



Description, classification et cartographie des sols de Suisse : partie III Manuel de cartographie (KA23)

Annexe 1 : Compléments pratiques

Table des matières

1	Indications concernant la phase préparatoire	3
1.1	Complément au chapitre 2.2.4 Communication	3
1.2	Complément au chapitre 2.2.4 Communication : indemnités versées pour les fosses pédologiques	3
1.3	Complément au chapitre 2.3.1 Choix de l'échelle	4
1.4	Complément au chapitre 2.3.3 Aspects juridiques : travaux de fouille	5
2	Indications concernant la phase conceptuelle	5
2.1	Complément au chapitre 3.4.1 Formulation d'hypothèses et d'unités conceptuelles	5
2.2	Complément au chapitre 3.4.2 Visite de reconnaissance : sondages de reconnaissance	9
2.3	Complément au chapitre 3.5.2 Établissement de la carte conceptuelle	10
2.4	Complément au chapitre 3.6.1 Critères pour le choix des sites des profils représentatifs	11
3	Indications concernant la phase des profils	12
3.1	Complément au chapitre 4.3.1 Relevé des conduites	12
3.2	Complément au chapitre 4.3.3 Organisation de l'ouverture du profil	13
3.3	Complément au chapitre 4.4.1 Profils représentatifs	14
3.4	Complément au chapitre 4.4.2 Exécution (ouverture des fosses pédologiques)	17
3.5	Complément au chapitre 4.5.2 Préparation et documentation photographique de la paroi du profil	17
3.6	Complément au chapitre 4.5.5 Mesure du niveau d'eau	17
3.7	Complément au chapitre 4.6 Fermeture des profils pédologiques	18
4	Indications concernant la phase de cartographie	19
4.1	Complément au chapitre 5.3.2 Plan de terrain	19
4.2	Complément au chapitre 5.4.2 Localisation	20
4.3	Complément au chapitre 5.5.2 Procédure de délimitation des unités cartographiques	20
4.4	Complément au chapitre 5.5.3 Représentation des unités cartographiques	22
4.5	Complément au chapitre 5.6.2 Structure des données ponctuelles et surfaciques	23
4.6	Complément au chapitre 5.6.3 Jeu de données des sondages standard et des unités cartographiques : remarques concernant le relevé de SDA	23
4.7	Complément au chapitre 5.7.1 Formes de sol différentes dans une unité cartographique	25
4.8	Complément au chapitre 5.7.2 Partie étrangère	26
4.9	Complément au chapitre 5.7.4 Traitement des parties étrangères et des unités complexes	27
4.10	Complément au chapitre 5.8 Remarques concernant le contrôle qualité	27
5	Liste des figures	28
6	Liste des tableaux	28
7	Bibliographie	29
8	Contrôle des versions	30

1 Indications concernant la phase préparatoire

1.1 Complément au chapitre 2.2.4 Communication

La priorité est donnée à la communication avec les personnes directement concernées (propriétaires fonciers et exploitants). Une communication active et dense permet de mieux faire comprendre le but de la cartographie et facilite les travaux de terrain, notamment la mise en place des fosses pédologiques.

La première information de ces personnes se fait par écrit lors du démarrage du projet, avant que les surfaces soient visitées pour la première fois. Ce courrier devrait contenir les informations suivantes (Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn 2017 p. 25, avec compléments) :

- mandat, le cas échéant avec mention de la base légale ;
- utilisation prévue et utilité de la carte ;
- indications concernant la publication des résultats ;
- périmètre (avec carte) ;
- date du début et de la fin des travaux de cartographie ;
- procédure, présentation des diverses phases de travail ;
- demande d'autorisation pour les profils de sol, explication de la fonction des profils ;
- indication du montant de l'indemnisation pour une fosse pédologique ;
- indication d'une personne de référence.

La mention de la personne de référence est importante, car l'expérience montre qu'il faut s'attendre à de nombreuses réactions ou questions (par téléphone) après l'envoi d'un courrier d'information.

En fonction de la durée du projet, il peut être utile d'envoyer un second courrier d'information, par exemple lorsque la phase des profils et la phase de cartographie n'ont pas lieu la même année. L'autorisation des sites pour les fosses pédologiques se fait de préférence par oral, idéalement sur place ou à l'aide d'un plan. Les événements d'information ou les visites sur place peuvent s'avérer judicieux pour la présentation de résultats intermédiaires ou finaux. Les événements d'information sont organisés de préférence durant la phase des profils.

1.2 Complément au chapitre 2.2.4 Communication : indemnités versées pour les fosses pédologiques

Il est usuel d'indemniser les exploitants pour les fosses pédologiques : les montants concernés sont généralement versés directement par la DPM (voir aussi Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn 2017, p. 7). Pour les exploitants concernés, cette indemnisation est généralement très importante, si bien que son montant devrait être fixé et communiqué tôt dans le projet.

Il s'agit d'une part d'une indemnisation pour perte de rendement. Son montant est défini en fonction de la culture affectée et de la durée de la perte de rendement. L'indemnisation couvre d'autre part les dépenses liées aux travaux d'entretien. En font partie :

- la mise en place d'une clôture autour d'une fosse pédologique située dans un pâturage ;
- le réensemencement lorsque le premier semis après la fermeture de la fosse n'a pas bien repris (p. ex. en cas de fermeture à la fin de l'automne ou en hiver) ;
- le nivellement des tassements naturels dans la phase qui suit la fermeture de la fosse.

Il n'y a pas normalement d'indemnisations individuelles, on détermine une valeur moyenne pour une zone de grande ampleur. Des exceptions sont possibles lorsque :

- l'état des fosses pédologiques (autant ouvertes que fermées) varie fortement au sein du même périmètre ;
- des cultures spéciales de valeur particulièrement élevée sont affectées ;
- un travail considérable est requis de la part de l'exploitant.

1.3 Complément au chapitre 2.3.1 Choix de l'échelle

Estimation des journées de travail de terrain nécessaires en fonction de l'échelle

Tableau 1. Estimation des journées de travail de terrain (JT) nécessaires en fonction de l'échelle

Échelle		Conditions optimales en terrain ouvert	Conditions suboptimales en terrain ouvert	Conditions optimales en forêt	Conditions suboptimales en forêt
1:2 500	Sondages/JT	35	20	30	18
	JT/100 ha	46	80	54	89
1:5 000	Sondages/JT	30	18	28	15
	JT/100 ha	14	23	15	27
1:10 000	Sondages/JT	20	10	16	8
	JT/100 ha	5	10	7	13

Il n'y a pas de lien linéaire et direct entre l'échelle de cartographie et la durée du travail de terrain.

Les conditions sont optimales lorsque :

- le travail de terrain est possible avec une tarière légère (tarière Edelman, tarière gouge) ;
- la desserte est bonne et les surfaces sont directement accessibles ;
- les conditions météorologiques et d'humidité du sol sont idéales.

Les valeurs indiquées dans le tableau 1 pour les jours de travail de terrain sont des moyennes empiriques tirées de cartographies précédentes. Elles reposent sur les hypothèses suivantes :

- le travail de terrain est possible durant environ 30 semaines par an (si on déduit les vacances, les jours fériés, les jours d'hiver où la lumière est mauvaise, les jours d'été où le sol est trop sec, les autres périodes défavorables) ;
- taux d'occupation hebdomadaire : 3 jours de travail (sur la durée, il n'est pas possible de travailler plus de 3 jours par semaine sur le terrain sans risque pour la santé) ;
- un maximum de 90 jours de travail sur le terrain par année civile et par personne est donc réaliste ;
- le temps de travail sur le terrain doit être réparti entre la phase de conception, la phase des profils et la phase de cartographie.

Les cartographies en forêt requièrent plus de temps pour le travail de terrain en raison de la topographie plus accidentée (ravins, pentes plus raides), des conditions de sol plus complexes et de la vue limitée du relief. D'autres obstacles à la praticabilité sont par exemple les ronces impénétrables, le bois mort à terre et les fourrés.

Choix de l'échelle en terrain accidenté

Si une grande partie du périmètre de cartographie est en terrain pentu, on envisagera éventuellement de modifier la densité des sondages. On devrait tenir compte de la surface effective plutôt que de la surface horizontale. Le tableau 2 montre comment la surface effective s'accroît lorsque la pente augmente. Aucune correction n'est requise tant que la pente ne dépasse pas 25 %, car la différence entre surface horizontale et surface effective est alors faible.

Tableau 2 : Aire effective d'une surface horizontale de 100 ha en fonction de la pente, pour diverses formes de terrain.

Pente en %	Formes de terrain	Aire effective en ha
10	a,b,c,d,e	100,5 (+0,5 %)
15	f,g,h,i	101,1 (+1 %)
25	j,k,l,m,n	103,1 (+3 %)
35	o,p,q,r	105,9 (+6 %)
50	s,t,u,v	111,8 (+12 %)
70	w	122,1 (+22 %)

1.4 Complément au chapitre 2.3.3 Aspects juridiques : travaux de fouille

Détails concernant l'ordonnance sur les travaux de construction (Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (RS 832.311.141, OTConst 2021) :

- Les fosses pédologiques entrent dans la catégorie des « travaux dans les fouilles, les puits et les terrassements » (art. 2).
- Le port du casque de protection est obligatoire pour les « travaux exécutés à proximité de grues, d'engins de terrassement et de machines pour travaux spéciaux utilisées en génie civil », de même que lors « du creusement de fouilles et de puits ainsi que des terrassements » (art. 6).
- Lorsque la hauteur de chute est de 2 mètres ou plus, une protection latérale doit être construite ; aux abords des fouilles pour la construction de conduites, une bonne signalisation suffit (art. 23).
- Les fosses ne doivent pas présenter de danger par « éboulement de matériaux ». Les fosses profondes de plus de 1,5 mètre qui ne sont pas étayées ou blindées doivent être talutées ou assurées par d'autres mesures adéquates (art. 68).
- Les fouilles qui doivent être accessibles pour la pose de conduites et dont la profondeur est supérieure à 1 mètre doivent être larges d'au moins 60 cm (art. 69).
- Les matériaux d'excavation doivent être entreposés à au moins un mètre de la fosse (art. 71).
- Dans les fosses et les puits d'une profondeur allant jusqu'à 5 mètres, on peut recourir à des échelles en lieu et place d'escaliers (art. 73).
- Les parois verticales ne sont admises que lorsque le matériau du sol est stable et que les eaux de pente ou d'infiltration ne peuvent pas porter atteinte à la stabilité (art. 75 et 76b).

2 Indications concernant la phase conceptuelle

2.1 Complément au chapitre 3.4.1 Formulation d'hypothèses et d'unités conceptuelles

Indications concernant les méthodes géostatistiques

Le recours aux analyses géostatistiques complexes (clustering) ne fait pas encore partie du standard de cartographie établi, mais il présente un potentiel important pour une approche conceptuelle plus systématique et mieux reproductible. Si ce type de soutien fait ses preuves, il est envisageable que les analyses soient automatisées à l'avenir (boîte à outils, plugin pour logiciels de SIG). On peut imaginer que les cartographes entrent les critères d'analyse et puissent ainsi produire eux-mêmes les données dérivées souhaitées.

Les personnes qui créent la carte conceptuelle peuvent se faire aider par des méthodes géostatistiques. Les gains en information suivants sont possibles :

- a) Le recours à des données pédologiques plus anciennes permet de déduire des relations entre facteurs pédogénétiques, qui facilitent la compréhension de la pédogenèse dans le secteur (évaluation de l'importance des variables dans des modèles complexes).

- b) Les données de référence disponibles (géodonnées) permettent de déduire des secteurs présentant les mêmes facteurs pédogénétiques, ce qui aide à former des unités conceptuelles dans le secteur à cartographier (méthode du clustering).

La plus-value de ces méthodes réside dans l'appui systématique et reproductible qu'elles fournissent.

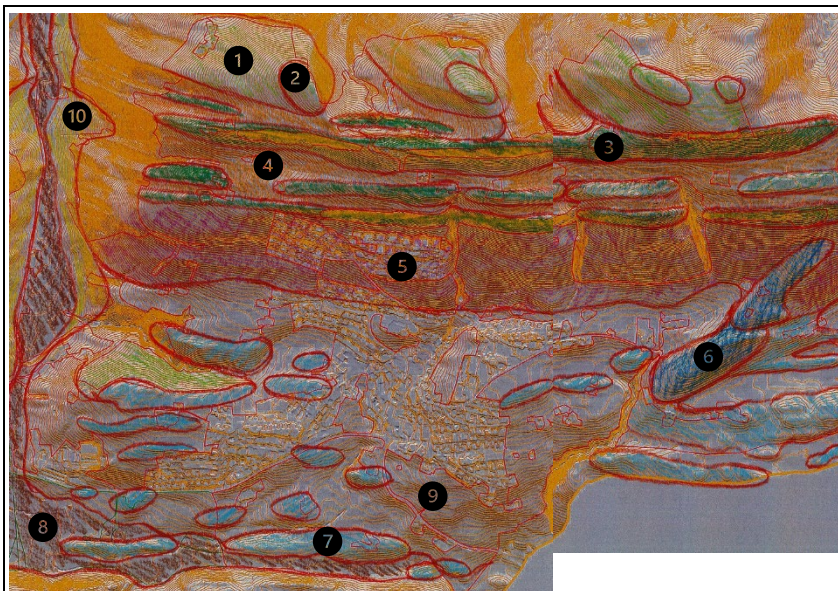
Les cartographes doivent indiquer aux personnes qui procèdent à l'analyse géostatistique les critères permettant d'évaluer des zones à pédogenèse similaire (pour le point b). Exemple : un-e cartographe indique que le secteur concerné se caractérise par de légères bosses et dépressions dont le diamètre est d'environ 100 à 150 mètres, avec en sus quelques zones en forte pente. L'analyse géostatistique se fondera ainsi majoritairement sur des bosses et dépressions, ainsi que sur la pente.

Les analyses géostatistiques requièrent en outre des renseignements sur la variabilité du secteur à cartographier, afin de pouvoir estimer le nombre de zones présentant une pédogenèse identique.

Les analyses géostatistiques sont ensuite utilisées par le ou la cartographe pour produire la carte conceptuelle ; si nécessaire, elles peuvent être adaptées par itération.

Indications concernant la formulation d'hypothèses

La figure 1 présente un exemple de produit de la formulation d'hypothèse sous la forme d'un croquis fait à la main, conformément au chapitre 3.4.1 du manuel KA23. Dans une première étape, des unités conceptuelles hypothétiques ont été délimitées sur la base du terrain, de la géologie et de l'exposition.



LÉGENDE

- | | |
|---|--|
| 1 Molasse exposée à l'ouest, bosse érodée : cB, cO. | 6 Cordon morainique : cO, gB, fB. |
| 2 Molasse exposée à l'ouest : gB, fB, bB. | 7 Bancs de molasse interrompus orientés NE-SO avec couverture de moraine : gB, fB, cO. |
| 3 Banc de molasse exposé NE-SO : cO, gB, fB. | 8 Colluvion, dépression sans écoulement enrichie en substances organiques : kB, lB, tV, uV |
| 4 Dépression entre bancs de molasse, colluvions de molasse et de moraine : kB, lB, bB. | 9 Versants de moraine orientés sud-est : fB, kB, tV. |
| 5 Versants exposés au sud-est, limons de pente issus de moraine et molasse, avec molasse en dessous : kB, lB, fB, cB. | 10 Dépôts torrentiels et limons de pente : bB, kB. |

Figure 1 : Résultat possible de la formulation d'hypothèses avant la visite de reconnaissance. Dans cet exemple, le terrain, la géologie et l'exposition ont permis de délimiter dix unités conceptuelles (fond de carte constitué de l'ombrage du relief et des courbes de niveau) : on part de l'idée que ces unités sont homogènes du point de vue pédogénétique ou qu'elles sont en tous les cas liées.

Lors de la planification de la visite de reconnaissance, on prend note des sites qui se prêtent bien à la vérification des hypothèses et sont accessibles pour une pelle mécanique, comme l'illustre la figure 2 : les numéros indiquent des sites où les unités conceptuelles décrites dans la figure 1 peuvent faire l'objet d'un sondage. Il vaut la peine de vérifier à l'aide d'un plan des parcelles et d'une liste des exploitants que les sites appartenant à une même unité conceptuelle ne sont pas tous sur les terres d'un seul exploitant. En effet, si ce dernier refusait la creusement des profils, il serait alors plus difficile de trouver des sites de substitution.

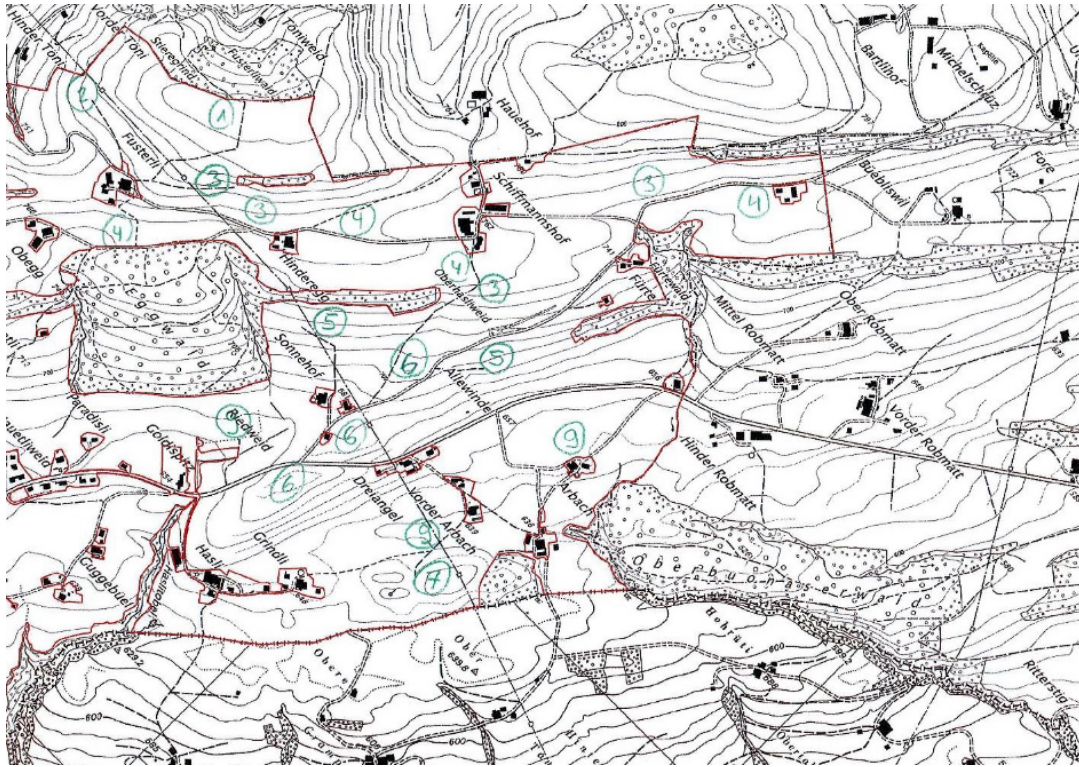


Figure 2 : Plan d'ensemble avec indication des sites où les unités conceptuelles de la figure 1 peuvent faire l'objet de sondages. En prévision de la phase des profils, ces sites sont choisis de manière à être accessibles aux engins de sondage (pelles mécaniques).

Pour vérifier les hypothèses, outre l'approche ponctuelle, on peut également travailler le long de transects (voir glossaire). Pour cela, on cherche des zones appropriées – au préalable ou directement sur place – dans lesquelles on procède à plusieurs sondages le long d'un transect, à faible distance les uns des autres. La figure 3 en fournit un exemple. Par rapport aux sondages ponctuels, les transects fournissent un meilleur aperçu des formes et du type de transition entre sols (p. ex. si elle est abrupte ou graduelle). Les processus pédogénétiques peuvent aussi être mieux observés, par exemple l'engorgement croissant dans un versant lorsqu'on se déplace vers l'aval.

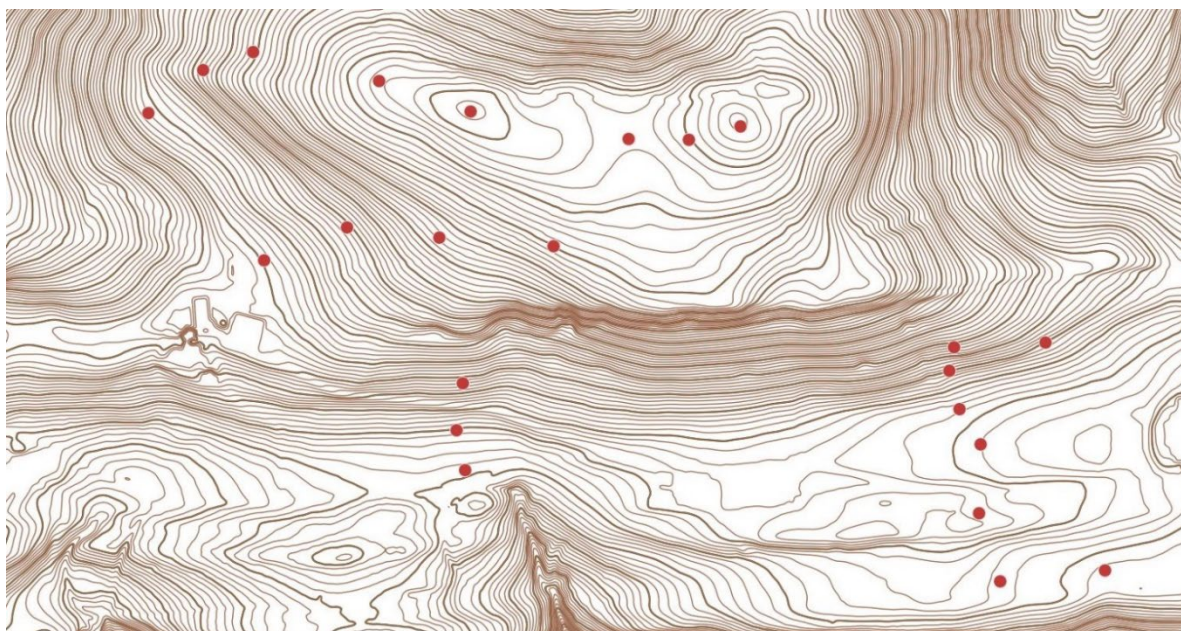


Figure 3 : Recours à des transects de sondages pour vérifier des hypothèses et établir les formes de transition du sol. Les sondages de reconnaissance sont signalés en rouge, les courbes de niveau à 1 m sont en brun.

2.2 Complément au chapitre 3.4.2 Visite de reconnaissance : sondages de reconnaissance

Les arguments figurant dans le tableau 2 peuvent renforcer la prise de décision concernant les variantes de saisie des sondages de reconnaissance.

Tableau 3 : Possibilités équivalentes de saisie des sondages de reconnaissance pendant la visite de reconnaissance, avec leurs avantages et inconvénients respectifs. L'avantage principal de chaque méthode est signalé en italique.

Saisie	Description	Avantages/inconvénients
Sur des plans ad hoc	Il peut s'agir par exemple d'une carte avec les unités conceptuelles ou les hypothèses décrites au préalable, typiquement à une plus petite échelle que le plan de terrain. Les coordonnées sont enregistrées par comptage de pas ou à l'aide d'un GNSS mobile (smartphone, p. ex.), les caractéristiques du site sont saisies dans un formulaire.	<ul style="list-style-type: none"> + <i>Vue d'ensemble optimale du secteur.</i> + Possibilité d'imprimer plus tard ces informations sur des plans de terrain. - Requiert une numérisation ultérieure du formulaire de saisie. - Requiert un transfert ultérieur des informations supplémentaires sur le plan de terrain.
Sur les plans de terrain	Lorsque les plans de terrain sont déjà disponibles au début de la phase conceptuelle (voir chap. 5.3.2 du manuel KA23). Les coordonnées sont enregistrées par comptage de pas ou à l'aide d'un GNSS mobile (smartphone, p. ex.), les caractéristiques du site sont saisies dans un formulaire.	<ul style="list-style-type: none"> + Perte d'information réduite entre la phase conceptuelle et la phase de cartographie. + <i>Base appropriée pour discuter avec les exploitants.</i> - Requiert une numérisation ultérieure du formulaire de saisie. - L'échelle est généralement trop grande pour une bonne vue d'ensemble.
Entièrement numérique	Des sites et des attributs sont enregistrés directement au moyen d'un appareil mobile (tablette ou éventuellement smartphone),.	<ul style="list-style-type: none"> + Possibilité d'imprimer plus tard ces informations sur des plans de terrain. + <i>Les informations de référence peuvent être affichées si nécessaire.</i> +/- <i>Changement de l'échelle représentée.</i> - Vue d'ensemble du secteur limitée par la taille de l'écran. - Il est difficile d'esquisser ou de noter des informations supplémentaires. - La réception du GNSS est mauvaise en forêt.
Combinaison	Les sondages et leurs coordonnées sont saisis avec un appareil mobile. Les sites et des informations supplémentaires sont en outre inscrits sur un plan.	<ul style="list-style-type: none"> + Copie de sécurité. + Bonne vue d'ensemble. + Dessiner des informations supplémentaires est aisé. - Matériel à double sur le terrain.

2.3 Complément au chapitre 3.5.2 Établissement de la carte conceptuelle

Les figures 4 et 5 montrent des exemples de cartes conceptuelles.

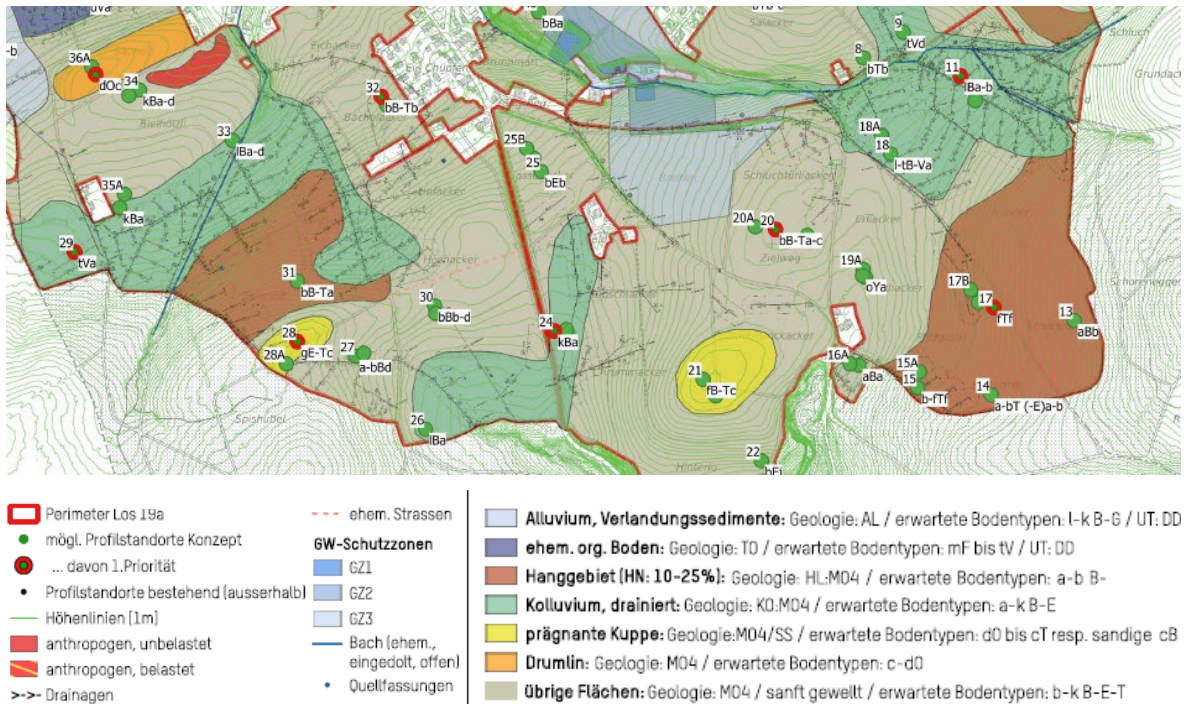


Figure 4 : Exemple d'une carte conceptuelle et sa légende pour des surfaces agricoles dans le canton de Soleure (T. Gasche)

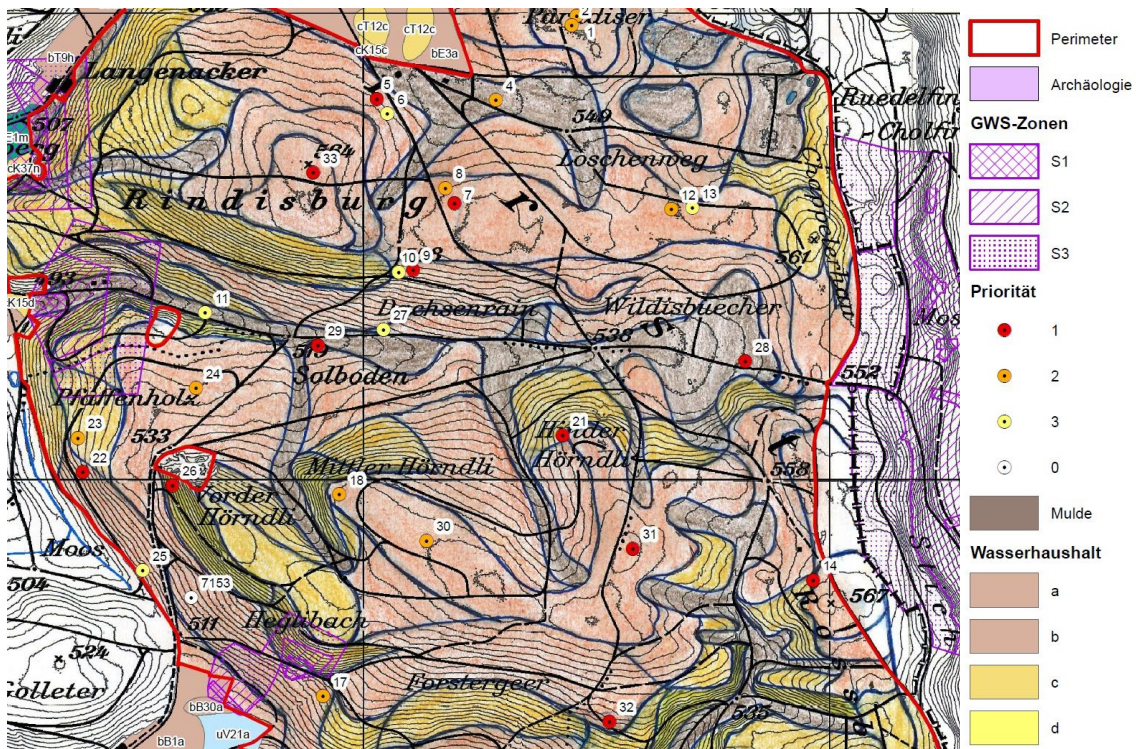


Figure 5 : Exemple de carte conceptuelle avec légende pour une zone de forêt dans le canton de Zurich (K. Baumgartner).

2.4 Complément au chapitre 3.6.1 Critères pour le choix des sites des profils représentatifs

Suivant le but de la cartographie, les profils représentatifs doivent être choisis en fonction d'autres critères que ceux énumérés au chapitre 3.6.1 du manuel KA23. Lorsqu'une cartographie servira à délimiter des surfaces d'assolement, par exemple, on accorde la priorité aux sites qui se situent dans les limites de classes pertinentes pour définir ces SDA.

Un nombre suffisant de sondages de reconnaissance permet de s'assurer que le secteur est couvert de manière complète et qu'il est possible de classer les profils représentatifs par ordre de priorité. Les sites de remplacement nécessaires (pour les cas selon la liste ci-après) peuvent ainsi rapidement être définis.

Points à prendre en compte dans tous les sites potentiels de profils représentatifs (Brunner et al. 1997, 7.1-1) :

- Il ne doit pas y avoir de conduites souterraines.
- Les profils situés dans des zones de protection des eaux ou dans des sites archéologiques requièrent éventuellement une autorisation spéciale (la durée de l'ouverture du profil peut être restreinte).
- L'accessibilité doit être garantie pour la pelle mécanique (et son véhicule de transport) :
 - la pelle mécanique est transportée par camion le plus près possible du site (jusque là où le terrain est stabilisé) ;
 - la végétation doit permettre l'accès et les manœuvres : les vergers intensifs, par exemple, ne sont pas appropriés (vérifier sur les photos aériennes).
- Éviter les ornières et les dégâts aux racines : sur les sols cultivés, les trajets doivent être droits et les plus courts possibles.
- Au moins 10 mètres de distance par rapport aux surfaces perturbées par l'activité humaine : en font notamment partie les bords de route, les talus, les chaintres des parcelles cultivées, etc.
- Exploitation de la surface : les cultures suivantes sont plus appropriées que d'autres pour les profils de référence (par ordre décroissant) :
 - prairie artificielle ;
 - terre arable (après la récolte des céréales ou légumes) ;
 - pâturage ;
 - prairie naturelle (prairie permanente).

Points à prendre en compte lors du choix des sites de profils représentatifs en forêt :

- Creuser les fosses dans l'espace situé entre les couronnes, à bonne distance des troncs environnants, de manière à éviter d'endommager des racines et éviter que celles-ci ne perturbent la paroi du profil.
- Rechercher des sites non perturbés et sur lesquels aucun véhicule n'a circulé (éviter les layons de débardage)
- Pour arriver au cœur des peuplements forestiers, utiliser les voies d'accès existantes pour les machines.
- Faire preuve de circonspection avec les surfaces de rajeunissement, le gibier, les éventuelles coupes de bois et les équipements de loisirs, afin d'éviter :
 - d'endommager les jeunes plants ;
 - de gêner l'exploitation forestière ;
 - de déranger la faune ;
 - de créer des problèmes de sécurité.

Établissement de l'ordre de priorité des sites potentiels de profils représentatifs

Les sondages de reconnaissance sont appréciés en fonction de leur aptitude à être utilisés comme site de profil :

- 1^{re} priorité : sites qui respectent au mieux tous les critères. Le nombre de sites de première priorité choisis correspond au nombre de sites prescrits pour les profils représentatifs.
- 2^e priorité : sites de substitution, qui remplissent également les critères. On dispose d'au moins un site de substitution de deuxième priorité pour chaque site de première priorité (exceptionnellement, il se peut qu'on n'a aucun site de substitution, par exemple dans les situations pédologiques particulières qui n'existent qu'en un endroit).

- 3^e priorité : autres sondages, qui ne se prêtent toutefois pas à la mise en place d'un profil représentatif.

L'ordre de priorité est établi par le ou la cartographe. Les sites potentiels des profils sont signalés comme tels sur la carte conceptuelle et dans la liste des sondages de reconnaissance, comme indiqué à la figure 6.

S'il s'avère qu'une fosse pédologique normale ne peut être creusée en certains endroits, on l'indiquera dans la liste des sondages. Motifs possibles :

- sol trop engorgé de manière permanente (impossibilité pour la pelle mécanique d'y circuler),
- pente du terrain trop forte (circulation de la pelle mécanique impossible et/ou danger d'érosion),
- remplacement possible par une ouverture dont la structure est favorable (limite de gravière, carrière, etc.).

Dans les deux premiers cas, on creusera un profil à la main. Les sondages ne constituent pas des solutions de remplacement équivalentes : on ne devrait y recourir que dans des cas exceptionnels.

Unité conceptuelle et forme de sol	Sondage de reconnaissance	Part de la surface
Versant, exposé au sud-ouest, moraine würmienne, bB à gB	24, 25, 29, 20, 21, 22, 56 28, 120, 121	Présent sur de grandes surfaces
Dépression, colluvion de moraine, kB à tV	-	Secondaire, présent seul sur de petites surfaces
Drumlin, colline de moraine, dO à cB	26, 27	Secondaire, présent seul sur de petites surfaces
Pied de versant, exposé au sud-ouest, aB à kB	73, 74, 75, 76	Diffusion faible à moyenne
Dépôts torrentiels, plaine alluviale, kB à wW	72	Diffusion moyenne, perturbations humaines de grande ampleur



Figure 6 : Subdivision du périmètre de cartographie en unités conceptuelles et choix des sites des profils. Les sites de 1^{re} priorité sont indiqués en rouge, les sites de substitution de 2^e priorité en jaune. En blanc, les sites de 3^e priorité, qui ne se prêtent pas au creusement d'un profil représentatif.

3 Indications concernant la phase des profils

3.1 Complément au chapitre 4.3.1 Relevé des conduites

Pour les conduites privées, en particulier, il est important d'interroger les exploitants et les propriétaires fonciers dès la visite de reconnaissance, ou au plus tard lors de la discussion portant sur

les sites. On ne dispose pas de plans pour toutes les surfaces, encore moins sous forme numérique (conduites non mesurées ou posées illégalement).

3.2 Complément au chapitre 4.3.3 Organisation de l'ouverture du profil

L'ouverture de profils dans un périmètre de protection des eaux souterraines est soumise à autorisation de l'office de protection des eaux du canton. La durée d'ouverture normalement ne peut pas dépasser un mois (voir annexe 4 de l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (RS OEaux, 814.201)).

En fonction de ce qu'a défini la DPM (information figurant dans le MP), c'est l'AK ou la DPM elle-même qui mandate l'entreprise de terrassement. Si les profils sont ouverts à la pelle mécanique, il faut rechercher une entreprise adéquate et réunir des offres. Lors du choix, on tiendra compte non seulement du prix offert, mais aussi de sa disponibilité temporelle, de son expérience du travail sur des sols agricoles et forestiers, ainsi que de son parc de machines (poids, taille, dimension de la pelle).

En forêt, il faut accorder une plus grande importance à la taille de la pelle mécanique qu'à son poids. La pelle doit en effet pouvoir se déplacer sans causer de dégâts à la végétation environnante.

Pour garantir un déroulement sans heurts, les sites des profils doivent être marqués au préalable et les voies d'accès signalées sur un plan d'ensemble (en tenant compte de la direction de circulation, des possibilités de faire demi-tour et du poids autorisé). Pour un flux d'information optimal, il est recommandé d'étiqueter les marquages (nom, projet, év. numéro de téléphone).

3.3 Complément au chapitre 4.4.1 Profils représentatifs

Tableau 4 : Comparaison de divers types d'ouverture (fosse pédologique, carotte, tarière) s'agissant de la description du sol et du prélèvement d'échantillons (adapté de Baize et Jabiol 2011, p. 26). Remarque : le tableau n'inclut pas le profil réalisé à la bêche, pour lequel on creuse à la bêche la couche supérieure du sol, afin d'ensuite prélever des échantillons dans les horizons inférieurs à l'aide d'une tarière hollandaise. Pour les couches/horizons sondés à la bêche, on procède aux mêmes estimations que pour les carottes obtenues à la machine, alors que les échantillons prélevés sont traités comme les matériaux obtenus à la tarière.

Critère	Type d'ouverture		
	Fosse pédologique ¹	Carottage mécanique	Tarière
Description	<ul style="list-style-type: none"> - Creusée à la pelle mécanique ou à la main. Ses dimensions ne sont pas fixes, sauf si le MP définit des exigences ou que les caractéristiques du sol limitent les possibilités. - La photo est parlante. - Permet la journée de calibration des profils. - Des indications sur la variabilité du site peuvent être formulées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Des tubes sont enfoncés dans le sol à la machine, par battage ou par rotation. Les carottes mesurent au moins 5 cm de large et 1 m de long (en un seul ou en plusieurs segments). - Les carottes peuvent être transportées et décrites en un autre endroit (attention : perte de qualité possible). 	<ul style="list-style-type: none"> - Sondage du sol (à la main) à l'aide d'une tarière hollandaise, d'une tarière gouge de type Pürckhauer ou d'une tarière gouge.
Limites entre horizons	Déterminables sans restriction ²	<ul style="list-style-type: none"> - Découpage des horizons : uniquement les limites « distinctes » et « nettes ». - Fom de la limite entre deux horizons : visible uniquement si les sinuosités sont « plus petites » que le diamètre de la carotte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Découpage des horizons : uniquement les limites « distinctes » et « nettes ». - La compaction due au sondage peut entraîner un déplacement des limites entre horizons.
Forme et taille de la structure	Déterminables sans restriction	Peuvent seulement être déduites ³ .	Peuvent seulement être déduites ³ .

¹ Plus une fosse pédologique reste ouverte longtemps, plus il devient difficile de décrire la couleur, la forme et la taille de la structure, ainsi que les caractéristiques hydromorphiques (assèchement de la partie supérieure, engorgement lié à la pluie).

² Comme, pour des raisons physiques, la paroi d'un profil ne peut être autre que verticale, il faut corriger l'épaisseur des horizons dans les profils creusés dans des terrains en pente, sans quoi cette grandeur sera surestimée.

³ Des artéfacts (structures en plaque, p. ex.) apparaissent lorsqu'on enfonce le tube de sondage (par battage ou rotation), et la structure naturelle est perturbée.

Critère	Type d'ouverture		
	Fosse pédologique ¹	Carottage mécanique	Tarière
Caractéristiques des terres fines : granulométrie, pH, couleur	Déterminables sans restriction	Couleur parfois difficile.	Couleur parfois difficile.
Matière organique : quantité, type ⁴	Déterminables sans restriction	Déterminables sans restriction	Quantité uniquement ; type imprécis.
Carbonates solubles : classe d'effervescence, limite des carbonates, efflorescences calcaires, tuf calcaire	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminables sans restriction - Limite des carbonates identifiable uniquement si sa profondeur ne dépasse pas celle du profil plus les éventuels sondages dans le sol du profil 	<ul style="list-style-type: none"> - Seules les classes de carbonates 3 à 5 sont identifiables (risque de résultats faussés dus à la rupture de cailloux ; impossible lorsque la pierrosité est élevée). - Limite des carbonate identifiable uniquement si elle est moins profonde que le carottage 	<ul style="list-style-type: none"> - Seules les classes de carbonates 3 à 5 sont identifiables (risque de résultats faussés dus à la rupture de cailloux ; impossible lorsque la pierrosité est élevée). - Limite des carbonate identifiable uniquement si elle est moins profonde que le sondage
Granulométrie et pierrosité	Déterminables sans restriction	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement granulométries < diamètre de la carotte - Risque de résultats faussés dus à l'éviction de cailloux - Perte de matériau possible (matériau sableux, pierreux ou mouillé) 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement pierrosité fine, estimation possible grâce à la résistance au sondage - Perte de matériau possible (matériau sableux, pierreux ou mouillé)
Composants (galeries de vers de terre, racines, morceaux de charbon, matériau étranger, etc.)	Déterminables sans restriction	Uniquement composants fréquents	Seule une évaluation qualitative est possible : présence ou absence des composants.
Matériau parental	<ul style="list-style-type: none"> - Parfois identifiable/déterminable si le substrat est visible ; détermination généralement possible avec des informations complémentaires (carte géol.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement si matériau parental univoque et sondable, et que l'on dispose d'informations complémentaires ; risque de confusion avec le squelette 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement si matériau parental univoque et sondable, et que l'on dispose d'informations complémentaires ; risque de confusion avec le squelette
Interventions humaines	<ul style="list-style-type: none"> - Généralement identifiables 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement si évident ou identifiable grâce à des informations complémentaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement si évident ou identifiable grâce à des informations complémentaires
Signes d'hydromorphie	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminables sans restriction 	<ul style="list-style-type: none"> - Tous - r seulement de manière limitée 	<ul style="list-style-type: none"> - Tous - r seulement de manière limitée

⁴ Quantité = teneur en matière organique en % masse ; type = matière organique anaérobie/aérobie ainsi que forme de structure organique (feutré, stratifié, etc.).

Critère	Type d'ouverture		
	Fosse pédologique ¹	Carottage mécanique	Tarière
		<ul style="list-style-type: none"> - cn, g, gg : identification possible en rompant la carotte et en observant les trainées laissées sur l'extérieur de la carotte - Niveau d'eau difficilement observable 	<ul style="list-style-type: none"> - cn, g, gg : identification possible en rompant la carotte et en observant les trainées laissées sur l'extérieur de la carotte - Niveau d'eau difficilement observable.
Niveau d'eau	Visible, mesurable ⁵	Pratiquement pas détectable	Pratiquement pas détectable
CQ externe de la description du sol	Possible sans restriction : la fosse pédologique peut être visitée et décrite une nouvelle fois si nécessaire.	<ul style="list-style-type: none"> - Dans le site désigné, seule une vérification sommaire à la tarière à main est possible. - Pour les carottes de section importante (> 10 cm), on peut conserver la moitié de celles-ci pour le CQ. 	<ul style="list-style-type: none"> - Seulement en répétant le sondage ou si la description de sol est faite ensemble
Prélèvement d'échantillons : sachet	Possible sans restriction	Possible seulement pour les horizons épais	Possible avec plusieurs sondages
Prélèvement d'échantillons : cylindre rigide	Dépend de la pierrosité, de la granulométrie, de l'humidité.	Difficile, possible tout au plus si les conditions sont optimales	Impossible

⁵ Plus une fosse pédologique reste ouverte longtemps, mieux on peut observer les variations du niveau d'eau.

3.4 Complément au chapitre 4.4.2 Exécution (ouverture des fosses pédologiques)

Lors de l'ouverture d'un profil en terrain plat, il faut choisir la meilleure orientation. Une paroi orientée vers le nord a l'avantage sèchera plus lentement, mais elle sera peut-être mal éclairée pour la documentation photographique (surtout en cas de contre-jour direct). Afin de garantir des conditions optimales de photographie du profil, on détermine l'orientation lors du marquage du site et planifie la documentation photographique en conséquence.

3.5 Complément au chapitre 4.5.2 Préparation et documentation photographique de la paroi du profil

La paroi du profil est préparée de haut en bas. On la prépare tout d'abord à la bêche de manière à obtenir une paroi aussi plane que possible : on aplanit les bosses et irrégularités créées par la pelle de l'engin. Si la paroi s'est asséchée, on élimine autant de matériau que nécessaire afin d'avoir à disposition une surface la plus fraîche possible pour la description. Les racines saillantes sont coupées à l'aide d'un sécateur.

Pour la préparation fine on utilise une bêche pliante, une petite pelle, une spatule et une balayette. Deux possibilités existent :

- Préparation de toute la surface : toute la paroi du profil est aplanie et préparée. On veille alors à ne pas faire apparaître de petites surfaces brillantes. Cette approche fournit des images du profil avec une surface homogène et des horizons entièrement reconnaissables.
- Préparation de la moitié de la surface : une partie de la paroi du profil est aplanie et préparée, alors que dans l'autre partie on essaie de rendre la structure visible ou au moins de produire une surface rugueuse. Les images du profil transmettent une impression des propriétés des matériaux.

Après la préparation, la paroi du profil est apprêtée pour la photographie. Ceci comprend :

- Création de conditions lumineuses homogènes : la paroi doit être entièrement à l'ombre ou au soleil. On attend pour cela le moment opportun ou on travaille avec des parasols. Les jours clairs mais avec une lumière diffuse se prêtent le mieux à la photographie.
- Humidification uniforme de toute la paroi : on utilise à cet effet une bouteille pulvérisatrice, afin de ne pas provoquer d'écoulements d'eau. On humidifie jusqu'à ce que la couleur ne change plus, mais sans créer pour autant de surfaces réfléchissantes.
- Indication de l'échelle au moyen d'un mètre : poser un mètre de la surface du profil jusqu'à son fond, en veillant à ce qu'il soit bien visible. Sont appropriés, les mètres à ruban en toile solide et avec des décimètres bien marqués (mètre de couturier, p. ex.).
- Nuancier (facultatif) : cela facilite le traitement ultérieur de l'image, par exemple pour la balance des blancs, et permet de mieux comparer les couleurs entre plusieurs images de profils.
- Trépied, réflecteurs, etc. (facultatif) : utiliser tous les accessoires voulus pour accroître la qualité photographique.

En fonction des instructions données par la DPM, on ajoute éventuellement une inscription. Il y a deux possibilités :

- Inscription dans l'image : un panneau identifiant le profil de manière univoque est posé au-dessus de la paroi ou fixé à celle-ci. Avantage : élimine pratiquement tout risque de confusion.
- Inscription ultérieure : l'inscription est ajoutée à la photographie après-coup, sous forme numérique. Avantage : il est possible de créer ainsi un étiquetage uniforme et bien lisible.

3.6 Complément au chapitre 4.5.5 Mesure du niveau d'eau

Le niveau d'eau peut fournir des informations sur le régime hydrique :

- eau présente uniquement après des précipitations : indice d'une nappe perchée ;
- eau revenant quelques heures ou quelques jours après vidange (en l'absence de précipitations) : indice d'une nappe permanente ;
- eau revenant après quelques minutes : indice d'une forte pression d'une nappe de pente ou d'eau souterraine ;
- certains horizons toujours dans l'eau : indice d'un horizon r ;
- certains horizons toujours humides : indice d'une remontée capillaire.

3.7 Complément au chapitre 4.6 Fermeture des profils pédologiques

La phase des profils complète dure au moins deux à trois semaines. Si l'on attend des résultats de laboratoire, il faut compter en tout au moins six semaines. Plus le nombre de profils représentatifs et d'échantillons est élevé, plus l'intervalle de temps entre l'ouverture et la fermeture des fosses sera long.

Lors de la fermeture de fosses en zone agricole, il est recommandé de tenir compte du calendrier d'exploitation et de coordonner le moment de la fermeture avec le semis ou la fauche.

Pour les profils représentatifs situés en zone de protection des eaux souterraines, il faut tenir compte de la durée de l'autorisation ou des dispositions concernant la durée de l'ouverture.

En forêt, il y a moins d'urgence à fermer la fosse : les profils peuvent donc généralement rester ouverts durant la phase de cartographie, permettant de se calibrer sur un profil à tout moment de cette phase, en particulier une fois les résultats de laboratoires disponibles.

Le tableau 5 fournit des indications sur le temps requis pour les étapes entre l'ouverture et la fermeture des profils.

Tableau 5 : Temps requis approximatif pour les étapes allant de l'ouverture d'un profil à sa fermeture, dans des conditions optimales.

Étape	Temps requis (journées de travail, JdT)
Ouverture des profils à la pelle mécanique (2 à 4 tonnes)	environ 12 à 18 fosses par JdT et par machine
Description des profils, prélèvement d'échantillons	environ 1 à 6 fosses par JdT et par personne
Évaluation par le CQ externe	environ 6 à 10 fosses par JdT et par personne
Analyses de laboratoire	dépend du nombre d'échantillons et du type d'analyses
Journée de calibration des profils	1 JdT
Examen des remarques du CQ externe	environ 1 à 6 fosses par JdT et par personne
Fermeture des profils à la pelle mécanique	environ 10 à 18 fosses par JdT et par machine

Dans le cas optimal, les étapes sont réalisées comme décrit dans le tableau 5. Mais dans les projets comptant un nombre élevé de profils représentatifs et une grande quantité d'échantillons, cela n'est en pratique guère possible.

- Dans les surfaces agricoles, cela engendre des conflits avec l'exploitation : lorsque plus de deux mois s'écoulent entre l'ouverture et la fermeture des profils, ceux-ci sont nettement moins bien acceptés.
- Un trop grand nombre de parois s'assèchent, il n'est plus possible de les décrire et de procéder au CQ avec des profils présentant une fraîcheur optimale.
- Les capacités des laboratoires sont dépassées (ce problème peut être atténué en décidant suffisamment tôt que les échantillons doivent être traités en priorité).

Lorsqu'une de ces situations se présente, on est souvent contraint de fermer le profil avant l'arrivée des résultats de laboratoire.

Végétalisation et remise en culture

- Dans les prairies artificielles et les prairies permanentes, la surface affectée doit être végétalisée. On utilise habituellement un mélange de semences pour prairies permanentes (Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn 2017, p. 41), en qualité biologique par simplicité.
- Veiller à semer au bon moment : si le semis est trop tardif (à partir d'octobre), il est possible qu'il ne lève plus et doive être répété au printemps. Si le semis est effectué au milieu de l'été, il peut dépérir en raison de la sécheresse et doit alors aussi être répété.
- Dans les surfaces écologiques, d'entente avec les services cantonaux compétents et l'exploitant, il peut être nécessaire de prélever la couche herbeuse par plaques et de la remettre en place lors de la fermeture du profil.
- Dans les pâturages, il faut en outre poser une clôture jusqu'à ce qu'une couche herbeuse solide se soit constituée.
- Sur les terres arables en friche, la revégétalisation n'est pas nécessaire ; dans les cultures existantes, elle est effectuée selon les souhaits des exploitants.
- Aucune végétalisation n'est effectuée en forêt.

4 Indications concernant la phase de cartographie

4.1 Complément au chapitre 5.3.2 Plan de terrain

Le tableau 6 compare les deux variantes de saisie sur le terrain (sur papier ou sous forme numérique).

Tableau 6 : Comparaison de la saisie des surfaces sur le terrain, sur papier ou sous forme numérique.

	Plan imprimé	Plan numérique
Production	Dans le SIG. Avec création d'un fichier d'indexation (mise en page pour impression).	Dans le SIG. Achat ou développement des outils de saisie (coût unique).
Support	Papier. Frais d'impression.	Modèle de saisie dans le SIG mobile sur tablette. Tablette résistante aux intempéries (et batteries de rechange). Abonnement de données (si solution en ligne).
Données de référence	Doivent être imprimées et emportées avec soi Coûts de mise en page et d'impression.	Peuvent être affichées au besoin.
Saisie/adaptation des unités cartographiques (forme)	Avec instruments de dessin et gomme.	Avec stylet numérique et outils d'édition dans le logiciel.
Saisie des unités cartographiques (contenu)	Sur le plan ou dans des formulaires de saisie, toutes les informations supplémentaires peuvent être notées (p. ex. indications des exploitants concernant des endroits humides).	Dans des tableaux d'attributs prédéfinis ; des informations supplémentaires peuvent être enregistrées si cela a été prévu. En forêt, la réception peut être mauvaise si la canopée est dense. Il peut en résulter une localisation imprécise.
Subdivision du périmètre	Requiert l'impression de copies supplémentaires du plan ou l'échange de plans de terrain entre les cartographes.	Pas de restrictions.
Harmonisation des limites	Sur le plan de manière sommaire, puis de manière définitive lors de la numérisation.	Par échange de jeux de données vectorielles.
Lieu de saisie	Sur le terrain et au bureau, par le ou la cartographe, division du travail possible (p. ex. pour la numérisation).	Sur le terrain, uniquement par le ou la cartographe (voir remarques sous le tableau).
Numérisation	Étape ultérieure. Numérisation puis géoréférencement de tous les plans.	Concomitante au travail de terrain.

Remarques :

- Lorsque la numérisation se fait directement sur le terrain, les journées de travail de terrain ne peuvent être planifiées de manière aussi flexible et le nombre d'hectares cartographiés par jour diminue (un plus grand nombre de journées sont nécessaires pour la même surface). Il y a plusieurs explications à cela :
 - Une journée de travail de terrain dure plus longtemps qu'une journée au bureau, car pour cette dernière aucun trajet n'est imputé.

- Plus le temps de séjour sur le terrain est court plus la part des coûts de déplacement est élevée. Du point de vue des coûts, les longues journées de terrain bien remplies sont plus efficaces que les journées de terrain plus courtes.
- En raison de la météo, certains jours ne se prêtent pas aux travaux de terrain.
- Lorsqu'on numérise sur le terrain, il n'est plus possible de confier ce travail à une main-d'œuvre meilleure marché.

4.2 Complément au chapitre 5.4.2 Localisation

Le tableau 7 propose une aide à la décision pour le choix de la méthode de localisation.

Tableau 7 : Comparaison des méthodes de localisation et de leur application à la cartographie des sols.

	Mesure par comptage de pas et point fixe	GNSS	GNSS avec cinématique temps réel (RTK) ou antenne supplémentaire
Précision	±10 m	Quelques mètres (en fonction de la végétation et du site)	Du mètre au centimètre (en fonction de la végétation et du site)
Application pour la cartographie	Sondages auxiliaires, délimitation d'unités cartographiques En forêt, également sondages standard	Sondages standard, profils représentatifs	Sondages standard, profils représentatifs.

4.3 Complément au chapitre 5.5.2 Procédure de délimitation des unités cartographiques

Les manuels de projet des cantons de Soleure et de Lucerne ont inclus jusqu'ici la « règle de la classe unique » : une unité cartographique est délimitée dès qu'un paramètre change de classe (Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern 2020, chap. 5.7; Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn 2020, p. 26). Lorsqu'on relève de nombreux paramètres à petite échelle dans des sols hétérogènes, son application systématique conduit toutefois à la création d'unités cartographiques de très petite taille ou d'unités complexes. Le problème de la « règle de la classe unique » s'intensifie encore avec les échelles cartographiques plus petites. Dans la pratique, les spécialistes s'en sont donc distancés et appliquent des délimitations en fonction de paramètres prioritaires.

La forme d'humus constitue un paramètre volatil qui peut varier dans le temps et sur de petits espaces (Rehfuess 1981). La forme d'humus et le peuplement forestier ne sont jamais utilisés pour délimiter des unités cartographiques. La forme d'humus du jeu de données surfaciques doit être représentative pour ce jeu de données, mais ne doit pas impérativement correspondre aux données ponctuelles de l'unité cartographique.

La figure 7 présente un exemple de délimitation d'unités cartographiques par la combinaison de plusieurs méthodes (voir aussi le tableau 11 du manuel KA23).

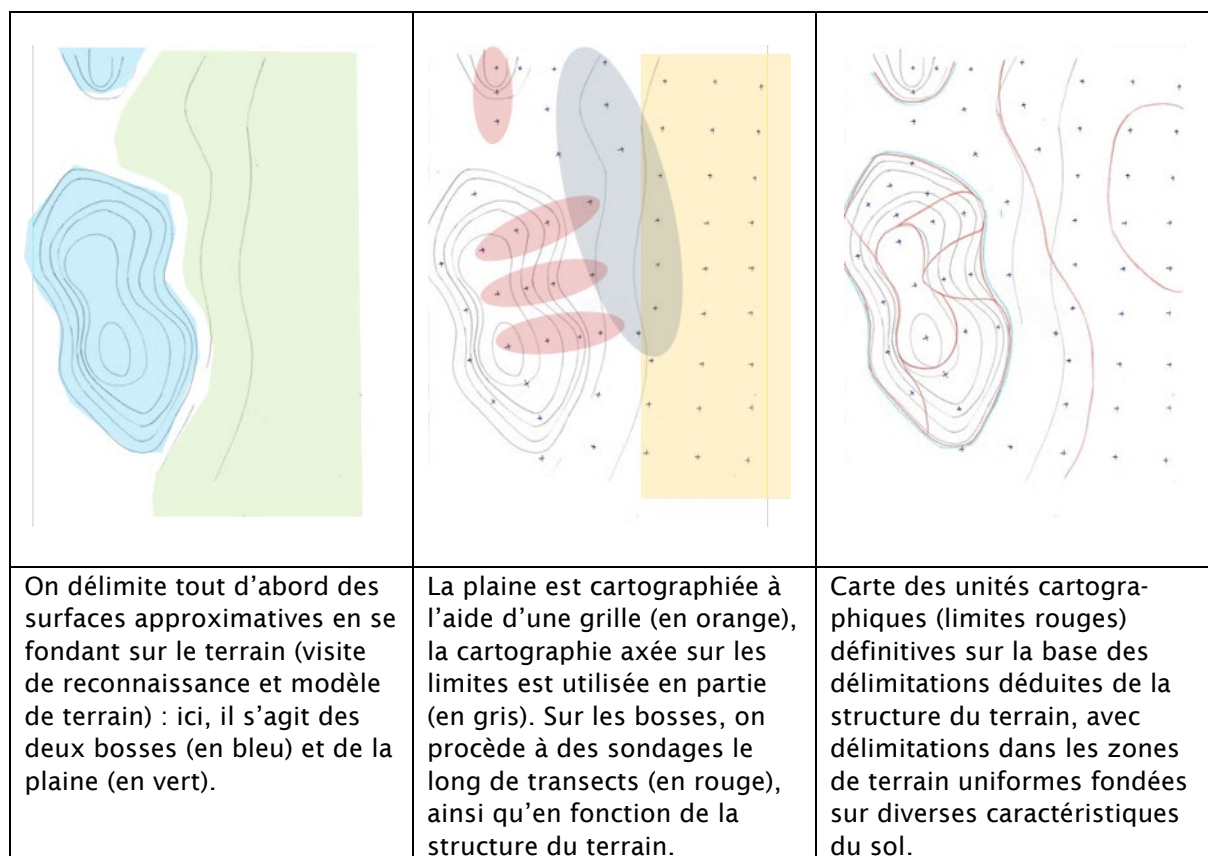
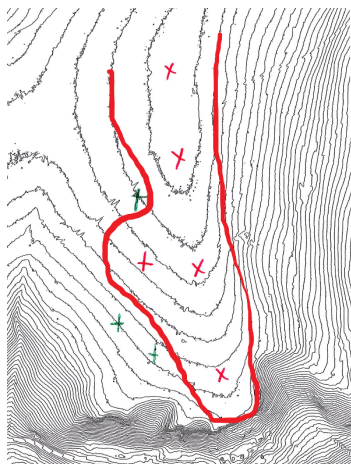


Figure 7 : Exemple de délimitation d'unités cartographiques par combinaison de différentes approches

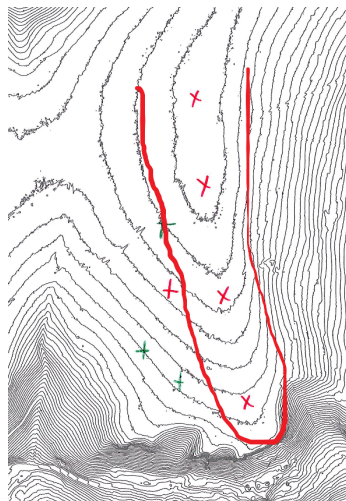
4.4 Complément au chapitre 5.5.3 Représentation des unités cartographiques

Lisibilité

On évitera d'établir des limites irrégulières ou d'enregistrer toutes les inclusions et exceptions (Blume et al. 2011) : les tracés des limites sont au contraire idéalisés et généralisés. La lisibilité devrait toujours constituer une priorité, comme l'illustre la figure 8. Les lignes en zigzag et les cassures doivent être évitées (Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich 2018, technisches Merkblatt Nr. 10).



Limite tracée de manière « obstinée » le long de sondages individuels.

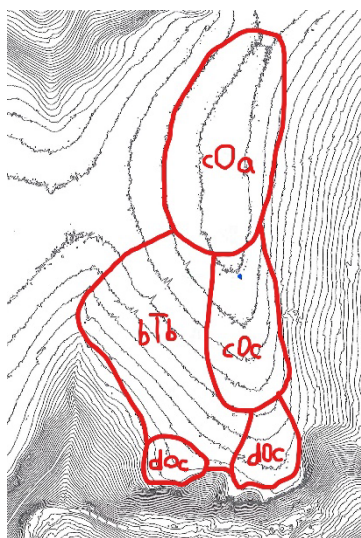


Limite généralisée en tenant compte du relief.

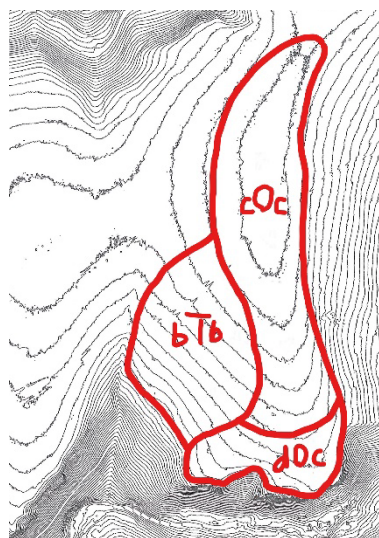
Figure 8 : Exemple imaginaire de tracé possible pour une limite avant la généralisation (à gauche) et après celle-ci (à droite).

Mise en contexte

L'unité cartographique doit être considérée dans son contexte. En d'autres termes, lorsqu'on établit la forme d'une unité, on prend en compte les unités voisines, en particulier lorsqu'elles appartiennent au même élément paysager. Ainsi, si l'on a un ensemble de plusieurs unités, toutes à forme convexe, mais avec des pentes variables, elles devraient avoir une limite extérieure commune si elles appartiennent à la même bosse (voir figure 9).



L'élément paysager « bosse » est « brisé » par des limites tracées de manière inopportune.

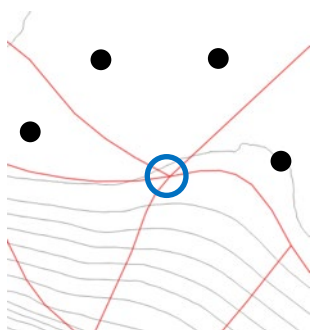


L'élément paysager « bosse » a été pris en compte lors du traçage des limites.

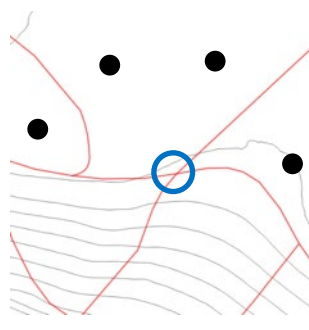
Figure 9 : Exemple de limites d'unités cartographiques qui, soit, prennent en compte le contexte (à droite), soit ne le font pas (à gauche).

Réduction des ambiguïtés

Chaque point d'une carte pédologique devrait pouvoir être attribué à une unité de la manière la plus univoque possible. Lorsqu'il existe plusieurs possibilités de tracer une limite, on devrait privilégier la variante qui crée le moins d'ambiguïtés. La figure 10 fournit un exemple dans lequel deux variantes sont possibles pour une même situation initiale (répartition des sondages), avec toutefois une variante plus ambiguë que l'autre (Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich 2018, technisches Merkblatt Nr. 10).



Variante 1 : Le point signalé en bleu peut être attribué à cinq unités cartographiques.



Variante 2 : Le point signalé en bleu ne peut plus être attribué qu'à quatre unités.

Figure 10 : Ambiguïté lors de la détermination des limites d'unités cartographiques. Les lignes rouges correspondent aux limites des unités, les points noirs aux sites de sondage. La variante 2 doit être préférée à la variante 1.

4.5 Complément au chapitre 5.6.2 Structure des données ponctuelles et surfaciques

C'est en principe la DPM qui opère le choix entre la variante à jeu de données surfaciques à deux couches et celle à trois couches, en se fondant sur des considérations économiques et informatiques. Si les banques de données ont la flexibilité requise, on pourrait toutefois imaginer d'enregistrer les informations en deux ou en trois couches au sein d'un même projet, en fonction des caractéristiques des unités pédologiques rencontrées. Il s'agirait là d'une procédure encore inédite.

4.6 Complément au chapitre 5.6.3 Jeu de données des sondages standard et des unités cartographiques : remarques concernant le relevé de SDA

Chaque canton est contraint de garantir un certain contingent de SDA, en fonction de sa taille et de ses caractéristiques géographiques et climatiques.

En vertu du principe 4 du plan sectoriel des SDA (Office fédéral du développement territorial ARE 2020), les cantons sont tenus de répertorier tous les sols de qualité SDA dans leur inventaire des SDA. Le principe 5 précise que les inventaires doivent être établis sur la base de données pédologiques fiables. Les cartes des sols doivent être présentées à l'échelle 1:5000 ou plus grande et faire l'objet de vérifications sur le terrain ; la consultation d'experts est impérative pour garantir la qualité. Le présent manuel KA23 tient compte des exigences définies dans le rapport explicatif du plan sectoriel des surfaces d'assolement : lorsqu'on cartographie en suivant le manuel, les données pédologiques obtenues répondent aux exigences du plan sectoriel.

Actuellement, les critères présentés au tableau 8 s'appliquent pour la délimitation des SDA : ils doivent être respectés pour désigner une surface en tant que SDA.

Tableau 8 : Critères pour la délimitation de SDA.

Critères SDA	Détails	À relever dans le cadre de la cartographie pédologique	Compétence
Zone climatique	A / B / C / D1-4	Non	Service cantonal (varie selon le canton)
Pente	≤ 18 %	Non	Service cantonal (varie selon le canton)
Profondeur utile pour les plantes	≥ 50 cm	Oui	Spécialiste chargé de la cartographie des sols
Polluants	≤ seuil d'investigation	Non	Service cantonal compétent
Superficie de la surface	Au moins 1 ha de superficie et forme adéquate de la parcelle	Non	Service cantonal compétent

Lors de la délimitation de la profondeur utile, les cartographes ne devraient pas se laisser influencer par les conséquences éventuelles que leurs décisions pourraient avoir pour la désignation de SDA. Un champ séparé doit être utilisé pour estimer si une surface est appropriée comme SDA (voir le tableau 13 du manuel KA23).

4.7 Complément au chapitre 5.7.1 Formes de sol différentes dans une unité cartographique

Tableau 9 : Les facteurs pédogénétiques, leurs catégories et leur variabilité naturelle au sein d'une unité cartographique (en référence à une échelle de 1:5000).

Facteur pédogénétique	Exemples de catégories du facteur	Exemple de variabilité naturelle (au sein d'une catégorie) dans une unité cartographique	Pertinence pour la classification et l'interprétation de l'unité pédologique
Matériau parental	Moraine, alluvions, craie lacustre	Une alternance de bancs de sable et de gravier dans des alluvions fait varier la pierrosité et la granulométrie.	Grande (voir tableaux 10 et 11)
Hydrologie / régime hydrique (groupe + classe)	Infiltration verticale / sol normalement perméable, sol à nappe perchée / pores rarement saturés jusqu'à la surface	Plusieurs sous-groupes de régime hydrique différents mais dont la classe et le groupe de régime hydrique sont identiques, p. ex. f et g (faible variabilité) ou f et h (grande variabilité)	Forte
Climat	Zones climatiques agricoles	Aucun (les différences au sein de la zone climatique – les micro-climats – sont plutôt le résultat du relief et d'autres facteurs pédogénétiques).	Aucune
Relief	Formes de terrain	La dépression correspond aussi bien aux formes de terrain d que h.	Aucune (on ne cartographie pas de différences de pentes).
Influence humaine	Aucun	Au sein d'une zone de remblai, on rencontre des compactations variables.	Modérée
Temps	Aucun	Stades de pédogenèse variables dans une marge proglaciaire alpine	Aucune (le gradient n'a guère d'influence dans un petit espace).
Végétation	Forêt, terre arable, prairie permanente	Formes d'humus variables en fonction du peuplement forestier	Faible (a généralement trop peu d'influence sur les caractéristiques du sol).

Tableau 10 : Tendance à la variabilité naturelle de divers matériaux parentaux dans la pédogenèse.

Variabilité faible / conditions homogènes	Variabilité moyenne	Variabilité forte / conditions hétérogènes
<ul style="list-style-type: none"> - Dépôts de loess - Dépôts lacustres - Alluvions de cours d'eau à écoulement lent (deltas, p. ex.) - Tourbe 	<ul style="list-style-type: none"> - Silicates : granite, gneiss, schiste - Molasse - Marne de molasse - <i>Deckenschotter</i> - Alluvions de cours d'eau formant des méandres 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépôts d'écroulements ou de laves torrentielles (granulométrie) - Alluvions de cours d'eau à écoulement rapide - Roche calcaire - Moraine

4.8 Complément au chapitre 5.7.2 Partie étrangère

Tableau 11 : Exemples de parties étrangères dans les unités cartographiques en fonction des facteurs pédogénétiques.

Facteur pédogénétique	Exemples de catégories du facteur	Exemple de partie étrangère dans une unité cartographique	Pertinence pour la classification et l'interprétation de l'unité pédologique
Matériau parental	Moraine, alluvions, craie lacustre	De la molasse affleure régulièrement entre des moraines de faible épaisseur.	Grande
Hydrologie / régime hydrique (groupe + classe)	Infiltration verticale / sol normalement perméable, sol à nappe perchée / pores rarement saturés jusqu'à la surface	Plusieurs sous-groupes de régime hydrique différents mais dont la classe et le groupe de régime hydrique sont identiques, p. ex. k et b	Grande
Climat	Zones climatiques agricoles	Plusieurs zones climatiques	Faible (seulement pour déterminer l'aptitude)
Relief	Formes de terrain	Succession de bosses et de dépressions sur une petite surface	Modérée (surtout si la profondeur utile s'en trouve fortement influencée)
Influence humaine	Aucun	Talus routiers en remblai	Modérée
Temps	Aucun	Aucun (les parties étrangères « temporelles » résultent d'autres facteurs tels que le matériau parental ou l'influence humaine).	Aucune
Végétation	Forêt, terre arable, prairie permanente	Épaisseur variable de la couche supérieure du sol dans les prairies permanentes et les terres arables.	Faible

4.9 Complément au chapitre 5.7.4 Traitement des parties étrangères et des unités complexes

Il faut faire preuve d'une grande retenue dans la délimitation d'unités complexes, car leur interprétation et leur utilisation sont difficiles pour les raisons suivantes :

- elles compliquent toutes les dérivations et les analyses fondées sur la carte pédologique. Par exemple, si celle-ci est utilisée pour délimiter des SDA, ce sont surtout les unités complexes qui contiennent des zones attribuées à diverses classes de SDA qui poseront problème ;
- toute opération d'intersection effectuées entre des couches d'information vectorielles est problématique : si la carte est croisée avec des plans de parcelles ou des périmètres de construction afin d'en tirer des informations pédologiques pour divers sous-surfaces, la répartition des parts étrangères est encore plus importante et incertaine ;
- la gestion des données des unités complexes exige beaucoup de travail pour la saisie, la vérification, la représentation, etc.

Il existe trois solutions cartographiques pour éviter activement la formation d'une unité complexe durant la phase de cartographie. Ces solutions sont présentées dans la figure 11 et décrites ci-dessous :

- on dessine la partie étrangère plus grande que sa taille réelle supposée, de manière à atteindre tout juste la taille minimale d'une unité cartographique propre (possible uniquement lorsqu'elle atteint déjà presque la taille minimale) ;
- on ne respecte délibérément pas la la taille minimale fixée ;
- on réunit artificiellement des surfaces de partie étrangère qui sont voisines mais physiquement séparées (« haltère »).

Ces possibilités n'entrent en ligne de compte que lorsque les parts étrangères peuvent être clairement localisées et distinguées des autres unités pédologiques. Si le mélange entre unités est diffus, il n'est pas possible d'éviter la création d'une unité complexe.

On évitera d'attribuer des valeurs moyennes dans le but d'uniformiser les unités cartographiques et de contourner les unités complexes.

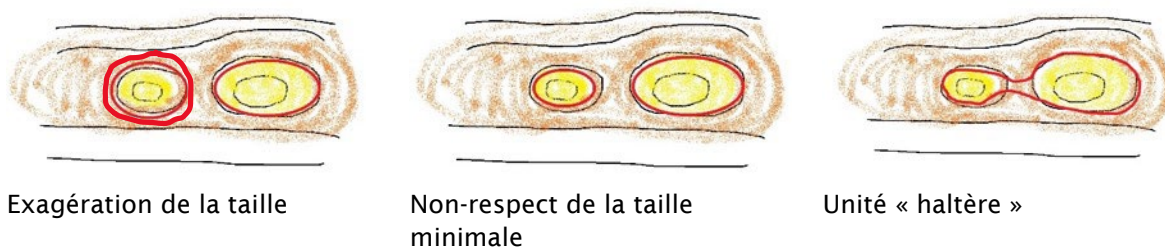


Figure 11 : Possibilités cartographiques d'éviter les unités complexes lorsque les parts étrangères peuvent être localisées de manière univoque.

4.10 Complément au chapitre 5.8 Remarques concernant le contrôle qualité

Il n'existe pour l'instant presque aucune expérience de CQ des jeux de données surfaciques combinés à des sondages standard enregistrés par horizons. Il faut créer des tableaux de données pour l'enregistrement des propriétés pédologiques par horizons dans les sondages standard et mettre au point le déroulement du CQ interne et externe pour la vérification des sondages standard saisis par horizons avec des données surfaciques enregistrées par couches.

5 Liste des figures

Figure 1 : Résultat possible de la formulation d'hypothèses avant la visite de reconnaissance. Dans cet exemple, le terrain, la géologie et l'exposition ont permis de délimiter dix unités conceptuelles (fond de carte constitué de l'ombrage du relief et des courbes de niveau) : on part de l'idée que ces unités sont homogènes du point de vue pédogénétique ou qu'elles sont en tous les cas liées.	7
Figure 2 : Plan d'ensemble avec indication des sites où les unités conceptuelles de la figure 1 peuvent faire l'objet de sondages. En prévision de la phase des profils, ces sites sont choisis de manière à être accessibles aux engins de sondage (pelles mécaniques).	8
Figure 3 : Recours à des transects de sondages pour vérifier des hypothèses et établir les formes de transition du sol. Les sondages de reconnaissance sont signalés en rouge, les courbes de niveau à 1 m sont en brun.	8
Figure 4 : Exemple d'une carte conceptuelle et sa légende pour des surfaces agricoles dans le canton de Soleure (T. Gasche)	10
Figure 5 : Exemple de carte conceptuelle avec légende pour une zone de forêt dans le canton de Zurich (K. Baumgartner).	10
Figure 6 : Subdivision du périmètre de cartographie en unités conceptuelles et choix des sites des profils. Les sites de 1 ^{re} priorité sont indiqués en rouge, les sites de substitution de 2 ^e priorité en jaune. En blanc, les sites de 3 ^e priorité, qui ne se prêtent pas au creusement d'un profil représentatif.	12
Figure 7 : Exemple de délimitation d'unités cartographiques par combinaison de différentes approches	21
Figure 8 : Exemple imaginaire de tracé possible pour une limite avant la généralisation (à gauche) et après celle-ci (à droite).	22
Figure 9 : Exemple de limites d'unités cartographiques qui, soit, prennent en compte le contexte (à droite), soit ne le font pas (à gauche).	22
Figure 10 : Ambiguïté lors de la détermination des limites d'unités cartographiques. Les lignes rouges correspondent aux limites des unités, les points noirs aux sites de sondage. La variante 2 doit être préférée à la variante 1.	23
Figure 11 : Possibilités cartographiques d'éviter les unités complexes lorsque les parts étrangères peuvent être localisées de manière univoque.	27

6 Liste des tableaux

Tableau 1. Estimation des journées de travail de terrain (JT) nécessaires en fonction de l'échelle	4
Tableau 2 : Aire effective d'une surface horizontale de 100 ha en fonction de la pente, pour diverses formes de terrain.	5
Tableau 3 : Possibilités équivalentes de saisie des sondages de reconnaissance pendant la visite de reconnaissance, avec leurs avantages et inconvénients respectifs. L'avantage principal de chaque méthode est signalé en italique.	9
Tableau 4 : Comparaison de divers types d'ouverture (fosse pédologique, carotte, tarière) s'agissant de la description du sol et du prélèvement d'échantillons (adapté de Baize et Jabiol 2011, p. 26). Remarque : le tableau n'inclut pas le profil réalisé à la bêche, pour lequel on creuse à la bêche la couche supérieure du sol, afin d'ensuite prélever des échantillons dans les horizons inférieurs à l'aide d'une tarière hollandaise. Pour les couches/horizons sondés à la bêche, on procède aux mêmes estimations que pour les carottes obtenues à la machine, alors que les échantillons prélevés sont traités comme les matériaux obtenus à la tarière.	14
Tableau 5 : Temps requis approximatif pour les étapes allant de l'ouverture d'un profil à sa fermeture, dans des conditions optimales.	18
Tableau 6 : Comparaison de la saisie des surfaces sur le terrain, sur papier ou sous forme numérique.	19

Tableau 7 : Comparaison des méthodes de localisation et de leur application à la cartographie des sols.	20
Tableau 8 : Critères pour la délimitation de SDA.	24
Tableau 9 : Les facteurs pédogénétiques, leurs catégories et leur variabilité naturelle au sein d'une unité cartographique (en référence à une échelle de 1:5000).	25
Tableau 10 : Tendances à la variabilité naturelle de divers matériaux parentaux dans la pédogenèse.	25
Tableau 11 : Exemples de parties étrangères dans les unités cartographiques en fonction des facteurs pédogénétiques.	26

7 Bibliographie

- Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich, 2018. Technische Merkblätter für die Bodenkartierung: Bodenkundliche Kartierung der Wälder mit sauren Böden / RRB 622/2013.
- Baize D, Jabiol B, 2011. Guide pour la description des sols ([Nouv. éd.]). Éd. Quae, Versailles, 1-429 p. (Savoir-faire).
- Blume H-P, Stahr K, Leinweber P, 2011. Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler (3., neubearbeitete Auflage.). Spektrum.
- Brunner J, Jäggli F, Nievergelt J, Peyer K, 1997. Cartographie et estimation des sols agricoles: Manuel de cartographie.
- Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern, 2020. Projekthandbuch, Teil II Kartiermethodik.
- Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn, 2017. Projekthandbuch, Teil II: Abläufe. Solothurn.
- Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn A für U, 2020. Projekthandbuch Teil III: Kartiermethodik: Kartiermethode FAL 24+. Solothurn.
- Office fédéral du développement territorial ARE, 2020. Plan sectoriel des surfaces d'assolement. Berne.
- Ordonnance sur la protection des eaux (RS 814.201, OEaux), 1998.
- Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (RS 832.311.141, OTConst), 2021.
- Rehfuess KE, 1981. Waldböden : Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. P. Parey, Berlin, Hamburg.

8 Contrôle des versions

Version	Date	Description	Auteur
1.0	7.9.2022	Déplacement de certaines sections du manuel KA23 dans l'Annexe 1	dm
1.0.	6.10.22	Corrections basées sur les remarques de Soilcom et AMBIO	dm
1.1	30.5.23	Adaptations et mise au net basées sur les modifications apportées au texte principal du manuel KA23	dm
1.1f	26.09.24	Version française	sc, cf, dm