
Etude géopédologique

PARTIE GÉNÉRALE

Géologie, méthodologie



Porteurs de projet :

Interprofession de la Vigne et du Vin du Valais
Avenue de la Gare 2 - CP 144
1964 Conthey
www.lesvinsduvalais.ch



Service Cantonal de l'Agriculture
Office de la viticulture
CP 437
1950 Châteauneuf-Sion
www.vs.ch



CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS

Réalisation :



Partenaires :



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Département fédéral de
l'économie DFE
Station de recherche
Agroscope Changins-Wädenswil ACW



TABLE DES MATIÈRES

A- PARTIE GÉNÉRALE	7
INTRODUCTION ET AVERTISSEMENTS	7
1 - METHODOLOGIE, PRINCIPES DE LECTURE DES CODES DE LA CARTE	9
1.1. METHODOLOGIE GÉNÉRALE	9
□ Etape 1 : Préparation et reconnaissance	9
□ Étapes 2, 3 et 4 : Acquisition et mise en ordre des observations	9
□ Étape 5 : Validation et corrections	9
□ Étapes 6 et 7 : Saisie, stockage et synthèse.....	9
1.2. PRINCIPES DE LECTURE DES DOCUMENTS	10
1.2.1. Principes de codification des unités de sols	10
1.2.1.1. <i>La géologie</i>	11
1.2.1.2. <i>L'évolution des sols</i>	12
1.2.1.3. <i>La profondeur d'enracinement</i>	12
1.2.1.4. <i>Les excès d'eau</i>	12
1.2.1.5. <i>Les variantes</i>	13
1.2.1.6. <i>Lecture des fiches de description des profils</i>	14
1.2.1.7. <i>Lecture des fiches d'unités de sols</i>	19
1.3. LIMITES DE REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE	20
1.4. CALENDRIER DES INTERVENTIONS	20
2 - PRÉSENTATION DE LA GÉOLOGIE DU VALAIS	23
2.1. LES GRANDES STRUCTURES	23
2.2. LES PRINCIPALES ROCHES MÈRES	28
2.2.1. L'ère primaire (Paléozoïque: -540 à -245 Ma)	28
2.2.2. L'ère secondaire (Mésozoïque: -245 à -65 Ma)	30
2.2.2.1. <i>Le Trias (-245 à -205 Ma)</i>	30
2.2.2.2. <i>Le Jurassique (-205 à -135 Ma)</i>	32
2.2.2.3. <i>Le Crétacé (-135 à -65 Ma)</i>	34
2.2.3. L'ère tertiaire (Cénozoïque: -65 à -2 Ma).....	35
2.2.4. Les formations quaternaires -2 Ma à hier).....	36
2.2.4.1. <i>Les dépôts liés au(x) passage(s) des glaciers</i>	36
2.2.4.2. <i>Les loess</i>	40
2.2.4.3. <i>Éboulements, tassements, glissements</i>	42
2.2.4.4. <i>Les éboulis et cônes de déjections</i>	44
2.2.4.5. <i>Les alluvions du Rhône</i>	47
2.2.4.6. <i>Les colluvions</i>	47
2.2.5. Les transformations historiques	48
2.2.6. L'irrigation actuelle et passée.....	51
2.3. INFLUENCE DE LA GÉOLOGIE SUR LES SOLS VALAISANS	52
2.3.1. Dix grandes familles de roche mères	52
2.3.2. Une relation CEC -Argile particulière	53
2.3.3. Des réservoirs hydriques très différents	54
3 - ELEMENTS DE PÉDOLOGIE	56
3.1. RAPPELS GÉNÉRAUX	56
3.2. NOTIONS IMPORTANTES	58
3.2.1. Texture - structure du sol.....	58
3.2.1. Les "argiles"	60
3.2.3. Les limons	61
3.2.4. Précisions sur des termes ambigus liés au calcaire	62

3.3.	<i>INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE SUR L'ÉVOLUTION DES SOLS</i>	64
3.4.	<i>LA RÉSERVE EN EAU - QUANTITÉ / "QUALITÉ"</i>	65
3.4.1.	Quantité d'eau stockée dans un sol	65
3.4.2.	Gestion de l'eau du sol	68
3.4.3.	Conclusion sur le volet hydrique.....	70
3.5.	<i>HYDROMORPHIE ET HYDROLOGIE</i>	71
3.5.1.	Les origines des excès d'eau	72
3.5.2.	Les marqueurs visibles.....	72
3.5.3.	Les classes utilisées et leurs conséquences agronomiques	73
3.6.	<i>CLEF POUR LES 9 REFERENCES DE SOLS UTILISES COURAMMENT</i>	74
4 -	RESULTATS ET SYNTHESSES	76
4.1.	<i>LES PROFILS</i>	76
4.2.	<i>LES CÉPAGES DES PARCELLES À PROFILS</i>	76
4.3.	<i>LES SURFACES : UNITES REGROUPEES</i>	79
4.4.	<i>QUELQUES CHIFFRES : LES ANALYSES DE TERRE</i>	83
4.4.1.	Analyses : comparaison entre les secteurs	83
4.4.2.	Analyses : comparaison entre les grandes unités	85
4.5.	<i>QUELQUES CHIFFRES : LES RESERVOIRS HYDRIQUES</i>	98
4.6.	<i>SYNTHESE</i>	100
5 -	ANNEXES	102
5.1.	<i>ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES</i>	102
5.2.	<i>MÉTHODE DE CALCUL DES RÉSERVES HYDRIQUES</i>	104
5.3.	<i>CALCAIRES, CHLOROSSES ET ENCROUTEMENTS</i>	110
5.3.1.	Chloroses et jaunissements	110
5.3.2.	Les accumulations calcaires autour des racines et/ou des cailloux	112
5.3.3.	Autres effets indirects possibles	112
5.3.4.	Zones sèches / zones humides : deux chloroses différentes	113
5.3.5.	Indépendamment du milieu : la chlorose physiologique	114
5.3.6.	Traitements des chloroses	114
5.4.	<i>NOMS DE SOLS ET D'HORIZONS</i>	115
5.5.	<i>LEXIQUE</i>	117
5.6.	<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	122



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 01 : Fiche de description de profil	14
Figure 02 : Triangle de texture du GEPPA	15
Figure 03 : exemple de graphique hydrique et racinaire	17
Figure 04 : Fiche de description d'unité de sol.....	19
Figure 05 : Déroulement de l'étude, interventions et travaux	21
Figure 06 : Carte géologique simplifiée des Alpes occidentales	23
Figure 07 : La naissance des Alpes il y a 100 puis 40 millions d'années	24
Figure 08 : Panorama géologique structural simplifié du Valais	25
Figure 09 : Coupe géologique à travers les Alpes actuelles	27
Figure 10 : La Suisse sous les glaces (il y a 25 000 ans)	37
Figure 11 : Les différents types de dépôts glaciaires.....	38
Figure 12 : Mode de dépôt des loess	40
Figure 13 : Bloc diagramme schématique : les principales formations superficielles	43
Figure 14 : Exemple de superpositions de formations quaternaires récentes	44
Figure 15 : Cône de déjection de l'Illgraben.....	45
Figure 16 : Schéma de tablars en pierres sèches construits sur crêtes rocheuses	49
Figure 17 : Relation Argile/CEC	53
Figure 18 : La réserve en eau utilisable par la vigne	55
Figure 19 : Influence de la topographie sur l'épaississement et le taux de calcaire des sols	64
Figure 20 : Effet des modelés "crêtes / combes " sur les sols.....	65
Figure 21 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton.....	66
Figure 22 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton.....	66
Figure 23 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton.....	67
Figure 24 : Gestion de la réserve hydrique.....	68
Figure 25 : Réservoirs et gestion de l'eau selon la texture du sol.....	69
Figure 26 : les types d'excès d'eau des sols hydromorphes	72
Figure 27 : Répartition des cépages en Valais, 2005 (OCV).....	77
Figure 28 : Répartition des cépages des profils de la base de données(ETV+ autres).....	77
Figure 29 : Répartition des cépages des profils de l'ETV.....	77
Figure 30 : Répartition des cépages 'secondaires' des profils	78
Figure 31 : Répartition des cépages 'secondaires' des profils	78
Figure 32 : Répartition des grandes unités de sol par secteur en Valais	79
Figure 33 : Répartition 'moyenne' des grandes unités de sol en Valais	80
Figure 34 : Répartition des grandes unités de sol sur Saillon	82
Figure 35 : Répartition des grandes unités de sol sur Saillon	82
Figure 36 : Fréquences comparées en calcaire total pour 3 cantons romands	83
Figure 37 : Répartition de la réserve utilisable moyenne pour chaque secteur.....	99

Liste des photos

Photo 01 : Matterhorn (le Cervin)	27
Photo 02 : Migmatites, gneiss recouverts de loess à Branson (Fully)	28
Photo 03 : Conglomérats à Dorénaz	29
Photo 04 : Quartzites à Flanthey (Lens)	30
Photo 05 : Dolomies à Charrat	30
Photo 06 : Gypses à Vaas (Lens)	31
Photo 07 : Gypses à Vaas (Lens)	31
Photo 08 : Schistes calcaires du Lias (Saxon)	32
Photo 09 : Plaquettes et schistes calcaires du Lias (Saxon)	32
Photo 10 : Des schistes argileux à l'origine de glissements	33
Photo 11 : Schistes mordorés du Bajocien (Conthey).....	33
Photo 12 : Schistes mordorés du Bajocien (Conthey).....	33
Photo 13 : Calcaires massifs du Malm (Conthey)	34
Photo 14 : Calcaires du Crétacé (Salquenen)	34
Photo 15 : Alternances de schistes et plaquettes.....	35
Photo 16 : Débit en plaquettes.....	35
Photo 17 : Débit schisteux	35
Photo 18 : Rochers moutonnés en amont d'Argentière (Haute-Savoie)	36
Photo 19 : Le monumental Glacier d'Aletsch.....	36
Photo 20 : Echantillon de moraine de fond	38
Photo 21 : Talus de moraine latérale (St Léonard)	38
Photo 22 : Dépôts glacio-torrentiels	39
Photo 23 : Talus de loess (Leytron).....	40
Photo 24 : Niveau de loess pur en profondeur (RAND01)	41
Photo 25 : Eboulement de Sierre, esquisse de la dalle écroulée	42
Photo 26 : Tablars gagnés sur les rochers (Clavaux).....	48
Photo 27 : Apports massifs de remblais sur toute la parcelle d'une vigne gelée (Sion)	49
Photo 28 : Remaniement complet du coteau (Miège)	50
Photo 29 : Irrigation de sols à faible réserve (Clavaux)	51

Liste des tableaux

Tableau 01 : Liste des codes de roches-mères	11
Tableau 02 : Synthèse des roches mères de l'ère primaire.....	29
Tableau 03 : Synthèse des roches mères du Trias.....	31
Tableau 04 : Synthèse des roches mères liées aux calcaires	35
Tableau 05 : Synthèse des roches mères liées aux dépôts glaciaires	39
Tableau 06 : Synthèse des roches mères liées aux éboulements	42
Tableau 07 : Synthèse des roches mères liées aux éboulis et dépôts post-glaciaires	46
Tableau 08 : Synthèse des roches mères liées aux alluvions et colluvions.....	47
Tableau 09 : Données moyennes des analyses de terre par secteur	84
Tableau 10 : Répartition des codes en fonction de l'étalement des paramètres de description....	101

Quand la terre parle...

... ses cailloux nous racontent les cristallisations de magmas à l'origine des très anciens granites, la transformation d'autres roches sous l'élévation de pression et température (gneiss, micaschistes, ...) ... le déchirement de la Pangée il y a près de 250 millions d'années (Trias), les bras de mers et océans qui s'ouvrent au dépend de la séparation d'immenses continents, les plages de sables parcourues du pas lent des dinosaures, les lagunes évaporitiques (gypse) et les marécages argileux ... les mers chaudes relativement peu profondes où se sont sédimentées d'épaisses couches calcaires, les mers plus froides et moins limpides où ont pu se déposer des fines vases marneuses (futurs schistes peu calcaires très présents en Valais) ... les tracés récents des glaciers et les moraines qu'ils ont abandonné ... les grands écroulements et glissements qui ont suivi le retrait glaciaire ... les passages de torrents ... les défoncements et gravelages des Hommes, ...

... l'absence de cailloux nous évoque les périodes très ventées qui ont permis les accumulations de loess ... les épisodes limoneux calmement déposés par les rivières ... les derniers colluvionnements, ...

... le relief, l'inclinaison et l'enchaînement des roches mères nous racontent le choc des continents ... la formation des Alpes ... le décollement des nappes de charriages, ...

Alors, si elle nous dit tout cela, elle peut bien nous parler un peu de ce qu'il y aura dans le verre. C'est tout le pari d'une étude de ce type.

Aborder le thème des sols viticoles est ambitieux, surtout dans un vignoble de montagne, très morcelé, au sein d'une région vaste et complexe du point de vue géologique. Faire simple, c'est faire faux, faire trop complexe c'est risquer l'inutilité.

Ce consistant rapport essaie de donner des clés, pour comprendre toute la beauté de la relation entre les plus fines particules de sol et les plus subtils arômes du vin.

Il va d'abord justifier pourquoi il est impossible de résumer un sol viticole à quelques caractères visibles ou facilement mesurables de pierrosité de surface, de calcaire ou de pente, sauf dans des conditions géologiques et topographiques très simples. Comme le dit Kees Van Leeuwen (ENITA Bordeaux) : **"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"**.

Or, la compréhension de l'alimentation hydrique de la vigne résulte de la combinaison de la plupart des paramètres descriptifs d'un sol, sur une épaisseur dépassant parfois 2 mètres, y compris la nature de sa roche mère. Donc, soit on s'attaque sérieusement au problème et c'est un peu compliqué, soit on reste trop superficiel pour comprendre quoi que ce soit.

Nous choisissons donc de bien décrire les roches mères (ici sept grandes familles : les roches non calcaires et leurs éboulis, les roches calcaires de dureté et débit très différents, les formations morainiques, les éboulements, les mélanges caillouteux et éboulis, les alluvions récentes, et les colluvions). Sans oublier les 'multiples' (le mot est faible en Valais) superpositions et mélanges. Nous jugeons ensuite, du degré d'évolution du sol qui les surmonte (les sols valaisans sont globalement jeunes, donc peu évolués), pour enfin apprécier le volume racinaire disponible et approcher le fonctionnement du sol.

Enfin, de ces deux éléments, géologie et formation des sols, on tirera les caractéristiques des unités de sols cartographiées, et leurs réactions probables aux différents millésimes.

A- PARTIE GÉNÉRALE

INTRODUCTION ET AVERTISSEMENTS

En constante évolution, le monde viticole n'a de cesse de rechercher et de tester les techniques et les procédés les mieux adaptés à son vignoble. L'influence du milieu naturel sur la qualité et la typicité des vins est aujourd'hui largement reconnue. Il n'est cependant pas facile de comprendre quelles sont les influences de chacune des composantes naturelles du terroir (sols, géologie, climats, expositions, pentes) sur le comportement de la vigne.

Ce travail s'inscrit dans le cadre général de l'Étude des Terroirs Viticoles Valaisans, suite logique de celle initiée en 2000 par l'association pour l'Étude des terroirs viticoles Vaudois, coordonnée par Prométerre, et réalisée en collaboration avec la Station fédérale de recherches en productions végétales de Changins et l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Les méthodes et outils mis au point pour l'étude vaudoise ont été utilisés, après des adaptations minimales aux nouvelles conditions rencontrées (nouveaux codes de roches par exemples). Le laboratoire Sol-Conseil de Changins a réalisé les déterminations analytiques.

Environ 3500 observations et 450 profils ont permis de construire les cartes présentées, qui couvrent plus de 5000 hectares de vignoble.

Cette étude s'efforce de donner une image précise du sol, surtout dans sa partie profonde, en insistant tout particulièrement sur ses propriétés hydriques. Les cartes ont été validées et précisées par les exploitants. Elles sont une étape dans un long chemin de connaissance et ne prétendent pas à l'exactitude parcellaire d'autant plus que les reconnaissances à la tarière sont très souvent limitées en profondeur par la pierrosité importante ou la sécheresse et la compacité des terrains.

Les termes techniques indispensables employés dans les descriptions sont définis dans le lexique.

Dans cette première partie générale nous revenons largement sur la géologie du Valais, passionnante et indispensable pour comprendre et apprécier toute la subtilité des sols. La liste et la description de toutes les roches rencontrées sont fournies. Les traces de cette géologie agitée qui se suivent jusque dans les sols viticoles sont évoquées.

Les données nécessaires à la compréhension des objectifs de la cartographie, des termes pédologiques et à la structure des légendes et des cartes sont ensuite rappelées, puis enfin quelques synthèses cantonales.

Dans une seconde partie, spécifique à chaque secteur seront présentés: un zoom géologique, la liste des roches mères effectivement trouvées, les principales unités de sols avec leurs profils de référence, la logique cartographique (lien sols/topographie) quand elle existe et enfin quelques tableaux sur les surfaces, les analyses de terre, etc...

⊗ **Avertissement** : Quatre termes fréquemment utilisés dans le texte le sont dans un sens particulier ou réducteur.

- ✚ **TERROIR** : Même si le terme de terroir est parfois employé, notre étude ne concerne que le sol, c'est à dire une seule composante parmi les multiples facteurs physiques qui interagissent entre eux et qui doivent ensuite être examinés en regard des "facteurs humains" en usage, avant de mériter d'être synthétisés dans la notion complète de terroir.

On peut rappeler une définition large du terme de terroir, comme l'association du milieu et des usages : « Un terroir est un système au sein duquel s'établissent des interactions complexes entre un ensemble de facteurs humains (techniques, usages collectifs...) une production agricole et un milieu physique (territoire). Un terroir est valorisé par un produit auquel il confère une originalité (typicité) ».

- ✚ **ANTHROPOSOLS** : Pour ne pas alourdir constamment le texte et les légendes, les modifications « normales » des sols viticoles (édification des terrasses, défoncements, minages, travaux annuels, apports de compost) qui sont très importantes pour un pédologue de grande culture et fondamentales pour nos collègues forestiers sont si habituelles en zone viticole que nous ne signalons que les transformations exceptionnelles (remblais, remaniements) sans parler à chaque fois de sols « anthropisés » ou anthropiques, ou "ANTHROPOSOLS" selon le terme consacré. D'autant que ces modifications peuvent ne concerner qu'une parcelle isolée (celle du profil par exemple).

Autant que possible un code d'unité explicite sera choisi, complété par la lettre R pour remaniements importants, RR pour les zones remaniements exceptionnels et un pictogramme de pelle-rétro est localisé sur la carte. De même les lettres Z pour les zones de terrasses à murs supérieurs à 2m et ZZ pour les zones de terrasses exceptionnellement hautes et rapprochées (type Clavaux) sont adjointes aux codes d'unités.

- ✚ **COLLUVIOSOLS** : Pour ne pas regrouper sous un vocable commun des sols de potentialités viticoles totalement différentes, nous limitons l'emploi du terme COLLUVIOSOLS aux sols peu caillouteux de bas de pentes. Nous savons bien que les colluvions des géologues (épaississements peu évolués) et les COLLUVIOSOLS au sens large peuvent remonter dans des pentes assez fortes et être très caillouteux mais ce terme trop global n'apporte aucune précision quand aux potentialités viticoles du sol.

- ✚ **LIMON - TRIANGLE de TEXTURE** : Le terme de limon est objet de difficultés entre les pédologues français et suisses.

Nous nous référons au guide de D. Baize et au référentiel pédologique (RP) et employons ce mot dans le sens des "silts" suisses (taille de particules de 2 à 50 μ), ce qui a l'avantage de permettre l'emploi des initiales pour désigner les textures (A argile, L limon, S sables, Lsa Limon argilo sableux) sans ambiguïté entre sable et silt. Rappelons qu'en Suisse la catégorie 'limon' est une texture moyenne contenant de 10 à 15% d'argile mais pouvant ne contenir aucun grain de « limon 2 à 50 μ » ce qui est inconcevable pour un pédologue français. Nous ne parlerons **jamais** de texture limoneuse pour un sable argileux comme le permet théoriquement le triangle des textures Suisse. Le triangle utilisé, (donc les dénominations texturales) est celui du GEPPA (voir figure 02 p 15).

- ✚ **PEYROSOL**: Cette famille de sols très représentée dans l'espace viticole est officiellement définie par un taux d'éléments grossiers (hors **graviers**) supérieur à 60% **en poids**. Nous en avons légèrement modifié l'usage, le rendant plus pragmatique: plus de 60% d'éléments grossiers **y compris les graviers**, exprimés **en volume** (estimation visuelle sur la coupe de sol). La différence n'est pas négligeable (voir annexe 2.)

1 - METHODOLOGIE, PRINCIPES DE LECTURE DES CODES DE LA CARTE

1.1. METHODOLOGIE GÉNÉRALE

Ci-dessous regroupées en 7 grandes étapes, les différentes phases d'acquisition et de traitement de l'information sont décrites succinctement dans les lignes qui suivent (voir figure 05).

Ces étapes ont été respectées pour les 28 secteurs (180 hectares en moyenne). Le très grand nombre de propriétaires ou exploitants a justifié l'intercalation d'une entrevue préparatoire à la première en comité restreint, pour atteindre une participation optimale mais raisonnable (15 à 20 personnes au maximum). La logistique des convocations et des réunions a été assumée par Mlle Janine Huber, cheffe de projet.

Étape 1 : Préparation et reconnaissance

- Synthèse et analyse des documents disponibles : cartes géologiques, coupes, sondages à la tarière et profils existants, stéréophotographies aériennes au 1/10.000e. Visite de terrain avec les techniciens.

5 des 10 cartes géologiques nécessaires (dont les principales) n'étant pas éditées ou rééditées sur le Valais, nous avons pu avoir accès grâce à M. Mario Sartori aux 'minutes' coloriées à la main en voie de synthèse. Ses conseils et remarques directs ont de plus considérablement aidé Josselin Marion, Géologue.

- Campagne de prospection à la tarière (1 sondage ou observation pour 1.5 ha en moyenne, soit une précision normalisée de type "moyenne échelle" : 1/12.000e environ).
- Préparation des minutes de terrain, de la légende provisoire et des documents supports de la première réunion avec les viticulteurs.

Étapes 2, 3 et 4 : Acquisition et mise en ordre des observations

- Première prise de contact avec un ou deux viticulteur de la zone, préparation des convocations.
- Première réunion avec les viticulteurs: présentation et choix des emplacements des profils à creuser.
- Ouverture des profils (par les vigneron), description des profils, prélèvements pour analyse pour les profils les plus représentatifs.
- Visites de terrain sur les profils les plus intéressants, avec les viticulteurs et des conseillers. (Apprentissage de la lecture d'un profil, évaluation du réservoir, comparaison de sols différents représentatifs de chaque secteur).
- Numérisation de la carte provisoire, rédaction de la légende, renseignement de la base de donnée: saisie des observations, éditions des fiches de profils, des fiches d'unités, des schémas et graphiques hydriques et racinaires.

Étape 5 : Validation et corrections

Séance de validation de 2 à 4 heures : explications, présentations, puis validation ou correction des fiches de profils, des unités de sols et des limites des unités avec les viticulteurs.

Étapes 6 et 7 : Saisie, stockage et synthèse

Prise en compte des modifications et remarques dans l'élaboration de la carte, retour terrain éventuel, édition définitive des fiches de profils et des cartes, rédaction du rapport d'accompagnement.

Après une synthèse prévue avec les responsables techniques, une présentation finale plus formelle de l'étude pluridisciplinaire complète conclura provisoirement l'aventure.

1.2. PRINCIPES DE LECTURE DES DOCUMENTS

Les principes de codification des étiquettes qui sont associées à chaque unité de sol dessinée sur la carte, suivent une logique qui sera explicitée dans ce rapport :

- ✚ identifier l'origine **géologique** du sol (voir 1.2.1.1.), puis,
- ✚ son degré **d'évolution**, ce qui va le différencier plus ou moins de sa roche mère (voir 1.2.1.2.) puis enfin,
- ✚ l'épaisseur de matériau (sol + roche) qui peut être colonisé par les racines.

La combinaison des trois nous permet de mieux prévoir l'itinéraire hydrique du système sol-plante-millésime, surtout si on les nuance par le degré de gravité d'éventuels excès d'eau et les variantes (roches mères complexes, minces recouvrements, concavités, etc).

De plus, l'utilisation de cette "grammaire" assez simple, pourra aboutir à une classification complexe et permettra d'améliorer les cartes, qui ne sont évidemment pas établies au niveau parcellaire. Il faut 4 observations par hectare pour établir une véritable carte à grande échelle : une parcelle dans une zone de profondeur variable 4414 pouvant être rattachée par son vigneron à une unité plus précise (très mince par exemple 4412).

Si une large place est accordée à la géologie, c'est non seulement parce qu'elle est à l'origine du sol mais aussi parce qu'elle intervient très directement dans le comportement de la vigne et enfin parce que, tout simplement, les vignerons sont assez passionnés par la genèse de leurs paysages.

1.2.1. PRINCIPES DE CODIFICATION DES UNITES DE SOLS

Ces codes se lisent comme des codes comptables, en fonction de la position des chiffres qui les composent.

49 1 6, 3 GG

Le groupe formé des deux premiers chiffres indique la roche-mère (roche ancienne ou formation superficielle), à l'origine du sol (voir tableau 01, "Liste des Roches mères", page suivante).

Il n'a pas toujours été possible de conserver les mêmes codes que pour les cantons de Vaud ou Neuchâtel, car les milieux sont très différents.

Le troisième chiffre traduit le degré d'évolution du sol. Plus un sol est évolué plus en général il s'approfondit et devient complexe et différent de sa roche-mère.

Le quatrième chiffre reflète la profondeur d'enracinement possible et probable.

Ces 4 chiffres constituent la base de description de l'unité de sol, l'étiquette étant éventuellement complétée, après une virgule de respiration par :

Un chiffre après la virgule qui traduit, le cas échéant, le degré des excès d'eau temporaires ou permanents observables.

Les lettres qui suivent ce code d'unité de base permettent de nuancer certaines variantes locales de l'unité.

1.2.1.1. La géologie

LISTE DES CODES GEOLOGIQUES	
1 - SOLS ISSUS DES GRANDS EBOULEMENTS	
11	SOLS ISSUS DE FORMATIONS DE PENTES PEU CAILLOUTEUSES ISSUES DES GRANDS EBOULEMENTS
14	SOLS ISSUS DE FORMATIONS DE PENTES CAILLOUTEUSES ISSUES DES GRANDS EBOULEMENTS
15	SOLS ISSUS DE FORMATIONS TRES CALCAIRES ET CAILLOUTEUSES (Loèche)
17	SOLS EXTREMEMENTS CALCAIRES ET CAILLOUTEUX ISSUS DES GRANDS EBOULEMENTS
2 - SOLS ISSUS DES FORMATIONS GLACIAIRES	
21	SOLS ISSUS DE MORAINES RHODANIENNES CAILLOUTEUSES à éléments émoussés/arrondis mixtes
22	SOLS ISSUS DE MORAINES PARTICULIERES (Vispéral, rive gauche,...)
23	SOLS ISSUS DE MORAINES SABLEUSES PEU CAILLOUTEUSES - Cailloux < 15-20% - peu calcaires (rive gauche)
24	SOLS ISSUS DE MORAINES DE FOND très compacte à l'état brut
25	SOLS ISSUS DE MORAINES LOCALES à éléments émoussés/arrondis calcaires très dominants
26	SOLS ISSUS DE MORAINES LOCALES à éléments émoussés/arrondis cristallins très dominants - très peu calcaires (Martigny région)
27	SOLS ISSUS DE MORAINES DE RETRAIT / GLACIO-TORRENTIEL TRES CAILLOUTEUX
28	SOLS ISSUS DE DEPÔTS DIVERS FINS NON CAILLOUTEUX (varves lacustres silt/argile/sable très fins)
4 - SOLS ISSUS DE ROCHES CALCAIRES ANCIENNES OU DE LEURS EBOULIS	
40	SOLS SUR ROCHE DURE CALCAIRE
42	SOLS SUR CALCAIRES MASSIFS - Bleu gris en bancs très durs (Malm, rarement Crétacé)
43	SOLS ISSUS DE CALCAIRES DOLOMITIQUES Cd, CARGNEULES Cv, MARBRES ET DOLOMIES ASSOCIES (M+Do) du TRIAS
44	SOLS ISSUS DES CALCSCHISTES DU FLYSCH - Plaquettes et feuillettes, à passées gréseuses plus dures
45	SOLS ISSUS / SUR GYPSE Gy ET CALCAIRES GYPSEUX Ggy
46	SOLS ISSUS DES CALCAIRES SCHISTEUX ET GRESEUX en petits bancs du Lias (Saillon, Conthey, Saxon, ...)
47	SOLS ISSUS DES CALCAIRES SCHISTEUX et SCHISTES CALCAIRES assez durs
48	SOLS ISSUS DE CALCSCHISTES FEUILLETES - quelques bancs plus durs importants
49	SOLS ISSUS DE SCHISTES ARGILEUX FEUILLETES SOMBRES - très peu calcaires (Aalénien en général)
5 - SOLS ISSUS DE (ou sur) ROCHES NON OU TRES PEU CALCAIRES	
50	SOLS SUR ROCHE DURE NON CALCAIRE
52	SOLS SUR GNEISS ET GRANITES
55	SOLS SUR QUARTZITES durs
56	SOLS ISSUS DES "SCHISTES des VIGNES" (Visperterminen) ou de SCHISTES GRESEUX - Gris sombre peu calcaires (Bramois et Nax)
57	SOLS ISSUS DES SCHISTES GRAPHITEUX - Noirs (Stalden)
6 - SOLS ISSUS DE FORMATIONS SUPERFICIELLES NON MORAINIQUES	
60	SOLS ISSUS DE LOESS - Fins silteux/sableux (éolien) - non ou très peu caillouteux sur au moins un horizon de 40 à 60cm
61 à 64	SOLS ISSUS D'EBOULIS à éléments anguleux (ou mélangés) calcaires très dominants
65	SOLS ISSUS DE MELANGES D'EBOULIS MIXTES ET/OU DE MORAINES
66 à 67	SOLS ISSUS D'EBOULIS à éléments anguleux (ou émoussés) cristallins très dominants
68	SOLS ISSUS D'EBOULIS SCHISTEUX - Peu à moyennement calcaires
69	SOLS ISSUS DE CÔNES LIMONEUX PEU OU PAS CAILLOUTEUX - Sur au moins 1m
7 - SOLS ISSUS DE FORMATIONS SUPERFICIELLES ET EBOULIS PARTICULIERS	
72	SOLS ISSUS D'EBOULIS A SERPENTINITES (Zeneggen)
73	SOLS ISSUS D'EBOULIS A QUARTZITES ROUX (St German)
74	SOLS ISSUS D'EBOULIS DE DOLOMIES et GNEISS (St German)
75	SOLS ISSUS D'EBOULIS DE CONGLOMERATS, GRES et SCHISTES - Lie de vin et verdâtres (Collonges, Dorenaz)
76	SOLS ISSUS DE FORMATIONS DE PENTES à sables jaunes, schistes verts, gypses et dolomies de rive gauche (Chalais à Bramois)
8 - SOLS ISSUS D'ALLUVIONS RECENTES - plaine + cônes torrentiels plats très récents	
81	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS LIMONEUSES
82	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS SABLEUSES
83	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS LIMONEUSES SUR SABLO-CAILLOUTEUSES
84	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS SABLO-CAILLOUTEUSES
87	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS SABLO-GRAVELEUSES des cônes torrentiels plats
88	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS SABLO-GRAVELEUSES des cônes torrentiels peu à moyennement pentus
89	SOLS ISSUS D'ALLUVIONS TRES VARIABLES
9 - SOLS PROFONDS ISSUS DE COLLUVIONS DE BAS DE PENTES	
91	SOLS ISSUS DE COLLUVIONS LIMONEUSES NON CAILLOUTEUSES
92	SOLS ISSUS DE COLLUVIONS SABLEUSES NON CAILLOUTEUSES
93	SOLS ISSUS DE COLLUVIONS LIMONEUSES MOYENNEMENT CAILLOUTEUSES

Tableau 01 : Liste des codes de roches-mères

1.2.1.2. L'évolution des sols

0 : type BRUT (REGOSOL, RENDOSOL) : sol brut et clair très peu différent de sa roche-mère, pas d'horizon brun net au delà de 20-30cm (ne concerne que des défriches récentes, buttes arasées).
1 : type CALCAIRE (CALCOSOL) : sol calcaire sur toute la profondeur, différent de la roche-mère brute par la couleur, le taux de cailloux, la consistance et la structure de l'horizon moyen non organique, sur au moins 50-60cm. En Valais le niveau de calcaire du sol reste peu différent de celui de sa roche.
2 : type CALCARIQUE ou hypercalcaire (CALCOSOL Calcarique) : le calcaire se redistribue en accumulations ou amas blancs, à moyenne profondeur qui font augmenter notablement le taux de calcaire au dessus de celui de la roche mère et peuvent perturber chimiquement ou physiquement la progression des racines - Ce chiffre a été aussi employé quand le taux de calcaire total dépasse 60 -70%.
3 : type CALCIQUE (CALCISOL) : sol issu de roche-mère calcaire (moraine ou éboulis ou schiste) qui a perdu son calcaire sur une partie au moins de ses horizons, mais reste bien pourvu en calcium, saturé et de ph neutre.
4 : type CALCIQUE rubéfié (CALCISOL rubéfié) : présence d'un horizon rouge d'origine pédologique, plus argileux que ceux qui l'encadrent, décarbonaté. (non trouvé en Valais, les niveaux ocres sont toujours des loess).
5 : type BRUNIFIE (BRUNISOL) : sol à caractéristiques proches du CALCISOL, mais légèrement acide et désaturé. (très rare en Valais).
6 : type LESSIVE (LUVISOL) : sol acide et léger en surface, à horizon plus argileux en profondeur. (non trouvé en Valais).

1.2.1.3. La profondeur d'enracinement

PROFONDEUR EN CENTIMETRES
1- P inf. 40 (économiquement possible uniquement sur qq centiares)
2- P 40-70
3- P 70-100
4- P 40- 150 zones de profondeur très variable
5- P 100-180
6- P>150 et pente inférieure à 5-10%
Ces limites sont indiquées avec une signification de +-10%

1.2.1.4. Les excès d'eau

HYDROMORPHIE
0,1 sol à caractère rédoxique léger ou circulation latérale d'eau
0,2 excès d'eau temporaire en dessous de 50 cm (net à 70-80cm)
0,3 excès d'eau temporaire avant 50 cm
0,4 caractère rédoxique de sub-surface, excès d'eau permanent à moins de 80cm
0,7 arrivées d'eau profondes probables, mais non visibles dans le profil (comportement de la plante)
0,9 excès d'eau très variables, secteurs très drainés

1.2.1.5. Les variantes

PRINCIPALES VARIANTES LOCALES DE L'UNITÉ
< 91 : l'unité est recouverte par la formation 91, significativement différente
/ 47 : l'unité recouvre la formation 47 //47 à faible profondeur (/47) : à forte profondeur
+22 : influence irrégulière d'une autre formation géologique
/L, /Lc : sur limons, sur limons compacts
+ : l'unité, non calcaire, est recarbonatée en surface
BL : présence de blocs
BR: Brèche cimentation complète et très dure des cailloux en dalle dure
Las : terre fine plus argileuse que la moyenne de l'unité en Valais
c : matériau ordinairement meuble, mais ici plus compact
ccv : concavité, cvx : convexité
oe,OE : influence discrète ou forte de loess
grv+ : gravelage de surface calcaire sur une unité non calcaire
G, GG : zone de glissements actifs ou anciens, GG très actifs
Gy : Zone à gypse
Gm: Grès micacé marron sombre
mic : sables très micacés
Pen, Rep, ptf : pente, replat, pente très forte localisée
R, RR : remblais ou zone fortement remaniée R ou très fortement remaniée RR
S : zone plus sableuse que l'unité de référence
Tour : niveaux organiques noirs enfouis
Tuf : zone à tuf calcaire
x,X,XX : zone un peu, plus, beaucoup plus caillouteuse que l'unité de référence
xv, QZT, éboulis à cailloux particuliers xv : verts, qzt quartzites
Z, ZZ : zone aménagée en terrasses, ZZ terrasses hautes et serrées
? : zone non reconnue ou code très incertain

NB : Il nous est arrivé de trouver 3 ou 4 matériaux superposés sur 2m.

1.2.1.6. Lecture des fiches de description des profils

Les éléments qui apparaissent dans cette fiche de description (voir figure 01) ne sont qu'une partie « en clair » des informations qui sont saisies dans la base de donnée de façon plus chiffrée.

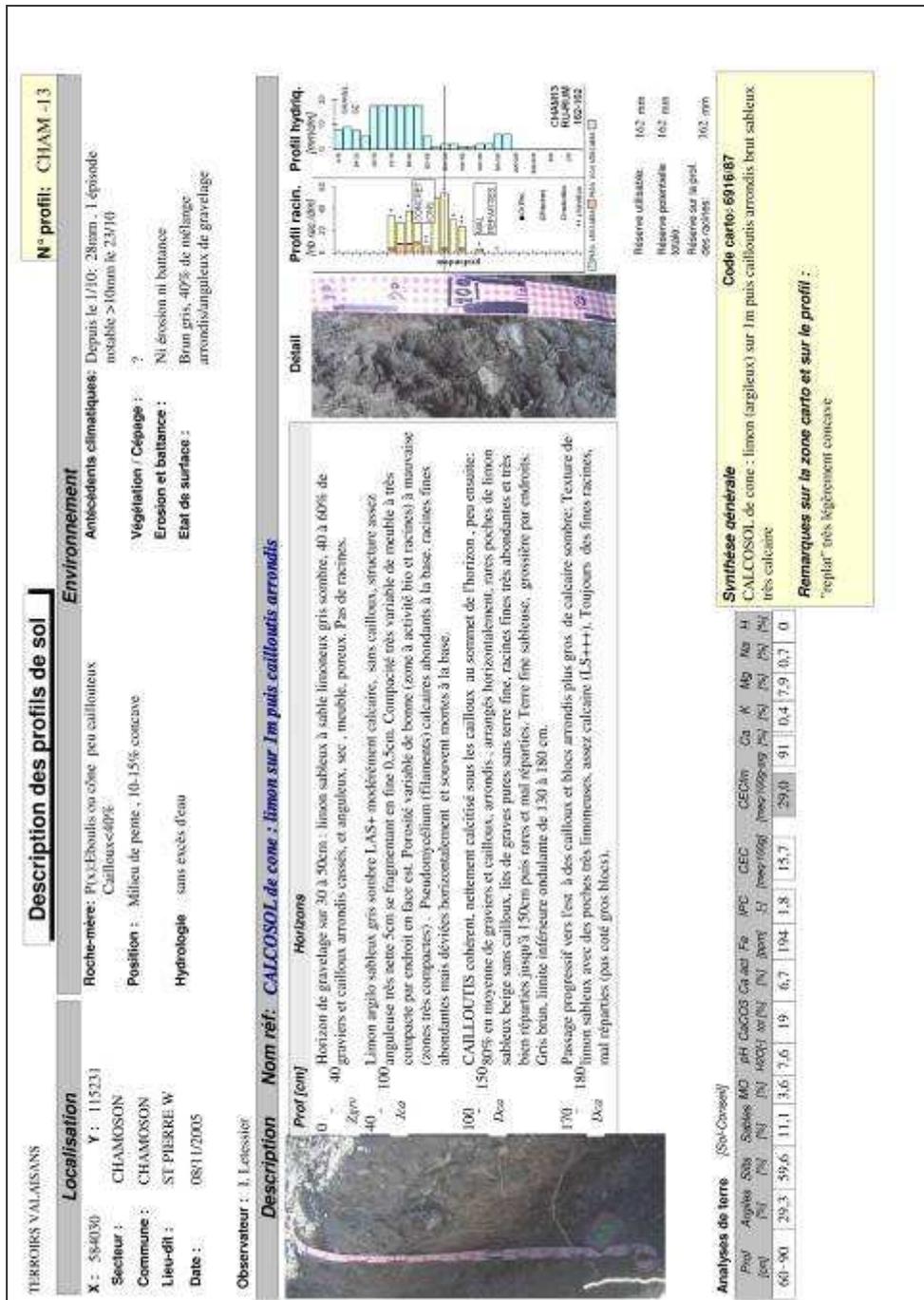


Figure 01 : Fiche de description de profil

🚩 Descriptions des horizons

Les principales caractéristiques des horizons sont décrites en clair, les termes couramment employés sont parfois abrégés, pour des raisons de place en particulier ceux concernant la texture (voir figure 02, p15), la matière organique (MO), les éléments grossiers (EG) ou les racines (R,r,ch., voir pages suivantes).

- **La couleur** est un critère plus important et plus difficile à quantifier qu'il ne paraît. Il faut donc utiliser une charte normalisée «le code Munsell », qui se présente sous forme de lettres et de chiffres.

Ainsi, un horizon 5YR4/6 est bien rouge et traduit un état particulier de cristallisation du fer. Les bruns sombres xxx3/2 traduisent une forte teneur en matière organique. Dans la fiche les couleurs sont en clair, dans la base de données elles sont codifiées.

- **La texture** : La notion de texture est complexe et peut être appréciée de deux façons.

Sur le terrain, c'est un jugement global sur répartition par taille des particules inférieure à 2mm (terre fine) grâce à des sensations tactiles (pétrissage entre les doigts) mais aussi optiques, auditives voire gustatives.

En laboratoire, après broyage des agrégats terreux, on pratique l'analyse granulométrique par séparation des fractions. Les pourcentages trouvés peuvent être reportés sur un diagramme de texture (Diagramme du Groupement d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée GEPPA, 1963.). Une certaine distorsion entre les deux notions est normale, loin d'être un signe de mauvaise pratique, **elle apporte des informations**. Sables et limons en plaquettes sont parfois abrégés en Sp ou Lp.

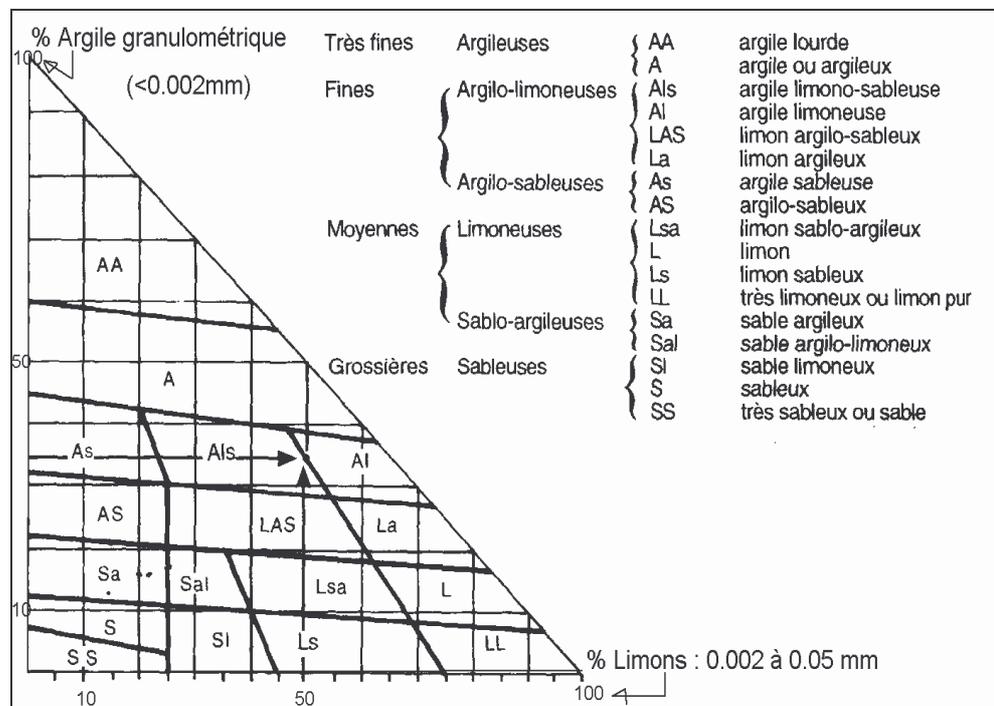


Figure 02 : Triangle de texture du GEPPA

- **L'appareil racinaire** : Dans le texte des descriptions par horizon et les fiches de saisie de la base de données, les racines sont évoquées de façon rapide selon leur taille et leur densité de colonisation. Les comptages plus détaillés apparaissent dans le graphique racinaire à droite (jaune et rouge).

🚩 Noms des horizons

A usage plutôt scientifique, pour une classification européenne : chacun des horizons est identifié selon la base du Référentiel Pédologique (1995) : cf. annexe § 5.4. Les horizons profonds autres que les horizons normalement travaillés (Horizons L) manifestement profondément transformés par l'homme (briques, lits de pierre) sont codifiés par un Z.

Le profil racinaire

Des comptages de racines sont systématiquement réalisés sur les profils ouverts, sauf dans quelques cas (profil trop loin de la souche, souche morte, fosse éboulée, ...) et permettent de dresser un profil racinaire basé sur la taille et le nombre de racines comptées.

Ils sont effectués selon un protocole rapide, en comptant les racines visibles sur une grille maillée de 80cm de large par catégories de grosseur: GR diamètre supérieur à 0.5cm, R de 1 à 5mm, r moins de 1mm et ch (+), +, ++ ou +++ selon l'abondance du chevelu très fin et très ramifié.

La profondeur d'enracinement (Pe ou Penr) est parfois signalée sous forme abrégée dans la légende des cartes de sol.

Le profil hydrique

Les profils hydriques que nous présentons sont une image simplifiée de la taille du Réservoir Utilisable Maximum (RUM). **Ce n'est évidemment que lorsque ce réservoir est rempli qu'il devient une réserve (rôle du millésime et efficacité des pluies d'hiver).**

Chaque barre horizontale est une estimation en mm d'eau qui tient compte de la texture et de la quantité d'éléments grossiers (graviers + cailloux) pour chaque tranche de 10 cm de sol (= Réserve "décimétrique"). La méthode employée est tirée du Guide pour la description des sols, (D.Baize 1995) avec quelques ajouts pour les sables grossiers, micacés, en plaquettes ou les variantes compactes.

Nous introduisons un facteur de pondération qui prend en compte la colonisation observée des racines ce qui améliore la pertinence des estimations en particulier pour les sols lourds ou compacts. Selon la densité de colonisation racinaire, on estime la part de l'eau utilisable par les racines (en bleu) et la part non (ou difficilement) utilisable (en orange). Le diagramme est "ouvert" vers le bas et nous les agrémentons de commentaires pour en nuancer l'interprétation. Ce ne sont que des aides à la synthèse.

Les condensations "occultes" dans les sols meubles et très caillouteux (autour des cailloux ou plaques, par effet de paroi froide) ne sont jamais estimées.

Une estimation, tout à fait arbitraire pour le moment, est ajoutée en Valais pour les graviers et cailloux très schisteux. Elle apparaît en gris sur certains graphes.

En effet, ces fractions ne "passent" pas dans la terre fine, tout au plus dans les sables grossiers, mais évidemment elles s'humectent très bien et n'ont pas le comportement de "billes" lisses de même diamètre. A ce jour et avant d'obtenir des résultats plus précis mais utilisables en routine, nous avons adopté le mode de calcul suivant :

- Quand les schistes sont assez durs (un effort est nécessaire pour briser ou écraser les feuilletés entre les doigts) on applique le coefficient 2 au % de cailloux estimé.
Exemple : 80% (0,8) de cailloux apportent donc 1,6 dans la tranche de 10cm, ce qui peut faire 30mm en plus sur 2mètres.
- Quand les schistes sont mous, gras, se tordent facilement on applique le coefficient 5 : Ex 80% (0,8) apportent 4mm par tranche de 10cm ce qui peut faire 80mm sur 2mètres.

Les réserves utiles

NB: voir annexe §5.2 pour le détail complet des calculs de réservoir.

A partir du profil hydrique, on peut estimer les réserves en eau du sol (plus exactement le réservoir), selon le volume pris en compte trois nombres sont indiqués sous les graphiques :

- **A** - Réserve Utilisable -110mm : quantité d'eau directement et assez facilement utilisable par la plante (= bleu) dans les horizons bien colonisés par les racines. La réserve utilisable correspond au volume d'eau à la capacité au champ moins le volume d'eau au point de flétrissement "pF4.2", pondéré par un coefficient d'exploration racinaire de 1, 0.5 (moins de 10 fines racines sur la tranche de sol), ou 0.1 (très rares racines ou chevelus localisés dans des plans de fissure très espacés).
- **A+B+D** - Réserve sur la profondeur d'enracinement -161mm : réservoir utile maximum du sol sur la profondeur d'enracinement. C'est donc ce chiffre qui correspond au RUM : réservoir utilisable maximum (= bleu + orange + gris, jusqu'aux dernières racines). Il prend en compte sans pondération les horizons peu ou très irrégulièrement colonisés par les racines jusqu'aux dernières observées. La quantité représentée par les surfaces "orange" correspond à de l'eau qui ne peut migrer que très lentement vers des racines rares et/ou en mauvais état. Ce volume est très long à ré humecter. C'est même impossible en zones très pentues où l'eau part plus vite latéralement vers le bas de pente que verticalement vers le fond du profil.
- **A+B+C** - Réserve Potentielle Totale "sans les cailloux" - 178mm : quantité d'eau utile que le sol pourrait stocker sans tenir compte de la morphologie de l'appareil racinaire existant (= bleu + orange + en totalité, y compris les horizons profonds sans racines) et si le sol était plat. En effet ceux-ci peuvent s'humecter lors de longues périodes de pluie, surtout quand la pente est faible. On ne peut pas quantifier l'importance physiologique de cette humidité sous-jacente, mais il est certain qu'elle a dans certains cas une influence très forte (niveaux de moraine de fond sans aucune racine, sous des sols très graveleux par exemple) au moins pour les premiers décimètres concernés. D'autre part, certains sols peuvent être très mal enracinés pour des raisons indépendantes du sol (implantation, premières années difficiles).

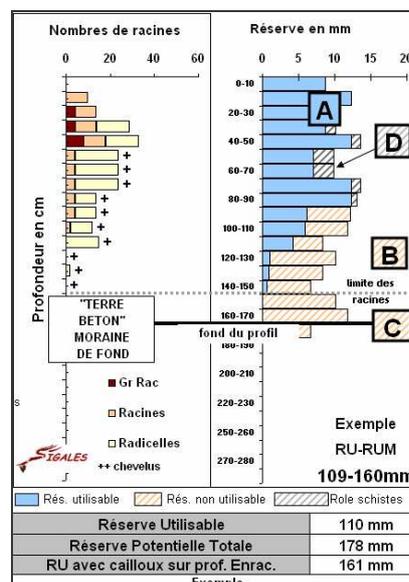


Figure 03 : exemple de graphique hydrique et racinaire

Les analyses de terre

Analyses de terre [Sol-Conseil]																
Prof (cm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	MO (%)	pH H2O(-)	CaCO3 tot (%)	Ca act (%)	Fe (ppm)	IPC (%)	CEC (meq/100g)	CECfm (meq/100g-arg)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Nà (%)	H (%)
20-50	11,7	33,0	55,3	1,6	7,6	19				42,2	333,3	98	0,5	1,4	0,2	0
80-100	12,4	33,8	53,8	1,7	7,8	13				41,3	305,6	98	0,3	1,5	0,2	0
145-160	10,9	37,4	51,7	1	8	44	18,4	60,0	51	16,1	129,4	96	1	2,5	0,8	0

Voir la synthèse des résultats (partie 4.4.).

Les prélèvements ont été faits sur 0 à 3 horizons selon les profils. Les profondeurs de prélèvement se lisent à gauche du tableau.

Les sables totaux ont parfois été séparés en sables fins et grossiers et les refus des éléments >2mm faits par pesées (résultats détaillés dans la base de donnée); Ces deux chiffres sont particulièrement utiles pour les sols plutôt graveleux et de pierrosité moyenne, car ils interviennent dans les calculs de réservoirs. Pour les fortes et grosses pierrosités, l'estimation visuelle est meilleure

Le calcaire actif et le fer n'ont été dosés que lorsque le calcaire total dépassait 20% ou sur demande particulière (les moyennes partielles présentées en fin de rapport ne concernent donc pas tous les sols).

La mesure de CEC (Capacité d'échange des cations, unité meq/100g = cmol/kg) et des cations échangeables "nous informe sur la grandeur du réservoir alimentaire-sol et sur son contenu qualitatif" (fiche CEC sol-conseil, G. Collaud). Elle est réalisée par une méthode particulière aux stations fédérales utilisant le Baryum comme cation de substitution.

Nous avons largement utilisé ces chiffres en comparaisons relatives entre profils, horizons, secteurs, et même entre cantons, ce qu'un changement de méthode ne nous aurait pas permis (voir plus loin). La détermination de la CEC est à notre avis d'un très grand intérêt, surtout dans les sols un peu schisteux ou au contraire très calcaires que l'on trouve beaucoup en Valais.

Les chiffres de CEC/Argile/Matière Organique mis en relation permettent d'évaluer l'activité des argiles (surface interne, vraies ou fausses argiles etc...) ou au contraire celle des schistes après calcul de la CECfm (= celle de la fraction minérale, une fois celle due à la matière organique soustraite).

Quelques échantillons ont donné des résultats totalement déviants malgré des vérifications refaites par le laboratoire à notre demande : argiles particulières (associées au gypse parfois?) ou autres causes? Le groupe présenté en exemple ci-dessus en est un exemple : CEC 42 meq/100g soit 4 fois supérieure à la moyenne, CECfm >300 = aberration. Nous avons sorti ces 8 anomalies des statistiques pour ne pas fausser les résultats moyens, ce qui ne veut pas dire qu'elles ne sont pas intéressantes.

Il nous semble que cette méthode au Baryum qui permet de boucler la somme des cations échangeables à 100%, même pour les sols calcaires ne donne pas les mêmes résultats que les méthodes utilisées en France; En tout cas la sursaturation relative en calcium fait que le pourcentage de potasse K/CEC est toujours faible à très faible, c'est à dire inférieure à 3-4%, norme habituellement utilisée (y compris par Sol Conseil) pour estimer les teneurs en potasse échangeable. De même pour le Magnésium Mg. C'est pourquoi nous ne parlons jamais de teneurs faibles ou fortes en absolu.

Une étude de méthode sous-estimant moins les cations autres que Ca++ serait peut-être à étudier, en fonction des carences ou surconsommations potassiques observées dans le vignoble, mais il est clair que les analyses sur le végétal sont toujours plus fiables que les mesures directes sur le sol.

1.2.1.7. Lecture des fiches d'unités de sols

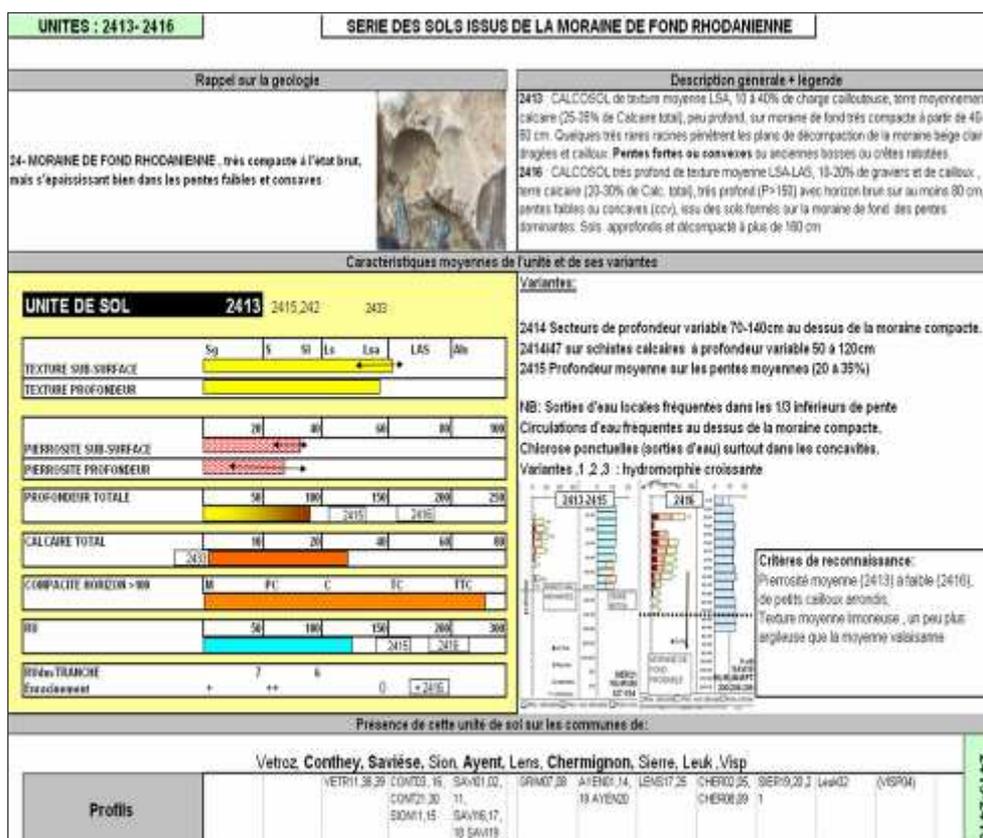


Figure 04 : Fiche de description d'unité de sol

Elles reprennent dans la partie du haut (voir figure 04), les caractéristiques géologiques et une description générale ; dans celle du milieu les principaux caractères physico-chimiques, hydriques et les variantes les plus courantes ; enfin, dans la partie basse, les profils rattachés et les communes ou secteurs concernés.

Dans un souci de synthèse, les unités de sols sont décrites par leurs paramètres de fonctionnement moyens et synthétisés dans le graphique de gauche. L'étalement possible des caractères et l'influence des variantes sont symbolisées par les flèches horizontales.

Les "indices" de RU ('RUdm Tranche' dans les fiches) sont une représentation numérique du réservoir utile (en cm d'eau) calculé pour quatre blocs de 50 cm de sol. Cette représentation permet de codifier rapidement la répartition de l'eau sur un profil de sol et de distinguer ainsi des sols très différents mais de même réserve. Ainsi, un sol de réserve **6.8.0.0.** a le même réservoir de 140 mm qu'un sol **3.2.5.4.** (60mm + 80mm + 0mm + 0mm et 30mm + 20mm + 50mm + 40mm). Le premier est « court et large », il s'arrête à un mètre de profondeur. Le second « long et étroit », les racines descendent à 2 mètres (voir aussi chapitre 5-2).

⚠ **Attention :** on parle bien dans cette rubrique des chiffres d'indices de RU et non des codes que l'on trouve sur la carte qui sont rappelés ici dans des cadres verts.

Les cases concernant les racines en notent simplement l'absence ou la présence probable.

1.3. LIMITES DE REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE

La précision finale théorique de la carte est de l'ordre du 1/12.000ème (une observation pour 1.5 ha), mais elle est éditée, pour des raisons de lisibilité et de commodité, au 1/7071 (1cm² = 0.5ha).

Ce n'est donc pas un travail d'une précision parcellaire alors que le morcellement est extrêmement fort et que la variabilité des paramètres importants du sol (profondeur, texture, pierrosité, compacité) engendre des unités réelles de moins de 1 ha en moyenne, compte non tenu des remaniements et modes de préparation propres aux parcelles. La taille minuscule de certaines parcelles a de plus autorisé des apports et des travaux inconcevables sur de plus grandes unités dans de telles situations de pentes et d'accessibilité. Cependant, les caractéristiques de chacun des sols présents sur la zone peuvent être analysées, décrites et bien comprises.

La nomenclature des unités de sol et celle des profils est basée sur les mêmes principes, mais s'il est presque toujours possible de rattacher un profil à un code unique, certaines unités de sol sont des complexes de plusieurs sols juxtaposés et impossibles à cartographier à cette échelle et à la tarière :

Ex 1 : Les unités 4414 sont par définition de profondeur variable (40 à 150 cm) et donc elles sont composées d'unités 4412, 4413, ou 4415. Il est donc logique de trouver un profil 4413 de profondeur 80cm dans une unité 4414 de profondeur plus variable de 40 à 150cm ou plus (c'est le cas général pour les plus grands remaniements sur matériaux d'éboulements, mais aussi sur des pentes largement convexes ou irrégulières à affleurements localisés et nombreuses "têtes de rochers", type flysch).

1.4. CALENDRIER DES INTERVENTIONS

Les 7 étapes de la partie 1.1. ont été respectées pour les 27 secteurs, avec une planification en 2 temps :

- **8 ZONES PILOTES** : De juin 2004 à décembre 2005, 1200 hectares ont été cartographiés sur 8 secteurs géologiquement et climatiquement très différents répartis de Martigny jusqu'à Viège.

La prospection tarière a été conduite à partir d'avril 2004 et s'est poursuivie chaque jour, tant que le gel ou la neige ne l'ont pas empêchée. Le creusement des profils a débuté en Juillet 2004 sur Martigny, et s'est poursuivi régulièrement. D'autres observations ont été permises par des ouvertures supplémentaires faites à l'occasion de minages hivernaux ou de chantiers.

Bien au-delà des 80 profils prévus, ce sont donc plus de 200 profils qui ont été ouverts, plus 70 tirés d'études antérieures et 1830 observations qui avaient été effectuées à la fin juin 2005.

Une première légende a été construite, qui comprenait de nombreuses redondances et incertitudes, liées au flou des données géologiques concernant les formations quaternaires, au manque de "lisibilité" des sols déjà évoqué (remaniement, apports, etc.) et aux grandes différences observés d'un secteur pilote à l'autre.

- **EXTENSION A TOUT LE VALAIS** : La complexité des sols ainsi mieux évaluée, nous avons ensuite poursuivi l'ouverture des profils le plus rapidement possible, pour atteindre le chiffre de 450 (dont une quinzaine de grands chantiers de travaux), sur l'ensemble du vignoble fin novembre 2006 et ainsi faire la jonction entre les huit zones pilotes. Les périodes favorables aux creusements se sont réparties de mars à fin novembre, avec des larges périodes de creux au moment des gros travaux printaniers et des vendanges.

Pour ces raisons, les seuls documents intermédiaires produits ont été les diaporamas de présentations créés pour chaque réunion, les cartes provisoires et une légende destinée à évoluer.

La stricte forme ayant été déjà testée dans les deux cantons précédemment étudiés, ce choix a évité une reprise complète de rapports et de cartes intermédiaires insuffisamment corrélés entre eux.

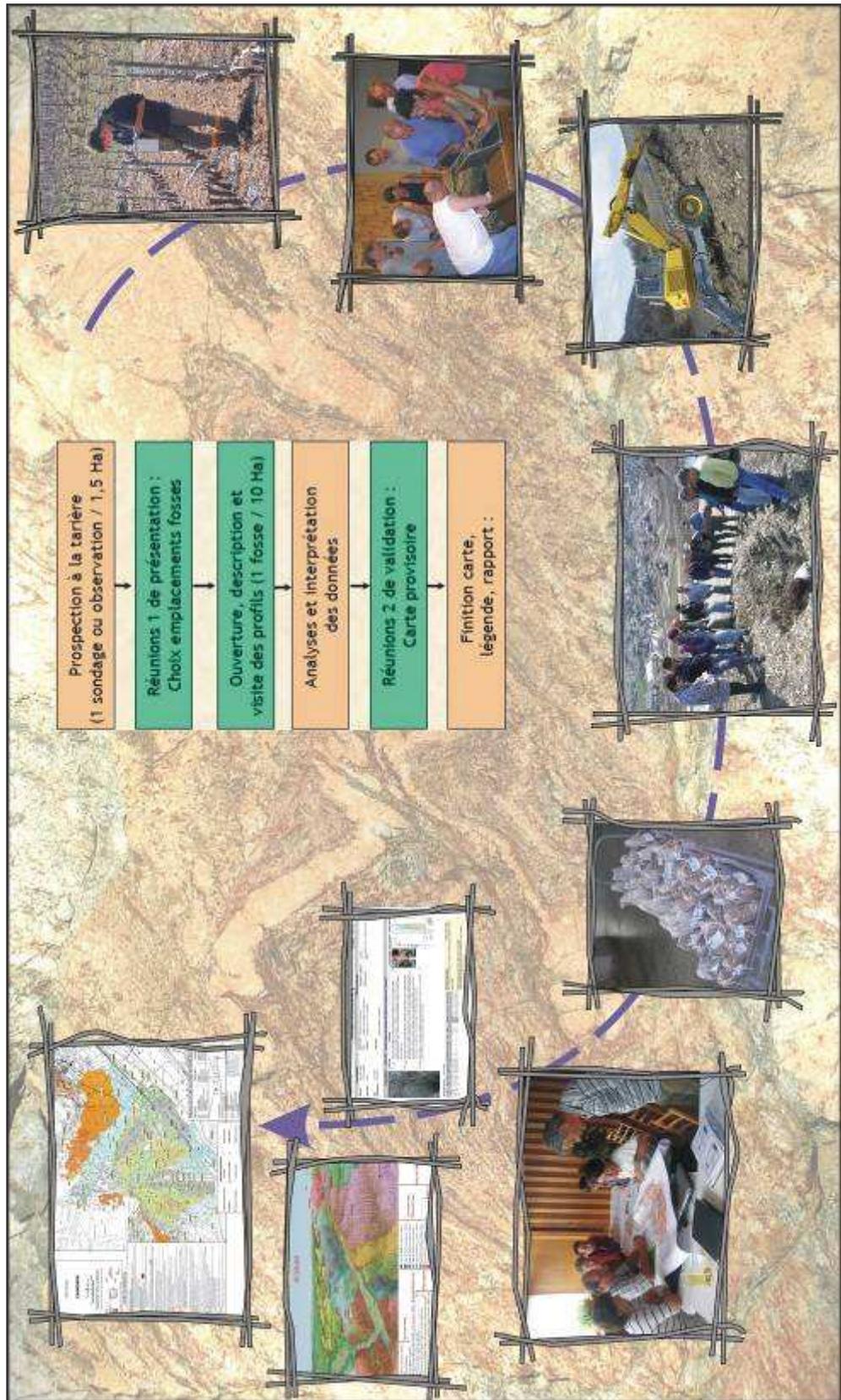


Figure 05 : Déroulement de l'étude, interventions et travaux

2 - PRÉSENTATION DE LA GÉOLOGIE DU VALAIS

Même si la géologie valaisanne a depuis longtemps été très étudiée, elle n'est pas chose facile à appréhender. Des "hordes" de géologues ont d'ailleurs grandement fait progresser les sciences de la terre et plus particulièrement les connaissances sur la chaîne alpine au gré de leurs découvertes dans les montagnes du canton. En plus d'être très riche et variée, c'est une géologie facilement observable. Contrairement à d'autres régions où une végétation dense est omniprésente, les roches, les failles, les plis sont ici assez bien visibles. La tâche la plus délicate consiste en l'interprétation des structures tectoniques et à la reconstitution de l'histoire géologique, là où la nature a créé une grande complexité. Voici quelques éléments pour mieux comprendre les différences ou au contraire les analogies entre secteurs de part et d'autre du canton. Ces explications qui se veulent simples et succinctes sont le point de départ indispensable à une bonne compréhension des terroirs valaisans.

2.1. LES GRANDES STRUCTURES

Le Valais est une région charnière de la chaîne alpine (voir figure 06). En effet, c'est principalement en Valais que s'effectue la transition entre les grandes structures E-W autrichienne et N-S française de l'arc alpin.

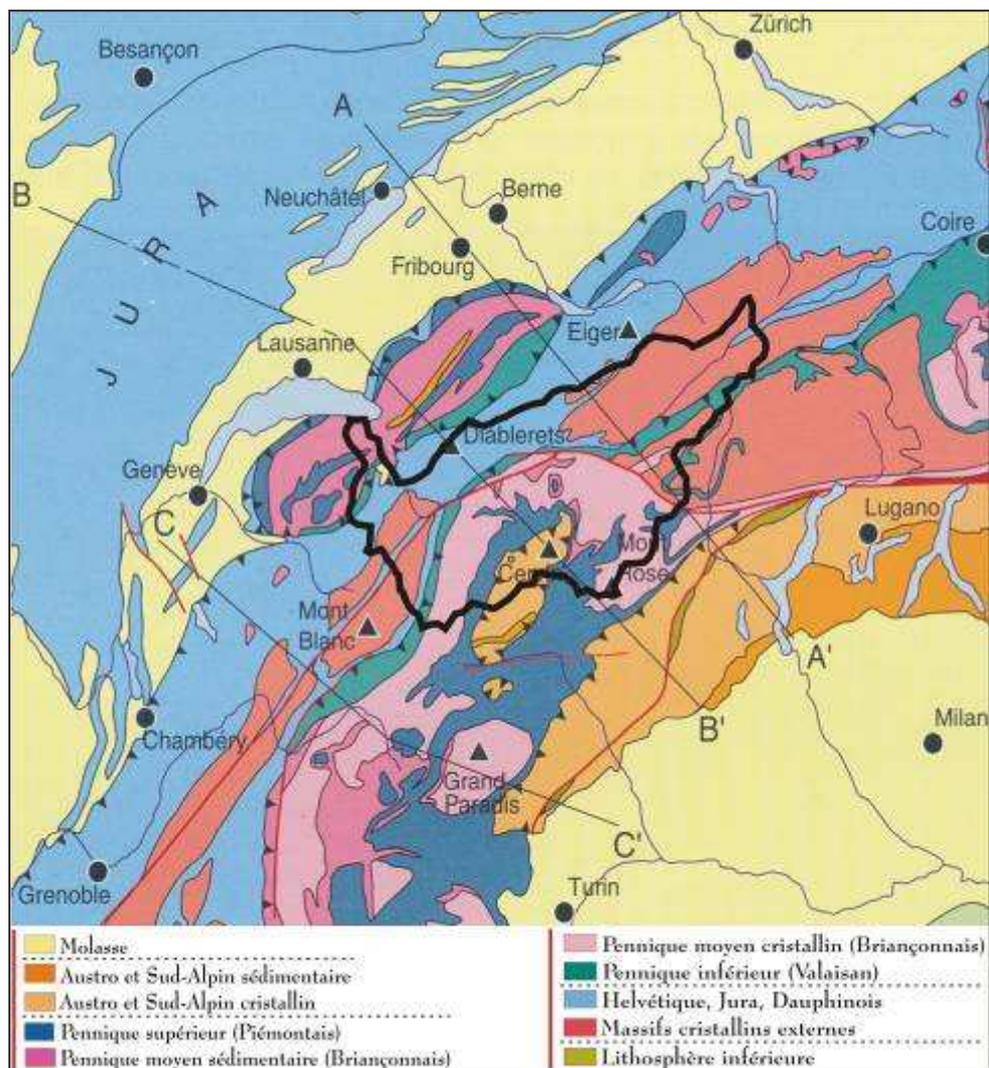


Figure 06 : Carte géologique simplifiée des Alpes occidentales
(agrémentée d'après "Le Cervin est-il africain?", par M. Marthaler)

Les principales zones alpines sont représentées :

- La zone helvétique (externe)
- La zone pennique (interne)
- La zone austro-alpine (orientale)

Les deux premières se rapportent au continent européen, tandis que l'austro-alpin correspond au microcontinent adriatique (Apulie), qui est en fait un appendice de l'Afrique (voir figure 07). Il faut en effet rappeler que les Alpes sont nées de la collision de ces plaques.

Si l'on regarde la situation il y a 100 Ma, on peut remarquer une disposition des continents et océans bien différente d'aujourd'hui. Ouvert 80 Ma plus tôt, l'océan piémontais (petite partie de l'immense Thétys), était déjà en train de se refermer. La presqu'île briançonnaise et le reste de l'Europe se rapprochait donc de l'Austro-alpin. Cette dérive de l'Ibérie écartait le bras océanique valaisan plus au Nord.

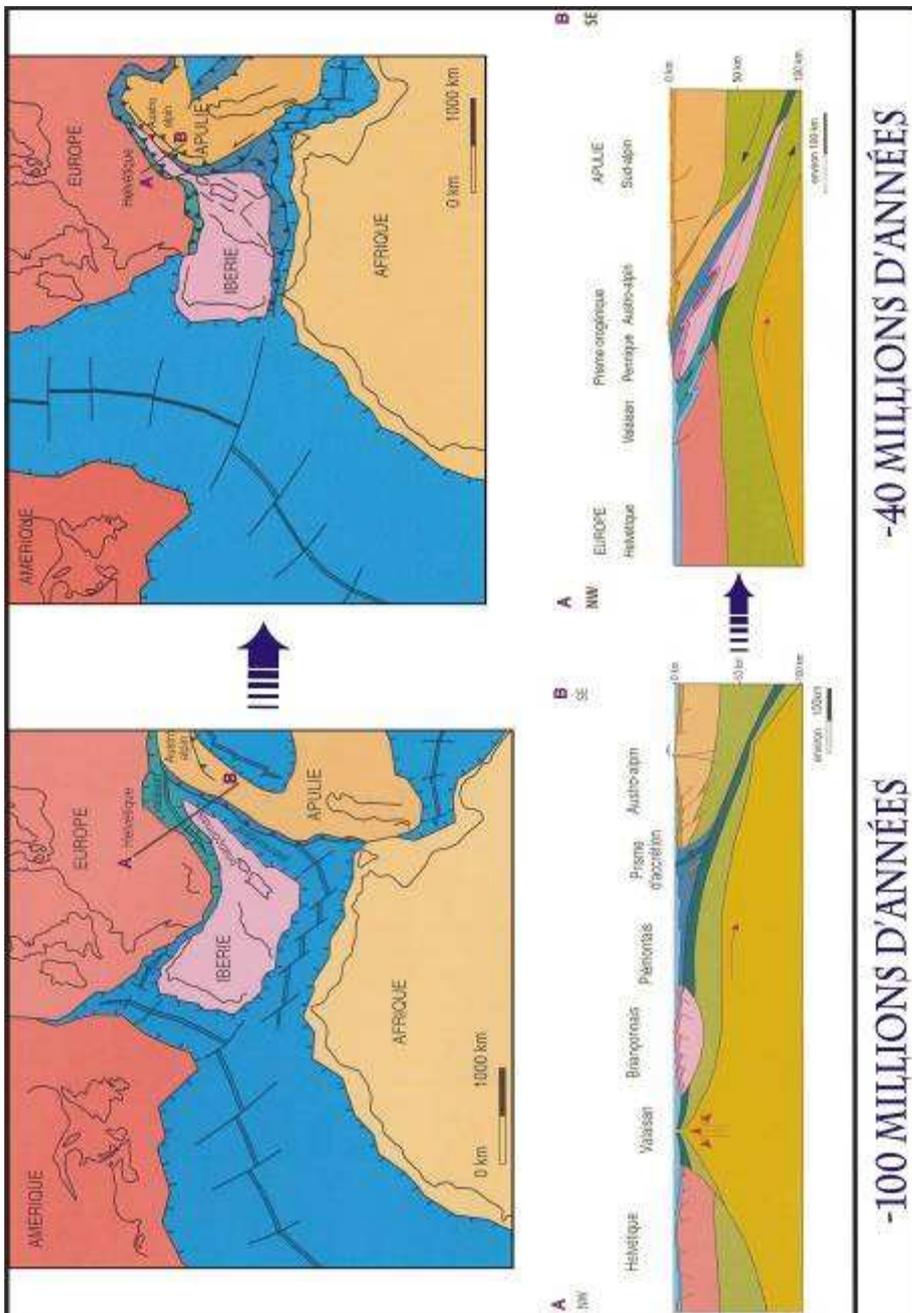


Figure 07 : La naissance des Alpes il y a 100 puis 40 millions d'années (schémas et coupes géologiques agrémentée d'après "Le Cervin est-il africain?", par M. Marthaler)

Soixante millions d'années plus tard, on commence à deviner les futures superpositions à l'origine de la chaîne alpine. Les croûtes océaniques piémontaises et valaisannes étaient entraînées en profondeur, c'était le début de la collision entre Europe et Apulie. Seuls le domaine helvétique et le bassin valaisan restaient encore un peu immergés. Le pourtour européen avait tendance à suivre la croûte océanique valaisanne et à plonger sous l'Apulie. Contrairement à l'impression donnée, ce n'est donc pas l'appendice de l'Afrique qui progressait en direction du Nord-Est vers l'Europe.

La reconstitution de l'enchaînement des événements géologiques passés découle de l'étude des structures actuelles, en voici un bref aperçu (voir figure 08) :

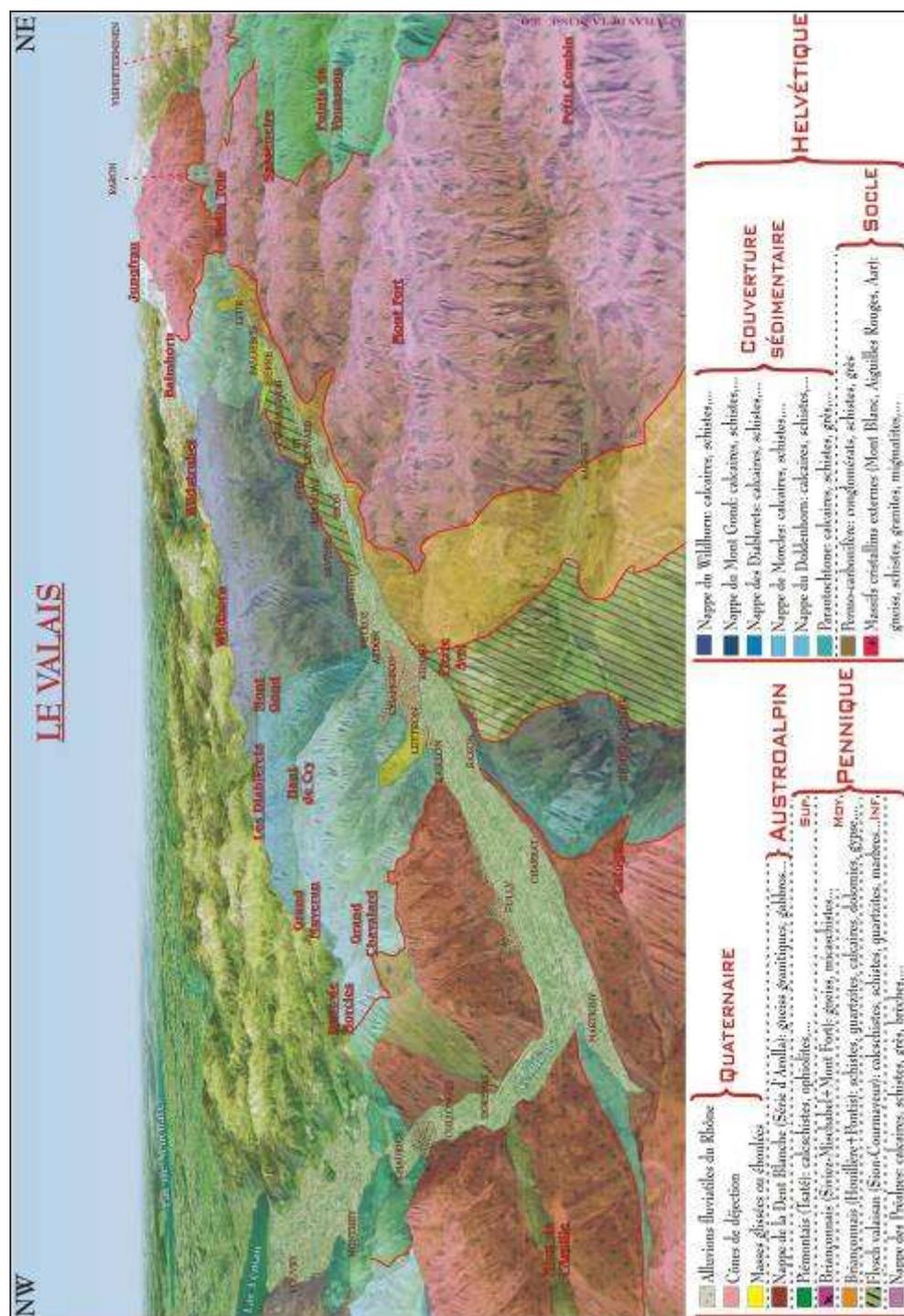


Figure 08 : Panorama géologique structural simplifié du Valais (agrémentée d'après l'Atlas de la Suisse 2.0, reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA071066))

1 - La zone dite **helvétique** occupe en Valais une bonne partie de la **rive droite du Rhône**. Elle comprend les massifs cristallins externes (socle) et leur enveloppe sédimentaire (calcaires accompagnés de niveaux marneux ou schisteux), c'est à dire les chaînes helvétiques. Le socle métamorphique hercynien apparaît là où l'érosion a décapé tous les terrains le chevauchant : les massifs de l'Aar, du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges.

Excepté une petite partie de la couverture qui est restée solidaire de ces massifs cristallins, la plupart des terrains des ères secondaire et tertiaire se sont décollés pour former les

"**nappes helvétiques inférieures**" (Doldenhorn et Morcles).
Celles-ci sont elles-mêmes chevauchées par les

"**nappes helvétiques moyennes et supérieures**" (Diablerets, Wildhorn). Ces nappes supportent à leur tour les

"**nappes ultrahelvétiques**", ayant une origine encore plus orientale. Toutes ces nappes sont ployées ensemble.

2 - La zone **pennique** s'étale globalement au sud du Rhône, selon un arc d'une centaine de kilomètres de longueur dont la convexité est tournée vers le Nord-Ouest jusqu'à l'Helvétique. On notera également la présence de ces terrains penniques dans le Chablais. Il s'agit de la nappe des Préalpes, c'est à dire de la couverture qui a migré vers le NW et qui apparaît par dessus l'helvétique, désolidarisée de son origine.

Ce domaine plus interne a subi des déformations encore plus importantes. Au contraire de la zone externe, le socle et son tégument (couverture sédimentaire) sont plissés ensemble et ont subi le même métamorphisme (excepté la nappe des Préalpes). Trois unités s'y individualisent.

✚ La "**zone valaisanne**" ou **zone de Sion-Courmayeur** est la première unité remarquable. Ces terrains à faciès de flyschs, de calcschistes et de calcaires gréseux ou conglomératiques (datés de l'Eocène ?) sont associés à des niveaux de brèches contenant des blocs résiduels de roches vertes. Ces métagabbros et serpentinites, qui affleurent en particulier dans la région de Zeneggen, sont témoins de l'existence d'un éphémère "**Océan Valaisan**", réduit dans l'espace et limité dans le temps (Crétacé), mais bien individualisé de la mer Téthys (voir figure 07, p22). Lorsque l'expansion océanique a cessé, les sédiments détritiques issus de l'érosion ont progressivement comblé le bassin marin en une succession de niveaux fins (argileux), grossiers (sableux) et même très grossiers à la faveur des courants de turbidité (-'avalanches' sous-marines). Le nom 'flysch', d'origine suisse, était employé dans l'Oberland bernois pour désigner des terrains qui glissent facilement sur les versants.

✚ L'**unité briançonnaise** se subdivise elle aussi en plusieurs nappes (Zone houillère, Pontis, Siviez-Mischabel, Mont Fort, Mont Rose). Elle est assimilée à un ancien microcontinent ou plutôt à une presqu'île appartenant à la marge continentale européenne. Représentée uniquement en rive gauche du Rhône, le gros des terrains est fait de gneiss et micaschistes qui constituent certains hauts sommets comme les Mischabel. Cependant, ces roches cristallines laissent la place (plus au Nord en se rapprochant du Rhône, dans les zones de vignobles) à des terrains d'origine sédimentaire comme des grès, schistes, gypses, calcaires, ...

✚ L'**unité piémontaise** est constituée de plusieurs nappes superposées (Tsaté, Zermatt-Saas Fee-Antrona), ultérieurement replissées avec les nappes briançonnaises. Ce sont des schistes 'lustrés' plus ou moins calcaires, accompagnés d'une semelle ophiolitique (roches vertes de l'Océan Téthys Ligure). Cette unité la plus élevée dans l'édifice pennique s'observe dans les fonds de vallées méridionales, sous l'austro-alpin.

3 - La zone **austro-alpine** n'est représentée dans le Valais que par la klippe de la Dent Blanche. Ce reliquat d' "Afrique", aujourd'hui isolé par l'érosion, forme une série de plusieurs sommets culminant au delà de 4 000 mètres, tel le Cervin (voir photo 01). Les gneiss granitiques et gabbros contrastent avec les ophiolites et schistes 'lustrés' du pennique sous-jacent.



Photo 01 : Matterhorn (Le Cervin)

Une coupe géologique profonde simplifiée permet de mieux percevoir l'agencement des unités structurales décrites, au sein de la chaîne alpine (voir figure 09). Un simple regard permet de comprendre que les zones les plus intensément déformées se situent justement en Valais. Hormis la disposition très perturbée des nappes, on remarque le résidu austro-alpin portant le Cervin, la Dent blanche ou encore le Weisshorn, ayant subsisté jusqu'à nos jours, au dessus du pennique.

La formation des Alpes ne s'est répercutée que par de légers plissements et chevauchements dans les calcaires du Jura, qui se raccordent d'ailleurs avec les chaînes helvétiques (bleu clair sur la coupe). C'est l'érosion qui a quant à elle engendré le remplissage d'un bassin molassique récent fait d'alternances gréseuses, marneuses, conglomératiques constituant le plateau suisse (jaune clair sur la coupe).

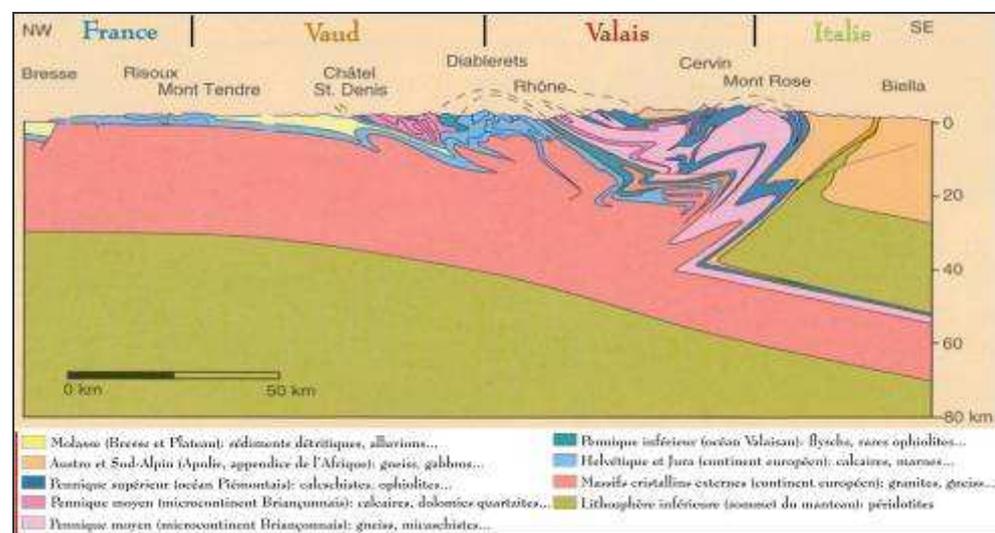


Figure 09 : Coupe géologique à travers les Alpes actuelles
(agrémentée d'après "Le Cervin est-il africain?", par M. Marthaler)

Des coupes et panoramas géologiques plus locaux seront présentées dans les parties spécifiques à chaque secteur.

2.2. LES PRINCIPALES ROCHES MERES

Nous les présentons depuis les plus anciennes jusqu'aux plus récentes (voir annexe 5.1.).

2.2.1. L'ERE PRIMAIRE (PALEOZOÏQUE: -540 A -245 MA)

Avec celles du Protérozoïque (époque précédant l'ère primaire), les roches du Paléozoïque forment les socles anciens sur lesquelles reposent les couvertures sédimentaires du Secondaire. Ces terrains très anciens datant de plusieurs centaines de millions d'années, ont pris naissance en profondeur (cristallisation de magmas) au contraire des roches sédimentaires édifiées généralement sous les mers. Elles ont ensuite subi de multiples déformations bien antérieures à la formation des Alpes. Ce sont principalement des roches plutoniques (granite, diorite,...) ou métamorphiques (migmatites, gneiss, schistes,...). Elles constituent par exemple, les **massifs du Mont Blanc, des Aiguilles Rouges, de l'Aar** et certaines parties des alpes valaisannes dont les principaux sommets. Ces vieilles roches cristallines acides (non calcaires) affleurent dans certains vignobles (**Fully** ou **Gampel** par exemple), mais on les observe plus souvent dans les moraines laissées par les glaciers.



Photo 02 : Migmatites, gneiss recouverts de loess à Branson (Fully)

Ces roches dures et massives sont trop lentement altérables, surtout sous le climat sec du Valais et ne donnent **jamais** directement de sols dans la zone viticole. Les quelques placages de sols cultivables que l'on y trouve (voir photo 02) sont toujours soit issus de **loess** (dépôts fins non caillouteux apportés par le vent, souvent légèrement calcaires, voir 1.2.4.2. p40) soit d'**éboulis** de pied d'escarpements, cristallins, calcaires ou mixtes. Il arrive même que les cônes d'éboulis soient très calcaires, si une barre calcaire existe en "seconde ligne" au dessus des gneiss qui n'ont alors plus aucune incidence sur les sols en contrebas. C'est le cas des terroirs de **Charrat** par exemple qui sont très calcaires alors que la commune est dominée par des gneiss et schistes cristallins, eux mêmes surplombés par des terrains calcaires.

D'autres formations de l'ère primaire sont visibles en particulier dans la région de **Collonges** et **Dorénaz** (voir photo 03). Ce sont des schistes, grès et conglomérats datant du Stéphanien et Permien (environ -300 Ma), époque à laquelle, ces sédiments se sont déposés dans de grands fossés ou dépressions au sein du socle cristallin des Aiguilles Rouges. Ces matériaux couleur vert-bleuâtre et lie-de-vin tapissent les vignes plantées sur les éboulis ou les cônes de déjection.



Photo 03 : Conglomérats à Dorénaz

De la même époque géologique, les schistes sombres ('houillers') et grès affleurent en rive gauche du Rhône (Pennique moyen). Ils concernent de petites surfaces de vignes de **Riddes** à **Bramois** et dans le **Vispताल**. Tantôt plus dures, tantôt plus schisteuses (débit ardoisier), ces roches sont très peu ou non calcaires. Ces niveaux sont souvent à l'origine de glissements de terrains superficiels et sont dans les coteaux viticoles presque toujours impliqués dans des tassements profonds. Les bancs rocheux apparaissent décomprimés, disloqués sous leur propre poids.

Type de matériau (horizon profond = roche mère du sol)	Code	Dureté	Débit	Efferv.	Couleur
Gneiss - granites	52	Très durs	Massifs	0	Variable
"Schistes des vignes" (Visp) et schistes gréseux	56	Durs	Plaques	0 à (+)	Gris sombre
Schistes graphiteux 'houillers' (Stalden)	57	Variable	Feuillets ou plaques	0 à (+)	Noire

Tableau 02 : Synthèse des roches mères de l'ère primaire

2.2.2. L'ERE SECONDAIRE (MESOZOÏQUE: -245 A -65 MA)

2.2.2.1. Le Trias (-245 à -205 Ma)

Le Trias représente une époque bien spécifique dont datent plusieurs roches très différentes. Une mer peu profonde est d'abord venue immerger les socles paléozoïques (ère primaire). Se sont ensuite déposés successivement des sables, des argiles fines, des calcaires et des évaporites (résidus d'évaporations de lagunes, riches en sels).

➤ Les sables, les mêmes qui ont gardé les empreintes de dinosaures à Emosson, ont donné en se soudant des **quartzites**. Ce sont des grès à ciment siliceux (non calcaire) constitués de cristaux de quartz compacts. Très massifs, ils prennent des teintes laiteuses, blanches, ou colorées en orangé par des oxydes de fer (voir photo 04).



Photo 04 : Quartzites à Flanthey (Lens)

➤ Les argiles déposées calmement à l'abri des courants et des vagues s'observent désormais, par endroit, sous forme de **schistes argileux** sombres, verts ou encore lie-de-vin.

➤ Les niveaux calcaires sédimentés au Trias, se retrouvent aujourd'hui fréquemment sous forme de dolomies, c'est à dire des calcaires magnésiens. Ces **dolomies** (voir photo 05) sont issues de calcaires, mais elles ont été transformées par remplacement partiel ou total de la calcite par de la dolomite.



Photo 05 : Dolomies à Charrat

Enfin, et appartenant toujours au Trias, les **gypses** se sont formés par évaporation des eaux marines surchargées en sels, dans des lagunes ou bassins peu profonds. Ce sont des sulfates de calcium hydratés de couleur généralement claire, blanche, orangée, jaune... Ils sont très solubles, friables et peu résistants, ce qui explique que les infiltrations d'eau le long de failles, aient pu dissoudre ces roches jusqu'à former un véritable réseau karstique. Les lacs souterrains de St Léonard sont d'ailleurs piégés dans les imposantes cavités laissées par la dissolution des gypses. En outre, ces terrains évaporitiques sont à l'origine de nombreux effondrements.



Photo 06 : Gypses à Vaas (Lens)

Ces niveaux ont enfin joué un grand rôle tectonique lors de la collision alpine, en favorisant les chevauchements d'envergure et la mise en place de nappes de charriages. Ces terrains ont d'ailleurs été baptisés "couches savon".

Dans les zones viticoles, peu de sols leurs sont directement attribuables en dehors de la région de **Saint-Léonard**, **Flanthey** et **Loc** (voir photos 06 et 07). Mais leur large contribution à certains éboulis sous **Nax**, entre **Grône** et **Bramois** est bien visible.



Photo 07 : Gypses à Vaas (Lens)

Type de matériau	Code	Dureté	Débit	Efferv	Couleur
Gypse	45 GY	Tendre		0 si pur	Blanc à orangé
Dolomies - marbres	43 D0	Très durs	Bancs	+ à (+) à 0	Gris beige
Quartzites	55	Très durs	Massif	0	Blanc laiteux à gris

Tableau 03 : Synthèse des roches mères du Trias

2.2.2.2. Le Jurassique (-205 à -135 Ma)

a/ *Le Lias (-205 à -180 Ma)*

Le Jurassique inférieur est marqué par des **alternances de schistes et calcaires**. Le bas de la série est plutôt dominé par des calcaires hétérogènes, tantôt marneux, tantôt siliceux. Ces calcaires sombres apparaissent en petits bancs avec des intercalations schisteuses (voir photos 08 et 09). Dans certains secteurs, comme Conthey ou Savièse, ces petits bancs sont entrecoupés de 'zébrures' blanches, qui sont en réalité d'anciennes fissures remplies de quartz ou calcite.

Le haut de la série, de tendance plus schisteuse, se rapproche de l'Aalénien (schistes noirs très tendres), au point qu'il est parfois difficile de les différencier. La plupart du temps, le Lias prend une patine grise et un débit schisteux ou plaqueté tandis que l'Aalénien, plus argileux, est plus sombre et plus feuilleté. Le Lias dans son ensemble est cependant nettement plus robuste à l'érosion, comme en témoigne la colline de l'Ardèche (communes de **Leytron/Chamoson**), véritable cœur liasique de la nappe de Morcles, entouré d'un 'fer à cheval' aalénien.



Photo 08 : Schistes calcaires du Lias (Saxon)



Photo 09 : Plaquettes et schistes calcaires du Lias (Saxon)

b/ *Le Dogger (-180 à -155 Ma)*

Le Jurassique moyen peut être résumé par 2 étages distincts : tout d'abord des **schistes argileux** évoqués précédemment datant de l'Aalénien et ensuite des **schistes mordorés** du Bajocien. Les terrains du Dogger sont pratiquement azoïques, c'est à dire qu'ils renferment très peu de fossiles. Ce sont des dépôts accumulés calmement au fond des mers et constitués de sédiments très fins.

Les schistes argileux de l'Aalénien forment une série très épaisse et très monotone. Ils ont une patine généralement sombre grise-noire, parfois argentée brillante car micacée. Leur débit est schisteux, voire feuilleté, mais pratiquement jamais en plaquettes. Ils sont si tendres, qu'ils sont friables à la main. Ils s'altèrent très facilement à l'affleurement et sont à l'origine de nombreux glissements de terrain, dont le plus important est celui de Produit/Montagnon sur la commune de Leytron. Ces terrains 'mous' et relativement plus argileux peuvent aisément se gorger d'eau (voir photo 10).

La morphologie similaire des coteaux viticoles en bord de Morge, Sionne et Liène est imputable à ce type de schistes. Une configuration identique (substratum schisteux + ou - argileux très incliné et torrent qui sape tout le versant à sa base) donne de nombreux glissements de terrains lents mais assez généralisés.

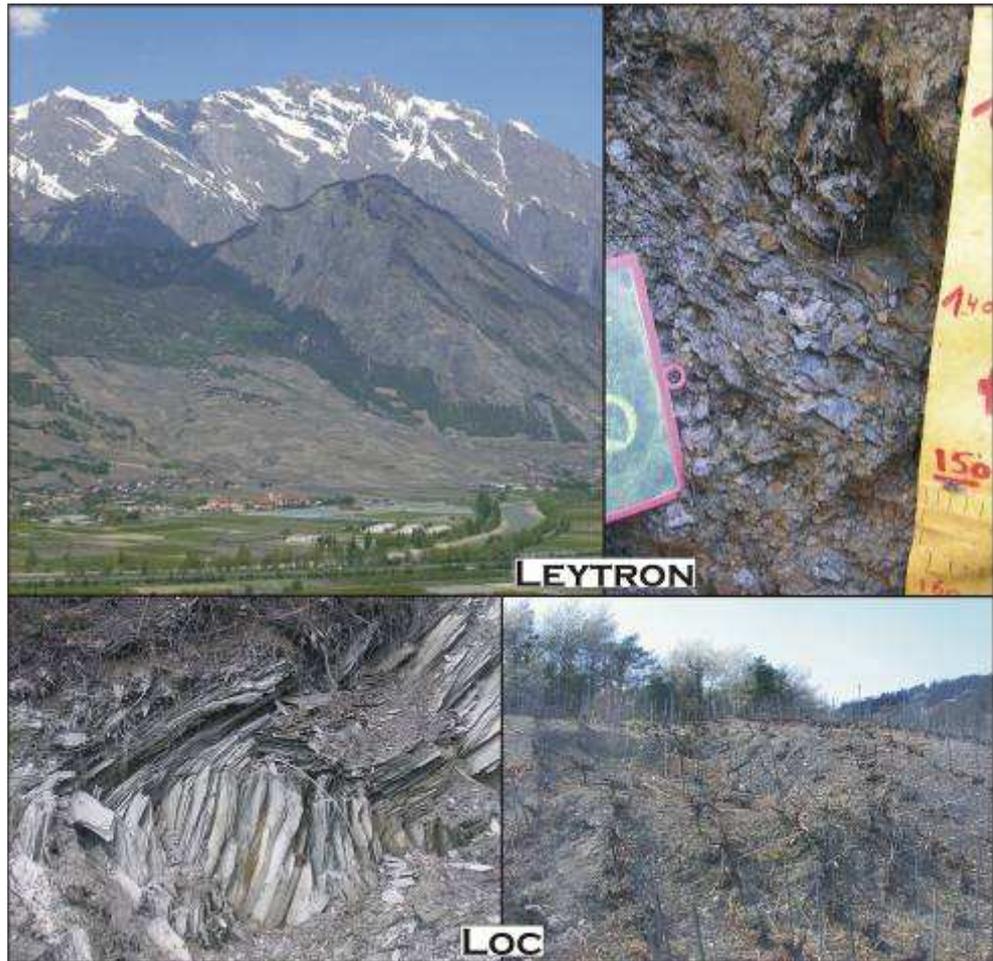


Photo 10 : Des schistes argileux à l'origine de glissements

Les schistes marneux du Bajocien sont bruns sombres à reflets roux ou dorés (d'où 'mordorés'). Leur patine rouille témoigne de la présence d'oxydes de fer (voir photos 11 et 12). Ils sont légèrement calcaires, alors que les terrains de l'Aalénien le sont très peu. Ils sont également plus gréseux et moins argileux. Leur débit en schistes et plaquettes leur confère une plus grande résistance que l'Aalénien.



Photo 11 : Schistes mordorés du Bajocien (Conthey)

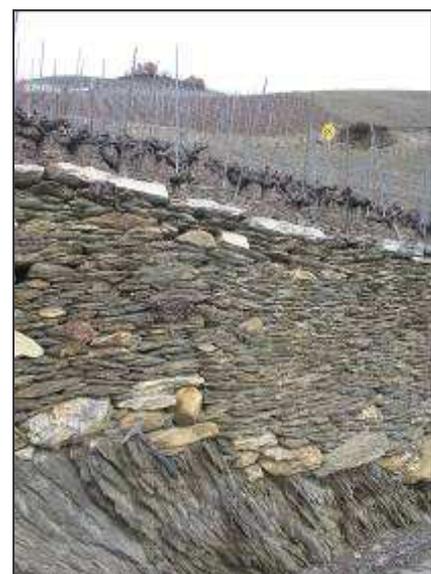


Photo 12 : Schistes mordorés du Bajocien (Conthey)

c/ Le Malm (-155 à -135 Ma)

Le Jurassique supérieur est presque exclusivement représenté par des **calcaires massifs** à patine claire et gris-bleu à la cassure. Ces calcaires fins et compacts constituent souvent de grandes parois ou barres bien visibles dans le paysage. Contrairement aux schistes, ils ont opposé plus de résistance à l'érosion en général, et glaciaire en particulier, c'est pourquoi l'on retrouve fréquemment ces roches polies ou moutonnées par le passage des glaciers. Localement, ces calcaires sont marmorisés, c'est à dire qu'ils ont subi un début de transformation en marbre (très léger métamorphisme). En recristallisant, les grains de calcite s'agrandissent et la roche prend alors un aspect un peu saccharoïde (sucre cristallisé).



Photo 13 : Calcaires massifs du Malm (Conthey)

Ces strates calcaires sont souvent trop dures pour qu'un sol puisse s'y développer. Elles n'interviennent que dans l'alimentation des éboulis et dans la structure topographique, expliquant les modelés rythmiques de certains coteaux comme **Vétroz/Conthey Ouest** (voir photo 13).

2.2.2.3. Le Crétacé (-135 à -65 Ma)

Dans le vignoble valaisan, le Crétacé n'apparaît guère à l'affleurement. Seul la première partie du Crétacé inférieur est repérable avec les **schistes** et **calcaires** du Berriasien/Valanginien, comme dans les secteurs d'**Ardon**, **Varen** ou **Loèche**. Le Valanginien, dit 'schisteux' correspond à une alternance de schistes sombres et de calcaires en petits bancs. Il est surmonté du Valanginien dit 'calcaire', (voir photo 14), gris, bioclastique (il contient de petits fragments de coquilles) et parfois assez massif.

Le reste de la série (Hauterivien, Barrémien, Aptien,...) peut éventuellement être observé dans des vignes plantées sur de grands éboulements chaotiques, où l'on retrouve des blocs métriques de ses rochers, comme à **Sierre**.



Photo 14 : Calcaires du Crétacé (Salquenen)

2.2.3. L'ERE TERTIAIRE (CENOZOÏQUE: -65 A -2 MA)

Certaines roches très symboliques sont datées approximativement du début de l'ère tertiaire (voire fin Crétacé). Ce sont les **calcschistes du flysch valaisan**. Appelés 'brisés' par les vigneron, ces schistes et plaquettes affleurent entre **Corin** et la crête des Maladaires à **Chateauneuf** avant de passer sous la plaine du Rhône pour réapparaître dans les hauts de **Riddes** et **Saxon**. Très découpés lors du passage du glacier, leurs lames grises-brunes verticales étroites, sur lesquelles grimpe le vignoble en vertigineuses terrasses à murs de pierres sèches sont une des signatures les plus visibles du Valais central avec les collines de **Sion** (ex : Clavaux, Montorge, Tourbillon, mais pas Valère qui est un ressaut de quartzites !).

Par définition, les flyschs sont des formations très hétérogènes car issues d'anciennes 'avalanches' sous-marines, alternant ainsi lits grossiers (gréseux) et lits très fins (argileux). Un œil habitué fera facilement la différence avec les autres types de 'brisés' appartenant au Lias ou au Dogger. Les calcschistes de la région sédunoise sont en général plus calcaires, plus durs, plus hétérogènes et leur patine est assez caractéristique (voir photos 15, 16 et 17).



Photo 15 : Alternances de schistes et plaquettes



Photo 16 : Débit en plaquettes



Photo 17 : Débit schisteux

Type de matériau	Code	Dureté	Débit	Efferv	Couleur
Calcaire indéterminé	40	Dur		+ à ++	
Calcaires durs	42	Très durs	Bancs	+ à ++	Gris bleutés
Calcschistes (Flysch)	44	Durs	Plaquettes	+ à ++	Gris, roux
Calcaires schisteux (Lias)	46	Durs	Petits bancs	+ à ++	Gris sombres
Schistes calcaires	47	Assez durs	Plaquettes	(+) à +	Gris, mordorés
Schistes calcaires	48	Assez tendres	Ardoises et feuillets	(+) à +	Gris, mordorés, gris noirs
Schistes argileux	49	Tendres	Feuillets	(+) à +	Gris noirs à argentés

Tableau 04 : Synthèse des roches mères liées aux calcaires

2.2.4. LES FORMATIONS QUATERNAIRES -2 MA A HIER)

Le Valais possède, de par ses reliefs escarpés, sa haute altitude et ses lithologies variées, un large éventail de **dépôts quaternaires** (morainiques, fluvio-glaciaires, glacio-lacustres, glissements, éboulements, laves torrentielles, loess, alluvions...).

2.2.4.1. Les dépôts liés au(x) passage(s) des glaciers

Le canton voit défilé durant la dernière glaciation « Würm », une langue de glace de près d'un kilomètre d'épaisseur, qui ne se retire qu'il y a moins de 15000 ans (hier...): le rôle du glacier du Rhône est donc fondamental :

- par son empreinte : il a découpé les roches de leurs sols anciens puis modelé le relief des vallées et de leurs coteaux (voir photos 18 et 19).



Photo 18 : Rochers moutonnés en amont d'Argentière (Haute-Savoie)



Photo 19 : Le monumental Glacier d'Aletsch

- par les dépôts associés à son passage : moraines au sens strict mais aussi dépôts de retrait glacio-torrentiels, et/ou sables et argiles litées lacustres. Les formations strictement morainiques sont plus rares à l'affleurement en Valais qu'on ne le pense car l'importance des pentes et la hauteur des reliefs encaissants ont induit depuis le retrait glaciaire d'importants glissements, mélanges, recouvrements d'éboulis, coulées boueuses ou cônes de déjections, qui les masquent en partie.

Selon les roches et les reliefs qu'il a chevauchés, le glacier aura eu un rôle soit :

➤ de dépôt assez épais : l'influence du sous-sol disparaît, les nuances morainiques prennent toute leur importance dans la constitution des sols, mais comme on le verra plus loin ils sont eux-mêmes fréquemment recouverts par des formations superficielles encore plus récentes.

➤ de rabotage complet : ce sont alors les roches anciennes qui sont directement à l'origine des séries de sol. Comme nous l'avons décrit plus haut ces roches sont différentes d'une commune valaisanne et d'une rive à l'autre mais ne seront **jamais** les mêmes que dans les cantons de Vaud, de Neuchâtel, ou de Genève car les roches sont ici beaucoup plus anciennes, variées et surtout beaucoup plus transformées par la compression alpine.

Extrêmement subtile et complexe, l'étude des formations glaciaires tient compte de leur mode et de leur période de dépôt par rapport à la progression ou la régression des glaciers. Il n'est pas toujours aisé de reconstituer les tracés glaciaires et d'attribuer une moraine à tel ou tel glacier.

Pour l'étude des sols, il est plus intéressant et surtout plus simple de regrouper les matériaux glaciaires selon les propriétés importantes qu'ils vont transmettre au sol : teneur en calcaire, finesse de la matrice, taux et nature des cailloux, et enfin compacité.

Le dernier maximum glaciaire remonte à 25000 à 30000 ans (voir figure 10). Le glacier du Rhône de l'époque envahissait toute la plaine molassique suisse (dite le Plateau), jusqu'au Jura et descendait même aux abords de Lyon. Dans le canton du Valais, seuls les sommets de plus de 2500m émergeaient de ce gigantesque glacier, qui est aujourd'hui réduit à l'extrémité du val de Conches dans le Haut-Valais.



Figure 10 : La Suisse sous les glaces (il y a 25 000 ans)

De très nombreux blocs erratiques témoignent de l'étendue considérable de la couverture glaciaire. L'ensemble des matériaux abandonnés par ce grand glacier est appelé "**moraine générale**". Les glaciers latéraux plus tardifs ont laissés des moraines qualifiées de "**moraines locales**".

Les **moraines locales** marquent les stades tardifs de la réavancée des glaciers (maximum -15000 ans) et remanient puis recouvrent, par conséquent, la moraine rhodanienne. Cependant, la disposition de leurs vallums (crêtes morainiques) se distingue de celle des dépôts de la moraine générale plutôt parallèles au fleuve. La composition pétrographique de ces moraines varie d'une vallée à l'autre, reflétant la composition du bassin d'alimentation de chaque glacier. Leurs différences de composition ont des conséquences sur les sols:

- ✚ Pour les **moraines locales** à cailloux **calcaires** que l'on trouve en rive droite, les redistributions calcaires (enrobages autour des cailloux, débuts de cimentation) sont très fréquentes. Au contraire de la décarbonatation, ce sont donc les phénomènes **d'accumulations de calcaire** qui vont dominer, pour des raisons climatiques et hydrologiques. Le calcaire total dans la terre fine est souvent supérieur à 40%. On trouve également **en rive gauche**, sur Saxon en particulier, des moraines locales avec des éléments calcaires dominants mais un peu plus de cristallins variés, de matrice assez calcaire et présentant de nombreuses formes de concrétionnements carbonatés.
- ✚ Pour les **moraines "du Mont Blanc"** présentes en amont du vignoble de Martigny au contraire les éléments grossiers sont à forte dominante cristalline et la fraction calcaire reste négligeable voire nulle sur les replats. Calcaire total dans la terre fine : traces ou moins de 15%.
- ✚ De même les **moraines** des vallées latérales du sud (**Val d'Hérens, Val de Réchy, Val d'Anniviers et Vispताल**) sont issues de formations penniques et de composition visiblement différente: roches vertes, matrice claire souvent riches en paillettes de micas blancs, modérément calcaires. Calcaire total dans la terre fine : traces à moins de 25%.

Les formations glaciaires ne se limitent pas à des moraines caillouteuses. On peut observer des moraines uniquement sableuses, des terrains fluvio-glaciaires graveleux, des dépôts glacio-lacustres fins plus ou moins lités ou enfin des moraines de fond très compactes (voir figure 11).

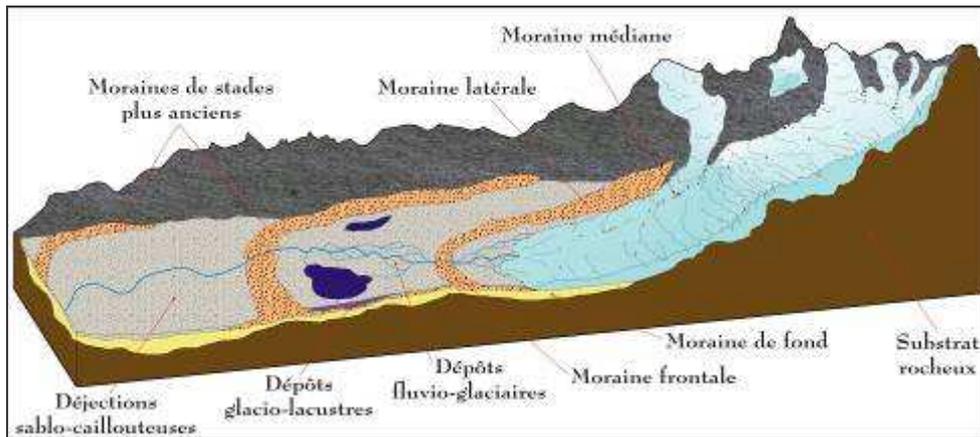


Figure 11 : Les différents types de dépôts glaciaires

Les **moraines de fond**, excessivement compactes, ont été trouvées progressivement un peu partout au fur et à mesure de nos prospections par profils. En effet elles étaient souvent masquées et peu reconnaissables à partir de la surface. Le glacier a pétri ses propres dépôts humides pour en faire un véritable béton (voir photo 20). (On ne procède pas autrement pour compacter des couches porteuses en génie civil).



Photo 20 : Echantillon de moraine de fond

Elles contiennent de 10 à 40% d'éléments grossiers, souvent des "dragées" lisses de calcaire noir, sont silteuses (particules très fines mais peu gonflantes), gris beige et ont un taux de calcaire total proche de 30%. Déposées sous les glaces, soumises à des fortes pressions (800 T/m²), elles sont non poreuses, massives, parfois vaguement fissurées selon des faces de compression (plans de discontinuités en lames obliques) et très compactes.

Les racines ne pénètrent pas ou très mal ce matériau. Elles semblent correspondre assez exactement à ce que les vigneron appellent les "terres béton", sauf dans la région de Sierre où ces "terres béton" correspondent à une formation d'éboulement très calcaire.

Elles sont bien présentes sur les plateaux de **Crans-Montana, Ayent, Grimisuat, Savièse, Conthey...et Lens (Valençon)**.

Les **moraines frontales, latérales, médianes** (d'ablation) associent en général des sols très caillouteux mais profonds à des formes de "vallum", buttes allongées convexes. En Valais, ces pierrosités typiques des moraines (boules, éléments de granites ou de gneiss et/ou calcaires mélangés, blocs erratiques) sont presque toujours associées à des matrices à textures sableuses contenant une bonne part de sables assez grossiers durs, "grattant" sous les doigts (voir photo 21).



Photo 21 : Talus de moraine latérale (St Léonard)

En Valais, on n'observe jamais d'acidification ni même de décarbonatation notable de la moraine rhodanienne (pluviométrie insuffisante) ni a fortiori des moraines locales de rive droite qui sont encore plus calcaires.

L'altération minérale sera moins intense que dans les autres cantons romands, et l'argillification reste très faible. Seules les moraines très locales du "Mont Blanc" sur Martigny ou des vallées de rive gauche, très peu carbonatées au départ portent des sols parfois neutres ou légèrement acides.

Encore plus sableuses et caillouteuses que les précédentes, les moraines dites fluvioglaciaires ou plutôt glacio-torrentielles, sont difficiles à déceler dès la surface. Plusieurs fosses creusées dans le cadre de l'étude en ont mis en évidence, mais bien souvent, ces profils se sont écroulés, du fait de la faible compacité et de la forte porosité (faute de terre fine). Déposées par les eaux de fonte glaciaire, elles présentent évidemment une très forte pierrosité dans une matrice sableuse généralement grossière et rare. On peut observer des horizons lenticulaires (voir photo 22) ou des litages (alternances de lits grossiers et de lits un peu plus fins). Placés par-dessus des moraines de fond très peu

perméables, ces terrains peuvent devenir de vrais drains où circulent les eaux d'infiltration. C'est le cas sur Conthey, vers St Séverin, par exemple.



Photo 22 : Dépôts glacio-torrentiels

Il faut encore noter en plusieurs sites (Chalais, Savièse, Veyras, Martigny) des formations non caillouteuses purement **sableuses**, un peu litées, **moraines sableuses** ou anciens petits lacs de retrait glaciaire piégés par le jeu des mouvements relatifs des glaciers latéraux. Comme toutes les formations glaciaires, qui sont les premières à s'être déposées après le retrait du glacier, ces sables sont largement masqués par des éboulis ou éboulement plus récents.

Nous avons donc classé les dépôts glaciaires (au sens large) en huit types de roches mères :

L'ordre des codes ne présente aucune logique, il est hérité de l'étude vaudoise et les codes ont été progressivement adoptés au gré de leur rencontre sur le terrain.

Type de matériau (horizon profond = roche mère du sol)	Code	Eléments Grossiers	Compacité	Calcaire total %	Calcaire actif %
Moraine rhodanienne caillouteuse	21	30-60%	Meuble (à variable)	20 à 25	2 à 7
Moraine locale cristalline Mt Blanc ou rive gauche	22	50 à 70%	Meuble	0 à 10	0
Moraine sableuse et dépôts glacio-lacustres sableux	23	0-15%	Variable (parfois lités)	5 à 20	0 à 7
Moraine de fond	24	<40%	Très compacte	30	5-10
Moraine locale calcaire	25	50 à 70%	Moyenne, souvent calcitisée	30 à 50	7 à 13
Moraine locale "pennique" à roches vertes	26	30 à 70%	Variable	<15	<2
Moraine de retrait et dépôts glacio-torrentiels caillouteux	27	60 à 90% + sables grossiers	Meuble	10 à 35	2 à 7
Dépôts glacio-lacustres lités	28	0	Lité horiz.	0 à 10	0

Tableau 05 : Synthèse des roches mères liées aux dépôts glaciaires

2.2.4.2. Les loess



Photo 23 : Talus de loess (Levtron)

Les loess (mot d'origine germanique qui signifie meuble, doux...) sont des dépôts plus disséminés mais cependant très remarquables. Ce sont des sédiments très fins et bien classés, accumulés par le vent (voir photo 23). Leurs gisements superficiels correspondent à la "terre d'Adonis" entre Charrat et Saxon, mais ils sont souvent enterrés. Leur mise en place s'est effectuée au cours de périodes froides, sous l'influence de vents secs. En Valais, leur phase de dépôt principale est probablement antérieure à la période chaude de -5000 ans. Les fines particules transportées en suspension dans l'air (sur plusieurs dizaines de kilomètres) sont piégées par une végétation herbacée dense dont les fines racines vont créer un fin réseau de pores très stables au fur et à mesure que le sol va s'épaissir en les enfouissant. Ils ont une couleur jaune à rousse et un aspect "doux" au toucher du fait de leur homogénéité et de leur finesse (taille du limon 2-50 μm).

Ces accumulations peuvent atteindre une dizaine de mètres dans les creux topographiques et sont localisées à la périphérie des anciennes calottes glaciaires. Cela traduit des conditions subdésertiques périglaciaires, puisque les surfaces dépourvues de couverture végétale, à la suite du retrait du glacier, étaient soumises à l'action du vent (voir figure 12).

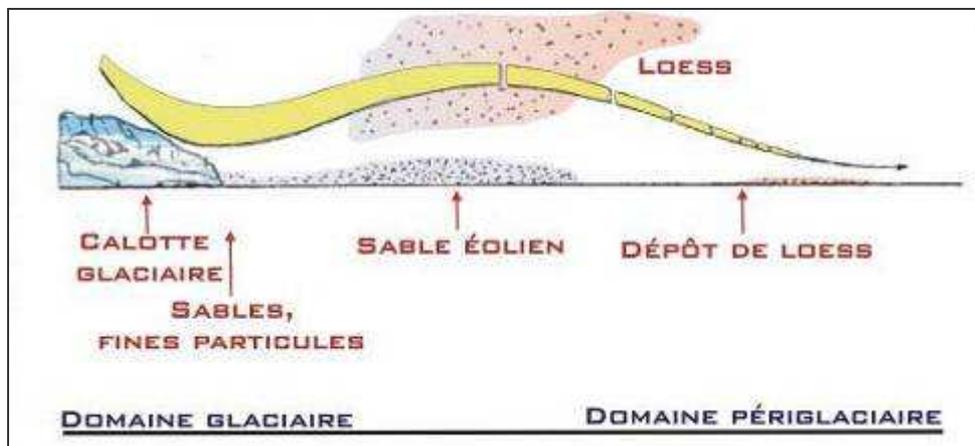


Figure 12 : Mode de dépôt des loess

(modifié d'après "Techniques de l'archéologie - Sols et prospections", par S. Lewuillon et H. Halbout)

Ce niveau est parfois absolument indétectable (voir photo 24), car masqué par un à deux mètres d'éboulis, parfois tout à fait visible dès la surface, bien épaissi sur plus de deux mètres, et plaqué dans les situations les plus variées (souvent replats ou combes, mais parfois des pentes fortes convexes). Dans de nombreux cas, en particulier dans les combes, il sera incorporé aux formations glaciaires et de versants, dont ils affinent la texture et augmentent le taux de terre fine. Les loess sont d'autant plus fins et silteux qu'ils viennent de loin, plus sableux quand ils sont très locaux.

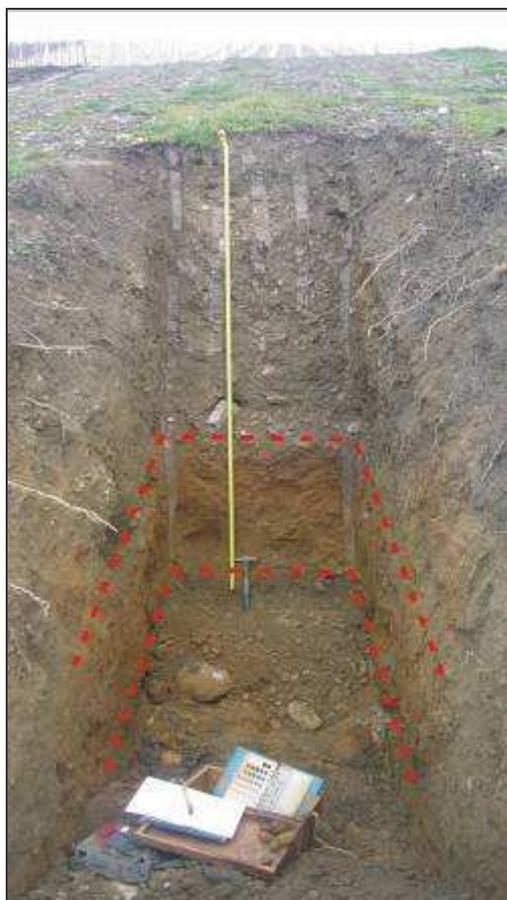


Photo 24 : Niveau de loess pur en profondeur (RAND01)

40 profils à roche mère essentiellement loessique ont été découverts. Mais près de cinquante autres profils comportent une influence plus ou moins nette de ce loess: depuis la couche rousse bien nette de plus de 40 cm jusqu'à de discrètes petites poches soit bien distinctes soit totalement mélangées aux couches encadrantes. Ce qui fait que près du cinquième des profils ouverts dans le cadre de l'étude Valaisanne est sensiblement influencé par ces loess. Ce pourcentage n'est pas proportionnel aux surfaces réelles: les loess attirent les pelles-rétro et surtout les pelles !

Pour d'autres raisons climatiques, les territoires subissent encore actuellement des saupoudrages un peu similaires de "poussières" en provenance du Sahara qui neutralisent d'ailleurs l'acidité naturelle des pluies et de la glace.

Depuis la naissance de l'agriculture, il y a plus de 5000 ans, les grandes migrations des peuplades d'agriculteurs ont souvent suivi les dépôts de loess. Les agriculteurs valaisans eux-mêmes seraient-ils montés aussi haut pour mettre en culture des parcelles presque inaccessibles, s'ils n'y avaient pas trouvé la douce terre qui leur manquait tant plus bas dans les pentes ?

2.2.4.3. Éboulements, tassements, glissements

Compte tenu des reliefs très prononcés, le Valais a subi de nombreux **éboulements** historiques. Ceux-ci peuvent mettre en jeu plusieurs dizaines de millions de m³ de matériaux. La présence de terrains tendres ou intensément fracturés, des secousses sismiques ou même de brusques changements météorologiques, en sont généralement la cause. L'instabilité est accentuée par le pendage des terrains, généralement, très incliné de part et d'autre de la vallée du Rhône.

Le déséquilibre entraîné par la fonte des glaciers (environ -10 000ans), sur les parois abruptes de la vallée du Rhône, provoqua des éboulements en masse, pouvant s'étendre sur des kilomètres et obstruer la vallée (éboulements du Bois de Finges sur les communes de Sierre et Salgesch, voir photo 25).

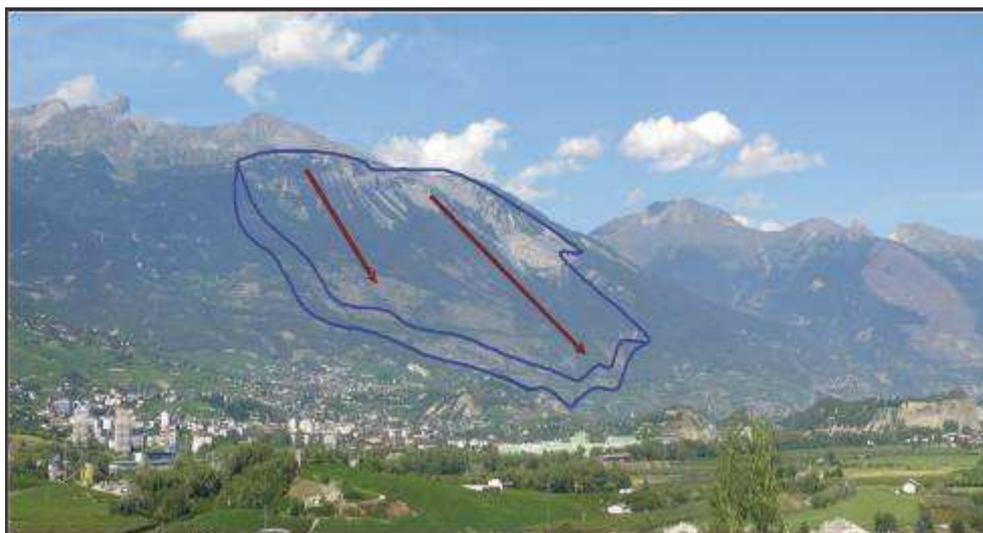


Photo 25 : Eboulement de Sierre, esquisse de la dalle écroulée

Les matériaux ainsi "réorganisés" forment de nouvelles roches mères

Type de matériau (horizon profond = roche mère du sol)	Code	Éléments Grossiers	Compacité	Calcaire total %	Calcaire actif %
Éboulement très caillouteux	17	50 à 95%	Compact à très compact	60 à 98	4 à 15
Éboulement caillouteux (Loèche)	15	40 à 60%	Compact à très compact	50 à 70	4 à 15
Éboulement caillouteux	14	40 à 60%	Compact à très compact	60 à 98	4 à 15
Éboulement peu caillouteux	11	20 à 40%	Compact à variable	50 à 80	15 à 20

Tableau 06 : Synthèse des roches mères liées aux éboulements

Encore de nos jours, les écroulements et éboulements sont courants, notamment dans les hautes vallées, mais ceux-ci sont, malgré leur violence destructrice, sans comparaison avec les éboulements survenus lors de la déglaciation post-würmienne.

Les versants du Valais sont également soumis à des mouvements lents de tassements ou de glissements. Bien que peu visibles, les **tassements** sont à prendre au sérieux, du fait de leur ampleur. Les déformations causées étant très lentes, ces phénomènes furent longtemps ignorés.

Pourtant, ces affaissements de masse sont presque de règle dans les versants raides. Ils affectent les terrains sur de grandes épaisseurs. Les formations les plus propices aux tassements sont les schistes noirs (houiller), les marnes schisteuses (Aalénien) et les gypses (Trias). Ces derniers sont par dissolution à l'origine de cavités souterraines, de dolines ou de véritables effondrements de surface.

D'autre part, certains tassements peuvent évoluer en **glissements** de terrains. Les glissements sont plus répandus dans les formations penniques plus métamorphisées (transformation des minéraux) qui contiennent souvent des micas.

Pourtant, deux des plus gros glissements du canton (Produit/Montagnon et Boup) prennent leur origine respectivement dans les marnes schisteuses aaléniennes et dans les gypses triasiques (Helvétique). L'action mécanique et chimique de l'eau dans des terrains peu perméables (marnes schisteuses) ou solubles (évaaporites) engendre ces déformations.

Comme il a déjà été précisé dans le paragraphe concernant les éboulements, les instabilités sont accentuées par les pendages, généralement, très inclinés. Ceci facilite l'infiltration d'eau et le décollement des couches.

L'influence des mouvements peut se faire à plusieurs niveaux : en profondeur ou seulement superficiellement (voir figure 13).

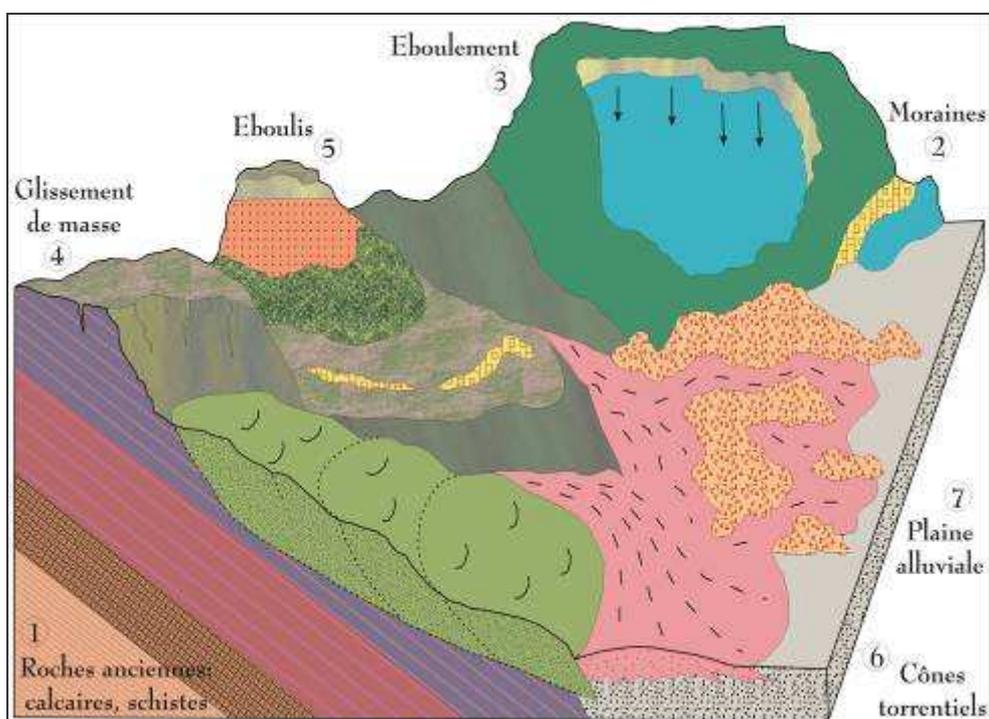


Figure 13 : Bloc diagramme schématique : les principales formations superficielles
(correspond assez à la région sierroise)

Les coulées boueuses et les laves torrentielles sont plutôt rares actuellement dans la vallée du Rhône, en raison de la pluviométrie peu élevée (peu d'orages violents) et de l'aménagement des torrents. Malgré tout, ces phénomènes ont probablement intensivement modifié la morphologie des coteaux par le passé.

Ces mélanges de blocs et graviers, combinés à un fluide visqueux (eau + sédiments fins) se rassemblent dans le lit du torrent. La forte densité de ces écoulements, alliée à une vitesse élevée, en fait un agent dévastateur, capable de charrier des pierres, des arbres, ...etc. Lorsqu'elle s'arrête, la coulée ou lave sèche sur place et peut former une masse plus ou moins compacte (exemple de la coulée de Fully en octobre 2000).

2.2.4.4. Les éboulis et cônes de déjections

De manière moins cataclysmique, les alternances de gel/dégel fragmentent progressivement les roches, ce qui alimente petit à petit les éboulis.

Là encore comme les racines pénètrent considérablement dans l'éboulis brut, il est important de les classer au départ selon l'importance et la nature de leur fraction grossière. A priori cette catégorie ne regroupera que des formations superficielles meubles et notablement caillouteuses. Dans l'ordre des chiffres:

61 : Formations moyennement caillouteuses des parties inférieures de pentes et de cônes de déjection à éléments calcaires très dominants.

Pierrosité de 30% à 60%, calcaire total de la terre fine variable, (moyenne 30%) texture souvent un peu plus fine que celle des pentes amonts.

62 : Cailloutis de cônes de déjection calcaire, pentes modérées à moyenne (ex : Charrat) régulières formant de larges éventails et partant d'un chenal étroit.

Pierrosité de 50% à 90%, calcaire total 30 à 60% (moyenne 40%), terre fine légère à moyenne (peu de sables grossiers en général sauf à proximité des chenaux torrentiels).

63 : Voiles d'éboulis à forte dominante calcaire, en pente forte, en général proche de 60% et courte sous escarpements (très grands : hauteur supérieur à 30 mètres ou de taille moyenne : 20 à 30 mètres).

Pierrosité supérieure à 60%, calcaire total supérieur à 30%. (moyenne 45%)

64 : Eboulis complexe avec en surface une pierrosité mélangée arrondis/émoussés de moraine et de calcaires anguleux. A l'ouverture du profil on remarque très souvent que le fond est plutôt morainique et sableux, alors que la surface est plutôt à dominante d'éléments d'éboulis anguleux. Lorsqu'un niveau de loess s'intercale entre ces deux dépôts on se trouve devant la "trilogie valaisanne" qui sera développée plus loin (voir figure 14).

Quand les éléments arrondis sont enrobés de calcite (croûte blanchâtre de fins cristaux, parfois uniquement sur une face du cailloux) il y a très souvent début de cimentation calcaire de l'horizon morainique profond.

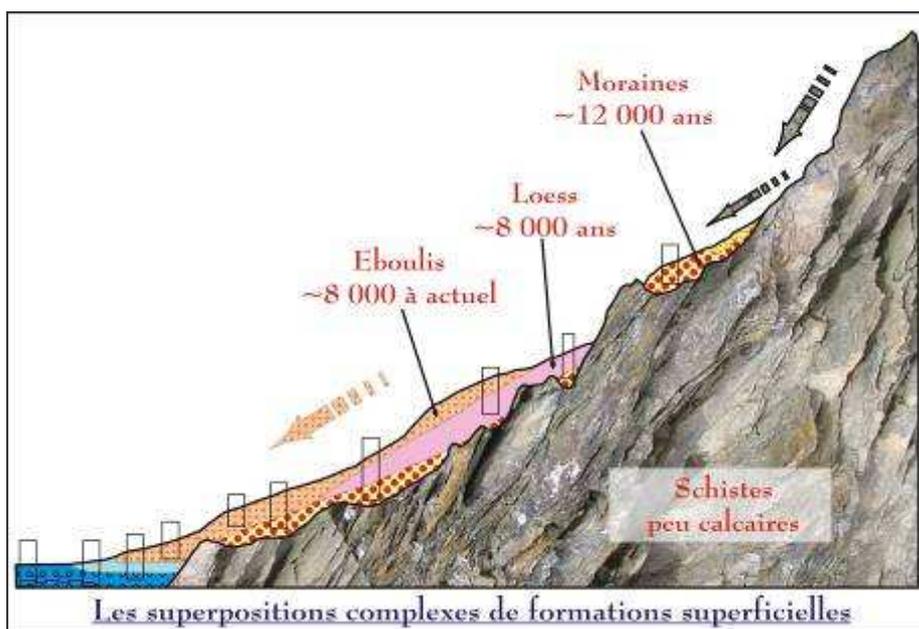


Figure 14 : Exemple de superpositions de formations quaternaires récentes

65 : Mélange caillouteux variés moins calcaires en moyenne (15% en surface 20% en profondeur) que les 64: émoussés de moraines, anguleux cristallins, anguleux calcaires. Même remarque qu'au dessus concernant les croûtes calcaires autour des cailloux mais elles sont plus rares dès que le pourcentage de cailloux calcaires devient minoritaire.

66 : Equivalent en éboulis essentiellement cristallins des **61** (texture un peu plus fine, position de bas de pente ou de combes, moins de cailloux).
Pierrosité de 30% à 60%, calcaire total 0 à 18% max (moins de 10% en moyenne sur nos analyses).

67 : Equivalent en éboulis cristallins des **62** et **63**.
Pierrosité supérieure à 50%, calcaire total 0 à 7% sauf exception signalée), terre fine souvent sablo-limoneuse à fines plaquettes micacées.

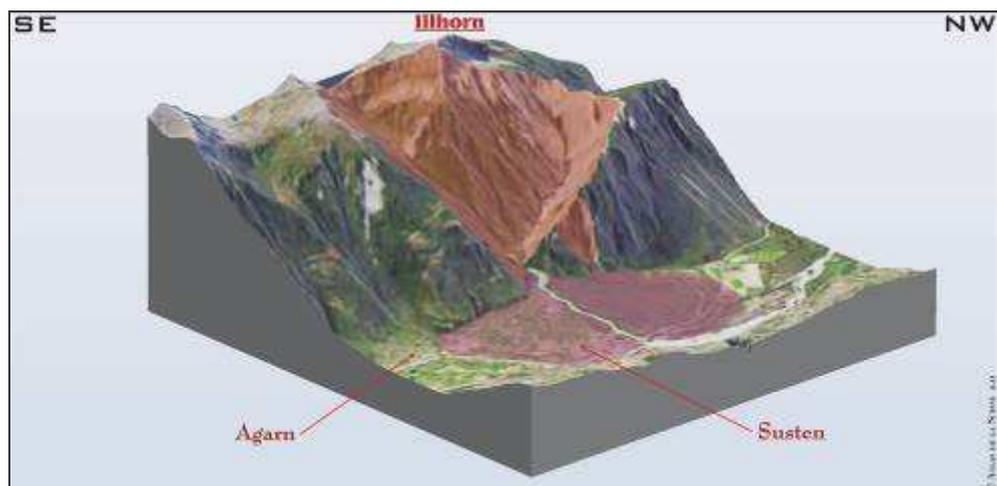
68 : Code libre réservé à des cônes ou éboulis de roches peu calcaires et en plaques ou plaquettes (souvent très schisteux sombres)

69 : Cônes limoneux de pente notable de 10 à 20%, à horizons caillouteux de profondeur uniquement (ex : Bien calcaire sur Chamoson/leytron, non sur Riddes)

[88] : Les cônes torrentiels très caillouteux et sableux, mais peu pentus sont affectés d'un code de la classe **[8]** car ils font transition avec les alluvions récentes.

Les cônes de déjection sont particulièrement nombreux et spectaculaires. Leurs éléments grossiers sont plus émoussés, voire arrondis que ceux des éboulis et le tri des particules fines est organisé différemment car leur transport s'est fait en phase liquide. Ces cônes torrentiels sont localisés aux embouchures de gorges plus ou moins étroites (étranglements). En amont, les entonnoirs de réception, rassemblent les eaux météoriques (voir figure 15).

A leur arrivée en plaine, lorsque la pente s'adoucit, les torrents perdent de la vitesse et abandonnent ainsi leur charge sédimentaire (produits de l'érosion). Ces dépôts représentent des volumes variables, des plus importants (Chamoson, Illgraben: 400 à 500ha) aux plus modestes (quelques ha).



*Figure 15 : Cône de déjection de l'Illgraben
(agrémentée d'après l'Atlas de la Suisse 2.0, reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA071066))*

Ces cônes ne sont pas non plus tous identiques du point de vue de leur granulométrie ou de leur minéralogie. En fonction de leur origine, certains sont plus caillouteux alors que d'autres sont plus limoneux par exemple. Au sein d'un même cône, les niveaux fins et grossiers s'interpénètrent selon les divagations anciennes du chenal à la surface de celui-ci.

On remarque en outre, que les abords du chenal d'écoulement du torrent sont toujours plus gravelo-sableux, car plus lavés. On peut également observer une certaine décroissance granulométrique de l'amont vers l'aval. En effet, les graviers et sables grossiers seront abandonnés plus tôt que les particules fines qui s'accumuleront plus loin. C'est pourquoi (en théorie) les cônes sont plus limoneux dans les bas de pente. Ils peuvent de surcroît être colluvionnés dans la partie raccord avec la plaine alluviale.

Leur morphologie bien remarquable de larges éventails réguliers à pente douce s'étale sur les **alluvions du Rhône** de part et d'autre de la vallée. Etant donné la puissance de ces apports torrentiels, certains ont même dévié le cours du fleuve.

Type de matériau (horizon profond = roche mère du sol)	Code	Éléments Grossiers	Nature des cailloux	Calcaire Total %	Calcaire Actif %	Argile %
Loess	60	0		0 à 20		8 à 20
Dépôt moyennement caillouteux	61	30-50%	Tous calcaires ou dominants, toutes formes	20 à 45	2 à 7	10 à 25
Cône très caillouteux	62	50 à 70%	Tous ou dominants calcaires anguleux	30 à 5%	4 à 10	10 à 20
Pentes d'éboulis	63	60 à 80%	Tous calcaires, anguleux	30 à 60	3 à 10	5 à 15
Pente à Trilogie de dominante calcaire	64	40 à 70%	Anguleux sur arrondis (+loess)	15 à 40 sur 30 à 60	3 à 10	variable
Pentes d'éboulis mixtes ou à trilogie	65	40 à 60%	Calcaires et cristallins plutôt anguleux	10 à 20 sur 15 à 40	0 à 8	10 à 18
Dépôt moyennement caillouteux	66	30 à 70%	Tous cristallins anguleux	<15	<2	10 à 15 + Micas
Pentes d'éboulis de cristallins	67	60 à 90%	Tous cristallins anguleux	<10	<2	5 à 10 + Micas
Eboulis particuliers	68	50 à 70%	Anguleux aplatis	5 à 30	2 à 5	8 à 15 +Micas
Cônes parfois non caillouteux	69	0 à 20% sur 0 à 80% en profondeur		0 à 55	0 à 12	12 à 30
Cônes torrentiels à peine pentus	88	70 à 90%	Émoussés arrondis	0 à 50	0 à 5	2 à 10

Tableau 07 : Synthèse des roches mères liées aux éboulis et dépôts post-glaciaires

2.2.4.5. Les alluvions du Rhône

Elles atteignent par endroit des épaisseurs monumentales. Pour preuve, certains sondages, en particulier à Martigny, ont rencontré près de 1 000 mètres de dépôts glaciaires et fluviatiles, ce qui place le substratum en dessous du niveau de la mer.

Parfaitement planes, elles présentent en réalité de très grandes hétérogénéités liées à trois facteurs distincts :

- la granulométrie : on passe en quelques mètres de chenaux de purs graviers sans terre fine à des limons gris ou bariolés sans cailloux. Des intercalations de niveaux limoneux noirs d'anciens marécages sont également possibles.
- la profondeur de la nappe phréatique de fin de printemps qui varie de quelques décimètres à plusieurs mètres.
- les transformations et grands travaux liés aux deux corrections du cours du Rhône 1863-1894 et des années 30 à 60.

"Aubaine et calamité pour le Valais... à de nombreux endroits, surtout dans le Haut-Valais et dans le Valais central, le Rhône se ramifiait à de nombreuses reprises, creusant différents lits et donnant naissance à de vastes paysages alluviaux. Il s'étendait parfois sur presque toute la largeur de la vallée, comme c'était encore le cas à Sion vers 1840 (carte Dufour Swisstopo, 2003)... Peu de temps après, le Rhône déborda en effet de nouveau, nécessitant une nouvelle correction entre 1930 et 1960".

2.2.4.6. Les colluvions

Enfin, "nos" **colluvions** ne prennent place que dans les bas de pentes, zones concaves et sur quelques larges replats stables. Elles correspondent à l'accumulation gravitaire des fractions les plus fines et les plus fertiles érodées depuis les versants dominants.

Type de matériau	Code	Pierrosité
Alluvions limoneuses	81	0%
Alluvions sableuses	82	0%
Alluvions caillouteuses	83	30 à 60% ou 0/>60%
All. très caillouteuses Rhône	84	>60%
Cônes torrentiels plats	87	>70%
Colluvions fines	91	0 à 20%
Colluvions sableuses	92	0 à 20%
Colluvions caillouteuses	93	15 à 40%
Remblais	99	--

Tableau 08 : Synthèse des roches mères liées aux alluvions et colluvions

2.2.5. LES TRANSFORMATIONS HISTORIQUES

Il y a des différences de nature entre les interventions décrites dans ce paragraphe. Les terrasses sont clairement indissociables de la notion de terroirs de pente. A l'opposé, certains aménagements sont des transformations ou des palliatifs agronomiques masquant ou modifiant totalement les terroirs naturels. Il n'est pas de notre responsabilité de positionner le curseur entre ces deux extrêmes.

2.2.5.1. Influence des vigneronns sur les sols

Il est impossible de ne pas tenir compte de l'influence des vigneronns dans la formation des sols, tant les aménagements ont été nombreux. Par le passé, les méthodes d'irrigation et culturales étaient différentes. La vigne s'irriguait par gravité (ruissellement). De nombreux torrents ont ensuite été enfouis ou détournés.

Au fur et à mesure, dans les fortes pentes, des terrasses ("tablars") ont été construites avec des murs en pierres sèches, ancrés sur les crêtes affleurantes. La terre est rajoutée en amont du mur pour remplir la terrasse.

Les vignes gagnent véritablement sur le rocher (voir photo 26). Sur les replats ou les pentes modérées, rendues accessibles par une voirie moderne, les parcelles sont découpées par des murets plus petits, de plus en plus supprimés.



Photo 26 : Tablars gagnés sur les rochers (Clavaux)

Les faibles surfaces d'exploitation ont autorisé des interventions très intensives (épierrages, bris des cailloux, apports de fumiers, de tourbes...). Plus récemment, les moyens mécaniques ont permis des terrassements, nivellements, apports massifs de terre ou gravelages. Tout ceci étant aussi fonction de l'accessibilité, de la pente, des pierres disponibles et des moyens financiers ou humains mis en œuvre. Le problème de ces remaniements complets est que le comblement des concavités et l'arasement des buttes accentuent les contrastes de sols au lieu de les atténuer. Les sols des dépressions deviennent encore plus profonds et les sols de convexités sont, au contraire, encore plus minces, d'où une hétérogénéité nouvelle.

De gros aménagements ont été effectués pour lutter contre les gelées. En effet, certaines parcelles de creux topographiques ou de plaine subissent le gel d'hiver. L'air froid descend le long des coteaux et se stabilise dans les dépressions même peu marquées. Les vignes trop souvent atteintes sont en partie comblées par apports de matériaux variés, afin de donner une légère pente facilitant l'évacuation de l'air froid (voir photo 27).

Au final, ces transformations rendent moins lisible le "terroir" initial et compliquent nettement le travail du cartographe.



Photo 27 : Apports massifs de remblais sur toute la parcelle d'une vigne gelée (Sion)

2.2.5.2. Différents aménagements rencontrés en Valais

Dans les **pent**es fortes supérieures à 40%, à nombreuses têtes rocheuses les sols excessivement pierreux, avec cailloux **plats** "faciles" à appareiller sont anciennement aménagés en étroites terrasses construites, avec murs en pierre sèches ancrés sur le rocher sain, parfois plus hautes que larges. Le remplissage atteint alors plus de 2,50 mètres à l'aval des terrasses, presque toujours plus de 1m50 même à l'amont, ceci grâce à la forte inclinaison des bancs rocheux en place (voir figure 16).

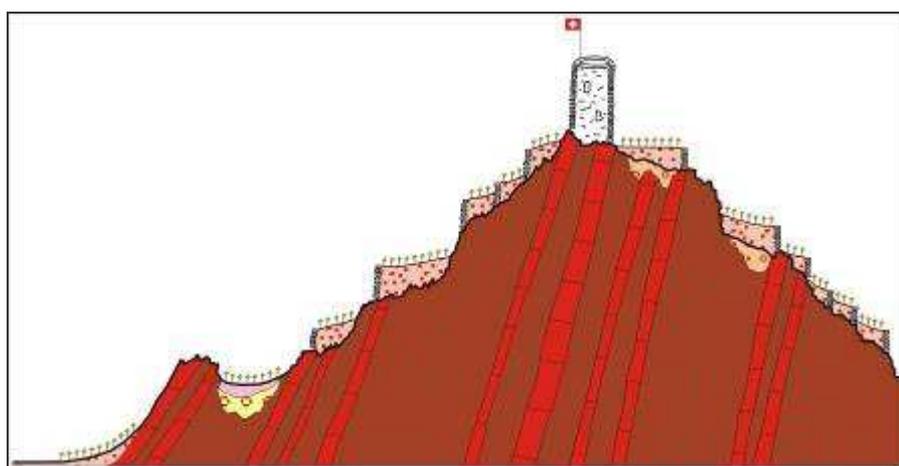


Figure 16 : Schéma de tablars en pierres sèches construits sur crêtes rocheuses (Type 'Clavaux')

Une certaine homogénéité des sols est ainsi recrée par rapport à l'état initial naturel. La partie très proche du mur aval est souvent plus sèche malgré la plus grande profondeur de sol (assèchement des zones profondes du sol par les interstices du mur). Les sols étant en général très pierreux sur toute leur profondeur et très perméables et drainants, il n'y a pas création de surpoids par l'eau, sauf accident.

Mais attention, on a observé assez fréquemment que des sols d'éboulis de plaques recouvrent des niveaux de loess (sans cailloux donc susceptibles de stocker plus d'eau) puis de moraines souvent compactes et calcitisées, ou pire, des moraines de fond nettement moins perméables.

Dans les pentes fortes avec pierres arrondies de moraines visibles dès la surface, les murs sont nécessairement maçonnés, avec des apports de pierres extérieures en plaques, plus stables. Ils sont moins durables car plus difficilement ancrés en l'absence d'affleurement rocheux (ou alors sur un matériau compact de type "terre béton", ou moraine de fond). Sur les matériaux de type moraine de fond, peu perméables, il y a des risques de surpoids si le sol est trop approfondi ou si un drainage parfait n'est pas assuré en amont. De grands versants moyennement pentus de moraine de fond ont cependant été bien approfondis par gros engins sur Savièse.

Dans les pentes fortes peu pierreuses, des banquettes sans murs sont depuis quelques années dessinées selon les courbes de niveau par des artistes de la pelle-rétro. Ces édifices sont assez étonnants pour les observateurs extérieurs, surtout celui (ou celle) qui vient de zones connaissant des pluies diluviennes de type méditerranéennes. Des mises à niveau parfaites et un drainage efficace sont évidemment la condition sine qua non de stabilité de ces terrasses.

Sur les replats ou les pentes modérées (moins de 30%) rendues accessibles par une voirie moderne, modelage en banquettes sans renforts de murs, disposées selon les courbes de niveaux, nivellement, ripages profonds, apports de terre et gravelages massifs rendent souvent moins lisible le "terroir" initial.

Contrepartie déjà signalée de la diminution importante des coûts de production, une fois les investissements réalisés, apparaît alors parfois une hétérogénéité nouvelle car le comblement des concavités et l'arasement des buttes et des convexités accentuent évidemment les contrastes de sols au lieu de les atténuer. De plus les replats sont plus concernés que les pentes car plus faciles d'accès, d'où la différence d'aspect croissante entre les "vieux vignobles traditionnels" et les vignobles modernisés (voir photo 28).



Photo 28 : Remaniement complet du coteau (Miège)

Dans les pentes bosselées, peu rocheuses, humides, les glissements restent actifs, malgré des essais de stabilisation par murs bétonnés entièrement artificiels. Seul un drainage bien réalisé (demandant de gros investissements) peut espérer contenir ou tout du moins ralentir un glissement de grande ampleur.

2.2.6. L'IRRIGATION ACTUELLE ET PASSEE

Justifier l'irrigation n'est pas de notre ressort mais deux considérations sont cependant nécessaires.

1 Elle a modifié un peu les sols.

Dans les bas de pentes, les très hauts coteaux et sur les replats (au sens valaisan : de 0 à 20-30%!), les sols étaient principalement occupés par des prairies, largement irriguées gravitairement par les bisses (canaux d'irrigation). La lame d'eau qui a traversé ces sols est donc beaucoup plus importante et l'activité biologique plus soutenue (masse racinaire, protection contre l'érosion, baisse du pH et dissolution des carbonates) : les sols sont souvent un peu moins calcaires et plus organiques (plus meubles, plus sombres, et plus limoneux, moins érodés).

Certains bisses alimentés par des torrents issus de schistes argileux sombres charriaient une eau très chargée. Au fil du temps les limons s'accumulaient et étaient probablement récupérés pour améliorer les terres voisines.

2 De nombreuses discussions ont tourné autour de la problématique de l'irrigation actuelle : on peut en résumer l'essentiel comme suit :

Nous avons trouvé des réservoirs variant entre 30 et 350mm, fourchette très large mais en fait assez commune dans la plupart des vignobles du monde. On pourra examiner le graphique de synthèse des réservoirs (voir partie 4.5.).

En général lorsque nos calculs et observations ont trouvé des réserves/sol supérieures à 120mm, avec une profondeur d'enracinement supérieure à 80cm, les vigneron ont confirmé qu'il est possible de se passer d'irrigation la plupart des années (en prévoyant un peu d'eau sur les plantiers et les années très sèches comme 2003). 40% environ des vignes seraient dans cette configuration, dont l'appréciation dépend énormément du rendement visé.

Les réservoirs supérieurs à 150-170mm permettent de "passer" pratiquement chaque année, moyennant une production raisonnée, les gros réservoirs supérieurs à 180-200mm à plus forte raison et peuvent supporter l'enherbement. Ils représenteraient plus du tiers des surfaces étudiées;

Il semble qu'entre un cinquième et un quart environ des surfaces présentent des sols de réserves inférieures à 70-80mm donc très faibles (voir photo 29). Quand ce chiffre brut s'accompagne d'une profondeur d'enracinement moyenne ou faible, l'équilibre pluviométrie/charge/sol ne peut être atteint qu'avec des rendements très faibles (2 à 300g par m²) avec des risques de contrainte hydrique précoce et intense, connue pour être peu favorable à de nombreux cépages blancs, le fendant et le sauvignon par exemple. L'irrigation y est donc nécessaire d'un point de vue économique et parfois qualitatif.

Le problème est que dans la plupart des configurations les unités vraiment homogènes seront de taille réduite et de forme peu pratique, car souvent dictée par la topographie : concavités allongées entre des remontées de roches, de "terres bétons ou de moraines compactées dessinant des crêtes étroites.



Photo 29 : Irrigation de sols à faible réserve (Clavaux)

2.3. INFLUENCE DE LA GÉOLOGIE SUR LES SOLS VALAISANS

La jeunesse des sols, dont les plus vieux ont moins de 10000 ans, date du retrait glaciaire, est l'un des caractères primordiaux de ces terroirs. Cette faible maturation, explique que seuls des formations superficielles ou des matériaux très schisteux donnent des sols cultivables. Habituellement, plus un sol mûri, plus il devient différent de sa roche-mère. Au-delà de 500 000 ans ce qui est courant dans les régions qui n'ont jamais été englacées, les modifications deviennent même souvent considérables. Ici rien de tout cela puisque la décarbonatation de surface des matériaux filtrants et calcaire est à peine sensible, même sur les replats.

Toute la logique de la cartographie va donc découler de la classification des roches mères, dont les matériaux, très peu modifiés, interviennent souvent pour plus de la moitié du volume exploré par les racines.

2.3.1. DIX GRANDES FAMILLES DE ROCHE MERES

Les roches mères des sols viticoles du Valais peuvent être rattachées à dix grandes familles simples; par ordre chronologique, de la plus ancienne à la plus récente on trouve :

-  **J** Les roches anciennes et très variées (Socle et Trias)
-  **I** Les schistes tendres peu calcaires
-  **H** Les calcschistes et schistes calcaires durs
-  **G** Les moraines de fond compactes
-  **F** Les moraines latérales ou glacio-torrentielles très caillouteuses
-  **E** Les grands écroulements hypercalcaires et très caillouteux
-  **D** Les loess
-  **C** Les éboulis gravitaires
-  **B** Les alluvions et colluvions récentes
-  **A** Les gravelages ou apports totalement anthropiques

Comme on l'a vu ces 10 dominantes ont des frontières floues puisque les A à G peuvent recouvrir ou masquer toutes celles qui les précèdent (ex : **A** / **C** / **E** / **F** / **G** dans le même profil), mais nous allons partir de cette trame pour ordonner la présentation de chaque commune : d'abord les influences simples puis leurs superpositions ou mélanges.

Une cinquantaine de roches mères ont donc été déterminées (voir 1.2.1.1., p 11). Sur ce canevas tressé à partir de la géologie, de nombreux types de sols peuvent être différenciés puisque chaque roche mère peut être déclinée différemment selon sa position topographique : teneur en calcaire, épaisissements, mélanges ou superpositions à d'autres roches mères, etc...

Certains de ces sols aux codes différents auront, au final, des caractéristiques agronomiques et viticoles très semblables. Ils pourront dans un second temps être regroupés selon des schémas toujours simplificateurs. Mais il nous semble **important de conserver la chaîne « roche-mère/ évolution / profondeur »** qui exprime mieux les caractéristiques intrinsèques du terroir et n'évacue pas à priori des influences subtiles possibles de la présence de certains minéraux sur les caractéristiques des vins produits. Ainsi **statistiquement** les sols issus des calcaires et schistes calcaires [42 à 49] n'ont pas tous et loin de là, les mêmes teneurs en Calcaire Total ni les mêmes CEC_{fm} ; les différentes moraines n'ont pas la même composition minéralogique, etc...

2.3.2. UNE RELATION CEC -ARGILE PARTICULIERE

La comparaison de la relation entre % d'Argile et Capacité d'Échange Cationique entre les trois cantons romands déjà étudiés montre indirectement, qu'on ne peut se fier à des résultats d'analyses de sols déconnectés de leur géologie, d'où l'importance des interprétations cantonales (voir figure 17).

La relation A/CEC est de plus en plus "normale" et mieux corrélée en aval du Léman, mais elle est faible et peu explicative (17 % seulement) en Valais : qu'est-ce que cela signifie? Que les sols sont moins évolués, et que la nature des fractions du squelette, moins transformées et très particulières en Valais est aussi importante que la notion de plasma (Fraction très fine du sol <2 μ). Les sables sont plus actifs et les "Argiles" "moins actives que prévu. Ce ne sont pas de vraies argiles (au sens illite ou montmorillonite,) mais souvent des **poussières minérales inertes** de calcaire ou de silice héritées du broyage glaciaire, ce qui se sent très bien au malaxage ou la véritable plasticité (le boudin qui peut se refermer sur lui-même) n'est que rarement au rendez vous.

Par contre, les sables sont souvent constitués de micas ou de minéraux feuilletés assez fragiles, mais pas encore détruits (jeunesse des formations de pentes, faible pluviométrie et absence de transport et lavage par l'eau). Ces sables valaisans, dont la présence est directement liée aux événements géologiques dont nous vous avons longuement parlé, sont évidemment bien plus actifs que des billes de quartz.

On peut comparer sur le même graphique (cadres à droite) les niveaux moyens de matière organique, d'argile et de CEC, qui sont significativement très différents entre les trois cantons.

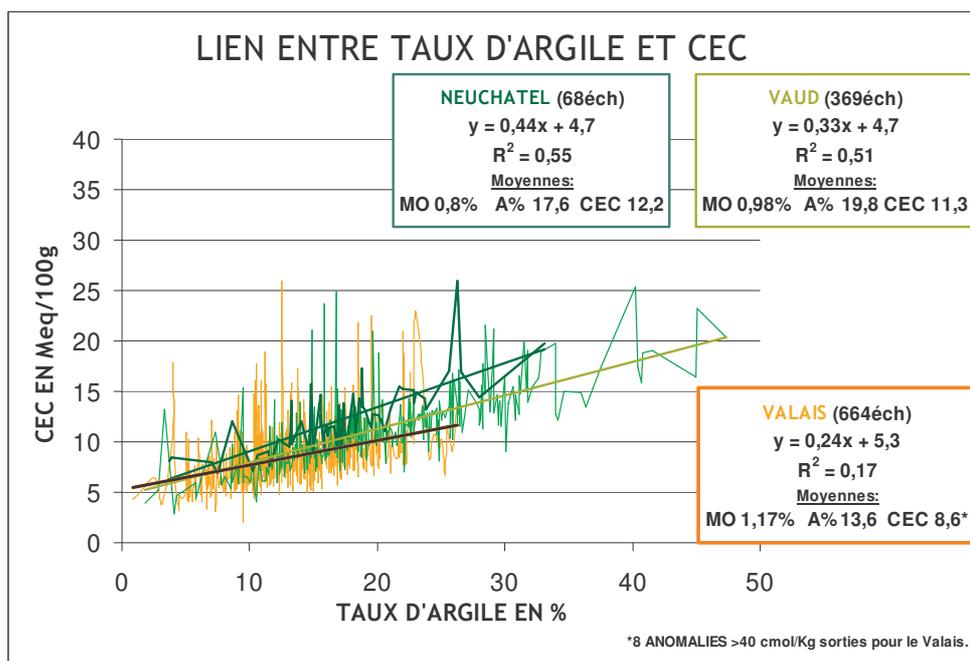


Figure 17 : Relation Argile/CEC

C'est donc une pédologie de la "jeunesse" et du feuilletage qu'il faut inventer en Valais, sans craindre de remettre en question des principes pourtant largement éprouvés ailleurs.

2.3.3. DES RESERVOIRS HYDRIQUES TRES DIFFERENTS

Plus de 80 % des profils dépassent largement 1 m de profondeur, mais à profondeur égale, ils peuvent stocker des réserves en eau très différentes : de 40 à 350 mm de réserve en eau utilisable par la vigne. Ces variations s'expliquent bien souvent directement par la géologie superficielle. La réserve en eau utile **moyenne des profils**, calculée sur la profondeur d'enracinement observée s'établit à 177mm. Mais la moitié des profils observés a une RU racinaire inférieure à 150mm (**médiane**). Les zones les plus rocheuses ayant proportionnellement fait l'objet de moins de profils, il faut rapprocher ces chiffres de ceux issus des synthèses sur les surfaces (voir partie 4.5.) qui nous donnent une **moyenne de 151mm** sur l'ensemble du Valais.

Les RU les plus faibles sont obtenues évidemment dans trois situations :

- sols les plus minces, surtout issus des moraines de fond et crêtes des éboulements ("terres bétons") des pentes convexes (accentués dans les situations hyper-calcaires).
- sols profonds mais excessivement sablo caillouteux des dépôts torrentiels et des éboulis.
- sols à la fois moyennement ou peu profonds et caillouteux (sols de et sur rocher schisteux).

Une grande diversité de situations d'équilibre entre offre et demande hydrique peut être observée, ce qui implique une forte influence des choix culturaux (adaptation de la charge à la surface foliaire, de la surface foliaire au sol, choix du matériel végétal, etc...) **d'autant que réserve n'est pas réservoir, surtout en Valais, puisqu'il pleut moins de 547 mm plus d'une année sur deux (médiane sur 140 ans à Sion)**. Les changements climatiques prévisibles ou non sont actuellement suivis de près par l'ensemble des organismes suisses concernés.

Les remplissages des parties profondes de ces réservoirs vont par ailleurs être corrélés à l'analyse des "millésimes hivernaux" :

Les sols à faibles réserves, assez profonds, rechargeront leur petit réservoir chaque hiver, car il est bien rare que 100 à 150mm ne tombent pas durant cette période. Ces sols sont de toute façon très souvent irrigués.

Les sols à réserve moyenne, 120 à 150mm, non irrigués nécessitent une recharge optimale qui peut être insuffisante si les facteurs externes sont défavorables : porosité de surface fermée (gel, tassement), protection insuffisante contre le dessèchement par le foehn (mulch de plaques/cailloux ou de sarments) et si la pluviométrie hivernale est faible.

Les recharges des sols à réserve forte >200mm, sans arrivées latérales, seront aussi dépendantes des millésimes hivernaux et de l'ouverture de la porosité de surface, mais comme ils ont plus de marge, seuls les hivers suivis de printemps très secs pourront poser problème. En général les hivers un peu secs seront même favorables à la qualité de leurs produits.

Les sols des zones concaves bénéficient généralement d'apports latéraux souterrains, qui les rendent indifférents aux millésimes hivernaux, sauf hivers exceptionnellement secs et peu enneigés.

Cette complexité réelle ne doit pas cacher l'essentiel : sur la plupart de ces sols, des vins de qualité peuvent être produits, moyennant des pratiques culturelles évidemment différentes. A une échelle assez fine, les structures géologiques valaisannes en bandes étroites, expliquent que deux communes voisines sont souvent très différentes l'une de l'autre. Mais à l'échelon cantonal on trouvera de nombreux dénominateurs communs, bien spécifiques à ce vignoble.

Ici encore moins qu'ailleurs, les choix ne pourront jamais être réglés assez finement de façon autoritaire : le rôle des vigneron reste plus que jamais central et leur formation et leur sensibilisation individuelle à cette approche absolument nécessaires. L'engagement des vigneron valaisans, leur curiosité, leur sens expérimental naturel font merveille dans cette démarche.

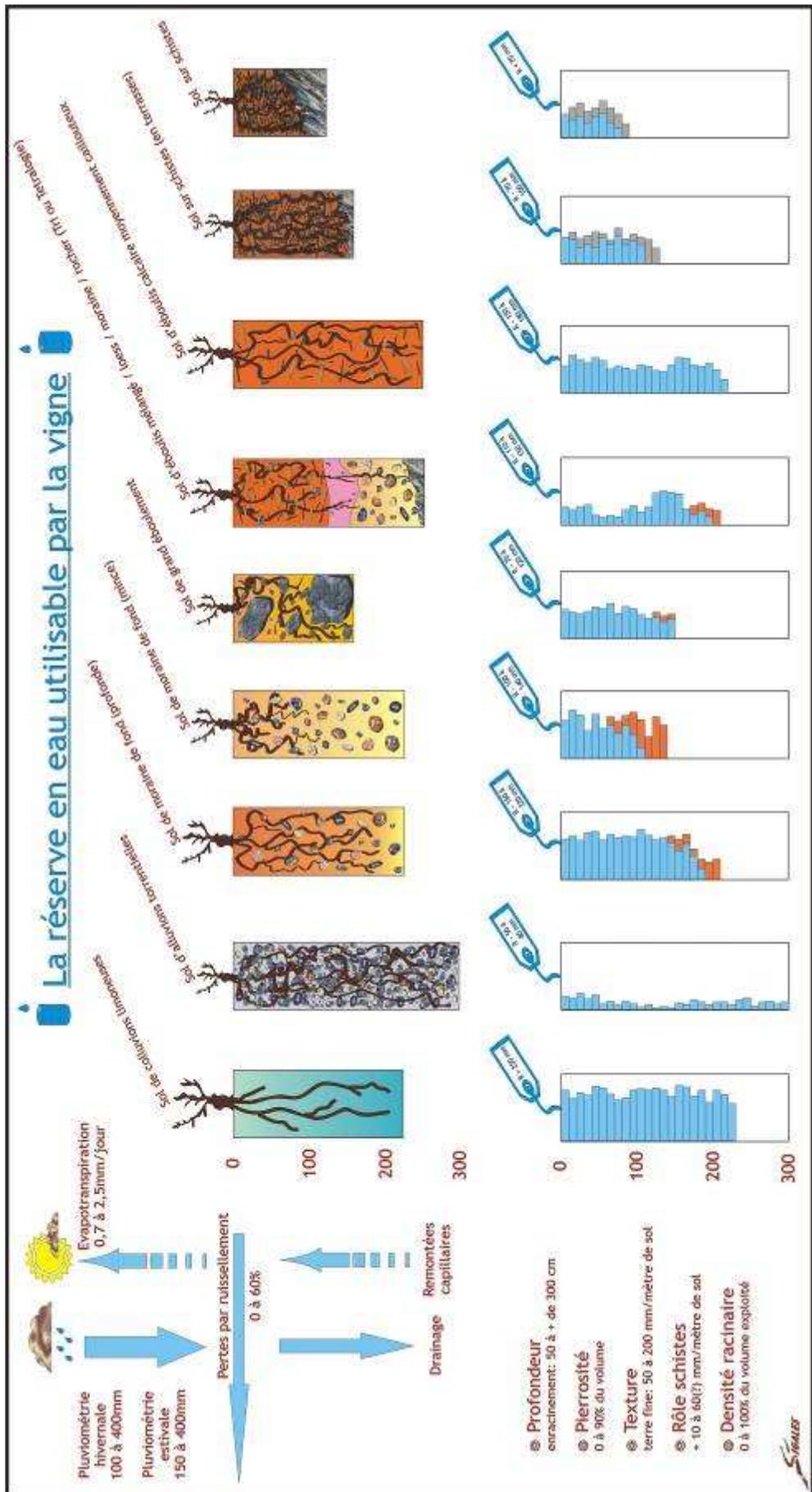


Figure 18 : La réserve en eau utilisable par la vigne

3 - ELEMENTS DE PÉDOLOGIE

L'harmonisation du vocabulaire employé pour la description des sols est 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 schistes, de calcaire. Nous développons dans les paragraphes qui suivent les notions de formation des sols, de texture, de structure, d'argile et de roche mère.

3.1. 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 : contrôle des cycles des éléments et de l'énergie en tant que compartiment des écosystèmes ; support des plantes, des animaux et de l'homme ; base des constructions et des immeubles ; production agricole ; rétention de l'eau et des dépôts ; constitution d'une réserve génétique ; conservation en tant que mémoire de l'histoire et de la nature ; protection en tant qu'archive archéologique et paléoécologique* ».

C'est donc la peau de notre planète, la frontière entre la roche brute (étudiée par la géologie et connue en Suisse par les cartes géologiques de l'Atlas géologique de l'office fédéral de topographie Swisstopo) et l'atmosphère.

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 est une pierrosité modérée pour la vigne.

C'est un milieu d'accueil pour les racines des végétaux. Ce milieu complexe est en équilibre parfois fragile avec son environnement. Il résulte de plusieurs milliers d'années d'évolution :

- sous une végétation naturelle qui le fragmente physiquement par ses racines et lui fournit la matière organique. Celle-ci après action de la microflore et microfaune (activité biologique) engendrera l'humus, caractéristique des horizons supérieurs des sols et dont la minéralisation est, en sols naturels, la principale source d'alimentation azotée des plantes.
- et sous un (ou plusieurs) climat, qui détermine des conditions d'humidité et de température dans lesquelles les réactions chimiques entre les minéraux, la matière organique et l'eau vont se dérouler.

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'elle ne remplace 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.

En Valais, l'abondance des formations fragiles plaquetées (échelles mm ou cm) ou très riches en micas (plaquettes aussi, mais à l'échelle du micron : millième de millimètre cette fois), extrêmement différentes des modèles

texturaux "en billes" traditionnellement utilisés, rend cette mise en garde particulièrement nécessaire.

La vigne possède une capacité impressionnante à coloniser toutes les couches pénétrables et les fissures, pour peu qu'elles ne soient pas asphyxiantes. La colonisation des matériaux bruts par des quantités parfois extraordinaires de racines grosses et très lignifiées crée un pédoclimat particulier en profondeur avec une vie biologique probablement centrée autour des champignons microscopiques, entre autre les **mycorhizes**, qui améliorent très sensiblement l'assimilation de l'azote et surtout des phosphates (ces derniers ne manquent d'ailleurs jamais à la vigne) La rapide dégradation des sarments broyés laissés en surface est un test quand à la bonne santé d'un sol viticole. Par effet cumulatif, on peut aussi comprendre qu'un sol de vigne bien mené se "fasse" sur plusieurs générations et ne connaisse les problèmes traditionnellement associés aux monocultures intensives que dans des cas d'erreurs ou d'excès. Cas moins fréquents que pour la plupart des cultures annuelles européennes, puisqu'en général, en viticulture ce n'est pas la quantité maximale, mais la qualité qui est recherchée.

La contribution des couches les plus profondes est donc essentielle pour la poursuite des processus de maturation du raisin surtout dans les milieux peu argileux et très caillouteux ce qui est le cas en Valais.

Quand la roche elle-même est explorée par les racines (cailloutis, roche fissurée ou à couches de marnes...), il faut soigneusement l'intégrer à la description du profil. Si l'agrologie des couches superficielles apporte de bonnes réponses aux cultures annuelles, et dans les toutes premières années d'une jeune vigne, nous sommes, en viticulture non irriguée, ou économe en irrigation, dans une problématique qui intéresse beaucoup plus les couches très profondes et peu transformées du sol.

On sait aujourd'hui que même en l'absence de stress visible sur la plante, des modifications physiologiques à forte incidence sur la qualité des produits finaux, sont corrélées aux niveaux de contraintes hydriques progressivement atteints dans le sol tout au long du cycle de la vigne, bien avant la maturation proprement dite (Itinéraire hydrique). Comme cet itinéraire hydrique est évidemment aussi dépendant du sol que du climat ou du mode de culture (cépage, porte greffe, conduite), nous l'aurons en point de mire en permanence pour choisir nos codes de cartographie.

Le travail de cartographie ne sera pas non plus équivalent à celui des forestiers, puisque les forêts se développent sur des sols naturels, qui contiennent plus de 20% de matière organique en surface, formant des humus de qualité et propriétés très différentes.

Le vigneron peut homogénéiser et "lisser" les différences entre les horizons superficiels du sol (épierrage, apports, nivellements). Il n'intervient que rarement au-delà de 1m (sauf exception...pas si "exceptionnelle" cependant en Valais). Les vignobles de terrasses constituent un milieu souvent splendidement artificialisé, en fait assez particulier

3.2. NOTIONS IMPORTANTES

3.2.1. TEXTURE - STRUCTURE DU SOL

Un sol peut être décrit par ses constituants :

- ✚ Taille des grains (Argile_{sens1} (cf 3.2.2.), sables, limons, éléments grossiers)
- ✚ Nature de ces grains (matière organique, calcaire, quartz, oxydes, argile_{sens2} (cf 3.2.2.))

Mais la façon dont ces constituants sont arrangés entre eux, est tout aussi importante : c'est la structure du sol qui ne se voit que dans un profil fraîchement ouvert. La notion de structure est facile à imaginer : avec une même quantité de poutrelle, moellons, boulons et ciment, on peut construire une tour très solide à grandes pièces, une tour très instable à pièces minuscules, au pire un tas compact sans aucun vide.

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, ainsi que la porosité qui les aère.

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 ou calcaires marneux fragiles, par exemple.). On peut faire des analyses granulométriques après destruction de la fraction calcaire, ou pas. Les résultats seront évidemment différents.

Le broyage est également particulièrement problématique lorsqu'il y a beaucoup de particules en plaquettes fragiles comme en Valais

Quand nous parlons de limons, il ne s'agit pas obligatoirement de bons limons de plaine, mais de **particules** de taille comprise entre 2 et 50 microns ou μ (il y a 1000 microns dans un millimètre) : ce sont les silts suisses. Une dominante de limons donne des terres douces ni argileuses (non plastiques et non gonflantes) ni sableuses, mais facilement compactées.

Une fois la proportion des différentes tailles de constituants connue, on peut situer l'échantillon sur un graphique triangulaire rectangle (argile en vertical, limon en horizontal, les sables étant déduits par différence) sur lequel sont délimitées les classes texturales (S =Sable, LA = limon argileux, etc..) pour mieux comparer les échantillons entre eux. Les fractions S, L et A ne sont donc pas du tout équivalentes. La représentation GEPPA par un triangle rectangle (voir figure 02, p15) et les initiales qui s'y rapportent sont adoptés dans tout ce rapport.

Si la proportion des trois fractions sable, limon/silt, et argile permet déjà une bonne prévision des comportements, il est particulièrement important en Valais de scinder les silts et surtout les sables en deux sous fractions: **fine et grossière**. La réserve utile d'un sable grossier (de 200 μ à 2mm) n'est que moitié de celle d'un sol de sable fin. (de 50 à 200 μ). L'abondance des gravillons (2mm à 5mm) ou au contraire de très gros blocs (>50cm), la présence de sables ou graviers en plaquettes fragiles ou très micacés, **seront toujours synonymes de difficultés** au moment de corrélérer l'estimation tactile du **terrain** et l'analyse en **laboratoire**. Le résultat du laboratoire n'est pas pour autant plus proche de la réalité fonctionnelle du sol qu'une bonne estimation de terrain, par manipulation de plusieurs Kilogrammes de terre avec ses cailloux.

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). 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).

Des mesures sur certaines plaquettes schisteuses montrent cependant qu'une fois isolées elles détiennent un pouvoir absorbant pour les cations non négligeable. L'effet du travail du sol ou de la préparation lors du minage doit alors remettre à disposition pas mal d'éléments minéraux.

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), 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).

Encore une fois les modèles en "billes" sont mis à mal par la présence abondante de très fines plaquettes. Trop grosses elles restent dans la fraction sableuse, mais très aplaties aussi, elles s'empilent en ménageant des vides inter feuillets très fins qui sont probablement susceptibles de piéger une fraction non négligeable d'eau : on les voit très bien gonfler et s'hydrater dans les fonds de profils bien frais. Un travail de diplôme de Changins (Raphaël GONZALES - HES Oenologie 02-05 - juin 2006) à montré des possibilités d'hydratation des cailloux schisteux jusqu'à 30% de leur poids. Ceci ne correspond pas à 30% d'eau utilisable mais justifie amplement l'application d'un coefficient correctif largement positif lors des estimations hydriques (voir partie 5.2.)

⊕ 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**" car faciles à travailler.

Les textures les plus "**fines**" (argileuses) sont aussi les plus "**lourdes**" au sens de "difficiles à travailler".

3.2.1. LES "ARGILES"

argile_{sens1}: taille des particules inférieures à 2 microns

argile_{sens2}: minéral en feuillet

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

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_{sens2}", 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.

Certains limons fins ont également un pouvoir de fixation, une fois complexés avec l'humus par du fer, mais qui reste nettement plus bas car la fixation ne se fait qu'à la surface de particules pleines et non feuilletées.

Ce pouvoir de fixation est bien mesuré en laboratoire par la CEC : Capacité d'Échange de Cations. C'est la quantité maximale de cations que peut fixer le sol, la taille du "garde manger" comme on dit souvent.

Cette CEC provient essentiellement des argiles vraies, de l'humus et un peu des limons fins et des oxydes de fer. 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").

Mais encore une fois en Valais, ne généralisons pas ce schéma pourtant bien établi : nombres de limons et même de sables granulométriques sont constitués de fines plaquettes et possèdent un pouvoir d'échange non négligeable (la CEC_{fm} "explose"), alors que beaucoup de fractions très fines donc classés "argiles" ne sont pas de vraies argiles mais des poussières minérales inertes (la CEC de certains sols "lourds" est à peine meilleure que celle de sols sableux, à matière organique égale).

Ces deux faits s'opposent mais expliquent la très mauvaise corrélation entre taux d'argile et CEC en Valais déjà signalée : **l'argile n'explique que moins de 20% des variations de la CEC**. Par contre la finesse des particules conditionne la taille de la porosité et le volume du réservoir hydrique du à la texture du sol (ce facteur variant de 0,5 à 2 est très important). Donc les analyses granulométriques gardent beaucoup d'intérêt.

Rappelons cependant quelques généralités :

- 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.

Les fractions S, L et A ne sont donc pas du tout équivalentes. C'est pourquoi la représentation GEPPA par un triangle rectangle semble à la fois beaucoup plus simple d'utilisation et plus pertinente que le triangle isocèle qui met chaque fraction sur un pied d'égalité. Sa grande activité chimique et physique fait que le **rôle de l'argile est très dominant** dans le sol, tant pour la réserve hydrique que pour la fertilité ou le comportement mécanique.

Nous avons déjà rappelé que la fraction granulométrique "argile <2μ" n'est pas composée que d'argiles vraies. Ajoutons maintenant qu'il existe plusieurs familles d'argiles vraies, qui ont pourtant des propriétés très différentes.

Certaines sont peu gonflantes, peu "riches" comme les kaolinites (terres à poterie), ou pas gonflantes comme les micas, qui ne sont pas des argiles vraies mais des minéraux en feuillets de structure très proches mais qui peuvent se retrouver dans la fraction <math> < 2\mu </math>. Ces particules ont une faible CEC, Capacité d'Échange en Cation.

D'autres, sont au contraire très auto-fissurantes et à très forte CEC comme les montmorillonites, fréquentes dans les terres noires d'anciennes zones mal drainées. La notion de surface interne des argiles explique ces différences : 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 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 bêtelement quantitatives de gestion de l'eau (entre haut et bas de pente par exemple) ou d'aptitude à la fissuration et est à découvrir pour chaque contexte.

En Valais, les illites et les vermiculites dominent, il doit y avoir peu de kaolinites qui sont des argiles de dégradation et peu de montmorillonites qui se forment dans les sols plus évolués.

A noter que plusieurs profils montrent des anomalies totales au niveau de la CEC, souvent dans des zones proches du Trias.

L'« optimum » cultural au niveau de la texture, la terre "franche" est parfois évoqué pour les compositions proches de 25% d'argile, 30-35% de limons et 40-45% de sables, car ce mélange 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 du sol, une bonne réserve hydrique de surface, 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 variées et l'on trouve les vignobles les plus prestigieux sur des sols de textures totalement différentes.

3.2.3. LES LIMONS

Les sols peu argileux (moins de 10-15% d'argile) et très riches en limons peuvent subir des dommages par tassement superficiel lors du passage des 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). La sensibilité au tassement semble maximale pour certaines compositions granulométriques de mélanges peu argileux où les particules s'imbriquent les unes avec les autres (Limon sablo-argileux, Lsa).

L'alternance de gel/dégel plus accentué que dans d'autres régions viticoles, permet un travail par gonflement/hydratation qui semble compenser en grande partie cette tendance théorique au tassement, au moins jusqu'à 40 ou 50cm. La restitution des sarments apporte également une souplesse aux sols à tendance compacte largement confirmée par les observations des vigneron

Par contre des tassements anciens et enfouis résultant du passages de gros engins sur limons (gravelages massifs, apports de terres, gros remaniements) peuvent être observés dans les profils de longues années après leur création et peuvent expliquer des difficultés d'enracinements.

Enfin, des mini-structures "feuilletées" sur quelques centimètres en surface, ont été observées, en rive gauche particulièrement. Les sols y gèlent de façon plus durable et plus intense. Leur dégel ne peut être instantané et certains épisodes pluvieux ne peuvent pénétrer dans les sols : l'eau ruisselle et sature puis liquéfie une mince couche de terre qui glisse latéralement. Les particules s'orientent puis se redéposent en gardant une structure feuilletée parallèle à la pente peut favorable à la pénétration des pluies suivantes.

3.2.4. PRECISIONS SUR DES TERMES AMBIGUS LIES AU CALCAIRE

Le terme de calcaire (roche, minéral ou adjectif signalant simplement présence de carbonate de calcium) est des plus imprécis, ce qui nécessite une mise au point particulière. Mais il prendra, en général, son sens dans le contexte.

Sables, graviers et cailloux calcaires forment le calcaire "inactif" et une source continue de calcium. Plus ce calcaire est finement divisé (taille des grains de calcaire proche ou inférieure à celle des limons fins, plus il est actif chimiquement et peut libérer des ions calcium et des ions bicarbonates en abondance dans la solution du sol (eau du sol). Il peut alors insolubiliser certains oligo-éléments essentiels et les rendre indisponibles (fer dans le cas de la chlorose vraie). Cette fraction est appelée calcaire actif.

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.

A noter que des taux de calcaire total extrêmement élevés (supérieurs à 60-70%) induisent probablement une sorte de concurrence hydrique (relèvement du niveau d'humidité minimum où l'eau du sol peut être absorbée par la plante) avec certains types de particules fines (limons ou sables fins) mais pas avec les sables grossiers (de calcaire dur peu soluble en général). C'est justement le cas en Valais particulièrement dans les grands écroulements de Salgesch et Sierre.

A noter également que les taux extrêmes rencontrés à Sierre, Venthône, Salgesch (plus de 85% de calcaire) ne laissent que très peu de place aux constituants capables de stocker et d'échanger des cations.

Les taux d'argiles dosés au laboratoires sont dans ce cas, toujours surestimés, puisque la moitié ou plus de cette fraction n'est que de la très fine, farine calcaire et non de l'argile en feuillet (Essai "granulométrie après décarbonatation").

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

Un sol ou horizon calcaire fait effervescence à l'acide chlorhydrique dilué, son pH est toujours basique (7,8 à 8,5), il contient de 5% à 98% de calcaire total (dans la terre fine tamisée à 2mm) et sa teneur en calcaire actif varie de 1 à 20% selon les cas, totalement indépendamment du calcaire total.

La présence d'une fraction calcaire, même minime, dans la terre fine, donc décelable au test de terrain à l'acide, empêche tout risque d'acidification du sol et de lessivage de l'argile (appauvrissement de surface). En effet, les organismes vivant du sol émettent toujours des composés acides (acide carbonique de la respiration, acides organiques) qui suffisent pour attaquer ces grains calcaires, libérant ainsi des ions calcium qui saturent largement le complexe absorbant (voir CEC). Les gros travaux mécaniques remontent très nettement également, par broyage les taux de calcaire totaux et actifs naturels.

➤ SOLS ou HORIZONS CALCIQUES (voir CALCISOLS ou RENDISOLS) :

Il n'y a plus, ou presque plus d'effervescence à l'acide chlorhydrique : effervescence 0 ou (+), ou (+)/+ (plus de grains calcaires dans la terre fine, mais il peut rester des graviers et cailloux calcaires). Il y a encore suffisamment de calcium pour que le pH reste neutre sans risque d'acidification immédiat. Le sol contient moins de 5% de calcaire total et 0% de calcaire actif. Le complexe d'échange reste voisin de la saturation (85 à 100%), mais la structure de surface du sol peut déjà être plus fragile (les agrégats et petites mottes de terre de surface se défont à la moindre pluie pour laisser un aspect glacé et croûté caractéristique. Ces sols sont souvent d'anciens sols calcaires qui se sont décarbonatés sous l'action des pluies, de la végétation...

Ils sont rares en zone de pluviométrie inférieure à 600-700 mm, car le lessivage du calcium n'est pas assez important (bilan pluviométrique / évaporation déficitaire). Seuls quelques sols de replat et très perméables (de sables ou de cailloutis peu calcaires au départ par exemple) montrent cette évolution.

Les sols notés CALCIFIQUES en Valais sont toujours développés aux dépens de roches très peu calcaires au départ, donc ils ne risquent en aucun cas de présenter des taux de calcaire actif ennuyeux en profondeur ce qui n'est pas le cas sous d'autres climats (Bourgogne, cantons de Neuchâtel et Vaud par exemple).

Sous climat plus arrosé (800mm ou plus comme dans les cantons de Neuchâtel et Vaud), les sols calciques se développent rapidement dès que la pente s'adoucit en deçà de 15-20% et l'on en trouve déjà sur les sols jeunes de moraine, peu calcaires au départ il est vrai, et qui ont évidemment moins de 10 000 ans puisque le glacier ne s'est retiré que depuis cette époque.

En Valais, la pluviométrie très déficitaire et les pentes importantes expliquent que **les sols calcaires le restent**. Au contraire, les sols calcaires peuvent tendre vers les deux types de sols suivants.

➤ SOLS A ACCUMULATION CALCAIRE (CALCARIQUES) :

Fréquents dans les pentes d'éboulis ou de moraines locales dans lesquelles des eaux chargées en carbonates circulent, ces sols possèdent un horizon intermédiaire enrichi en calcaire fin (simplement plus clair, à taches blanches farineuses ou à globules 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. La dynamique complexe de la chlorose est en général aggravée par les différences de perméabilité associées lorsque ces signes apparaissent dans le sol.

➤ SOLS A ENCROUTEMENTS CALCAIRES (PETRO-CALCARIQUES) :

La re-déposition préférentielle dans certains horizons du sol du calcaire dissout dans d'autres horizons ou en amont dans les pentes, provoque des changements chimiques et physiques importants. Ces accumulations vont de simples amas blancs, à de véritables cimentations, en passant par des horizons en bandes très blanches irrégulièrement durcis.

On parle d'encroûtement calcaire quand un horizon (souvent entre 60 et 100 cm) montre une agrégation des cailloux ou des grains par un ciment calcaire. En dessous de l'encroûtement, le sol peut redevenir pénétrable. Cet "entartrage" du sol se fait progressivement, mais il est bien connu dans les éboulis calcaires de pentes. Sa vitesse de formation est très lente, sauf cas très particuliers comme dans les sources pétrifiantes et au débouché de certaines sources aux eaux très carbonatées. Une végétation et une microflore bactérienne s'y installent pour édifier des tufs à végétaux très poreux. En Valais ces phénomènes sont fréquents et il est possible qu'ils soient accentués dans les matériaux très riches en carbonates de calcium par les arrosages estivaux qui alternent humidité et rapide et intense dessiccation (voir partie 5.3.).

Suivant les cas, ce peut être un simple durcissement sur quelques centimètres ou une véritable dalle de béton de plusieurs décimètres (occurrence très rare dans le canton, mais rencontrée à Saint Léonard et ponctuellement dans quelques cailloutis très drainants). Dans les sols très caillouteux et filtrants, la recristallisation de calcite commence souvent par la face inférieure des cailloux, qui se couvrent de fins cristaux, parfois de fines aiguilles de quelques millimètres de long. De même, de gros pores peuvent être emplis d'aiguilles blanches qui poussent depuis leur périphérie vers le centre (sols macro-poreux). Dans d'autres configurations ce sont les pores racinaires très fins qui jouent le rôle de tubules qui s'entartrent d'une fine pellicule blanche (actions chimique, physique et biologique bactérienne et racinaires associées). Un fin réseau d'un blanc pur s'installe dans le sol. Il ressemble à des filaments souterrains de champignons, d'où le nom de pseudo-mycélium qui lui est attribué.

3.3. INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE SUR L'ÉVOLUTION DES SOLS

L'évolution d'un sol (approfondissement, décarbonatation sur roche calcaire, différenciation en horizons) dépend de la stabilité de sa position : érosion et perte d'éléments sur les pentes fortes, stabilité sur les replats et les pentes faibles, accumulations de terre (colluvionnement) aux bas des pentes.

De cet équilibre stabilité/érosion dépend l'évolution des sols sur un même matériau (voir figure 19). L'influence du climat (pluviométrie surtout) est très importante, car à topographie et matériaux équivalents, on observe de grandes différences entre les cantons. Ainsi, les sols développés à partir de roches mères contenant plus de 10-15% de calcaire total au départ, ne sont jamais décarbonatés en Valais sauf vers Martigny et dans le Bas Valais (pluviométrie plus importante et roches mères moins calcaires au départ).

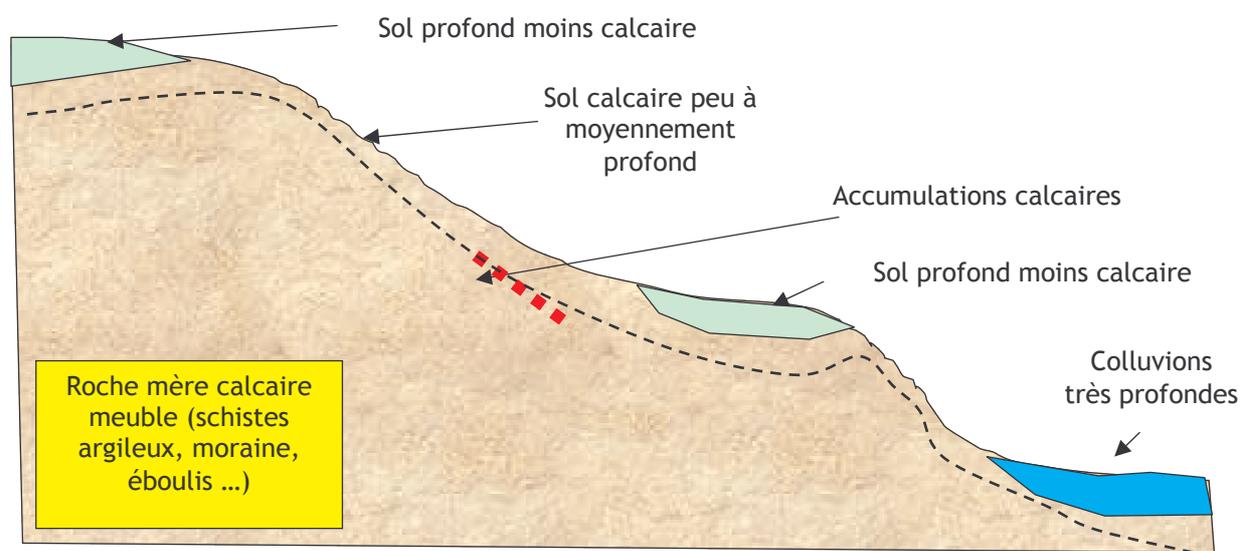


Figure 19 : Influence de la topographie sur l'épaisseur et le taux de calcaire des sols

D'une façon générale, on observe bien une **perte partielle de calcaire** sur les replats ou dans les bas de pentes mais on n'atteint presque jamais le caractère calcique (perte totale du Calcaire Total) en Valais. Au contraire, des recristallisations sous ou entre les cailloux, ou bien dans les micro-pores du sol (pseudo mycélium), sont très fréquentes et contribuent à cimenter certains horizons de moraine, d'éboulis ou d'éboulement donnant naissance à une partie de ce que les viticulteurs appellent "terres béton".

Par contre, l'influence de la pente sur l'**épaississement et l'enrichissement en matière organique** des sols issus de formations compactées est très nette, et l'on retrouvera en Valais, sur toutes les formations compactes (éboulements cimentés ou moraines de fond) en particulier, des logiques d'épaississement liées aux fourchettes de pentes, à la position dans le versant (haut milieu bas) et aux alternances concaves/convexes ou crêtes/vallons d'autant plus marquées que les pentes sont longues et/ou fortes.

En Valais, étant donné la longueur et l'intensité des pentes dominantes, il est normal que les effets sur les sols des modelages "crêtes/combes" soient très marqués (voir figure 20).

Il ne faut pas oublier, qu'ils sont sensibles dès le haut du vignoble et que la courbure (invisible) de la ligne de fond d'enracinement est encore plus creuse que la courbure (visible) de surface. On comprend bien que tout nivellement accentuera ces contrastes de sols au lieu de les atténuer, sauf mélange parfaitement homogénéisé sur deux mètres par-dessus les crêtes les plus en relief.

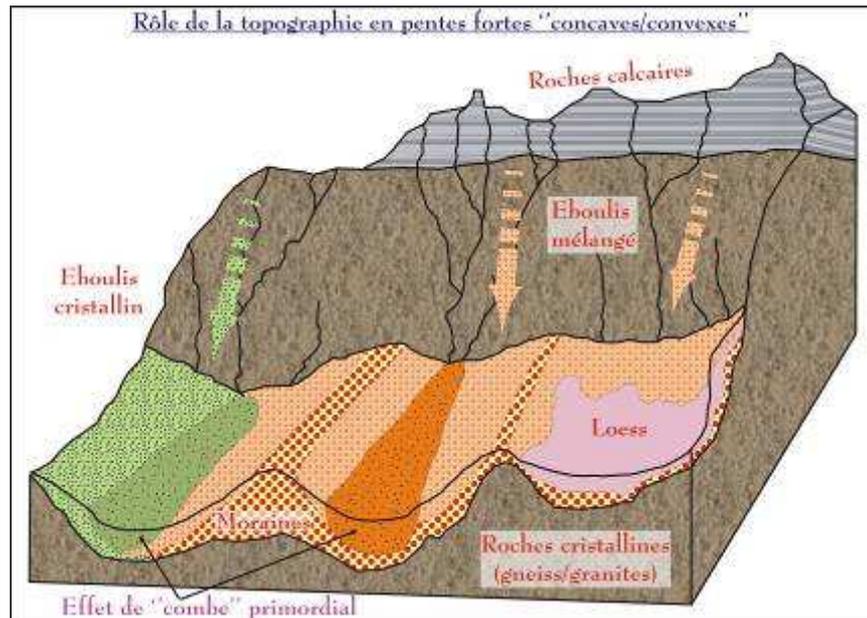


Figure 20 : Effet des modelés "crêtes / combes" sur les sols

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

Citons tout d'abord Mr. 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."

On comprend donc notre passion pour ces estimations hydriques même si pour les cépages blancs les conséquences ne sont pas aussi tranchées!

3.4.1. 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 délicatesse.

Pour les **cépages rouges**, il semble prouvé, que l'idéal hydrique en période de maturation est constitué par un réservoir au moins au tiers vidé mais pouvant assurer une très faible alimentation jusqu'en fin de maturation.

⚠ Attention : des effets négatifs sont observés pour des contraintes extrêmes et précoces.

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 importantes et craignent au contraire des contraintes trop précoces et trop fortes, néfastes à la formation de précurseurs aromatiques importants. Nous avons même constaté dans d'autres régions, que certaines situations à nets signes d'hydromorphie pouvaient correspondre à des parcelles hautement estimées par d'excellents vigneron.

Les graphiques hydriques (voir figures 21 et 22) illustrent bien l'étendue toujours sous estimée de ces réserves, de 40 à 300mm :

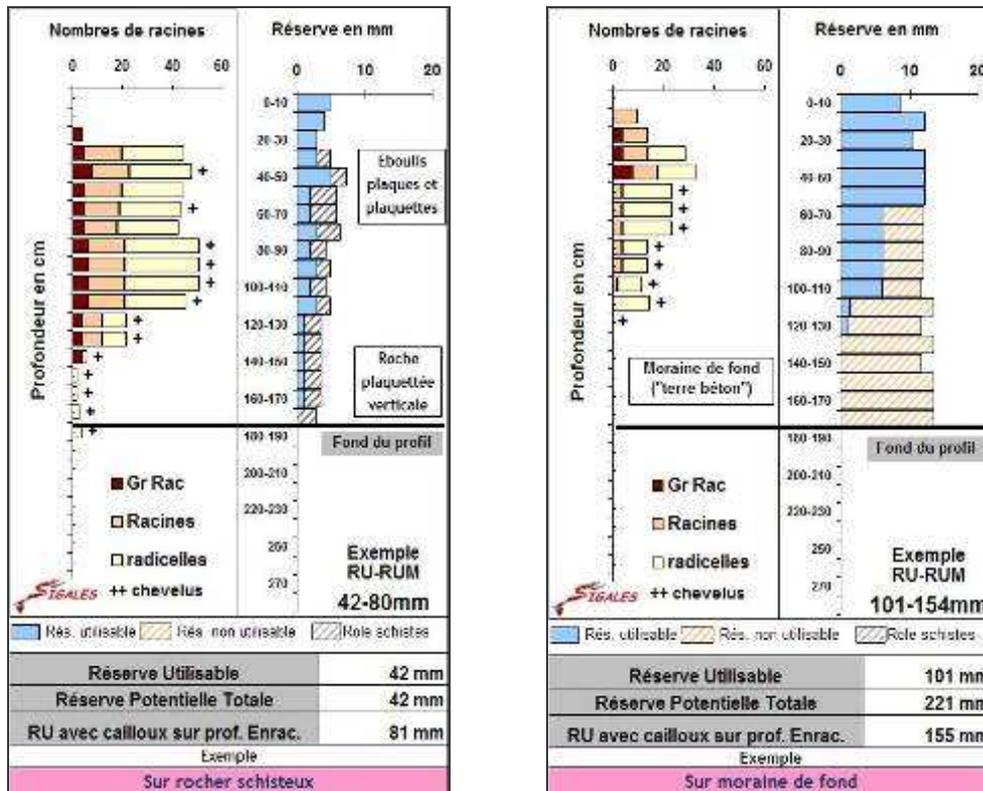


Figure 21 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton

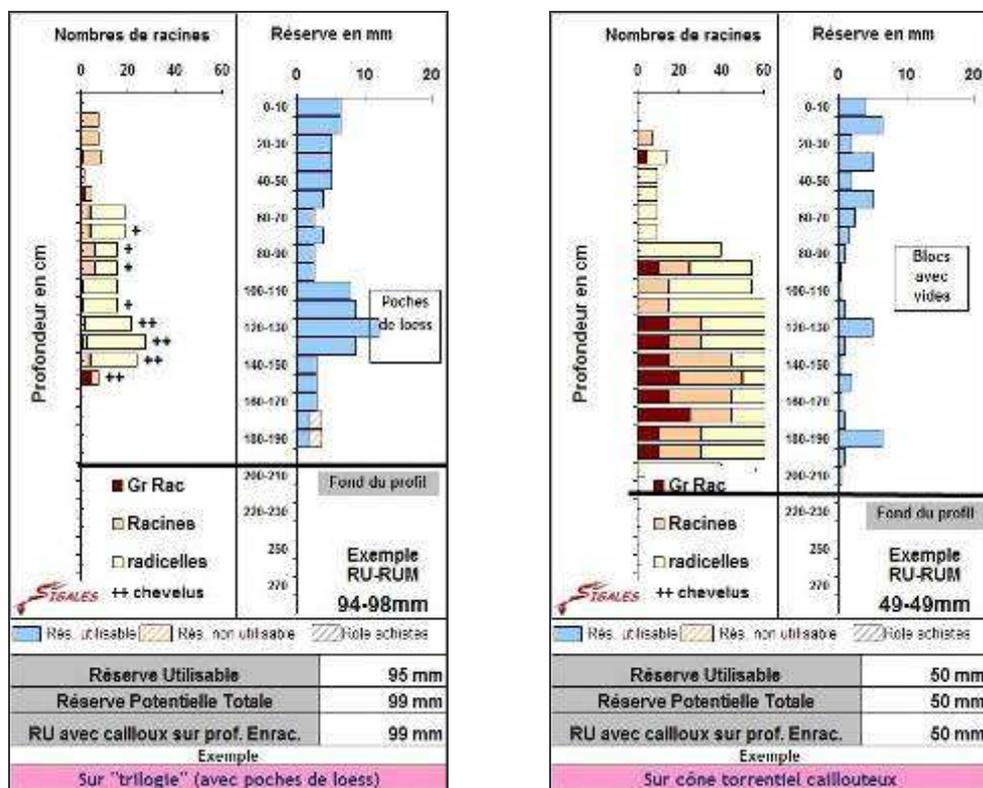


Figure 22 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton

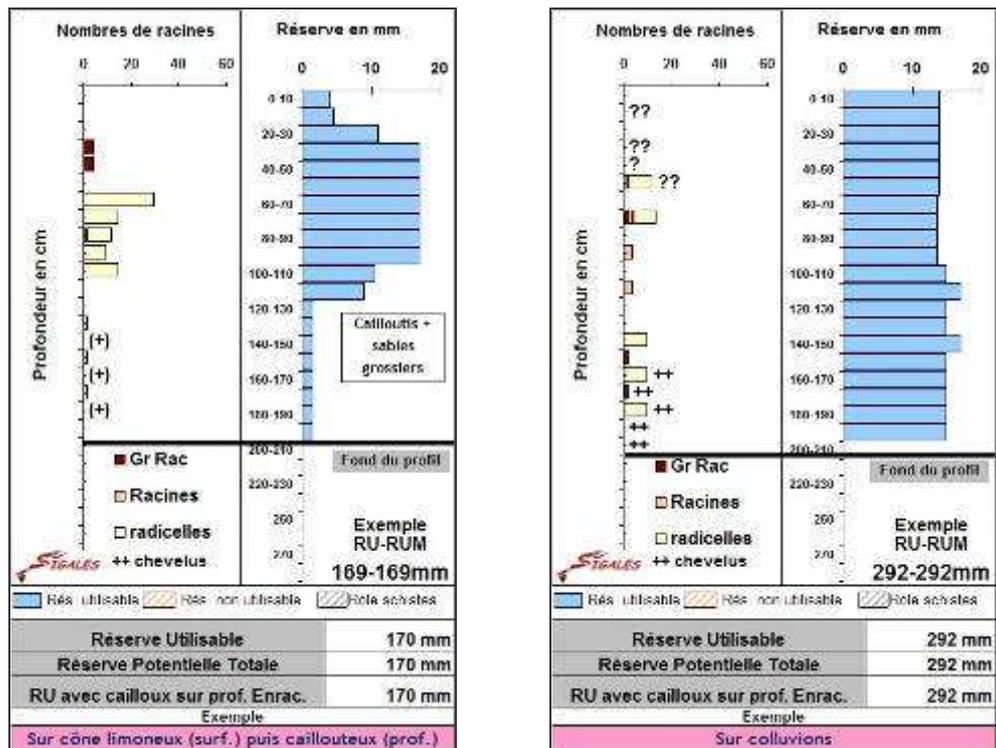


Figure 23 : Quelques uns des profils hydriques rencontrés sur le canton

Rappel : les secteurs orangés correspondent à des volumes très peu colonisés par les racines.

Mais ces graphiques ne parlent pas de :

- la rapidité avec laquelle cette réserve peut être :
 - remplie (vitesses d'infiltration de 1mm à plus de 15mm par heure pour un sol non saturé).
 - 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 (saturation des horizons superficiels puis ruissellement latéral ou pire liquéfaction et glissement/érosion du sol). Quand on sait que les pertes entre pluviométrie et eau infiltrée peuvent atteindre 70% dans les cas les plus défavorable, il convient de nuancer les raisonnements :

Un sol de pente à forte réserve théorique (moraine de fond profonde par exemple) peut très bien se recharger moins correctement qu'un sol de plus faible réserve, mais couvert d'un masque caillouteux.

- puis vidée.
- la force avec laquelle cette eau est retenue par les pores du sol.
- l'importance des phénomènes extérieurs (entrants ou sortants) car le sol n'est pas un bloc isolé de quelques mètres cubes :
 - remontées par capillarité verticale.
 - circulations latérales en provenance des pentes (particulièrement importantes en Valais).
 - pertes par ruissellement.

3.4.2. 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. Son remplissage est fonction des millésimes et de sa perméabilité de surface et de profondeur (voir figure 24). La **gestion** de ce réservoir est un autre problème. En effet, en dessous d'un certain niveau dans le réservoir, la plupart des plantes ne peuvent plus extraire l'eau du sol. Ce niveau est appelé le "point de flétrissement permanent".

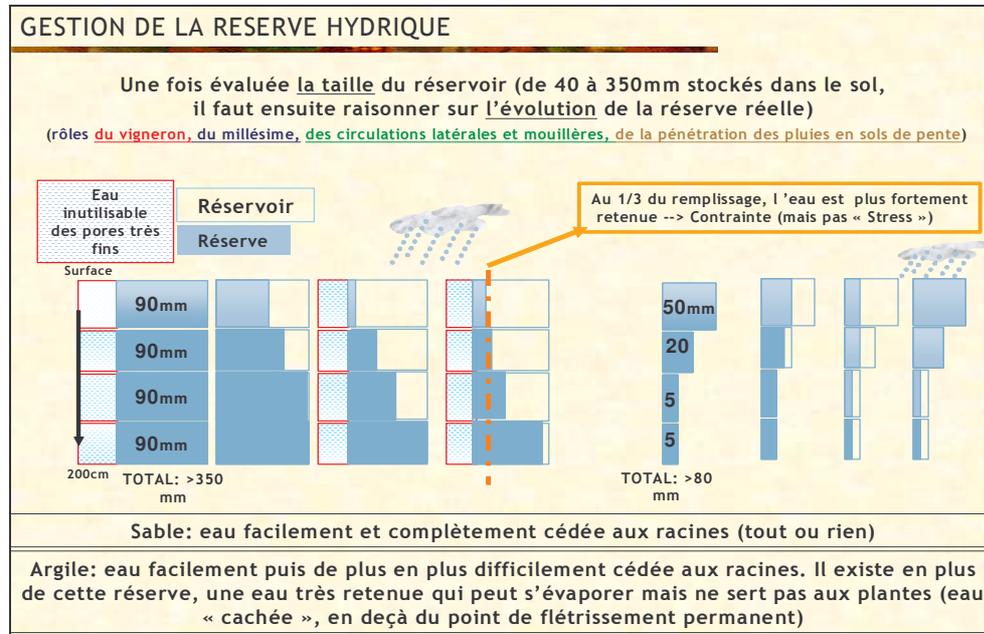


Figure 24 : Gestion de la réserve hydrique

⚠ **Attention** : On parle ici de réservoir "virtuel" dont le "fond" n'est pas le bas du profil, mais la fraction d'eau la plus fortement retenue.

A l'approche de ce "point de flétrissement", le **débit** décroît et la **force de succion** nécessaire à appliquer 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 études de potentiel hydrique (feuilles ou pétioles). Les plantes ligneuses à enracinement profond, consomment d'abord l'eau faiblement retenue de surface, puis de profondeur, puis "tapent" dans des réserves de plus en plus difficiles à extraire. Les horizons de surface passent assez vite au dessous du seuil de flétrissement car l'évaporation directe concerne toute la fraction hydrique et pas seulement la fraction utile pour les plantes. Les mulchs et gravelages limitent bien cette évaporation.

On peut raisonner cette gestion un peu comme un problème de "robinets". Selon les types de sols, le **nombre**, la **taille** des "robinets" de vidanges et de remplissage de leur réservoir virtuel mais aussi leurs **places** (au milieu ou en bas du réservoir) et leur faculté de se fermer **progressivement**, vont être très différents. Au cours du millésime, la vigne et son vigneron vont s'adapter et gérer cette ressource différemment.

Chaque configuration (taille + robinetterie), va dépendre de la texture du sol, mais aussi de sa structure (faculté de former des agrégats petits et poreux ou au contraire de rester en blocs compacts, peu fissurés et peu poreux) et de l'architecture d'enracinement permise par le sol. Nous ne rentrerons pas dans le détail, mais donnons juste quelques ordres de grandeur et éléments de réflexion, à mettre en regard de chaque millésime (voir figure 25).

Un sol argileux peut stocker 4 fois plus d'eau totale qu'un sol très sableux (humidité maximum "à la capacité au champ" = 35% du volume en sol limono-argileux, 9% en sol sableux), mais ceci ne correspond qu'à 2 fois plus d'eau utile :

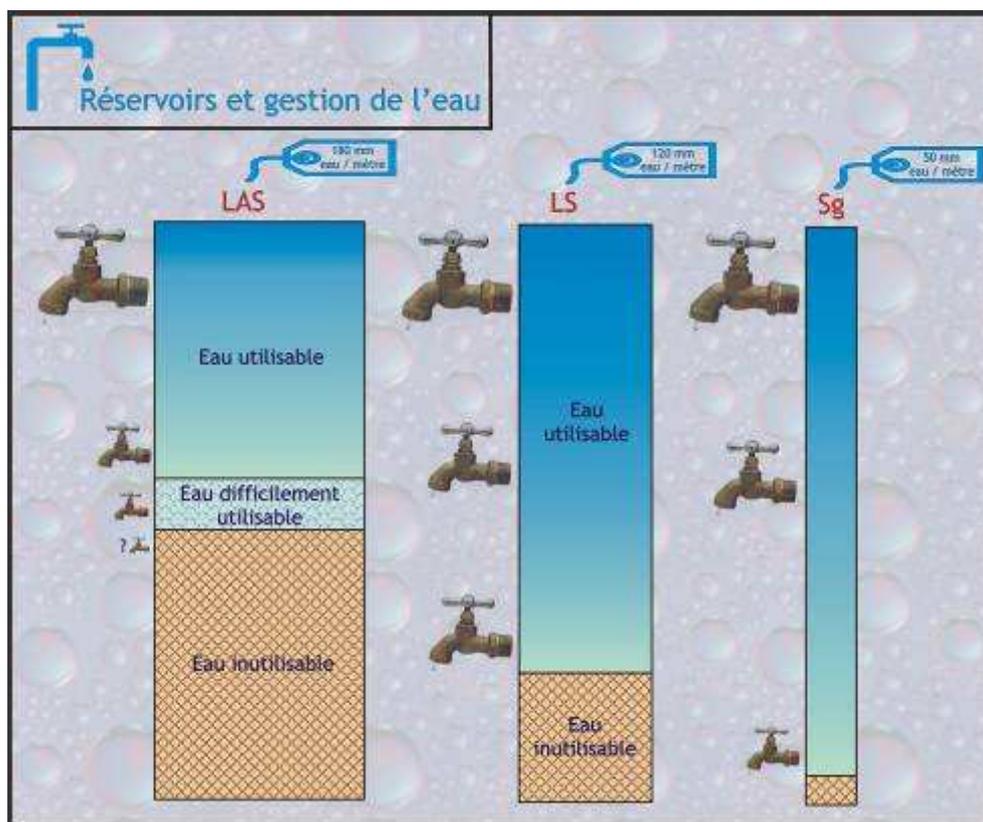


Figure 25 : Réservoirs et gestion de l'eau selon la texture du sol

Les "robinets" les plus bas sont situés assez haut sur le réservoir virtuel d'un sol lourd, le "bas" du volume ne pourra jamais être utilisé par les plantes. Par contre dans les premiers décimètres de sol, il pourra être largement entamé par l'évaporation directe et donc à reconstituer par les premières pluies.

Un sol sableux "sec" pour les plantes ne contient plus que 2-3% d'eau. ("les robinets" sont 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", car il y a plus de pores de taille intermédiaire.

On notera aussi que :

- 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) : l'eau va vers les racines.
- 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 inexistantes dans les sables grossiers : les racines doivent aller vers l'eau.

Dans un sol argileux, 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). On observe des phénomènes de récupération après la nuit.

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.

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

3.4.3. CONCLUSION SUR LE VOLET HYDRIQUE

La plante a plusieurs stratégies pour modérer, stopper ou poursuivre sa consommation : fermeture de ses stomates, mais aussi intervention des protéines membranaires spécifiques, qui permettent le passage de l'eau de part et d'autre de la membrane, tout en empêchant les ions de pénétrer dans la cellule : les aquaporines (découvertes en 1992, prix Nobel en 2003 seulement, c'est dire si les études n'en sont qu'à leurs débuts). Les différents cépages et portes greffe n'ont pas les mêmes facultés génétiques pour supporter les contraintes hydriques et se rationner spontanément.

Par ailleurs, de la même façon qu'on respecte un rapport équilibré entre la charge et la surface foliaire (1m² par kilo en général est un minimum), il y a évidemment un rapport à ne pas dépasser entre la surface foliaire visée et la réserve hydrique potentielle du sol.

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 et concentration que lorsque l'eau reste facilement accessible longtemps dans la saison.

Allongement vers la profondeur et vieillissement racinaire ont un effet un peu similaire, à l'épuisement de la réserve du sol, 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 caillouteux par exemple).

Enfin, certains sols pourtant très rocheux sur calcaires en bancs, plaquettes ou schistes peuvent constituer un milieu contraignant mais non stressant dès lors que l'installation racinaire y est optimale (ce qui est plus long à obtenir).

Par ailleurs et indirectement, les effets d'un dessèchement presque complet du sol sur le **microclimat** et la **température** du sol sont certainement favorables. Avec comme pour le régime hydrique un basculement vers des effets négatifs quand ils sont trop accentués et trop précoces (échaudage).

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 végétation.

Il est même probable que certains composés, ou leurs précurseurs, soient élaborés à des périodes précises d'avancement de la maturation, même avant la véraison et que leur présence et/ou leur abondance dépendent de l'état de "fraîcheur" du feuillage à cette période précise.

C'est en chaque moment du cycle qu'il faudrait donc envisager le niveau de contrainte hydrique opposée aux racines et c'est une hypothèse qui peut expliquer l'infinie variété des millésimes pour les fins dégustateurs.

Les sols ne sont pas simplement argileux ou sableux, profonds ou non, caillouteux ou non. Le paysage pédologique réel 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.

Par ailleurs, les influences dues aux autres composantes du terroir : climat, cépage, conduite du vignoble, dominant parfois sur les nuances strictement liées aux sols, qui ne peuvent être quantifiées que toutes choses égales par ailleurs. En particulier, un équilibre doit être recherché entre le sol, la charge et la surface foliaire exposée (SFE) faute de quoi l'effet « sol » risque de passer inaperçu.

L'interprétation de ces multiples 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. Paradoxalement, il est difficile de prouver des choses pourtant très probables, et au contraire facile de trouver des corrélations indues, ce qui explique beaucoup de dérives, commerciales ou même, pourrait-on dire, "idéologiques". Mais un large éventail d'études pertinentes peut être assis sur la comparaison des grands groupes de réserves hydriques, la contribution des schistes, ou l'abondance du calcaire.

3.5. HYDROMORPHIE ET 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 donnée.

L'hydromorphie vraie ne concerne, à des degrés divers, que moins de 5% des sols viticoles et presque exclusivement, mais de façon assez grave, la plaine du Rhône.

Quelques replats de coteaux sur moraines de fond présentent également des marques d'excès d'eau.

Sous une forme plus ponctuelle des circulations d'eau localement excessives concerneront les versants à loupes de glissements des pentes de schistes argileux (codes 47, 48, 49).

Les longues combes étroites canalisent également des cheminements préférentiels assez localisés, mais qui peuvent être importants dans la compréhension des comportements viticoles.

En situation de forte pente, le différentiel de compacité entre les éboulis, les loess perméables d'une part et les moraines de fond ou éboulements compacts (terre "béton") du fond d'autre part, engendrera des circulations temporaires de profondeur, d'une importance extrême dans la recharge des sols situés en contrebas, mais aussi dans les problèmes de glissements et d'érosion.

Enfin, des circulations très profondes, sans aucun effet néfaste mais complétant largement l'alimentation hydrique des vignes interviennent souvent. Elles sont impossibles à quantifier autrement que par des mesures et observations sur la plante et ne peuvent qu'être évoquées comme "alimentations complémentaires probables" lorsque aucune contrainte hydrique ne vient affaiblir des vignes productives dont le sol n'avoue que 50 à 60mm de réserve sur plus de 2m de profondeur.

3.5.1. LES ORIGINES DES EXCES D'EAU

L'excès d'eau dans les sols peut avoir des origines variées :

- Le ruissellement de sub-surface dans les pentes à plancher imperméable.
- Les nappes perchées d'eau stagnante en position de plateau-replat sur plancher imperméable (sols sur moraines de fond surtout)
- 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 glissement.
- Les nappes alluviales en relation avec un ruisseau ou une rivière qui se développent en position basse de plaine (Rhône).
- Dans certains cas, nous avons ajouté la modalité ,7 pour signaler une alimentation profonde et durable très probable expliquant la bonne ou même forte vigueur de vignes développées sur des sols apparemment très maigres (Bas cônes alluviaux en général, certains éboulements, ou glissements).

3.5.2. 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 26).

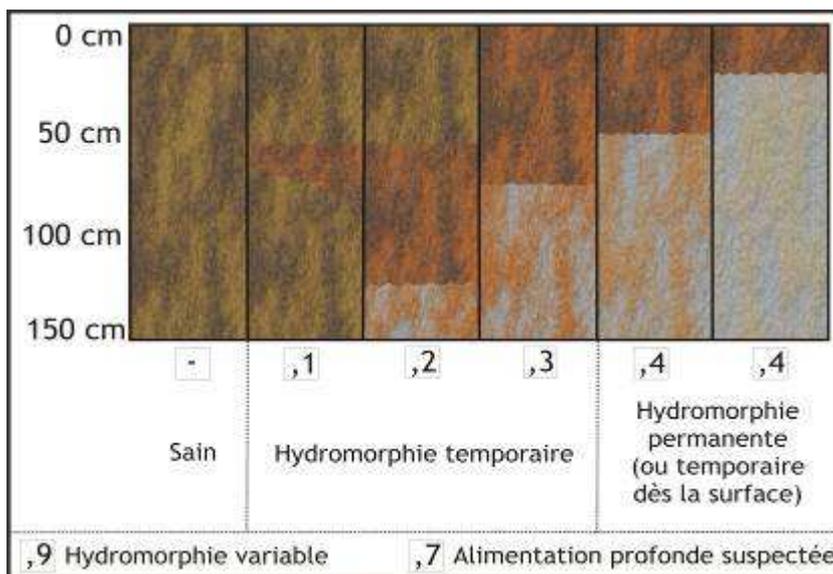


Figure 26 : les types d'excès d'eau des sols hydromorphes

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.

Plus la nappe 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. 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.

En Valais, nous avons trouvé de telles traces, pellicules d'oxydes métalliques autour des cailloux, allant parfois jusqu'à leur prise en masse, horizons rouille vifs dans des endroits plus forcément humides aujourd'hui. Disposés en auréoles autour d'anciens petits marécages de pentes ou lacs temporaires aujourd'hui disparus ce sont des témoins d'une hydromorphie fossile qui n'est plus fonctionnelle. Toutes les traces bleues ou grises ou même rouille ne sont pas des signes d'excès d'eau: certaines roches, calcschiste, flysch, marnes, sont naturellement bleutées, ou très ferrugineuses, avec des revêtements rouille ou noirs dont le sol va hériter.

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. Le niveau 4 est parfois atteint dans la plaine du Rhône.

3.5.3. LES CLASSES UTILISEES ET LEURS CONSEQUENCES AGRONOMIQUES

- ✚ Hydromorphie de type ,1 : Excès d'eau temporaire à marques discrètes ou profondes. Ce type de circulation peut compléter un peu l'alimentation en eau du sol par capillarité après des épisodes pluvieux, sans grandes conséquences néfastes sur le comportement des vignes. Des difficultés d'accès à la parcelle peuvent se manifester lors des périodes humides (ressuyage ralenti).
- ✚ Hydromorphie de type ,2 : Excès d'eau temporaire en profondeur. 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 devient plus difficile. 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 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, la chlorose de milieu humide y est plus fréquente.

- ✚ Hydromorphie de type ,4 : Excès d'eau permanent à moins de 1.20 m de profondeur et temporaire dès la surface. Cette configuration ne permet pas un bon développement des racines. Elle empêche le réchauffement des sols, leur ressuyage et développe une ambiance très humide. Le comportement des vignes est profondément perturbé, les travaux sont très difficiles à programmer. Dans certains espaces de la plaine du Rhône, la nappe est présente de façon quasi constante vers 1m - 1m50. Elle est de plus très froide puisqu'elle est constituée d'eau de fonte printanière. Par contre il n'en est pas de même au niveau des cônes torrentiels latéraux, qui s'étalent parfois presque jusqu'au Rhône.
- ✚ Hydrologie de type ,7 : Une alimentation par des circulations souterraines au sein d'horizons très profonds doit intervenir pour que le comportement viticole s'explique. Aucun signe d'hydromorphie n'est repérable dans les profils.
- ✚ Hydromorphies de type ,9 : Très variables, et caractéristiques des pentes bosselées à glissement actif, d'un point à un autre on passe de sols sains à des mouillères permanentes : de ,0 à ,4.

3.6. CLEF POUR LES 9 REFERENCES DE SOLS UTILISES COURAMMENT

Nous les ordonnons dans un ordre de hiérarchie choisi en fonction des exigences de la vigne : eau, calcaire, pente

Exemple : si un sol contient 80% de cailloux et graviers on le classera d'abord en PEYROSOL.

Le choix se fait sur :

- La teneur en cailloux qui est essentielle pour le calcul de la RUM.
- La présence d'une roche non transformée à moins de 60-70cm.
- Le calcaire qui permet d'aiguiller vers un choix de porte greffe.
- La situation colluviale ou non. (qui implique une forte RUM et une très faible pente ou une position de plaine.
- Le taux de sable (qui détermine aussi une part de la RUM, la rétention des fertilisants et le drainage).

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

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

Sol contenant plus de 60 % d'éléments grossiers: graviers, cailloux, pierres et blocs (attention nous élargissons le sens pour des raisons hydriques : nous incluons les graviers) donc la terre fine représente moins de 40% du volume dans plus des 3/4 du profil. Les vignes sont souvent épierrées sur 50cm, il y a des pierriers, des murs de pierre sèche...

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

➤ **REGOSOL** : (sol très mince calcaire)

Sol à horizon brun de surface, calcaire, d'épaisseur inférieure à 30-40cm sur roche meuble (sable ou moraine de fond, par exemple) le plus souvent non transformée.

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

➤ **COLLUVIOSOL** :

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

➤ **FLUVIOSOL** :

Sol issu d'alluvions récentes transportées, triées puis déposées par les rivières, en situation de basse plaine. Il **peut** être extrêmement caillouteux. En particulier au bord des torrents à chenal très pentus.

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

➤ **ARENOSOL** : (sol sableux = arène)

Sol contenant moins de **12.5 % d'argile et plus de 65% de sables** sur toute sa profondeur. Horizon brun de plus de 10 cm, pas d'horizon fortement différencié.

Si le taux de cailloux ne dépasse pas 60%, que l'on n'est pas en plaine, qu'il n'y a pas de roche brute, qu'il y a des d'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 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 différent 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 « S » (= structural) moyen un peu différent (couleur, texture, teneur en calcaire) de la roche mère calcaire (horizon M ou R).

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 saturé en calcium mais non ou très peu effervescent à l'acide chlorhydrique (qui ne contient plus de calcaire total). La roche calcaire peut être trouvée en profondeur.

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

➤ **BRUNISOL** : (ancien sol brun)

Sol peu acide ou acide mais pas lessivé, présentant un horizon de profondeur, brun bien structuré et poreux. (très rare en Valais)

NB : On peut passer d'une référence à une autre avec le temps. C'est l'évolution des sols qui se poursuit pendant des milliers d'années si le sol n'est pas érodé ou recouvert. La rapidité de l'évolution dépend du (des) climats (température et pluviométrie), de l'acidité et de la perméabilité de la roche mère.

S'il pleuvait assez, à partir d'une même roche mère: (une moraine de fond par exemple) on pourrait passer, sur un replat, du REGOSOL brut au CALCISOL puis BRUNISOL profond, voire au REDOXSOL.

A partir d'un calcaire dur :

[LITHOSOL, RENDOSOL, RENDISOL CALCISOL caillouteux, CALCISOL, BRUNISOL, ...]

4 - RESULTATS ET SYNTHESSES

4.1. LES PROFILS

Nous remercions infiniment tous les vigneron qui ont réalisé, parfois dans des conditions vraiment acrobatiques, tous les profils de ces trois années d'études, ainsi que ceux qui nous ont fourni leurs données personnelles.

449 profils dont 8 chantiers récents, 2 friches, 1 verger et 1 bois ont été observés dans le cadre de l'étude des terroirs et décrits dans la base de données "Profils". Aucun talus naturel n'est décompté dans ce chiffre, car ils ont été assimilés à des sondages, ainsi que des chantiers anciens ou difficiles à décrire précisément.

Donc, 437 profils ont été creusés dans des parcelles viticoles. La profondeur moyenne atteinte est de 190cm. 85% des profils font plus de 150cm de profondeur. Sur les 15% de profondeur inférieure à 150cm, seuls 18 l'ont été pour une cause "non justifiée" par le sol lui-même. 4% (16) se sont en partie éboulés, 3%(14) se sont remplis d'eau, 4,7%(21) présentaient de trop gros blocs pour être approfondis sans dégâts.

- 28 profils seulement ont atteint une roche mère dure, le flysch ou des schistes calcaires, en général (ce qui ne veut pas dire loin de là qu'il n'y ait que 6% des sols à sous sol rocheux, comme nous le verrons plus loin).
- 80 profils d'études antérieures ont été intégrés à la base de donnée, dont 28 pour les études menées par Raphy Favre sur Martigny et Vétroz, et 37 par l'École de Changins (Viti 2000, divers). La profondeur moyenne atteinte est de 135cm et 48 de ces profils ont une profondeur insuffisante pour une interprétation complète au point de vue hydrique.
- Environ 20 autres profils divers, provenant de données privées et chantiers ont été partiellement exploités (analyses de terre, données générales), mais non intégrés à la base de donnée par manque de données essentielles (souvent la pierrosité).

4.2. LES CÉPAGES DES PARCELLES À PROFILS

302 parcelles de profils sont renseignées soit 55% du total des 529 profils de la base de donnée. Ceci donne 364 renseignements/cépages concernant 25 cépages différents (plusieurs cépages étant possibles dans une même parcelle ou à immédiate proximité).

188 profils/parcelles de l'ETV (= Etude des Terroirs Valaisans) restent à renseigner, ce qui sera fait progressivement puisque chaque vigneron participant sera contacté au moins une fois encore pour lui remettre sa fiche personnelle de profil.

Pour les cépages "classiques", la répartition est assez proche de la structure de l'encépagement actuelle en Valais (voir figures 27,28 et 29), avec une meilleure représentation des "autres cépages" (36% contre 22%) au détriment des 3 principaux, ce qui était souhaité étant donné l'objectif d'acquisition de connaissances de l'étude.

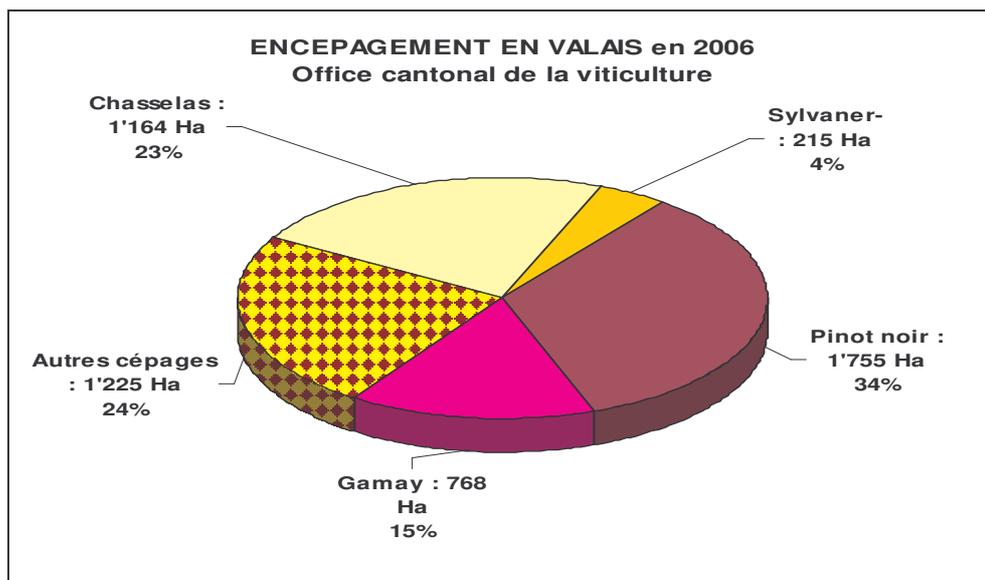


Figure 27 : Répartition des cépages en Valais, 2005 (OCV)

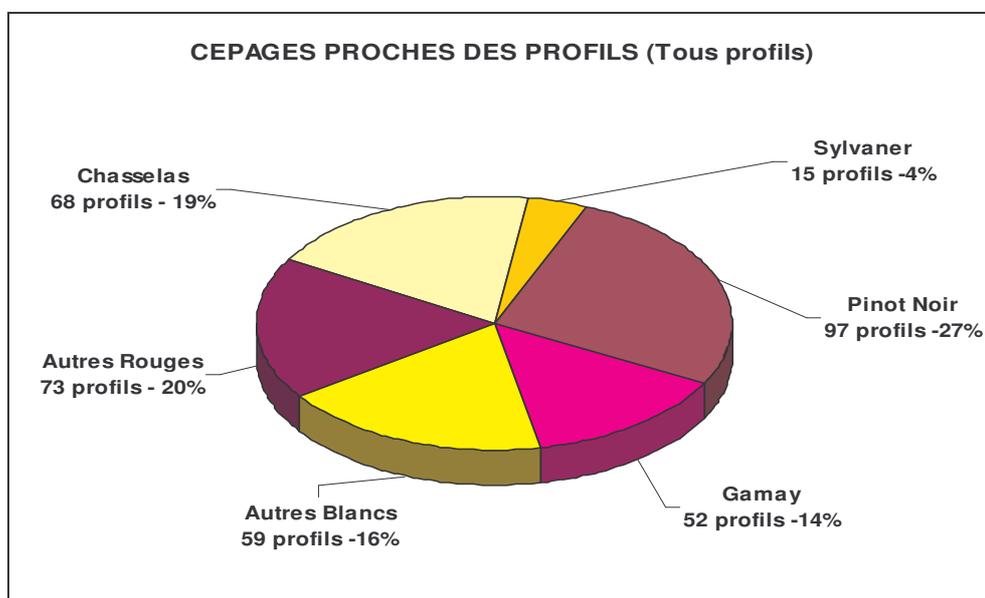


Figure 28 : Répartition des cépages des profils de la base de données (ETV+ autres)

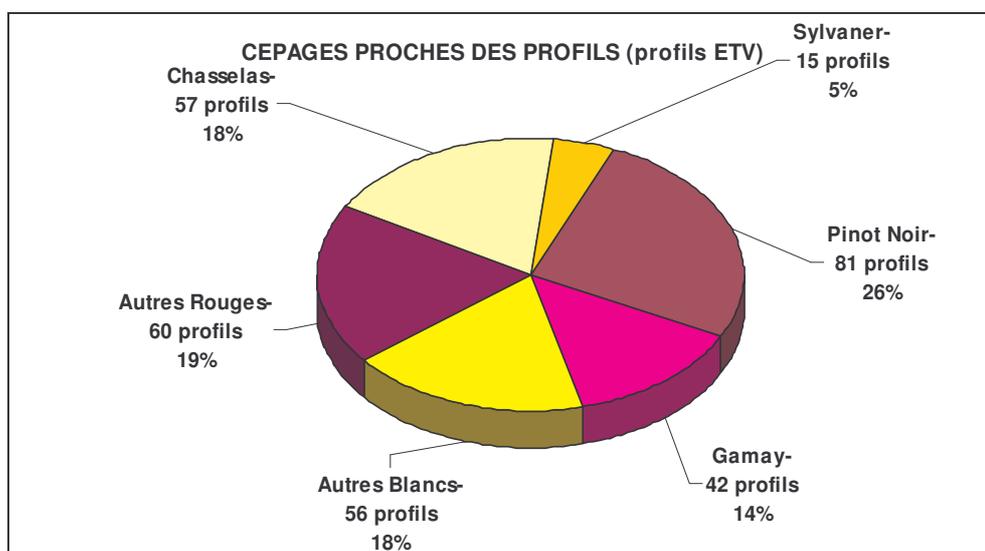


Figure 29 : Répartition des cépages des profils de l'ETV

Pour les autres cépages, on observe une répartition différente de celle de l'encépagement actuel, ce qui traduit en partie l'intérêt porté en particulier sur l'Amigne (ceci étant lié à l'étude spécifique exploitée à Vétroz), La Petite Arvine, le Païen et surtout le Cornalin. La Syrah est mal représentée (7 parcelles) bien qu'elle semble prendre de l'ampleur ces dernières années. Nous demandons de préférence des parcelles en pleine maturité (12 à 20 ans) ceci expliquant probablement cela. 96 sites représentent 10 de ces cépages :

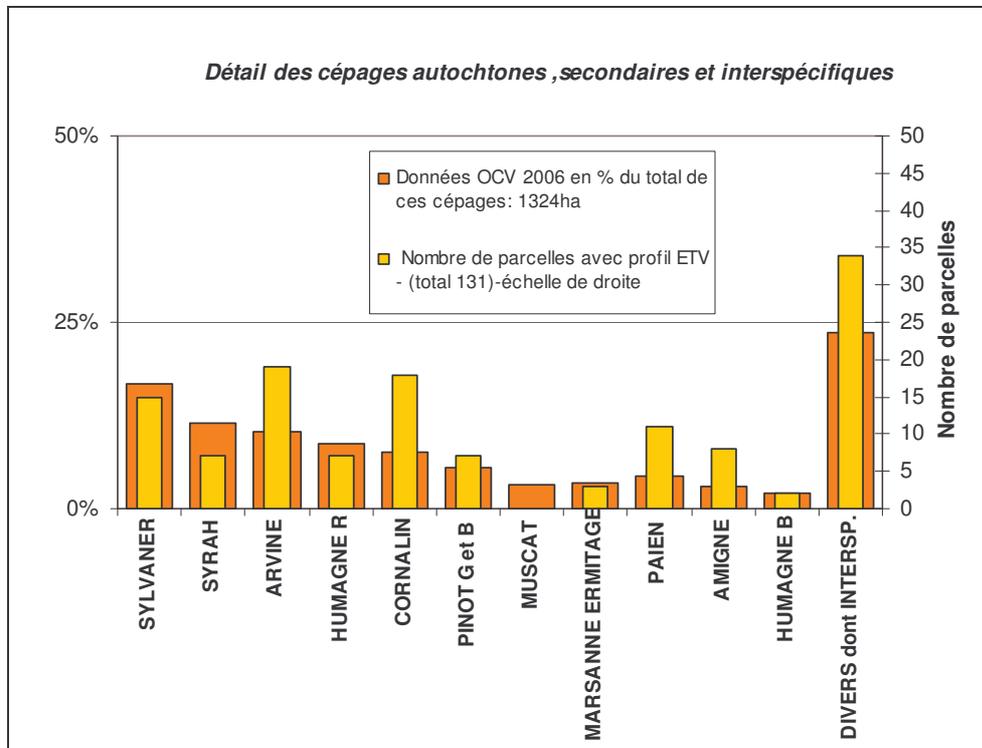


Figure 30 : Répartition des cépages 'secondaires' des profils

A la droite du graphique ci-dessus, 34 parcelles constituent des repérages intéressants (Diolinoir (10), Gamaret (8) Garanoir (2), Merlot (4), Cabernet F. (3), Chardonnay (3), Sauvignon Doral, Carminoir et Muscat, (1) site chacun, à rapprocher des tendances observées par l'OCV en 2006.

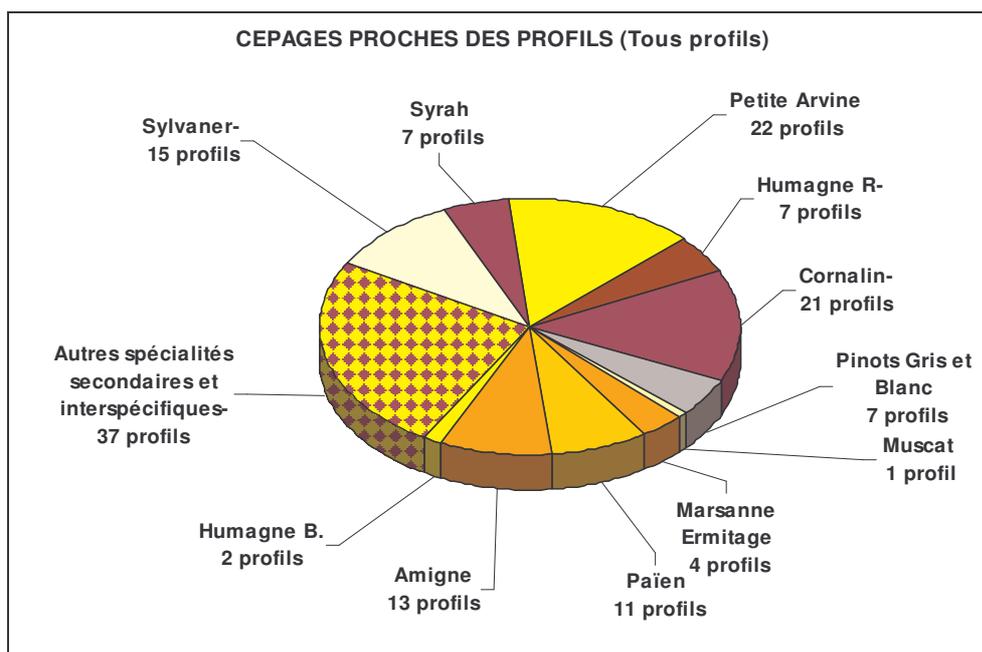


Figure 31 : Répartition des cépages 'secondaires' des profils

4.3. LES SURFACES : UNITES REGROUPEES

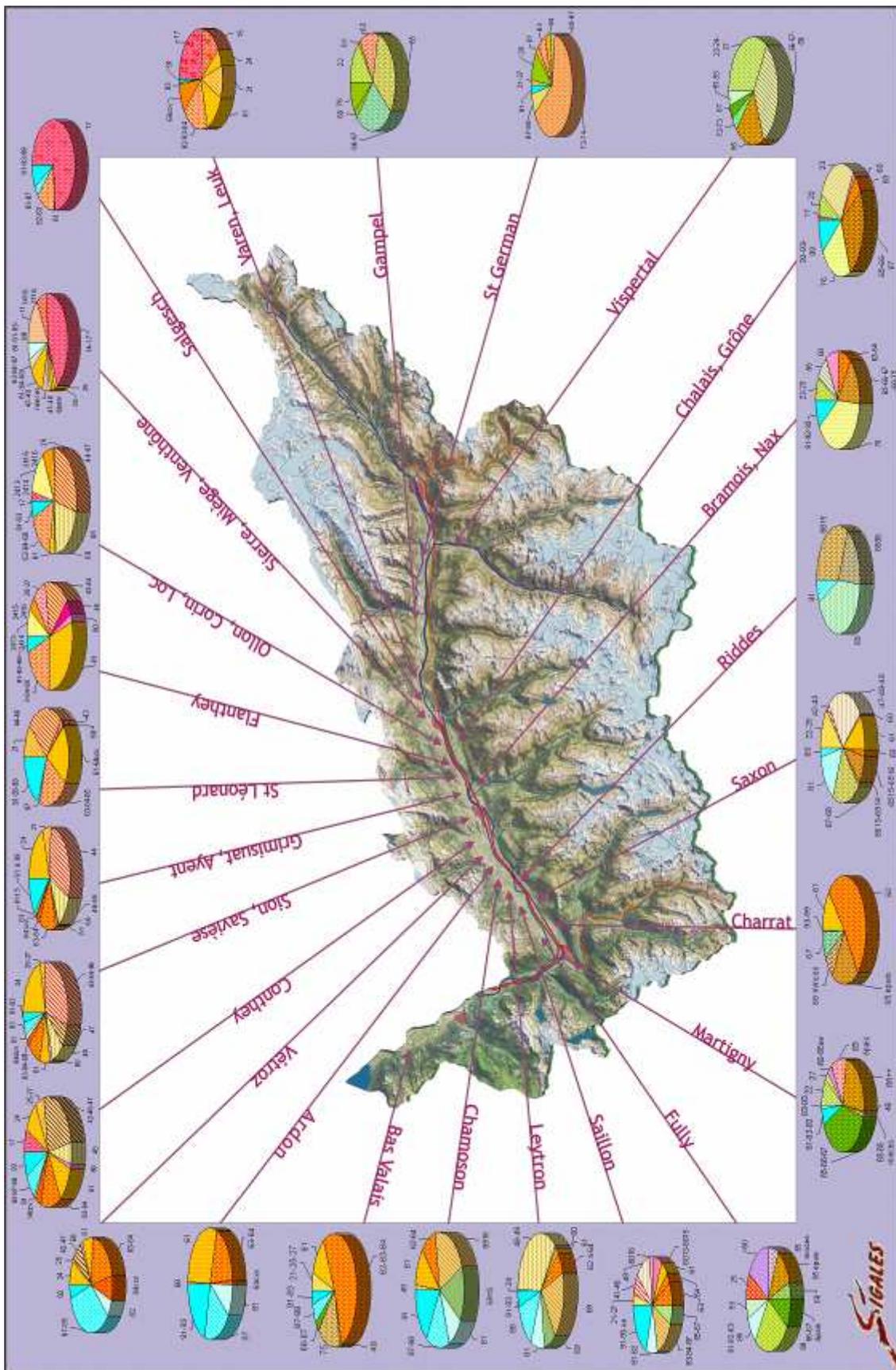
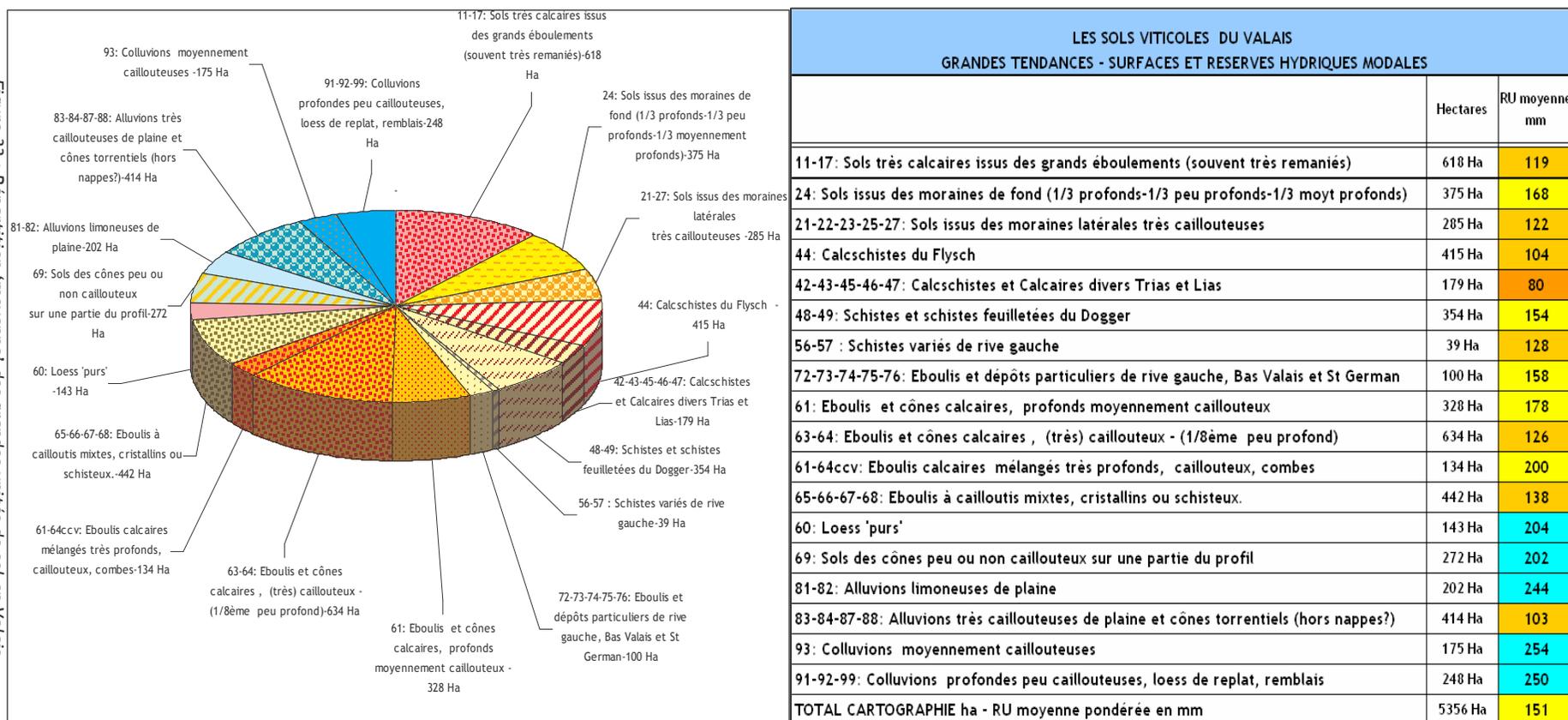


Figure 32 : Répartition des grandes unités de sol par secteur en Valais

Figure 33 : Répartition 'moyenne' des grandes unités de sol en Valais



Au bout du compte, **5356 hectares** ont été cartographiés, non compris des bois, et des affleurements rocheux intéressants non plantés (ables) qui viennent en plus. Ce chiffre dépasse de peu les surfaces officielles (5127 ha), probablement simplement à cause de la largeur des chemins et routes, et les zones bâties très découpées que nous n'avons pas toutes sorties.

2923 unités ont été dessinées, dont plus de 2200 font moins de 1 hectare et 700 moins de 0,25 hectares.

Des regroupements très larges ont été réalisés pour que le graphique ci contre reste lisible. La réserve hydrique modale (colonne de droite du tableau) de chaque groupe correspond à un calcul fait pour chaque type d'unité composant le groupe, pondéré par sa surface, donc assez fin, sans toutefois tenir compte des variantes. On peut constater que:

-  11-14-17: L'éboulement aux sols "hyper calcaires" de Sierre, Salgesch et des "collines" est considéré ici dans son ensemble, soit 618 ha dont un peu plus de 100 ha sont plus profonds et moins caillouteux [11], quoique toujours très calcaires. Cet ensemble est évidemment très bien localisé de L'est de Randogne à Varen). Un éboulement un peu comparable mais de bien moindre ampleur existe sur Conthey.
- 21 à 28: Les sols vraiment morainiques représentent environ 650 ha (dont plus de la moitié sur moraines de fond). Les moraines de fond [24]  sont assez présentes de l'est de Vétroz à Conthey puis de Grimisuat à Ayent. On les retrouve ensuite dans les hauts des vignobles de Flanthey, Ollon et Corin, puis elles disparaissent sous l'éboulement. Les sols de moraines latérales  sont très disséminés sur l'ensemble du canton [21 à 27, hors 24].
- Les sols souvent peu ou moyennement profonds sur schistes  et calcaires divers  couvrent près de 1000 hectares, (y compris les sols terrassés et approfondis des grands coteaux de type Clavaux) sont répartis depuis Saillon jusqu'à Ollon-Loc. Les reliefs complexes qui les caractérisent ménagent des combes parfois bien approfondies à piégeage de loess entre des crêtes aux sols beaucoup plus minces. On peut y rattacher les sols sur schistes  [56] de Visperterminen, de Nax ou de Bramois et les écailles complexes de Saxon.
-  48-49 : Les 350 ha de schistes plus feuilletés et instables du Dogger sont bien groupés dans les coteaux de Leytron, les versants de rives droites des vallons latéraux de Conthey (Daillon) ou Ayent (Voos) puis de Loc à Randogne. et enfin sur Fortune à Saxon.
-  Les loess (à code 60 donc presque purs) ont été trouvés sur 142 hectares. Les plus grandes unités sont sur Fully, Saillon, Bramois, mais ils interviennent plus ou moins nettement dans plus de 400 hectares supplémentaires (Trilogies ou mélanges, notations OE, oe dans les variantes) disséminés un peu partout de Martigny à Bratsch.
- Les sols caillouteux profonds d'éboulis calcaires concernent près de 1000 ha (tabliers en pentes fortes ou grands cônes plus accessibles).  
-   Les sols caillouteux profonds d'éboulis peu ou non calcaires à éléments plutôt cristallins ou très schisteux couvrent près de 500ha, en rive droite de Dorenaz à Saillon puis de Bratsch à St German, en rive gauche de Martigny à Saxon/Riddes, puis dans le Vispéral.
- En rive gauche, ainsi que dans le Bas valais et St German, d'autres configurations particulières  de très petite extension se rencontrent, au milieu de sols très semblables à ceux de rive droite. Leurs compositions minéralogiques différentes se traduisent par de nombreuses anomalies d'analyses de terre (30% des anomalies de CEC pour 2% des surfaces). Des traces de gypse ont été trouvées dans plusieurs communes mais les sols vraiment sur (et issus de) gypse sont localisés sur Loc.

-  Les grands cônes torrentiels peu pentus ou plats mais extrêmement caillouteux donnent souvent de grandes unités assez homogènes : Fully, puis Leytron, Chamoson (en partie) ou en situation plane sur Saillon (Salentse) Ardon/Vetroz (Lizerne), et sur les rives des principaux torrents (Morges, Raspille). Ils représentent plus de 330 ha auxquels on peut ajouter 75 hectares d'alluvions très caillouteuses du Rhône.
-  D'autres grands cônes sont plutôt limoneux et peu caillouteux (Chamoson en partie, Riddes, Agarn), sur 250 hectares.
-  Les colluvions et alluvions de plaine et de replats, profondes, non ou peu caillouteuses concernent un peu plus de 600 hectares assez disséminés mais plus représentés en surface de Leytron jusqu'à Vetroz.

Ces communes voisines (Saillon puis Fully, voir figures 34 et 35) ont des configurations très différentes :

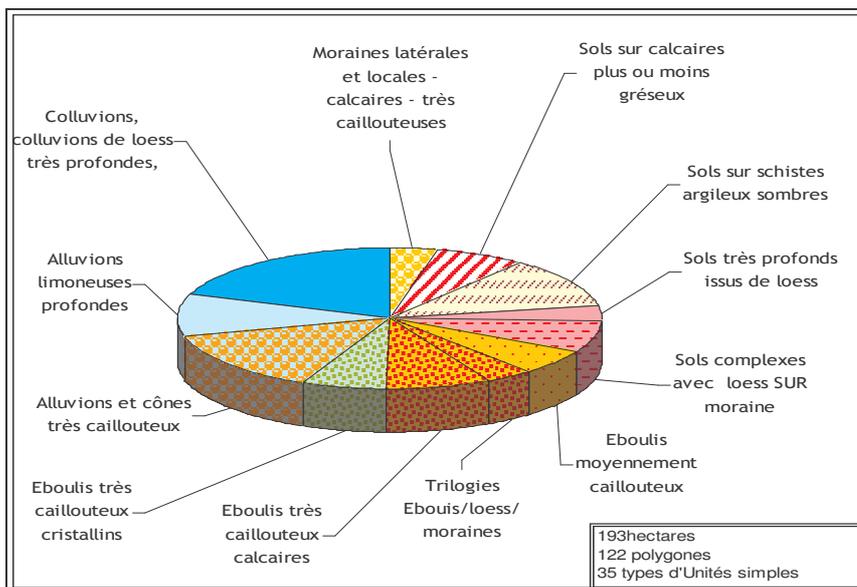


Figure 34 : Répartition des grandes unités de sol sur Saillon

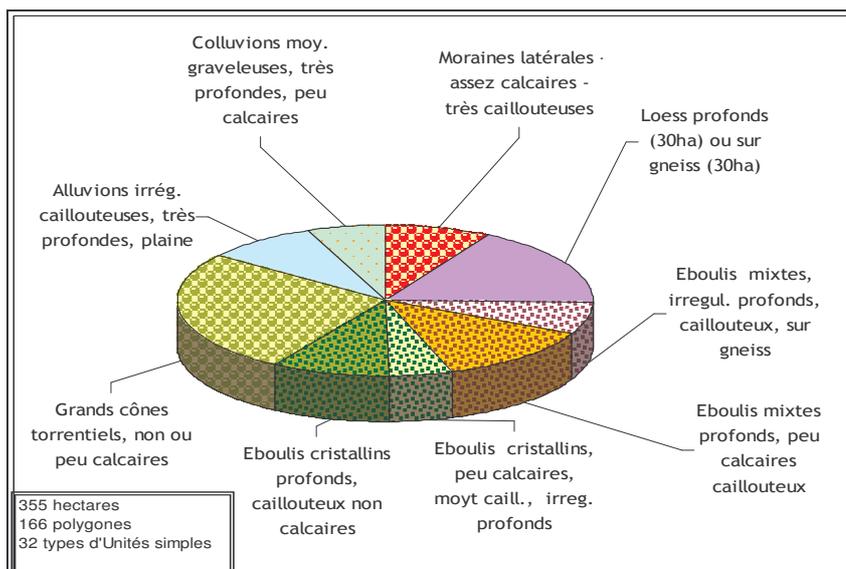


Figure 35 : Répartition des grandes unités de sol sur Fully

Les travaux sur les cépages devront donc probablement être orientés en fonction de ces données globales, auxquelles on pourra adjoindre les données plus strictement hydriques (voir partie 4.5.).

4.4. QUELQUES CHIFFRES : LES ANALYSES DE TERRE

4.4.1. ANALYSES : COMPARAISON ENTRE LES SECTEURS

Le tableau 09, de la page suivante, met à la fois en avant ce qui dépend de la géologie, mais aussi l'empreinte plus ou moins grande des viticulteurs sur les sols (brassage, apports de matière organique et fumures).

Les moyennes concernant tout le valais sont en haut du tableau ce qui permet de voir les secteurs qui se situent en dessous ou au dessus de cette moyenne pour chaque paramètre. Les couleurs sont des aides visuelles pour repérer les valeurs de secteurs les plus faibles et les plus fortes (pas de considération qualitative).

On remarque ainsi que les taux de matières organiques moyens de sub surface sont inférieurs à 1,2 pour 8 secteurs et proches de 2 pour 2 secteurs.

On note également que le taux moyen de 1,17% de matière organique, tous horizons confondus, est assez élevé étant donné que plus du tiers des prélèvements proviennent d'horizons très profonds. Ce chiffre est à comparer aux 0,9% et 0,8% trouvés dans les cantons de Vaud et Neuchâtel. Cette différence apparemment modeste traduit en réalité un travail d'amélioration considérable. D'une façon générale il est bon de retenir qu'il faut beaucoup de travail et d'apports pour modifier très peu ce type de moyennes. Par ailleurs les teneurs moyennes de profondeur restent proches de 1 pour de nombreux types de sols très caillouteux ce qui est encore plus parlant.

On peut également à ce niveau du rapport, rappeler par un simple graphe comparatif inter cantonal (voir figure 36), que la géologie ne fait pas les sols : il n'y a que des roches calcaires dans les cantons de Neuchâtel et de Vaud, et pourtant il y a beaucoup plus de sols non calcaires : l'évolution est d'autant plus marquée que la pluviométrie est importante.

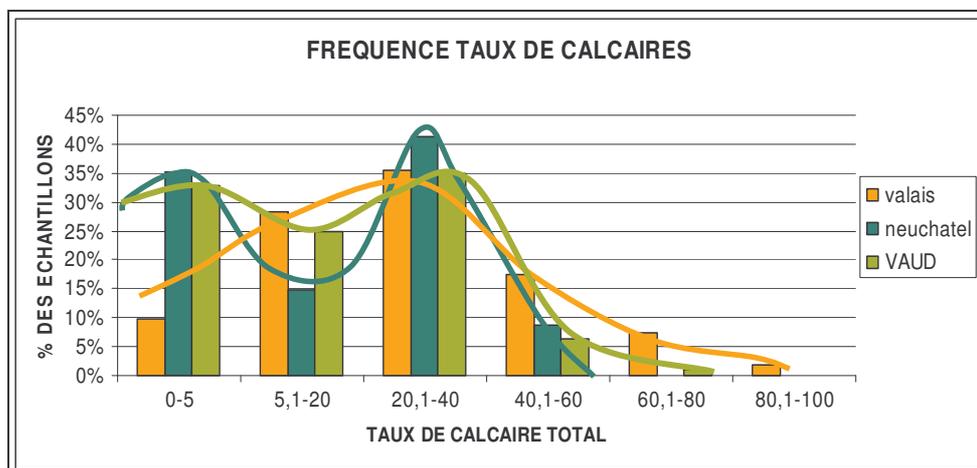


Figure 36 : Fréquences comparées en calcaire total pour 3 cantons romands

Pour les teneurs en Potasse et Magnésium échangeables, notons dès maintenant que ces teneurs n'ont de valeurs que comparatives d'un horizon à l'autre, d'un secteur ou d'une unité à l'autre. La méthode fédérale d'extraction qui boucle la somme des cations à 100% même si le sol est sursaturé en calcium, ne permet pas une bonne estimation des cations réellement échangeables. Dans l'absolu, d'après ces chiffres tous les secteurs seraient à des niveaux faibles ou très faibles en potasse, ce qui n'est évidemment pas le cas, bien que les carences ne soient pas exceptionnelles.

Nombre d'éch.	Secteur	Matière Org. % Tous horizons	Matière Org. % Sub-surface*	pH	Calcaire Total %	Calcaire Actif % ^{***}	Argile %	Limons %	Sables %	Fer ppm ^{***}	CEC cmol/kg	CEC "fm"	K % sub-surf	Mg % sub-surf	Mg % Profondeur
727	VALAIS sans anomalies	1,17	1,53	8,0	28,2	6,2	13,6	38,5	47,9	161	8,6	52,3	1,9	7,6	7,1
734	VALAIS	1,17	1,55	8,0	28,2	6,2	13,6	38,5	47,9	161	9,2	56,8	1,9	7,6	7,1
9	01-BAS VALAIS	1,77	1,76	8,0	28,1	3,3	19,7	29,8	50,4	228	11,9	43,7	0,9	8,2	7,2
40	02-MARTIGNY	1,32	1,54	7,5	11,1	1,2	14,7	35,7	48,9	212	10,1	27,0	1,9	8,7	8,5
55	03-FULLY	1,00	1,41	8,1	10,7	2,3	9,9	36,6	51,8	131	7,9	69,8	2,6	8,5	7,1
34	04-SAILLON	1,19	1,05	8,1	22,0	6,2	12,5	38,9	38,6	116	9,4	57,4	1,5	7,0	5,8
37	05-LEYTRON	0,82	1,01	8,0	29,9	4,2	12,8	36,2	51,1	208	7,2	50,9	1,7	7,7	8,6
38	06-CHAMONSON	1,46	1,93	7,9	39,4	6,2	17,1	44,8	38,1	211	8,0	30,8	1,9	7,8	7,2
12	07-ARDON	1,05	1,08	8,2	48,5	8,0	11,9	36,9	51,2	384	7,0	44,9	1,3	7,7	7,1
51	08-VETROZ	1,25	1,43	8,2	35,5	5,7	13,0	35,2	51,3	223	8,9	56,3	1,7	7,5	6,6
31	09-CONTHEY	0,94	1,29	8,1	34,0	6,6	14,5	32,7	52,5	167	7,7	41,0	1,5	5,4	3,9
25	10-SAVIESE (seul)	0,81	1,23	8,1	18,2	4,5	16,6	42,1	41,3	158	9,8	49,5	1,5	9,7	8,3
27	11-SION (tous)	0,97	1,28	8,2	17,7	3,8	11,1	39	50,0	120	8,4	66,3	1,6	7,1	7,2
21	12-GRIMISUAT	1,12	1,56	8,1	21,2	4,6	15,6	45,3	39,0	183	8,9	49,0	1,7	7,1	5,7
38	13-AYENT	1,01	1,37	8,1	22,6	4,4	14,9	37,7	47,4	151	8,9	54,2	2,0	6,9	8,5
20	14-ST LEONARD	0,92	1,13	8,0	27,8	5,0	12,0	38,5	49,6	198	7,4	48,0	1,8	5,9	5,7
28	15-FLANTHEY	1,42	1,73	8,0	25,9	6,9	16,0	43,9	40,2	188	9,1	41,9	1,4	6,7	6,2
33	16-OLLON-LOC	1,41	1,68	8,1	21,4	6,2	15,9	41,9	42,2	130	11,5	59,9	1,4	8,4	9,3
28	17-VENTHONNE SIERRE W	1,36	1,70	8,2	47,0	10,5	16,1	33,2	42,5	105	9,4	41,9	2,0	6,1	8,7
27	18-MIEGE VEYRAS	0,93	1,18	8,1	56,89	9,2	15,5	36,5	46,2	122	8,6	53,7	1,8	6,5	5,4
44	19-SALGESH	1,62	2,05	8,1	57,56	10,0	15,4	38,3	46,3	106	9,8	49,1	1,7	7,2	5,5
30	20-VAREN LEUK	1,06	1,34	7,9	43,9	9,4	14,0	39,8	46,3	112	14,38,9 ^{***}	80,4/54 ^{***}	1,3/1,5 ^{***}	7,8 ^{***}	5,6/6 ^{***}
27	21-VISPENTAL RARON	0,87	1,02	8,2	5,2	NM ^{***}	8,9	31,0	60,1	NM ^{***}	6,3	53,6	2,6	8,1	9,8
24	22-CHALAIS GRONE	1,33	1,51	7,9	8,1	3,8	8,7	42,1	49,3	NM ^{***}	12,5/7,6 ^{***}	112/60 ^{***}	1,8/2,1	9/11,2 ^{***}	8,8/13
12	23-BRAMOIS	1,13	1,53	8,0	11,3	3,8	10,6	37,3	52,1	130	15,38,2 ^{***}	106/59 ^{***}	1,2	6,9	6,7/10 ^{***}
25	24-SAXON RIDDES	1,12	1,27	8,1	16,5	4,6	9,5	36,6	50,1	114	7,0	51,3	2,2	8,7	7,1
16	25-CHARRAT	1,49	1,94	8,2	44,4	8,3	16,0	38,1	40,7	140	9,6	42,2	1,2	6,2	5,2
		*sub-surface 30-50cm en moyenne				**moyenne partielle pour les échantillons concernés								K et Mg Echangeables sub-surface et profondeur	

Tableau 09 : Données moyennes des analyses de terre par secteur

4.4.2. ANALYSES : COMPARAISON ENTRE LES GRANDES UNITES

C'est le résultat objectif du traitement de l'ensemble des analyses, dégroupées par unité de sol ET par profondeur. En effet, étant donné les superpositions nombreuses, les moyennes tous horizons/tous secteurs ne permettent pas de tirer des tendances nettes ; Par contre une fois triées et dissociées par profondeurs, certaines tendances sont assez claires (voir les graphiques suivants, p86 à 97).

Les graphiques en bandes horizontales permettent de juger du niveau de plusieurs paramètres d'un coup d'oeil, de voir s'ils varient ensemble ou indépendamment. Chaque paramètre - Matière organique (MO) taux de potasse échangeable (K) et taux de magnésium (Mg), puis argile et CEC dans le graphe du bas, est comparé aux moyennes cantonales utilisées comme repère moyen.

Cette présentation permet de repérer des allures caractéristiques, de confirmer les moyennes (calcaire, taux d'argiles) et de détecter des "anomalies" explicables, ou non. Le groupe du haut est une moyenne de tous les horizons.

Les graphiques concernant le calcaire n'ont pas été éclatés par profondeur, car l'évolution verticale reste faible. Ils visualisent le pourcentage d'échantillons présents dans chaque tranche de taux de calcaire.

Remarques :

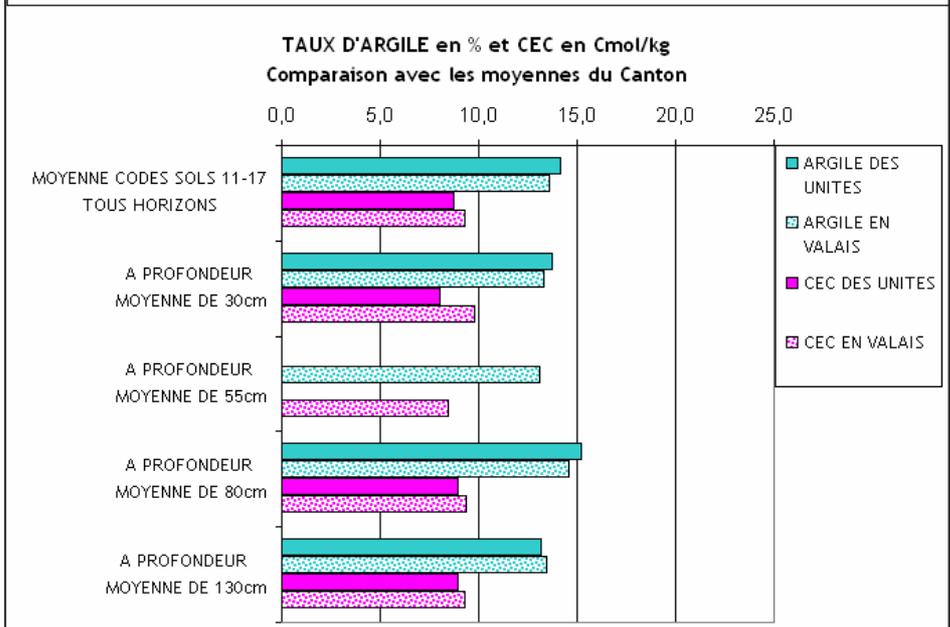
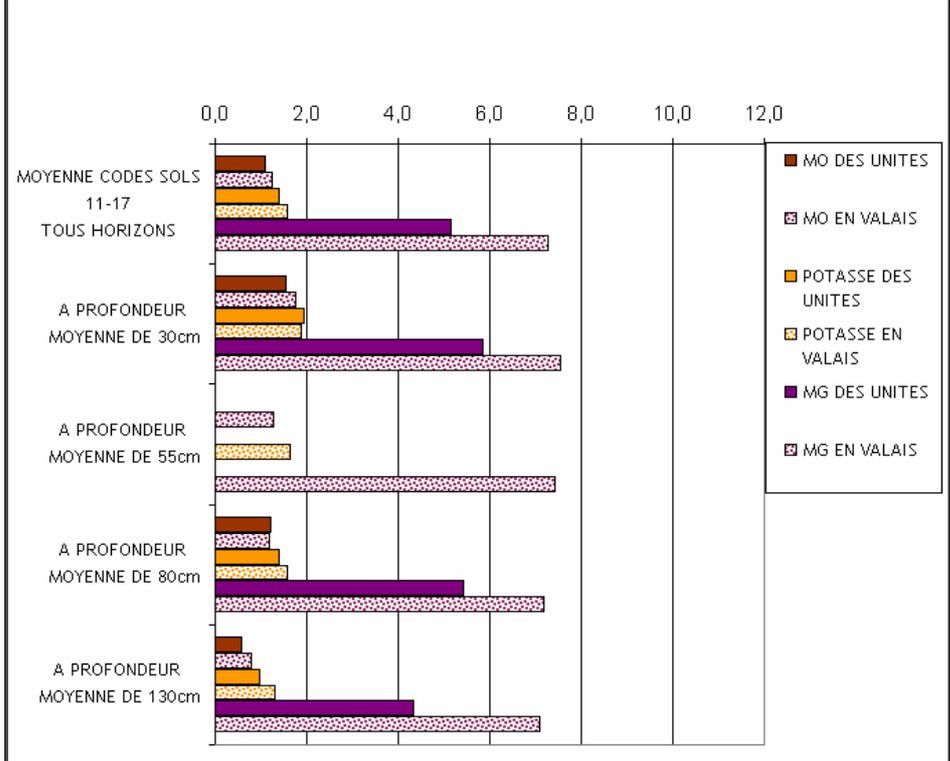
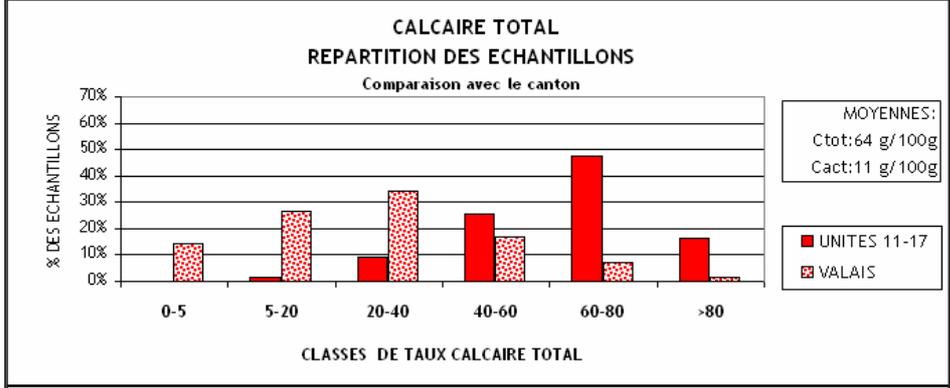
Les unités complexes de type 64 ne sont pas représentées car les profondeurs et épaisseurs des différents niveaux varient trop d'un profil à l'autre.

De même les unités pour lesquelles nous n'avons que trop peu d'analyses de terre soit qu'ils représentent très peu de surface (codes 22, 26, 45, 74, 75, 76 par exemple), soit qu'ils soient assez évidemment rocheux pour que leur identification ne pose pas de problèmes. (Les codes 47 par exemple).

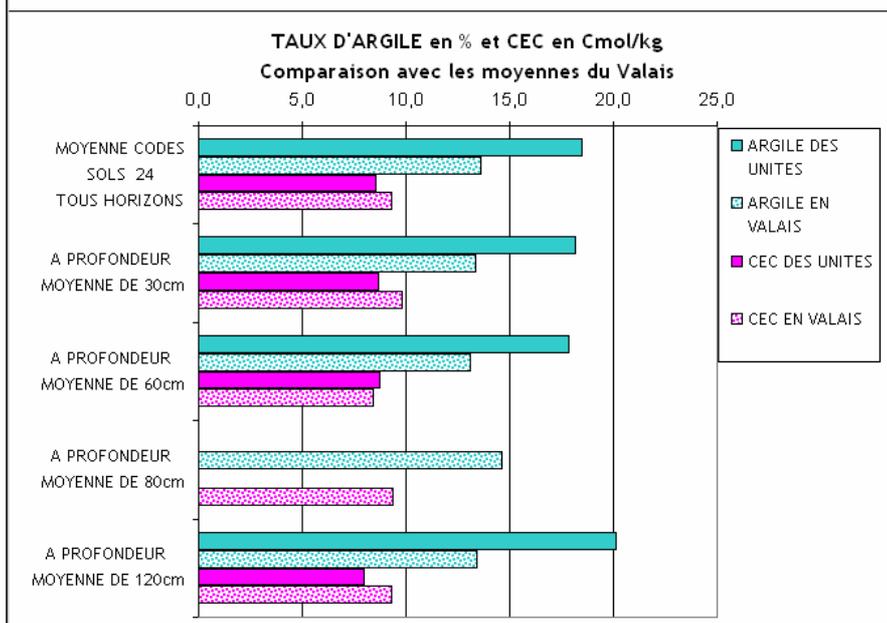
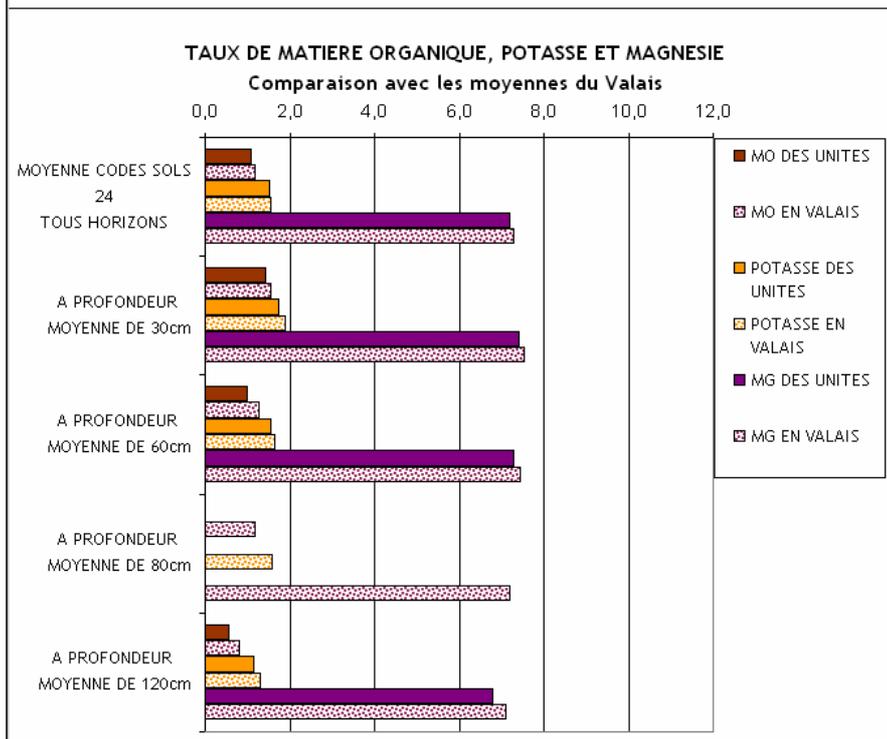
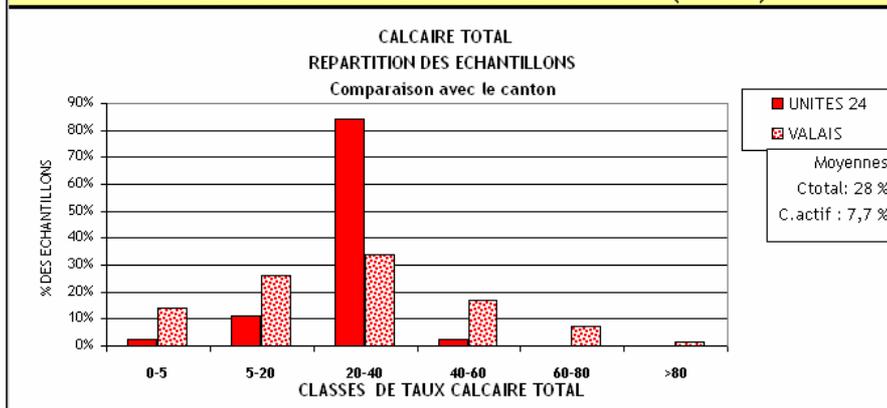
Exemples : on pourra observer ou comparer :

- La répartition en classe des calcaires groupées [24] ou très étalées [91], NB quelques échantillons surprenants correspondent à des horizons enfouis d'origine différente : Ex : horizons peu calcaires des [11-17].
- Les relations argile/CEC :
 - Les éboulis [11-17] semblent assez fins mais leur CEC est plus faible que la moyenne: des farines de calcaire passent dans la fraction argileuse et/ou les taux de calcaires très élevés "inactivent" la matière organique.
 - Les moraines de fond [24] et les schistes [48_49] sont bien les plus argileux et les CEC sont logiquement plus élevées que la moyenne pour les [48-49] mais pas pour les [24], très fines farines glaciaires pas vraiment argileuses. Les [61] sont assez fins aussi, mais plus calcaires, et leurs CEC sont aussi un peu plus faible qu'elles ne le "devraient".
 - Les [67] sont très sableux, mais leur CEC ne décroche pas trop en profondeur : il y a beaucoup de micas et de fines plaquettes actives non lavées.
 - Les [88-87] sont bien à la fois les plus sableux et les plus faibles en CEC : toutes les particules actives ont été lavées par les flots torrentiels.Tous ces effets contradictoires expliquent la faible corrélation A%/CEC.
- Les niveaux de matières organiques enfouies, résultat du travail des hommes
- Les niveaux naturels et les gradients verticaux de potasse K et de magnésium.Mg
 - Les [48-49] sont assez riches en magnésie (à cause d'eux, l'échelle horizontale à du être portée à 12, alors qu'elle aurait pu suffire à 8%).
 - Les [44] et [66-67] : la potasse échangeable décroît à peine de la surface vers la profondeur : migrations par lessivage, libération par les micas des schistes et gneiss, moindre concurrence avec le calcium?

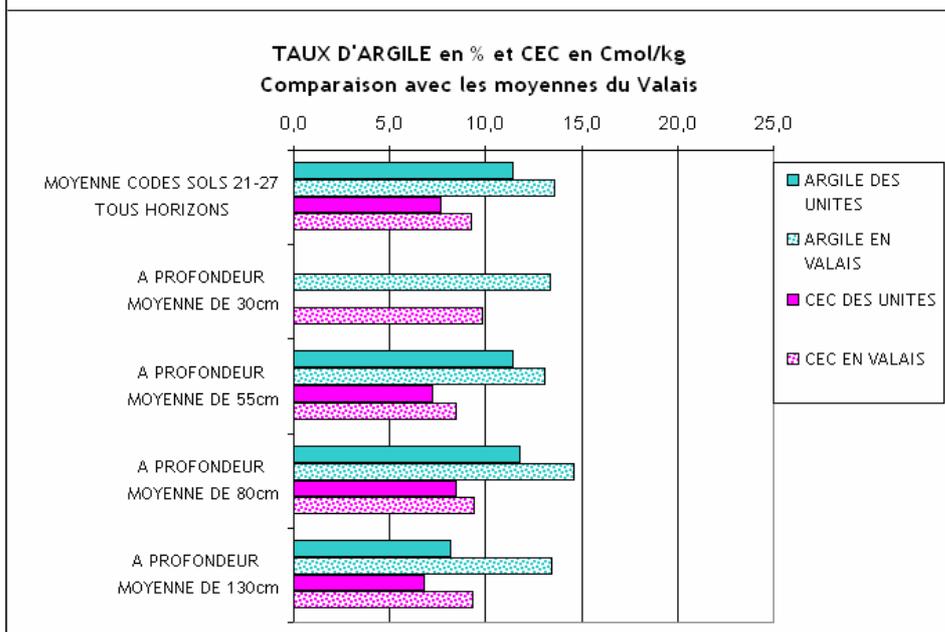
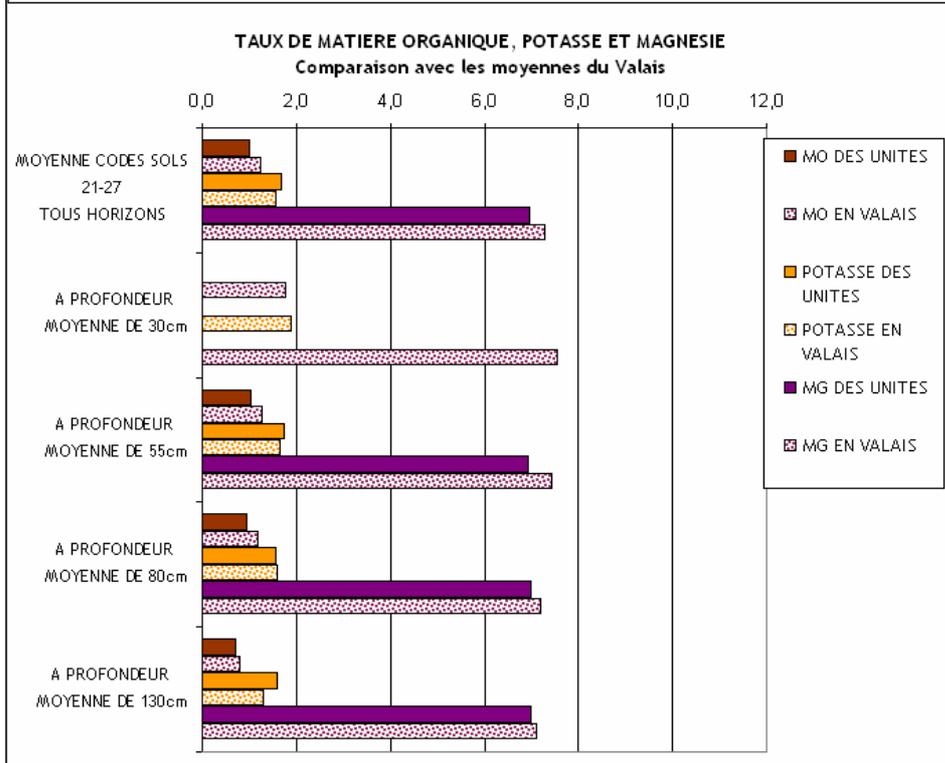
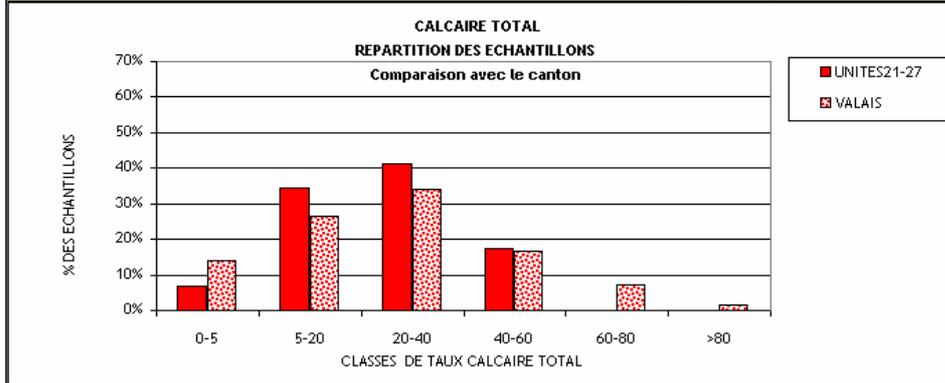
11 - 17 : LES SOLS ISSUS DES GRANDS EBOULEMENTS (67ech)



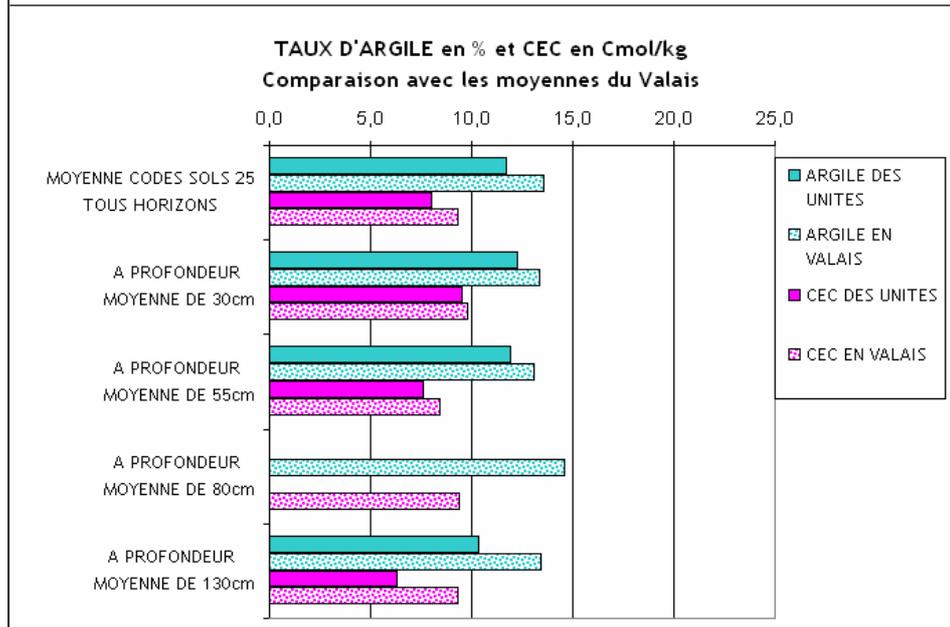
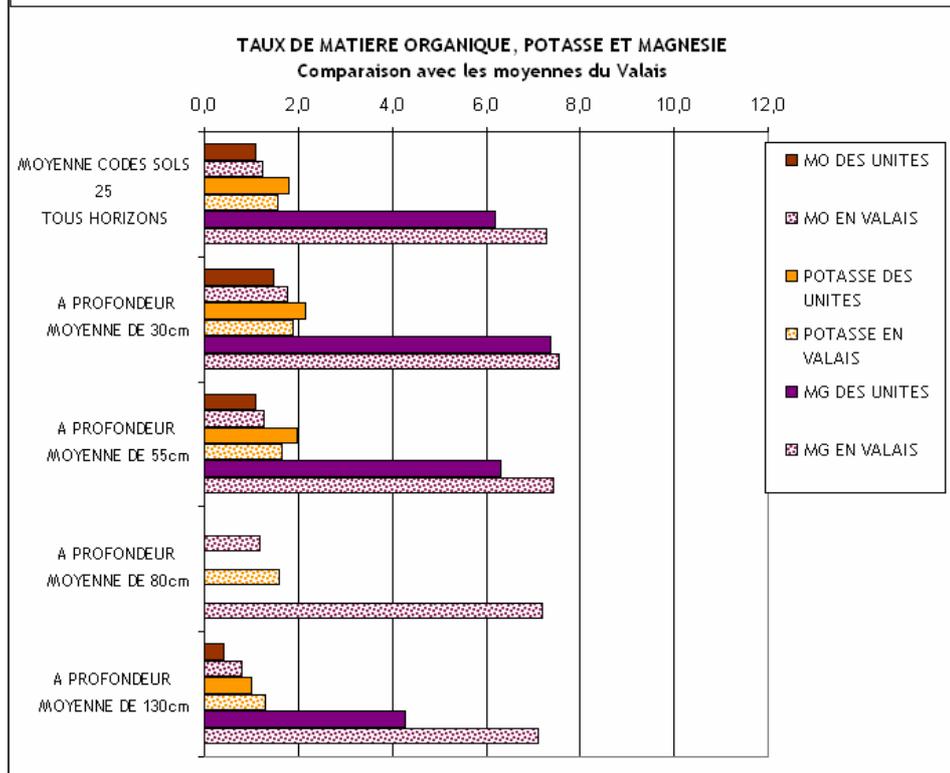
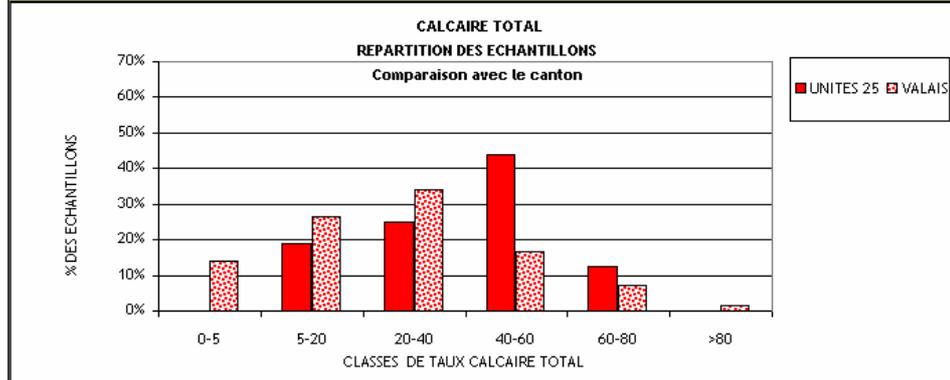
24 : LES SOLS ISSUS DES MORAINES DE FOND (44 éch)



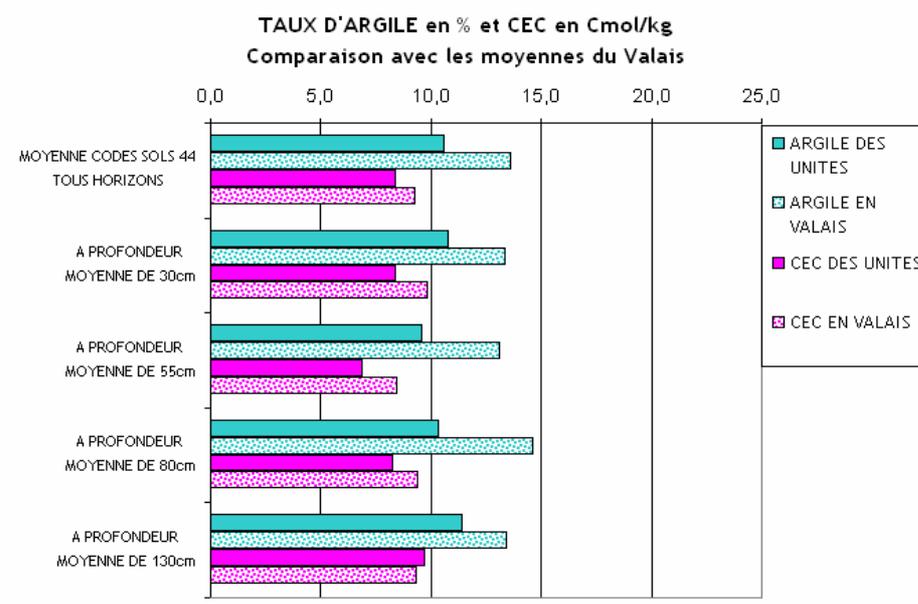
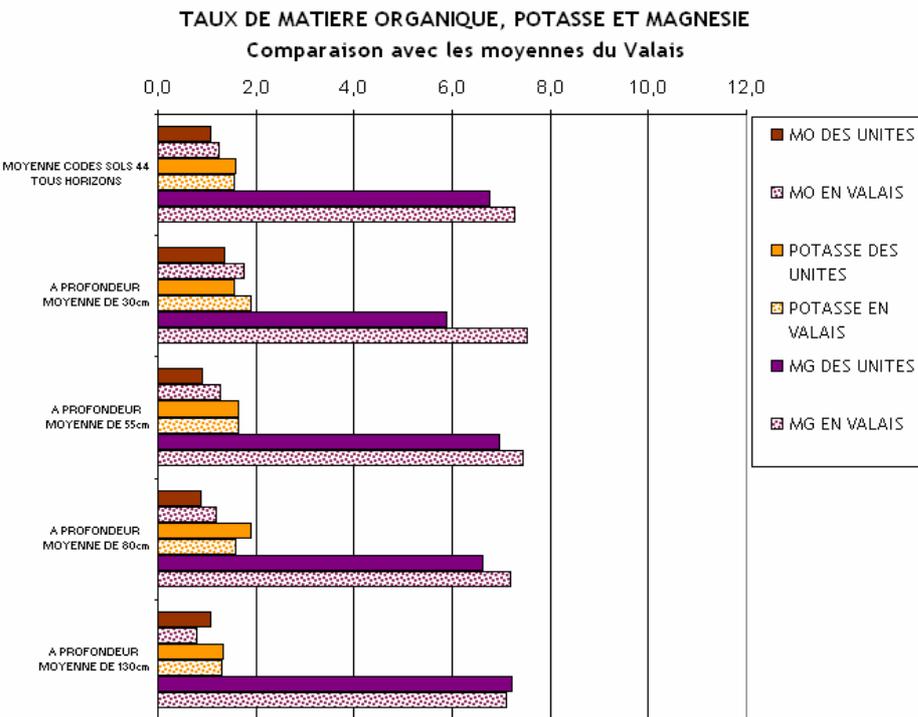
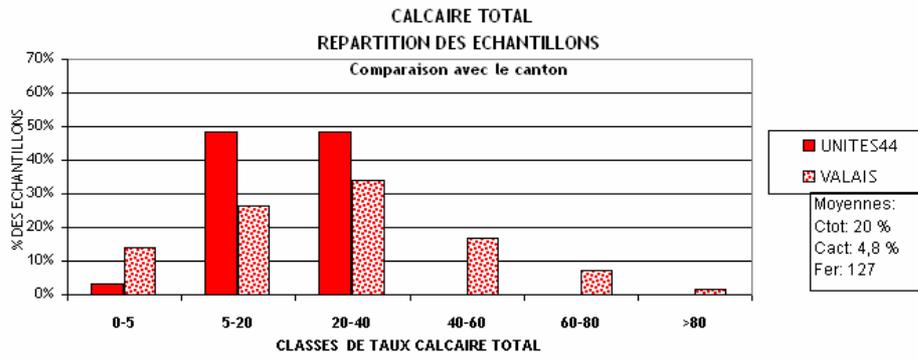
21 - 27 : LES SOLS ISSUS DES MORAINES (29 éch)



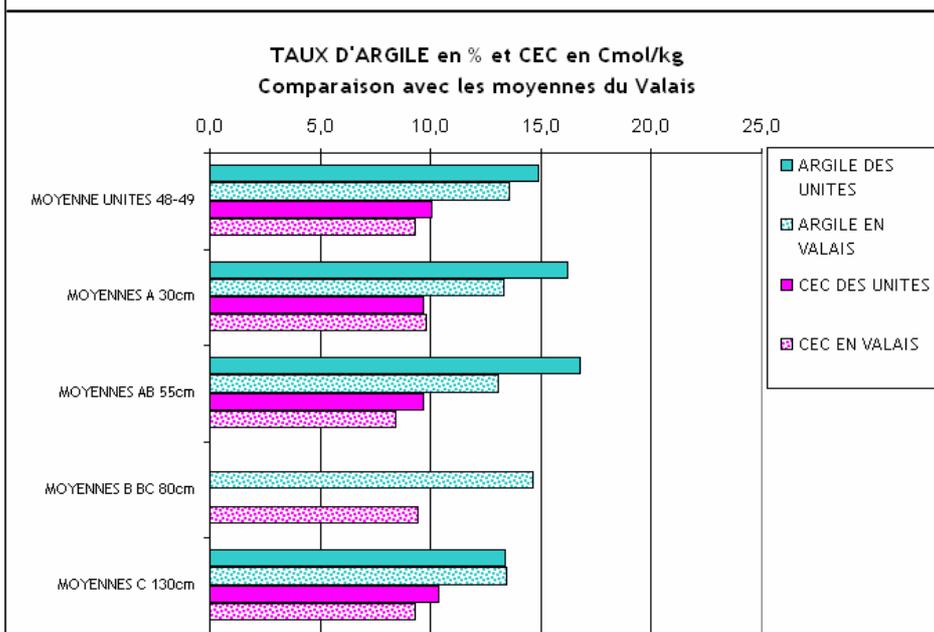
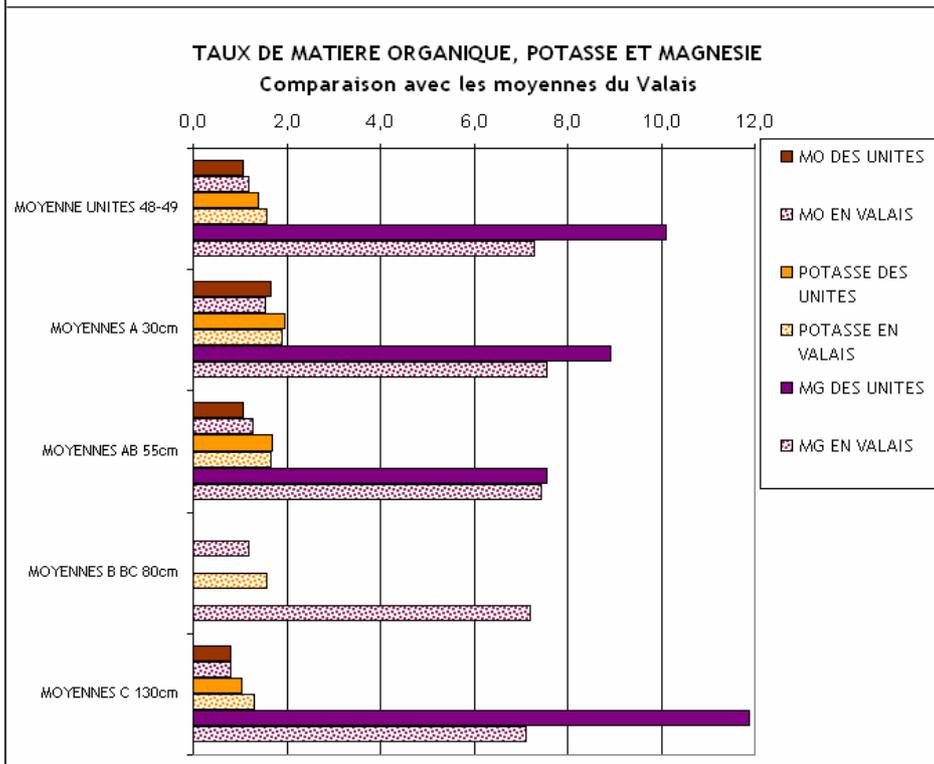
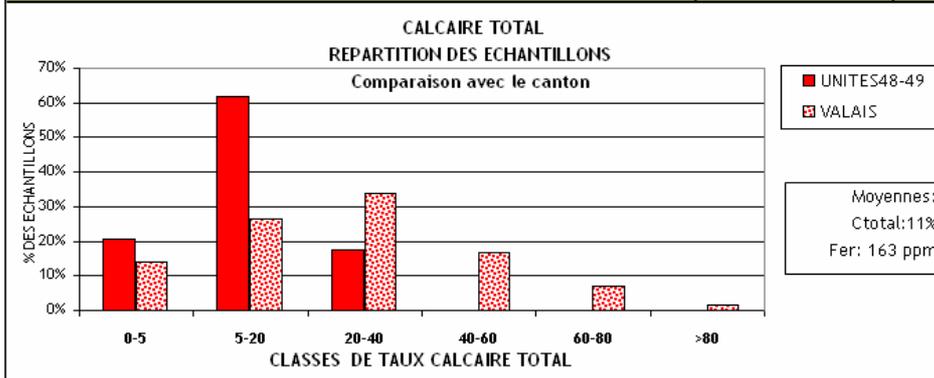
25 : LES SOLS ISSUS DES MORAINES LOCALES CALC.(16 éch)



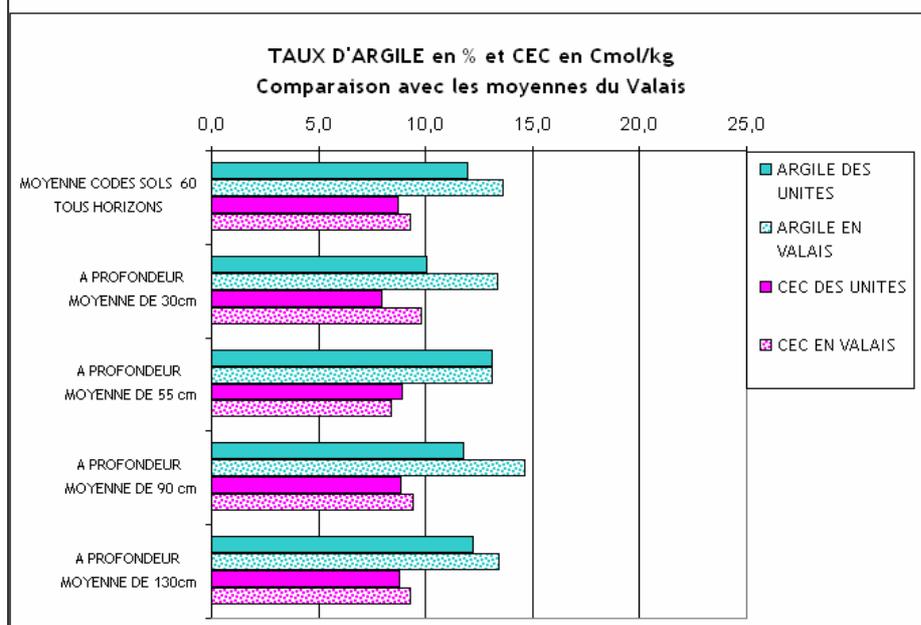
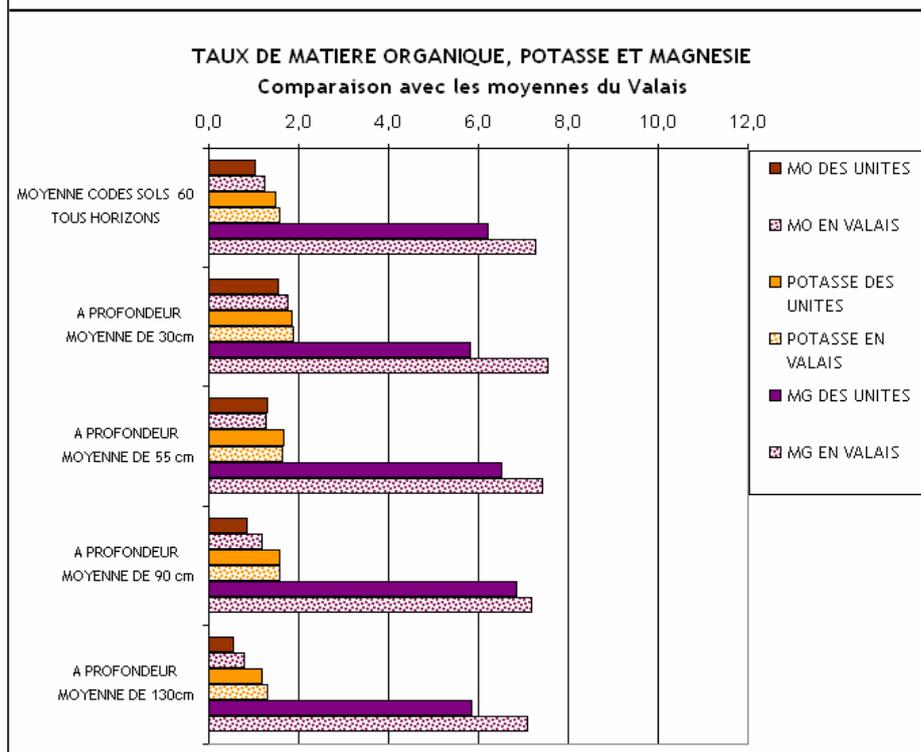
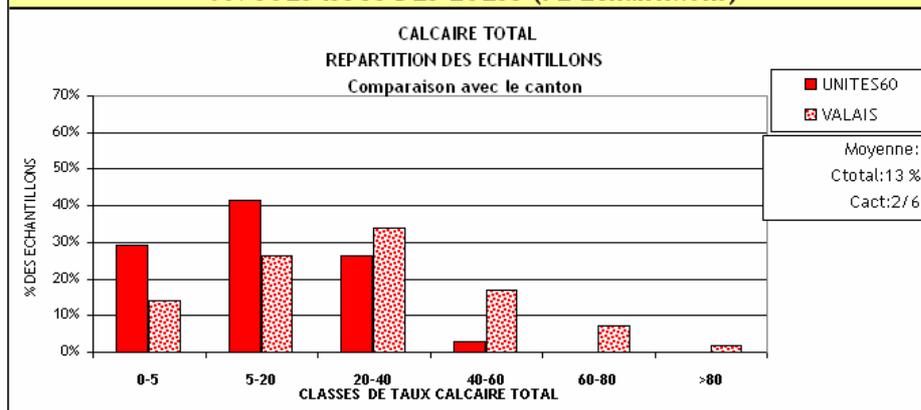
44 : LES SOLS ISSUS DES FLYSCH (31 éch)



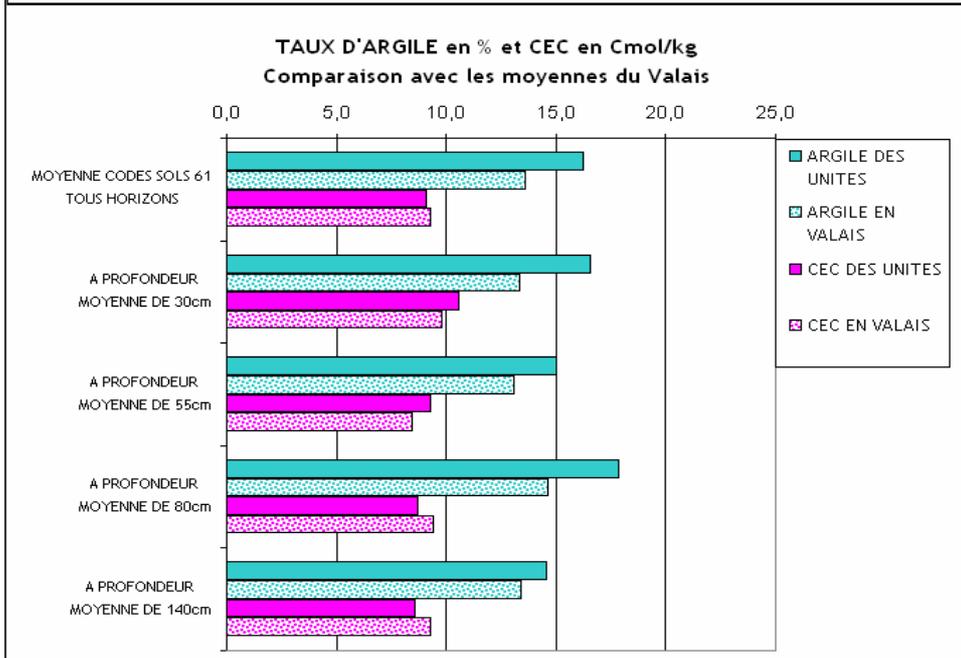
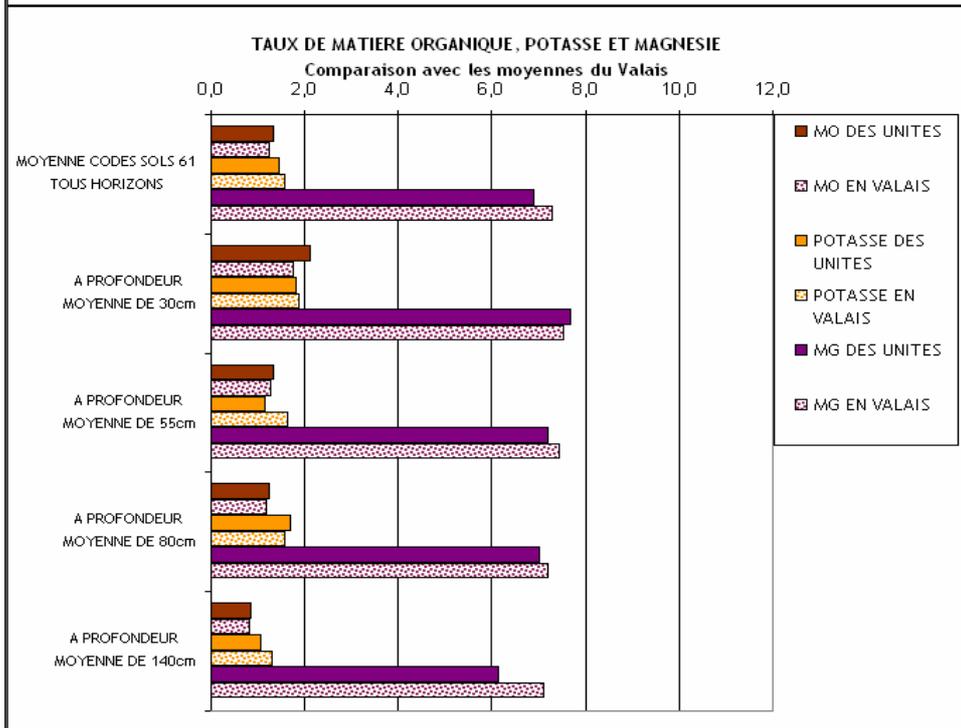
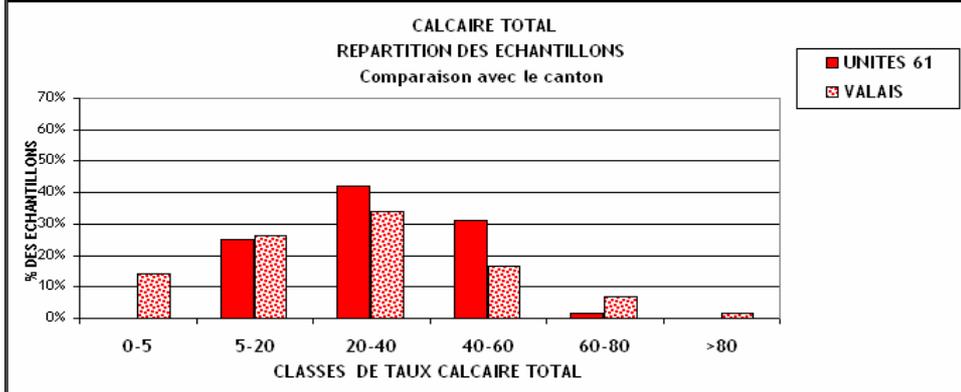
48-49 : SOLS ISSUS DES SCHISTES FEUILLETES (34 échantillons)



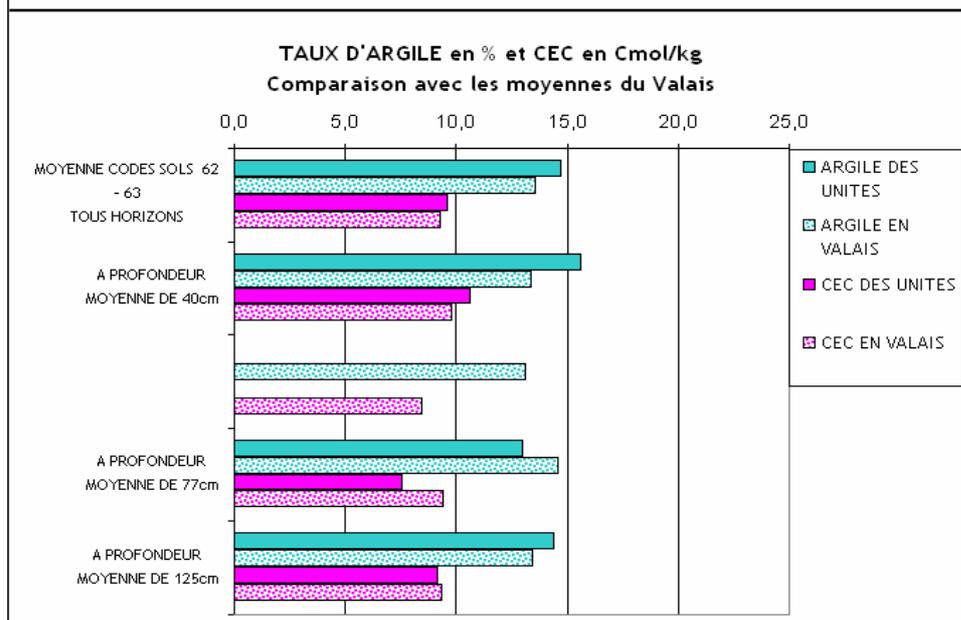
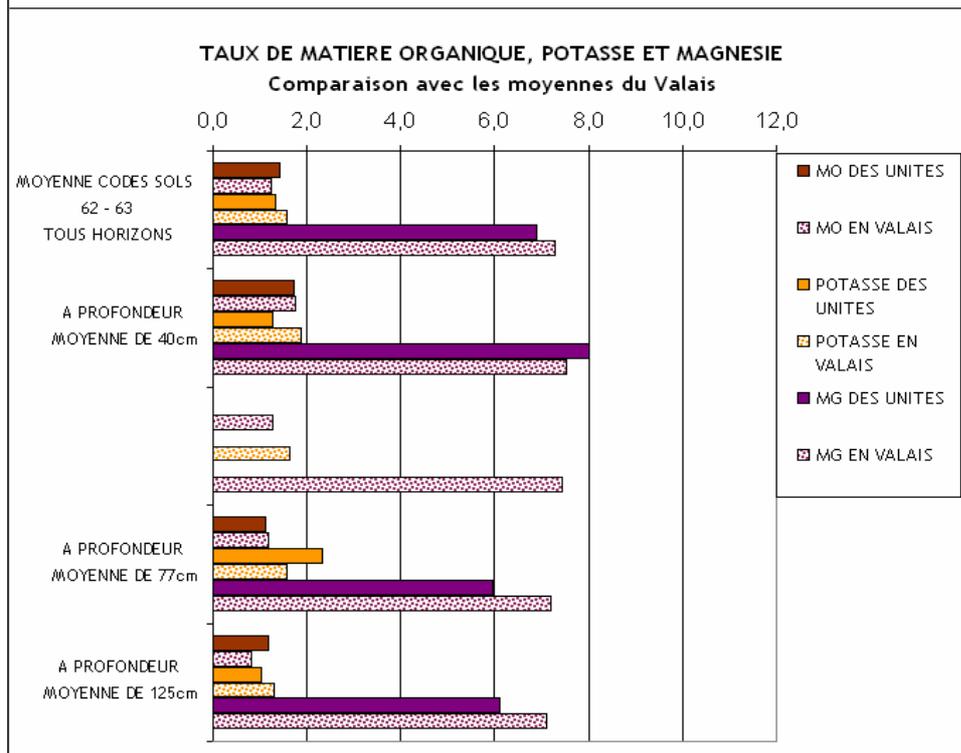
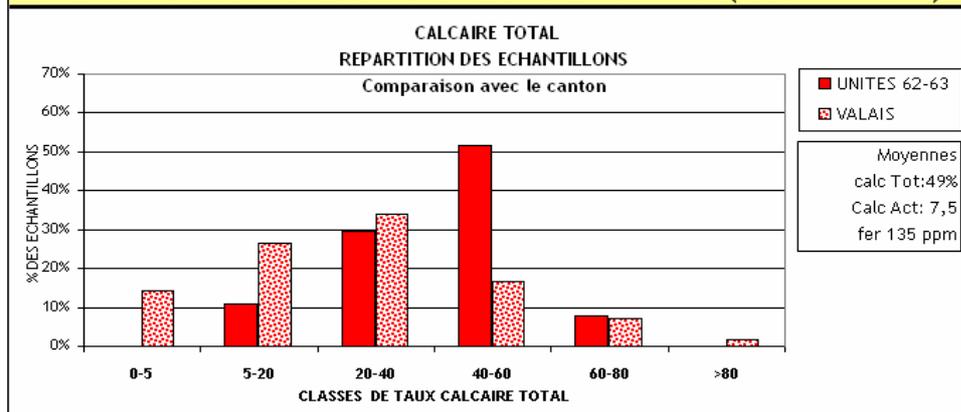
60: SOLS ISSUS DES LOESS (72 Echantillons)



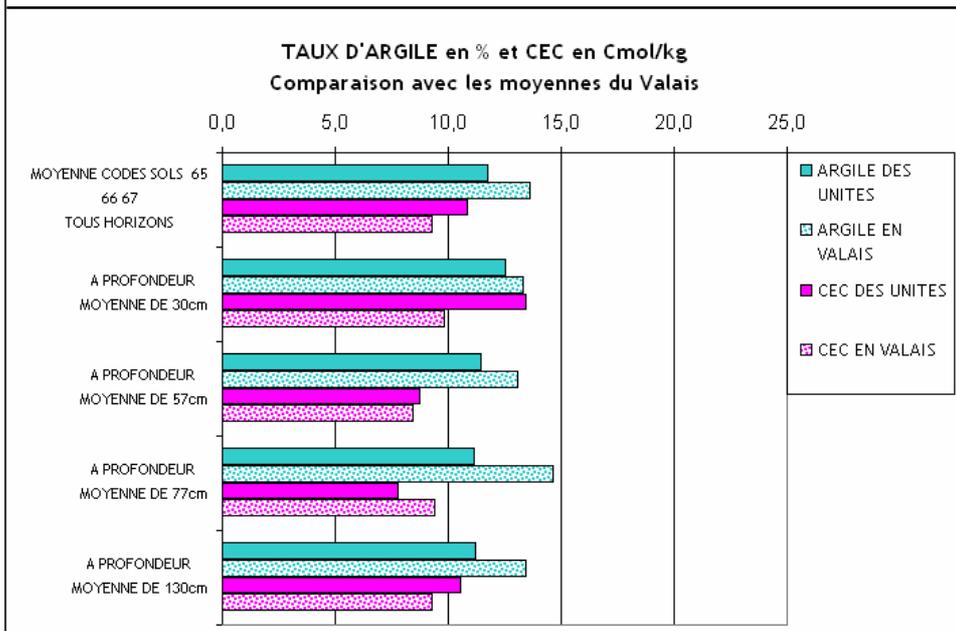
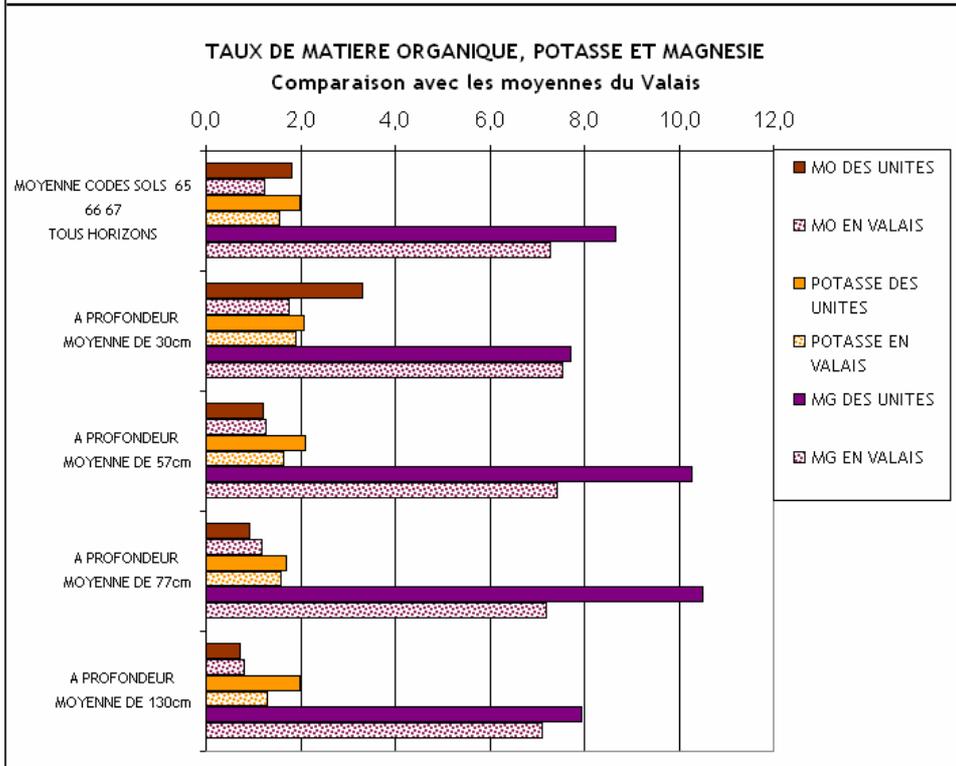
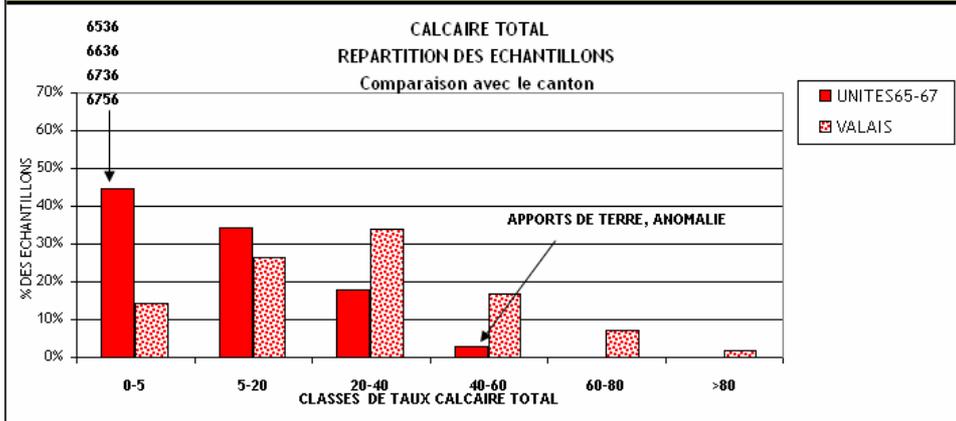
61 : LES SOLS ISSUS DES EBOULIS MOYT CAILLOUTEUX (64 éch)



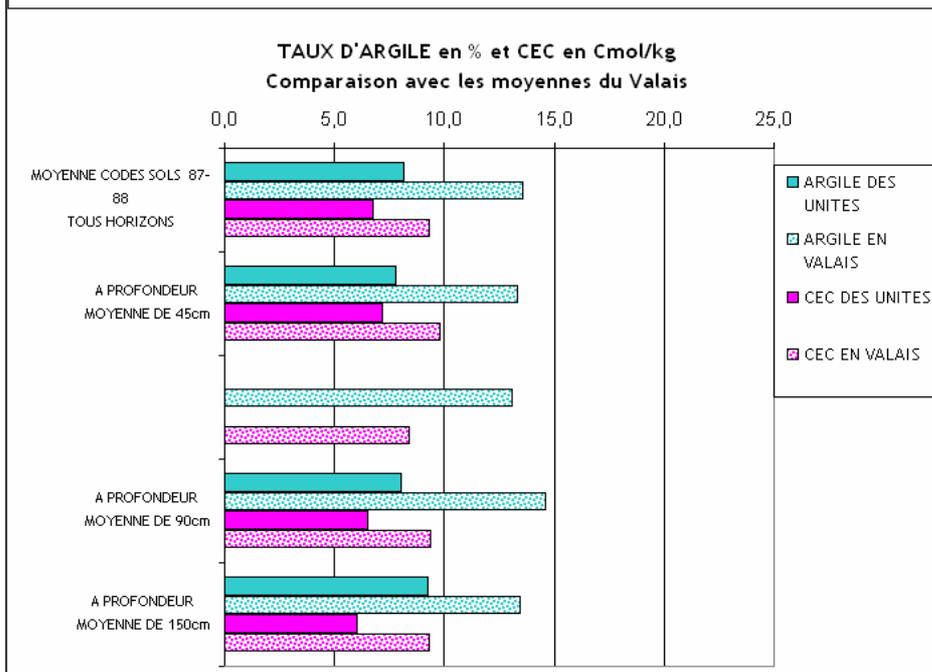
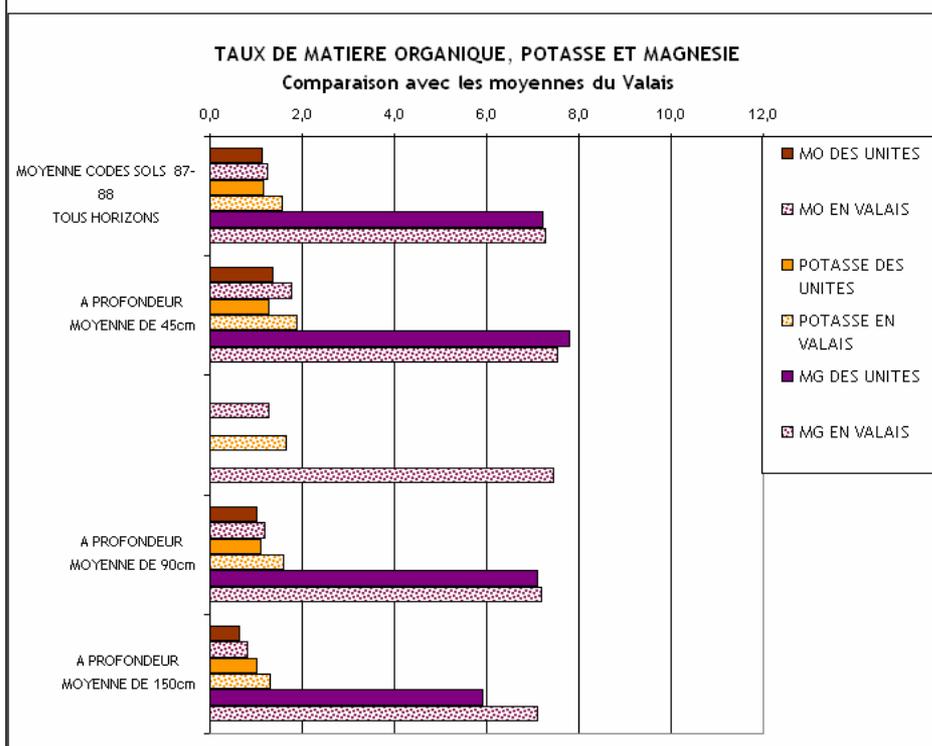
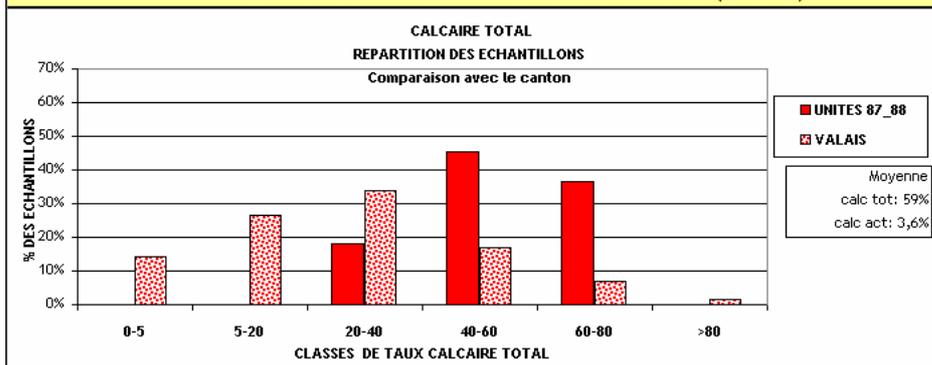
62-63: SOLS ISSUS DES EBOULIS ET CONES CALCAIRES (64 Echantillons)



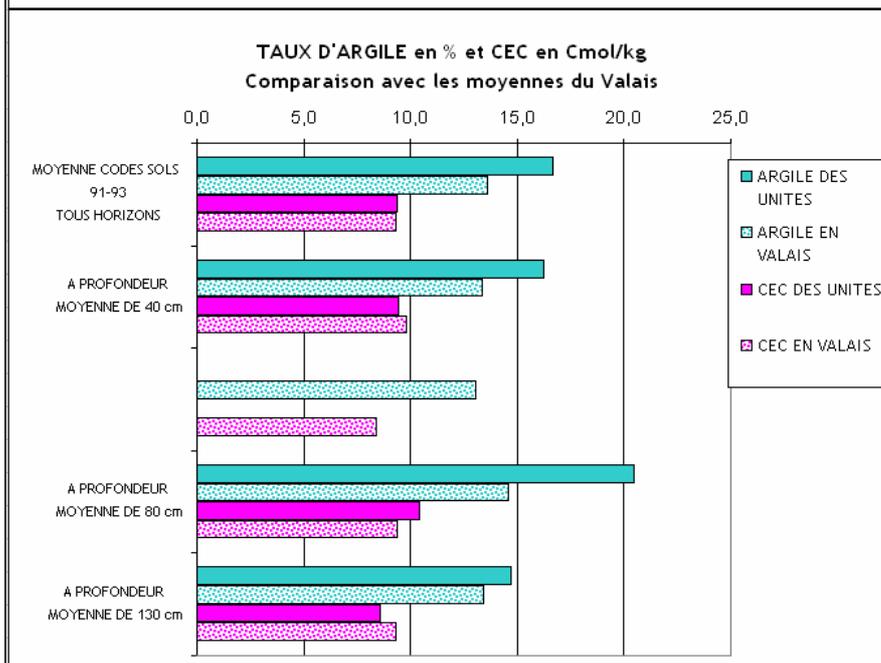
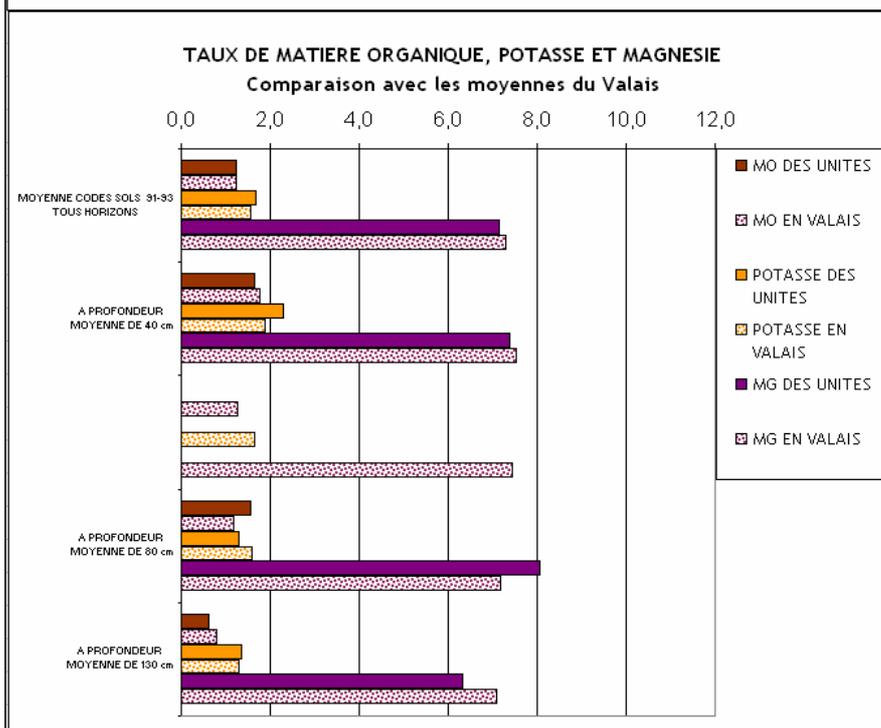
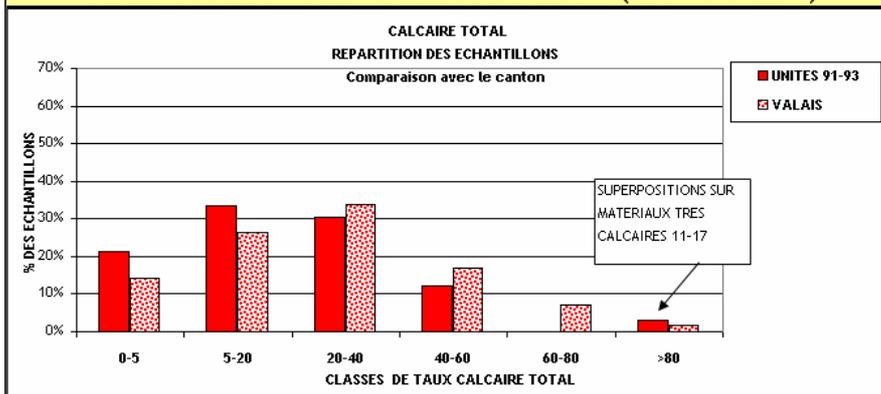
65-67 : SOLS ISSUS DES EBOULIS ET CONES CRISTALLINS ou MIXTES (67 Echantillons)



87-88: SOLS ISSUS DES CONES TORRENTIELS CALCAIRES (33 Ech.)



91: SOLS ISSUS DES COLLUVIONS PROFONDES (33 Echantillons)



4.5. QUELQUES CHIFFRES : LES RESERVOIRS HYDRIQUES

Nous avons pris beaucoup de précautions pour expliquer la variabilité des sols et les difficultés de prise en compte des schistes ou des circulations hydriques latérales et profondes.

Malgré tout, et comme nous avons scrupuleusement appliqué les mêmes ratios et les mêmes méthodes de choix des codes, nous osons tenter une synthèse en présentant le réservoir moyen de chaque secteur. Le graphique ci-après positionne chaque secteur par rapport à la moyenne cantonale qui s'élève à 149 mm. Comme une moyenne à 150mm peut refléter un pic central bien groupé entre 120 et 160mm ou deux pics extrêmes l'un à 60-80mm et l'autre à 200mm, ou encore un répartition régulière dans chaque fourchette, nous avons comme nous l'avons fait dans le canton de Vaud enrichi l'information de chaque secteur par un petit graphique coloré précisant la répartition de ses classes de réservoir.

Les calculs sont basés sur l'application d'un chiffre de réservoir hydrique à chaque code d'unité puis en le pondérant par les surfaces observées. Ce sont donc les codes simples en 4 chiffres qui ont été utilisés, sans les variantes qui ont des effets variés.

En particulier les importants remaniements, assez généralisés dans les secteurs très concernés par les grands éboulements ont certainement permis une augmentation sensible des réservoirs moyens d'autant qu'ils se sont accompagnés parfois d'importants apports (terre, compost, tourbe etc...).

Seule la notion de concavité (variante CCV) a été prise en compte car elle est vraiment très sensible et moins difficile à quantifier (elle se "voit" bien).

Pour les circulations hydriques complémentaires, nous n'avons pas essayé de les quantifier. Seul des travaux de suivis de potentiels foliaires ou pétiolaires en direct sur la plante peuvent permettre l'accès à cette information évidemment très importante.

En fait ce facteur n'agissant pas sur la taille du réservoir, mais sur les entrées d'eau et son remplissage, il n'est pas contradictoire de le traiter à part.

C'est l'occasion de rappeler qu'il s'agit de **réservoirs** qui ne se rempliront que si les pluviométries (neige et pluie) hivernales sont suffisantes (effet du millésime).

Ici s'intercale la prise en compte de l'étude climatique, en particulier les gradients pluviométriques sensibles de l'est vers l'ouest, (+ 150mm environ) et surtout le Bas Valais (+250mm probablement). Il faudrait aussi intégrer les subtiles nuances d'efficacité des pluies (ruissellement sur les sols gelés en rive gauche, ou sur les sols à substrat imperméable (moraines de fond en particulier), perméabilités plus ou moins grandes des horizons de surface etc...).

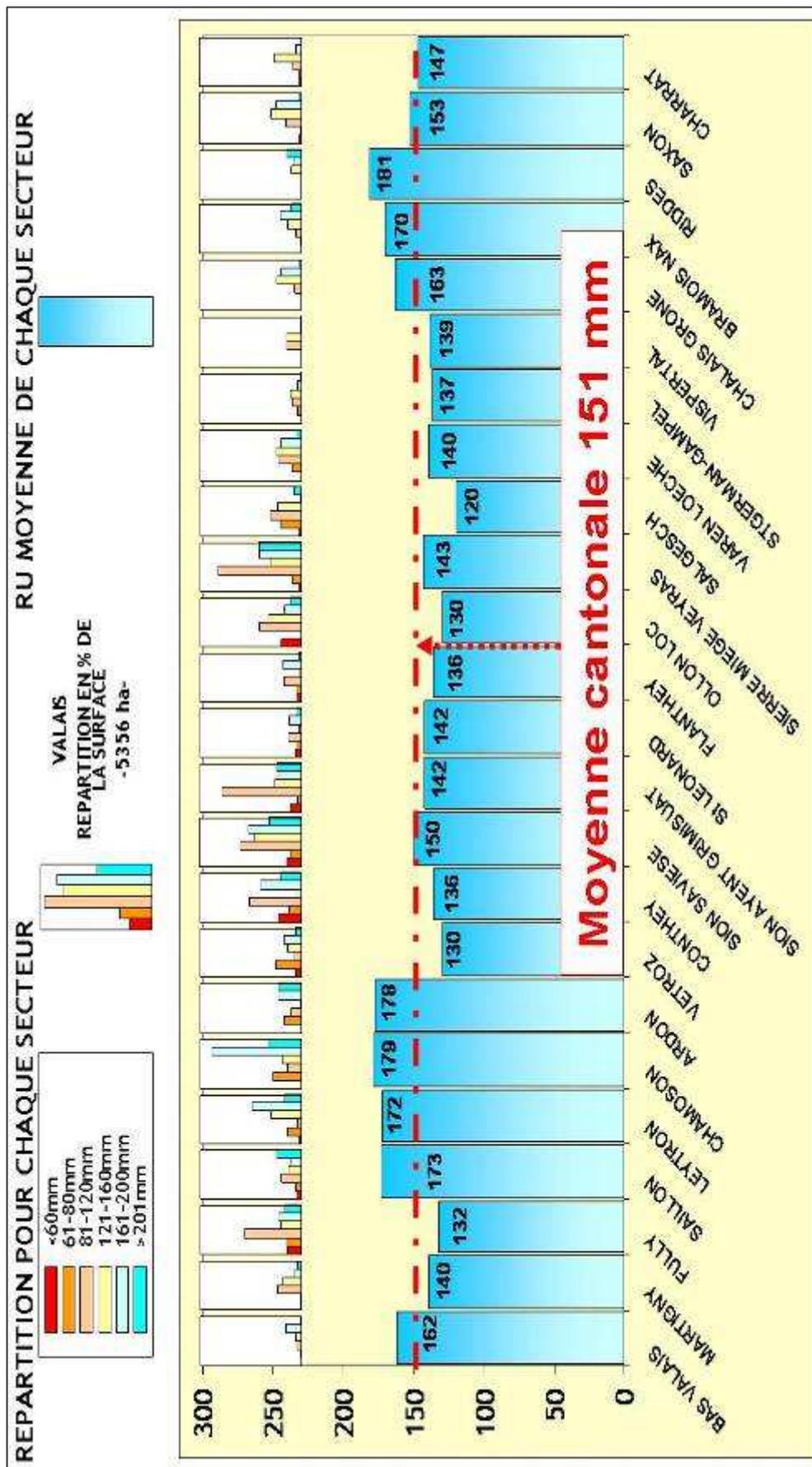


Figure 37 : Répartition de la réserve utilisable moyenne pour chaque secteur

4.6. SYNTHÈSE

Le tableau récapitulatif ci-après est un petit aide mémoire qui permet d'expliquer en toute simplicité à tous ceux qui connaissent mal les sols mais aiment les vins de terroirs, qu'avec la meilleure volonté du monde, on ne peut résumer un sol à un ou deux paramètres. L'usage de nos codes semble réduire un peu de la poésie de la nature, mais permet aussi d'en résumer toute la richesse sans la simplifier abusivement. Les moyennes du Valais sont positionnées en arrière plan (tiret rouge) et l'on constate que chacun de ces paramètres "naturels" peut varier d'un facteur 10!

On retiendra que la profondeur n'est pas synonyme de fertilité ou de productivité mais que par contre elle est gage d'une certaine régularité de comportement. On comprend aussi que pour juger de sols qui ne peuvent stocker que quelques millimètres d'eau par tranche de 10cm d'épaisseur, et dans lesquels on a découvert tant de surprises (nous pensons aux loess et aux trilogies) on doit considérer une épaisseur suffisante de sol et ne surtout pas s'arrêter trop vite. Ce pourquoi nous avons essayé de fournir à chaque viticulteur de bonne volonté, les outils pour mieux décrire et parler de ses sols. Charge aux chercheurs et aux techniciens de mettre bout à bout sur des bases clarifiées les tenants et les aboutissants qui mènent de la parcelle à la qualité du verre de vin final.

Les fortes particularités climatiques du Valais sont plus ou moins tamponnées et bien gérées par ces sols. Aucune erreur n'est permise dans certaines pentes extrêmes.

Les vigneron disposent, entre autres, de trois puissantes manettes qu'il sont seuls ou presque à pouvoir régler assez finement selon le potentiel de leur parcelle: le choix du matériel végétal (50 cépages, 5 portes greffes, des dizaines de clones), le choix du rendement (0,3 à 4kg par pied) et l'usage de l'irrigation (0 à 120mm).

En croisant ces trois aspects, sans en oublier un seul, il devient clair que l'important est autant ce que les vigneron valaisans ont fait et feront de leurs terroirs que les terroirs eux-mêmes. Plus qu'ailleurs, il n'y aurait pas de "terroirs viticoles" en Valais sans ses hommes et ses femmes.

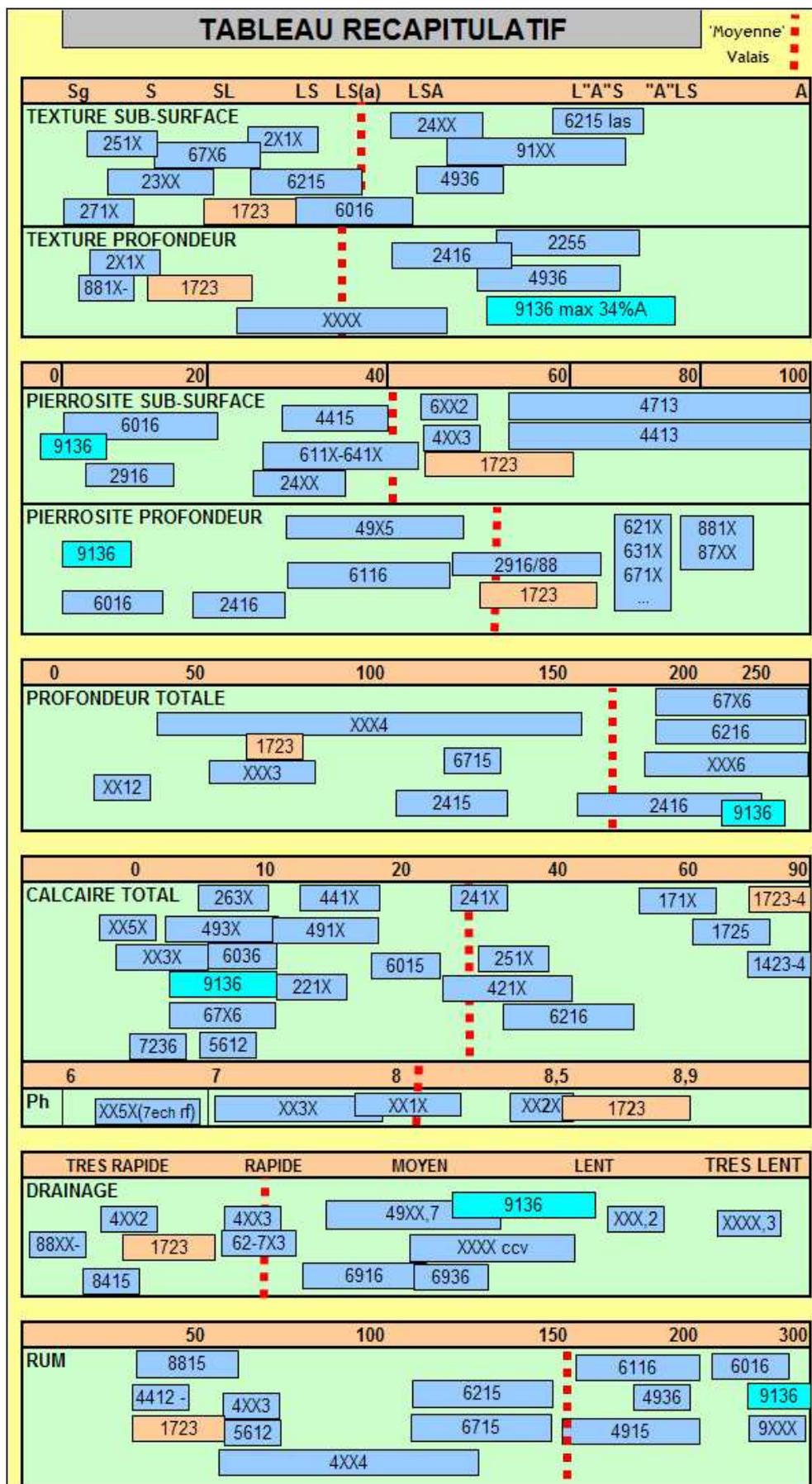
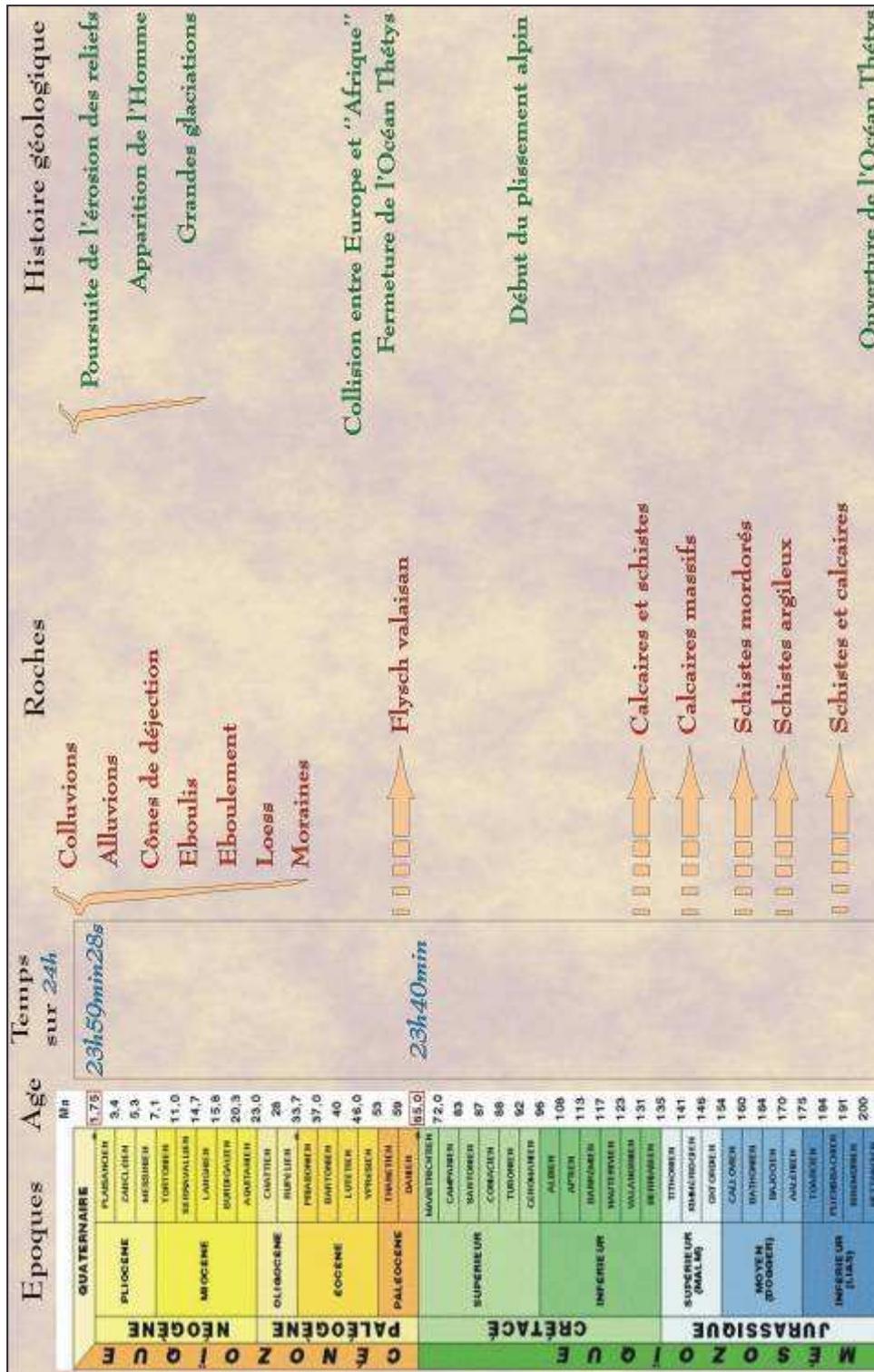


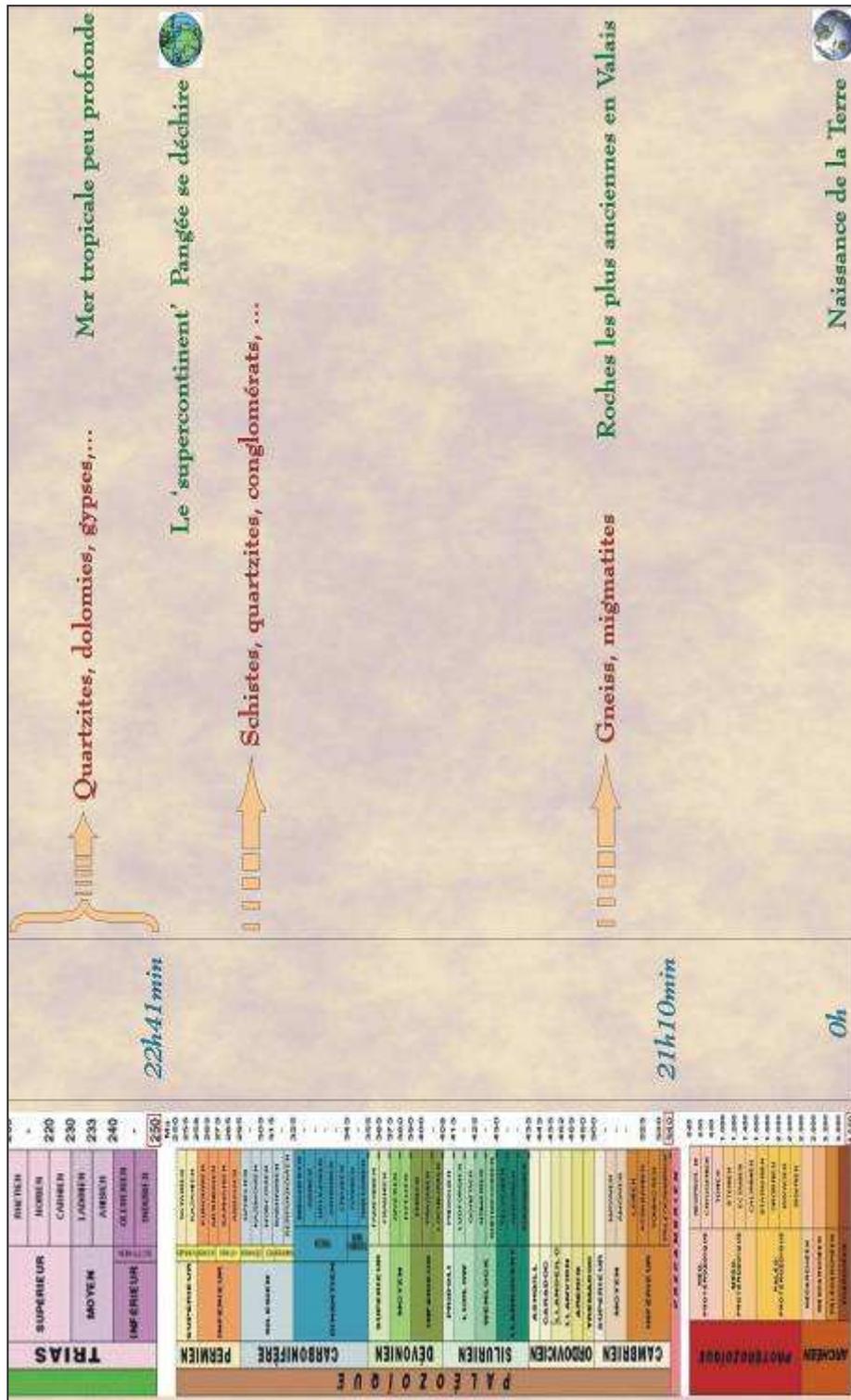
Tableau 10 : Répartition des codes en fonction de l'étalement des paramètres de description

5 - ANNEXES

5.1. ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES



Echelle des temps géologiques (a)
 (Agrémenté d'après G. S. Odin, C. R. Acad. Sci. Paris, 1994, Réalisation J-B Clavaud)



Echelle des temps géologiques (b)
 (agrémenté d'après G. S. Odin, C. R. Acad. Sci. Paris, 1994, Réalisation J-B Clavaud)

5.2. MÉTHODE DE CALCUL DES RÉSERVES HYDRIQUES

La variabilité des sols viticoles, dont les réserves s'échelonnent entre 40 et 300 mm, dicte le choix d'essayer de faire des estimations nombreuses et rapides plutôt que rares et poussées donc onéreuses. Souvent profonds, caillouteux ou rocheux, ces sols se prêtent d'ailleurs mal à des caractérisations précises (mesures de densité apparente, pesée de cailloux, prélèvements non perturbés), qui ne sont évidemment pas exclues. Les mesures indirectes (mesures de résistivité électrique) sont difficiles à pratiquer entre les rangs des vignes pentues et nécessitent aussi de gros investissements et des ouvertures de profils.

Un outil de calcul et de représentation rapide a donc été mis au point (I.Letessier 1998 - C.Fermond 2001).

Utilisés depuis 1999 dans le cadre des présentations des études de terroirs, les "graphiques" de profils permettent une rapide et excellente transmission de la notion de réserve hydrique si fondamentale dans la compréhension des terroirs viticoles. Ils permettent une facile mémorisation des grandes caractéristiques des sols, leur présentation en planches comparatives, et leur discussion, ce qui permet d'organiser des séances de raisonnement collectif bien mieux que des fiches ou des tableaux de chiffres.

Créé sous forme d'un classeur Excel, cet outil permet en quelques secondes de visualiser la répartition et la quantité d'eau utile dans le sol.

Le préalable est bien évidemment l'ouverture d'un profil pédologique "en situation", étape dont l'intérêt global en matière d'explication, de raisonnement et de "ressenti" global ne pourra être supplanté par aucune mesure indirecte.

Principes :

Un calcul par tranches fixes de 10 cm a été adopté, pour s'affranchir de la notion d'horizon d'épaisseurs variables et permettre d'intégrer des variations rapides de texture, pierrosité, etc.

Pour chaque tranche de sol il suffit d'entrer la texture (T1, p108), puis le pourcentage en volume de cailloux et graviers (T2 et T4, p108 et 109), puis les comptages racinaires et enfin un coefficient de colonisation racinaire (T3, p109). Une macro instruction effectue le calcul automatique des réserves et la représentation instantanée des graphes racinaires et hydriques.

Ces entrées se font donc dans les zones jaunes du tableau, la zone blanche se mettant automatiquement à jour. La plage jaune isolée à droite 'RUcx' n'est à remplir que pour les fortes pierrosités schisteuses.

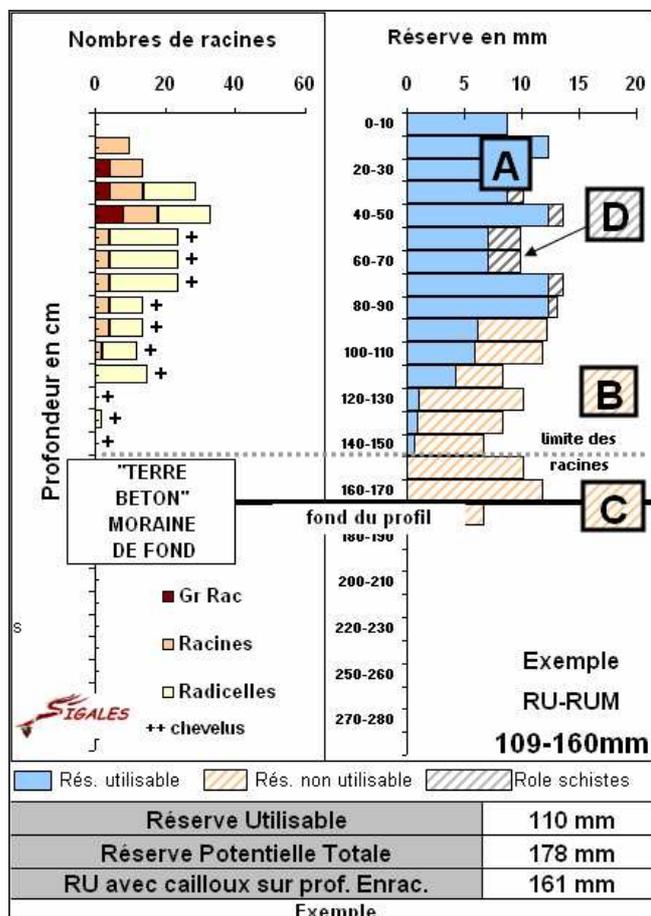
Paramètres du sol			Paramètres racinaires				Zone de calcul					cumuls (50cm)			
Profondeur	Texture	Pierrosité	Gr Rac	Racines	Radi-celles	Che-velus	Coef Racines	Coef. Text.	Réserve Utilisable par les racines	Réserve non utilisée	RU cx		R totale		
0-10	LAS	50%					1,00	1,75	8,75	-		8,75	8,75		
10-20	LAS	30%		10			1,00	1,75	12,25	-		12,25	21		
20-30	LAS	40%	4	10			1,00	1,75	10,50	-		10,50	31,5		
30-40	LAS	50%	4	10	15		1,00	1,75	8,75	-	1,50	10,25	40,25		
40-50	LAS	30%	8	10	15		1,00	1,75	12,25	-	1,50	13,75	54		
50-60	LAS	60%		4	20	+	1,00	1,75	7,00	-	3,00	10,00	10,00		
60-70	LAS	60%		4	20	+	1,00	1,75	7,00	-	3,00	10,00	20,00		
70-80	LAS	30%		4	20	+	1,00	1,75	12,25	-	1,50	13,75	33,75		
80-90	LAS	30%		4	10	+	1,00	1,75	12,25	-	0,90	13,15	12,25		
90-100	LAS	30%		4	10	+	0,50	1,75	6,13	6,13		12,25	18		
100-110	LSA	30%		2	10	+	0,50	1,7	5,95	5,95		11,90	5,95		
110-120	LSA	50%			15	+	0,50	1,7	4,25	4,25		8,50	10,20		
120-130	LSA	40%				+	0,10	1,7	1,02	9,18		10,20	11,22		
130-140	LSA	50%					0,10	1,7	0,85	7,65		8,50	12,07		
140-150	LSA	60%					0,10	1,7	0,68	6,12		6,80	13		
150-160	LSA	40%					-	1,7	-	10,20		-	-		
160-170	LSA	30%					-	1,7	-	11,90		-	-		
170-180	LSA	60%					-	1,7	-	6,80		-	-		
180-190	fond du profil							-	0	-	-	-	-	-	-
190-200							-	0	-	-	-	-	-	-	
200-210							-	0	-	-	-	-	-	-	
210-220							-	0	-	-	-	-	-	-	
220-230							-	0	-	-	-	-	-	-	
230-240							-	0	-	-	-	-	-	-	
250-260							-	0	-	-	-	-	-	-	
260-270							-	0	-	-	-	-	-	-	
270-280							-	0	-	-	-	-	-	-	
280-290							-	0	-	-	-	-	-	-	

Entrée des données de texture, de pierrosité et de colonisation racinaire

Pour chaque tranche de 10cm, le résultat en mm de réserve est obtenu par un calcul qui se résume à :

$$\text{Coef.Text} \times 10 \times (1 - \% \text{de cailloux}) \times \text{Coef.Rac}$$

La zone orangée du profil hydrique correspond à un volume pouvant s'humidifier mais non colonisé par les racines (c'est le complément du premier chiffre au chiffre fictif si le coefficient racinaire était de 1).



Des petits textes ou des figurés peuvent être ajoutés sur la figure pour signaler une difficulté d'interprétation, arrivées d'eau, rocher en plaque, ...etc ou une forte probabilité de poursuite du fonctionnement au-delà de la tranche observée (flèche verticale vers le bas).

Explication du calcul, sources :

Ce calcul reprend la « méthode des textures » exposée par D.Baize dans son guide des analyses en pédologie.

Le "coefficient textural" est donc une donnée moyenne tirée de nombreuses mesures sur des sols de densité et granulométrie différentes permettant de se rattacher à une classe texturale. C'est le "W" ou le "RUM" (réservoir Utilisable Maximum) exprimé en mm pour une tranche de 1cm de sol non caillouteux.

Il s'obtient par la formule $RUM \text{ par cm} = 10 \times Da \times (HCC\% - HPF\%)$ où :

- **Da** est la densité apparente (qui varie en fait de 1,2 pour des horizons de surface ou les cailloutis extrêmement poreux à 1,8 pour des matériaux très compacts, en général des roches sédimentaires tendres, marnes ou moraines de fond : nous considérons sauf exception (voir plus loin) et parce que nous traitons des horizons souvent **profonds** une densité apparente moyenne de 1,4).
- **HCC** est l'humidité pondérale à la capacité au champ exprimée en g d'eau pour 100g de terre (sol soumis à un excès d'eau puis bien ressuyé).
- **HPF** est l'humidité pondérale au point de flétrissement permanent (sol sur lequel les plantes fanent irrémédiablement).

Les coefficients texturaux présentés dans la partie T1 sont principalement tirés des données publiées par le Service de cartographie des sols de l'Aisne (JAMAGNE et al) et qui nous ont donné satisfaction après de nombreuses années de confrontation avec les comportements viticoles. Nous avons cependant progressivement introduit des textures intermédiaires (par interpolation) ou extrêmes en particulier pour les sables (Sm = micacés, S = fins ou Sg = grossiers) et modifié quelques coefficients qui présentaient toujours les mêmes biais dans les contextes viticoles que nous avons rencontrés (ou par comparaison avec d'autres sources de données mesurées).

Enfin une modalité « c » est adjointe pour les matériaux sédimentaires très compacts mais encore colonisés par les racines que nous pouvons rencontrer dans le contexte viticole (densité estimée à 1,8). Cette modalité complète l'effet du coefficient racinaire (T 3) qui est souvent réduit à 0,5 ou 0,1 dans ce type de matériau.

Remarques :

On voit que les causes d'erreurs proviennent bien plus de l'estimation de la profondeur effectivement utilisée, et de l'estimation de la pierrosité que de la précision des coefficients texturaux choisis, surtout dans les horizons de fortes pierrosités, fréquents pour les sols viticoles : passer de 70% à 90% de cailloux, c'est passer de 30 à 10% de terre fine et diminuer par 3 la réserve hydrique!!

Le choix est fait de ne pas "arranger" les calculs, mais de se limiter à l'observation et aux calculs standard, sans introduire de coefficients correctifs plus ou moins validés, bien que l'on puisse en imaginer de nombreux. Cette simplicité voulue n'empêche pas les commentaires et les suppositions fortes.

Ainsi par exemple la pierrosité peut être poreuse, altérée, ou encore arrangée selon une architecture serrée qui permet un certain stockage d'eau. (voir correctifs plaquettes en fin de texte).

Ainsi encore le "bulbe" de consommation que l'on peut dessiner autour d'une racine de profondeur est de taille très variable selon la texture et la qualité des enrobages colloïdaux autour des sables et des éléments grossiers.

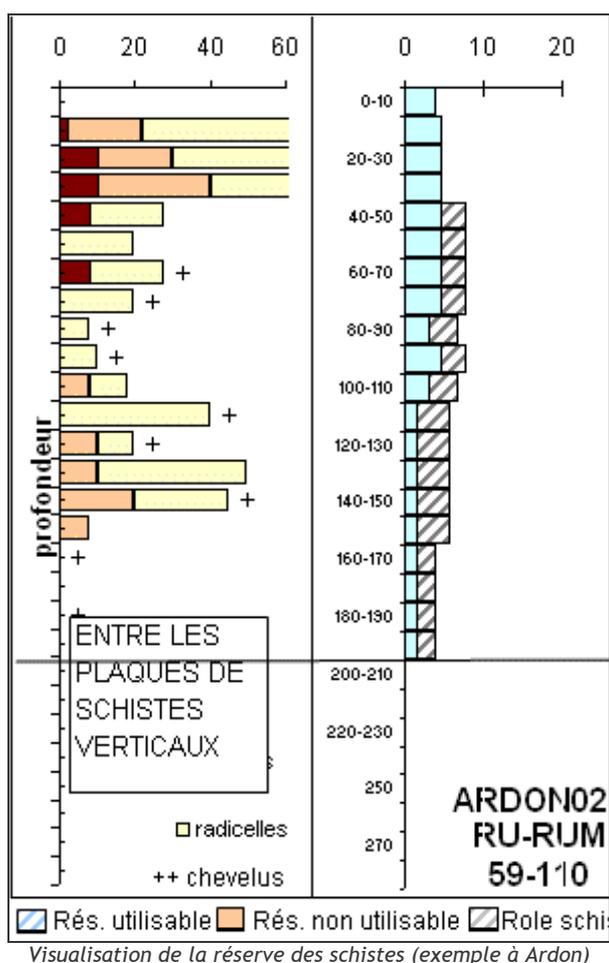
Pour les très fortes pierrosités de profondeur, dans une matrice non sableuse on observe une sous-estimation systématique de la réserve lors des validations par les mesures de potentiel hydrique ou plus simplement lors de discussion avec les vignerons: il est probable que les remontées capillaires à partir de la profondeur s'effectuent sur plusieurs décimètres.

Corrections et compléments éventuels :

Dans les sols très riches en **matière organique** (>8% par exemple au Tessin) il faut introduire un coefficient correctif proportionnel au taux de MO. Ce n'est pas nécessaire pour un sol viticole "normal" qui n'en contient qu'entre 1 et 2% uniquement le plus souvent sur les premiers décimètres de sol ce qui est le cas en Valais. Notons que les quantités incroyables de racines présentes dans les sols très caillouteux ont certainement un rôle hydrique propre en permettant l'installation d'une micro-flore de champignons lignivores, champignons qui ont des propriétés hydriques tout à fait étonnantes.

Il convient également de proposer des correctifs pour les **cailloux et matériaux en fines plaquettes** plus ou moins fragiles. Nous avons voulu imaginer plus que calculer les réserves "des schistes" en affectant le % de **pierrosité** d'un coefficient variant de **2 à 7** selon la dureté des feuillets (friables à la main ou non). C'est donc un paramètre supplémentaire à mettre à jour dans la colonne jaune hachurée de gris du tableau 'RU cx'. Ces coefficients sont compatibles avec les résultats partiels obtenus par R. Gonzales.

Dans l'exemple ci-dessous les schistes sont très fins, fragiles et verticaux, de nombreuses racines s'y plaquaient (coefficient 7 puis 3 au fond)



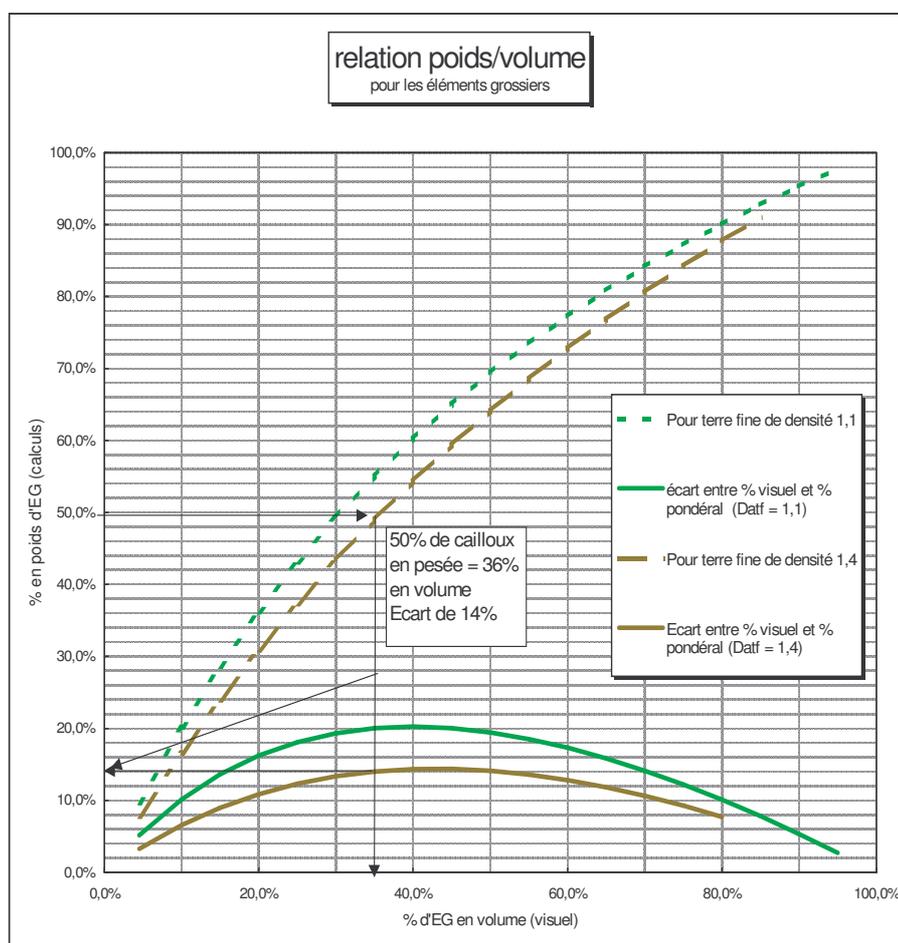
T3 - Choix des coefficients racinaires

1	= bonne répartition, densité correcte
0,5	= faible densité ou mal réparties (grosses zones sans aucunes racines)
0,1	= juste quelques chevelus ou très rares fines racines, parfois en mauvais état
0	= aucune racine vue

NB : dans les sols profonds et frais peu caillouteux, faciles, on voit souvent peu de racines et cela est normal.

T4 - Correction du poids des éléments grossiers en volume

Si l'on vérifie par pesée les taux les éléments grossiers, il faut transformer le % en poids (pondéral) en % en volume (volumique), car les cailloux sont plus denses que la terre fine. C'est surtout notable pour les pierrosités moyennes. Ainsi, pour un horizon profond de densité 1,4, 50% de refus pesé correspond à 36% de cailloux estimés en volume = estimation de terrain. On peut utiliser l'abaque suivant (écarts maximum de 15% pour des horizons de profondeur assez denses, 20% à 25% pour des horizons de surface peu denses).



5.3. CALCAIRES, CHLOROSSES ET ENCRÔTEMENTS

Un rappel est nécessaire, bien que la physiologie ne soit pas de notre compétence : en effet très souvent on attend d'un travail sur le sol qu'il améliore la prévision des risques de chlorose. Nous évoquerons par ailleurs la formation d'encroûtements calcaires dans les sols, autour des cailloux et autour des racines. Nous distinguons les effets physiologiques (chloroses) et mécaniques (encroûtements)

5.3.1. CHLOROSSES ET JAUNISSEMENTS

Plusieurs mécanismes différents peuvent provoquer la chlorose ferrique. Ce jaunissement bien connu des feuilles, (les nervures se décolorent les dernières) n'apparaît que sur les parties du rameau en cours de croissance, et peut affaiblir sérieusement la plante, diminuer notablement la photosynthèse en dégradant les chloroplastes, et, in fine, léser la qualité.

Traditionnellement attribuées à une carence en fer, c'est un déséquilibre nutritionnel de la plante qui a pour origine des phénomènes très complexes.

Dans l'absolu, le fer est naturellement **peu abondant dans la plante** mais il intervient dans beaucoup de processus vitaux (photosynthèse, transports d'énergie et autres).

Ce fer est par contre **abondant dans les sols** mais sa particularité ionique (il possède 6 sites de liaison) rend ses conditions de mobilité et de transport vers les sites intracellulaires très subtiles et sensibles aux moindres variations de pH ou d'aération (accumulation ou diffusion du dioxyde de carbone CO₂ au voisinage des racines).

Sa forme courante dans le sol est la forme ferrique Fe⁺⁺⁺, insoluble aux pH habituels. Mais de nombreux processus lui permettent d'être cependant utilisé. Des chélatants organiques naturels, produits par la plante elle-même ou par les micro-organismes (certaines bactéries) qui colonisent le sol au niveau des racines, peuvent solubiliser le fer minéral et le rendre assimilable. Rappelons **qu'au contact** des racines le pH de l'eau du sol peut baisser de 1 à 2 points par rapport à celui de la solution du sol (mesurée en laboratoire). On voit ici en quoi une bonne activité biologique, améliorée par un bon taux de matières organique peut diminuer nettement les symptômes de chlorose.

- Le Fer peut être absent directement dans le sol. On parle alors de **chlorose directe** dans des sols très pauvres en fer même non calcaires: la plante est alors pauvre en fer). Les teneurs en fer sont assez élevées en Valais cette chlorose doit être rare.
- Dans d'autres situations beaucoup plus fréquentes, le fer, présent dans le sol est insolubilisé avant de pouvoir rentrer dans la plante, à cause de conditions de pH élevé et/ou de drainage défavorables. C'est la **chlorose induite** dans des sols riches en calcaire actif et/ou pauvres en fer extractible (d'où la mesure de l'IPC), en général bien macro poreux et drainants.
- Cette chlorose **induite** est fortement **aggravée** dans les sols peu poreux, à drainage lent et à excès d'eau temporaire printaniers: situation des sols de beaucoup de larges combes qui concentrent les eaux de drainage naturel des versants et sont souvent humides au printemps. En présence d'eau abondante, le CO₂ ne peut diffuser et sa pression partielle augmente au voisinage des racines. Davantage de carbonates (calcaire) sont dissous, libérant du calcium Ca⁺⁺ et surtout du **bicarbonate HCO₃⁻**, ce dernier étant le principal facteur d'induction de la chlorose. Le pH peut monter à 9 ou 10 dans les sols en phase de dissolution lente du CO₂ gazeux avant de se stabiliser autour de 8,4.

- Enfin le fer peut entrer dans la plante mais ne pas y être mobile. C'est la **chlorose physiologique**, très accentuée par les excès de rendement, de vigueur et l'insuffisance de réserves glucidiques dans les racines. La plante n'est pas pauvre en fer mais celui-ci n'est pas mobile dans la plante. En effet le fer absorbé par les racines est stocké et transporté vers les feuilles par des intermédiaires moléculaires (ligands, chélateurs, sidérophores (= "porteurs de fer"), etc...). Si ces transporteurs sont en quantité insuffisante le fer ne peut migrer vers les feuilles. Les travaux de F. Murisier ont montré qu'un niveau bas de sucres de réserve stockés dans la plante, (en cause les excès de vigueur ou de rendement), était en forte relation avec les hauts niveaux de chlorose (Canton de Vaud).

L'un des facteurs connus pour être bien corrélé à l'apparition de la chlorose est l'abondance du **calcaire "actif"**, calcaire CaCO_3 très finement divisé facilement mesurable en laboratoire. Dans l'eau H_2O , ce carbonate de calcium libère facilement des ions calcium Ca^{++} (**qui ne sont pas responsables** de la chlorose) et **des ions bicarbonates HCO_3^-** qui insolubilisent le Fer directement dans le sol en augmentant le pH, le rendant inutilisable par la plante ou les bactéries.

Heureusement pour les valaisans des sols contenant 80% de calcaire total peuvent ne contenir que 5% de calcaire actif car tout le calcaire est contenu dans une fraction de sables grossiers peu solubles qui assurent une macroporosité importante et un drainage rapide.

Plus le calcaire est finement divisé, plus il va passer facilement sous forme ionique dissoute dans l'eau : sa concentration augmente et il sera plus sujet à recristalliser au moindre changement physique (pH, concentrations, température).

A finesse égale, certains calcaires sont plus **solubles** que d'autres. Plus le calcaire sera soluble même peu divisé et plus il sera naturellement chlorosant. C'est le cas des calcaires tendres marneux en général et des marnes (mélange de calcaire et d'argile. Ces roches s'altérant en sols souvent lourds, le facteur "drainage insuffisant" s'invite alors toujours dans le raisonnement.

Les roches calcaires du Valais sont jeunes et soumises depuis peu au pouvoir solubilisant du climat, qui lui-même est peu efficace au niveau de la dissolution (il ne pleut pas assez): donc les roches sont plus "fraîches", il y a eu peu de "**dissolution climatique**" (même les minéraux très solubles comme le gypse d'ailleurs que l'on retrouve presque intact dans certains sols d'éboulis récents).

De plus les sols n'ont pas connu de très longues périodes sous forêts, (car tout a été décapé par les glaciations jusqu'à -10000ans), donc il y a eu peu d'humus acidifiant, donc globalement peu de **dissolution "pédologique"**.

Il faudrait donc probablement en Valais juger de la **solubilité** du calcaire total présent dans le sol (mêmes méthodes que celles employées pour juger de la rapidité d'action des amendements calciques) et non seulement de sa finesse (calcaire actif traditionnellement dosé en Valais pour les sols présentant plus de 20% de calcaire total).

5.3.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES AUTOUR DES RACINES ET/OU DES CAILLOUX

Fréquemment rencontré dans les sols caillouteux valaisans le problème des accumulations "encroûtantes" peut légitimement être soulevé puisque d'une part les cailloux peuvent être presque cimentés devenant de plus en plus difficiles à traverser par les racines, d'autre part les racines peuvent s'entourer d'une gangue de calcaire et s'isoler du milieu nutritif et de l'eau. Ce problème rejoint indirectement celui de la chlorose.

Le CaCO_3 est 4,5 fois moins soluble à pH 8,5 qu'à pH 6,5 donc si des eaux de ruissellement chargées en carbonates arrivent sur un cailloutis très calcaire le calcaire va précipiter d'autant plus que le milieu sera sec et chaud.

Des irrigations massives en pleine chaleur ne peuvent elles pas accélérer ces processus?

Cette question mérite d'être suivie car les encroûtements autour des racines constituent progressivement des obstacles mécaniques que le recours au porte-greffe Fercal ne pourra contourner.

Dans tous les cas, la prise en masse des sols extrêmement calcaires des grands éboulements ("terres béton") s'explique certainement par la cristallisation d'aiguilles ou de cristaux très fins de calcaire (parfois visibles: la terre blanchit en séchant) parfois invisibles (ces cristaux font quelques microns) mais qui durcissent alors fortement le sol. Certaines moraines locales très calcaires (souvent cachées sous des éboulis) présentent aussi fréquemment d'abondantes cristallisations sous et autour des cailloux: dans les situations de mélange, les cailloux arrondis sont entourés d'une gangue calcaire, les cailloux anguleux ne le sont pas (certaines unités 64 et 65).

Des dégénérescences de vignes ont été associées à des fermetures de porosité et durcissements par des encroûtements calcaires autour des racines, décrits sous le terme de "rétrogradation biologique" dans certains sols particuliers du midi de la France, en général après des surproductions importantes et sur des sols limoneux fragiles. Phénomène un peu trop médiatisé en son temps, il n'en demeure pas moins réel et en fin de compte assez logique puisqu'il suffit de peu de chose pour modifier l'équilibre dépôt/dissolution du calcaire dans les sols.

5.3.3. AUTRES EFFETS INDIRECTS POSSIBLES

- Le gel d'une eau très chargée en carbonates peut également créer des aiguilles de calcite, car l'eau qui gèle est pure et abandonne ses sels solubles. Un certain nombre de pellicules calcaires autour des cailloux de surface sont certainement dues à ces phénomènes probablement plus fréquents en rive gauche (Charrat?).
- Les pellicules de calcite qui se forment autour des cailloux modifient probablement leur porosité et donc leur aptitude à retenir un peu d'eau, avec des effets contradictoires selon les cailloux :
 - Les surfaces des schistes sombres feuilletés peu calcaires sont fréquemment recouvertes d'une fine patine blanche de calcite qui les rend certainement moins hydratables. (comme le calcin protège certains bâtiments aux pierres poreuses).
 - Les cailloux lisses de gneiss ou de calcaire dur par contre verront leur surface rendue plus granuleuse et la rétention par capillarité de contact un peu améliorée.

5.3.4. ZONES SECHES / ZONES HUMIDES : DEUX CHLOROSSES DIFFERENTES

Rappelons que la solubilité du calcaire dans l'eau dépend du pH et de la concentration en gaz CO₂ dissout dans l'eau du sol :

Plus le pH augmente, (avec un seuil d'inflexion vers 10), plus le calcaire précipite, la silice et les silicates étant au contraire solubilisés. Le carbonate de calcium prend progressivement la place des composants non carbonatés enrobant progressivement la racine d'une gaine de calcaire pur.

1 Quand les sols sont très secs, le pH de la solution du sol augmente considérablement en sols calcaires autour des racines principalement. (**Chlorose d'été**). On observe dans ce cas **des précipitations en fines aiguilles dans les gros vides** et sous les cailloux. Ce sont toujours des sols macro-poreux aérés (très caillouteux). Ces aiguilles poussent de la paroi du vide vers la racine et ne sont pas en contact avec elle. Ralentir l'évaporation et le dessèchement du sol (par les gravelages par exemple) peut donc être efficace dans certains cas. Ces sols sont typiquement les sols des crêtes séchardes des grands éboulements; le Fercal + des vigueurs limitées + des arrosages très raisonnés sont les meilleurs choix.

2 Dans les sols microporeux, fins, compacts, argileux ou finement limoneux, plus le gaz carbonique dissout dans l'eau du sol augmente (sols mal aérés, matière organiques mal décomposées), plus le calcaire précipite (sa solubilisation diminue donc il précipite), au contact des racines en les isolants du milieu nourricier ou dans les pores tubulaires ou sur les faces des prismes structuraux. (Apparitions de pseudo mycélium, que nous avons observés dans tous les horizons profonds des loess). **Les accumulations calcaires sont beaucoup plus fines que dans le cas 1** : "micritiques" de 1 à 10 μ donc invisibles à l'œil nu tant qu'elles ne sont pas très abondantes (amas farineux) et se font directement autour des fines racines.

Une vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol lente (moins de 2cm/h) est un paramètre fortement aggravant (compacité ou fermeture des horizons superficiels provoquées par des tassements).

Donc, à calcaire égal, un sol présentant une forte macroporosité (sols sableux grossiers et très caillouteux) est toujours moins chlorosant, sauf s'il est extrêmement séchard (cas **1**).

Enfin, les roches calcaires ont des solubilités différentes selon leur dureté et leur finesse : les plus fines et les moins dures sont en général les plus propices à la chlorose, mais elles affleurent peu en Valais : les roches tendres ont été creusées par le glacier et les dépressions ou sillons ainsi formés ont été comblés d'éboulis ou de colluvions d'origine différentes. Par contre dans les grands éboulements de la région de Sierre on trouve des taux extraordinairement élevés de calcaire qui doivent être liés à leur mise en place cataclysmique, (explosion des rochers sous les chocs, créant des poussières de calcaire pur très fines donc très solubles).

5.3.5. INDEPENDAMMENT DU MILIEU : LA CHLOROSE PHYSIOLOGIQUE

A conditions extérieures égales il existe une chlorose **physiologique** marquée semble t'il par l'augmentation du pH des feuilles et l'alcalinisation de la sève) qui dépend de la sensibilité de chaque cépage, du choix du porte greffe et d'un mode de conduite générant une vigueur élevée (corrélations avec rendements n-1 et n: nombre et poids moyen des grappes et date d'aoûtément de l'année n-1).

Tout ce qui affaiblit la plante (manques de réserves, aoûtément tardif, excès de vigueur) va soit créer des manifestations chlorotiques là ou il n'en existerait pas normalement) soit accentuer des manifestations qui devraient rester discrètes.

En effet les plantes possèdent naturellement des agents chélatants (sidérophores), qui leur permettent de stocker le fer, mais en abondance limitée et différente selon les cépages et les portes greffe : trop de feuillage ou de rendement peuvent nécessiter plus de sidérophores qu'il n'en existe pour assurer le transport du fer et ceci indépendamment des conditions extérieures.

Une chlorose "climatique" est enfin notée en Champagne (mais ce sont des terrains marneux souvent frais, et un climat froid et surtout humide, donc des conditions bien éloignées de celles Valais), qui semble accentuée par les amplitudes de température.

5.3.6 TRAITEMENTS DES CHLOROSSES

On déduit de ces remarques que les chloroses **induites** par les conditions extérieures n'auront pas les même réponses culturales selon leur origine (calcaire, humidité) et que les chloroses physiologiques seront traitées en tant que telles (cépage, porte greffe, vigueur).

En conditions oxydantes bien drainées, s'il y a chlorose c'est que le fer est bloqué à la source dans le sol: on ne peut qu'augmenter la disponibilité du fer dans le sols (chélates naturels : acides humiques (tourbes), bactéries, graminées ou chélates apportés) et adapter le porte greffe. (en évitant toute "sur-cause" physiologique bien sur). Mais l'entretien biologique de ces sols est souvent difficile sur des parcelles peu accessibles et l'enherbement est délicat à gérer).

En conditions peu oxygénées, il convient de limiter la production des bicarbonates : en diminuant la compacité de surface: travail du sol, enherbement, drainage et adapter le porte greffe (le 41B sensible à l'humidité est peu recommandé dans les sols lourds et compacts). Comme ces situations sont par ailleurs assez productives, le Fercal, porte greffe très vigoureux ne devrait pas être employé sans mise en place d'un enherbement compensateur.

Par ailleurs selon que le problème de carence est présent dans les racines ou seulement dans les feuilles il faudrait soit faire des apports foliaires, soit procéder à une acidification (citrate).

Il est possible qu'il faille définir une troisième catégorie en Valais, région plutôt aride aux sols globalement macro-poreux, mais avec des périodes intermédiaires de circulations hydriques souterraines accentuées jusqu'assez tard au printemps, en liaison avec la fonte des neiges depuis des sommets élevés. Ces circulations temporaires sont plutôt localisées au pied de pentes fortes d'éboulis ou d'éboulement calcaires et dans les combes.

On voit donc que la chlorose, loin d'être corrélée simplement aux taux de calcaires total ou actif, doit continuer à faire l'objet de suivis et expérimentations bien recadrées par des profils de sols (au-delà de 1,20m si possible) et assortis d'observations peut-être microscopiques au niveau du contact sol/racines, et d'analyses des eaux d'irrigations.

5.4. NOMS DE SOLS ET D'HORIZONS

Une mise en ligne du glossaire de pédologie de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, en France) existe depuis quelques mois ('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.

<p>ARENOSOLS : sols profonds de texture sableuse (- de 12% d'argile +de 65% de sables totaux).</p> <p>CALCOSOLS : sols moyennement profonds à profonds contenant du carbonate de calcium (calcaire total >5%) et faisant effervescence = sols bruns calcaires issus de ...</p> <p>CALCISOLS : sols calciques (sans calcaire total, mais saturés de calcium).</p> <p>BRUNISOLS : sols peu acides ou acides mais pas lessivés, présentant un horizon de profondeur, brun bien structuré et poreux.</p> <p>COLLUVIOSOLS : sols profonds issus de colluvions.</p> <p>FLUVIOSOLS : sols profonds issus d'alluvions récentes.</p> <p>PEYROSOLS : sols contenant plus de 60% de cailloux ou pierres.</p> <p>RENDOSOLS : sols carbonatés minces sur roche calcaire, profondeur < 50cm.</p> <p>REGOSOLS : sols très minces sur roches tendres (marne, moraine de fond).</p>

On comprend que, pour les sols issus d'éboulis complexes, les passages entre CALCOSOLS cailloutiques - PEYROSOLS calcaires - ARENOSOLS calcaires cailloutiques ou RENDOSOLS sont très progressifs, et que le choix du terme exact est parfois impossible pour englober la profondeur nécessaire.

QUELQUES NOMS D'HORIZONS

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

<p>Calcaire : faisant effervescence (à HCl) à froid, donc calcaire (plus de 5% de calcaire total).</p> <p>Calcique : ne fait pas effervescence (à HCl) à froid, donc moins de 5% de calcaire total, mais saturé donc pH neutre ou basique.</p> <p>Calcarique : accumulation de calcaire secondaire (revêtements amas, pseudomycéliums).</p> <p>Calcarique Continu : encroûtements continus non indurés (pénétrables).</p> <p>Péto-Calcarique : accumulation calcaire continue et indurée, croûte.</p> <p>Pierrique : taux de pierre supérieur à 40%.</p> <p>Cailloutique : taux de cailloux supérieur à 40%.</p> <p>Rédoxique : plages et traînées grises et taches rouilles enrichies en fer mauvais drainage temporaire ou de profondeur.</p> <p>Réductique : couleur uniformément bleuâtre ou grisâtre- mauvais drainage généralisé.</p>
--

ABRÉVIATIONS STANDARDS DES HORIZONS

(Utilisées dans les fiches de profils et sondages)

Préfixe L : tout horizon mis en culture (Labour ou minage)

Préfixe Z : horizon profondément modifié (présence de briques, remblai, charbons, etc)

Horizons de références

A : horizon de surface, contenant de la matière organique incorporée à la matière minérale et présentant une structure d'origine biologique.

LAc : horizon cultivé calcaire.

LAc : horizon cultivé calcique.

LAg : horizon cultivé à taches rouilles.

LA/S : horizon cultivé mélangeant deux horizons naturels.

J, Js : horizon jeune de surface et peu différencié, faiblement organique.

Sca : horizon structural calcaire - effervescent.

Sci : horizon structural calcique - non effervescent.

K : horizon pétrocalcarique de croûte calcaire dure.

G : horizon réductique à engorgement quasi-permanent (ou Gr).

Go : horizon réductique temporairement réoxydé.

C : horizon minéral de fragmentation de la roche-mère, accompagnée d'une certaine altération géochimique. On reconnaît la structure de la roche (litage, etc).

Cca avec dépôts de CaCO₃.

M : roche-mère meuble non ou peu caillouteuse.

Mca : roche mère meuble calcaire (moraine ou marne).

D : roche-mère pseudo meuble de matériaux durs fragmentés et transportés éléments grossiers dominants.

Dx : éléments grossiers mixtes.

Dca : éléments grossiers calcaires.

Dsj : éléments grossiers cristallins.

R : roche mère dure massive ou peu fragmentée.

Rca : roche calcaire.

Z : horizon remanié (présence de briques, remblai, charbons, etc)

Zgrv horizon de gravelage sans rapport avec le milieu naturel

Lettres suffixes pouvant être accolées aux horizons

(g) : traces rédoxiques.

S(g), Sca(g) Bt(g), etc...

g : horizon rédoxique bariolé rouille et gris.

Eg, Sg, Scag, Cg, Mg, etc...

H : qualifie un horizon plus organique et plus sombre que la normale.

Tour : (comme tourbeux) horizon très noir.

x, X : qualifie un horizon très caillouteux.

k : à accumulation calcaire peu indurée

K : à accumulations calcaires continues et dures.

Profils complexes

1, 2, 3, superpositions verticales d'horizons A1 A2...

I, II, III indiquent la première, seconde et parfois troisième origine des horizons ou roches-mères.

5.5. LEXIQUE

Acide :	Caractéristique chimique d'un sol dont le pH à l'eau est inférieur à 6,5 (contraire basique).
Activité biologique :	Traces de vie des animaux qui se trouvent dans un sol.
Agrégat :	Désigne un petit fragment de terre (motte).
Alluvion :	Sédiment récent ou ancien déposé par un cours d'eau ou un lac, de composition variable (pierres, graviers, sables, silts, argiles, calcaires ou non).
Altération :	Transformation progressive physique et chimique d'une roche en résidu (altérite).
Argile ^{sens1} :	Particules très fines (inférieures à 2 microns).
Argile ^{sens2} :	Minéral en feuillet. Les argiles présentent des propriétés très différentes selon leur nature.
Argillification :	Accumulation relative d'argile dans les horizons profonds d'un sol.
Argilane :	Revêtement argileux sur les faces des éléments de la structure.
Bioclastique :	Se dit d'une roche sédimentaire (un calcaire par exemple) qui est formée en grande partie par des débris d'organismes (fragments de fossiles).
Bisse :	Canal d'irrigation creusé à flanc de montagne permettant de drainer l'eau des torrents de leur vallée jusqu'au coteau cultivé.
Brèche :	Terme pouvant désigné des roches d'origine assez variée. Dans le cas d'une brèche sédimentaire, roche cimentée, formée par accumulations d'éléments anguleux, de même nature ou non.
Calcaire:	Type de roche OU carbonate de calcium OU adjectif de type de sol OU d'Horizon.
Calcaire (Hor):	Horizon contenant plus de 5% de carbonates (en gros calcaire total) Effervescent à froid à HCl.
Calcique (Hor):	Horizon saturé contenant moins de 5% de carbonates (en gros calcaire total) pas d'effervescence à froid à HCl ou très localement.
Calcschiste :	Roche feuilletée dérivant de marnes ou pélites et donnant des plaquettes de calcaires cristallins à surface satinée.
CEC :	Capacité d'Echange Cationique : mesure de l'aptitude des sols à retenir les cations (potassium, magnésium, calcium...) donc de la taille du "garde manger" du sol.
Concrétions :	Accumulations minérales ou métalliques (calcaire, fer...) autour d'un noyau ou sur une surface Lorsque ces concrétions sont très nombreuses et cimentées, elles prennent l'aspect de mâchefer ou de croûte.
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.
Décarbonatation :	Perte progressive du calcaire total (donc actif) de la terre fine. Contraire : recarbonatation (par les eaux, l'érosion des pentes dominante, l'homme).
Détritique :	Formation résultant de la désagrégation de roches (débris issus de l'érosion d'un continent).
Doline :	Dépression fermée, formée dans le calcaire dur.
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 et très basique. Sinon il est modérément basique, neutre ou acide.
Encroûtement calcaire :	Niveau induré lié à des reprecipitations de carbonates de calcium (calcaire).
Eolien :	Dû à l'action du vent (apports éoliens = loess).
Erosion :	Processus chimiques (altération, dissolution), physiques ou mécaniques (désagrégation) qui enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief.
Erratique :	Bloc isolé ayant été transporté par un glacier disparu.
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.
Faciès :	Caractéristiques d'une roche.
Faille :	Cassure de terrain avec déplacement des parties séparées.
Ferro-Manganique :	Elément noir (fine pellicule ou grain) constitué de fer et de manganèse qui se déposent ensembles quand le sol est sujet à un excès d'eau prolongé (parfois fossiles, elles ne disparaissent pas après drainage).
Ferrugineux :	Contenant du fer.
Fersiallitique :	Se dit d'un sol à horizon de couleur rouge où les argiles sont liées au fer ferrique et qui présente une structure micro-polyédrique.
Fluvio-glaciaire :	(syn. Glacio-torrentiel), Sédiments transportés par les glaciers puis repris par des cours d'eau.
Flysch :	(d'un nom suisse : terrain qui glisse) : roche sédimentaire formée en delta sous-marin à la suite 'd'avalanches' successives, prenant une composition variable rythmée tantôt grossière (graviers/blocs-sables), tantôt fine (silts-argiles litées). Les flyschs témoignent de bassins profonds en bordure de zones en fortes contraintes où se forment des chaînes de montagnes.
Gabbro :	Roche d'origine magmatique plutonique (cristallisation en profondeur), vert sombre, pouvant appartenir à un complexe ophiolitique.
GEPPA :	Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (triangle de texture utilisé).
Glacio-torrentielle :	(syn. Fluvio-glaciaire), Sédiments transportés par les glaciers puis repris par des cours d'eau.
Gley :	Horizon de couleur généralisée gris vert indiquant un engorgement permanent.
Gneiss :	Roche cristalline métamorphique caractérisée par des lits sombres (micas, amphiboles) alternant avec des lits clairs (quartz, feldspaths). Il en existe de multiples variétés.
Granite :	Roche d'origine magmatique plutonique (cristallisation en profondeur), formée essentiellement de quartz, de feldspaths, de plagioclases et bien souvent de micas.
Grès :	Roche sédimentaire dure et rugueuse formée de grains cimentés (calcaire ou non).
Gypse :	Sulfate de calcium hydraté: minéral blanc peu dur, soluble dans l'eau ne faisant pas effervescence à l'acide, rayable à l'ongle et formé dans des lagunes par évaporation au Trias. Aspect de sucre ou de gros cristaux.
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 et de la polymérisation de la matière organique.

Hydromorphe:	Se dit d'un sol qui présente des signes attribuables à un excès d'eau permanent ou temporaire (hydromorphie).
Illite :	Argile de taille moyenne, proche du mica. C'est la plus répandue. CEC moyenne.
Interfluve :	Région située entre deux cours d'eau.
Kaolinite :	Argile de petite taille, peu gonflante, de faible CEC.
Karst :	Paysage typique des régions calcaires - dolines, vallées sèches, gouffres, rivières souterraines - formé par la dissolution du calcaire par les eaux.
Karstique :	En profondeur, réseau de cavités et galeries souterraines creusées par dissolution des roches encaissantes (calcaires, gypses).
Klippe :	Portion d'une lame de terrains (ex : nappe de charriage) isolée du corps principal de celle-ci. Résidus épargné par l'érosion.
Lamellaire :	Feuilleté.
Lessivé :	Se dit d'un sol acide dont les argiles migrent vers le bas. L'horizon supérieur devient clair et sableux.
Lœss :	Dépôt sédimentaire d'origine éolienne (limons-sables fins), souvent très poreux, de couleur ocre et doux au toucher.
Limon (silt) :	Particule de taille moyenne. Les limons ont tendance à être battants (déstructurés par la pluie). Synonyme des "silts suisses". La notion agronomique de limon "terre de texture moyenne" n'est jamais utilisée car trop ambiguë et pouvant inclure des textures sablo-argileuses sans aucun "limon" textural.
Lité - litage:	Déposé en lits superposés.
Lithochrome :	Qualifie un horizon dont la couleur est héritée de la roche mère et non due à l'évolution pédologique.
Lithologie:	Nature des roches.
Marne :	Roche sédimentaire non indurée à grains fins, effervescente à l'acide dilué, mélange d'argile et de calcaire, moins compactes que les calcaires, moins plastiques que les argiles, de débit, couleur et composition variables.
Matière organique :	Substance provenant de débris végétaux ou animaux.
Métamorphisme :	Transformation d'une roche du fait d'une élévation de température et/ou de pression.
Mica :	Minéral brillant, se débitant en lamelles.
Micaschiste :	Roche métamorphique à débit en plaquettes et riche en micas.
Migmatite :	Roche assimilé à un mélange entre un granite et un gneiss, dont la formation résulte d'une fusion partielle (refonte d'une partie de la roche initiale).
Minéralisation	Transformation de la matière organique en minéraux (par ex. nitrates) assimilables par la plante.
Molasse :	Formation sédimentaire à faciès variés (sables, marnes, conglomérats, grès) datant de l'ère tertiaire.
Moraine :	Éléments de toutes tailles, arrachés, éboulés ou déposés sur et sous un glacier, puis transportés ou compactés par lui. Dépôts constitués par ces éléments: moraines latérales, de fond, frontales.
Nappe alluviale :	Nappe d'eau libre plus ou moins profonde en relation avec une rivière.
Nappe de charriage :	Ensemble de terrains qui a été déplacé, charrié par-dessus un autre ensemble, dont il était très éloigné à l'origine.
Nappe perchée :	Nappe d'eau développée au-dessus d'un niveau peu ou pas perméable.
Ophiolites :	Ensemble de roches magmatiques basiques ("roches vertes" : péridotites, gabbros, basaltes, serpentinites, ...)

	qui représentent des portions de la croûte océanique et du manteau supérieur charriées sur de la croûte continentale.
Oxydation (taches) :	Taches rouille, formées par réaction chimique entre le fer et l'oxygène (contraire : Réduction, taches grises).
Pélite :	Roche sédimentaire détritique à grain très fin (silt ou argile)
Pendage :	Inclinaison des strates et couches rocheuses ou même d'une faille par rapport à l'horizontale.
Pisolite	Nodule ferrugineux de la taille d'un pois.
pH	Mesure indiquant le degré d'acidité du sol - pH = potentiel d'Hydrogène.
Polyédrique	Structure fragmentaire caractérisée par les agrégats à faces nombreuses et planes à arêtes anguleuses.
Piémont :	Pente douce en bas d'un relief montagneux ou d'un massif.
Pierrosité :	Quantité d'éléments grossiers (taille supérieure à 2mm) mélangés à la terre fine. Graviers < 2cm < cailloux < 7.5cm < pierres < 20cm < blocs et super-blocs (+ de 2m).
Pores	Espace vide du sol (porosité = ensemble des vides).
Prismatique :	Structure à mottes de terre de forme anguleuse, allongée dans l'axe vertical.
Pseudogley :	Taches de rouille, nombreuses, indiquant un engorgement périodique.
Pseudomycélium :	(="comme des champignons") Précipitation diffuse du calcium en forme de filaments de couleur blanchâtre. (=vermiculure, persillage).
Quartz :	Minéral siliceux, dur, translucide, incolore ou rosé.
Recarbonaté :	Rechargé en calcaire : Se dit par ex. d'un sol à horizon calcique recouvert d'un horizon calcaire à la suite d'apports récents naturels ou non. Contraire : décarbonaté.
Revêtement :	Pellicule d'argile, de matière organique ou de fer qui recouvre l'extérieur d'une petite motte de terre (polyèdre ou prisme) ou d'un cailloux.
Roche-mère :	Matériau à partir duquel le sol se forme.
RU réserve utile :	Quantité d'eau qu'un sol peut potentiellement mettre à la disposition de la plante
Rubéfaction :	Type d'évolution du sol sous climat chaud qui le rend rouge par cristallisation d'oxydes de fer déshydratés (hématite).
Sable :	Particule de grosse taille mais inférieure à 2mm. Il est utile de distinguer les sables fins (<0.2 mm) et les sables grossiers pour les calculs de réserve hydrique.
Schiste :	Sens large : toute roche qui se débite en feuillets. Sens strict : roche métamorphique ayant acquis un débit en feuillet sous l'effet de contraintes tectoniques (pression) Les micas sont souvent orientés, les surfaces des feuillets satinées ou soyeuses.
Serpentinite :	Roche métamorphique, d'un vert souvent sombre, qui dérive d'ophiolites. Elles sont appelées "Pierres ollaires" et utilisées depuis très longtemps, dans la fabrication de fourneaux ou récipients (bien connues en Valais et au Tessin).
Socle :	Substratum ancien, généralement métamorphisé ou granitisé, sur lequel repose les terrains sédimentaires (couverture).
Structure :	Mode d'assemblage d'un sol - un sol bien structuré est composé de mottes de terre de forme irrégulière et fragmentées et n'a pas un aspect massif.
Substrat :	Formation située en dessous du sol, parfois différente de 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. Ex : 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 ; ex : cuvette, butte, versant, vallée, etc...
Toposéquence :	Chaîne de sols logiquement liée au relief.
Turbidité :	Courant qui dépose par fines couches successives des sédiments détritiques.
Vallum morainique :	Forme de modelé glaciaire - colline en croissant concave vers l'amont qui marque la limite maximale d'avancée d'un glacier (moraine frontale).
Varve :	Dépôt finement lité d'origine lacustre.

5.6. BIBLIOGRAPHIE

INTERNET

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

<http://cerclerivedroite.com/keesvlregimehydrique.pdf>

SOLS - PÉDOLOGIE

[1] Soltner D., 2002 - **Les bases de la production végétale**. TOMES 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, 1995 - **Référentiel Pédologique**. INRA EDITIONS.

[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., 1991 - **Pédologie**. MASSON.

[9] Callot G., Chamayou H., Maertens C., Salsac L., 1982 - **Les interactions sol - racines**. INRA EDITIONS.

GÉOLOGIE

[10] Service hydrologique & géologique national, Atlas géologique de la Suisse - **cartes géologiques** 1/25.000ème et **cartes tectoniques** des Alpes de Suisse occidentale au 1/100.000ème.

[11] Charollais J., Badoux H., 1990 - **Guides géologiques régionaux - Suisse lémanique, Pays de Genève et Chablais**. MASSON.

[12] Foucault A. & Raoult J.-F, 1995 - **Dictionnaire de géologie**. MASSON.

[13] Campy M. & Macaire J.-J., 1989 - **Géologie des formations superficielles**. MASSON.

[14] Burri M., 1994 **Les Roches. Connaître la nature en Valais**. EDITIONS PILLET.

[15] Labhart T.; Decrouez D., 1997 - **Géologie de la Suisse**. DELACHAUX ET NIESTLE.

[16] Marthaler M., 2001 - **Le Cervin est-il africain ?** EDITIONS L.E.P.

[17] Decrouez D., 1999 - **De Genève au Mont Blanc, les roches racontent, Itinéraires**.

[18] Decrouez D., Jordan P., Auf Der Maur F., 1999 - **Géotopes, un voyage dans le temps**. EDITIONS MPA.

[19] Zryd A., 2001 - **Les Glaciers**. EDITIONS PILLET.

VITICULTURE

[20] Champagnol F., 1985 - **Physiologie de la vigne**. CHAMPAGNOL.
HISTOIRE DE LA TERRE, PAYSAGES

[21] Paccalet Y., 1991 - **La Terre et la Vie**. LAROUSSE.

[22] Pigeat J.-P., 2000 - **Paysages de la vigne**. SOLAR.

[23] Ambroise A., Frapa P., Giorgis S., 1999 - **Paysages de Terrasse**. EDISUD.