartes géologiques du BRGM) et l'atmosphère. Il intervient évidemment dans tous les écosystèmes terrestres, des plus naturels aux plus artificialisés.

Le sol est en général constitué d'**horizons** superposés dont l'ensemble constitue le **profil** (visible dans une **fosse**). Si pour l'agronome, le sol se limite le plus souvent aux horizons "L", qui sont travaillés par les instruments aratoires, la pédologie viticole nécessite le creusement de profils bien plus profonds que ce qui est traditionnellement pratiqué en agronomie, et la redéfinition des normes habituellement utilisées. Par exemple, 30% de cailloux ne sont qu'une pierrosité modérée pour la vigne.

Ce milieu complexe est en équilibre parfois fragile avec son environnement. Il résulte de plusieurs milliers, voire centaines de milliers d'années d'évolution

. En climat tempéré, il faut environ 1000 ans pour former un horizon A, plusieurs milliers d'années pour un horizon B (1Tonne de terre/ha soit moins d'un dixième de mm se forme en moyenne chaque année) et quelques heures à un orage pour éroder 300 T/ha (in : Science et Vie Juin08 données INRA- IFEN).

Le front des derniers glaciers s'est arrêté aux Chambarans. Donc les sols de la moyenne vallée du Rhône n'ont donc pas été rabotés et peuvent être très vieux. Ils ont enregistré des conditions climatiques qui ne sont plus les mêmes aujourd'hui. Dans certains cas ce sont d'ailleurs de très vieux sols (= paléosols) qui servent de roches mères aux sols actuels.

Cette évolution s'est faite sous une végétation naturelle, souvent forestière sous nos latitudes, qui l'a d'abord fragmenté physiquement puis lui a progressivement fourni de la matière organique. Celle-ci après division et réorganisation par la flore (champignons), faune (macro > 200 microns et méso faune 20 à 200 microns) et de l'ensemble des micro-organismes (protozoaires, bactéries, virus...) engendrera l'humus, caractéristique des horizons supérieurs des sols.

Différents types de végétation naturelle qui donnent des matières organiques aux propriétés très différentes (feuillus, résineux, steppe, désert) peuvent s'installer ou se succéder sur une roche donnée selon les climats. Rien que pour les 2 derniers millions d'années cinq ou six cycles glaciaires et interglaciaires principaux se sont succédé, et ce n'est sûrement pas fini.

Ce sont les interactions entre la matière minérale (sables, argiles, oxydes de fer...), et cette matière organique, dans les conditions "stationnelles" de pH (acidité ou basicité), d'humidité ou de chaleur, qui vont progressivement construire des sols très différents, constituant un

patrimoine méconnu (sauf des agriculteurs et des forestiers), invisible, mais fondamental voire fondateur dans l'histoire et la pérennité des civilisations.

L'analyse de terre donne des renseignements apparemment précis sur les proportions des constituants et la disponibilité des éléments théoriquement utilisables par la plante. L'abondance de chiffres obtenue fait qu'il est tentant de les utiliser statistiquement. En pratique, de très nombreuses raisons font qu'elles ne remplacent pas du tout l'observation du sol en place qui est un système global. Il faut éviter de se polariser sur des détails ou des facteurs secondaires, relativiser la valeur des analyses de laboratoire qui sont obtenues après des broyages et des mises en solutions plus ou moins agressives, et bien les replacer dans le contexte tridimensionnel de la parcelle avant de les faire parler : compréhension du système de co-facteurs.

2.2. TERMES DE PÉDOLOGIE IMPORTANTS

Pour certains ce paragraphe sera superflu, mais il se dit tant d'approximations!

Les mots de 'calcaire - argile - texture - sont employés très fréquemment et parlent de choses assez complexes. Ils seront donc bien expliqués.

On pressent que le terme « argilo-calcaire » qui associe une notion texturale très large (dès que l'on a plus de 20% d'argile, qu'elles soient actives ou non) et une notion de nature des grains sans en évoquer la taille (limons, cailloux ou bancs rocheux calcaires ?) ni la proportion (1 ou 70% de calcaire ?), recouvre à peu près 90% des sols de toute la Bourgogne et des $\frac{3}{4}$ (?) des vignobles français, souvent à mauvais escient d'ailleurs.

2.2.1. TEXTURE- STRUCTURE DU SOL

Un sol peut être décrit en triant et en identifiant ses constituants par:

- Taille des grains (Argile_{granulo}, sables, limons, éléments grossiers) = texture
- Nature des grains (ex : matière organique, calcaire, quartz, oxydes, argile_{minéral})

La nature (=composition minéralogique) des particules est en relation avec leur taille. Les grossières sont surtout composées de quartz ou de calcaire, les fines surtout composées d'Argile_{minéral}, mais pas exclusivement.

Mais la façon dont ces constituants sont arrangés entre eux, est tout aussi importante: c'est la structure du sol, qui ne se perçoit que dans un profil fraîchement ouvert.

La notion de structure est facile à imaginer: avec un même poids de poutrelle, moellons, boulons et ciment, on peut construire une grande tour très solide avec de grandes pièces, une petite tour très fragile avec des appartements minuscules, au pire un tas compact sans aucun vide. Porosité (volume des vides) et solidité sont deux paramètres qui servent à décrire la structure.

Matières organiques, argiles (vraies), oxydes de fer et calcium, particules actives, chargées électriquement, sont les boulons et les ciments qui permettent d'édifier et pérenniser les structures des sols, donc d'assurer une partie de la porosité qui les aère.

Pour filer la métaphore, bactéries, vers de terres, champignons, et aussi racines et argiles sont les artisans ou ingénieurs constructeurs capables d'agencer tout cela.

L'analyse de terre donne des renseignements sur les quantités de matière et des indications partielles sur leur nature. Elle ne remplace pas l'observation du sol en place. Inversement l'observation du sol ne permet pas d'évaluer l'état de sa fertilité ou son taux de calcaire actif par exemple.

Le fonctionnement d'un sol (réserves minérales, hydriques, aération, drainage...), peut être en partie déduit de la combinaison de ces descriptions.

Quelques points de vocabulaire sont à préciser:

La **texture** (ou granulométrie) est l'appréciation au toucher (sur le terrain) que l'on peut porter sur la répartition par catégorie de taille des constituants du sol, quelle que soit leur nature chimique. On pratique l'**analyse granulométrique** en laboratoire sur la terre fine tamisée à 2mm, après destruction des liants (matière organique...) et broyage doux ou tamisage forcé des petits agrégats. Le broyage est très **délicat** car de petites mottes très argileuses et sèches sont parfois plus résistantes que certains graviers (schistes, feldspaths ou calcaires marneux fragiles, par exemple.).

Une fois la proportion des différentes tailles de constituants connue, on peut situer l'échantillon sur un graphe triangulaire (argile /limon) sur lequel sont délimitées les classes texturales (Sable, limon-argileux etc..) pour mieux comparer les échantillons entre eux et prévoir par exemple la capacité de rétention de la terre fine (en appliquant des coefficients de "pédotransferts").

Les grains de matière constituant le sol analysé peuvent être de toute nature (ce sont des minéraux comme les carbonates, quartz, micas, argiles... ou des oxydes de métaux, de fer ou de manganèse surtout). Cailloux, graviers, sables et limons grossiers sont en général assez passifs du point de vue chimique, conditionnent la circulation rapide de l'eau dans le sol, mais ont aussi (pour les limons et les sables fins surtout) un potentiel de stockage de l'eau (par capillarité autour des grains plus que par les vides qu'ils ménagent, qui sont en général trop gros).

Par contre, argiles et pour une part, limons fins (2 à 20 μ) sont beaucoup plus réactifs chimiquement et efficaces au point de vue hydrique. Les pores les plus fins (moins de 30microns = 0,03mm), seuls utiles pour stocker l'eau à long terme, ne peuvent exister que quand ces particules fines existent en proportion suffisante dans le sol. (entre 15 et 20% de limons fins et/ou d'argile dans un sol sableux).

Quelques paradoxes de vocabulaire sont à signaler:

Les textures sableuses sont souvent dites "**grossières**" (le sable est "gros" par rapport aux argiles) mais sont aussi les plus "**légères**", faciles à travailler.

Les textures les plus "**fin**es" (argileuses) sont aussi les plus "**lourdes**" car difficiles à travailler.

2.2.2. L'ARGILE: BONNE OU MAUVAISE, VRAIE OU FAUSSE?

Tout d'abord distinguons :

L'argile _{granulo}: taille des particules inférieures à 2 microns (mesurée au labo)

L'argile _{minéral}: minéral en feuillet (visibles au microscope électronique)

Par extension, le terme "argile" est employé aussi bien pour désigner un sol (argileux) de quelques milliers d'années, qu'une roche-mère vieille de 200 millions d'années (argiles bigarrées du Trias) ou encore une famille précise de minéraux.

2.2.2.1 Argile _{granulo}: est l'argile du laboratoire d'analyse de terre

Cette fraction de particules de taille inférieure à 2microns (il y a 1000 microns dans un millimètre) est tout à fait importante.

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm>

De cette fraction dépend en grande partie la fertilité, la stabilité, la réserve en eau du sol.

Ses propriétés sont très différentes de celles des fractions plus grossières car elle est habituellement en grande partie composée d'"argile _{minéral}", ou 'vraies argiles' qui est un minéral très particulier disposé en feuillets visibles seulement au microscope électronique,

pouvant gonfler en présence d'eau, retenir les cations nutritifs (K potasse, Mg magnésie, Ca calcium) et les échanger avec l'eau du sol (et donc les racines), ce que sont incapables de faire les autres minéraux.

Dans certains terroirs jeunes (de montagne par exemple) ou extrêmement calcaires beaucoup de fractions très fines donc classés "argiles" ne sont pas de vraies argiles mais des poussières minérales inertes de calcaire ou de silice, ou encore des feuillets de schistes tendres écrasés lors du broyage au laboratoire.

On distingue assez facilement les vraies des fausses en comparant les capacités d'échange CEC (au moins dans les horizons non organiques) d'horizon de même teneur en argile. Elles varient de 6-7 meq/100g (fausses) à plus de 25meq/100g (vraies) pour 30% d'argile tournée à l'analyse granulométrique.

Cette grande activité chimique et physique fait que le rôle de l'argile, surtout la 'vraie', est un rôle dominant dans le sol même avec de faibles proportions.

Une composition de 33-33-33% pour chaque fraction donne un sol déjà nettement très lourd d'argile limono sableuse (Als) et non pas "équilibré".

40% d'argiles masquent totalement les autres fractions: le sol est dit argileux (A).

La racine -argilo (exemple: sablo-argilo-limoneux Sal) apparaît dans la dénomination de la texture dès que le taux d'argile dépasse 10%, ce qui montre l'importance qualitative de cette fraction.

2.2.2.2 Argile minéral: un cristal particulier

Il y a de nombreuses familles d'argiles vraies et leur étude est un domaine très pointu. La présence de l'une ou l'autre des familles, (ou d'un mélange) est fonction du matériel parental (héritage) et du style d'évolution du sol (néoformation)lié à son histoire naturelle (climat, végétation, altitude, pente). C'est une donnée qui ne peut pas être modifiée.

Mais attention: toutes les argiles, même 'vraies', ne sont pas équivalentes: certaines sont peu gonflantes, peu "actives", alors que d'autres sont au contraire très auto-fissurantes.

Ces qualités sont assez bien corrélées à leur surface interne, elle-même indirectement évaluée par leur pouvoir de fixation.

Ce pouvoir de fixation d'un échantillon de terre est bien mesuré en laboratoire par la CEC: Capacité d'Échange en Cations. C'est la quantité maximale de cations, (calcium, potassium, magnésium, sodium et hydrogène principalement) que peut fixer/échanger le sol, la taille du "garde manger" comme l'on dit souvent.

Cette CEC provient essentiellement des argiles vraies, de l'humus et un peu des oxydes de fer et des limons fins (on remarque que ces éléments interviennent évidemment aussi dans les estimations de réserve hydrique). Quand on connaît le taux de matière organique, il est donc possible d'estimer, grossièrement mais de façon économique, la qualité des argiles (CEC_{fm} pour "CEC de la Fraction Minérale"). Attention les chiffres de CEC_{fm}, (15 à 60 meq/100g) qui s'appliquent à des argiles pures, sont évidemment bien plus élevées que celles des terres (fourchette de 4 -sols très sableux - à 30 meq/100g - sols très argileux humifère).

Les kaolinites ont une faible CEC_{fm}: 5 à 15meq/100g) (terres à poterie qui justement ne se fissurent pas). Elles sont neutres et très organisées. Si elles se forment aujourd'hui plutôt dans les régions intertropicales, elles peuvent être contenues dans les roches altérées anciennes (Larnage), et seront héritées dans les sols qui en dérivent.

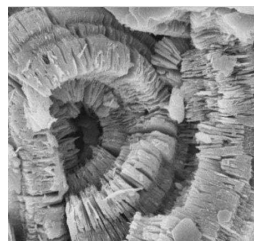


figure xx1-kaolinite

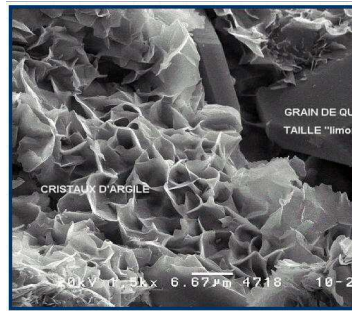


figure xx1-Montmorillonite

Les montmorillonites ont une très forte CEC_{fm} (plus de 80 meq/100g) et sont soit héritées de la roche soit "formées" par exemple dans des terres noires d'anciennes zones mal drainées sous climats chaud (argiles dégraissantes, absorbantes). Elles sont chargées électriquement, et très désorganisées ce qui facilite leur hydratation et les échanges d'ions.

Les illites, argiles très fréquentes sont intermédiaires, la potasse se fixe très solidement entre ses feuillets (**rétrogradation**). Leur CEC est inférieure à 40meq/100g.

La notion de surface interne des argiles explique ces différences: très faible pour les kaolinites elle peut être 100 fois plus importante pour des argiles très gonflantes (800m²/g). Comme les propriétés hydriques et de fixation des cations dans un sol sont très intimement liées à ces propriétés des argiles, il est normal que **dans un contexte géo-pédologique donné** (et uniquement) il y ait une liaison entre cette surface interne et le potentiel qualitatif d'un terroir. Mais cette liaison est complexe, souvent indirectement liée à d'importantes différences bêtement quantitatives de gestion de l'eau (entre haut et bas de pente par exemple) ou d'aptitude à la fissuration et au drainage. Cette relation est donc à découvrir pour chaque contexte.

L'"optimum" cultural au niveau de la texture est évidemment la terre franche: 25% d'argile, 30-35% de limons et 40-45% de sables, car elle présente la plupart des qualités des sols plus typés sans en avoir les inconvénients. Mais cet optimum est surtout valable pour les cultures annuelles, qui nécessitent chaque année une bonne préparation de sol et surtout n'explorent que les couches les plus superficielles du sol (50 cm). La vigne quant à elle s'adapte aux situations texturales les plus extrêmes et l'on trouve les vignobles les plus prestigieux sur des sols de textures totalement différentes.

Les sols peu argileux (moins de 10-15% d'argile) sont aussi les plus sensibles au tassement superficiel par les engins, car leur structure ne peut se restaurer par la fissuration naturelle. La fermeture de la porosité qui résulte du tassement peut accentuer les phénomènes de ruissellement en situation de pente (stockage de l'eau moins efficace et tendance à l'érosion, "fatigue" de certains types de sols menés en non culture intégrale). De plus on se méfie moins du tassement dans ces sols souvent plus vite accessible après la pluie. Pour les sols très argileux il y a risque de pétrissage et de lissage par les lames, qui n'est pas exactement de la compaction: formation de grosses mottes très fermées très denses qui auront du mal à se refissurer.

2.2.3. LA ROCHE MERE DU PEDOLOGUE : LE MATERIAU PARENTAL

Pour le pédologue, la roche-mère est le matériau dont l'altération par les agents physiques, biologiques et chimique explique le développement du sol qui la recouvre. Nous préférons aujourd'hui parler de matériau parental, qui évoque moins quelque chose de dur et rocheux.

On se trouve devant 3 possibilités :

a- Ce peut être une roche géologique consolidée (calcaire, grès, granite), saine ou altérée (saprolite) ou meuble (loess, marne, sable, alluvion, moraine, argile géologique,...).

b-Ce peut être un dépôt sans rapport avec la roche ancienne vue en 1-
Souvent, les sols ne dérivent pas de la roche qui est située à plus ou moins grande profondeur sous eux: Vent, rivières, glissements de terrains, éboulis, ont pu rapporter des matériaux sans rapports avec la roche ancienne en place. Le sol dérive alors de ces apports qui deviennent une nouvelle roche mère (dite **formation superficielle**) au dessus d'une autre dite alors 'roche sous-jacente'. Trop mince, elle ne peut être bien souvent

représentée sur la carte géologique, d'où des incompréhensions à la lecture de ces cartes.

Parmi ces formations superficielles il est souvent pertinent en viticulture et surtout dans le sud de la France, de distinguer les apports anciens, souvent caillouteux et évolués (âgés de -10000 ans à -1 million d'années en gros) et les apports récents (de -10000 à nos jours) formés sous un climat semblable au nôtre.

Les apports anciens ne sont plus situés en fond de relief, car le surcreusement des vallées a continué depuis leur dépôt. Ils sont souvent caillouteux, c'est pourquoi ils ont mieux résisté à l'érosion et ont eu le temps d'évoluer, et sont donc plus complexes, car ils ont connu des épisodes climatiques (glaciaires/pérglaciaires/interglaciaires chauds et humides) contrastés, parfois violents. Ils peuvent être eux-mêmes masqués par des recouvrements récents de quelques décimètres.

La plupart du temps les apports les plus récents, donc les moins évolués, se trouvent confinés dans les zones les plus basses (dans l'absolu: basses vallées de rivières, plaines ou relativement à des reliefs environnants: larges replats, combes, cuvettes plus ou moins perchées...).

Comme déjà dit, en remontant dans les pentes, nous préférons parler de sols récents remaniés, épandages caillouteux ou épandages argilo-caillouteux etc, en conservant la spécificité du terme "colluvial" aux zones vraiment basses du relief à sols bruns épaissis.

c- Enfin une partie du sol en place peut provenir d'une couche rocheuse aujourd'hui entièrement disparue par dissolution. Cela s'observe plus facilement sur des stations de plateau (pas d'érosion et pas de recouvrement), mais peut survenir dans des pentes pas trop fortes

En dehors des cailloutis de rivière d'âge plus ou moins avancé, nous avons considéré comme roche mère des marnes, des lœss, des épandages superficiels (60cm à 4 ou 5 m d'épaisseur) plus ou moins caillouteux de pente, des saprolites de granites ou de gneiss, et des colluvions (au sens limité de dépôts épais de bas de pente) .

2.2.4. QUELQUES PRECISIONS SUR LES MOTS LIES AU CALCAIRE

Nous allons rapidement passer en revue les occasions de rencontrer ce mot, si banal et si couramment utilisé. Nous comprendrons ainsi qu'il n'y a pas de honte à se mélanger un peu les notions. Mais comme les substrats calcaires, rares au niveau mondial (<10%), sont particulièrement représentés en France (40%) et donc dans les vignobles français, et surtout qu'ils sont emblématiques de la Bourgogne, cela vaut la peine de s'y étendre.

*Avant tout, qu'il soit clair que le calcaire, actif ou non, ou le calcium en tant que tels ne sont en aucun cas **directement** explicatifs d'une quelconque qualité ou absence de qualité d'un vin ; Ce sont des conséquences associées et liées à d'autres paramètres plus amont (faciès géologique, épaissement, topographie, évolution du sol). Dans certains contextes précis, il peut y avoir un lien **apparent** étroit entre la teneur en calcaire et la qualité du produit, mais qui ne doit en aucun cas s'analyser comme une causalité directe et s'extrapoler. Ce raisonnement est d'ailleurs valable pour la plupart des facteurs pris isolément.*

Le terme de calcaire peut être :

Un adjectif qui s'accroche au nom

- d'un sol,
- d'un matériau géologique,
- d'un horizon
- et qui signifie que cet objet contient du carbonate de calcium, donc fait effervescence à l'acide. On pourrait (devrait) dire calcaireux ou calcarifère.

Une détermination de laboratoire: le calcaire total ou actif exprimé en % de terre fine.

Un nom de roche qui désigne :

Une formation souvent dure, qui contient de la calcite (ou carbonate de calcium CaCO_3).

- LES CALCAIRES, LES ROCHES CALCAIRES, LES ROCHES CONTENANT DU CALCAIRE

Ces roches se sont déposées pour la plupart en milieu aquatique (mer ou lac) et sont constituées de boues calcaires plus ou moins consolidées, de coquilles ou de fragments de coquilles, qui ont ainsi progressivement fixé et immobilisé le gaz carbonique surabondant dans l'atmosphère de notre planète dans les temps géologiques les plus anciens. Elles sont souvent claires, disposées en strates (bancs) et contiennent des fossiles plus ou moins reconnaissables.

Elles contiennent du carbonate de calcium (CaCO_3) en proportion dominante ou notable (marnes, roches calcareuses). Ce minéral est soluble dans les eaux légèrement acides. Il fait effervescence à l'acide chlorhydrique dilué (celui du commerce à 23%, dilué dans 5 fois son volume d'eau pour le ramener à 6-7%) en libérant des bulles de gaz carbonique. **Donc tout ce qui en contient fera effervescence.**

On distinguera ces roches, sans trop de détails, surtout par leur dureté, leur débit naturel, leur fracturation ou fissuration, et leur faculté à donner des résidus plus ou moins abondant lors de leur transformation en sol:

- LES CALCAIRES DURS et PURS:

Ils sont composés de plus de 90% de carbonate de calcium et très résistants. Quand les bancs dépassent 40-50 cm d'épaisseur moyenne, le sol n'est pas défrichable, mais s'ils sont disposés en couches décimétriques ou centimétriques, ou encore très obliques et pour peu que la topographie soit favorable, ils le deviennent.

De tels calcaires s'altèrent très lentement et donnent sous climat méditerranéen (climat qu'à aussi pu connaître la Bourgogne à plusieurs reprises au cours du dernier million d'années) un résidu pelliculaire autour des cailloux et dans les fissures, souvent très argileux, rouge, et qui ne contient plus ou très peu de carbonate de calcium puisque celui-ci est dissout.

NB : C'est le même phénomène qui se produit pour les galets calcaires des terrasses très anciennes rhodaniennes, dissolution avec production d'argile et perte de volume.

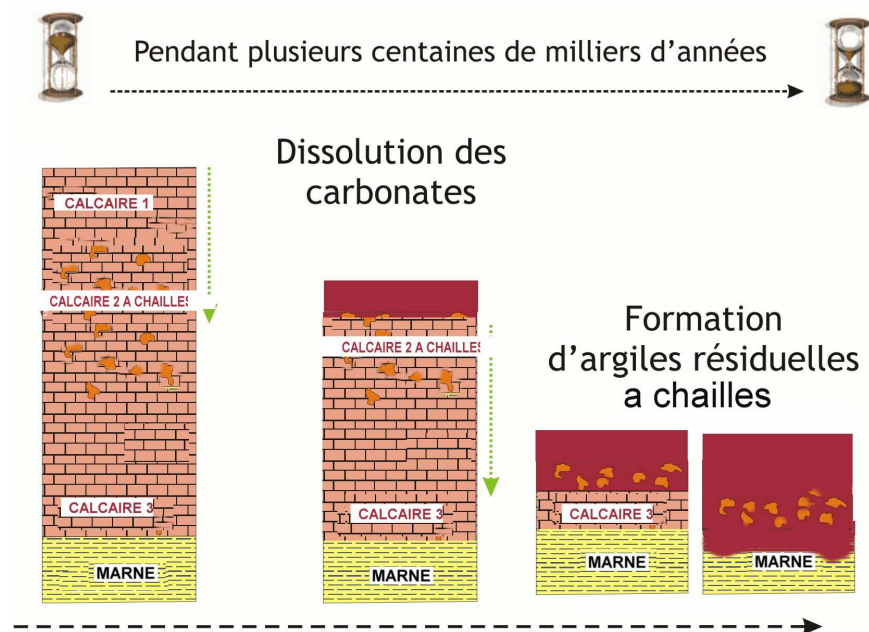


Figure 1: Dissolution des carbonates et formation d'argiles

Différents auteurs estiment de 15cm (Legros) à 100cm (Campy) en 10000 ans l'épaisseur de calcaire dur qui peut ainsi 'fondre'. Ce qui ferait tout de même 15 à 100m en 1 million d'année ! Ceci est plus rapide en climat froid car les carbonates sont plus solubles dans l'eau froide que dans l'eau chaude (regardez l'eau du robinet) et évidemment en climat humide. Mais dès que le manteau de sol devient épais, il va protéger la roche de l'agressivité des eaux de pluies (moins de CO₂ en profondeur, le pH remonte), et le phénomène s'auto freine.

Si ce calcaire de départ contenait 10% d'impureté insoluble (argile, oxyde de fer), il restera en surface l'équivalent de 1.5m de sol argileux non calcaire, souvent rouge, à densité 2, plus la matière organique ou les poussières météoriques apportées en surface, soit entre 2 et 3 mètre de sol (densité 1.4).

Selon leur teneur en insolubles, les calcaires n'ont pas tous la même productivité en argile (facteur de 1 à 15)

A composition égale, plus la densité de fissures ou de plans de stratification (micro-interbanes non marneux) entre les bancs est importante, plus les surfaces de contact roche/sol/racine seront grandes et plus le résidu argileux d'altération sera abondant et susceptible de fournir une quantité de terre fine notable (voir figure 5.1). Une telle roche calcaire portera donc un sol non calcaire. On comprend aussi que la couche de roche dure initiale peut totalement disparaître au bout d'un certain temps (plusieurs centaines de milliers d'années).

Au bout d'une telle durée sans érosion ni recouvrements, ce qui n'est concevable qu'au milieu d'un plateau stable, le sol peut devenir franchement acide (châtaigneraies, fougères) et se lessiver (l'horizon de surface se décolore et perd son argile et son fer, qui s'accumulent en profondeur) devenant imperméable, avec des dépôts, des nodules ou mêmes des croûtes ferrugineuses.

D'autres apports sont possibles durant de telles durées :

Par exemple, entre temps un dépôt par le vent de limons (lœss) peut s'être produit.

- LA CRAIE

Ce sont des calcaires purs mais très tendres, blancs, poreux et friables, qui donnent des sols particuliers très riches en calcaire (total et actif) même en climat froid et humide (champagne) et à drainage rapide. Elles sont formées de minuscules pièces calcaires en forme de disque qui, assemblées, forment une coque autour d'algues unicellulaires.

- LA CHAUX

Elle est obtenue par calcination (on retire le dioxyde de carbone CO_2 d'un calcaire pur CaCO_3) de certains calcaires. Sa formule est donc CaO (chaux vive dangereuse et désinfectante). On l'hydrate (= on l'éteint avec H_2O , ça chauffe très fort) et elle devient Ca(OH)_2 : hydroxyde de chaux. Cette chaux 'éteinte' une fois mise en œuvre, pourra ensuite se carbonater ($+\text{CO}_2$) lentement au contact de l'air pour redonner du calcaire CaCO_3 et donc se solidifier complètement. Plus il y a d'impuretés au départ (silicates des argiles par exemples dans les calcaires marneux), plus la prise est rapide (chaux 'hydrauliques').

- CALCAIRES MARNEUX / calcaire argileux (5 à 35% d'argile):

Ils sont intermédiaires entre les calcaires et les marnes tendres (voir plus loin). Ils peuvent gonfler par hydratation des argiles qu'ils contiennent. Ce ne sont donc pas de très bonnes pierres de construction. Ils s'altèrent plus vite que les calcaires durs et leurs sols sont jaunâtres, moins rouges et restent plus calcaires. Ils ne sont donc pas l'équivalent de calcaires à bancs de marne ou marnes à bancs calcaires.

- CALCAIRES GRÉSEUX:

Ils sont riches en grains ou fragments de cristaux de quartz ou de calcite, ils font effervescence à l'acide et sont rugueux au toucher. Leur altération donne des sols nettement plus sableux que les précédents ou les suivants.

- MARNES:

C'est une roche tendre et calcaire, riche en argile (35 à 65%) et en carbonate de calcium, lisse au toucher, faisant plus ou moins effervescence à l'acide chlorhydrique dilué, plastique à l'état humide, mais moins que les argiles, parfois dure mais toujours rayable à l'ongle à l'état sec.

Les marnes peuvent être d'aspect terreux, compactées en plaquettes, à débit cubique très grossier ou carrément continues et massives. Elles prennent des couleurs variées: blanc, beige, bleuté, saumoné ou rouge, voire 'irisées' violacées, vert pastel dans les terrains du trias.

Ce peuvent être les pires ou les meilleures des roches mères selon leur compacité initiale et la qualité des argiles qu'elles contiennent.

Les agriculteurs parlent parfois d'"argiles" ou de glaise à leur sujet.

Dans les paysages calcaires, ce sont elles qui donnent les sols le plus facilement cultivables, répartis sur des coteaux et vallons aux formes douces, souvent dominés par des escarpements de calcaire dur. (Cuestas, Côtes de Bourgogne)

Les marnages amènent donc du calcaire et de l'argile aux sols légers et acides.

- MARNO-CALCAIRES:

Formation où **alternent** des bancs marneux et calcaires

Leur comportement est très variable suivant l'inclinaison, l'épaisseur et la fragmentation des bancs durs: certaines formations qui semblent extrêmement rocheuses ont un excellent comportement hydrique grâce aux couches de marnes qu'elles contiennent.

Le calcaire total, le calcaire actif.

Dans les sols, l'abondance de carbonate de calcium implique la présence très dominante de Calcium, Ca^{++} , un ion positif très réactif, qui va occuper (saturer) tous les sites d'échanges et/ou de fixation à charge négative, et **empêcher toute acidification** du milieu.

Excès, présence ou déficit en calcium déterminent des mondes de sols très différents, car dès que le pH descend au dessous de la neutralité (= pH 7), les phénomènes d'évolution pédologiques s'intensifient très rapidement.

Sables, graviers et cailloux calcaires (fragments de roches calcaires) forment le calcaire "inactif" du sol mais sont une source continue de calcium qui va empêcher son acidification.

Tout le calcaire qui passe au travers d'un tamis à 2mm est appelé "**calcaire total**" de la terre fine.

La fraction de calcaire la plus finement divisée (taille des grains de calcaire proche ou inférieure à celle des limons fins = farine très fine) , est très active chimiquement et peut libérer des ions calcium et des ions bicarbonates en abondance dans la solution du sol (eau du sol). Ces ions vont alors insolubiliser certains oligo-éléments essentiels et les rendre indisponibles (fer dans le cas de la chlorose vraie). Cette fraction du calcaire de la terre fine est appelée "**calcaire actif**" de la terre fine.

- SOLS ou HORIZONS CALCAIRES (voir CALCOSOLS ou RENDOSOLS):

En toute rigueur, on devrait parler de sols ou horizons saturés en carbonate de calcium. Ce qui les caractérise est la présence de particules calcaires dans la terre fine. La terre fine fait donc **effervescence** à l'acide chlorhydrique dilué. Leur taux de calcaire "total" à l'analyse est supérieur à 5%.

Plus ce calcaire est finement divisé (taille des grains de calcaire inférieure à celle des limons fins) plus ce calcaire est actif chimiquement et peut libérer des ions calcium en abondance dans la solution du sol (eau du sol).

La présence de calcaire dans la terre fine **exclut** tout risque d'acidification et de lessivage de l'argile (appauvrissement de surface).

- SOLS ou HORIZONS CALCIFIQUES, SOLS BRUNS CALCIFIQUES (voir CALCISOLS ou RENDISOLS):

Il n'y a PAS d'effervescence à l'acide (plus de grains calcaires) mais encore suffisamment de calcium pour que le pH reste neutre sans risque d'acidification. Le complexe d'échange reste saturé. Ces sols sont d'anciens sols calcaires qui se sont décarbonatés sous l'action des pluies, de la végétation...Il doit y avoir toujours une 'source de calcaire' à proximité, soit en dessous, dans la roche mère, soit en amont dans les pentes, soit dans des cailloutis résiduels. Une pluviométrie annuelle supérieure à 800mm est nécessaire pour que la décarbonatation soit possible (700mm pour des formations très perméables, et bien plus pour les sols de pentes fortes).

Attention! Les amendements calcaires sont souvent désignés commercialement comme amendements "calciques", bien que ce soit de la chaux ou des carbonates presque purs.

- SOLS A ACCUMULATION CALCAIRE (calcariques):

Fréquents dans les secteurs marneux, ces sols montrent un horizon intermédiaire enrichi en calcaire fin (simplement plus clair, ou à taches farineuses blanc pur, ou à nodules durs et blancs...). Le taux de calcaire actif peut faire un bond dans cet horizon mais il n'y a pas de cimentation physiquement gênante.

- SOLS A ENCROÛTEMENTS CALCAIRES (PETRO-CALCARIQUES):

On parle d'encroûtement calcaire quand un horizon (souvent entre 60 et 100 cm) montre une cimentation des cailloux par un ciment calcaire. Au dessous de l'encroûtement le sol peut redevenir pénétrable. Ce phénomène est assez fréquemment observé dans le secteur de Crozes-Hermitage.

2.2.5. QUELQUES PRECISIONS SUR L'ALTERATION DES MINERAUX ET DES ROCHES CRISTALLINES

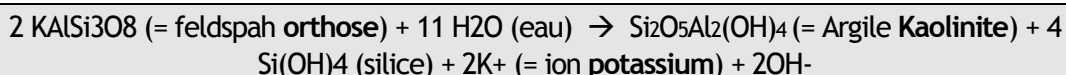
Tab1: Les minéraux primaires en zone tempérée classés des plus inaltérables vers les plus altérables:		
1-Les résistants, stables	V Argiles (Kaolinite > illite) V Quartz V mica blanc V illite	Quand ils existent au départ dans la roche, on les retrouve dans les sols, sans transformation.
2-Les altérables	V Orthose - Microcline = feldspath potassiques V albite (Feldspaths sodiques) V feldspaths magnésiens V pyroxènes - périclites (sombres) V anorthite- feldspaths calciques V vermiculite V biotite (mica noir)	Ces minéraux se transforment, souvent en argile, minéral très stable sous nos climats, par perte ou incorporation d'ions (Fe, K, Mg) tirés de la solution du sol.
3-Les solubles Dans les calcaires, marnes, mais pas les terrains cristallins.	V Dolomite V calcite V gypse V sel.	Ceux-ci sont dissous (s'il pleut assez), puis évacués (pour être redéposés plus bas sous les cailloux, ou exportés au loin dans les eaux de drainage).

1-Le quartz des roches, blanc opaque ou translucide, à éclats 'gras', est une forme de silice quasi insoluble dans nos conditions tempérées: il forme donc une bonne partie des graviers qui couvrent totalement la surface du sol. Le mica blanc (muscovite), bien reconnaissable aussi par ses très fines plaquettes claires qui donnent au sol et aux roches son aspect brillant soyeux) est à peine plus altérable que le quartz et se retrouve aussi dans la fraction fine du sol.

2-La famille qui nous intéresse le plus ici, est la seconde (les altérables) puisqu'elle participe à la formation de minéraux très différents de ceux qui existent dans la roche.

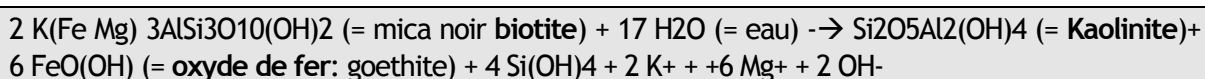
Les feldspaths et les micas noirs s'ouvrent au contact de l'eau (s'hydratent) puis se transforment (hydrolyse partielle) pour former de la kaolinite (à partir des feldspaths) ou de l'illite (à partir des micas noirs). Ces argiles, qui sont assez peu gonflantes, sont bien plus stables que les minéraux qui leur ont donné naissance.

Pour les passionnés de géochimie cela s'écrit:



Pas de fer dans les orthoses, donc les sols restent très blancs à Larnage.

Ou bien:



Ici les oxydes de fer (goethite) formés et 'expulsés' des micas contribuent à colorer en roux les faces des fractures et toute la masse de roche altérée. On remarque que du potassium K⁺ est libéré. Plus tard, les oxydes de fer vont servir de pont entre les argiles et les matières organiques, permettant au célèbre complexe argilo-humique de se former, si le pH n'est pas trop acide et que l'aération est bonne. Ce complexe est la base du phénomène de **brunification** des sols tempérés plus épais.

En théorie, dès que la position est stable (replat) , l'argile qui se forme est conservée dans le profil, puis, dispersée depuis les horizons de surface acides qui deviennent limono-sableux (horizons E lessivés ou éluviaux), elle descend dans le profil pour s'accumuler dans un horizon intermédiaire appelé Bt (horizon argilluvial). C'est le phénomène de **lessivage** de l'argile, qui fait que le sol change

assez fondamentalement tout en s'épaississant. Dans les coteaux viticoles granitiques, l'argile est lessivée latéralement et évacuée du versant. On la retrouvera (ou non) dans les sols de piémont.

On remarque sur les équations ci-dessus que des ions potassium K^+ sont mis en solution; Ils seront soit réutilisés pour former d'autres minéraux, soit lessivés avec les eaux de percolation, soit utilisés par les plantes. Pour mémoire, ce sont tout simplement ces ions potassium K, magnésium Mg, sodium Na, ainsi libérés des roches cristallines qui passent dans l'eau des torrents, des fleuves... pour à la fin constituer la salinité constante de nos mers.

Du privilège d'un climat tempéré...

Plus il fait chaud et humide, et plus le milieu est acide (après dissolution et élimination de tous les cations) plus l'altération est intense: dans les régions tropicales l'altération se poursuit au-delà du quartz et même des argiles: elles se dissocient en alumine et en oxydes de fer pour donner la latérite, stérile, parfois surmontée d'énormes croustes de fer. Ayons encore une pensée pour toutes les contrées qui n'ont pas la chance de voir s'arrêter l'altération au stade miraculeux des argiles, et qui perdent indéfiniment leurs cations !

A l'autre extrême, si les climats sont plus froids, la végétation plus acidifiante (pins) et/ou les roches pauvres en fer, le sol devient très acide ($pH < 4$!), la brunification ne peut plus avoir lieu. Il y a accumulation des matières organiques (humus très acide de type mor) destruction des micas ou des argiles (hydrolyse totale) qui migrent verticalement en formant les célèbres et photogéniques «podzols» blanc/ocre/noir, que l'on ne rencontre pas, au moins sur granite, à l'altitude des vignobles, mais que l'on trouvera effectivement sur les hauts plateaux du Vivarais, Pilat, au-dessus de 900-1000m.

2.3. CLEF POUR LES RÉFÉRENCES DE SOLS UTILISES

La liste qui suit donne les principales clefs de rattachement des sols aux références du RP08 : le référentiel pédologique 2008 de l' Association Française pour l'Etude des Sols, qui est particulièrement bien adapté aux sols français. Il n'est pas question dans ces deux pages de résumer l'ensemble des conditions, horizons et adjectifs, développé dans le livre éponyme de 400 pages (voir bibliographie).

Ces références, toujours écrites en majuscules ne préjugent pas du comportement du sol mais sont bien pratiques pour éviter de lourdes périphrases et retrouver de grandes caractéristiques du sol. On verra que le choix du nom fait appel à des caractères différents (matériau parental, teneur en cailloux, texture, position dans le paysage, évolution) et ne peut donc pas faire l'objet d'une clef hiérarchique simple. Dans le cas de rattachement imparfait ou multiple, nous privilégierons souvent celui qui met en avant le facteur limitant quand il y en a un, ou celui qui l'emporte sur d'autres évolutions plus subtiles (calcaire, hydromorphie sont par exemple des facteurs souvent 'dominants').

- **PEYROSOL** : = sol très caillouteux
- **ARENOSOL** : = sol très sableux
- **RENDOSOL** : sol très mince sur calcaire dur
- **RANKOSOL** : sol très mince acide, sableux et /ou graveleux sur roche cristalline dure
- **REGOSOL** : sol très mince, très jeune, ou rajeuni, ou de climat aride, sur roche peu dure
- **COLLUVIOSOL** : sols profonds des bas de pentes colluvionnées:
- **FLUVIOSOL** : sols des plaines alluviales récentes
- **REDUCTISOL ET REDOXISOL** : sols dominés par les processus d'oxydoréduction -excès d'eau
- **CALCOSOL** : sol calcaire faisant effervescence à l'acide dès la surface
- **CALCISOL** : sol non calcaire et non acide issu d'une roche calcaire
- **BRUNISOL** : sol à horizon de profondeur non calcaire ou acide, structuré en agrégats avec une couleur et une texture différente de la roche mère par formation/ libération d'argile et/ou de fer
- **LUVISOL** : Sol acide avec un second horizon éclairci et appauvri E éluvial au dessus d'un troisième horizon argillifié Bt
- **FERSIALSOL** : sol à horizon argillifié très rouge (climat méditerranéen large)

Attention : les sols viticoles ne sont jamais parfaitement définis par ces termes seuls. Il faut leur adjoindre une cohorte d'adjectifs pour en préciser les propriétés : ainsi un **CALCOSOL** peut être extrêmement productif, ou très peu selon la roche calcaire dont il est dérivé, le taux de cailloux, son épaississement, la fracturation de la roche etc.

Remarque préalable: les sols des vignes sont préparés avant plantation à une profondeur généralement supérieure à 40cm. Il est donc illusoire de vouloir retrouver plusieurs horizons de diagnostic avant 40-50cm, mais il n'y a en général pas d'apports de matériaux extérieurs à la parcelle. Tout au plus étaient-ils remontés des bas de pentes. Nos références sont donc un peu plus laxistes sur les horizons de surface que celles du Référentiel Pédologique et sur l'épaisseur théorique de sol. Il est donc sous-entendu que tous les horizons 0-50cm voir plus, sont plus ou moins anthropisés, mais on ne va pas pour autant faire une carte présentant uniquement des **ANTHROPOSOLS**. Dans le cas de gros remaniements, lorsque l'on ne pourra pas rattacher le sol de façon satisfaisante à l'une des références listées, on adjoindra le suffixe Z au code du sol. Ce sont plutôt des enquêtes qui pourront préciser l'importance des transformations : travail très profond, jusqu'à la roche, apports répétés de matière organique, mélange de deux ou trois horizons (nivellement, talutage), création de terrasses.

La notion d'épaisseur d'un sol est particulièrement sujette à discussion. Pour certains, le sol se résume à l'épaisseur des horizons organo-minéraux, pour d'autres, tant qu'il y a des racines, on a des interactions avec la matière minérale (rhizosphère) donc une altération du matériau parental, donc on est encore dans le sol. Nous sommes bien plus proches de la seconde conception, mais cela pose des problèmes de cohérence avec la définition de certaines références.

■

Le taux de graviers + cailloux dépasse 60%, il n'y a pas de roche brute et dure avant 50-70cm.

- **PEYROSOL**: (= sol très caillouteux)

Sol contenant plus de 60 % en volume d'éléments grossiers: graviers, cailloux, pierres et blocs (attention nous avons toujours élargi le sens, pour d'évidentes raisons hydriques aux graviers de 0,2 à 2 cm). Donc la terre fine y représente moins de 40% du volume dans plus des 3/4 du profil. NB : dans le Référentiel Pédologique 2009 cette acception élargie a été entérinée !

Les vignes sont parfois épierrées sur 50cm, il y a des pierriers, murgers, murs de pierre sèche à proximité ou en pourtour des parcelles...

Notons que dans certains climats sub-arides on apporte au contraire des pierres (plates de préférence), pour minimiser l'évaporation et l'échauffement des horizons organo-minéraux et leur trop rapide minéralisation.

Sur au moins 1.20m, le sol est très sableux (plus de 65% de Sables et moins de 12.5% d'argile, sauf dans l'horizon organique de surface, la structure reste particulière ou massive non cimentée au fond, on ne peut distinguer aucun horizon structuré en agrégats.

- **ARENOSOL**: (= sol très sableux)

Il y a une roche brute dure **plus ou moins calcaire** avant 40-50cm.

- **RENDOSOL**: (sol très mince calcaire)

Sol à horizon brun de surface brun, calcaire et d'épaisseur inférieure à 30-40cm directement sur roche calcaire dure non transformée.

Mêmes caractères mais **pas** de calcaire total dans la terre fine: **RENDISOL**.

Il y a une roche brute dure **non calcaire** avant 40-50cm (ex : granite ou gneiss).

- **RANKOSOL**: (sol très mince acide, sableux et /ou graveleux)

Il y a une roche brute peu dure, **tendre, ou meuble, calcaire ou non**, avant 30-50cm.

- **REGOSOL**: (sol très mince, très jeune, ou rajeuni, ou de climat aride, sur roche peu dure)

Sol à horizon brun de surface, calcaire ou non, d'épaisseur inférieure à 10-25cm au dessus d'une roche meuble ou divisée (marne, calcaires marneux, sable, cendres) le plus souvent non altérée et sans matière organique incorporée donc très clair. Mais on trouve des REGOSOLS sur altérites de schistes en exemple dans le RP09 ; On pourrait a priori parler de REGOSOL d'érosion sur altérite (saprolite) granitique. On peut discuter de l'emploi de cette référence dans le vignoble car le défoncement ou la préparation va toujours avoir ameubli le sol jusqu'à 30 voire 40-50cm, puisque par définition cette roche peut s'ameublir. On sous-entend donc toujours une variante particulière de REGOSOL anthropisé. Cela nous offre une catégorie pour les plus minces des sols d'érosion très clairs de marne ou d'arène, malgré tout toujours un peu exploré en profondeur (chevelus et même, racines dans les joints de discontinuités.

Le sol, très profond, est en plaine ou bas de pente, ou pente longue et très faible <3%.

- **COLLUVIOSOL** (sols profonds des bas de pentes colluvionnées:

Sol profond issu de colluvions, matériaux arrachés aux pentes dominantes (nous utilisons un sens restrictif: colluviosol de bordure de plaine ou de bas de pente).

Le sol est en situation de plaine alluviale **récente** (Fz des cartes géol.)

- **FLUVIOSOL**: (sols des plaines alluviales récentes)

Normalement, on ne trouve pas de FLUVIOSOLS dans les aires d'appellations viticoles.

Le sol dominé par les excès d'eau permanents ou temporaires actuels, présente, avant 50cm, un horizon de gley gris ou de pseudogley bariolé gris-rouille prolongés ou intensifiés sur au moins 50cm.

- **REDUCTISOL ET REDOXISOL**: (sols dominés par les processus d'oxydoréduction -excès d'eau)

Normalement, on ne trouve pas de REDUCTISOLS dans les aires d'appellations viticoles, et les REDOXSOLS fonctionnels y restent extrêmement rares, localisés sur quelques mètres à des mouillères. Le bariolage de sub-surface qui peut être observé après compaction par les travaux du sol ne fait pas rentrer le sol dans cette catégorie, bien qu'il soit dommageable aux propriétés du sol. (mais on le qualifiera d'anthropo-rédoxique)

Si le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, que l'on est pas en plaine, qu'il n'y a pas de roche brute, qu'il y a des horizons assez nets et que le sol n'est pas que sableux, alors il faut se référer aux 5 types de sols suivants:

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, on n'est pas en plaine, il n'y a pas de calcaire ni de roche dure, il n'y a pas d'horizons très nets, le sol est très argileux mais pas lessivé.

- **PELOSOL**: (dépôt très fin= 'pélite')

Sol non calcaire, extrêmement argileux (Plus de 45%) issu de roche mère argileuse géologique à CEC souvent faible.

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, on n'est pas en plaine, il y a une roche mère calcaire, dure, tendre ou fragmentée, le sol est calcaire dès la surface et il y a un horizon intermédiaire calcaire de couleur et structure différentes de la roche mère.

- **CALCOSOL**: (sol calcaire faisant effervescence à l'acide dès la surface)

Nouvelle dénomination du "sol brun calcaire", contenant plus de 5% de calcaire total, faisant plus de 40cm d'épaisseur au-dessus de la roche mère, avec un horizon "Sca" (= structural et calcaire) moyen un peu différent (couleur, texture, teneur en calcaire) de la roche-mère calcaire (horizon Mca ou Rca).

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, on n'est pas en plaine, il y a une roche mère calcaire, dure, tendre ou fragmentée, le sol n'est plus calcaire mais il y a un horizon intermédiaire calcique (encore saturé en calcium), de couleur et structure différentes de la roche mère.

- **CALCISOL**: (sol non calcaire issu d'une roche calcaire)

Nouvelle dénomination du "sol brun calcique ou à stock de calcium" qui présente au moins un horizon moyen structuré saturé en calcium mais non ou très peu effervescent à l'acide chlorhydrique (Sci = qui ne contient plus de calcaire total). La roche calcaire peut être trouvée en profondeur.

CALCISOL rubéfié ou FERSIALSOL: L'horizon B est 'micro-polyédrique', prend une couleur très rouge et peut présenter des revêtements argileux luisants sur les faces des agrégats.

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, il y a un horizon intermédiaire non calcaire ni calcique, de couleur plus brune et de structure différente de la roche mère, Il n'y a pas de lessivage des argiles.

- **BRUNISOL**: (sol à horizon de profondeur non calcaire ou acide, structuré en agrégats avec une couleur et texture différente de la roche mère par formation/ libération d'argile et/ou de fer) ancienne classification « sol brun eutrophe ou acide»)

Sol peu acide ou acide mais pas lessivé (pas d'horizon éclairci et appauvri en subsurface), présentant un horizon de profondeur, brun bien structuré et poreux, différent de la roche mère. Sous climat tempéré c'est un stade presque obligatoire de passage entre les sols peu évolués et les sols évolués quand l'humus forestier initial était peu acide (mull)

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, il y a un horizon intermédiaire de couleur rouge et plus argileux que le matériau parental (+ climat méditerranéens)

- **FERSIALSOL**: sol à horizon argillifié rouge et stable (climat méditerranéen sens large) Sol présentant un horizon S-fs de couleur rouge > 5YR et à structure parfois très fine anguleuse et très stable, le fer (facilement extractible) abondant est aggloméré en nanoparticules.

Le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, on trouve un horizon intermédiaire moins argileux et plus clair puis un horizon plus argileux non calcaire ni calcique, de couleur plus brun-jaune et de structure différente de la roche mère.

- **LUVISOL**: (ancienne classification « sol brun lessivé, sols lessives acide, etc) Sol acide avec un horizon éclairci et appauvri (E éluvia) en sub-surface), associé à un horizon plus profond enrichi en argile (Bt argilluvial, avec revêtements nets des agrégats). Si l'argillification devient très importante, on passe à des sols temporairement rédoxiques. On passe aux stades dégradés (avec un horizon Bt-d de profondeur, qui montrent des volumes gris appauvris en fer et en argile en forme de langues verticales pénétrant dans la masse plus ocre et plus argileuse, souvent avec des concentrations métalliques noires)

L'évolution des sols se poursuit pendant des milliers d'années si le sol n'est pas érodé ou recouvert. Elle fait qu'un sol passe d'une référence à l'autre avec le temps. Le passage est d'autant plus rapide qu'il fait chaud, qu'il pleut, et que la roche mère est acide, altérable et perméable. Le calcaire par contre se dissout plus vite sous les climats humides et froids.

D'après la FAO, la moitié des sols du monde sont déjà dégradés en conséquence des activités humaines. Pour conclure rappelons nous que le sol est une ressource qui se modifie en permanence, qui naît, mûrit, puis vieillit et s'appauvrit.

Par la même occasion, profitons en pour regarder un planisphère et apprécier à sa juste valeur le fait que dans notre pays les roches sont souvent sédimentaires donc calcaires (donc les sols pas ou peu acides, souvent argileux), les chaînes de montagne jeunes ont bousculés plissés, broyés les roches (ce qui les rafraîchit en remettant des éléments minéraux à disposition), sous un climat arrosé juste ce qu'il faut, à l'abri des températures extrêmes, ce qui permet de conserver plus longtemps des argiles bien actives etc.....Quelle chance ! Mais il ne faut pas que ces indéniables atouts naturels nous conduisent à 'tirer' sur les sols plus qu'ils ne peuvent le supporter.

3. FONCTIONNEMENT DES SOLS

3.1. LES ANALYSES DE TERRE

3.1.1. UTILISATION POUR L'ETUDE

Une analyse de terre consiste en une quinzaine de déterminations chimiques et granulométriques effectuées sur les horizons majeurs que l'on décide de distinguer. Elle est complémentaire des observations de terrain (géologie du substrat, morphologie, minéralogie, structure, charge grossière, compacité, porosité, activité biologique repérable, enracinement...).

S'il ne faut pas chercher de lien direct entre un résultat de mesure isolé et la « qualité » ou la « typicité » d'un vin, les analyses de terre standardisée restent indispensables pour caractériser et comparer de façon objective les sols et repérer des carences ou excès.

Ne pas utiliser les résultats de nos profils pour ajuster une fumure:

Nos analyses de terre sont pratiquées sur un seul horizon prélevé en un point donné, et ne peuvent servir à corriger une fumure de fond (qui nécessite des échantillonnages moyens issus de mélanges représentatifs dans une parcelle).

Malgré tout, et avec beaucoup de prudence, on pourra dégager des conclusions et des remarques générales bien reliées aux types de sols et qui pourront permettre d'adapter certains choix aux propriétés naturelles des sols.

Ces résultats sont détaillés au chapitre 5 du rapport général, après la description des unités sols.

Comparaison avec la pesée du 'refus' du laboratoire.

Les analyses granulométriques et chimiques du laboratoire concernent la fraction de terre fine isolée des graviers et cailloux. Il est donc toujours utile de faire estimer le refus (tout ce qui dépasse 2mm) sans oublier de l'estimer soi-même sur place au moins pour les sols très caillouteux, à gros cailloux ou plaques que l'on ne peut mettre dans le sac, et/ou peu profonds.

Il faut toujours avoir à l'esprit cette teneur en éléments grossiers, qui est parfois très majoritaire et divisera parfois par 4 ou 5 les composantes de la fertilité et encore plus celles du réservoir hydrique. Il faudrait pouvoir se ramener à un poids réel de terre fine à l'hectare pour faire les calculs de corrections.

Par ailleurs, la limite de 2mm, qui sépare ce qui est analysé de ce qui ne l'est pas, est artificielle comme toute limite: des sables très grossiers de 1,8mm sont bien plus proches de graviers que de sables fins de 0,06mm. S'ils sont abondants (30 à 40%) ils peuvent provoquer la confusion entre une terre d'argile lourde à graviers et un sable limono-argileux a priori léger. (voir annexe 1)

Quelques indications :

Les cailloux étant plus denses que la terre fine, le pourcentage estimé visuellement en **volume** dans les fiches de profil, correspond à un pourcentage en **poids** (pesées du laboratoire) nettement plus fort surtout dans les pierrosités moyennes: (+20% dans les pierrosités moyennes, + 5 à 10% dans les pierrosités faibles ou fortes).

Exemples:

- 90% de cailloux en volume = 95% en poids

- 45-50% de cailloux en volume = 65-70% en poids
- 25-30% de cailloux en volume = 45-50% en poids
- 5-10 % de cailloux en volume = 10-20 % en poids

Par ailleurs personne ne met jamais les blocs et les plus gros cailloux dans les petits sachets de prélèvement.

Enfin ne pas oublier que:

- ✱ Certains types de cailloux ou rochers (grès calcaires en plaques, marnes sableuses en plaquettes, schistes, craie), peuvent emmagasiner une quantité importante d'eau utile aux racines.
- ✱ Des revêtements calcaires autour des cailloux ou au contraire des altérations superficielles peuvent rendre des cailloux très lisses un peu rugueux et faire gagner quelques millimètres de réserve.
- ✱ Au contraire des enrobages calcaires peuvent diminuer la porosité superficielle de cailloux naturellement schisteux ou poreux et faire perdre quelques millimètres de réserve.
- ✱ Ces enrobages ou encroûtements durcissent en séchant, diminuent la plasticité du sol et peuvent rendre difficile la progression des racines en fin de printemps.
- ✱ Enfin l'acidité et l'humidité prolongées altèrent considérablement les cailloux les plus durs: même les granites et gneiss peuvent disparaître en quelques milliers d'années, et ce d'autant plus vite qu'ils sont riches en fer et/ou en micas. (donc sombres). Au contraire plus ils sont denses, lisses, peu altérés, plus ils se comportent en "stériles". Ils ont par contre une action indirecte sur le drainage, l'évaporation, le réchauffement du sol, ils "cassent" les structures continues des sols trop argileux et, en protégeant la surface de la battance, de l'érosion, du ruissellement, ils améliorent la pénétration de l'eau.

3.1.2. UTILISATION DU TRIANGLE DES TEXTURES DU GEPPA

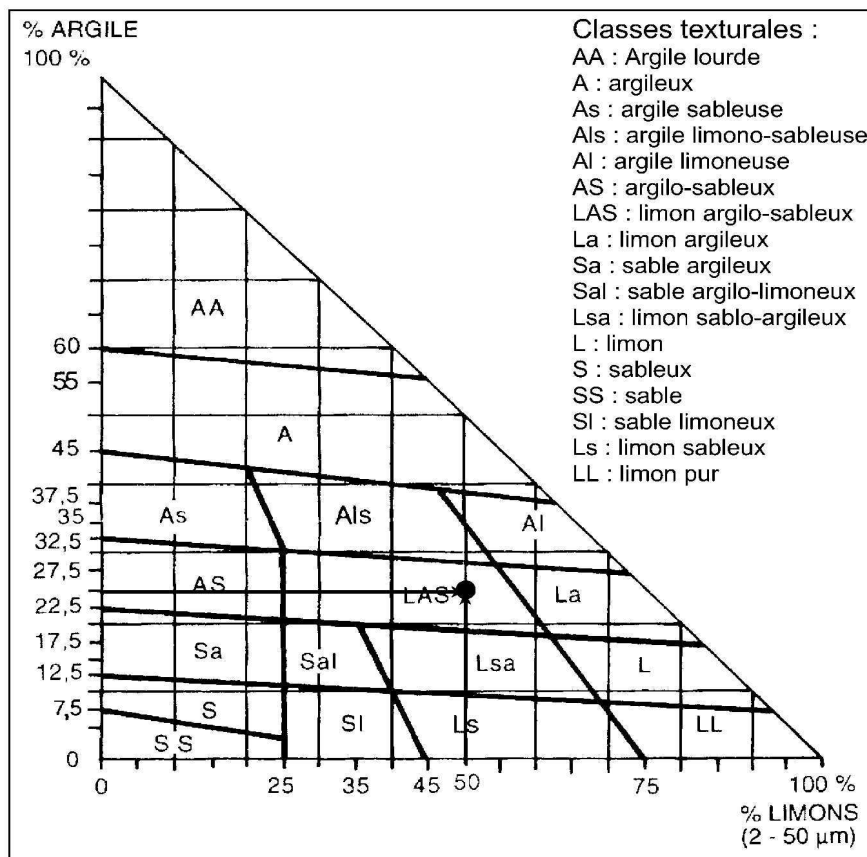
UTILISATION DU TRIANGLE DES TEXTURES GEPPA

Publié en 1963 et élaboré par un groupe de pédologue, le triangle GEPPA se présente sous la forme d'un triangle rectangle isocèle dont les côtés représentent les teneurs en argile (axe vertical), limons (axe horizontal) et sable (axe oblique), chaque axe étant gradué de 0 à 100%.

Positionnons dans ce triangle un point dont l'analyse granulométrique nous a donné la répartition suivante : 25% d'argile, 50% de limons et 25% de sable.

On repère tout d'abord la graduation 25 sur l'axe des argiles et on trace une droite perpendiculaire à cet axe et passant par ce point 25. On fait de même avec l'axe des limons en traçant une droite perpendiculaire à cet axe et passant par la graduation 50. L'intersection entre ces droites nous donne l'emplacement du point recherché dans le triangle de texture. Ce point se trouve dans la classe LAS, c'est-à-dire qu'il représente un échantillon de sol dont la texture est limono-argilo-sableuse.

Dix-sept classes sont identifiées dans le triangle des textures GEPPA.



Source : Guide pour la description des sols (D. BAIZE, 1995)

3.1.3 CLEFS DE LECTURES DES ANALYSES DE TERRE

Les informations énoncées dans cet aide mémoire sont extraites de F. Champagnol (Physiologie de la vigne 1984), de D. Baize (Guide des analyses courantes en pédologie, INRA, 1990), de D. Soltner (Les bases de la production végétale, 1985) et de normes mises au point par les chambres d'agriculture méridionales françaises et/ou Suisse; Il se peut donc que quelques interprétations suggérées soient en décalage avec les essais plus récents. Mais elles sont cohérentes avec le guide de fertilisation raisonnée édité par l'Institut rhodanien, qui apporte des informations plus précises sur les produits et les modes d'apports. Nous avons surligné en grisé les plages concernées par nos 99 analyses de terre de surface: on voit que toutes les plages possibles sont souvent occupées.

Le Calcaire Total

Il reflète la proportion en g/kg de calcaire (ou plus exactement de carbonates par dosage à l'acide HCl) contenu dans l'horizon. Cette valeur bien que très globale est indispensable en milieu calcaire. Selon le GEPPA:

Calcaire total	
< 1 %	horizon non calcaire
1 à 5 %	horizon peu calcaire
5 à 25 %	horizon modérément calcaire
25 à 50 %	horizon fortement calcaire
50 à 80 %	horizon très fortement calcaire
> 80 %	horizon excessivement calcaire

Dès qu'un sol ou un horizon est calcaire, même faiblement, on est sûr d'être dans une ambiance physico-chimique particulière caractérisée par l'abondance de l'ion Calcium, un pH élevé, une sur-saturation du complexe absorbant ($S/T > 100\%$), et à l'inverse, l'absence d'ions H^+ et Al^{3+} échangeables. Cela se traduit par une stabilité structurale du sol toujours bien meilleure qu'en sols acides (cohésion des éléments fins limitant l'érosion et bonne aération), chimique (fixation des éléments chimiques sur le complexe absorbant évitant leur migration), et biologique (un pH légèrement basique et une bonne oxygénation favorisent l'activité biologique nécessaire à l'assimilation des minéraux par la plante). Au-delà de 30-40 % de calcaire total, des effets défavorables commencent à apparaître (horizon plus séchant, insolubilisation de la matière organique en climat tempéré et mauvaise assimilation du fer et du phosphore pour des pH supérieurs à 8,4 - 8,5).

Les carbonates sont dissous par les eaux de pluies et les lessivats de matière organique (légèrement acides). Ils peuvent aussi "remonter" depuis les couches profondes avec les ascensions capillaires. Suivant les matériaux, leur âge, le drainage, l'évaporation et la pluviométrie locale, le bilan peut être négatif (perte de calcium) ou positif dans les horizons moyens (formation d'amas et même de croûtes calcaires, souvent dans les parties basses des pentes). Certaines croûtes se sont formées sous des climats passés chauds plus contrastés qu'aujourd'hui.

Dans de nombreuses pentes, un gradient inversé (plus de calcaire en surface qu'en profondeur) indique un apport superficiel latéral de matériaux carbonatés (colluvions, éboulis, alluvions). Ce peut être aussi bien sur le résultat d'un apport correctif de chaux en surface en zone acide.

Le calcaire "actif"

C'est la fraction de calcaire la plus fine (poussière de la taille des limons fins donc 0.020mm). Il traduit la réactivité du calcaire, c'est à dire sa capacité à se dissoudre rapidement dans l'eau. Le dosage consiste à déterminer la quantité de Calcium qui réagit avec l'oxalate d'ammonium. L'abondance du calcaire actif est un indicateur des risques de chlorose ferrique.

La combinaison de la valeur du calcaire actif et de la teneur en fer extractible permet de définir l'IPC, moyen plus complet d'apprécier les risques de chlorose.

Les problèmes apparaissent rarement en dessous de 10-12%, mais sont toujours accentués dans le cas de drainage lent au printemps, ou mouillère localisée, ainsi qu'en cas de surproduction, ce qui n'est pas le cas à ce niveau d'appellation.

L'IPC (Indice de Pouvoir Chlorosant)

Une échelle de résistance des porte-greffes à la chlorose ferrique a été proposée et est couramment utilisée. L'échelle des IPC va de 0 à plus de 1000.

$$\text{IPC} = \frac{\text{CaCO}_3 \text{ "actif" en \%}}{(\text{Fer extractible})^2 \text{ en ppm}} * 10^4$$

Notre expérience montre que les faibles IPC, qui correspondent à des teneurs en fer supérieures à 50-60ppm ne sont effectivement jamais chlorosantes.

L'inverse (forts IPC) n'est que plus rarement vrai et de très forts IPC calculés ne correspondent pas obligatoirement à des zones dramatiquement chlorosantes.

En effet, certaines formes de fer sont difficiles à doser et bien d'autres facteurs du sol interviennent dans le phénomène de chlorose (teneur en eau du sol, pH, texture...) Une vigueur excessive peut également provoquer des chloroses induites l'année suivante.

Le pH

pH eau	
< 3,5	hyper-acide
3,5 - 5,0	très acide
5,0 - 6,5	acide
6,5 - 7,5	neutre
7,5 - 8,5	basique
> 8,5	très basique

Le pH rend compte de la concentration en ions H⁺ d'une solution d'un sol. Le solvant peut être de l'eau (pH eau), ou du Chlorure de Potassium (pH KCl).

L'équilibre dans l'eau ne rend pas compte de la totalité des ions H⁺ fixés sur le complexe absorbant.

Par contre ces ions fixés constituent une acidité potentielle ou une acidité d'échange au pH du sol. Ces ions H⁺ peuvent être échangés avec les ions K⁺ d'une solution. On comprend alors que le pH KCl soit plus bas que le pH eau de 0,5 à 1,5 unité de pH en fonction de la Capacité d'Échange Cationique du sol.

La mesure du pH est surtout intéressante en sols acides. Un seuil de 5,5 pour le pH eau est une limite en dessous de laquelle la présence de l'aluminium échangeable, entraîne des risques de toxicité aluminique pour les cultures. L'activité biologique sera également fortement diminuée et par-là même, l'assimilation des oligo-éléments et des principaux éléments fertilisants. Mais un sol humifère bien aéré peut voir son pH baisser, sans que la vigne ne manifeste aucun symptôme.

Le pH d'un sol acide varie aussi en fonction des saisons (les ions H⁺ sont plus dilués en période humide, donc en général le pH est à son maximum au début du printemps). Il baisse avec l'augmentation de l'activité biologique et le dessèchement estival. Des différences de 1 unité en sols sableux et de 0.5 unités en sols argileux sont fréquemment citées.

Pour les sols calcaires (attention, en pays de roches calcaires, tous les sols ne sont pas calcaires - voir paragraphe 2-2-4) au contraire, le pH dépasse toujours 8 dès que la terre fine fait effervescence avec une goutte d'acide chlorhydrique dilué. Ce n'est pas un défaut à corriger, comme on le lit trop souvent dans les forums de jardiniers, mais un fait. Certaines plantes ou porte-greffe ne s'y feront jamais, sauf à changer le sol.

En réalité le pH varie beaucoup d'un point à l'autre du sol ; A proximité immédiate des terminaisons racinaires (Rhizosphère des coiffes racinaires) il peut baisser de 1.5 à 2 unités dans les sols calcaires, ce qui explique que l'assimilation minérale reste possible malgré les équations théoriques!

La CEC (Capacité d'Échange Cationique)

C'est un bon indicateur de la fertilité potentielle globale du sol, mais à volume de terre égal (ce volume réel est fonction de la profondeur utile et du volume occupé par les cailloux et pierres).

Elle est exprimée en cmol/kg = centimole par kilo (chiffre équivalent aux anciens $\text{meq}/100\text{g}$ milliéquivalent pour 100g).

C'est une mesure effectuée en laboratoire à un pH donné (7) qui correspond à la quantité de cations (K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} ,...) que le sol peut fixer sur le complexe adsorbant (argiles +humus +hydroxydes) puis échanger avec la solution du sol. Pour les sols acides il vaut mieux procéder 'au pH du sol' mais les laboratoires ne pratiquent pas cette détermination en routine. Il ne faut pas comparer directement les CEC de sols acides souvent anormalement élevées.

La CEC "terre fine" provient de l'argile d'une part (de 5 à 100 cmol/kg d'argile suivant sa nature cf. paragraphe 2.2.2 de ce cahier) et de la matière organique de l'autre (autour de 200 cmol/kg de matière organique, moins en sols calcaires).

Estimation de la 'CEC_{fm}'

Une fois la CEC due à la matière organique évaluée, on peut estimer par différence la CEC due à l'argile qui devient un bon indicateur de la qualité de cette 'argile _{minéra}' (ou plus exactement de la fraction minérale d'où le "fm").

Des CEC_{fm} inférieures à 25 cmol/kg d'argile pure traduisent l'abondance de kaolinites (argile non gonflante), d'argiles dégradées (chlorites alumineuses) de calcite ou de quartz très fins (minéraux non argileux au sens minéralogique).

Des CEC_{fm} supérieures à 50-60 cmol/kg traduisent l'abondance d'argiles gonflantes de type montmorillonites de comportement très différent ou encore de particules micacées dans les fractions limoneuses ou sableuses ou encore de difficulté de broyage de certaines argiles très compactées ou agrégées, qui restent dans la fraction sableuse mais apportent leur pouvoir d'échange. Quelle qu'en soit l'origine cette CEC reste un indicateur très intéressant.

Seules les valeurs extrêmes sont significatives car les approximations sont grandes dans l'estimation de la CEC de la matière organique.

Estimations en cmol/kg (= $\text{meq}/100\text{g}$):

CEC terre fine (argiles + mat. Org.)		CEC _{fm} (argiles seules)	
< 5	basse		
5 - 9	un peu basse	Kaolinites/ argiles dégradées/ compactes/ minéraux non argileux	< 25
9 - 12	moyenne		
12 - 17	assez élevée	mélange d'argiles	25 - 50
17 - 25	élevée	Montmorillonites/ argiles gonflantes	> 50
> 25	très élevée		

Le Potassium (K) et le Magnésium (Mg)

Le potassium et le magnésium sont des cations échangeables nécessaires à l'alimentation végétale. Pour évaluer la richesse en potassium il faut tenir compte du pouvoir fixateur du sol donc de la CEC. La teneur en potassium échangeable doit donc être ramenée à la CEC

(qui est une meilleure indication que le taux d'argile brut puisqu'elle tient compte de l'activité de cette argile) et non jugée telle quelle.

Pour le potassium, un taux de 3-4% de la CEC est satisfaisant pour un sol de CEC moyenne ou forte (supérieure à 10 cmol/kg). (!Attention il faut être en cmol par kg de l'élément K et non en % de K₂O).

Dans les sols légers (de CEC inférieure à 6-7 cmol/kg), on sera plus prudent, le taux de 2% de la CEC sera suffisant et les fumures de fond évitées au profit d'apports annuels (risques de carence magnésienne induite, et lessivage du potassium peu fixé).

Le potassium entre en effet en compétition avec le magnésium et risque d'induire des carences en magnésium. Le rapport K/Mg (ou Mg/K) permet d'estimer les risques de carences en Mg.

De nombreuses carences en magnésie sont en fait des carences induites par l'excès relatif de potasse. La potasse est un élément dont l'abondance peut entraîner une consommation de luxe de la part de la vigne. Son absorption excessive conduirait (?) à des concentrations excessives dans les moûts, accompagnée une action néfaste sur leur pH.

En fait, les analyses pétiolaires sont plus fiables pour détecter de réelles carences ou excès car les éléments dosés dans les sols ne représentent qu'une partie des éléments présents. Seules les tendances générales sont observables par les analyses. Elles restent cependant le seul moyen d'évaluer le volume potentiel du réservoir-sol (CEC globale) et les besoins au moment des fumures de fond.

	K/CEC	Mg/CEC	Mg/K ou	K/Mg	Équilibre K-Mg
Très faible	< 1,2 %	< 2,4 %	< 1	> 1	carence induite
Faible	1,2 % - 2,4 %	2,4 - 5 %	1 - 1,5	1-0,7	carence induite années humides
Normale	2,4 % - 4,5 %	5 - 12 %	2	0,7-0,5	correct
Assez élevée	4,5 % - 6 %	12 - 18 %	> 2	< 0,5	pas de problèmes
Élevée	6 % - 8 %	18 - 24 %			
Très élevée	> 8 %	> 24 %			

Rôle du calcium et du magnésium sur la structure

Si on sait que le calcium a un effet structurant « aérateur » de la structure, on connaît moins bien l'effet du magnésium qui est réputé pour avoir l'effet opposé et « resserrer » la structure. D'après Kinsey, si en sols argileux le calcium évite l'étouffement, en sol sableux le magnésium aiderait au contraire à créer un peu de structure dans des profils parfois un peu soufflés.

La somme du taux de saturation (de la CEC) de ces deux cations est idéalement de 80%, avec en gros (60% Ca + 20% Mg) en sol sableux et plutôt (70% Ca + 10% Mg) en conditions argileuses. Pour un sol moyen l'équilibre devant tourner autour de 68% de Ca et 12% de Mg. En fait dès que le sol est calcaire le chiffre du calcium échangeable n'a plus de signification (supérieur à 100% de la CEC).

Pour les sols acides.

Dans tous les cas il faut savoir qu'apporter un point de calcium par le chaulage réduit d'un point la quantité de magnésium sur la CEC. Par conséquent :

- ▀ si on veut apporter du calcium sans baisser le magnésium, il sera de bon ton d'amender avec de la dolomie ;
- ▀ si on veut amener du magnésium seul on pensera à la kieserite (qui à l'avantage de contenir du soufre en sus) ;
- ▀ si on veut fournir du calcium sans modifier le pH, du [gypse](#) sera le bienvenu (sols salés).

Taux de Saturation (= S/T)

Le taux de saturation est un précieux indicateur quant à la richesse chimique du milieu, laquelle détermine l'activité biologique, la qualité de la structure, les réserves en éléments

fertilisants.

En sol calcaire, le calcium est toujours en excès. Le complexe absorbant est donc toujours saturé (100 % de taux de saturation). En sols acides ce taux S/T peut chuter à moins de 10%. Potasse et magnésie seront mal fixées, il faut chauler avant de faire quoi que ce soit d'autre.

La valeur de la CEC (=T) est relativement pérenne dans un sol alors que S/T dépend à la fois de la teneur en éléments naturels du sol et des amendements agricoles. Sa valeur est donc susceptible de varier dans le temps.

95 < S/T < 100 %	saturé	Horizons 'eutriques'
80 < S/T < 95 %	quasi-saturé	
50 < S/T < 80 %	méso-saturé	
20 < S/T < 50 %	oligo-saturé (insaturé)	Horizons 'dystrique's
10 < S/T < 20 %	désaturé	
0 < S/T < 10 %	hyper-désaturé	

La Matière Organique

Le taux de matière organique présent dans l'échantillon de terre est donné en % ou ‰ (pour mille).

Lorsque le taux de matière organique est inférieur à 2 % (limite variable suivant la granulométrie mais beaucoup d'agronomes s'accordent autour de ce seuil), les propriétés physiques (structuration, aération) et chimiques (capacité d'échange, complexation des Eléments traces, etc), et surtout biologiques, se dégradent (Duchaufour, 1997)- voir fiche IFV- très complète).

En zone de vignoble, il est fréquent que les taux de surface tombent sous la barre des 1% et ce d'autant plus que l'on descend en latitude, que les sols sont sableux, acides, que les températures augmentent et que la pluviométrie décroît (la minéralisation est plus intense).

Le guide de l'Institut Rhodanien indique cependant un seuil de satisfaction un peu bas (0.8 à 1%) à notre avis de pédologue, qui pourrait être remonté de 0.3 à 0.5% sans pour autant devenir excessif, surtout dans les sols sableux, battants et/ou acides.

Le rapport C/N sert à caractériser globalement les MO présentes dans le sol. C'est le rapport entre le carbone organique et l'azote total d'un horizon. En sols agricoles, les rapports C/N des horizons de surface labourés sont de l'ordre de 9 quand l'humification est bonne. Cela correspond à de la MO à 5 % d'azote. Sous culture, un C/N supérieur à 12 indique que la minéralisation rencontre des difficultés (condition anaérobie = mauvais drainage, acidité excessive). La matière organique non négligeable que nous trouvons en profondeur dans les sols de vigne ne présente en général pas un C/N particulièrement élevé et peut donc participer à une certaine libération d'azote. Elle provient sans doute de la décomposition des racines, mais aussi de l'enfouissement par les anéciques (au moins dans les sols qui leurs sont favorables - pas trop acides, les loess par exemple).

A placer ou ? :

Vous êtes surpris : nous ne parlons pas de sols « biologiquement morts » ou « gorgés de pesticides ». Ces qualificatifs ne sont pas une manière exacte ni utile de voir les choses.

Attention : certains sols sont épuisés, érodés ou au contraire trop évolués, fragiles, compactés, salinisés, appauvris. (Nahon 2008, Ruellan 2010, toute la biblio « sol » depuis les années 1950. Mais on constate aussi que certains de ces problèmes peuvent être résolus en quelques années dès lors que les habitants des sols ont de quoi y manger : de la matière organique* en quantité et qualité convenable, adaptée à la nature du sol.

*Le taux de matière organique ne doit pas être aussi élevé en viticulture que pour les « terres à patates », pour ne pas libérer trop d'azote, mais il ne doit pas tomber en deçà de 1 à 2%, selon les sols et les régions.

Un haut niveau de matière organique n'est pas un gage de bon fonctionnement si elle s'accumule ou est « bloquée » : cela se voit à l'observation (couleur, odeur) et avec quelques tests économiques (pH)

Il y a 2 manières d'aborder ce sujet :

1-une manière économe et pragmatique, agricole, on apprend à juger si le sol fonctionne bien, cela se fait depuis longtemps.

2-une approche scientifique par la métagénomique, qui fait exploser les connaissances depuis 10 ans. (biblio

Et bizarrement, pas grand-chose de sérieux entre les deux.

L'approche pragmatique :

De 2 choses l'une : si le sol est capable de « manger » ses sarments (qu'il devrait être interdit de brûler) en 1 an, sa vie interne est dans un état correct. En général on arrive à ce résultat au bout de 2 ou 3 ans, ce sera un peu plus long dans les sols acides et sableux, plus pauvres biologiquement naturellement.

Sinon il faut probablement corriger un ou deux défauts du sol, naturels ou acquis par de mauvaises pratiques (compaction, niveau de matière organique* trop bas, acidité, excès d'eau temporaire).

L'activité biologique, jamais nulle bien sûr, est toujours prête à repartir dans le sillage d'un ver de terre ou d'une racine (effet 'prince charmant'). Sa fraction bactérienne, responsable de la dégradation de la plupart des molécules de pesticides, qui sont des molécules organo-minérales est d'une incroyable plasticité génétique. Par contre de nombreux métaux (Cu Pb Cd As Zn etc) s'accumulent car ils ne peuvent être fragmentés ni neutralisés ni dégradés. Ils sont adjuvants de nombreux traitements phytosanitaires, mais appartiennent aussi au fond géochimique naturel ou sont transportés par les airs.

2-L'approche scientifique :

C'est la métagénomique (l'analyse d'ADN de populations et non d'individus) qui a permis de « décoincer » cette connaissance qui stagnait un peu par manque de méthodes quantitatives adéquates (essayez donc de trier des lentilles avec des gants de boxe et un masque sur les yeux).

Il faut comprendre que des dizaines de milliers d'espèces coexistent dans un gramme de sol. La plupart (90%) ne sont pas cultivables en laboratoire, ne sont même pas détectables car elles ne respirent pas, mais sont en 'dormance', et des genres encore inconnus il y a peu y semblent très bien représentés (Archées).

Les progrès réalisés depuis 10 ans n'ont donc rien à voir avec ce que pouvait montrer un microscope ou un incubateur. Qui n'en percevaient que les effets indirects (structure, agrégation, respiration), ni proportionnels, ni constants dans le temps.

Et l'on comprend qu'il faut rester particulièrement vigilants sur d'éventuelles interventions séduisantes mais mal maîtrisables dans un milieu si complexe. (Inoculations, modifications génétiques ou physico-chimiques..., prélèvement de biomasse de première, deuxième ou x.ième génération pour les filières énergétiques).

L'azote

Les effets négatifs d'un excès d'alimentation azotée sont bien connus, ils contrarient l'expression du terroir, font baisser le taux de sucre et augmentent les risques de maladie. (A. Reynier, K. Van Leeuwen). Mais on sait qu'une carence azotée excessive peut avoir des conséquences œnologiques néfastes, liées à la baisse de fermentescibilité des mouts mais aussi à des modifications de comportement dans la baie des précurseurs aromatiques et des polyphénols. Les conséquences ne sont pas les mêmes pour les vins blancs et les vins rouges, et pas les mêmes selon les cépages. Ces carences ou excès relèvent souvent de déséquilibres complexes, souvent mieux gérés indirectement que par des apports azotés directs et systématiques. Ainsi l'établissement d'enherbements trop concurrentiels, excès de rendements, stress hydriques prolongés, baisse du taux de matières organiques, hydromorphie, activité biologique trop forte ou trop faible etc...ont des conséquences différentes selon les cépages et les types de sols.

De nombreux travaux en France et en Suisse sont en cours qui montrent que le statut azoté

de la plante dépend d'abord étroitement du type de sol puis du millésime, et que sa mesure dans le sol n'est pas un bon moyen d'approche : l'azote total du sol ne reflète pas le statut de la plante et l'azote minéral assimilable est beaucoup trop variable dans le temps et l'espace. Il doit donc se raisonner plutôt que se mesurer.

La relation indéniable (positive ou négative) entre azote et qualité des vins, résulte d'un bilan complexe, lié à l'itinéraire hydrique, lui-même lié au millésime et au réservoir du sol (lié à la texture et à la profondeur), au drainage interne du sol, qui détermine le niveau d'activité biologique elle-même dépendante de la teneur en matière organique ; en aucun cas un seul de ces éléments n'est explicatif.

Le Phosphore (P, P_2O_5)

En l'absence de toute référence sur des carences éventuelles en phosphore sur vigne, on peut estimer que cet élément est très bien extrait par cette plante quel que soit le sol et sa teneur analysée. (D'une part seule une faible partie du phosphore présent dans le sol est traduit par l'analyse, surtout dans les sols calcaires et d'autre part la mycorhization - association symbiotique des racines avec des champignons du sol- améliore l'assimilation du phosphore). Les essais les plus longs n'ont jamais montré la moindre action de cet élément sur le développement de la vigne même en l'absence totale d'apports, sauf peut-être dans des sols "squelettes" de sables

littoraux purs au bout de 20 années sans apports (Champagnol, communication orale, souvent confirmée).

Par contre des effets intéressants des apports de phosphore sont notés pour les exploitations forestières : meilleur développement racinaire, surtout dans les sols acides. On peut donc penser que les apports restent conseillés pour les sols sableux, acides, et peu profonds ou très caillouteux, sur roche granitique (plus pauvre en phosphore que les roches sédimentaires), où l'endo-mycorhization est mauvaise et où il est justement important d'avoir une dense colonisation racinaire.

Il ne faut donc pas attacher d'importance aux mentions de teneur "faible" ou "très faible" dans les résultats d'analyses de terre calcaires une fois que la vigne est installée (encore une fois: pour la vigne uniquement). L'exportation théorique est de 25-30 kg par hectare de P_2O_5 dont 1/3 pour les moûts. Cet élément n'est pas lessivé. Les 10 kg/ha nécessaires à l'exportation réelle par les moûts se trouvent donc probablement à l'état naturel dans les quelques 5000 à 10000 tonnes de terre explorées par l'enracinement profond de la vigne (souvent supérieur à 150cm).

Seuls les sols extrêmement sableux (>90%), acides, issus de roches mères granitiques pauvres en phosphore et/ou très peu profonds semblent justifier un entretien périodique, une fumure de fond très modérée à la plantation suffisant pour les toutes les autres situations. En effet il se peut que la qualité de l'enracinement (mise en place les 5 à 10 premières années, suivant la difficulté du sol) soit tout de même lié à une bonne disponibilité en phosphore au démarrage, avant donc que la mycorhization s'installe. Visuellement les seules anomalies racinaires (racines très divisées, frisées, ne grossissant pas) que nous ayons notées étaient effectivement dans des sols sableux, acides et peu profonds.

Remarque ;-): Pour la vigne ce sont des endo-mycorhizes qui interviennent. De la taille de cellules, ils ne sont pas visibles « sur le terrain » même à la loupe binoculaire.

Le fer "extractible"

Le fer est l'ami du pédologue. C'est un élément qui a la propriété de se colorer très fortement en fonction du degré d'oxydo-réduction du milieu et donc de l'aération et de l'état hydrique du sol: en milieu saturé en eau, le fer est dissout (décoloration grise sur les agrégats) alors qu'il prendra une teinte rouille lorsque l'oxygénation est meilleure.

Le fer "extractible" correspond au fer qui n'est pas intégré au réseau cristallin des minéraux, mais qui est lié au complexe adsorbant par liaisons électriques.

Une bonne teneur en fer 'libre' oxydé Fe^{+++} est par ailleurs favorable au développement de l'activité bactérienne du sol.

Dans les sols rouges fersiallitiques de terrasses anciennes, le fer est sous une forme oxydée particulière, aggloméré en nano-particules mal cristallisées, très rouge (hématite).

Le Manganèse Mn

Elément commun surtout dans les roches du socle, le manganèse voisine avec le fer dans le tableau périodique des éléments.

Il a une dynamique proche de celle du fer, et il migre souvent en même temps que lui (sous forme réduite Mn^{+} , Fe^{++}) dans les eaux acides et peu oxygénées. S'ils rencontrent de l'oxygène, ils redeviennent insolubles Mn^{++} , Fe^{+++} et se redéposent en bandes, amas, nodules, revêtements noirâtres ou violacés très sombres que l'on nomme 'ferromanganiques' ou 'Femn'. Ces redépositions, si elles sont très denses, peuvent s'agglutiner au même niveau pour former des lignes, voire des encroutements noirs épais et durs comme du machefer (niveau de battement de nappes, le plus souvent). Ce phénomène extrême n'apparaît que dans les sols acides.

On peut noter des toxicités (rares) dans les sols acides. (voir fiche IFV)

On peut observer des carences en zone calcaires, après apports de fer (antagonisme après apports massifs de chélates). Elles sont traitables plutôt par pulvérisations foliaires.

L'aluminium

Très abondant dans les sols, cet élément ne forme pas de produits colorés. La forme ionique est l'ion Al^{3+} qui apparaît sous sa forme échangeable en sol très acide ($pH < 5,5$). Il provient de l'altération des silicates, ainsi sa valeur traduit directement le degré d'altération ou d'accumulation des différents horizons du sol.

D'un point de vue agronomique, un excès d'aluminium peut induire une toxicité sur les végétaux, parfois repérable sur les racines. La toxicité intervient si $Al^{3+}/CEC > 10 \%$.

Le cuivre

Le dosage du cuivre extractible n'est réalisé que pour les sols acides où il peut devenir toxique. C'est d'ailleurs la première indication pour le chaulage, avant la toxicité aluminique, car le cuivre n'est pas biodisponible en milieu calcaire. Sa teneur est donnée en ppm (= parties par million = milligramme par kilo-mg/kg). Ce facteur est donc à surveiller dans les zones du socle, (donc sur la zone 3) et localement sur les terrasses anciennes à concrétions 'ferro-manganiques' de plateau. C'est surtout au moment des replantations que la toxicité cuivrique peut se manifester. Cet élément s'accumule en surface et ne migre pas, mais les travaux de préparation peuvent l'enfouir.

Teneur selon pH	pH KCl < 5,5	5,5 < pH < 6,5
Normal	< 5	< 10
Bénin	5 - 10	10 - 20
Assez élevé	10 - 30	20 - 40
Élevé	30 - 60	40 - 60
Très élevé	> 60	> 60

Mais attention, même en l'absence de toxicité sur la vigne, l'accumulation des apports cupriques depuis de nombreuses décennies ne va pas sans poser des problèmes de pollutions, comme pour les autres métaux, y compris sur les sols neutres ou calcaires.

Autres éléments traces métalliques : les ETM

Le vocabulaire est lourd de sens en la matière : on peut parler l'oligo-éléments, de métaux lourd ou d'éléments traces potentiellement toxiques pour désigner le même élément.

Selon les étages géologiques, les teneurs naturelles (en l'absence d'apports humains) peuvent être très différentes. Il peut être intéressant de connaître ce fond géochimique naturel pour évaluer la pertinence d'apports supplémentaires (cas d'apport de composts urbains ou autres), et/ou confirmer une expertise de contamination (niveaux excessifs sans 'effets négatifs') ou de pollution (avec effets néfastes).

D.Baize signale que les accumulations d'éléments traces sont souvent plus fréquentes au contact entre socle et couverture sédimentaire. La dissolution des couches calcaires a aussi

un effet de concentration relative dans les sols résiduels.

Élément	AFNOR 8/01/98	O-SOL Norme Suisse	D.Baize : " seuil d'investigation "
Cadmium Cd	2,0	0,8	0,70
Cobalt Co	30	?	30
Chrome Cr	150	50	100
Cuivre Cu	100	40	35
Mercure Hg	1,0	0.5	?
Nickel Ni	50	50	70
Plomb Pb	100	50	60
Zinc Zn	300	150	150

	gamme de valeurs couramment observées dans les sols " ordinaires "de toutes granulométries	gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées		gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles	
As	1,0 à 25,0	30 à 60	(1)	60 à 284	(1)
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0	(1)(2)(3)(4)	2,0 à 16,0	(1)(2)(4)
Cr	10 à 90	90 à 150	(1)(2)(3)(4) (5)	150 à 3 180	(1)(2)(3)(4) (5)(8)
Co	2 à 23	23 à 90	(1)(2)(3)(4) (8)	105 à 148	(1)
Cu	2 à 20	20 à 62	(1)(4)(5)(8)	65 à 102	(8)
Hg	0,02 à 0,10				
Ni	2 à 60	60 à 130	(1)(3)(4)(5)	130 à 2 076	(1)(4)(5)(8)
Pb	9 à 50	60 à 90	(1)(2)(3)(4)	100 à 3 000	(1)(3)
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0	(6)	2,0 à 4,5	(7)
Ti	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4	(1)	7,0 à 55,0	(1)
Zn	10 à 100	100 à 250	(1)(2)	250 à 3 800	(1)(3)

(1) zones de " métallotectes " à fortes minéralisations (à plomb, zinc, barytine, fluor, pyrite, antimoine) au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins. Notamment roches liasiques et sols associés de la bordure nord et nord-est du Morvan (Yonne, Côte d'Or).

(2) sols argileux développés sur certains calcaires durs du Jurassique moyen et supérieur (Bourgogne, Jura).

(3) paléosols ferrallitiques du Poitou (" terres rouges ").

(4) sols développés dans des " argiles à chailles " (Nièvre, Yonne, Indre).

(5) sols limono-sableux du Pays de Gex (Ain) et du Plateau Suisse.

(6) " bornais " de la région de Poitiers (horizons profonds argileux).

(7) sols tropicaux de Guadeloupe.

(8) sols d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre). [\[R\]](#) Annexe 2.

L'activité biologique des sols

L'activité biologique d'un sol est un complexe essentiel (sans vie pas de sol), mal connu, mais en tout cas pas cernable en quelques tests simples car il existe des millions d'organismes dans un gramme de sol, répartis en dizaines de milliers d'espèces et de genres différents.

- Ses deux rôles les plus connus sont :
 - De transformer la matière organique brute en humus et de rendre l'azote organique assimilable par la minéralisation de cet humus.
 - De mélanger intimement la matière organique et minérale, stabilisant les deux, tout en construisant une porosité 'biologique' bien plus stable dans le temps que la porosité fissurale ou texturale. D'où ces 3 effets positifs bien connus : meilleure résistance à l'érosion, meilleure aération et meilleure alimentation minérale, azotée surtout, effets qui se renforcent les uns les autres.

Quantitativement elle dépend du taux de matière organique, de son rapport C/N, de l'aération du sol, du pH, de l'humidité du sol. Quand ces indices sont bons en général l'activité est bonne.

Trop bonne, elle permet d'ailleurs une alimentation azotée trop confortable, le plus souvent néfaste à la qualité des raisins, même s'il y a des nuances à apporter selon les cépages.

Nous n'avons donc pas besoin d'attendre que tout soit expliqué et quantifié pour juger de l'état biologique des sols. Une matière organique suffisante mais qui ne s'accumule pas, des sarments qui disparaissent en une année, une structure de surface grumeleuse ou tout au moins bien fragmentaire, pas de semelle en profondeur, pas de ravinement sont de bons indicateurs. Et si un ou l'autre de ces critères n'est pas rempli, ce peut être dû à des pratiques inadaptées, systématiques ou accidentelles, mais aussi à une fragilité propre à son sol, qu'il faut connaître, bichonner à bon escient ou profiler différemment si sa pente est forte: le voisin, qui fait 'n'importe quoi', peut avoir un sol très costaud et résilient !

- Mais bien d'autres rôles plus complexes sont en cours d'étude (INRA-CNRS-IRD Université rien que pour la France) : production d'antibiotiques, effets « booster » d'une population sur une autre, directement active sur la physique du sol celle-là, (vers de terre), régulation des organismes indésirables - certains virus, nématodes, champignons (jamais **tous** les représentants d'une grande famille), dormance et réveils des populations etc.

Une estimation quantitative de l'activité biologique d'un sol n'est donc pas forcément suffisante, surtout sans recours à des références très solides (en conditions naturelles, ou même cultivées, un sol sableux acide possède une biomasse 10 fois inférieure à un sol argileux neutre ou un peu calcaire).

Son estimation qualitative ressort de techniques très nouvelles de « métagénomique ».

Ainsi, il est probable qu'on modifie l'équilibre des populations vivantes du sol, en diminuant sa biodiversité au profit des espèces les plus tolérantes aux biocides introduits. Cette diversité génétique s'accompagne naturellement d'une plasticité incroyable, ce qui explique la biodégradation constatée de pesticides, donc leur perte d'efficacité mais aussi la baisse de leur toxicité environnementale. On sait cependant que la structure feuilletée et active des argiles constitue une protection pour certaines molécules toxiques, ce qui peut avoir un effet d'accumulation sans dégradation. De même, les éléments traces métalliques, ni solubles ni biodégradables, même quand ils ne sont pas biodisponibles et directement toxiques, peuvent s'accumuler dans les horizons de surface et devenir dépressifs pour les microorganismes du sol. Ils sont aussi un objet de surveillance (voir ci-dessus).

- La relation matière organique/ activité biologique est donc forte.

La diminution progressive de la teneur en matière organique des sols (conséquence logique de l'abandon de la traction animale, de la minéralisation accélérée sous l'effet des labours profonds, puis au contraire du non travail du sol avec désherbage intégral,) ne s'est pas accompagné d'une réflexion suffisamment poussée à long terme sur ses autres rôles indirects. Et ce bien qu'il soit écrit dans tous les livres et enseigné dans toutes les écoles que ce taux baisse lentement depuis 60 ans et sera difficile et coûteux à remonter pour les 4000 tonnes de terre (horizons A) que compte un hectare. On voit qu'on doit raisonner sur les dizaines de tonnes de matière sèche (1% = 40 tonnes).

La biodiversité se reconstitue à partir d'un taux de matière organique corrigé et non à partir d'apports coûteux aux propriétés mirifiques, qui vont de toute façon bien vite disparaître si les autres facteurs ne sont pas corrigés, ou seront vite concurrencés et exterminés par les micro-organismes autochtones dans le cas contraire.

La recherche « tous azimuts » de sources de biomasse pour la production d'agrocarburants, par des ingénieurs qui ne connaissent pas bien les sols et qui considèrent parfois que les résidus de culture 'pourrissent' sur le sol, est un nouvel objet de vigilance.

Fort heureusement, on observe depuis une dizaine d'années un réveil massif des sujets de recherche et des laboratoires publics autour de ce monde difficile d'accès. Après que des méthodes d'extraction aient été mises au point dans les années 80, (Chaussod INRA Dijon) elles sont aujourd'hui progressivement introduites dans les protocoles de routine des laboratoires d'analyses de terre. On peut donc commencer à suivre ce qu'on pourrait appeler le fond biologique naturel.

L'Unité Mixte de Recherche INRA/université dédiée à ce domaine en Bourgogne fait par exemple appel à des indicateurs assez sophistiqués tel que l'extraction d'ADN. Citons-la: « Le rendement d'extraction d'ADN d'un sol se révèle être un bon indicateur de la biomasse microbienne. Les analyses statistiques montrent une corrélation significative positive entre la quantité d'ADN, la densité bactérienne, le pH la CEC et la teneur en argile des sols... avec une grande variabilité des communautés bactériennes en terme de structure génétique. Un énorme travail d'acquisition de références est donc en cours ».

En tout cas soyons tous vigilants et curieux des résultats issus de la recherche publique, la seule a priori qui n'ait 'rien à vendre' ou tout au moins rien à perdre à conseiller de diminuer des doses d'intrants (cf bibliographie et liens), ou à en introduire d'autres, à effets plus ou moins placebo.

Pour en finir sur ce volet biologie, le rôle des mycorhizes est tout à fait essentiel pour la plupart des espèces ligneuses (voir le site dédié à ce thème de l'INRA de Nancy <http://mycor.nancy.inra.fr/fr/about/index.html>). On peut donc légitimement se poser la question de l'usage et de l'accumulation à terme des anti-fongiques largement utilisés (en pratiques biologiques ou pas) et par ailleurs nécessaires. Là encore des effets paradoxaux sont progressivement mis en évidence : certains fameux champignons du sol ne semblent pas souffrir de hauts niveaux de cuivre parce que cela diminuerait la concurrence d'autres espèces vivants dans les mêmes niches écologiques.

3.2. LA RÉSERVE EN EAU - QUANTITÉ / "QUALITÉ"

Citons tout d'abord M. Kees Van Leeuwen, un des meilleurs spécialistes mondiaux des études scientifiques sur les terroirs":

"Quand on veut faire de la qualité, il est évident que l'on ne se place pas dans une situation de production optimisée. On a souvent des productions en viticulture qui représentent 20 à 30% de ce qui est potentiellement possible d'atteindre. On n'est plus du tout dans un contexte de recherche d'une alimentation en eau non limitante car c'est justement dans les conditions où la vigne a un manque d'eau que la qualité des raisins est la meilleure. Toutes les études de terroir qui ont été menées montrent, à chaque fois, que l'alimentation en eau de la vigne joue un rôle essentiel dans l'effet terroir. Ce n'est pas le seul élément, l'alimentation azotée et la température du sol interviennent aussi. Mais on peut quand même, en très grande partie, expliquer ce qui différencie les terroirs par la spécificité des facteurs qui régissent l'alimentation en eau de la vigne de chacun d'eux."

Notons qu'il n'est pas question ici de "souffrance", de "stress" de la vigne, qui serait nécessaire, mais que seuls des modes différents de gestion de l'eau par le sol sont prudemment évoqués.

On comprend donc notre passion pour ces estimations hydriques. Par ailleurs comprendre ces notions hydriques permet de mieux prévoir et lutter contre les phénomènes d'érosion.

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/eau-sol.htm>

3.2.1. QUANTITE D'EAU STOCKEE DANS UN SOL

NB: Tous les chiffres cités dans la suite du texte sont des ordres de grandeur à manier avec prudence.

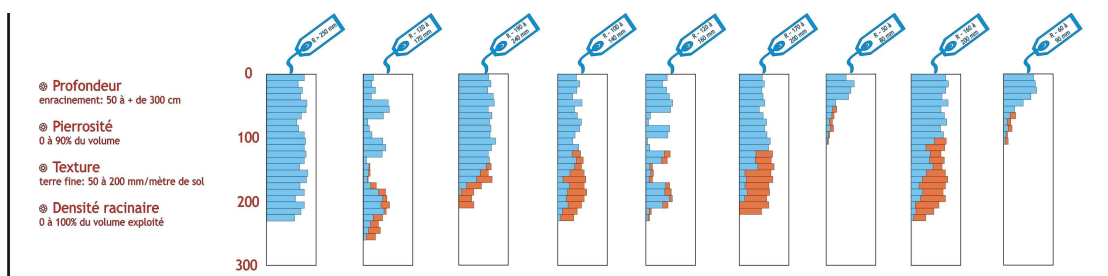
Pour les **cépages rouges**, il est évoqué dans plusieurs publications, que l'idéal hydrique en période de maturation est constitué par un réservoir au moins aux 3/4 vidé mais pouvant assurer une très faible alimentation jusqu'en fin de maturation. En bordelais les meilleurs millésimes sont observés les années où les contraintes hydriques ont été les plus fortes.

! Attention: des effets négatifs sont observés pour des contraintes extrêmes et précoces (courbe en cloche rappelée au graphique AP2).

Pour les **cépages blancs**, les effets sont moins évidents, parfois paradoxaux et plus contrastés (les études manquent encore): certains cépages "gèrent" bien des réserves hydriques assez fortes et craignent au contraire des contraintes trop précoces et trop intenses, néfastes à la formation de précurseurs aromatiques importants. Nous avons même constaté que certaines situations à nets signes d'hydromorphie pouvaient correspondre à des parcelles hautement estimées par d'excellents vignerons.

Il semble par exemple que le Chardonnay s'exprime avec talent dans des conditions de sol et de régime hydrique très variables, tout en acquérant des caractères différents plus ou moins exaltés par la vinification.

Les **graphiques hydriques** présents sur chaque fiche illustrent bien l'étendue toujours sous estimée de la gamme possible de ces réservoirs quand s'imaginer connaître un sol: de 30 à 350mm.



Mais ces graphiques ne parlent pas de:

➤ la rapidité avec laquelle cette réserve peut être:

- remplie (vitesses d'infiltration de 1mm à plus de 30mm par heure pour un sol non saturé).
 - Ce facteur dépend beaucoup de la structure de surface, qui est facilement dégradée pour les sols nus, pauvres en calcium et en matière organique.

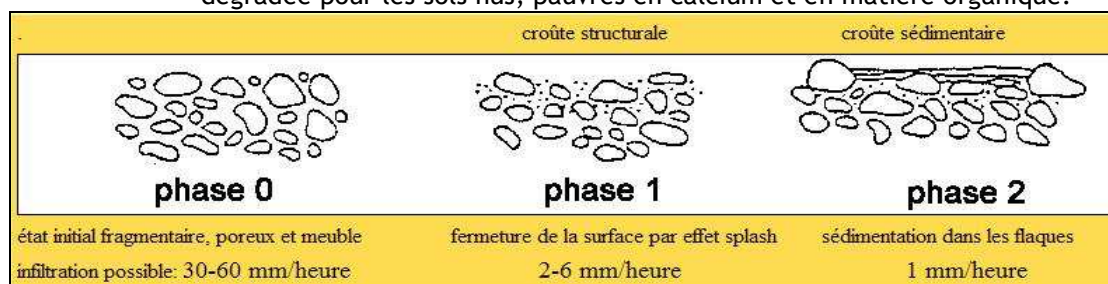


Figure-2 : battance et perméabilité

- Pour 800mm annuels, des régimes hydriques différents (atlantique, continental ou méditerranéen) vont interagir totalement différemment avec des sols de réservoirs équivalents. Nous avons paradoxalement souvent observé des sols plus saturés en milieu de printemps en zone méditerranéenne (les 2/3 ou ¾ de l'eau annuelle tombent en automne ou au printemps, en dehors des période de consommation donc rechargent les sols) que dans les vignobles bourguignons.
- transférée en profondeur:

En période de pluie, les sols perméables donc sableux ou caillouteux se rechargent mieux et plus vite en profondeur que les sols plus lourds. La même quantité d'eau sera plus efficacement stockée, et mise à l'abri de l'évaporation ou du ruissellement pour peu que la surface soit recouverte d'un mulch. Dans un sol lourd et peu perméable on a la succession suivante d'évènements: saturation des horizons superficiels puis ruissellement latéral ou pire liquéfaction et glissement/érosion du sol même sur des pentes faibles.

Attention : Au delà d'un certain cumul pluviométrique les phénomènes de lessivages latéraux des fertilisants, ou pire des désherbants, vont se mettre en œuvre. L'allure des profils hydriques peut donc aussi mettre en garde contre ces risques.

Quand on sait que les pertes entre pluviométrie et eau infiltrée peuvent atteindre 70% dans les cas les plus défavorables, il convient de nuancer les raisonnements:

Un sol de pente à forte réserve théorique (argile bien structurée par exemple) peut très bien, s'il est limoneux et acide en surface donc battant, se recharger bien moins correctement qu'un sol de plus faible réserve, couvert d'un masque caillouteux.

A l'extrême, des sols de pentes profonds et lourds mais à couverture sableuse (sols lessivés acides ou bien sols complexes) peuvent se gorger d'eau en surface lors de forte pluie, perdre toute cohésion (le point de 'liquidité' du sol est plus vite atteint que pour des sols argileux dès la surface, car il suffit de 20 à 30mm de pluie) et l'horizon sableux aura tendance à être érodé et à s'accumuler dans les bas de pentes, dégageant dans les pentes les horizons argileux "tronqués".

- puis consommée (voir §.3.2.2. page suivante).
- **la force avec laquelle cette eau est retenue** par les pores fins du sol
- **l'importance des flux (entrants ou sortants)** autres que la pluviométrie, car le sol n'est pas un bloc isolé de quelques mètres cubes:
 - remontées par capillarité verticale,
 - circulations latérales en provenance des pentes.
 - pertes par ruissellement, évaporation rapide, enherbement...

3.2.2. GESTION DE L'EAU DU SOL

La **taille** du réservoir est donc très fortement liée (quasi-proportionnalité) à la teneur en cailloux et la profondeur utilisée par les racines. Mais son remplissage est fonction des *millésimes* et de sa perméabilité de surface et de profondeur.

La **gestion** de ce réservoir est un autre problème. On a vu qu'il pouvait se remplir très différemment. Il faut insister maintenant sur le fait qu'en dessous d'un certain niveau de remplissage, la plupart des plantes ne peuvent plus extraire l'eau du sol. Ce niveau est appelé le "point de flétrissement permanent".

A l'approche de ce "point de flétrissement", le **débit** sol → racine décroît et la **force de succion** nécessaire pour extraire l'eau du sol augmente. La plante doit se "concentrer", ses feuilles deviennent plus rigides, les stomates se ferment, tout cela se mesurant relativement bien depuis quelques années par les suivis de potentiel hydrique de base (feuilles ou pétioles).

Les plantes ligneuses à enracinement profond consomment d'abord l'eau faiblement retenue de surface, puis de profondeur, puis puisent dans des réserves de plus en plus difficiles à extraire en surface puis en profondeur. Les horizons de surface passent assez vite au dessous du seuil de flétrissement car l'évaporation directe (vent, air) concerne toute la fraction hydrique et pas seulement la fraction utile pour les plantes. Avec le temps l'humidité des différents horizons du sol se rééquilibre par le jeu des transferts capillaires des horizons humides vers les horizons desséchés. Un horizon profond humide mais sans racines peut ainsi être indirectement utile.

Un sol argileux "sec" pour la plupart des plantes (autres que la vigne), c'est-à-dire un sol arrivé à son "point de flétrissement" contient en fait encore de 20 à 25% d'eau. Les robinets virtuels seraient situés assez hauts sur le réservoir théorique et se ferment très progressivement.

Un sol sableux "sec" pour les plantes ne contient plus que 2-3% d'humidité. (les robinets virtuels seraient situés très bas sur le réservoir qui peut donc se vider presque totalement). Ils passent par ailleurs de l'état "ouvert" à l'état "fermé" sans intermédiaire dans les sols de sable pur.

On notera aussi que:

- les surfaces d'échanges sont exponentiellement liées à la finesse de la structuration visible:
 - Un sol bien structuré possède un nombre de 'robinets' élevé, ce qui lui permet des réactions à la fois plus rapides et plus régulières, sans à-coups. A l'inverse certains sols argileux se débitent en gros prismes très compacts dans lesquels les racines ne pénètrent pas. L'appareil racinaire prend l'allure d'un feutrage de fins chevelus plaqués sur les faces extérieures des prismes. D'autres sols, pourtant aussi argileux, se fragmentent naturellement en micro-polyèdres de 1 à 3mm et resteront alors bien drainants. Ils développent des surfaces de contact bien supérieures, les densités racinaires sont plus élevées, avec des racines rares mais plus grosses (car elles ne s'asphyxient pas) qui sont plus lignifiées.

- le rayon efficace de transferts par capillarité varie de quelques mm à plusieurs décimètres (effet de mèche des racines en période de dessèchement, maximal dans les sols limoneux, moyen dans les sols fins limono-argileux non compacts, très faible dans les sables surtout grossiers):
 - les débits du sol vers les racines ou des zones humides du sol vers les zones sèches varient de 0 à plusieurs mm par jour: Importants dans les sols limoneux et sables fins humides, faibles dans les sols argileux, presque inexistant dans les sables grossiers.
 - Dans un sol argileux structuré, l'eau circule lentement mais régulièrement depuis les zones les plus humides du sol vers les zones les plus sèches, asséchées par les racines ou l'évaporation de surface (l'eau "circule" sous forme de minces films d'eau continus autour et dans des agrégats de terre, pas seulement du haut vers le bas, mais dans toutes les directions).
 - Cette diffusion lente peut se faire au sein des grosses mottes (de l'intérieur de la motte compacte vers l'extérieur de la motte et les fissures empruntées par les racines). Elle se fait aussi des horizons profonds humides vers les horizons moyens. (plus d'un mètre dans les sols limono-argileux). Le débit est faible mais constant et durable. Insuffisant dans le cas de journées sèches, chaudes et ventées, il suffit à rétablir une bonne turgescence après une bonne nuit de récupération.
 - Les très gros prismes compacts et fermés des marnes brutes et des argiles dégradées ont un comportement encore plus extrême.
 - Au contraire les pores trop gros des sols sableux grossiers ne permettent pas d'assurer un débit suffisant lors du dessèchement. Quand les films d'eau sont rompus (à la suite d'une forte consommation en journée chaude et ventée par exemple) ils ne peuvent se reformer et l'eau ne circule plus de l'humide vers le sec. (C'est le même effet mais favorable cette fois, qui est recherché par le binage ou par le mulching de surface (végétal ou minéral) qui empêche l'évaporation par la surface en rompant la continuité des pores capillaires qui débouchent vers l'atmosphère).

La qualité des argiles influe nettement sur la qualité de la structuration spontanée: des argiles à forte CEC (voir analyses de terres donneront des sols mieux structurés (alternance de gonflement / retrait de plus forte amplitude). Parfois, ils se dessècheront très profondément (sols où l'on "perd son couteau") si on ne les bine ou les mulche pas.

La présence de cailloux et surtout de graviers améliore souvent la structuration des sols argileux en multipliant les plans de fissuration et de décollement, sauf dans les sols très acides et trop longtemps humides, où les argiles dégradées ne se rétractent pas assez et ne peuvent se décoller des cailloux. Un drainage est donc toujours un moyen de récupérer un plus grand volume de sol utile.

La question est de savoir s'il est utile de récupérer un gros volume ou si justement la limitation naturelle de l'enracinement n'est pas un facteur favorable à la qualité dans certains 'gros sols'.

D'une façon générale, l'acidité et le manque de matière organique conduisent à dégrader la structure du sol, le rendant battant s'il est limoneux et compact et asphyxiant s'il est argileux. Il est rare de voir des sols acides et argileux qui soient bien drainés alors que cela est très possible pour des sols argileux calcaires ou saturés en calcium (calciques). On voit très bien cette différence entre les sols 7536 rouges et souvent sains et les 7166.2 acides, décolorés en gris et orangés par exemple.

En ce qui concerne l'appareil racinaire et ses adaptations aux différentes structures, on constate que les styles d'exploration très différents peuvent être interprétés comme une adaptation combinée entre les besoins et les possibles:

- les sols de faible réserve, mais bien aérés possèdent toujours un enracinement

vieillissant bien, pérenne et très bien réparti, très abondant. Cette abondance de matériel ligneux en profondeur transforme profondément le sol (un peu comme cela se passe sous forêt). Il constitue un stock de carbone (et de matières organiques) important.

- les sols de forte réserve et peu ou pas rédoxiques montrent peu de racines, verticales, lisses de taille moyenne, peu divisées.

Il est probable que certains porte-greffes ‘résistants à la sécheresse’, s’ils explorent peut-être un plus grand volume de sol en plongeant et en se divisant plus intensément que d’autres ce qui ne se voit pas de façon évidente dans les profils, arrivent à dépasser le point de flétrissement pour une même architecture racinaire.

Enfin il faut évoquer le cas un peu différent, celui des sols où il y a de l’eau, mais où son extraction se fait mal ou pas du tout :

- pour les sols rédoxiques:

En fin de période hiver/printemps très pluvieuse, certains sols argileux ou compactés, sont saturés et rendus à peu près imperméables par le gonflement des argiles qu’ils contiennent. Le drainage de l’eau en excès s’arrête, l’eau occupe l’espace normalement occupé par l’air et l’asphyxie commence. Si elle se prolonge plus de deux ou trois mois en période de reprise de végétation (dès que la température du sol dépasse 10°), les racines fonctionnent mal puis s’abîment puis meurent.

Ce sont les jeunes radicules qui doivent reconquérir le terrain perdu chaque année (elles repassent souvent dans les mêmes tubes façonnés par les vers ou les vieilles racines) Ceci peut modifier considérablement le volume du bulbe racinaire utile (en cycles climatiques secs on observe un approfondissement du volume exploré/en cycle humide = diminution du volume exploré) C’est ce qui crée des effets à retardement: une année sèche est plus mal supportée après une année très humide qu’après une autre année sèche par exemple.

3.2.3. PEUT ON MODIFIER LA TAILLE DU RESERVOIR ET SON ACCESSIBILITE

Nous ne traitons pas seuls normalement de cet aspect des choses, puisqu’il relève des techniciens de chambres d’agriculture et/ou de syndicat. Tout ce qui suit devra donc être discuté avec eux

L’augmenter ? :

Oui, en corrigeant éventuellement ce qui le limite exagérément, s’il est avéré que le stress est réellement trop intense et précoce statistiquement plus d’une année sur 3 par exemple et après avoir identifié la nature de la limitation et choisi un porte greffe bien adapté.

Ripage des bancs rocheux de profondeur, décompactage des marnes brutes, et , paradoxalement drainage des sols argileux et compacts. (mais attention, augmenter le volume assaini peut très vite conduire à vite exagérer la disponibilité en eau dans les sols argileux).

Amélioration de la macroporosité de surface, et augmentation du taux de matière organique.

Dans tous les cas il faut assurer un mulch empêchant l’évaporation trop rapide (pierres, broyats, travail superficiel)

Le recours à des épandages de jeunes rameaux broyés (Technique des BRF) nous semble une voie naturelle, qui permet au moins pour des sols bien drainants:

- de restituer les sarments broyés (de moins de 2 ans)
- de valoriser l’entretien des haies boisées (aspect paysager)
- d’assurer l’utilisation des débroussaillages des espaces naturels boisés environnants qui

ne devraient jamais être brûlés.

Il semble que l'amélioration, voire la restauration des sols ainsi gérés aille bien au delà d'un simple apport d'amendement humifère et relance réellement la dynamique biologique des sols en lui redonnant une nouvelle jeunesse.

Quelques études sont en cours, qui pourront donner des pistes aux plus curieux des vignerons. Le problème de cette pratique reste évidemment la source en jeune rameaux.

Nous pouvons confirmer au travers de nombreux témoignages recueillis en toutes régions, que le seul retour des sarments broyés et leur rapide décomposition coïncide toujours avec une sensible amélioration des sols viticoles, sans augmentation des pathologies redoutées.

Le diminuer ?

Diminuer directement un réservoir trop généreux ne pourrait se faire qu'en dégradant les propriétés du sol, ce que nous ne pouvons évidemment pas conseiller !

On interviendra indirectement en multipliant des concurrences (enherbement), en choisissant des porte greffe très faibles (Riparia), voire un peu gaspilleurs, en augmentant la surface foliaire de chaque plant.

3.2.4. CONCLUSION SUR LE VOLET HYDRIQUE

Les multiples substances composantes de la qualité finale du vin ne sont pas parfaitement connues, loin de là, mais on peut imaginer qu'elles ne sont pas toutes synthétisées en même temps, ni au même rythme, au cours du cycle de la vigne. La littérature scientifique et les sites Internet sur le sujet se multiplient d'ailleurs énormément depuis 2 ou 3 ans.

Si les influences dues aux autres composantes du terroir, (y compris la conduite et la charge) dominent parfois sur les nuances strictement liées aux sols, des corrélations commencent à être bien établies entre le 'vécu hydrique' lié à chaque couple sol/millésime et l'abondance de certains composés dans la baie puis le vin

Il est clair que quand il n'y a durablement plus d'eau, rien ne fonctionne, la plante va se mettre en mode de survie (chute des feuilles) et la maturation ne pourra se faire.

Extraire une eau rare et fortement retenue par le sol nécessite une forte élévation de la concentration des liquides cellulaires et intercellulaires de la plante. On conçoit que les composants du raisin élaborés dans ces conditions ne soient pas de mêmes nature ni en même quantité que lorsque l'eau reste facilement accessible longtemps dans la saison.

NB: Indirectement, l'assèchement du sol a aussi des conséquences sur le microclimat (aération et température du sol), souvent favorables à la qualité.

Allongement vers la profondeur et vieillissement racinaire ont un effet un peu similaire, puisqu'il faudra plus d'énergie pour remonter de l'eau de 2 mètres, avec des racines vieilles en partie obturées et très tortueuses (sols très caillouteux par exemple). Certains calcaires, marno-calcaires ou grès calcaires en plaques peuvent également constituer un milieu contraignant mais non stressant. On a vu l'enracinement particulier, faible mais bien présent dans les marnes brutes.

Comme nous le signalions précédemment, certains sols profonds mais très argileux et compacts sont très mal enracinés à partir de 60-80cm et il serait intéressant de suivre l'évolution de la contrainte hydrique dans de telles conditions, tout autant que dans les saprolites, dont nous déjà avons longuement parlé.

Cépages, clones et porte greffes ont des capacités génétiques différentes à extraire l'eau du sol très fortement retenue. Certains porte-greffes 'gaspillent' l'eau, d'autres la gèrent au mieux.

L'enherbement est un puissant levier pour utiliser un réservoir un peu trop confortable, mais il faut surveiller l'alimentation azotée qui ne doit pas être carencée pour les cépages blancs. Toutes ces considérations doivent évidemment être validées par les techniciens départementaux

Les sols ne sont pas simplement argileux ou sableux, profonds ou non, caillouteux ou non. Le paysage pédologique bien réel mais invisible pour les yeux est une mosaïque de sols qui passent progressivement des uns aux autres. Ils sont drapés sur un relief qui va nuancer les expositions, la pénétration et la circulation interne de l'eau vers les bas de pentes, accentuer ou au contraire atténuer les caractères internes de chaque sol. Chaque parcelle donne bien souvent par elle-même un assemblage naturel de produits.

L'interprétation de ces données reste donc un art, qui laisse une large part à l'intuition et à la connaissance profonde des vignerons et des techniciens attachés à chaque secteur. Sur le plan de la stricte préservation du capital qu'est le sol, cette connaissance est aussi cruciale.

3.3. GÉNÉRALITÉS SUR L'HYDROMORPHIE ET L'HYDROLOGIE

Les sols hydromorphes présentent des caractères attribuables à un excès d'eau. Il convient d'en estimer l'origine, la profondeur d'apparition et la durée, pour juger de ses effets néfastes par rapport à une activité humaine en général, et à la viticulture en particulier.

La plupart du temps les excès d'eau ou leurs marques, bariolages, concrétions, sont redoutés en production de vins rouges.

Les discussions sont souvent plus complexes pour les vins blancs.

Mais en ouvrant des profils on découvre bien des signes d'hydromorphie, même dans de prestigieux vignobles, qu'ils soient producteurs de rouge ou de blanc.

Certains effets liés à 'hydromorphie, asphyxie, réduction du fer, mauvaise décomposition de la matière organique, peuvent avoir des conséquences directes sur le goût du vin. Mais il y a aussi de nombreux effets indirects, en particulier sur l'accès aux parcelles (rapidité des traitements) et sur le microclimat du sol (se réchauffant mal) ou de la vigne (maladies cryptogamiques), mauvaise assimilation minérale (jaunisse au printemps).

Un excès d'eau peut correspondre à une situation de réserve hydrique illimitée (nappe phréatique permanente -eau libre dans un profil) ou détériorer considérablement l'enracinement de moyenne profondeur, qui deviendra alors très insuffisant les millésimes très secs, ou tout simplement juste suffisant pour les millésimes normaux.

Il ne faut donc pas tout mélanger et, encore une fois, de nombreuses études restent à mener.

3.3.1. LES ORIGINES DES EXCES D'EAU

L'excès d'eau dans les sols peut avoir des origines variées, liées à des conditions propres au sol, extérieures à lui, ou le plus souvent les deux combinées:

- × Porosité très faible ou nulle d'horizons de profondeur, en particulier dans des horizons argileux gonflés en fin d'hiver.
- × Les nappes perchées d'eau stagnante en position de plateau-replat sur plancher imperméable (horizon de sol très argileux, marne brute, terrasses anciennes, plus rarement roche dure non ou peu fracturée).
- × Les résurgences de nappes souterraines qui créent des mouillères ou des sources locales dans les pentes, accentuant le caractère chlorosant des sols très calcaires, ou leur propension à glisser.
- × Les nappes alluviales en relation avec un ruisseau ou une rivière qui se développent en position basse de plaine.
- × Ces deux derniers cas peuvent se produire même pour des sols qui seraient suffisamment drainants par eux-mêmes.

3.3.2. LES MARQUEURS VISIBLES

Les changements d'état d'oxydation du fer et par voie de conséquence ses redistributions en taches de couleurs différentes sont de très bons indicateurs du type d'excès d'eau (voir figure 15). Toutes les mesures de terrain par indicateurs colorés, électrodes, potentiel rédox, ou autres sont très changeantes selon les volumes de sols étudiés et peu stables, comme l'ont confirmé les meilleurs spécialistes (Legros- Favrot). Cela justifie la création de classes empiriques sur la base de la couleur et de l'abondance des taches observées, en connaissant bien les cas particulier et les limites d'interprétations.



Photo 1 : Marques d'hydromorphie

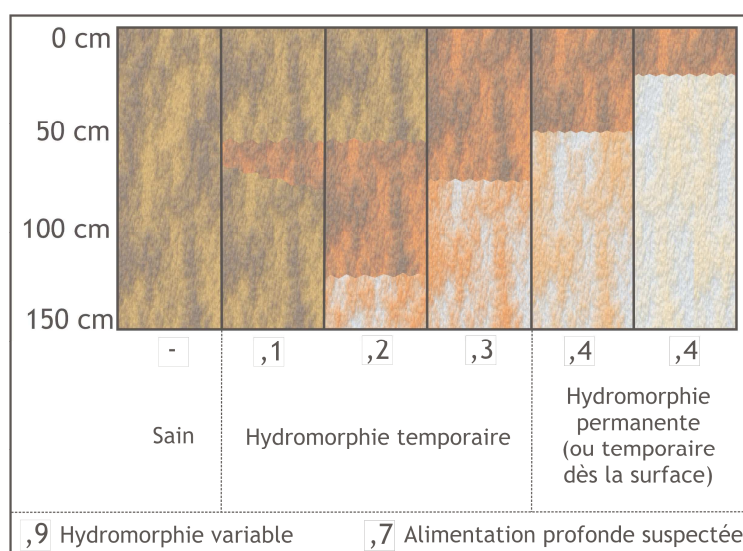


Figure 3: les types d'excès d'eau des sols hydromorphes

Si l'engorgement est temporaire, l'oxydation du fer en Fe^{+++} se marque par la présence de taches rouilles. Sous cette forme, il est immobilisé.

Il est important de remarquer qu'en milieu très calcaire on n'observe pratiquement jamais de traces blanchies ou très décolorées, et très peu de concentration métalliques car le fer reste beaucoup plus longtemps sous forme oxydée ferrique stable à un pH élevé. Seuls les sols des dépressions durablement humides en été (non viticoles) vont montrer de nettes décolorations. Voilà pourquoi les sols pourtant peu drainants de marnes de pentes ou bas de pentes sont moins nettement marqués.

Il n'en est pas de même dès que le pH est neutre ou acide (terrasses anciennes et granites/gneiss) où pellicules noires d'oxydes métalliques autour des cailloux, horizons bariolés gris/rouilles contrastés, et blanchiment peuvent se produire même en coteaux, encore plus en situation de plateau-replat et systématiquement dans les bas-fonds.

Plus l'engorgement est durable, plus la couleur **bleuâtre** ou **grisâtre** du fer réduit en Fe^{++} domine. Le phénomène commence souvent autour des racines qui consomment l'oxygène déjà rare (voir photo 1). Le fer sous cette forme devient mobile et peut migrer dans le sol, pour s'accumuler en pellicules ou en nodules noirs, laissant des zones ou des traînées grises et décolorées.

L'intensité et la durée de l'engorgement sont très variables. Il est possible de distinguer 5 ou 6 catégories de sols hydromorphes par l'observation des états du fer. Rappelons qu'excès

d'eau n'est pas toujours synonyme de forte alimentation hydrique: c'est de l'eau qui occupe une porosité qui devrait être occupée par l'air. A l'inverse des sols à très bon réservoir hydriques ne sont pas forcément hydromorphe ou 'à excès d'eau'.

Toutes les traces bleues ou grises ou même rouille ne sont pas des signes d'excès d'eau: certaines roches, en particulier les marnes sont souvent naturellement grises, bleutées (héritage "lithochrome"). Certaines argiles résiduelles sont très ferrugineuses et ont connu des périodes d'engorgement, expliquant des revêtements rouille ou noirs dont le sol actuel va hériter, même en situation pentue. Il est difficile de trancher à la simple vue de sondages tarière : seul l'aspect des racines peut confirmer une asphyxie durable.

- Hydromorphie de type ,1:

Excès d'eau très temporaire ou à profondeur supérieure à 80cm. Taches discrètes vers 80cm , plus nettes au-delà.

- Hydromorphie de type ,2:

Excès d'eau temporaire en profondeur trahi par des taches discrètes dès 50-60cm, plus contrastées au delà. Présence d'une nappe printanière plus durable qui induit une ambiance fraîche et même humide des sols par capillarité jusqu'en milieu d'été. Il se crée une atmosphère humide sur les parcelles au printemps, qui s'accompagne souvent d'un ressuyage très lent après les pluies. La programmation des travaux du sol, des interventions phytosanitaires devient plus difficile et moins réactive. Ce type d'excès d'eau peut asphyxier les racines de profondeur les années humides, et être à l'origine de perturbations des vignes selon les enchaînements de millésimes (secs/humides).

- Hydromorphie de type ,3:

Excès d'eau temporaire à faible profondeur. Les taches rouilles et grises apparaissent et sont nettes avant 50cm. Présence de nappe temporaire proche de la surface, qui perdure assez longtemps en profondeur. Les sols sont constamment humides, ce qui limite leur réchauffement et asphyxie fortement les racines dès 50 cm de profondeur. Le microclimat humide persiste jusqu'aux vendanges et les vignes présentent de fortes variations de vigueur selon les enchaînements de millésimes, présentant paradoxalement des signes de stress hydrique les années sèches succédant à des années humides (le manque de racines de profondeur explique parfaitement ce fait).

Les zones des types ,2 et ,3 sont souvent drainées

- Hydromorphie de type ,4:

Excès d'eau permanent à moins de 1,20m de profondeur et temporaire dès la surface. Non représenté dans le vignoble de Pouilly Fuissé.

NOMS DES SOLS

Une mise en ligne du glossaire de pédologie de l'INRA existe ('Référentiel Pédologique RP95').

<http://138.102.82.2/cours/science-du-sol/glossaire-de-pedologie>

QUELQUES REFERENCES DE SOLS

Les références s'écrivent toujours en majuscules

ARENOSOLS : sols profonds de texture sableuse (- de 12% d'argile +de 65% de sables totaux).
CALCOSOLS : sols moyennement profonds à profonds contenant du carbonate de calcium (calcaire total >5%) et faisant effervescence = sols bruns calcaires issus de ...
CALCISOLS : sols calciques (sans calcaire total, mais saturés de calcium).
COLLUVIOSOLS : sols profonds de bas de pentes issus de colluvions.
FERSIALSOLS : sols à horizon rouge (sol rouge méditerranéen, anciens sols fersiallitiques).
FLUVIOSOLS : sols profonds issus d'alluvions récentes.
PEYROSOLS : sols contenant plus de 60% de cailloux ou pierres.
PELOSOLS : sols profonds non calcaires extrêmement argileux (géologie), non lessivés.
LUVISOLS : sols acides à horizon d'accumulation d'argile (anciens sols lessivés ...), taux d'argile profondeur/surface >1.8 - adj : luvisque. Pseudoluvisols : qui ressemblent à des luvisols
NEOLUVISOLS : début du passage au luvisol, accumulation d'argile moins nette, taux d'argile surf/prof >1.3 - adj : néoluvique.
RANKOSOL : sols minces acides sur roche plutonique dure, sans horizon Bt d'accumulation d'argile.
RENDOSOLS : sols carbonatés très minces sur roche calcaire P<40cm.
REGOSOLS : sols très minces sur roches tendres (marnes brute, sable calcaire brut).

QUELQUES NOMS D'HORIZONS

Ajoutés à la référence, ils permettent de passer au niveau du type de sol.

Calcaire : faisant effervescence à froid, donc calcaire (plus de 5% de calcaire total).
Calcique : ne fait pas effervescence à froid, donc moins de 5% de calcaire total, mais saturé donc pH neutre ou basique.
Calcarique : accumulation de calcaire secondaire (revêtements, nodules, amas, pseudomycéliums).
Calcarique Continu : encroûtements continus non indurés (pénétrables).
Péto-Calcarique : accumulation calcaire continue et indurée, croûte.
Eluvial : horizon de surface appauvri en argile et en fer.
Illuvial : horizon d'accumulation.
Argilluvial : enrichi en argile (venue du haut ou formée dans l'horizon même)
Pierrique : taux de pierre supérieur à 40%.
Cailloutique : taux de cailloux supérieur à 40%.
Rédoxique : plages et traînées grises et taches rouilles enrichies en fer - mauvais drainage temporaire ou de profondeur.
Réductique : couleur uniformément bleuâtre ou grisâtre- mauvais drainage généralisé.

LEXIQUE

Acide:	Caractéristique chimique d'un sol dont le pH eau est inférieur à 6,5 (contraire = basique).
Activité biologique :	Traces de vie des animaux qui se trouvent dans un sol. Exemple: trous de vers de terre.
Agrégat :	Désigne un petit fragment de terre (motte).
Altération-Altérite :	Transformation progressive physique et chimique d'une roche en résidu (altérite). S'il n'y a pas de déplacement ni de perte de volume on peut parler d'isaltérite ou de saprolite .
Argile :	Particule très fine <0.002 mm souvent feuilletée. Les argiles présentent des propriétés très différentes selon leur nature minéralogique et l'acidité du sol. Voir §2.2.2
Argillification :	Accumulation relative d'argile dans les horizons profonds d'un sol (Horizon Bt).
Argillane :	Revêtement argileux sur les faces des éléments de la structure.
Bioclastique :	Dit d'une roche sédimentaire (un calcaire par exemple) qui est formée en grande partie par des débris d'organismes (fragments de fossiles).
Calcaire :	Type de roche OU carbonate de calcium OU adjectif de type de sol (voir §2.2.4).
CEC :	Capacité d'échange cationique : mesure de l'aptitude des sols à retenir les cations (potassium, magnésium, calcium...) dépend des argiles et de la Matière Organique, voir § 3.1.3.
Chaille:	Accident siliceux dans des calcaires marins, de couleur beige à brune en périphérie et cassure mate non translucide, parfois poreux et allégé après altération à l'air.
Concrétions :	Accumulations minérales ou métalliques (calcaire, fer) autour d'un noyau ("plombs de chasse") ou sur une surface (revêtements).
Conglomérat :	Roche dure formée de graviers et cailloux roulés ou non, cimentés (par du calcaire ou de la silice).
Colluvions :	Accumulation de matériaux au bas des pentes par gravité et ruissellement.
Cuesta :	Terme géographique, désignant une côte bien marquée dans le paysage.
Décarbonatation :	Perte progressive du calcaire total (donc actif a fortiori) de la terre fine.
Déferriifiée :	Évolution d'une argile qui perd son fer (= milieu acide et/ou très engorgé.).
Détritique :	Formation résultant de la désagrégation de roches (débris issus de l'érosion d'un continent).
Discordance :	Discontinuité entre un substratum ancien, plissé ou basculé antérieurement puis érodé et un ensemble de strates sédimentaires plus récentes.
Doline :	Dépression fermée, formée dans les calcaires durs.
Dolomie :	Roche sédimentaire carbonatée contenant du Magnésium, non effervescente à froid à HCl, donnant parfois des reliefs ruiniformes.
Effervescence :	Réaction à l'acide. S'il y a effervescence le sol est calcaire. Sinon il est acide ou neutre.
Encroûtement calcaire :	Niveau induré lié à des reprécipitations de carbonates de calcium.
Erosion :	Processus chimiques (altération, dissolution), physiques ou mécaniques (désagrégation) qui enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief.
Evaporite :	Dépôt formé en milieu lagunaire peu profond et soumis à une intense évaporation (au cours du Trias supérieur pour les régions alpines). Ce sont par exemple du gypse, anhydrite et sel gemme.
Faces :	Surface extérieure d'une motte de terre (côtés).
Faciès :	Caractéristiques d'une roche.
Faille :	Cassure d'une roche.

Familles pédogéologiques

C'est un regroupement de plusieurs " séries de sols " apparentées qui ont en commun un même héritage géologique et globalement le même type de pédogenèse. En conséquence, des différences dans la succession ou les épaisseurs d'horizons ou bien la troncature plus ou moins importante des solums ou encore le degré de décarbonatation ont relativement peu d'importance en matière de pédogéochimie.

Fond pédogéochimique (naturel) local

C'est la concentration naturelle d'un élément ou d'une substance dans un horizon de sol, résultant uniquement de l'évolution géologique et pédologique, en absence de tout apport lié aux activités humaines. Étant donné cette définition, l'adjectif " naturel " est redondant mais il permet d'insister sur le caractère naturel de cette concentration. D'un point à un autre, ce fond pédogéochimique naturel peut varier très largement en fonction de la roche-mère (héritage), du type de sol et de l'horizon considéré.

Il résulte de cette définition que les concentrations mesurées aujourd'hui dans les horizons de surface des sols cultivés ne correspondent plus au fond pédogéochimique (naturel) local mais ont été plus ou moins augmentées par divers apports agricoles usuels tels que fumiers, engrais, chaulages, etc.

Ferro-Manganique : Élément noir ou brun constitué de fer et de manganèse. Le fer et le manganèse se déposent ensemble quand le sol est sujet à un excès d'eau prolongé = " plombs de chasse " ou revêtements (Peuvent être dus à des engorgements passés). Abrév. : Femn

Ferrugineux : Contenant du fer.

Fersiallitique : Se dit d'un sol de couleur rouge où les argiles sont liées au fer ferrique. Ils ont une structure micro-polyédrique (agrégats de taille mm).

Fond pédogéochimique (naturel) local : C'est la concentration naturelle d'un élément ou d'une substance dans un horizon de sol, résultant uniquement de l'évolution géologique et pédologique, en absence de tout apport lié aux activités humaines. Étant donné cette définition, l'adjectif " naturel " est redondant mais il permet d'insister sur le caractère naturel de cette concentration. D'un point à un autre, ce fond pédogéochimique naturel peut varier très largement en fonction de la roche-mère (héritage), du type de sol et de l'horizon considéré.

Il résulte de cette définition que les concentrations mesurées aujourd'hui dans les horizons de surface des sols cultivés ne correspondent plus au fond pédogéochimique (naturel) local mais ont été plus ou moins augmentées par divers apports agricoles usuels tels que fumiers, engrais, chaulages, etc.

Gley : Horizon de couleur généralisée gris bleu vert indiquant un engorgement permanent.

Granite : Roche d'origine magmatique plutonique (cristallisation en profondeur), formée essentiellement de quartz, de feldspaths, de plagioclases et bien souvent de micas.

Gneiss : Roche métamorphique très commune, de grain moyen ou grossier, de composition proche d'un granite et disposée en lits sombres (minéraux ferromagnésiens) et clairs (quartz et feldspaths)

Grès : Roche sédimentaire dure formée de grains cimentés (calcaire ou non). Dans le midi de la France, ce mot est employé pour des cailloutis (gresses ou grèzes)

Hercynien : (syn. Varisque) Cycle orogénique, formation d'une importante chaîne de montagnes en Europe et en Amérique du Nord au cours de l'ère primaire.

Humus : Fraction du sol provenant de la décomposition de la matière organique.

Horizon : Couche de sol sensiblement homogène, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs décimètres. L'horizon est défini par sa structure (existence, formes, dimensions des agrégats), sa granulométrie, son taux de calcaire, sa couleur, par l'abondance et la nature des éléments

grossiers, etc. Chaque horizon diffère de manière notable de l'horizon immédiatement situé au-dessus ou au-dessous de lui. L'horizon est l'unité d'échantillonnage en pédologie. La plupart des sols doivent être décrits comme des superpositions de 2, 3, 4 horizons (ou plus) dont les caractères et les propriétés sont différents.

Solum

La meilleure façon d'étudier les sols consiste à creuser des fosses de dimensions suffisantes à des emplacements sélectionnés. Le solum est le volume réel effectivement observé dans une fosse, appréhendé à la main ou au couteau, éventuellement décrit et échantillonné. Ce mot devrait remplacer l'ancien terme de "profil".

Série de sols

C'est un type de sol existant localement, développé sur une formation géologique précise, et parfaitement caractérisé, aussi bien en ce qui concerne la morphologie du solum (structure, couleur, éléments grossiers, succession et épaisseur des horizons) qu'au plan analytique (granulométrie, pH, CEC, carbone, calcaire, fer, etc.).

Hydromorphe:	Se dit d'un sol soumis à un excès d'eau permanent ou temporaire (hydromorphie).
Illite :	Argile de taille moyenne, proche du mica. C'est la plus répandue.
Kaolinite :	Argile de petite taille, peu gonflante, assez répandue.
Karst :	Paysage typique des régions calcaires (dolines, vallées sèches, gouffres, rivières souterraines).
Karstique :	En profondeur, réseau de cavités et galeries souterraines creusées par dissolution des roches encaissantes (calcaires, gypses).
Lamellaire :	Feuilleté.
Lessivé :	Se dit d'un sol acide dont les argiles migrent vers le bas. L'horizon supérieur devient plus clair et sableux.
Limon :	Particule pleine de taille moyenne 0.002mm (2μ) à 0.05mm. Les limons ont tendance à être battants.
Lité - litage:	Déposé en lits superposés.
Lithologie:	Nature des roches.
Marne :	Roche meuble, mélange d'argile et de calcaire.
Matériau parental :	Matériau géologique ou formation superficielle (ancien sol) à partir duquel le sol actuel s'est formé (idem Roche-mère)
Matière organique :	Substance provenant de débris végétaux ou animaux.
Métamorphisme :	Transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression.
Mica :	Minéral brillant, se débitant en lamelles.
Minéralisation	Transformation de la matière organique en nutriments simples assimilables par la plante.
Nappe alluviale :	Nappe d'eau libre plus ou moins profonde en relation avec une rivière.
Nappe perchée :	Nappe d'eau temporaire au dessus d'un niveau peu ou pas perméable.
Oxydation (taches) :	Taches rouille, formées par réaction chimique entre le fer et l'oxygène. (Contraire : réduction, taches grises).
Pendage :	Inclinaison des strates et couches rocheuses ou même d'une faille par rapport à l'horizontale.
Pierrosité :	Quantité de cailloux mélangés à la terre fine.
PH	Mesure indiquant le degré d'acidité du sol.
Polyédrique	Structure fragmentaire caractérisée par les agrégats à faces nombreuses et planes à arêtes anguleuses ou émoussées.
Pores	Espace vide du sol. (porosité = ensemble des vides).
Prisme (prismatique) :	Petite motte de terre de forme rectangulaire verticale.
Pseudogley :	Taches rouille, nombreuses indiquant un engorgement périodique.
Pseudomycélium :	Précipitation diffuse du calcaire en forme de taches de couleur blanchâtre formées de très fins filaments de calcite.
Quartz :	Minéral siliceux, très dur, translucide, incolore ou rosé.
Revêtement :	Pellicule d'argile ou de fer ou de matière organique ou mélange qui recouvre l'extérieur d'une petite motte de terre (polyèdre ou prisme).
Roche mère :	Matériau géologique ou formation superficielle (ancien sol) à partir

	duquel le sol actuel s'est formé. (idem matériau parental)
RU réserve utile :	Quantité d'eau qu'un sol peut potentiellement mettre à la disposition de la plante.
Rubéfaction :	Type d'évolution du sol qui le rend rouge par imprégnation de fer cristallisé sous forme d'oxyde. (hématite dominante).
Sable :	Particule pleine de grosse taille $> 0.05\text{mm}$ mais $< 2\text{mm}$. Il est utile de distinguer les sables fins ($< 0.2\text{ mm}$) et les sables grossiers pour les calculs de réserve hydrique.
Saccharoïde :	Aspect d'une roche ayant un grain analogue à celui du sucre cristallisé (aspect marbré).
Saprolite :	Roche altérée transformée non déplacée (idem isaltérite). Utile pour les matériaux cristallins, nous le préférons à 'Arène' qui évoque strictement un sable et peut être déplacée ce qui en change les propriétés.
Silex :	Roche siliceuse dure à grains très fins, à cassure lisse et bords coupants, disséminée à l'origine dans des couches calcaires. Après érosion, il ne reste souvent que ces rognons de silex plus résistants. Généralement orange-brune, parfois zonée (enveloppes concentriques claires et sombres).
Socle :	Substratum ancien, généralement métamorphisé ou granitisé, sur lequel repose les terrains sédimentaires (couverture).
Solifluxion :	Glissement de terrain assez lent, en masse boueuse gorgée d'eau, à partir d'une niche de décollement. Lorsqu'il se produit lors du dégel, ce phénomène pratiquement imperceptible, s'appelle gélifluxion.
Structure :	Mode d'assemblage d'un sol; Un sol bien structuré est composé de mottes de terre de forme irrégulière, ce sol n'a pas un aspect massif. Dépend de l'état d'humidité.
Substrat :	Formation située en dessous du sol (pas forcément la roche mère).
Talweg :	Ligne de fond d'un vallon ou d'une vallée, suivie par le cours d'eau quand il en existe un.
Texture :	Composition d'un sol selon les proportions de sable, limon et argile. Exemple: argilo-sableux, limono-argileux, sablo-limoneux, etc en référence à un triangle de texture donné. (GEPPA est le plus proche des perceptions de terrain).
Tectonique :	Terme désignant un ensemble de déformations (cassures plissements, etc.-.) affectant les terrains géologiques.
Topographie :	C'est le relief. La forme du terrain est représentée sur une carte par des lignes de même altitude (courbe de niveau). Une situation topographique est un type de relief bien reconnaissable ; exemple : cuvette, butte, versant, vallée, etc.
Toposéquence :	Chaîne de sols logiquement liée au relief.
Tufs volcaniques :	Roches formées par accumulation de projections volcaniques (cendres, fragments et blocs).
Vertique :	Se dit d'un sol composé d'argile très gonflante; dans ces argiles gonflantes les côtés de chaque motte de terre sont lisses et luisants. Les CEC sont très élevées.

BIBLIOGRAPHIE-liens

SOLS - PÉDOLOGIE

- [1] Soltner D., 2002 - **Les bases de la production végétale**. TOME 1 & 2. EDITIONS SCIENCES ET TECHNIQUES AGRICOLES.
- [2] Soltner D., 2002 - **Les Techniques Culturelles Simplifiées**. EDITIONS SCIENCES ET TECHNIQUES AGRICOLES.
- [3] Baize D., 1998 - **Guide des analyses courantes en pédologie**. INRA EDITIONS.
- [4] Baize D., Jabiol B., 1995 - **Guide pour la description des sols**. INRA EDITIONS.
- [5] Ouvrage collectif, 2008 - **Référentiel Pédologique**. INRA EDITIONS. (M.A.JOUR 2009)
- [6] Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W., 1998 - **Le Sol vivant**. PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES.
- [7] Stengel P., Gelin S., Coord., 1998 - **Sol Interface fragile**. INRA EDITIONS.
- [8] Duchaufour P., 1997 - **Abrégé de Pédologie**. MASSON.
- [9] Callot G., Chamayou H., Maertens C., Salsac L., 1982 - **Les interactions sol - racines**. INRA EDITIONS.
- [10] Stengel P., Bruckler L., Balesdent J. coord. 2009 - **Le Sol (état de l'art sur les travaux INRA)**. QUAE EDITIONS

GÉOLOGIE

- [11] BRGM, Cartes géologiques de la France au 1/1 000 000ème, au 1/250 000ème (Valence) et au 1/50 000ème (Tournon 1979).
- [12] Demarq G., 1973 - **Guides géologiques régionaux - Lyonnais Vallée du Rhône** MASSON.
- [13] Foucault A. & Raoult J.-F, 1995 - **Dictionnaire de géologie**. MASSON.
- [14] Campy M. & Macaire J.-J., 1989 - **Géologie des formations superficielles**. MASSON.

VITICULTURE

- [15] Champagnol F., 1984 - **Eléments de Physiologie de la vigne**. CHAMPAGNOL.
- [16] Reynier A., 2007 - **Manuel de Viticulture**. - EDITION TEC & DOC.

HISTOIRE DE LA TERRE, PAYSAGES, SOLS ET CIVILISATIONS (Ouvrages plus généraux)

- [18] Paccalet Y., 1991 - **La Terre et la Vie**. LAROUSSE.
- [19] Pigeat J.-P., 2000 - **Paysages de la vigne**. SOLAR.
- [20] Lahmar R., 1998 - **Des Sols et des Hommes** - ED CHARLES LEOPOLD MAYER & LIBRAIRIE FPH
- [21] Diamond J., 2003 - **Effondrement + De l'inégalité parmi les sociétés** GALLIMARD
- [22] Legros J.P., 2007 - **Les Grands Sols du Monde**. PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES.
- [23] Nahon D., 2008 - **L'épuisement de la Terre** - Odile Jacob
- [24] Ruellan A. & Coquet Y., 2010 - **Les sols du monde pourront-ils nourrir 9 milliards d'humains** - LE POMMIER - (NDLR : pour 5 euros un joli cadeau à (se) faire)
- [25] Ruellan A., 2011 - **Des sols et des hommes. Un lien menacé**. IRD EDITIONS

INTERNET s'enrichit de jour en jour, surtout depuis 3 ou 4 ans. Voici quelques exemples de liens qui aiguillent eux-mêmes vers d'innombrables sources de réflexion :

- 1- www.institut-rhodanien.com/
- 2- www.vignevin.com (IFV)
- 3- www.inra.fr/
- 4- www.afes.fr/ (Assoc. Française d'Etude des Sols)
- 5- www.montpellier.inra.fr/spo/
- 6- www.ecole.enitab.fr/people/kees.vanleeuwen/
- 7- <http://recherche.groupe-esa.com/index.php>
- 8- <http://138.102.82.2/cours/science-du-sol/glossaire-de-pedologie>
- 9- www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/sol.htm
- 10- www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm
- 11- www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/eau-sol.htm
- 12- www.u-picardie.fr/~beaucham/cours.qge/du-6.htm
- 13- www.agrocampus-rennes.fr/Appli_Saisie/1_Rubriquage/cours/sc_sol_2004-05/totalcours/chapitre1.html
- 14- <http://webpublic.ac-dijon.fr/pedago/svt/ressreg/verze/sommaire.htm>
- 15- <http://cerclerivedroite.com/keesvlregimehydrique.pdf>
- 16- www.itab.asso.fr/itab/viti.php
- 17- www.enitab.fr/recherche/ecophysiologie_vigne.asp
- 18- <http://www.universcience.tv/media/2059/superver.html>
- 19- <http://www.itv-midipyrenees.com/publications/fiches-pratiques/estimation-etat-hydrique.php>