



Guide pratique : description du profil de sol agricole

Ce document a été réalisé par le FiBL, Prométerre et le canton de Vaud (DGE-GEODE/Sols), avec l'appui scientifique et l'aimable collaboration de Christian Barnéoud (CRABFC), Pascal Boivin (hepia), Hubert Boizard (INRA), Stéphane Burgos (HAFL), Karine Gondret (hepia), Gerhard Hasinger (bio-conseil), Frédéric Lamy (Changins) et Isabelle Letessier (Sigales), ainsi que celle des 42 agriculteurs du réseau Progrès Sol qui ont contribué à l'amélioration de ce document par leur expérience.

Préambule

Observer le sol est à la base de la production végétale. Le profil de sol est l'outil de diagnostic le plus complet qui soit, permettant de déceler la plupart des problèmes, et surtout de les prioriser. Il permet d'appréhender la notion de « fertilité » du sol, qui est la condition nécessaire pour assurer une production de qualité à long terme.

Dans cette optique, le présent guide doit servir à poser un premier diagnostic de l'état de son sol. Pour connaître son outil de travail, il faut prendre le temps de l'observer, de le toucher, de le sentir et de le comprendre dans en profondeur.

L'expérience s'acquiert en rapprochant ses observations avec celles d'autres agriculteurs, et en se posant les questions suivantes : (i) quel est l'état « naturel » de mon sol ? Il peut être utile d'observer les autres sols de la région (prairie permanente, forêt à proximité). (ii) Quelles sont les pratiques agricoles qui ont conduit à son état actuel (rotations, travail du sol, amendements, etc.) ?

Lorsqu'un problème est détecté dans le profil de son sol ou que le profil ne permet pas de comprendre une vigueur insuffisante des cultures, il peut être utile de compléter le diagnostic par des analyses chimiques (MO, P, K, Mg, voire micronutriments, polluants) ou biologiques (vers de terre, biomasse et activité microbienne).

Au-delà du diagnostic, les solutions à un problème méritent une réflexion approfondie. Par exemple, déceler une compaction est assez facile, mais la planification d'un décompactage mérite d'être soigneusement préparée (faire un essai, vérifier le résultat avant de l'appliquer sur toute la parcelle).

Les impacts de la production végétale sur les sols agricoles sont importants, aussi en Suisse (compaction, érosion, lessivage, etc.), mais il existe également de nombreux sols cultivés et en très bon état. Maintenir la fertilité de son sol, ressource fragile et non-renouvelable, pour nourrir la population actuelle et les générations futures, assurer les multiples fonctions environnementales et vivre de sa production ne sont pas des objectifs inconciliables, bien au contraire !

François Füllemann, Alyssa Fischer, Emilie Carrard, Marina Wendling, Laurence Schaffner, Edouard Cholley, Raphaël Charles

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Matériel nécessaire.....	2
2.1	Les indispensables	2
2.2	Observations supplémentaires	2
3.	Préparer son profil	3
3.1	Choix de la zone	3
3.2	Période d'observation	3
3.3	Sécurité.....	4
3.4	Creuser le profil	4
4.	Observation du profil	5
4.1	Contexte	5
4.2	Etat de la surface	5
4.3	Horizons.....	6
4.4	Humidité.....	6
4.5	Cailloux	7
4.6	Structure du sol	7
4.7	Texture	11
4.8	Activité des vers de terre	12
4.9	Développement racinaire.....	12
4.10	Circulation de l'air et de l'eau	13
5.	Observations complémentaires	14
5.1	Teneur en carbonates	14
5.2	Stabilité des agrégats	15
6.	Prenons du recul !	19
6.1	Observé au travail vs. Observé dans le profil.....	19
6.2	Zone travaillée et/ou travaillable vs. Zone inatteignable	20
6.3	Physique du sol.....	20
6.4	Biologie du sol	23
6.5	Chimie du sol	24
6.6	Utiliser son sol comme base pour le choix des rotations	26
7.	Références	29

1.Introduction

Ce document est un guide de description simplifiée du profil de sol, essentiellement destiné aux agriculteurs souhaitant observer et comprendre l'état et le fonctionnement de leur sol. Il est inspiré de plusieurs méthodes telles que le profil pédologique et le profil cultural. Un profil s'observe sur une fosse d'1-1.5 m de profondeur, il permet d'observer les différentes couches du sol (horizons), d'en tirer des principes d'action pour la pratique agricole et de déceler visuellement les principales caractéristiques du sol : opportunités (profondeur d'enracinement, etc.) ou problèmes (compaction, cailloux, engorgement, etc.). Il est aussi utilisé pour comprendre la source d'un problème.

Ce guide se veut un outil pour permettre de diagnostiquer les effets croisés de la nature du sol et des opérations culturales. Les critères examinés sont les suivants :

- La circulation verticale de l'eau et de l'air dans le sol
- L'intensité de l'activité biologique et le développement racinaire
- La qualité de la structure du sol
- La vulnérabilité du sol face aux opérations mécaniques

Sur la base de ces observations, il est possible d'évaluer la qualité du sol et l'impact des pratiques culturales. Dès lors, des correctifs à court, moyen ou long terme pourront être envisagés si nécessaire.

Tout au long du guide, les informations à remplir dans la fiche de description du profil sont signalées par ce signe, le numéro renvoie à la colonne correspondante sur la fiche de description.



Un exemple d'une fiche déjà remplie se trouve aux pages 17 et 18 de ce guide.

2. Matériel nécessaire

2.1 Les indispensables

Creuser	Observer	Relever
Pelleteuse	Double mètre	Fiche de description avec les données PER pré-remplies
Bêche	Jalons 10-15 cm (8 à 10)	
Pelle	Assiettes plastique (8 à 10)	Crayon et bloc note
Couteau solide	Bouteille d'eau	Appareil photo

NB : Pour interpréter les observations, il peut s'avérer utile de connaître certains résultats d'analyse : pH, texture, matière organique

2.2 Observations supplémentaires

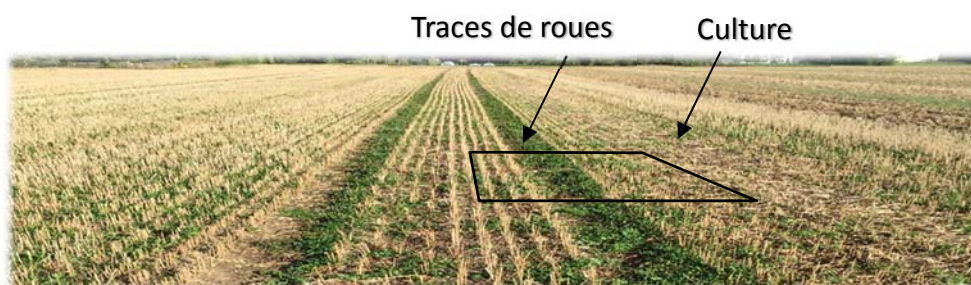
Pour certaines observations, il est nécessaire de se procurer un matériel plus spécifique :

Matériel	Observation
Bouteille d'eau 1L 3 bocaux à cornichons avec leur pissette	Tester la cohésion des agrégats en immergeant les mottes dans l'eau
Acide chlorhydrique (HCl 10 %)	Evaluer la présence de carbonates

3. Préparer son profil

3.1 Choix de la zone

1. Deux types de zones sont distinguables, à choisir en fonction des objectifs.
 - Zone **représentative** de la parcelle (culture unique et homogène, pas de rupture de pente)
 - Zone **problématique** (mauvais état localisé de la culture, sol engorgé)
2. Placer le profil **perpendiculairement au travail du sol**. Attention à éviter les bords, les lisières de forêt et les anciens chemins.
3. **Observer une face bien éclairée**
4. Utiliser une App mobile telle que *Swiss Map Mobile* afin de situer exactement le lieu du profil (coordonnées). Cette information peut s'avérer très utile ultérieurement. Noter les coordonnées précises sur la feuille de relevé.



NB : Afin de comprendre l'origine d'un problème et de permettre la comparaison, il peut être utile de creuser deux profils : le premier dans la zone problématique et le second en dehors.

3.2 Période d'observation

1. Sur un sol couvert si possible
2. Eviter les sols trop mouillés (gorgés d'eau) ou trop secs. Consulter le réseau de tensiomètres sur www.humidite-des-sols.ch, creuser le profil après une période très humide (orange) **et** en conditions ressuyées (vert).

3.3 Sécurité

Quelques principes de base :

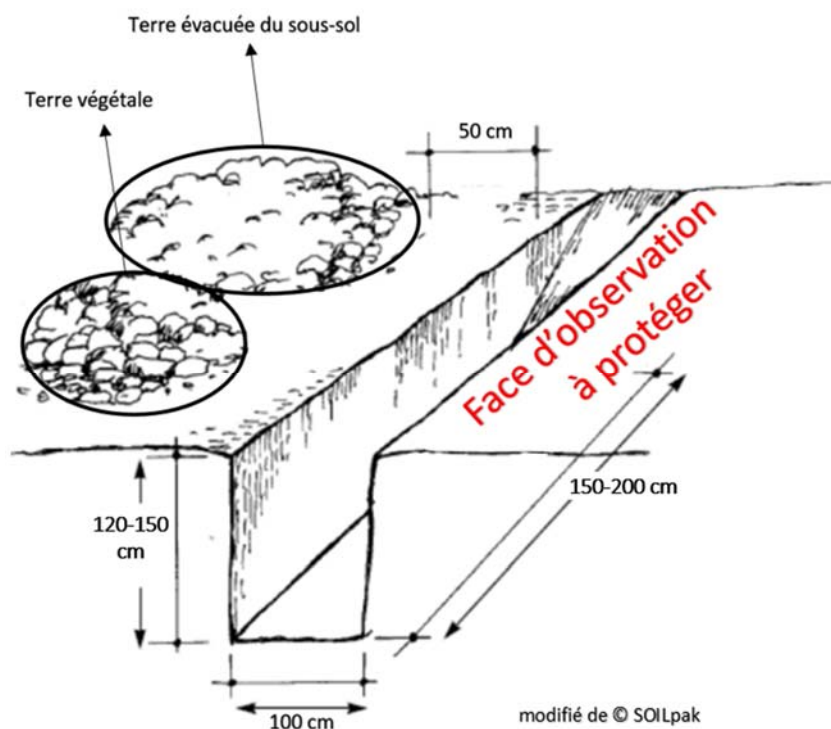
- Profondeur maximale de 150 cm
- Attention au risque d'effondrement (min. 1 m de large)
- Former des marches pour ressortir facilement
- Eloigner les tas de terre de la fosse (à plus de 50 cm)
- Plus le sol est instable, moins la fosse sera profonde et plus elle devra être large (idem s'il y a de l'eau au fond)
- Pour plus de sécurité, travailler à plusieurs

3.4 Creuser le profil

1. Creuser le profil sur **150 à 200 cm de long, 100 cm de large, 120-150 cm de profondeur** en incluant une surface où se recoupent deux traces de roues et une zone à côté des passages (voir schéma p.6).

NB : Attention à séparer le tas de terre végétale (environ 0-30 cm) de celui de la terre du sous-sol (> 30 cm). La terre végétale est placée plus loin du profil que la couche sous-jacente afin de faciliter le rebouchage.

2. Veiller à **préserver la surface du sol autour du profil** en évitant de rouler/marcher dessus ou d'y mettre de la terre pendant la préparation.
3. Une fois le profil creusé, il faut le **rafraîchir au couteau** en enlevant la surface lissée ou compactée par la bêche ou la pelleuse.



4. Observation du profil

4.1 Contexte

4. Renseigner les **données de base** nécessaires pour identifier plus tard le profil (exploitant, commune, parcelle, date, qualificatifs de la parcelle choisie)
5. Relever les **conditions d'observation** (humidité du sol, culture en place / précédent, itinéraire technique, rotation sur la parcelle)



4.2 Etat de la surface

Si le sol a été travaillé récemment, prendre en compte l'état de la surface avant le passage de l'outil.



Surface du sol	Critique	Mauvais	Bon
Encroûtement Battance	Croûte de battance très peu craquelée > 5 mm ; parfois rigoles sur la parcelle	Croûte de battance très craquelée de 2-3 mm	Absence de croûte de battance et de rigoles

Surface du sol	Absente	Moyenne	Bonne
Couverture	Sol travaillé récemment	Sol partiellement ou localement couvert par des plantes (vivantes ou chaumes)	Sol couvert par des plantes (vivantes ou chaumes)

4.3 Horizons

Les horizons sont les couches de sol dont les caractéristiques observées doivent être relativement homogènes par rapport aux autres.

Observer les caractéristiques générales à l'échelle du profil (observer les couches selon leurs différences de couleur, sensations au couteau, cailloux, structures, humidités, etc.).

En général, au moins **trois couches** sont distinguables :

L'**horizon A** : organo-minéral, sol superficiel, travaillé (généralement <40 cm). Il contient plusieurs sous-horizons (couche de préparation, labourée, ancien labour).

L'**horizon B** : minéral, sol profond, non travaillé, pénétré par les racines (généralement > 30 cm). Des sous-horizons (B1, B2, ...) sont parfois identifiables.

L'**horizon C** : minéral, roche mère altérée ou matériau parental.



1

À l'aide de jalons, **délimiter les horizons** et mesurer leur profondeur. **Tracer les limites de profondeurs** des horizons sur toute la largeur de la feuille de saisie. Noter la **profondeur totale** du profil (double trait à la profondeur finale du profil).

2

Noter les **transitions entre chaque horizon**, si elle est nette (marquée) ou diffuse (progressive).

4.4 Humidité

Evaluer l'**humidité du sol** pour chaque horizon.

3

Humidité	Sec	Frais	Humide	Mouillé
Sensation au malaxage		Bien ressuyé	Laisse des traces sur les doigts	Eau « visible »
Qualité de l'observation	Trop sec, mauvaises interprétations possibles	Idéale	Pas idéale	Trop humide, mauvaises interprétations possibles

4.5 Cailloux

Evaluer la charge en cailloux.

	Elevée	Moyenne	Faible	Nulle
Charge en cailloux	> 30%	5 – 30%	< 5%	0%



4.6 Structure du sol

La structure du sol est évaluée pour chaque horizon à l'aide de trois paramètres : la compacité et la friabilité, la taille et la forme des agrégats, et une note globale selon l'évaluation VESS. C'est le paramètre de base le plus essentiel pour l'agriculteur, puisqu'il peut l'améliorer, et ainsi améliorer le potentiel de son sol, mais aussi le dégrader (compaction, etc.).

1. Compacité dans les horizons et friabilité des mottes

Evaluer la **compacité** de chaque horizon en enfonçant la lame du couteau. Evaluer la **friabilité** des mottes provenant de chaque horizon en détachant une motte du profil avec un couteau et en la serrant entre deux doigts.

Attention aux sols trop secs ou humides qui faussent l'appréciation !

Compacité/ Friabilité	Très difficile	Difficile	Facile
Enfoncer le couteau est ...	Possible avec beaucoup d'effort	Possible en appuyant bien	Facile à deux doigts
Casser une motte à deux doigts est ...			



NB : Observer les différences de compacité entre le sol situé sous le passage des roues et le sol sous la culture.

2. Taille et forme des agrégats

A l'aide d'un couteau, prélever des fragments de chaque horizon. Mettre chaque horizon dans une assiette différente pour les observer et déterminer leur taille et leur forme.

7

Taille prédominante des agrégats					
> 100 mm	50 – 100 mm	20 – 50 mm	5 – 20 mm	2 – 5 mm	< 2 mm

8

Forme des agrégats	Anguleux	Arrondi	Rond
	Durs avec angles vifs. En cassant la motte, la surface est lisse, pas de pores visible	Etat intermédiaire, anguleux à arrondi, peu de pores visibles	Très friable et très poreux

9

3. Qualité de la structure (VESS)

La méthode VESS, originellement appliquée sur le test à la bêche, est une évaluation visuelle permettant de juger rapidement de la « **qualité** » de la **structure** du sol (notes de 1 à 5) :

Pour le ou les horizons A, à l'aide de la charte en page suivante, attribuer un score (Sq) de 1 à 5:

- 1 et 2 pour les bonnes structures,
- 3 étant la limite (peu d'efforts pour améliorer et revenir à 2, mais aussi des risques de dégrader à 4),
- 4 et 5 pour les structures de mauvaise qualité.











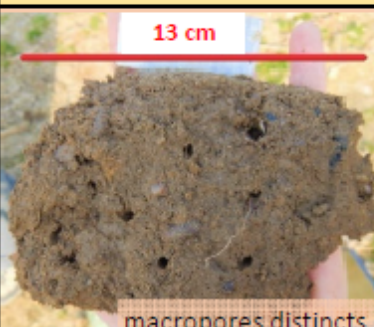




Pour l'horizon B, qualifier la structure de la même façon. Les notes sont généralement plus élevées en profondeur ce qui n'est pas forcément à interpréter comme une dégradation.

Attention, l'évaluation et l'interprétation de la note sont plus difficiles pour les sols particuliers (teneur en argile > 30 % ou sable > 60%) car la note sera moins sévère.

NB : Cette évaluation peut être répétée facilement sur d'autres zones de la parcelle pour comparaison grâce au test à la bêche.

VESS₂₀₁₉ Evaluation visuelle de qualité de la structure du sol

Johannes et al., 2019, en préparation pour Recherche Agronomique Suisse, adapté de Ball et al, 2007, Guimaraes et al., 2011

VESS ₂₀₁₉ Version provisoire 25.09.2019	Couche entière: taille des agrégats/mottes	Taille et forme des agrégats/fragments	
Sq1			
Sq2			
Sq3			
Sq4			
Sq5			

Agrégat/motte intact		Ouvrir (briser)	Aspect après "ouverture"		Racines et couleurs
Taille	Forme		Forme	Porosité	
La plupart < 0.6 mm	Grumeleux. Agrégats petits et arrondis	Motte ouverte: motte colonisable par des racines. Lorsqu'on ouvre la motte, elle ne se casse pas exactement où on veut et pour Sq1-2 la motte semble être composée de plus petits agrégats, tandis que Sq3 présente des faces très rugueuses.	Les agrégats sont composés de plus petits agrégats, maintenus ensemble par des racines.	Très poreux	Racines à l'intérieur des agrégats
De 2 mm à 7 cm	Agrégats arrondis. Pas de mottes fermées		L'ouverture révèle des faces rugueuses et poreuses.	Poreux	Racines à l'intérieur des agrégats.
De 2 mm à 10 cm. Moins de 30% sont <1 cm.	Mélange de différentes tailles d'agrégats arrondis. Possibilité de mottes fermées.		L'ouverture révèle des faces rugueuses, peu poreuses. Possibilité de faces plates.	Peu poreux. Quelques macropores et fissures peuvent être présents	Quelques racines, en général dans les agrégats.
La plupart sont larges >10 cm. Moins de 30% sont < 7 cm.	Motte fermée sub-angulaire. Possibilité de bords anguleux. Structure lamellaire possible.	Motte fermée, structure massive: motte où les racines sont restreintes. Lorsqu'on ouvre la motte, elle se casse où on veut ou le long de fissures.	L'ouverture de la motte révèle des faces très peu ou non-poreuses, légèrement rugueuses et plutôt plates.	Très peu poreux. Macropores visibles	Racines généralement concentrés dans les macropores et fissures ou autour des mottes fermées.
La plupart sont larges >10 cm.	Motte fermée anguleuse		L'ouverture de la motte révèle des faces plates, anguleuses et non-poreuses. Possible de faire des cubes à bords nets.	Non poreux. Porosité restreinte à quelques macropores et fissures	Zones anoxiques avec couleur gris- bleu possible . S'il y a des racines, elles sont uniquement dans les fissures ou autour des mottes.

4.7 Texture

Evaluer la texture de chaque horizon en **prélevant de petits échantillons de terre** (quelques grammes). Débarrassez-les des cailloux et gravillons. **L'échantillon doit être à l'état frais**, ni trop sec, ni saturé en eau. Lorsque les conditions sont plutôt sèches, il faut prendre le temps de mouiller et de malaxer pour homogénéiser l'échantillon avant de juger la texture (par exemple, des argiles sèches pourraient être confondues avec des grains de sable).

Il peut s'avérer utile de **se « calibrer »** en testant le premier horizon connu, puis le dernier horizon du profil (différence la plus importante généralement). Il est aussi possible de comparer ces résultats à la texture donnée dans les analyses de sol.

La matière organique (surtout dans l'horizon A) perturbe l'appréciation : elle rend les sols riches en argile moins collants, et ceux riches en sable plus cohérents. Les sols riches en matière organique ont un toucher « gras », « soyeux ».

Argile	Limons	Sable
malléable, salissant, collant, lisse et surfaces de lissage luisantes	peu malléable, farineux, doux, émiettable, en séchant il laisse une poudre blanche sur les mains, surface de lissage rugueuses, savonneux/gras quand trop mouillé	non malléable, non salissant, granuleux (perception des grains de sable)

Le test tactile consiste à former des boudins de terre et évaluer leur diamètre.



Texture	Léger argile < 10 %	Moyen-Léger argile = 10-15 %	Moyen argile = 15-25 %	Moyen-Lourd argile = 25-30 %	Lourd argile > 30 %
Test tactile	Boudin > 7 mm	Boudin 2-7 mm			Boudin < 2 mm
Evaluation du sol profond par rapport au sol de surface	Identique	Pas de différence			
	Plus léger	Plus sableux au toucher, granuleux			
	Plus lourd	Les boudins formés sont plus fins			

4.8 Activité des vers de terre

Il s'agit ici d'évaluer les « biostructures » (galeries, turricules) visibles et pas la présence ou l'absence de vers de terre. Selon les conditions (travail du sol, météo et saison) l'interprétation sera ensuite différente.




	Absente	Limitée	Elevée
Biostructures	Absence de biostructures	Présence de galeries uniquement	Présence de turricules fraîches et de galeries et de vers de terre

11

4.9 Développement racinaire

L'appréciation du développement racinaire doit être mise en relation avec la couverture du sol (type et stade de la culture) relevée précédemment.

Une racine ne descendra pas profondément si ce n'est pas nécessaire ou si elle est entravée par une couche dure ; un sol argileux très sec peut forcer les racines à emprunter des chemins préexistants. Il est donc essentiel de repérer la forme des racines et d'évaluer si elles descendent librement dans le profil ou si elles sont contraintes à emprunter des galeries de vers de terre, fissures entre les mottes, fentes de retrait, etc.

Enracinement	Absent ou fortement entravé	Limité	Bon
Observations	Peu ou pas de racines visibles. Racines coudées, bloquées par un obstacle ou bloquées en surface	Racines localisées dans les galeries de vers de terre et les fissures, croissance en forme d'arête de poisson	Bonne colonisation racinaire jusqu'en profondeur, distribution régulière
			

12

4.10 Circulation de l'air et de l'eau

La couleur et l'odeur sont deux indicateurs permettant d'évaluer la circulation de l'air et de l'eau dans le sol. Des taches et une mauvaise odeur peuvent apparaître lorsque le sol est **saturé en eau** de manière répétitive ou prolongée (on parle alors d'un sol « hydromorphe »). De manière générale, plus la nappe est restée au même endroit dans le sol plus ces indicateurs sont développés.

13

	Nombreuses	Peu	Pas
Taches de rouille	Nombreuses taches orangées (Fer), taches bleu-grises (Fer oxydé), ou taches noir-violettes (Mn)	Quelques taches	Pas de taches
Circulation air/eau	Nappe (quasi) permanente (pseudogleys)	Nappe occasionnelle (gleys)	Pas d'eau qui stagne / nappe

14

	Forte	Absente	Bonne
Odeur	Odeur de moisissure, de pourriture ou d'œuf pourri	Pas d'odeur particulière	Odeur de terre agréable

Exemple de profil avec de nombreuses taches de rouille



NB : Si le sol est drainé, les taches peuvent être plus anciennes et ne plus montrer le fonctionnement actuel du sol.

NB2 : Les traces d'hydromorphie en profondeur peuvent aussi être un avantage pour le sol (réserve hydrique en périodes sèches) !

NB3 : Attention aux sols très carbonatés (effervescence à l'acide) car ils expriment plus difficilement l'hydromorphie (blocage de la mobilisation du fer)

5. Observations complémentaires

5.1 Teneur en carbonates

Apprécier la teneur en carbonates (CaCO_3) du sol en versant quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) sur chaque horizon.

Effervescence à l'HCl	Observation	Teneur en carbonates
Nulle	Ni audible ni visible	< 1 %
Très faible	Audible mais non visible	1 à 3 %
Faible	Quelques bulles	3 à 10 %
Moyenne	Bulles bien visibles	10 à 20 %
Forte	Bulles abondantes et bruit d'effervescence	> 20 %



Un sol « carbonaté » (test HCl faible à fort) n'a jamais besoin de chaulage. Dans un sol où la teneur en carbonates est nulle, plusieurs paramètres doivent être analysés avant de décider de chauler :

- **Le calcium** (Ca^{2+}) : s'il y en a encore dans le sol, le chaulage est en principe inutile
- **le pH** : dans un sol neutre ou légèrement acide, un chaulage d'entretien peut être envisagé. Dans un sol acide ou lessivé (teneur en argile plus forte dans une couche plus profonde), les chaux normales ne fonctionnent que quelques jours/semaines. Il faut envisager un chaulage de « fond » sous forme de sables calcaires.

Si le sol est **naturellement** acide, il ne sert à rien d'essayer de le changer. En revanche, dans un sol faiblement acidifié par les pratiques agricoles, retrouver son état d'équilibre peut être envisagé.

NB : Les carbonates fournissent le calcium nécessaire pour lier les argiles et la matière organique dans le sol, permettant de former une structure stable appelée le complexe argilo-humique. Il existe d'autres cations liants (Mg, Fe, Al).

5.2 Stabilité des agrégats

Pour observer la stabilité des agrégats dans l'eau : défaire doucement une motte dans la main pour faire apparaître les agrégats, plonger ces derniers dans un bocal à cornichon avec pissette et observer après 10 min. Comparer la différence entre les horizons de surface et de profondeur.

1. Les agrégats fondent ou restent-ils stables ?
2. Des particules partent en suspension ou l'eau est-elle claire ?
3. L'agrégat sorti de l'eau est-il cohérent ou déstructuré ?



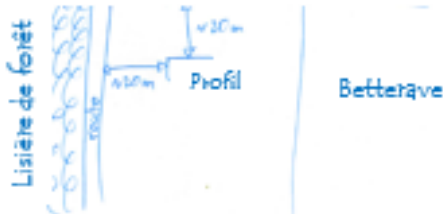

16

Stabilité plutôt	Critique	Bonne
Agrégat	Fondant	Stable
Eau	Trouble	Claire
Agrégat ressorti	Boue sans structure	Structuré

Ce test permet de comparer les sols et les horizons entre eux, etc. Il indique par exemple directement la « sensibilité » du sol à l'érosion et à la battance

NB : La stabilité des agrégats dépend de la texture du sol, la teneur en matière organique et la présence du complexe argilo-humique.

Attention, ces résultats sont difficiles à interpréter si le sol comporte peu ou pas d'agrégats (structure particulière) dans les sols très sableux. Dans les sols argileux, il faut laisser beaucoup plus longtemps les agrégats dans l'eau pour observer s'ils fondent (jusqu'à plusieurs jours pour des sols à plus de 50% d'argile).

Nom, prénom <u>Besson Matthieu</u>			
Coordonnées GPS du profil <u>2532547 / 1172610</u>		Parcelle <u>Les myrtilles</u>	
Données PER		Argiles % <u>21</u>	
MO % <u>2.6</u>		Silt % <u>39</u>	
pH <u>6.5</u>		Sables % <u>40</u>	
Date d'observation	Lieu	Altitude	Humidité du sol en surface
<u>29.05.2018</u>	<u>Bavois</u>	<u>450 m</u>	<u>Sec</u> / Humide / Mouillé
Qualifiez votre parcelle :		Remarques	
C'est une bonne parcelle	<u>Oui</u> Non		
Cette parcelle est...	<u>Homogène</u> Hétérogène		
Cette parcelle est caillouteuse	Oui <u>Non</u>		
Le travail est...	Difficile <u>Facile</u>		
Le sol est...	<u>Profond</u> Superficiel		
Le sol est...	Lourd <u>Moyen</u> Léger		
Le sol est...	<u>Drainant</u> Tendance à l'engorgement		
La texture du sol de la parcelle (part d'argile-sable-limons) est favorable à l'utilisation qui en est faite	<u>Oui</u> Non		
Culture en place		Précédent cultural	
<u>Blé d'automne</u>		<u>Colza</u>	
Itinéraire technique (entre la récolte du précédent cultural et l'état actuel)			
<u>Déchaumage (2x) // 20 octobre : semis (combiné)</u> <u>Herbicide en prélevée (23.10)</u> <u>Fumure N (100 unités) en 2 apports (au redémarrage 5 mars et à épi 1cm 10 avril, conditions plutôt humides le 10 avril...)</u>			
Schéma et situation du profil (lisière de forêt, rupture de pente, situation du profil sur la parcelle, ...)			
Si la parcelle est hétérogène, qualifiez la zone choisie <u>Chavornay ← Route → Bavois</u> 			
Etat de la surface (chapitre 3.2)			
<u>Bonne couverture du sol, pas de croûte de battance, culture en place</u> <u>Passage de roues bien visible</u>			
Diagnostic et possibles correctifs si jugés nécessaire suite à l'observation du profil			
			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Horizons							Activité biologique		Structure 2			Circulation air/eau			
Profondeur (cm)	Transitions	Humidité	Cailloux	Compacité	Friabilité	Texture	Vers de terre	Racines	Taille	Forme	VES	Taches	Odeur	Carbonates	Stabilité
10	Nette à 10	Sec	Faible	Facile	Facile	Moyen	Elevée	Bon	5 – 20	Rond	Sq 2	Pas	Bonne	Moyen	Bonne
20	Diffuse à ~30	Frais	Faible	Facile	Facile	Moyen	Elevée	Bon	5 – 20	Rond	Sq 2	Pas		Bonne	
30															
40	Diffuse à ~55	Frais	Faible	Difficile	Difficile	Moyen	Limitée	Limité	50 – 100	Anguleux	Sq 4	Pas	Absente	Moyen	Critique
50															
60															
70	Diffuse à ~80	Frais	Moyenne	Facile	Facile	Moyen	Absente	Absent	20 – 50	Arrondi	Sq 3	Peu		Faible	
80															
90	-	Mouillé	Moyenne	Difficile	Difficile	Léger	Absente	Absent	5 – 20	Anguleux	-	Peu		Faible	-
100															
110															
120															
130	-----Fond du profil à 120-----														
140															
150															
160															

6. Prenons du recul !

Ce chapitre a pour but de donner quelques pistes d'interprétations basées sur les observations. Une fois la fiche d'observations remplie, il est possible d'avoir une bonne vue d'ensemble sur les différentes caractéristiques relevées dans le profil.

6.1 Observé au travail vs. Observé dans le profil

Fiche d'observation page 1 : Les qualificatifs énoncés selon les observations faites sur la parcelle lors des différents travaux agricoles correspondent-ils à ce qui a été observé aujourd'hui dans le profil?

- **Caillouteux** : cailloux dans les horizons de surface et de profondeur.
- **Profond** : sol bien développé avec des transitions diffuses entre les horizons et selon les conditions d'observations des racines qui descendent profondément (70 à plus de 100 cm). Plus le sol est profond, plus sa réserve en eau est potentiellement importante (p. ex. un sol de 30 cm de profondeur (naturel ou compacté par une semelle de labour), contiendra à peine 150 litres d'eau accessible pour les plantes alors qu'un sol d'1,5 m de profondeur peut facilement en contenir jusqu'à 800 litres).
- **Superficiel** : sol (horizons A et B) peu profond. Le profil observé peut aussi être profond mais comporter une transition très nette entre A et B, par exemple une zone qui entrave la circulation eau/air/racines.
- **Drainant** : sol profond avec une texture et une structure favorables à la circulation de l'eau ou un sol contenant beaucoup de cailloux.
- **Tendance à l'engorgement** : symptômes liés à une mauvaise circulation de l'air/eau. Ces signes peuvent être un horizon compacté, une réduction de l'activité biologique, une transition nette entre les horizons A et B, un drain qui ne fonctionne plus, la présence d'une nappe d'eau. Les nappes quasi permanentes peuvent poser un problème (toxicité pour les plantes) mais aussi être une source d'eau disponible lors de sécheresse. Il est à préciser que l'eau n'est disponible que si les racines peuvent descendre en profondeur, ce qui peut être empêché par une semelle de labour ou un temps trop sec au départ de la culture.
- **Travail du sol difficile** : Quelles observations dans le profil peuvent en être la cause ?

6.2 Zone travaillée et/ou travaillable vs. Zone inatteignable

Dans la zone travaillée/-able il est souvent possible de « résoudre » d'éventuels problèmes observés en restaurant certaines fonctions. Les solutions à choix dépendent de la situation et peuvent être biologiques, mécaniques, ou même une combinaison des deux (un travail mécanique sur un couvert déjà en place, le semis d'un couvert juste après un travail mécanique, ...).

- Entre la surface et 25 cm de profondeur, les outils agricoles classiques et les couverts végétaux (intercultures ou prairies temporaires) peuvent restaurer efficacement la structure du sol.
- Entre 25 et 40 cm de profondeur, les décompacteurs peuvent être utiles, mais il faut soigneusement planifier leur intervention. Leur utilisation peut aussi créer des dégâts bien pires que le problème qu'on cherche à résoudre.
- En dessous de 35 cm de profondeur les outils agricoles classiques ne fonctionnent que très mal. Même les dents de 80 cm, qui semblent pénétrer en profondeur, ne font souvent que « foisonner » le sol et ne pénètrent pas l'ancienne semelle de labour.

Il y a donc bien des cas où il n'est pas possible d'améliorer les conditions du sol (compactions anciennes et profondes, remblais, ou sols naturellement compacts ou hydromorphes) avec des moyens agricoles. Il faut donc apprendre à faire avec, ou utiliser la vie du sol, bien que ceci puisse prendre de nombreuses années.

6.3 Physique du sol

L'état physique du sol est influencé par les cultures et le travail du sol :

- L'enracinement va structurer et aérer le sol, parfois en profondeur (les racines de certaines cultures descendent jusqu'à plus de 120 cm).
- Au contraire, les outils de travail du sol vont « améliorer » la structure (lit de semence, etc.) ou la dégrader (déstructuration par l'affinage, les décompactages mal réalisés et compactions par le passage des engins).

Le principe sera toujours d'essayer de travailler le sol le moins possible pour limiter les dégâts, mais suffisamment pour donner aux cultures des conditions de croissance racinaire adéquates.

Pour le cas particulier de la compaction, rappelons qu'elle peut être visible (ornières) mais qu'elle est souvent invisible (des pressions de plus d'1 bar à 80 cm de profondeur sont possibles sans qu'aucune ornière soit visible).

Le travail du sol influence aussi bien la partie travaillée que la partie non travaillée. Une gestion efficace de la matière organique et un travail du sol réduit à quelques centimètres ont généralement un effet très favorable sur la structure (en profondeur également).

Les causes principales de compaction sont : les conditions d'interventions et le poids important des machines. Plus les engins sont lourds et les conditions humides, plus les compactations sont profondes. Les engins équipés de pneus larges et avec une faible pression compactent moins – à poids égal – que les engins équipés de pneumatiques durs et fins. Toutefois, un engin de 10 tonnes compactera toujours plus profondément et plus durablement qu'un engin de 5 tonnes. Pour évaluer les risques de tassements liés au poids des véhicules, il faut se référer au diagramme de décision Terranimo (www.terranimo.world/CH/).

Plus les dommages sont profonds, plus il est difficile d'y remédier. On estime qu'en dessous de 30 cm de profondeur, le temps de régénération d'un sol est de l'ordre de grandeur de plusieurs générations. Les dommages peuvent même être irrémédiables dans les cas de fortes compactations.

- **Transitions entre les horizons** : Les transitions nettes (bien visibles, par exemple remblai ou semelle de labour) permettent une moins bonne circulation eau/air/vie du sol que les transitions douces (peu visibles, et diffuses).
- **Taille des agrégats** : Plus les agrégats sont petits, plus la surface disponible pour les racines est grande, offrant d'avantage de nutriments à disposition pour la plante.
- **Structure des agrégats** : La structure est l'architecture du sol, elle permet à la vie microbienne et aux organismes de se développer et est en partie créée par ces derniers. Dans la zone travaillable, elle est modifiable avec les différents outils de travail du sol et par les alternances gel/dégel et humide/sec. Dans les zones plus profondes, les racines sont moins denses, et l'effet gel/dégel ne survient pas (sous nos climats). Elle est donc plus difficile à améliorer/réhabiliter.
- **Le test VESS et la stabilité des agrégats** indiquent la vulnérabilité de la structure du sol, c'est à dire sa résistance à un stress (pluie, travail du sol, etc.), mais aussi sa résilience (capacité à retrouver rapidement son état d'avant le stress). Les sols avec des agrégats peu stables sont très sensibles aux fortes pluies ou aux

inondations, il est impératif de toujours les couvrir. Les sols avec une bonne stabilité seront à la fois plus résistants aux agressions extérieures (pluies, travail du sol, passages de machines, etc.) et beaucoup plus résilients, retrouvant plus facilement un bon état structural suite à une contrainte.

- **Activité biologique** : Généralement lorsqu'elle est forte, la physique du sol est bonne.
- **Circulation air/eau** : voir le tableau ci-dessous. Ce tableau n'est valable qu'**en théorie**, sur ce qu'on peut s'attendre à avoir selon la texture du sol (ne prend pas en compte la structure du sol).

Relation entre type de sol et propriétés du sol (PRIF, 2017)

Propriétés	Sols sableux	Sols sableux-limoneux	Sols limoneux	Sols argilo-limoneux	Sols argileux
	Léger	Moyen		Lourd	
	< 10% d'argile	10-19.9% d'argile	20-29.9% d'argile	30-30.9% d'argile	≥ 40% d'argile
Perméabilité à l'eau	très bonne	bonne	bonne	moyenne	faible
Capacité hydrique	faible	moyenne	élevée	élevée	très élevée
Aération	très élevée	bonne	bonne	moyenne	Faible
Capacité de rétention des éléments nutritifs	faible	faible à moyenne	moyenne	bonne	très bonne
Travail du sol	facile	facile	moyen	moyen à difficile	difficile
Pénétration des racines	très bonne	très bonne	bonne	médiocre	faible

6.4 Biologie du sol

La présence ou non de vie biologique dans le sol permet de déterminer si le sol est « vivant » et donc plus résistant et résilient, ou s'il s'agit plutôt d'un « substrat » pour le développement des cultures dans lequel la vie des plantes est maintenue par des apports externes.

- **Vers de terre** : Les vers de terre sont actifs dans le sol. Leurs galeries facilitent le développement racinaire et permettent une bonne circulation de l'eau et de l'air. À l'inverse lorsque l'activité des racines et des vers de terre est limitée, cela peut révéler un problème de tassement important et/ou une mauvaise aération du sol. Par ailleurs, les vers de terre incorporent la matière organique en profondeur et concentrent les nutriments dans leurs déjections, rapidement colonisées par les plantes et les microorganismes.
- **Racines** : Les racines pénètrent en profondeur sans difficulté. Elles peuvent pénétrer dans les agrégats. Dans les sols denses (compacts naturellement ou non), elles ne peuvent pénétrer que les fissures entre les mottes. Quand elles ne développent régulièrement et profondément, le sol est en bon état et dispose d'un grand « réservoir » d'eau et de nutriments. Quand elles forment des coudes ou des formes en « arrêtes de poisson », leur croissance est entravée, et le réservoir en eau et nutriment est moins important. Elles enrichissent le sol en matière organique tout au long de leur croissance (exsudats) qui structurent le sol, mais aussi après leur mort (matière organique de la racine qui se décompose) et laissent des canaux dans lesquels l'air et l'eau peuvent circuler.
- **Structure** : Les agrégats des horizons de surface doivent être arrondis et poreux, signe qu'ils sont élaborés par la biologie du sol. Les liens entre les particules minérales du sol (argiles, limons) se composent principalement de mucus microbiens, une véritable colle très puissante. Dans les horizons plus profonds, la structure des agrégats est naturellement plus anguleuse, ceci est lié à la formation des sols. En effet, les liaisons entre les particules sont principalement de nature chimiques (calcium, magnésium, oxydes de fer, etc.).
- **Compacité** : Une zone compactée sera très lentement recolonisée par les organismes du sol. Plus la compaction est large et profonde, plus les organismes ont de la peine à pénétrer ces zones, qui peuvent devenir « anoxiques » (teintes bleue-grisâtres), et n'être plus du tout colonisables par les racines. Sur les

moraines, beaucoup d'horizons profonds sont « naturellement » très compacts, seule la lente action des racines pénétrant les fissures peut petit à petit les coloniser.

- **Friabilité** : elle se mesure aux doigts, en pressant des mottes/agrégats pour tester leur « solidité ». Elle dépend de l'humidité du sol à laquelle on l'observe. La friabilité est donc un bon indice de l'effet qu'un travail du sol pourra avoir. Les sols qui ne s'émiettent pas facilement seront plus difficiles à travailler. Les sols très friables (sols sableux par exemple) semblent faciles à travailler mais le risque de casser les agrégats est très grand. Le risque est de favoriser la formation d'un « substrat » battant et sensible à l'érosion).
- **Circulation air / eau** : La circulation peut se faire via les pores grossiers créés par l'action des vers de terre ou par les vides laissés par les racines mortes. Sans cette circulation les racines ne peuvent croître.

6.5 Chimie du sol

Les sols cultivés du plateau suisse, développés sur moraine ou molasse, sont souvent carbonatés en profondeur. La moraine contient souvent environ 20 % de carbonates et certaines molasses sont très calcaires. En surface ils sont généralement décarbonatés, mais peuvent être encore calciques. C'est-à-dire qu'ils contiennent encore du Ca^{2+} . C'est le cas idéal pour les cultures, mais le lessivage du Ca^{2+} (puis des argiles) est possible, ce qui implique des sols trop acides et moins stables.

- **Carbonates (CaCO_3)** : La teneur en carbonates joue un rôle important dans les processus chimiques, physiques et biologiques. En excès, ils peuvent poser des problèmes à certaines cultures en termes de disponibilité des éléments : carences « induites » du magnésium par exemple.
- **Calcium (Ca^{2+})** : il s'agit de l'ion issu de la dissolution des carbonates. Un sol calcaire contient beaucoup de carbonates, ceux-ci se dissolvent lentement, par l'action de l'eau de pluie principalement, et libèrent des ions calcium. Ces ions permettent de lier les particules minérales (argiles et limons) aux particules humiques (matière organique) pour former le « complexe argilo-humique » des sols naturels ou de prairie. Ce complexe est souvent peu présent dans les sols travaillés intensément.

- **pH** : La valeur influence l'activité biologique du sol et la disponibilité de certains éléments nutritifs. Se référer à la page 32 pour les pH de prédilection des cultures.
- **Chaulage** : technique destinée à « corriger le pH », mais il s'agit en réalité de corriger la teneur en Ca^{2+} . Il existe différents produits dont l'efficacité et les coûts sont très variables. Une vérification du contenu réel du produit chaulant devrait toujours être effectuée car il se peut que le produit n'apporte que très peu de carbonates, dans une forme trop active ou trop stable. Le gain serait ainsi très faible au vue des risques de compaction liés à l'épandage.

Pour les agriculteurs, se référer à l'ouvrage « Le Chaulage, ou l'état calcique des sols cultivés » (2012, BRDA), qui présente les différents produits chaulant, ainsi que les conditions et les doses recommandées.

Le **test à l'HCl** permet de déterminer si des carbonates sont présents :

- Si la goutte d'HCl déclenche une **effervescence** (même faible), le sol est carbonaté, il ne sert à rien de chauler !
- Si l'**effervescence ne se fait que sur les cailloux et grains** de sable, il y a encore de la réserve, et il « suffit » en général favoriser l'activité biologique pour la mettre à disposition.
- S'il n'y a **pas d'effervescence**, il faut connaître la teneur en Ca^{2+} avant de décider de chauler.

Si le sol ne contient plus de calcium, ce qui est le cas lorsque le pH passe en dessous de 6.7, il peut être envisagé de chauler. Il faut alors déterminer si un simple chaulage d'entretien avec des poudres actives quelques semaines suffit, ou si un vrai chaulage de fond est nécessaire.

6.6 Utiliser son sol comme base pour le choix des rotations

Le « type » de sol indique un grand nombre de fonctions liées à la profondeur, au régime hydrique, et au fonctionnement général. Ces fonctions sont essentielles au choix des grands types de cultures qu'il est possible de mettre en place dans une optique d'agriculture adaptée à son sol. Certains sols présentent des contraintes ou des risques qu'il est essentiel de prendre en compte dans une perspective de conservation des sols.

La carte des sols du canton de Vaud présente les principaux types de sols présents. Elle est disponible sous : https://www.geo.vd.ch/theme/sols_thm. Le tableau ci-après indique (dans les grandes lignes), les potentiels de production de ces grands types.

Potentiel agronomique des principaux types de sol

Types de sols (selon carte des sols VD)		Types de sol (référentiel pédologique)		Types de culture									
source : Sols et paysage, Gobat et Guénat, 2019, adapté selon Gratier et Bardet, 1980 et noms issus de la carte des sols du canton de Vaud		source : Sols et paysage, Gobat et Guénat, 2019		Prairies permanentes	Prairies temporaires	Orge	Blé-Colza	Pomme de terre	Betterave	Maïs	Cultures fruitières	Culture maraîchères	
I	Sols souffrant de la sécheresse	Sols lithiques/humo-lithiques (peu évolués, d'érosion ou d'apport)	Lythosols										
		Sols lithiques/humo-lithiques (rendzines et intergrades)	Rendosols ou Rendisols										
		Sols lithiques/humo-lithiques	Calcosols, Calcisols, Brunisols leptiques	cl.	cl.	cl.	cl.						
		Sols bruns lessivés et fluvisols acides (superficiels)	Néoluvissols issus de fluvioglaciaire	cl.	cl.	cl.	cl.					E	
		Sols bruns calcaires	Calcosols		+/-	+/-	+/-				+/-		
II	Epaisseur et réserve en eau suffisante	Régosol (colluvial)	Colluviosols calcaires, eutriques		+/-	+/-	+/-	*	*		+/-		
		Sols bruns (eutrophe)	Calcisols					*	*			+/-	
		Sols bruns	Brunisols Eutriques ± saturés					*	*				
		Sols bruns acides	Brunisols Dystriques		+/-			*	*	*	*	*	
		Fluvisols, sol alluvial	Colluviosols+fluvisols réductiques					*	*	*	*	*	
III	Humides	Pseudogley-sols bruns	Brunisols rédoxiques				cl.	*	*	cl.		*	
		Pseudogleys, gleys oxydés	Néoluvissols rédoxiques				cl.	*	*	*	cl.	*	
		Gleys réduits, gleys oxydés	Réductisols drainés de plaine		cl.	cl.	cl.	*	*	*	cl.	G	
		Sols tourbeux	Réductisols histiques non drainés										
		Sols semi-tourbeux, tourbeux mal drainés	Réductisols histiques mal drainés										
IV	Alimentation en eau variable	Sols semi-tourbeux, tourbeux drainés	Histosols drainés					*	*	*	G	*	
		Fluvisols, sol alluvial	Fluvisols aréniques, parfois réductiques de profondeur								*	G	*

G: risques de gel

E: éperrages nécessaires

cl. : potentiel favorable si climat de l'année (températures et précipitations) favorable

+/- : potentiel favorable si espèce adaptée au sol, ou selon sous-type de sol

* : risques pour la conservation du sol



Outre le type de sol, d'autres paramètres sont à prendre en compte lors du choix de la culture. C'est notamment le cas de l'altitude, de pH ou de la teneur en argile.

Aptitudes et exigences des espèces de grande culture dans différentes conditions de production (Jeangros et Courvoisier, 2019)

	Altitude ¹ Culture possible jusqu'à (m)	pH du sol optimal					Type de sol préféré			Résistance au sec ²
		4	5	6	7	8	Léger	Moyen	Lourd	
Blé d'automne	900									Ø
Blé de printemps	900									-
Orge d'automne	800									+
Orge de printemps	1200									-
Avoine d'automne	500									Ø
Avoine de printemps	900									-
Seigle d'automne	1900									+
Épeautre	1400									Ø
Triticale d'automne	800									Ø
Triticale de printemps	900									-
Amidonnier	1900									Ø
Mais grain	600									-
Mais ensilage	900									-
Sorgho grain	500									+
Sorgho ensilage	700									+
Pomme de terre	1500									-
Betterave (sucrière ou fourragère)	1000									Ø
Colza d'automne	800									Ø
Colza de printemps	800									-
Tournesol	700									-
Chanvre	1000									-
Lin oléagineux	800									Ø
Lin à fibre	1500									Ø
Pois protéagineux d'automne	600									Ø
Pois protéagineux de printemps	1200									-
Féverole d'automne	600									Ø
Féverole de printemps	700									-
Soja	500									-
Lupin	600									Ø
Tabac	700									-
Luzerne	1400									+
Prairie temporaire (selon composition)	1500									Ø
Endive	700									-
Carotte	500									-
Oignon	500									-

¹L'exposition de la parcelle joue aussi un rôle important.

²La réaction de la culture dépend aussi de son stade de développement au moment où survient un manque d'eau.

Légende

+	Bonne
Ø	Moyenne
-	Mauvaise

7. Références

- Baize, D., Boivin, P., Boizard, H., Füllemann, F., Gondret, K., Johannes, A., Lamy, F. & Leopizzi, S. (2016). Evaluation visuelle de la structure du sol (VESS).
- Ball, B. C., Batey, T., Munkholm, L. J. (2007). Field assessment of soil structural quality - A development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management* 23: 329-337.
- Ball, B. C., Batey, T., Munkholm, L. J., Guimarães, R. M. L., Boizard, H., McKenzie, D. C., Peigné, J., Tormena, C. A. & Hargreaves, P. (2015). The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. *Soil and Tillage Research* 148 : 85-96.
- Boizard, H., Peigné, J., Sasal M. C., Guimarães M., Piron D., Tomis, V., Vian, J-F., et al. (2016). Developments in the “profil cultural” method for an improved assessment of soil structure under no-till. *Soil and Tillage Research*.
- Gobat, J-M., Vadi, G., Bullinger-Weber, G. & Amstutz, R. (2013). *Protocole de description des sols*. Université de Neuchâtel, Institut de Biologie : Laboratoire Sol & Végétation.
- Guimarães, R. M. L., Ball, B. C., Tormena, C. A. (2011). Improvements in visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management* 27: 395-403.
- Jeangros, B. & Courvoisier, N. (2019). *Recherche Agronomique Suisse* 10 : 7-8.
- NSW Agriculture (1998). *SOILpak : for cotton growers (3rd edition)*. McKenzie, D. C. ISBN : 0 7310 98498.
- Shepherd, G., Stagnari, F., Pisante, M. & Benites, J. (2008). *Visual Soil Assessment – field guide for annual crops* (traduit par P. Samain, 2014). Rome : FAO.
- Sinaj S. & Richner W., 2017. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017). *Recherche Agronomique Suisse* 8 (6), Publications spéciale, 10/1-10/16.
- Tomis, V. & Czervba, C. (2017) *Guide méthodique du mini-profil 3D : Diagnostiquer rapidement l'état structural de vos sols*. Agro-Transfert Ressources et Territoires.