

Marche à suivre : « outil d'ajustement »

Hes·SO
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

 Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

heig-vd

h e p i a
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

5 JUILLET

HEPIA/HEIG-VD/HEIA-FR

Créé par : l'équipe du projet IQS Morges



Objectif de l'outil d'ajustement

Outil d'ajustement de la carte IQS (indice de qualité des sols) avec interface géographique intégrée

Cet outil permet de préciser, sur la base de données locales, mesurées et/ou observées, l'évaluation de la qualité des sols faite dans le cadre de la démarche IQS, au niveau d'un site d'emprise de projet.

Cet outil est utile pour faire l'état des lieux de la qualité des sols d'un site d'emprise de projet avant d'utiliser l'outil de simulation

L'outil d'ajustement de la carte IQS propose de procéder en trois étapes permettant de préciser la carte de qualité des sols (IQS) de façon progressive. À la fin de chaque étape, le porteur de projet évalue la pertinence de passer à l'étape suivante, en fonction du résultat obtenu et du but souhaité.

L'étape 1 vise à corriger des défauts de segmentation de la carte IQS (ex. routes et bâtiments non identifiés) par observation de la photo aérienne actuelle ou par une rapide visite sur le terrain.

L'étape 2 vise à délimiter, par des recherches documentaires, des nouveaux objets difficilement visibles avec la photo aérienne ou avec une observation visuelle de terrain (ex. zones remblayées, anciennes constructions)

L'étape 3 vise à améliorer la fiabilité de la carte en y associant des informations pédologiques relevées sur le terrain et, éventuellement, mesurées en laboratoire. Elle est la plus coûteuse en termes de ressources et de temps.

Les étapes 1 et 2 augmentent le niveau de détail de la carte en délimitant des nouveaux objets, ce qui augmente de facto la fiabilité de l'IQS. L'étape 3 augmente la fiabilité de l'IQS sur des objets déjà identifiés en remplaçant des prédictions de qualité de sol par des données récoltées sur le terrain. A la suite d'analyses de sol (étape 3), l'utilisateur de l'outil peut décider de redéfinir des sous objets et ainsi améliorer le niveau de détail de la carte. A l'issue de chaque étape d'ajustement, il y aura donc un gain en définition et en fiabilité.

Les étapes 1 et 2 utilisent la fonctionnalité de l'IQS qui attribue à des couches territoriales des valeurs de propriétés probables (et une erreur associée) pour tous les polygones de la couche correspondante. La création de nouveaux objets passe par ces catégories existantes et les prévisions de qualité y sont associées.

L'étape 3 utilise la fonctionnalité de l'IQS qui permet de forcer les valeurs d'un polygone à l'aide de valeurs mesurées disponibles.

La présente marche à suivre comprend :

- Le processus à suivre pour identifier les données additionnelles à récolter dans chaque étape ;
- Les documents sources pour trouver les données additionnelles et les instructions à fournir à un bureau spécialisé pour la récolte de ces données (étape 3) ;
- Les informations techniques relatives au format des données

Etape 1 : Ajustement sommaire

Le but est d'ajuster la carte IQS si des informations récoltées via l'observation visuelle de l'orthophoto aérienne actuelle ou du site lui-même le justifient, via l'interface géographique associée à la couche « ajustement ». Les défauts de segmentation de la carte IQS de base peuvent résulter, par exemple, du manque de précision et/ou de mise à jour des géo-données utilisées pour calculer l'IQS. Il est possible aussi que la segmentation de la carte IQS soit excessivement détaillée par rapport à la réalité du terrain ; cela étant dû à l'utilisation de l'indice de végétation (NDVI) lors de la segmentation.

Méthode

1. Dessiner un à un les objets visibles sur le site et/ou sur l'orthophoto actuelle qui n'auraient pas (ou mal) été pris en compte dans la segmentation initiale de la carte (ex : chemin, petit plan d'eau, bâtiments, toiture végétalisée, etc...) (Figure 1) ;
2. Affecter chaque polygone créé à une catégorie territoriale au moyen des trois menus déroulants fonctionnant en cascade (appelés « état de surface –niveau 1 à 3 »). Le premier menu déroulant permet de sélectionner une catégorie territoriale large (Figure 2), puis elle sera précisée en sous catégories via les deux autres menus déroulants (niveaux 2 et 3).

Pour pouvoir dessiner et catégoriser les objets qui viendront préciser la carte IQS de base, il faut faire un clic droit sur la couche appelée « ajustement », puis cliquer sur « basculer en mode édition » (Figure 4) et pour finir sélectionner l'outil « créer polygone » pour dessiner l'objet (Figure 5). Une fois votre objet digitalisé et terminé, l'interface qui vous permettra de caractériser la catégorie via les trois menus déroulants en cascade apparaîtra (lors de cette étape, nous nous intéresserons uniquement à l'onglet 1 de l'outil appelé « 1- surface du sol ».)



Figure 1 : Extrait de la segmentation de la carte IQS. En rouge les objets identifiés. On voit que les chemins d'accès aux villas n'ont pas été identifiés, ainsi que les jardins potagers et autres éléments des espaces verts (ex. haies).

ajustement - Attributs d'entités

id_ajust ✓

1 - Surface du sol	2 - Données pédologiques	Général
état de surface - niv. 1	4. Infrastructures - Bâtiment	
état de surface - niv. 2	Bâtiment (hors sol)	
état de surface - niv. 3	Bâtiment sans toiture végétalisée	

OK Annuler

Figure 2 : Menus déroulants (niv1, 2 et 3) permettant de préciser la nature des objets à ajouter.

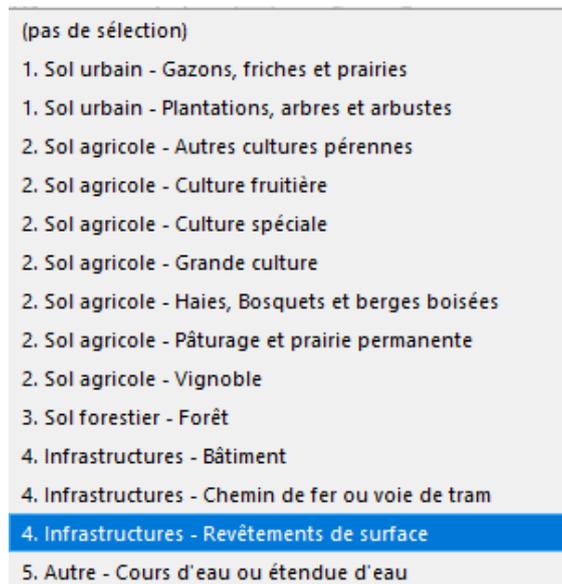


Figure 3 : Premier menu déroulant de l'outil d'ajustement appelé « état de surface-niv 1 »

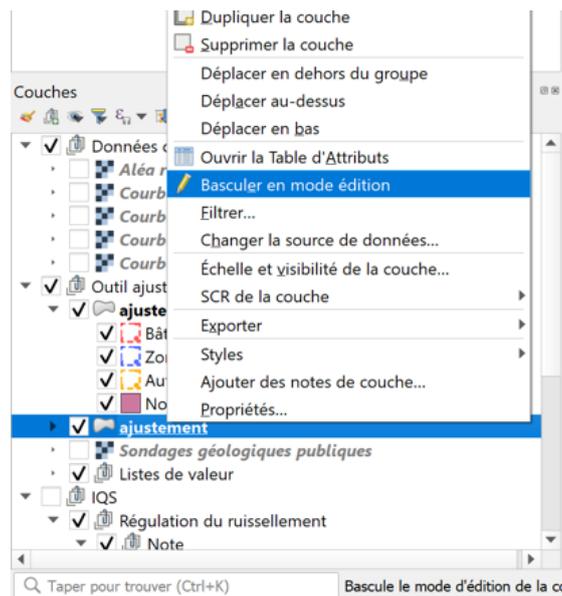


Figure 4 : Copie d'écran montrant le volet apparaissant lorsqu'on fait un clic droit sur la couche "ajustement". C'est sur ce volet que l'on peut cliquer sur « basculer en mode édition » afin d'être en mesure de pouvoir modifier la couche.

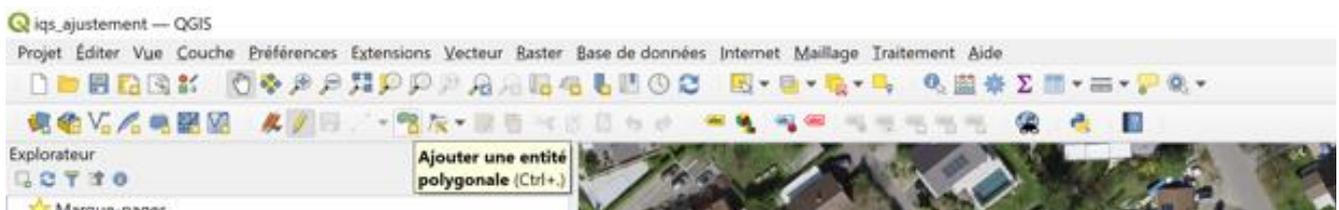


Figure 5 : Copie d'écran montrant où cliquer pour ajouter un objet

A l'issue de cette première étape d'ajustement, la segmentation de la carte IQS correspond au terrain ou à une photo aérienne récente et les polygones sont correctement attribués à une catégorie du menu déroulant. Si, malgré cet ajustement, le niveau de détail de la carte IQS paraît insuffisant pour l'objectif visé, il est conseillé de passer à l'étape 2.

Au sein du premier menu déroulant (Figure 3), les sous-catégories correspondant au "sol urbain" correspondent aux catégories décrites au sein de la couche "entretien différencié" disponible sur la région Morges. Celles appartenant à "sol agricole" correspondent aux catégories définies par la confédération dans le cadre du recensement agricole. Les catégories de toiture sont celles décrites par la norme SIA « végétalisation de toiture » (SN 564312:2013 fr).

Etape 2 : Ajustement plus poussé

Le but de cette étape est d'ajuster/ de corriger la carte IQS en fonction des anciennes orthophotos et de documents non référencés géographiquement qui présentent des informations sur le sol et son usage passé (documents et plans historiques ou actuels, connaissances personnelles, etc...). Un exemple type est l'emprise d'un ancien chantier avec fort risque de compaction du sous-sol. Dans cette deuxième étape, l'ajustement vise à délimiter des objets qui n'ont pas été répertoriés lors de la création de la carte IQS (ex. carrières, gravières, décharges), ou qui ne sont pas ou ne sont plus visibles à l'œil nu (ex. zones remblayées ou potentiellement compactées). La délimitation de ces objets demande une recherche dans les archives, ou une comparaison de photos aériennes historiques et récentes, des discussions avec les opérateurs et, occasionnellement, des vérifications sur le terrain.

Méthode (cf. figure 6)

1. Dessiner, à l'aide de l'interface géographique associé à la couche « ajustement_modulation », les objets qui ne sont pas ou peu visibles actuellement et qui n'auraient pas été pris en compte lors de l'étape précédente ;
2. Affecter, à l'aide du menu déroulant, chaque polygone créé à une catégorie d'objets et indiquer vos commentaires si besoin, comme par exemple le nom de la source d'information qui vous a permis d'identifier un de ces objets (figure 8).

Les catégories proposées dans cette interface sont visibles sur la figure ci-dessous :

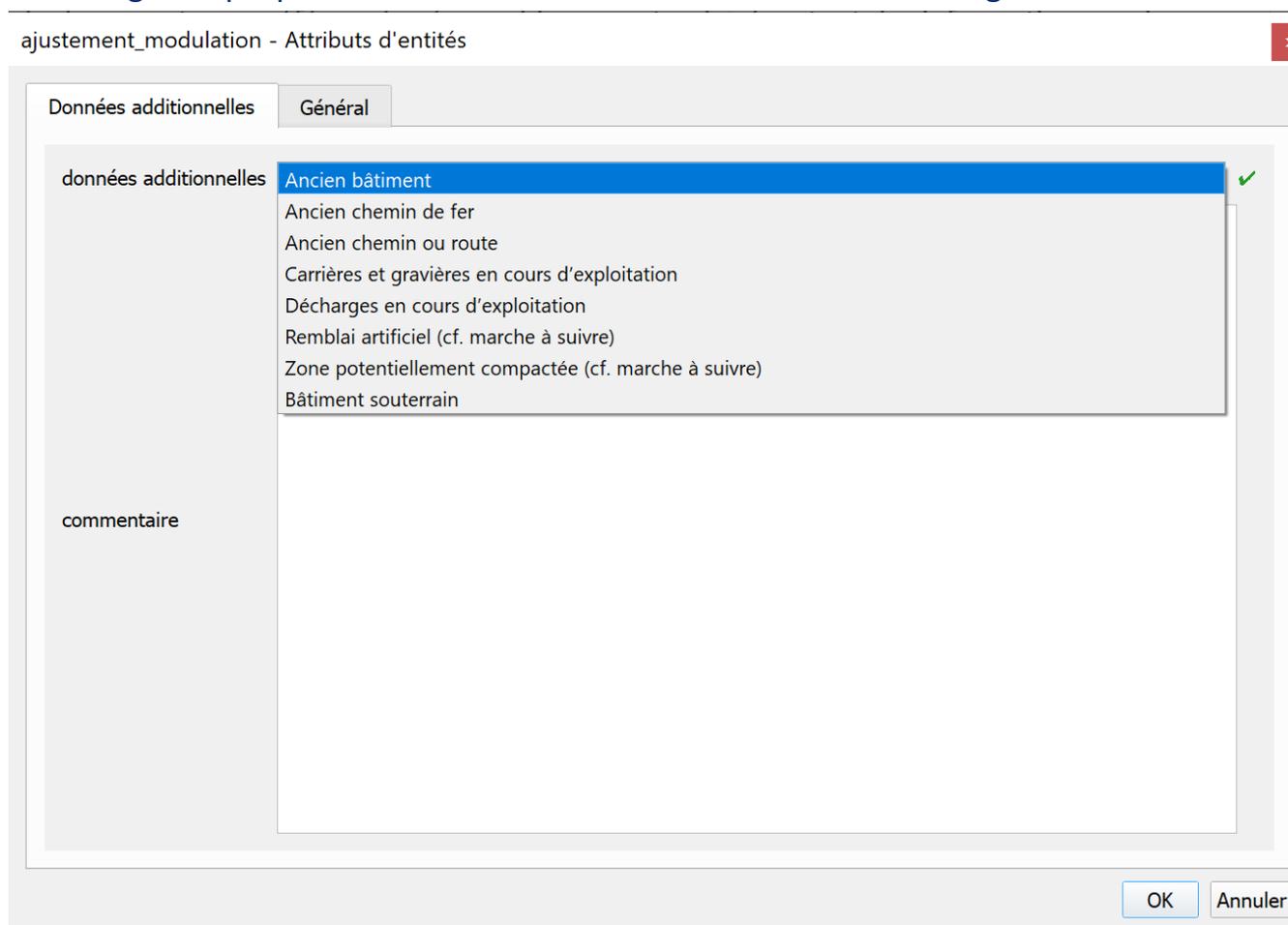


Figure 6. Catégories disponibles dans le cadre de l'étape 2 d'ajustement (interface géographique associé à la couche « ajustement-modulation »)

Ces différentes catégories sont décrites de façon précise dans l'annexe 1.

Où consulter les anciennes photos aériennes :

Dans un premier temps nous conseillons de se rendre sur le portail map.geo.admin afin de visualiser la couche « SWISSIMAGE voyage dans le temps » et de cliquer sur le bouton lecture du curseur temporaire afin de faire défiler automatiquement les photos aériennes. (figure 7) Ce défilé des images dans le temps va permettre d'identifier les objets qui auraient pu avoir un impact sur le sol mais ne sont plus visibles en surface ni dans les couches territoriales aujourd'hui, comme l'emplacement d'une ancienne construction (bâtiment, route, chemin), une zone d'entreposage, une zone d'emprise temporaire de travaux, etc...

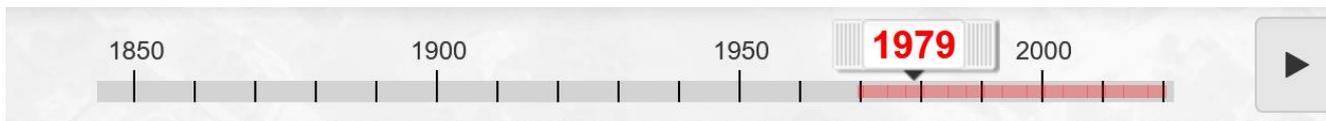


Figure 7 : Curseur temporaire du portail map.geo.admin et bouton de lecture

On peut aussi consulter directement les photos aériennes ou orthophotos passées via l'interface géographique, en les cochant dans la section où vous pouvez sélectionner les couches géo-référencées.

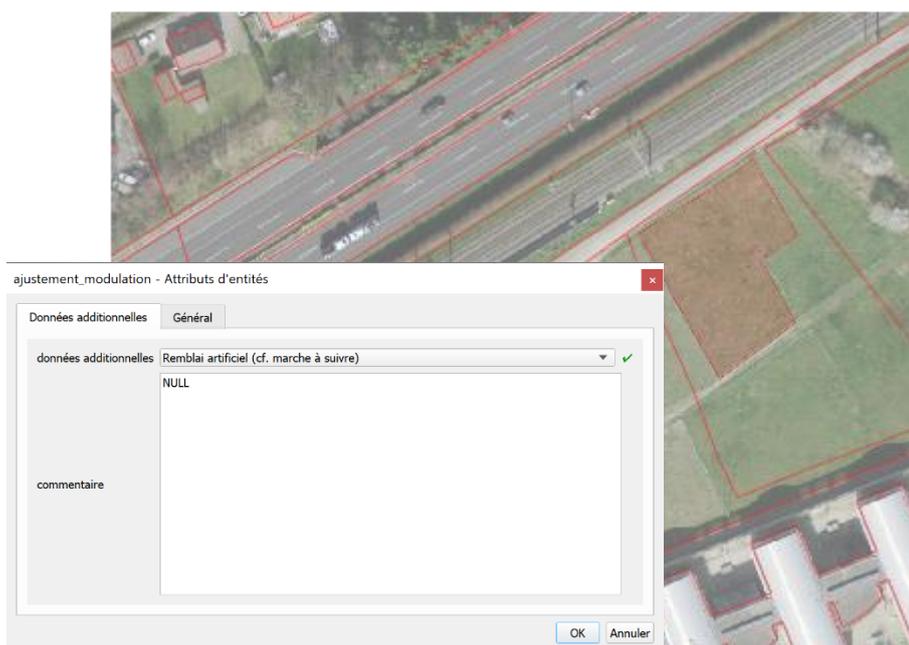


Figure 8 : Exemple d'utilisation de l'outil d'ajustement dans sa deuxième étape. Délimitation d'un remblai artificiel connu par les opérateurs (polygone à fond rouge) et attribution de la surface à la catégorie territoriale correspondante dans l'outil d'ajustement (Etape 2 uniquement).

Autres ressources utiles :

- Géoportail CartoJuraLéman (<https://map.cjl.ch>).
- Rapports de suivi pédologique de chantier : obligatoires pour les chantiers de plus de 5'000 m², ou plus de 1'000 m (chantiers linéaires types conduites) de sols touchés. En dessous de ces seuils, un suivi pédologique est recommandé en cas d'impact prévisible significatif sur les terrains agricoles ou en présence de sols

difficiles à préserver ou pollués (cf. chapitre 4.4 de (Direction générale de l'environnement, division Géologie, Sols et Déchets (Vaud), 2014)).

- Notice d'impact étude d'impact environnementale EIE (selon conditions d'application).

Etape 3 : Ajustement des propriétés du sol (*requiert des connaissances en pédologie*)

Le but de cette étape est d'ajuster directement les propriétés du sol utilisées dans l'IQS pour le calcul des fonctions assurées par le sol via des données récoltées/mesurées sur le terrain.

Dans cette étape, des propriétés des sols sont mesurées directement sur le terrain pour préciser leur valeur par rapport à l'estimation.

Les fonctions du sol choisies déterminent les propriétés à évaluer.

Pour la fonction "infiltration/stockage" (anciennement appelée "*Régulation des crues*") :

- Porosité
- Perméabilité de surface
- Profondeur utile

Pour la fonction *Production de biomasse* :

- Profondeur utile
- Perméabilité de surface
- Rapport MO/A
- Porosité
- pH

Et pour la fonction *Habitat pour la vie* :

- Perméabilité de surface
- Rapport MO/A
- Profondeur utile
- Porosité

Méthode

Identifier sur la base de photos aériennes actuelles, anciennes, d'éventuelles cartes pédologiques (qui ne feraient pas partie du portail SIG vaudois) et de visites de terrain des zones qui vous semblent homogènes du point de vue du sol, puis suivre la procédure présentée ci-dessous au sein de l'interface géographique associé à la couche « ajustement », onglet 2 appelé « données pédologiques » (figure 9) :

ajustement - Attributs d'entités

id_ajust ✓

1 - Surface du sol 2 - Données pédologiques Général

responsable des relevés NULL

▼ propriétés du sol

matière organique (MO) (%)	NULL
argile (%)	NULL
argile - méthode	
pH	NULL
profondeur utile (cm)	
profondeur utile - méthode	
porosité utile	
perméabilité de surface	
perméabilité de surface - méthode	

OK Annuler

Figure 9. Interface géographique associé à la couche « ajustement », onglet 2 « données pédologiques »

1. Entrer le nom de la personne ou de l'organisme qui a effectué les relevés.
2. Identifier et dessiner, si besoin, des zones pédologiques homogènes qui n'auraient pas été prises en compte lors des étapes précédentes.
3. À l'aide des menus déroulants, ajuster les propriétés (MO, MO/A, pH, porosité utile, profondeur utile) des polygones présentant du sol en fonction des résultats d'analyse obtenus sur le terrain.

Comment identifier des zones homogènes du point de vue du sol :

Cette étape doit être effectuée par un pédologue, qui procèdera comme on le fait dans le cadre de l'établissement d'une carte pédologique (correspond à l'étape préliminaire appelée "esquisse"). Pour ce faire, vous pourrez vous référer au Manuel de cartographie *Cartographie et estimation des sols agricoles* (1997).

Comment ajuster les paramètres du sol :

Pour chacune des zones homogènes en termes de sol, il est possible de moduler les valeurs des propriétés du sol (MO, MO/A, pH, porosité utile, profondeur utile) en fonction des résultats d'analyses faites sur le sol. Les résultats d'analyse peuvent être issus, (1) de documents relatifs au site renfermant des données pédologiques, (2) de relevés de terrain faits dans le cadre de l'ajustement de la carte IQS et suivant les méthodes préconisées dans le tableau 2 et 3 en annexe.

Autres ressources utiles :

- Les données issues des sondages géologiques faits sur la région Morges sont visibles et consultables depuis l'outil d'ajustement. Elles peuvent servir à estimer grossièrement la profondeur utile de certaines zones où la mesure directe n'a pas été possible.
- Les données pédologiques que l'on peut extraire des rapports pédologiques associés aux permis de construire pour les grands chantiers (supérieurs à 5'000 m² ou 1'000 m linéaires) :
 - Épaisseur des horizons A et B,
 - Profondeur utile,
 - Taux de matière organique dans les horizons A et B,
 - pH,
 - Structure,
 - Texture,
 - Pierrosité,
 - Régime hydrique,
 - Teneur en MO,
 - Roche mère.

Ceci représente une liste « maximale », généralement moins de données sont souvent récoltées. De plus, les localisations des sondages et des profils pédologiques effectués par les spécialistes pédologues sont également fournies dans le rapport pédologique.

Bibliographie

- Alice Johannes (Agroscope), *et al.* (2019) *Fiche VESS 2019, Progrès sol*. Available at: <https://www.progres-sol.ch/fileadmin/progres-sol/VESS2019.pdf> (Accessed: 21 February 2023).
- Direction générale de l'environnement, division Géologie, Sols et Déchets (Vaud) (2014) *Directive cantonale, Etudes pédologiques relatives à la protection des sols sur les chantiers (DMP864)*. Available at: https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/sol/fichiers_pdf/GEODE_SOLS_DMP_864_Directive_%C3%A9tudes_p%C3%A9dologiques.pdf (Accessed: 20 December 2022).
- Direction générale de l'environnement (Vaud) (2022) 'Aide à l'exécution. Méthodologie pédologique pour l'identification des nouvelles surfaces d'assolement'. Available at: https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/territoire/amenagement/Surfaces_assolement/2022.02.01_Methodologie_pedologique_SDA.pdf.
- FAL (1994) 'Manuel de cartographie : Cartographie et estimation des sols agricoles- les cahiers de la fal 24'. Available at: https://www.nabodat.ch/images/dokumente/Kartieranleitungen/Cartographie_sols_agricoles.pdf.

Annexes

1. Liste des objets identifiables lors de l'étape 2

Tableau 1. Liste des objets identifiables lors de l'étape 2 et les documents dans lesquels trouver l'information.

Objets identifiables lors de l'étape 2	Description	Documents source
Ancien bâtiment	Surface verte, auparavant occupée par un bâtiment.	<ol style="list-style-type: none">1. Enquête auprès des opérateurs2. Comparaison d'orthophotos anciennes et récentes3. Visite de terrain
Ancien chemin et ancienne route	Surface verte, auparavant occupée par un chemin goudronné ou une route.	<ol style="list-style-type: none">1. Enquête auprès des opérateurs2. Comparaison d'orthophotos anciennes et récentes3. Visite de terrain
Ancien chemin de fer	Surface verte, auparavant occupée par un chemin de fer.	<ol style="list-style-type: none">1. Enquête auprès des opérateurs2. Comparaison d'orthophotos anciennes et récentes3. Visite de terrain
Carrières et gravières en cours d'exploitation		<ol style="list-style-type: none">1. Plan Directeur des carrières (PDCar) - 2014 https://www.vd.ch/themes/environnement/resources-minerales/planification-et-gestion-des-carrieres-et-gravieres/2. Visite de terrain
Décharges en cours d'exploitation		<ol style="list-style-type: none">1. Plan sectoriel des décharges contrôlées (PSDC) - 2020 https://www.vd.ch/toutes-les-autorites/departements/departement-de-lenvironnement-et-de-la-securite-des/direction-generale-de-lenvironnement-dge/publications-dge/publications-dechets/2. Visite de terrain

Remblai artificiel	<p>Sont considérés comme des remblais artificiels :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zones décapées lors d'un chantier et remises en état 2. Anciennes décharges* remises en état 3. Anciennes carrières et gravières remises en état 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rapport de suivi pédologique lors de chantiers (cf. permis de construire) : voir les « Cartes de décapage des horizons A et B », le « Bilan des surfaces et des volumes de sol » ainsi que les « Objectifs de remise en culture ». 2. Comparaison d'orthophotos anciennes et récentes 3. Enquête auprès des opérateurs <p>*Cela concerne les décharges de type A, les autres décharges sont à priori incluses dans le cadastre des sites pollués, déjà intégré dans la carte IQS.</p>
Zone potentiellement compactée	<p>Sont considérés des zones potentiellement compactées :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zone de stockage de matériaux terreux 2. Anciennes installations de chantier (y.c. pistes de circulation et d'accès) remises en état 3. Installations de chantier actuelles (y.c. pistes de circulation et d'accès) 4. Zone de mouille, ornières (supérieure à 20 m2) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rapport de suivi pédologique lors de chantiers (cf. permis de construire) : voir la « Localisation des emprises temporaires et définitives, des places d'installation de chantier et des pistes », les « Surfaces destinées au stockage des matériaux terreux » et le « Bilan des surfaces et des volumes de sol » 2. Enquête auprès des opérateurs 3. Visite de terrain 4. Orthophotos
Bâtiment souterrain	<p>Batiment souterrain qui n'aurait pas été cartographié au sein de la carte IQS de base ; Correspond souvent à des parkings.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enquête auprès des opérateurs 2. Comparaison d'orthophotos anciennes et récentes 3. Visite de terrain

2. Protocole de prélèvement d'un échantillon composite

Echantillonnage pour analyses PER

Matériel et mode opératoire

MATERIEL (possibilité d'emprunt au Laboratoire Sols et Substrats d'Hepia ainsi qu'à Agrigenève)

En savoir plus ?

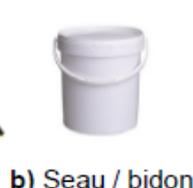
-Explications au dos

-Démonstration en vidéo :

<https://youtu.be/6cxhJHsMZw8>



a) Gouge (ou tarière)
+ tournevis ou couteau



b) Seau / bidon



c) Sachet plastique
refermable (1L)

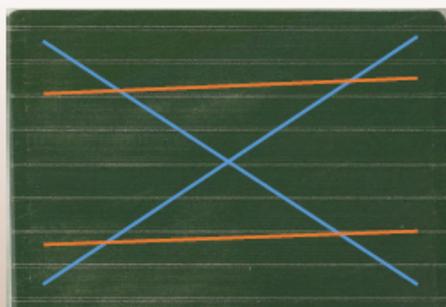


d) Papier crayon et/ou
stylo indélébile



NOMBRE, PROFONDEUR ET REPARTITION DES PRELEVEMENTS

- **20 prélèvements** minimum sur **2-20cm de profondeur**
- Répartition homogène des prélèvements sur la parcelle selon les **diagonales** ou selon **deux lignes parallèles***



Zone de prélèvement à éviter :

- 10 m du bord de la parcelle
- Passages de roues et tournières
- Emplacement d'anciens andains

Période de prélèvement à éviter :

- Après un amendement / fumure
- Après un labour (laisser passer un hiver)
- Lorsque le sol est très sec ou très humide

PROCEDURE DE PRELEVEMENT ET CONDITIONNEMENT POUR LE LABORATOIRE

- Dégager rapidement la surface (au pied), enfoncer la gouge (a) puis la tourner avant de la retirer.
- Verser la terre dans le seau (b) en enlevant les 2 premiers cm. Quand les 20 prélèvements sont effectués, émietter et bien mélanger la terre.
- Introduire environ 1 kg de ce mélange dans le sachet plastique (c)
- Marquer/étiqueter l'échantillon composite à l'aide du matériel (d) [date, nom client, nom et identifiant unique de la parcelle sur Acorda**]
- Apporter l'échantillon composite dans les plus brefs délais au laboratoire munis du formulaire de demande d'analyse dûment rempli et signé**

* à éviter si des lignes d'épandages hétérogènes existent

** la marche à suivre permettant de trouver l'identifiant de la parcelle sur Acorda ainsi que le formulaire de demande d'analyse sont disponibles au laboratoire Sols et Substrats à Lullier ou sur le site internet <https://www.hesge.ch/hepia/laboratoire/analyse-sols>

Intérêt des analyses PER et importance de l'échantillonnage

L'analyse de sol PER, répétée chaque 10 ans, est une exigence pour l'octroi des paiements directs. C'est aussi une source d'informations essentielles pour suivre l'évolution de la qualité du sol. On peut distinguer deux aspects principaux :

1. Les teneurs en fertilisants et leur évolution permettent de se questionner sur la politique de fumure à venir (vers le « conseil de fumure »).
2. L'évolution des rapports entre la teneur en matière organique (MO) et la teneur en argile* permet de connaître la vulnérabilité de la structure du sol actuelle et passée. En moyenne la teneur en MO devrait représenter 17% de la teneur en argile (ex : 3.4% de MO pour 20% d'argile). Pour une vulnérabilité acceptable (voir memento agricole) et il ne faudrait jamais tomber sous le seuil des 12% de MO par rapport à l'argile. Où en êtes-vous ?

Cependant il ne faut pas oublier que la qualité des résultats d'analyses dépend grandement de l'échantillonnage de la parcelle. (3 principes de base sont développés ci-dessous).

Pour finir la teneur en MO des sols cultivés devient un enjeu climatique. Si demain la séquestration devait être rémunérée, en suivant le protocole au recto, la précision obtenue permettra de valoriser les analyses PER.

* Une seule analyse de la teneur en argile tous les 30-40 ans suffit car cette dernière ne varie pratiquement pas dans le temps. Nb: Le rapport MO/argile est très utile, mais il ne dispense pas de contrôler le pH !

PRINCIPES DE BASE D'UN ECHANTILLONNAGE A LA PARCELLE

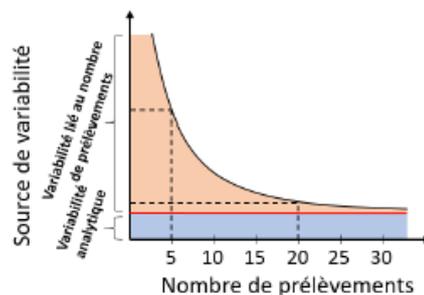
1. La représentativité

Même une parcelle jugée homogène peut présenter d'importantes variations. Dans le but d'obtenir des résultats analytiques pertinents à l'échelle de la parcelle il convient de représenter cette dernière en effectuant un échantillonnage composite constitué de plusieurs prélèvements répartis sur toute la parcelle puis mélangés.



2. Le nombre de prélèvements

L'erreur analytique est connue. La variabilité liée à l'échantillonnage est elle directement dépendante du nombre et de la répartition des prélèvements sur la parcelle. La fiabilité finale des résultats analytiques dépend donc directement de la qualité de l'échantillonnage.



3. L'homogénéité de la parcelle

Une parcelle peut-être jugée homogène si elle a été conduite de façon similaire sur au moins les 5 dernières années, si elle ne contient pas deux types de sols très différents (texture, matériau, origine) et si elle ne présente pas de fortes différences de modelé.

IMPORTANT : Une parcelle présentant des zones différentes selon les critères ci-dessus doit faire l'objet d'un échantillonnage par zone distincte

3. Clé visuelle du VESS (visual evaluation of soil structure) (Alice Johannes *et al.*, 2019)

 Evaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (VESS) production de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., and Tomera, C.A. (2011) adaptée de Boizard, H. et al., in Balze, D. et al., (2013)									
Qualité de la Structure	Apparence générale	Taille	Racines	Porosité Visible*	Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent	Traits distinctifs	Apparence des agrégats* ou fragments* de ≈ 1,5 cm de diamètre		
Sq1 Friable Agrégats* se désagrègent très facilement avec les doigts	Pas de motte fermée*	La plupart des agrégats* < à 0,6 cm.	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont TRES poreux		 Agrégats* très fins et poreux		Agrégats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.	1 2 3 4 5
Sq2 Intact Agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Pas de motte fermée*	Mélange d'agrégats* arrondis de 2mm à 7cm	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont poreux.		 Forte porosité des agrégats*		Agrégats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.	6 7
Sq3 Ferme La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Présence possible de mottes fermées*	Mélange d'agrégats* de 2 mm-10 cm. Moins de 30% < 1cm.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers » et de fissures*	Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*		 Faible porosité des agrégats*		Agrégats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.	8 9 10
Sq4 Compact Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	Principalement mottes fermées* sub-angulaires	moins de 30% des mottes sort de taille < 1cm ; structure lamellaire possible.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers » et de fissures*	Peu de « pores grossiers » et peu de fissures*		 Racines dans les pores grossiers visibles*		Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.	11 12 13 14
Sq5 Très Compact Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	Principalement mottes fermées* angulaires	mottes angulaires > 10cm, très peu de taille < 1cm.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers » et de fissures*	Très peu de « pores grossiers » et de fissures* Aucune possible.		 Couleur gris-bleu possible		Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.	15 16

4. Protocoles d'évaluation visuelle de la perméabilité de surface

Pour évaluer visuellement l'état de surface, veuillez le faire avant le passage d'un outil à l'aide du tableau 6.1. Le seuil de 70% de couverture a été choisi en se basant sur les travaux de Rey et al., 2004 : « La densité de la couverture végétale permet en général de déterminer s'il y a ruissellement ou pas : jusqu'à 70 % de couverture végétale, l'eau ruisselle en grande partie ; au-delà, l'eau percole et ne ruisselle plus, sauf s'il y a saturation des sols ».

classe	légende	état de surface/perturbation
1	Vitesse d'infiltration très bonne	sol couvert à plus de 70%, pas de croûte, pas d'érosion, jamais travaillé
2	Infiltration bonne	sol couvert à plus de 70%, pas de croûte, pas d'érosion
3	Infiltration modérée	Sol couvert à plus de 70%, présentant une croûte à la surface très craquelée (épaisseur d'encroûtement de 2 à 3 mm maximum)
4	Infiltration faible	Sol couvert à moins de 70%, présentant une croûte à la surface très craquelée (épaisseur d'encroûtement de 2 à 3 mm maximum).
5	Infiltration très faible	Sol couvert à moins de 70%, présentant une croûte ou une surface scellée (épaisseur d'encroûtement > 5 mm)

Tableau 2 : Classes de qualité en fonction de l'état de surface/perturbation. L'état de surface doit être évalué avant le passage d'un outil (adapté de (FIBL et al., 2019) et (Rey et al., 2004)). Jamais travaillé signifie jamais gratté, ni retourné à l'aide d'outils ; couvert signifie que le sol présente des plantes ou une couche de résidu à sa surface ; pas d'érosion signifie qu'aucune trace de rigole, de transport de matière en surface n'est visible.

5. Protocoles de mesure de Perméabilité avec l'infiltromètre à succion et avec l'infiltromètre à double anneau : détermination de la conductivité hydraulique à saturation K_{sat}

Mesure de Perméabilité avec l'infiltromètre à succion Détermination de la conductivité hydraulique à saturation K_{sat}

Objectifs :

Pratique de mesures d'infiltration à l'aide de l'infiltromètre à succion.
Détermination de la conductivité hydraulique à saturation (K_{sat} ou K_s) à partir des résultats d'infiltrométrie.

Méthode de calcul de K_{sat} :

Données de l'appareil utilisé :

- Diamètre de la membrane nylon : 20 cm
- Diamètre interne du réservoir d'eau : 4.5 cm

Les mesures sont effectuées, pour chaque succion imposée, jusqu'à observer un « régime permanent ». Pour cela il est bon de contrôler la courbe graphiquement et s'assurer que plusieurs points sont parfaitement alignés.

Dans ces conditions la mesure d'infiltrométrie donne des valeurs de flux constants, aux valeurs de succion imposées (dans l'exemple ici, -10, -5 et -2.5 hPa de succion (choix arbitraire)).

Il s'agit tout d'abord de convertir les valeurs lues sur le réservoir pour obtenir le flux dans le sol en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Pour cela, il faut transformer la hauteur lue dans le réservoir (en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) en lame écoulée dans le sol (en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$), compte tenu du rapport des diamètres de la membrane et du réservoir. On obtient donc pour les trois succions 3 flux de régime permanent q_x :

- à -10 hPa : $q_{10}\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$
- à -5 hPa : $q_5\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$
- à -2.5 hPa : $q_{2.5}\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$

K_{sat} peut être déterminée à partir des valeurs de flux constant selon :

$$\ln q_x = \alpha \cdot h + \ln \left(K_s \cdot \left(1 + \frac{4}{\pi \cdot r \cdot \alpha} \right) \right) \quad [1]$$

Avec h succion appliquée, r rayon du disque.

Prendre le logarithme de ces 3 valeurs : $\ln q_{10}$, $\ln q_5$ et $\ln q_{2.5}$.

Placer ces 3 valeurs en ordonnée sur un graphique avec les valeurs de succion en abscisse (-10, -5, -2.5 hPa) (attention succion négative !)

En principe, ces points doivent être alignés.

Puis on trace la droite reliant ces 3 points avec son équation.

On obtient une droite de régression de type :

$$y = ax + b \quad [2]$$

avec $y = \ln q$,
 x la succion h

D'où, en reliant les équations [1] et [2] :

$$a = \alpha$$

$$b = \ln (K_s(1+4/\pi\alpha))$$

2 équations à 2 inconnues nous permettant de trouver K_{sat} .

Cette valeur peut être exprimée en mm.h⁻¹ ou en m.s⁻¹, on l'interprète le plus souvent selon les classes :

Classe	K_s mm.h ⁻¹	K_s m.s ⁻¹
<i>Très élevé</i>	> 360	> 10 ⁻⁴
<i>Elevé</i>	36 – 360	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴
<i>Modérément élevé</i>	3.6 – 36	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
<i>Modérément faible</i>	0.36 – 3.6	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁶
<i>Faible</i>	0.036 – 0.36	10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁷
<i>Très faible</i>	< 0.036	< 10 ⁻⁸

3.3. Méthodes de mesure préconisée

Tableau 3 : Méthodes préconisées pour estimer les propriétés du sol d'une zone homogène

Paramètre du sol	MO (matière organique) en %	MO/A (rapport MO/A en %)	Profondeur utile (en cm)	Porosité visible (en %)	Perméabilité de surface (µm/s)	pH
Méthodes économiques/rapides à effectuer pour chaque zone homogène selon les fonctions du sol à ajuster	<p>Quoi : Analyse de la teneur en MO de l'horizon A (0-20 cm) sur échantillon composite (Annexe 2)</p> <p>Par qui : un laboratoire qui applique les méthodes officielles des stations fédérales de recherche AGROSCOPE (méthode visuelle non conseillée)</p>	<p>Quoi : Analyse de la teneur en MO et de la teneur en argile de l'horizon A (0-20 cm) sur échantillon composite (Annexe 2)</p> <p>Par qui : par un laboratoire qui applique les méthodes officielles des stations fédérales de recherche AGROSCOPE (méthode visuelle non conseillée pour la MO)</p>	<p>Quoi : estimation de la profondeur utile</p> <p>Comment : à l'aide d'une tarière (choisir un petit diamètre si possible) (= moyenne des profondeurs de blocage de 5 sondages)</p> <p>Attention si le sol est trop caillouteux → Estimation via profil de sol (Direction générale de l'environnement (Vaud), 2022)</p>	<p>Quoi : score du Test bêche (TB)</p> <p>Comment : 5 TB par zone de sol homogène avec la méthode VESS (visual evaluation of soil structure) (Annexe 3) → calculer la moyenne</p>	<p>Quoi : Observation et notation de l'État de surface selon .</p> <p>Comment : 5 observations par zone homogène en suivant le protocole (tableau 2 en Annexe) → calculer la moyenne</p>	<p>Quoi : pH eau (1 : 2.5) de l'horizon A (0-20 cm) sur échantillon composite (Annexe 1)</p> <p>Par qui : un laboratoire qui applique les méthodes officielles des stations fédérales de recherche AGROSCOPE (méthode par test coloré non conseillée)</p>
Méthodes plus complexes, plus précises, à effectuer pour chaque zone homogène selon les fonctions du sol à ajuster	Néant	Mesure du taux d'argile par un laboratoire qui applique les méthodes officielles des stations fédérales de recherche AGROSCOPE (méthode par sédimentation)	Estimation via profil de sol (Direction générale de l'environnement (Vaud), 2022)	Néant	Mesure de Ksat (conductivité hydraulique à saturation) par infiltromètre à succion ou double anneau (Annexe 5)	Néant

Tableau 4 : Où trouver l'information concernant les propriétés du sol

Paramètre du sol	MO (matière organique) en %	MO/A (rapport MO/A en %)	Profondeur utile (en cm)	Porosité visible (en %)	Perméabilité de surface ($\mu\text{m/s}$)	pH
L'information est-elle déjà disponible ?	<p>Il est possible de réutiliser les données issues d'analyses de sol, notamment celles faites dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), notice d'impact, si disponibles</p> <p>Restriction : l'analyse doit être datée de moins de 5 ans)</p>	<p>Il est possible de réutiliser les données issues d'analyses de sol, notamment celles faites dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), notice d'impact, si disponibles</p> <p>Restriction : l'analyse doit être datée de moins de 5 ans)</p>	<p>Information parfois présente au sein des documents liés aux installations/sites, ex : estimation de la profondeur utile via la profondeur de décapage estimée, si disponible (cf : document type notice impact)</p>		<p>Il est possible de faire une estimation simple via la photo aérienne mais l'estimation sur le terrain est préconisée</p>	<p>Il est possible de réutiliser les données issues d'analyses de sol, notamment celles faites dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), notice d'impact, si disponibles</p> <p>Restriction : l'analyse doit être datée de moins de 5 ans)</p>