

Évolution des méthodes de tests à la bêche SolDoc, VESS₂₀₂₀ et SpadeSubVESS en Suisse

Alice Johannes¹, Liv A. Kellermann², Peter Weiskopf¹

¹Agroscope Reckenholz, 8046 Zurich, Suisse

²Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires BFH-HAFL, Länggasse 85, 3052 Zollikofen, Suisse

Renseignements: Alice Johannes, e-mail: alice.johannes@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs14-179f> Date de publication: 5. Octobre 2023



Trois méthodes prometteuses de tests à la bêche ont été récemment révisées afin de renforcer leur utilisation en Suisse. (Photo: Liv Kellermann, BFH-HAFL)

Résumé

Protéger la qualité de la structure du sol est une priorité. Observer les sols permet aux agriculteurs-trices d'adapter la gestion et d'anticiper la dégradation du sol. Les tests à la bêche sont ici intéressants, car ils sont simples à mettre en œuvre et ne nécessitent que peu de connaissances et de préparation. Cet article présente trois méthodes de test à la bêche (SolDoc, VESS₂₀₂₀ et SpadeSubVESS) récemment remaniées. L'approche VESS regroupe la méthode VESS₂₀₂₀ et SpadeSubVESS dont les critères d'évaluation sont regroupés sur une page A4 permettant de donner à la structure du sol une note entre 1 et 5. VESS₂₀₂₀ évalue la structure du sol de surface et est une adaptation de la méthode originale VESS. SpadeSubVESS évalue la structure du sol de profondeur à l'aide d'une bêche et est une adaptation de la méthode SubVESS.

Simple et rapide, VESS est largement utilisée dans le monde entier. SolDoc regroupe différentes approches nationales, dans le but de proposer une méthode harmonisée qui puisse être utilisée dans toute la Suisse, notamment dans le cadre de la formation. Contrairement à l'approche VESS, SolDoc présente l'avantage d'évaluer indépendamment plusieurs critères, ce qui la rend plus précise. Elle est complétée d'une aide pour interpréter le résultat et de suggestions de mesures pour améliorer le sol. La modernisation de ces approches grâce à la création de vidéos et d'applications mobiles permet de promouvoir la protection du sol par son observation.

Keywords: soil structure, soil quality, spade test, VESS, SubVESS, SoilDoc.

Introduction

Importance de l'observation du sol

La qualité de la structure des sols agricoles est de plus en plus menacée partout dans le monde (Lal 2015). La production intensive, la perte de matière organique et le poids croissant des machines augmentent les risques de dégradation de la structure et de compaction. Or, les fonctions du sol sont gravement altérées lorsque la structure du sol est atteinte (FAO 2015). La réserve en eau, les échanges gazeux, la biodégradation, la disponibilité des nutriments essentiels à la plante et l'espace disponible pour la vie dans le sol et les racines sont amoindris, ce qui affecte directement la fertilité du sol. De même, la filtration des polluants et la rétention d'eau est moins efficace et le risque de crues et d'inondations augmente.

La protection et la préservation du sol passe par son observation et l'évaluation de son état. Les agriculteurs-trices sont les premières personnes concernées, car le sol constitue la base de leur production. Une bonne connaissance de l'état structural du sol est pour eux un outil de décision important. Comme cet état est dynamique et évolue au fil des pratiques, parfois même au cours d'une saison, il est recommandé d'observer et d'évaluer son sol suffisamment régulièrement pour un bon suivi des cultures et pour décider d'interventions judicieuses en faveur sol.

Profil de sol versus bloc extrait à la bêche

Il existe deux grands groupes de méthodes d'observation de la structure du sol: (i) l'observation du profil de sol et (ii) l'observation d'un bloc de sol extrait avec une bêche dite «test à la bêche» (Emmet-Booth *et al.*, 2019, Boizard *et al.*, 2019, Fig. 1). Le profil de sol se prépare le plus souvent à la pelle mécanique, ce qui représente une intervention importante et peut causer des dommages aux cultures. Il permet d'obtenir des informations complètes sur le sol. On distingue les profils de sol pédologique et cultural. Un profil pédologique est destiné à une analyse approfondie des caractéristiques du sol, qui permet par exemple de définir un type de sol et de comprendre sa formation dans le paysage. Des analyses simples (test tactile, test calcaire, estimation du taux de l'humus) sont effectuées sur le terrain et des échantillons sont prélevés pour diverses analyses de laboratoire. Le profil pédologique peut être utilisé à des fins de cartographie des sols. Le profil cultural (Gautronneau & Manichon, 1987; Boizard *et al.*, 2017) est quant à lui en général plus large qu'un profil pédologique, mais moins profond: il se concentre sur l'observation de l'état du

sol agricole, c'est-à-dire les 60 premiers cm du sol. Cette observation permet d'orienter l'itinéraire cultural. Un profil pédologique ou cultural permet de décrire avec précision certaines fonctions du sol comme l'approvisionnement en eau et le potentiel de rendement, ce qui n'est pas possible avec un test à la bêche.

Tout comme le profil cultural, le test à la bêche est un outil de diagnostic agronomique intéressant. Il permet de prendre en considération les conditions naturelles du sol lors de la planification des interventions concernant le sol, de vérifier le travail et la gestion du sol et, surtout, de détecter les dégâts afin de les prévenir et les réparer. La réalisation d'un test à la bêche nécessite moins de formation, de préparation et de matériel spécifique que celle d'un profil de sol. Elle est aussi plus rapide et ne laisse presque aucune trace visible. La profondeur de sol observée se limite en général à la profondeur de la bêche, bien qu'il soit conseillé de creuser jusqu'à dépasser la semelle de labour, par exemple avec une bêche de drainage ou en extrayant deux blocs de sol. Le test à la bêche permet d'observer l'état du sol, par exemple son état d'humidité, afin de décider si le sol peut être travaillé dans les jours qui suivent. Il sert également à identifier des problèmes de structure du sol et à déterminer l'influence d'un travail du sol sur cette structure. Il constitue donc une aide à la décision sur la manière dont le sol devra être travaillé ou sur la nécessité d'une modification de la rotation.

Il existe une alternative au test à la bêche et aux méthodes de profil, qui se situe entre les deux en termes de capacité de diagnostic, de temps et de matériel nécessaires et de profondeur observée. Le mini-profil 3D (Tomis *et al.*, 2019, Fig. 1) permet d'extraire facilement un petit profil de sol grâce au godet d'un tracteur; la profondeur de sol évaluée est plus grande qu'avec le test à la bêche.

Des études ont prouvé la corrélation entre les observations visuelles et les résultats de mesures de propriétés physiques du sol (Emmet-Both *et al.*, 2016; Johannes *et al.*, 2017). Malgré cela, toutes les méthodes d'observation visuelle du sol, y compris les tests à la bêche, restent des méthodes subjectives et les résultats peuvent être influencés par le type ou la texture du sol. Il est donc conseillé de s'appuyer sur des documents d'évaluation qui permettent de cadrer l'observation et de la rendre la plus objective possible.

L'observation de profil étant plutôt longue et fastidieuse, sa réalisation est généralement limitée à une seule par parcelle ou par unité paysagère, et elle sert

ensuite de référence. Les relevés de blocs à l'aide d'une bêche sont en général répétés sur une même parcelle afin d'obtenir un bon aperçu général. Un seul test à la bêche peut suffire à des fins pédagogiques, mais un aperçu représentatif ou le calcul d'une moyenne requiert 5 tests par parcelle (Leopizzi et al, 2018).

La description du sol est autant importante pour les sciences pédologiques que pour l'agronomie. Elle a été révisée dans ces deux domaines (en pédologie: révision de la classification des sols suisses KLABS et du manuel de cartographie des sols KA). Les tests à la bêche présentés ici ne s'adressent pas spécialement au public scientifique des pédologues, mais s'adresse expressément à la pratique. Ils ont donc pour objectif d'être réalisables rapidement avec du matériel de tous les jours, de contenir ou de nécessiter peu de vocabulaire et de connaissances techniques et de se référer à des situations couramment rencontrées lors de l'exploitation des sols. Cet article présente trois méthodes de test à la bêche (SolDoc, VESS₂₀₂₀ et SpadeSubVESS) et décrit leurs origines et leurs derniers développements, ainsi que leurs similitudes, différences, avantages et inconvénients.

Test à la bêche SolDoc remanié

Le test à la bêche a une longue tradition et a été développé dans plusieurs pays, mais particulièrement en Allemagne (Görbing 1947; Werner & Thämert, 1988; Diez 1991; Beste 2002). En Suisse, la brochure «Le sol,

cet inconnu» (Hasinger et al., 1993) est sans doute la publication la plus connue sur le sujet. Elle a été élaborée par un vaste consortium d'experts issus de différentes organisations en lien avec l'agriculture. Dans les milieux pédologiques, le classeur «La structure du sol» (Nievergelt et al., 2002; Hasinger et al., 2004) est souvent utilisé pour décrire la structure du sol, à partir de profils de sol comme de tests à la bêche. Agroscope a élaboré sur cette base un formulaire électronique pour évaluer de manière semi-quantitative et standardisée la qualité des formes structurales du sol. Il a toutefois été conçu pour traiter des questions spécialisées liées à la structure du sol et est quelque peu tombé dans l'oubli. Bien que destiné à un public cible scientifique, «La structure du sol» a également été parfois utilisé dans la pratique, surtout à des fins pédagogiques.

En 2019, l'Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL a publié une application mobile pour le test à la bêche (Schweizer Bauer 2019), basée sur la brochure «Le sol, cet inconnu» et visant à faciliter la saisie sur le terrain. Disponible dans les langues nationales et en anglais, elle guidait l'utilisateur-trice dans l'observation du site et du bloc extrait. L'appli proposait également des photos à des fins de comparaison et la possibilité de prendre ses propres photos.

Beaucoup d'autres personnes et institutions (surtout des écoles d'agriculture) ont également développé des variantes de la méthode du test à la bêche et les ont enseignées à leur manière, de sorte qu'aujourd'hui, de

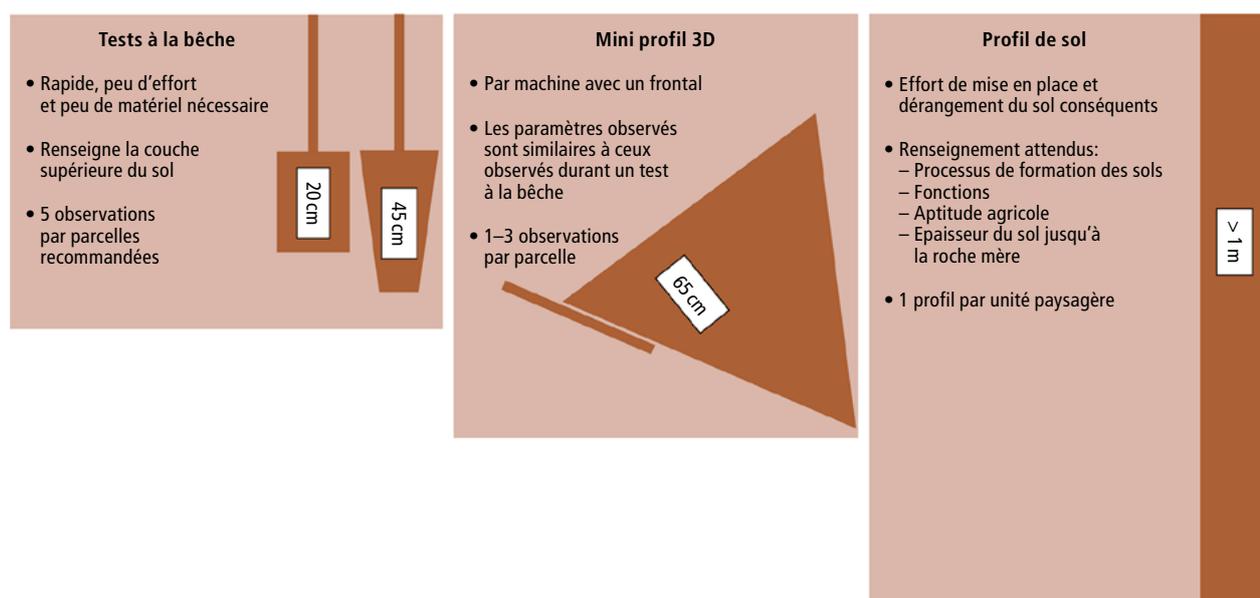


Fig. 1 | La structure du sol peut être observée à l'aide de différentes méthodes, qui se distinguent par leur coût et les modalités d'évaluation. Elles vont de simples et rapides tests à la bêche à de grands profils de sol sur lesquels il est possible de faire des observations détaillées.

nombreuses références présentant un degré de détail très variable sont en circulation. Il en résulte l'impression déroutante d'une surabondance de méthodes. Dans le même temps, il est apparu que seules quelques personnes utilisent encore le test à la bêche, aujourd'hui tombé pour beaucoup dans l'oubli. Il y a sans doute plusieurs raisons à cela: (i) certaines méthodes exigent trop de connaissances pédologiques et un vocabulaire spécifique et ont donc été jugées trop complexes ou trop difficiles à appliquer de manière routinière par des non-initié-e-s; (ii) la réalisation d'un test à la bêche requiert un investissement de temps (notamment en raison de la complexité des questions pédologiques à résoudre) et un effort physique non négligeables; (iii) le résultat des méthodes traditionnelles de test à la bêche est généralement une description de l'état structural exclusivement axée sur la pédologie, qui ne fournit pas d'indications concrètes permettant d'améliorer spécifiquement l'exploitation agricole. Fry (2001) a d'ailleurs décrit l'écart entre les points de vue scientifique et pratique du test à la bêche.

Conscients des problèmes posés par les méthodes de test à la bêche et face à leur multiplicité, Agridea, Agroscope, le FiBL et la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL se sont associés en 2021 pour lancer un projet d'harmonisation du test à la bêche à l'échelle nationale.

En plus des méthodes mentionnées, intégrées dans le projet SolDoc pour leur harmonisation, les méthodes suivantes ont servi d'inspiration pour son élaboration:

- VESS (Ball *et al.*, 2007; Guimaraes 2011) et VESS₂₀₂₀ (Johannes *et al.*, 2020)
- «Einfache Feldgefügensprache für den Praktiker» (Senger *et al.*, 2013)
- «Eine Spatenprobe durchführen» dans *Lehrmittel für die Landwirtschaftliche Grundbildung* des Edition-Imz (Imz, 2020)
- «Bodenstruktur erkennen und beurteilen» (Diez et Weigelt, s.d.)
- Visual Soil Assessment Volume 1–4 (Shepherd, 2000; Shepherd *et al.*, 2000a-c)
- «Bodenbeurteilung mit der Spatendiagnose (d'après Görbing)» (Schmid 1982)
- Mini-profil 3D (Agrotransfer 2017)
- Qualitative Bodenanalyse, Anleitung für Praktiker (Beste 2018)

En s'inspirant de l'appli «SolDoc» du FiBL, la méthode harmonisée porte le même nom et est disponible sous forme de documents et d'application mobile. Le nou-

veau SolDoc veut rendre à nouveau attrayante l'utilisation de cette méthode de terrain prometteuse, entre autres en uniformisant et en simplifiant la procédure, tout en conservant au mieux sa pertinence et sa précision. Un autre objectif de SolDoc est de fournir aux agriculteurs-trices une méthode qui n'engendre pas de coûts importants (par ex. en laboratoire, engins, conseils) et qui ne nécessite pas de formation pédologique approfondie. Il cherche par ailleurs à renforcer l'évaluation agronomique et indique des itinéraires d'intervention et des mesures de gestion susceptibles d'améliorer l'état du sol. Il permet d'identifier clairement des problèmes tels que la compaction et la semelle de labour, une mauvaise structure de la surface du sol, la perte d'humus, etc. De la même manière, SolDoc permet de déterminer facilement des mesures d'amélioration.

Une fiche technique a été élaborée dans le but de renseigner rapidement l'état de diverses propriétés du sol en cochant des cases. Outre une description du site, de la végétation, du mode d'exploitation et des zones problématiques observées, l'accent est mis sur la surface du sol. De nombreux dommages et problèmes du sol sont dus à une surface trop travaillée, instable ou imperméable. Ces problèmes doivent être identifiés avant de chercher inutilement plus en profondeur dans le sol. Puis des observations sont faites pendant le prélèvement, car la facilité ou difficulté à creuser, par exemple, peut déjà livrer des informations sur l'état du sol. Les observations portent ensuite sur le bloc de sol extrait. La fiche est agencée de manière à diriger l'observation, notamment au cours de l'apprentissage de la méthode. Les utilisateurs-trices se concentrent ainsi sur les paramètres pertinents ou visibles sur le moment et laissent le superflu de côté. Après quelques réalisations, ils/elles savent sur quels paramètres porter leur attention et la fiche technique sert alors essentiellement à enregistrer les observations à titre de comparaison. Sont observées pour chaque horizon du sol: la taille, la forme, la porosité et la résistance des agrégats du sol, la colonisation par les racines et l'humidité du sol. En outre, la note VESS peut également être reportée sur la fiche technique, ce qui garantit la possibilité de combiner les avantages de ces deux méthodes.

La fiche technique est complétée par des instructions pour le prélèvement de l'échantillon (pour le test à la bêche à la main comme pour un test mécanisé sous forme d'un mini-profil 3D) et par des explications et des illustrations, pour une évaluation sûre et standardisée des propriétés du sol (Fig. 2). Ces documents complémentaires ont pour but d'aider à bien décrire la structure du sol, aussi objectivement que possible, sans que la fiche technique ne devienne trop complexe en raison des

nombreuses explications et variantes. Les cas spéciaux, comme les sols très sableux ou très argileux, sont également pris en compte dans les documents complémentaires, car leurs propriétés structurales peuvent être très différentes de celles des «sols limoneux classiques». D'autres outils permettent de s'approprier et de réaliser facilement la méthode sur le terrain:

- Des vidéos d'instructions sur les étapes du prélèvement, de la description et de l'évaluation.
- Une appli pour la saisie digitale des observations sur le terrain et la comparaison directe avec les illustrations (nouvelle version de l'application du FiBL «SolDoc» de 2019).
- Un document pour évaluer les observations, identifier les problèmes et en déduire des mesures concrètes d'amélioration de la gestion.
- Enseignement dans le cadre de la formation initiale (en école d'agriculture) et continue.

La méthode «SolDoc» a été publiée le 2 juin 2023 avec le meilleur consensus possible entre un maximum d'institutions du secteur agro-pédologique. Elle est disponible gratuitement sur www.spatenprobe.ch.

VESS

Historique et description de VESS et SubVESS

VESS est l'acronyme de «visual evaluation of soil structure» et est une méthode d'origine écossaise, développée en 2011 par Guimaraes *et al.* Elle constitue une amélioration de la méthode VSSQA (*Visual Soil Structure Quality Assessment*), publiée en 2007 par Ball *et al.*, elle-même dérivée de la méthode de Peerlkamp (1959). Le principe de la méthode consiste à extraire un bloc de sol de surface d'environ 25 cm de profondeur à l'aide d'une bêche et de l'évaluer visuellement grâce à une fiche. Tous les critères d'évaluation se trouvent dans un tableau et tiennent sur une page A4. Ils sont accompagnés de photos permettant d'identifier les structures observées par comparaison. La fiche décrit un système de notes allant de Sq1 à Sq5. Sq1 représente une structure de très bonne qualité, Sq3 représente la limite entre bonne et mauvaise structure et Sq5 représente une très mauvaise qualité structurale. L'utilisation d'illustrations à des fins de comparaison est un point central des méthodes VESS, qui les rendent accessible à toutes et à tous, même sans connaissances particulières dans le domaine des sols.



Fig. 2 | Le nouveau test à la bêche «SolDoc» se compose d'une fiche de relevé, d'instructions pour le prélèvement à la bêche ou au tracteur, d'illustrations expliquées et d'aides à l'évaluation avec des propositions de mesures. Les documents seront en téléchargement gratuit ou disponibles dans la nouvelle version de l'appli. Photo: Liv Kellermann, BFH-HAFL.

De par sa simplicité et sa vitesse d'exécution, VESS jouit d'un grand succès à l'international (Franco *et al.*, 2019) et est utilisée au Danemark, en Belgique, en Écosse, au Brésil, aux États-Unis, au Venezuela, en Suisse, etc. VESS a été introduit en Suisse dans le cadre du projet STRUDEL¹ où elle a été utilisée à grande échelle sur le Plateau suisse à des fins de recherches. VESS est également utilisée par une centaine d'agriculteurs-trices du canton du Jura dans le cadre du projet Terres Vivantes², ainsi que par une quarantaine d'agriculteurs-trices du projet Progrès-Sol³ dans le canton de Vaud. La raison pour laquelle VESS a été choisie pour accompagner des projets de grande envergure est liée à la rapidité du diagnostic qui nécessite peu de connaissances pédologiques. Son utilisation en Suisse est relativement récente. En plus du cadre agronomique pour lequel elle a été développée, VESS est également proposée en Suisse pour diagnostiquer la compaction sur le terrain par les spécialistes de la protection des sols sur les chantiers.

L'équivalent de VESS pour l'évaluation des sols de profondeur a été proposé par Ball *et al.* en 2015 et se nomme SubVESS. Le principe d'évaluation et de notation est similaire à la VESS de surface et tient également en une page A4. Au lieu d'être sous forme de tableau, SubVESS se présente comme un diagramme de flux, telle une clé dichotomique. SubVESS a été développée pour évaluer la structure du sous-sol, à partir d'un profil de sol réalisé à la pelle mécanique et non celle d'un bloc de la couche sous-jacente du sol extrait à l'aide d'une bêche. Une adaptation de la méthode SubVESS pour les méthodes à la bêche, nommée «SpadeSubVESS», est présentée par la suite.

VESS₂₀₂₀: nouvelle version de VESS

La fiche VESS a été traduite en français et en allemand pour son utilisation en Suisse et est disponible sur les sites www.strudel.agroscope.ch et www.spatenprobe.ch.

Les changements proposés à l'occasion de la l'actualisation de la fiche sont destinés à faciliter l'évaluation, mais ne changent pas la note finale obtenue avec la version précédente de la fiche (Guimaraes *et al.*, 2011).

La Suisse a une longue histoire d'observation de la forme des agrégats. Les documents disponibles (par exemple le classeur «*La structure du sol*» (Nievergelt *et al.*, 2002; Hasinger *et al.*, 2004)) proposent une observation descriptive du sol plutôt qu'un diagnostic de sa qualité.

Cette tradition a influencé la nouvelle version, la fiche VESS₂₀₂₀ (Fig. 3), qui accorde une place plus importante aux photos d'agrégats que la version de 2011.

La description des critères d'observation a par ailleurs été réorganisée. Certaines redondances ont été regroupées en une seule colonne (par exemple la porosité ou la forme des agrégats autrefois décrites à plusieurs endroits). Les critères d'observation ont été arrangés dans l'ordre logique d'observation qui correspond à (i) l'observation de la couche entière (taille et forme des mottes/agrégats), puis (ii) l'observation de la structure interne d'une motte/d'un agrégat (aspect des faces de rupture) après son ouverture.

Des recommandations sur certaines conditions d'observation figurent dans la nouvelle version, notamment pour l'évaluation de la résistance. Ce critère, dont l'évaluation est très instinctive, dépend beaucoup de l'humidité du sol. Pour un même sol, l'évaluation a ainsi tendance à être sévère lorsque le sol est sec, et indulgente lorsque le sol est humide. Les utilisateurs-trices néophytes sont souvent séduits par la simplicité de ce critère et lui attachent plus d'importance qu'aux autres, plus robustes. Des sols compactés, qui devraient donc être difficiles à casser, peuvent par exemple faire l'objet d'une évaluation erronée car ils présentent de grosses mottes recelant des fissures, qui se défont facilement, mais seulement le long de ces fissures. Pour conclure, les critères les plus «robustes» sont la forme des agrégats/fragments, la porosité visible et, dans la mesure où il n'y a pas eu de travail du sol récent, la taille des agrégats et des mottes.

Au niveau des cases décrivant les petites tailles d'agrégats, la fiche indique des précautions à prendre lors de l'observation de petits agrégats. Il faut en effet éviter d'évaluer ce critère après un travail du sol récent, car il provoque un éclatement mécanique des mottes, modifiant la taille des agrégats, qui ne correspond plus à leur véritable état structural. Il reste néanmoins possible de déterminer la note d'un sol qui a été travaillé récemment en faisant abstraction de ce critère de taille et en focalisant son attention sur l'aspect des agrégats et la façon dont ils se brisent.

Par rapport à la version de 2011, une colonne supplémentaire décrit comment «ouvrir» ou briser une motte et comment observer les faces ainsi révélées. La façon dont une motte ou un agrégat se brise permet de voir s'il s'agit d'une motte ouverte (Sq1–3) ou d'une motte fermée (Sq4–5). Le terme «motte ouverte» indique que la motte possède une bonne porosité interne, alors que le terme «motte fermée» indique que la motte est non poreuse. Ces termes sont très répandus en France, grâce

¹ STRUDEL: Soil sTRuctural Degradation Evaluation for environmental Legislation (2013–2020) – www.strudel.agroscope.ch

² Projet Ressource OFAG (LAgr Art. 77a & b) 2019–2024. Terres vivantes – Fondation Rurale Interjurassienne Courtemelon Loveresse (frj.ch)

³ www.progres-sol.ch



Fig. 3 | Les nouvelles fiches d'évaluation pour VESS₂₀₂₀ et SpadeSubVESS se présentent au format A4, avec des instructions pour le prélèvement du bloc au recto, et des images et des explications sur sa description au verso. L'application VESS permet son utilisation avec un appareil mobile. Photo: Alice JOHANNES, Agroscope.

à la méthode du profil cultural (Gautronneau et Manichon, 1987) qui les appelle mottes Gamma (ouvertes), Phi (fissurées) et Delta (fermées). En plus des explications sur la façon d'effectuer la méthode VESS sur le terrain, la fiche VESS₂₀₂₀ contient un code QR menant à une vidéo explicative qui permet d'utiliser VESS de manière complètement autodidacte (Fig. 4).

SpadeSubVESS: nouvelle version de SubVESS

Il y a deux évolutions majeures entre SubVESS et SpadeSubVESS. La première est le fait que SpadeSubVESS est désormais adaptée à l'évaluation d'un bloc de sol extrait à la bêche et non à l'évaluation d'un profil de sol. La fiche SpadeSubVESS est maintenant conçue pour évaluer un bloc extrait à la bêche comme proposé par Emmet-Booth *et al.* (2019), avec la méthode «double-spade». En résumé, il suffit d'extraire deux contenus de bêches pour atteindre une profondeur d'environ 40cm. On n'évaluera que la partie inférieure (sol de profondeur – horizon B) avec SpadeSubVESS. VESS₂₀₂₀ reste appropriée pour évaluer la partie supérieure du bloc de sol. La seconde évolution majeure concerne l'abandon du système dichotomique. L'évaluation de la structure se fait désormais

à l'aide d'un tableau (comme pour VESS et VESS₂₀₂₀) et non via un diagramme de flux (Fig. 3). Celui-ci présentait en effet quelques problèmes, notamment le fait que le premier critère observé était la coloration. Des taches de rouille ou des couleurs bleu-gris indiquaient alors une anoxie due à la compaction. C'est généralement le cas, mais ce critère de couleur ne convient malheureusement pas bien aux sols hydromorphes, qui présentent cette coloration naturellement. C'est la raison pour laquelle nous avons abandonné le diagramme de flux et proposons, comme pour le sol de surface, un tableau où le critère de la couleur vient en dernier. Par rapport à la fiche SubVESS d'origine de 2015, il y a également plus de photos d'agrégats.



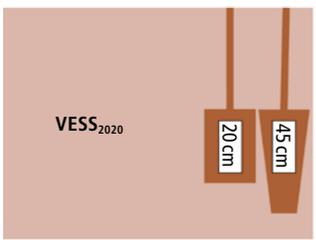
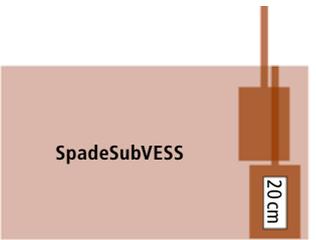
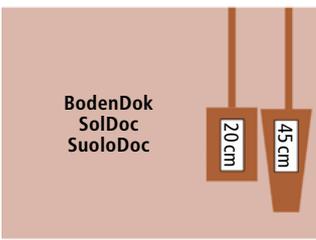
Fig. 4 | Liens QR code pour visionner les vidéos explicatives de VESS en anglais, français et allemand

Comparaison entre les méthodes VESS et SolDoc

Le tableau 1 présente les spécificités de chaque méthode et liste leurs avantages et inconvénients. Les avantages des méthodes VESS et SubVESS résident dans la rapidité d'exécution et la simplicité de la documentation. Le regroupement de toutes les informations en une

note unique permet de documenter de façon globale l'évolution d'un sol. Ces avantages s'accompagnent néanmoins de l'inconvénient de la perte d'information quant aux critères qui ont mené à cette note. Or, c'est là que se trouvent les avantages de la méthode SolDoc. Celle-ci permet de conserver l'information de plusieurs critères et donc de comparer l'évolution de différentes caractéristiques au fil du temps. La méthode SolDoc se

Tableau 1 | Comparaison des conditions, caractéristiques, avantages et inconvénients des trois méthodes de test à la bêche révisées «VESS₂₀₂₀», «SpadeSubVESS» et «SolDoc».

			
Matériel nécessaire	Bêche, mètre, fiche VESS, feuille pour noter ou appareil mobile	Bêche, mètre, instructions, fiche de relevé ou appareil mobile	
Profondeur d'observation	0–30 cm	25–45 cm	0–45 cm
Durée du prélèvement	5 min	10 min	10 min
Durée de l'observation	5 min		10–20 min
Pouvoir de diagnostic	Diagnostic d'état		Diagnostic d'état, cause et solution
Critères observés	Les critères observés mènent à une note unique: <ul style="list-style-type: none"> • Taille des agrégats • Forme des agrégats • Résistance • Porosité visible 	Les critères observés mènent à une note unique: <ul style="list-style-type: none"> • Forme des agrégats • Résistance • Porosité visible 	Les paramètres sont enregistrés un à un et consignés: <ul style="list-style-type: none"> • Site, conditions et informations sur la gestion • Couverture et état de la surface du sol • Taille, forme, porosité et résistance des agrégats du sol • Colonisation du sol par les racines • Humidité du sol • Semelle de labour, résidus de récolte, etc. • Couleur et odeur du sol • Vers de terre • Note VESS • etc.
Connaissances nécessaires	Aucune: méthode autodidacte avec une vidéo de 5 min.		Apprentissage autodidacte de la méthode possible, mais il est recommandé de consulter un cours ou des vidéos d'instructions.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité de l'évaluation. Le sol observé peut simplement être comparé aux photos. • La documentation tient en une seule page A4. • Une note unique synthétise toutes les observations. • L'évaluation par une note unique est simple à interpréter et permet de suivre l'évolution dans le temps de façon simple. • Prise en compte des différences de structure entre les parties supérieure et sous-jacente du sol. 		<ul style="list-style-type: none"> • Relevé systématique de différents critères. • L'évolution de chaque critère peut être analysée séparément et suivie au fil du temps. • Les causes probables de la dégradation structurale sont abordées et des solutions sont proposées. • Des exemples sont donnés pour des sols très sableux et argileux. • Compatible avec la méthode VESS. Une note VESS peut être déduite des relevés de la structure des agrégats.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Perte d'information sur ce qui a mené à la note. 		<ul style="list-style-type: none"> • Le nombre de critères à évaluer implique de prendre le temps de se documenter sur chacun d'eux.

veut également plus complète, car elle ne propose pas uniquement un diagnostic d'état, comme la VESS, mais également un diagnostic de causes probables et de possibles solutions. Il est souhaitable dans tous les cas de réaliser l'observation jusqu'à la plus grande profondeur possible, c'est-à-dire à l'aide d'une bêche de drainage ou du godet du tracteur, afin de détecter une éventuelle semelle de labour ou une compaction de la couche sous-jacente du sol. Il est toutefois possible d'effectuer n'importe quel test à la bêche avec une bêche de jardin ordinaire.

Conclusions

Les méthodes d'évaluation du sol sont importantes pour la protection et la gestion du sol. Des méthodes d'observation du sol existantes ont été révisées et traduites pour répondre aux exigences actuelles et faciliter leur utilisation. Ces nouvelles versions sont accompagnées d'outils supplémentaires permettant un apprentissage autodidacte (par exemple des vidéos et des applications mobiles). La Suisse s'est lancée le défi de garantir la qua-

lité des sols à l'avenir. L'observation et la connaissance du sol dans le monde agricole doivent donc occuper une place centrale dans la formation des futurs agriculteurs-trices. Les méthodes VESS et SolDoc représentent une excellente opportunité de familiariser les agriculteurs-trices avec leurs sols. Le choix de la méthode dépend de la question à laquelle on cherche à répondre, du degré de détail et de l'objectif de l'observation du sol. La méthode du test à la bêche SolDoc permet une saisie plus détaillée de l'observation et guide davantage les personnes non-initiées au cours des étapes d'observation. Le test à la bêche VESS séduit par sa rapidité et son intuitivité, et les notes obtenues permettent éventuellement la comparaison avec d'autres études, sachant que cette méthode connaît une utilisation internationale. Les méthodes VESS et SolDoc peuvent aussi être combinées pour profiter de tous leurs avantages en fonction des besoins et des possibilités. ■

Remerciements

Stéphane Burgos, Markus Spuhler, Else Bünemann-König, Nathalie Dakhel-Robert

Bibliographie

- Agrotansfer (2017). Guide méthodique du mini-profil 3D, projet Sol-D'Phy, Agro-Transfert-RT.
- Ball, B. C., Batey, T., & Munkholm, L. J. (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerkamp test. *Soil Use and Management*, 23(4), 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 & Tillage Research*, 148, 85–96.
- Beste, A. (2002). Weiterentwicklung und Erprobung der Spatendiagnose als Feldmethode zur Bestimmung ökologisch wichtiger Gefügeeigenschaften landwirtschaftlich genutzter Böden. Dissertation, Justus Liebig Universität Giessen.
- Beste, A. (2018). Qualitative Bodenanalyse, Anleitung für Praktiker. Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur, Mainz.
- Boizard, H., Peigné, J., Sasal, M. C., de Fátima Guimarães, M., Piron, D., Tomis, V., Vian, J.-F., Cadoux, S., Ralisch, R., Tavares Filho, J., Heddadj, D., De Battista, J., Duparque, A., Franchini, J. C., Roger-Estrade, J. (2017). Developments in the «profil cultural» method for an improved assessment of soil structure under no-till. *Soil & Tillage Research*, 173, 92–103.
- Boizard, H., Peigné, J., Vian, J.-F., Duparque, A., Tomis, V., Johannes, A., Métais, P., Sasal, M. C., Boivin, P., Roger-Estrade, J. (2019). Les méthodes visuelles d'évaluation de la structure du sol au service d'une démarche clinique en agronomie. *La Revue de l'Association Française d'Agronomie*, 8(2), 55–67.
- Diez, T. (1991). Beurteilung des Bodengefüges im Feld. Möglichkeiten, Grenzen und ackerbauliche Folgerungen. In BMELF (ed.), *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit 2*, (pp. 96–103). Hamburg und Berlin.
- Diez, T., & Weigelt, H. (n. d.). Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. *Die landwirtschaftliche Zeitschrift für Produktion – Technik – Management*.
- Emmet-Both, J. P., Forristal, P. D., Fenton, O., Ball, B. C., Holden, N. M. (2016). A review of visual soil evaluation techniques for soil structure. *Soil Use and Management*, 32(4), 623–634.
- FAO (2015, November 25). Soil functions. Poster for the international Year of Soils. <https://www.fao.org/3/AX374E/ax374e.pdf>
- Franco, H. H. S., Guimarães, R. M. L., Tormena, C. A., Cherubim M. R., Favilla, H. S. (2019). Global applications of the Visual Evaluation of Soil Structure method: A systematic review and metaanalysis. *Soil & Tillage Research*, 190, 61–69.
- Fry, P. (2001). Bodenfruchtbarkeit, Bauernsicht und Forscherblick. Dissertation. *Margraf Verlag*. ISBN 3-8236-1346-4.
- Gautronneau, Y., Manichon, H. (1987). Guide méthodique du profil cultural. CEREF-ISARA/GEARA-INAPG. <http://profilcul-tural.isara.fr/>.
- Görbing, J. (1947). Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. Band II. *Landbuch-Verlag G.M.B.H., Hannover*.
- Guimaraes, R. M. L., Ball, B. C., Tormena C. A. 2011. Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, 27(3), 395–403.
- Hasinger, G., Keller, T., Marendaz, E., Neyroud, J.-A., Vökt, U., Weisskopf, P. (1993). Bodenbeurteilung im Feld. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.); 1–16.
- Hasinger, G., Nievergelt, J., Petrsek, M. & Weisskopf, P. (2004). Observer et évaluer la structure du sol. Les cahiers de la FAL 50, 1–84.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., Boivin, P. (2017). To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil & Tillage Research*, 173, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.001>.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Boivin, P., Gondret, K., Leopizzi, P., Lamy, F., Füllmann, F., Boizard, H., Baize, D., Ball, B., Cloy, J., Munkholm, L., Guimarães, R. (2020). VESS₂₀₂₀ Visuelle Beurteilung der Bodenstruktur im Feld. *Agroscope, Reckenholz* (Hrsg.).

- Johannes, A., Gondret, K., Boivin, P. (2019). Apprentissage et pratique du test bêche VESS par application mobile, *Agronomie. Environnement & Sociétés*, **9**(2), 77–79.
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability* **7**(5): 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
- Leopizzi, S., Gondret, K., Boivin, P. (2018). Spatial variability and sampling requirements of the visual evaluation of soil structure in cropped fields. *Geoderma*, **314**, 58–62.
- Nievergelt, J., Petrasek, M., Weisskopf, P. (2002). Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln. Schriftenreihe der FAL 41, 1–93.
- Lmz (2020) A1.2 Bodenbearbeitungsmassnahmen bestimmen und planen. Lehrmittel für die Landwirtschaftliche Grundbildung. Edition-Imz.
- Peerlkamp, P.K. (1959). A visual method of soil structure evaluation. *Meded. v.d.Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations van de Staat te Gent* **24**, 216–221.
- Schmid, O. (1982). Bodenbeurteilung mit der Spatendiagnose (nach Görbing). Forschungsinstitut für biologischen Landbau.
- Schweizer Bauer (2019, 21. Februar). App hilft: BodenDok ergänzt Spaten. <https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/app-hilft-bodendok-ergaenzt-spaten/>
- Senger, M., v. Haaren, M., Heyn, J., Brandhuber, R., Voshenrich, H., Epperlein, J., Vorderbrügge, T., Ortmeier, B., Lorenz, M., Harrach, T. (2013). Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker (3. Auflage). Johann Heinrich von Thünen-Institut & Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. (Hrsg.).
- Shepherd, T. G. (2000). Visual Soil Assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. 1–84, ISBN 1-877221-92-9.
- Shepherd, T.G., Ross, C.W., Basher, L.R., Saggar S. (2000a). Visual soil assessment, Volume 2. Soil management guidelines for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. 1–44. ISBN 1-877221-93-7.
- Shepherd, T.G., Janssen, H.J. (2000b). Visual soils assessment. Volume 3. Field guide for hill country land uses. 1–48. ISBN 1-877221-94-5.
- Shepherd, T.G., Janssen, H.J., Bird, L.J. (2000c). Visual soil assessment. Volume 4. Soil management guidelines for hill country land uses. 1–24. ISBN 1-877221-95-3.
- Tomis, V., Duparque, A., Boizard, H. (2019). Development of the «Mini 3D soil profile» – a visual method derived from the «profil cultural». *Soil & Tillage Research*, **194**, 104285.
- Werner, J., Thämert, W. (1988). Zur Diagnose des physikalischen Bodenzustandes auf Produktionsflächen. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkunde* **12**, 729–739.