



Projet pilote visant à développer la cartographie des sols à Prez-vers-Noréaz

Guide d'excursion

Centre de compétences sur les sols, septembre 2024

Contenu

	1	
1	Rétrospective sur les travaux réalisés et prévus	4
2	Programme	5
3	Carte du site	6
4	Groupes et déroulement des postes	7
5	Poste 1 : Déroulement du processus : terrain – laboratoire – cartes matricielles	10
	5.1 Prélèvement et préparation automatisés des échantillons (spectroscopie en laboratoire)	12
	5.2 Analyses spectroscopiques des propriétés des sols en laboratoire	14
	5.3 Création de cartes matricielles des propriétés des sols	16
6	Poste 2 : nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain I	19
7	Poste 3 : nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain II	21
	7.1 Cartes de base : classification du relief selon revKLABS	21
	7.2 Cartes matricielles (raster) dans Qfield – Propriétés des sols	21
	7.3 Saisie de polygones simplifiés dans Qfield	22
8	Poste 4 : Types de sol recensés à Prez-vers-Noréaz et création de cartes thématiques	24
	8.1 Profils pédologiques	24
	8.2 Classification des profils pédologiques	25
	8.3 Aperçu des cartes thématiques issues de la cartographie des sols	27
	8.4 Stockage de carbone dans la couche arable	28
	8.5 Potentiel des sols à accumuler du carbone sous une forme stable	29
	8.6 Aptitude agricole	30
	8.7 Aptitude des sols à l'irrigation	31
	8.8 Sites humides potentiels	32
	8.9 Sites secs potentiels	33
	8.10 Exemple d'évaluations de sols pour différents thèmes	34

Introduction

Chers participants et participantes



Développer et tester de nouvelles méthodes de cartographie des sols est toujours un défi : de nombreux nouveaux processus de travail sur le terrain et en laboratoire doivent être testés. Et même si les tests s'avèrent positifs : la question qui se pose encore est de savoir avec quelle efficacité et à quel coût ces nouvelles méthodes peuvent être intégrées dans le déroulement d'une cartographie des sols.

A Prez-vers-Noréaz, le CCSols réalise déjà son troisième projet pilote dans le cadre du développement de la cartographie des sols. Les travaux de terrain ont pu être achevés à l'été 2024 et les cartes pédologiques finales seront réalisées dans les prochains mois.



L'excursion d'aujourd'hui se concentre sur quelques nouvelles méthodes qui ont été utilisées à Prez-vers-Noréaz. En particulier, cette journée doit être l'occasion d'avoir un aperçu de la nouvelle palette d'outils de terrain qui pourront à l'avenir aider les pédologues sur le terrain.

Comme toujours lorsqu'il s'agit d'innovation, les nouvelles méthodes passent par différentes phases de développement, des premiers prototypes aux premières versions testées, jusqu'à la première version du produit destiné à une large utilisation. Les outils de terrain présentés aujourd'hui montrent un large éventail de possibilités permettant d'aider les travaux pédologiques sur le terrain à l'avenir. Ils en sont toutefois encore au stade de prototypes. Des efforts sont donc encore nécessaires avant qu'ils ne deviennent une première version du produit. L'excursion d'aujourd'hui montre toutefois que nous sommes sur la bonne voie.

Urs Grob et Marie Hertzog

1 Rétrospective sur les travaux réalisés et prévus

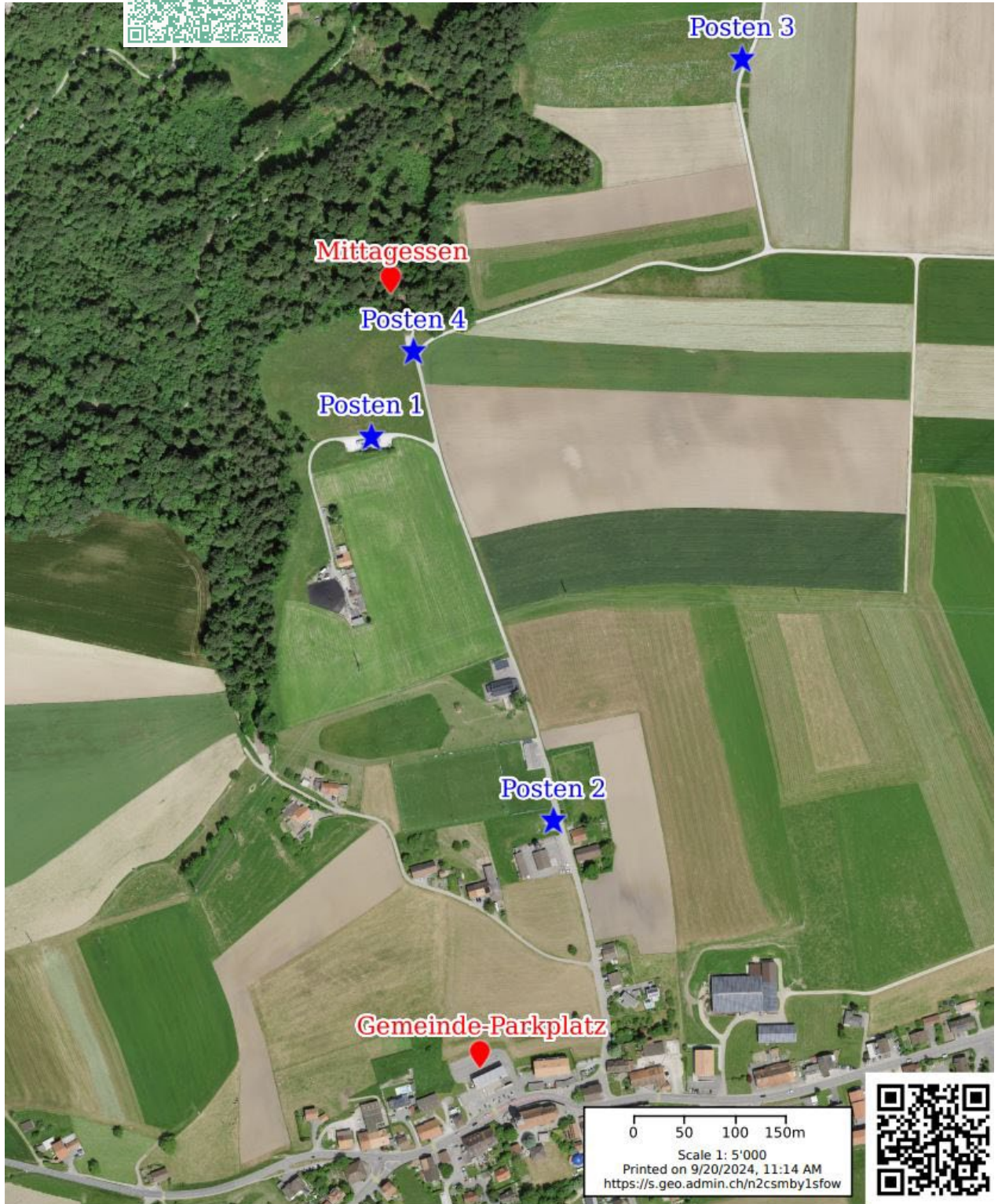


2 Programme

Programme	Horaire
Café de bienvenue	09:45 - 10:15
Accueil d'Armin Keller (CCSols) et de Christian Voegeli (chef du Centre de conseils agricoles de Grangeneuve, canton de Fribourg) <ul style="list-style-type: none"> Déroulement de la cartographie des sols et regroupement thématique des postes 	10:15
Course aux postes du 3e projet pilote du CCSols à Prez-vers-Noréaz	10:45
<u>Poste 1: déroulement des processus « terrain - laboratoire – cartes matricielles »</u> (Urs Grob, Emilie Carrera) <ul style="list-style-type: none"> Concept d'échantillonnage et système automatisé d'échantillonnage Préparation optimisée des échantillons en laboratoire Mesure spectroscopique des propriétés des sols en laboratoire Création de cartes matricielles (raster) des propriétés pédologiques 	
<u>Poste 2 : nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain I</u> (Marie Hertzog, Dominik Zahner) <ul style="list-style-type: none"> Travailler avec Soildat & QField Avancée des travaux de terrain sur QField Représentation en direct des données pédologiques dans QField 	<i>Pause de midi 12:15-13:00</i>
<u>Poste 3: nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain II</u> (Maxime Siegenthaler, Matthias Spieler) <ul style="list-style-type: none"> Nouvelle carte de base : classification du relief selon revKLABS Cartes matricielles des propriétés pédologiques dans QField Saisie simplifiée des polygones dans QField 	
<u>Poster 4 : types de sols à Prez-vers-Noréaz et création de cartes thématiques</u> (Gunnar Petter, Armin Keller, Emilie Carrera) <ul style="list-style-type: none"> Types de sols : fiches descriptives des profils pédologiques et des fonctions des sols Création de cartes thématiques 	
Discussions et conclusions	14:30
<i>Apéritif</i>	15:00

3 Carte du site

Lien:



4 Groupes et déroulement des postes

GROUPE A

Nom	Institution
Charmillot Kévin	Biotec
Deak Judith	4terres / OARC Neuchâtel (Office de l'archéologie cantonale)
Dietrich Fabienne	Canton de Vaud
Dürr-Auster Thilo	SEn Fribourg
Kern Vincent	BFH-HAFL
Matteodo Magalì	Canton de Vaud
Monsalve Julia	Basler&Hofmann
Obrist Frédéric	NIVALP
Petel Fabrice	Grangeneuve, Canton de Fribourg
Schlatter Frédéric	Canton du Valais
Stalder Yvonne	Directrice du Centre de services NABODAT
Viret Fanny	Canton du Valais

GROUPE B

Nom	Institution
Dür Michelle	sanu durabilitas
Geber Dominik	CCSols
Helfenstein Anatol	OFEV
Kendi Cwan	CCSols
Müller Dominik A.	Canton d'Argovie
Papzoglou Elisabeth	Service du sol (Bâle-Campagne)
Ramseier Lorenz	Canton de Berne
Riedi Jacqueline	BS-Ingenieure
Roger Köchli	WSL
Siegrist Julia	Soilcom GmbH
Stricker Benjamin	RWGEO
Voegeli Christian	Grangeneuve, Canton Fribourg

GROUPE C

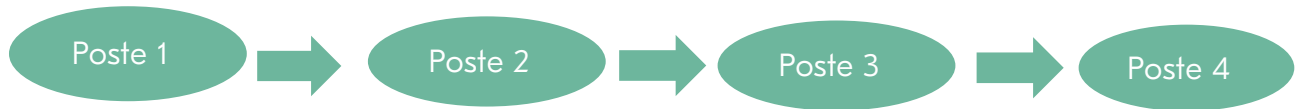
Nom	Institution
Fischer Maurus	Canton des Grisons
Gfeller Barbara	SEn Friburg
Gurtner Thomas	OFEV
Hämmerli Janina	Canton de Berne
Heim Alexander	Agroterraconsult
Heller Sandra	Impuls AG
Hunziker Oliver	Myx
Spycher Fiona	ARE
Stokar Marianne	CCSols
Zbären Alfred	GreenGround

GROUPE D

Nom	Institution
Ballesteros Nicolas	ARE
Hauert Christine	OFEV
Meier Selina	Sigmaplan AG
Messmer Tobias	CCSols
Rosat Pauline	Canton de Berne
Schädler Larissa	CSD Ingenieure
Suter Brigitte	Canton de Luzern
Zbären Anna-Lena	GreenGround
Zimmermann Michael	BLW

Déroulement des postes par groupe

Groupe A



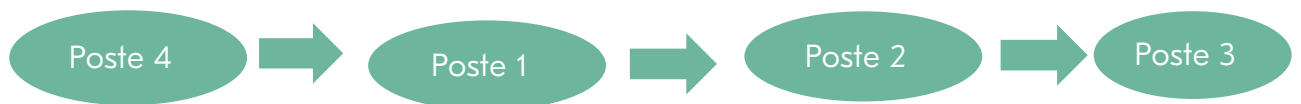
Groupe B



Groupe C



Groupe D



5 Poste 1 : Déroulement du processus : terrain – laboratoire – cartes matricielles

Concept d'échantillonnage pour les prélèvements utilisés pour la détermination des propriétés des sols

Idée de base

- Le changement du déroulement de la cartographie dans les projets pilotes du CCSols est actuellement en test. L'échantillonnage et les analyses spectroscopiques sont réalisés avant les travaux pédologiques sur le terrain.
- L'échantillonnage automatisé a lieu dès la phase conceptuelle.
- Pendant les travaux sur le terrain, les cartographes disposent de cartes de propriétés des sols contenant des données de bases telles que la répartition granulométrique (argile, limon, sable), le pH et la teneur en carbone pour différentes profondeurs.

Objectifs clés du concept d'échantillonnage

- Les points sont répartis non seulement dans l'espace géographique, mais aussi par rapport à la palette des caractéristiques du site dans des hexagones.
- L'éventail des caractéristiques pertinentes des cartes de base est couvert de manière optimale et les minima/maxima locaux sont pris en compte.
- Le concept d'échantillonnage a un niveau de détail flexible selon l'échelle (par ex. polygones plus grands, autre densité d'échantillonnage).
- Des zones de remplacement à l'attention des pédologues sont indiquées.

Procédure du concept d'échantillonnage pour les analyses spectroscopiques

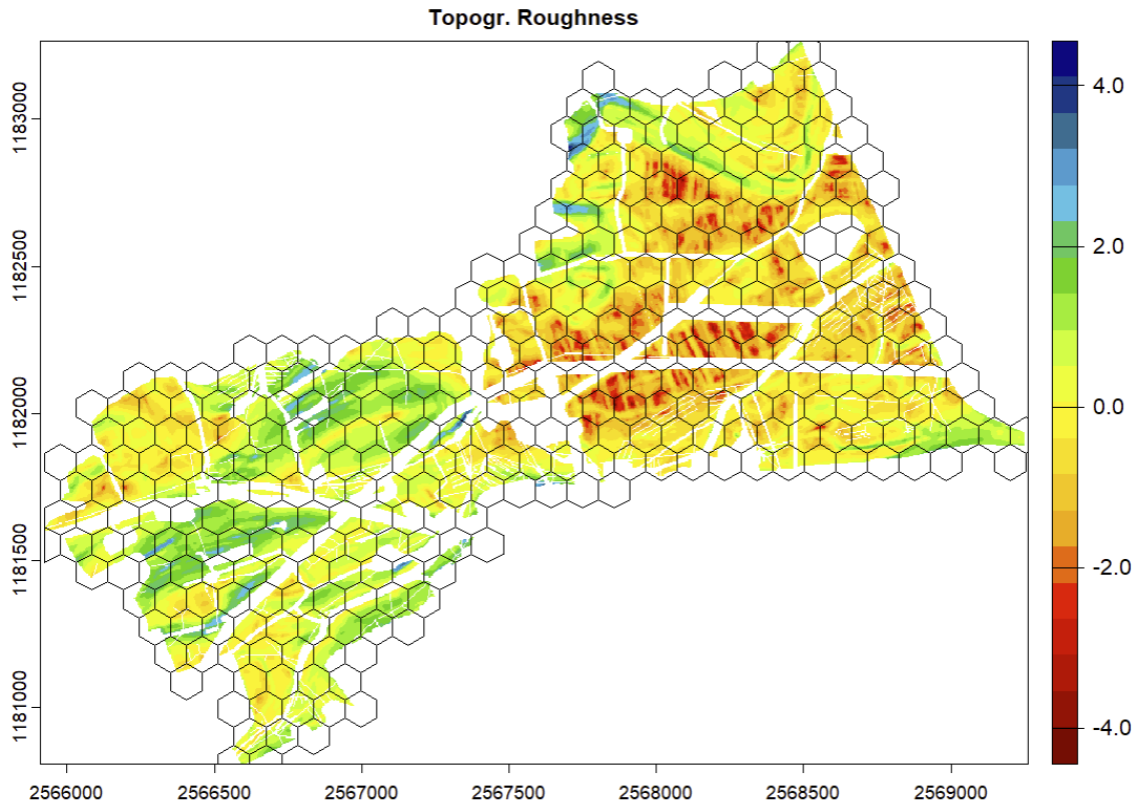
- Au début, le périmètre est défini et ajusté. Des tampons sont calculés automatiquement autour des maisons, des routes, des chemins, des plans de conduites, des drainages et d'autres objets.
- Les cartes de base utilisées pour le concept d'échantillonnage sont des dérivés (covariables) de données issues du relief et de la télédétection (paramètres du relief utilisés pour dériver l'accumulation locale et régionale de l'eau, régularité de la surface, utilisation du sol et variabilité à partir des séries temporelles Sentinel et Landsat, réflexion spectrale des surfaces non couvertes (« Bare Soil ») à partir des séries temporelles Landsat, géologie si la qualité est suffisante).

Tableau 1 : Cartes de base utilisées pour le concept d'échantillonnage à Prez-vers-Noréaz

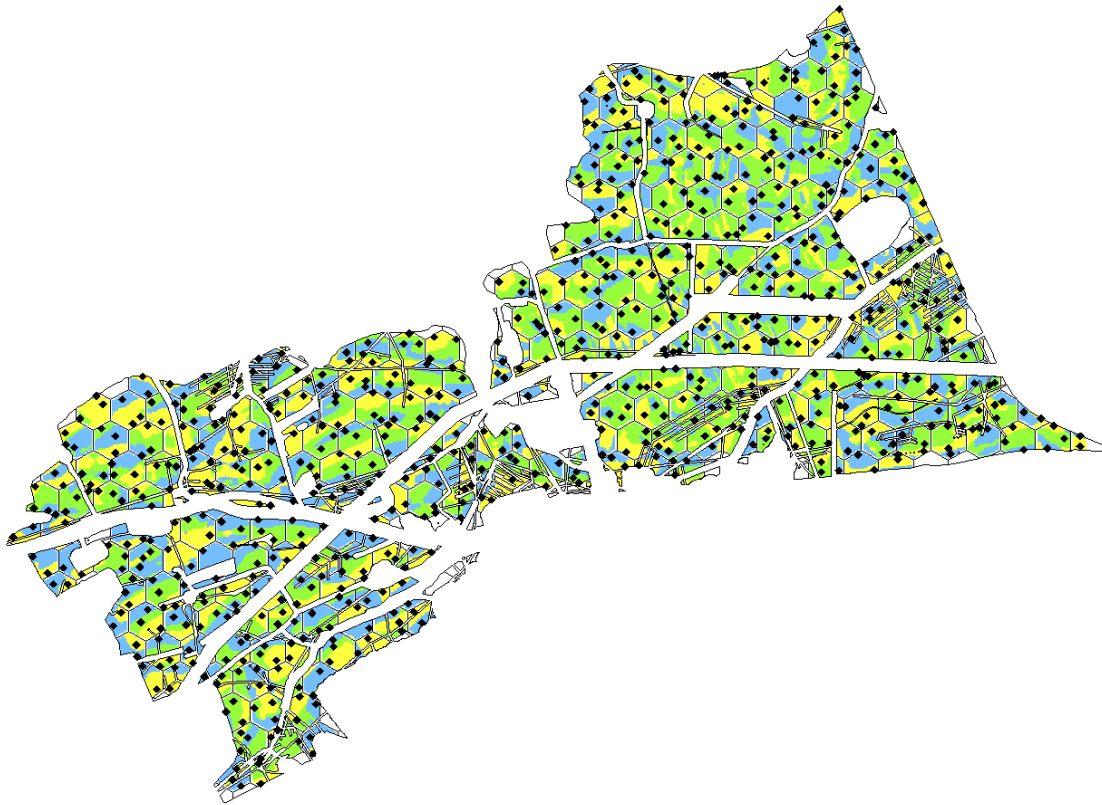
Paramètres	Abréviation
Accumulation locale de l'eau	Flow acc. local
Accumulation régionale de l'eau	Flow acc. regional
Régularité de la surface	Topogr. Roughness
Variabilité de l'utilisation du sol sur la base de données Sentinel	Sentinel NDVI SD
Variabilité de l'utilisation du sol sur la base de données Landsat	Landsat NDVI SD
Bande Bare Soil SWIR 2	• Bare Soil SWIR 2 Band

- La variation spatiale des différentes covariables est évaluée pour la zone. Les covariables dont la variation est la plus importante dans la zone sont sélectionnées (voir exemple de l'illustration de la régularité).

- Division systématique de l'espace géographique par une grille hexagonale, chaque hexagone représentant une surface de 1 ha. Elle sert à répartir les sites d'échantillonnage de manière uniforme dans l'espace de la zone d'étude.
- La palette des caractéristiques multidimensionnelles pertinentes de toutes les cartes de base est évaluée à l'aide d'une analyse cluster. Dans les cartes de base, une méthode combinée tenant compte des minimas et maximas locaux est utilisée pour chaque hexagone. De plus, il est garanti que les extrêmes soient extraits.
- Trois points de prélèvement sont proposés par hexagone. Les surfaces à l'arrière-plan représentent les surfaces de substitution respectives pour ces trois points (voir Figure « Concept d'échantillonnage final »).



Régularité de la surface normalisée selon des hexagones de 1 ha. Bleu : régularité de la surface élevée, rouge : régularité de la surface faible.



Concept d'échantillonnage final de Prez-vers-Noréaz pour les prélèvements destinés aux analyses spectroscopiques en laboratoire. Les surfaces à l'arrière-plan représentent les surfaces de substitution (trois au maximum) dans lesquelles il est possible d'échantillonner si cela n'est pas possible au point d'échantillonnage originel.

5.1 Prélèvement et préparation automatisés des échantillons (spectroscopie en laboratoire)

Prélèvement automatisé d'échantillons avec le système de sondage de Peters (D). A l'origine, le système a été développé pour l'échantillonnage des N-min (profondeurs standards 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm), puis adapté à la cartographie des sols en collaboration avec une entreprise de construction mécanique et la société Peters. Quatre profondeurs peuvent être échantillonnées automatiquement. Afin de compenser autant que possible les variations locales des propriétés des sols, des échantillons composites sont générés à partir de 3 piqûres par site. Ces échantillons composites par profondeur sont de petite taille et destinés aux analyses spectroscopiques en laboratoire. Pour les sondages destinés à la description pédologique, d'autres systèmes de sondage sont utilisés.





Figure : **Multiprob 120-UP-S (Peters)**

Diamètre [mm]	30
profondeur [cm]	100 (habituellement 90) Paliers de profondeur à Prez : 0-20 cm 20-40 cm 40-70 cm
Véhicule servant de support	Aebi TT
Fabricant	Bodenprobetechnik Peters GmbH (D)



La carotte est automatiquement divisée à des profondeurs prédéfinies et déversée dans des récipients en aluminium.

Avantages de ce système de sondage

- Le système de sondage permet un prélèvement d'échantillons rapide et automatisé.
- Le volume des échantillons est petit et, par conséquent, il y a moins de travail pour la préparation des échantillons en aval au laboratoire.
- La tour de sondage pivotante permet de prélever un échantillon composite à partir de plusieurs piqûres pour un site.
- Le système de sondage à percussion est extrêmement robuste et performant.
- Aucun (nouveau) véhicule porteur supplémentaire n'est nécessaire, car la tour de sondage peut être couplée à des véhicules agricoles au moyen de la « technique à trois points ».
- Les profondeurs à échantillonner peuvent être réglées de manière flexible.

Inconvénient de ce système de sondage

- Il a été constaté que, surtout dans les sols humides, la profondeur à échantillonner la plus haute n'est pas complètement vidée lors du processus de division de l'échantillon. Des corrections techniques sont en cours de réalisation avec la société Peters.

Laboratoire : préparation des échantillons (séchage, tamisage et broyage)

- Pour que la cartographie des sols soit financièrement avantageuse, il est possible d'optimiser les processus en laboratoire, et ce, surtout lorsque le nombre d'échantillons est important (avec des volumes relativement petits).
- En collaboration avec des partenaires externes, nous travaillons à l'optimisation des étapes de travail en laboratoire pour la préparation, le tamisage et le broyage des échantillons. Un premier prototype permettant une préparation et un tamisage rapides des échantillons est en cours de développement (voir illustration).
- Le broyage des échantillons a également pu être optimisé. Pour obtenir une bonne qualité de mesure lors des analyses spectroscopiques, le niveau de broyage des échantillons est décisif. Cela dépend du temps de broyage du sol contenu dans des capsules sur le système rotatif (12h, 24h, 48h ou plus). Afin d'estimer celui-ci, des séries de tests sont effectuées sur des échantillons pédologiques aussi différents que possible au niveau de leur granulométrie.



Prototype réalisant une préparation plus rapide des échantillons (à gauche), capsules avec pierres de broyage (au milieu) et système rotatif (à droite).

5.2 Analyses spectroscopiques des propriétés des sols en laboratoire

Procédure de base

- Pour certains sites sélectionnés, les échantillons pédologiques sont analysés à la fois à l'aide de la spectroscopie et par les méthodes d'analyse de référence conventionnelles (voir figure).
- Calibrage du modèle entre les spectres et les valeurs issues des analyses de référence.
- Analyse des spectres pour de nombreux sites et échantillons.
- Transfert de l'étalonnage du modèle à tous les échantillons pédologiques.

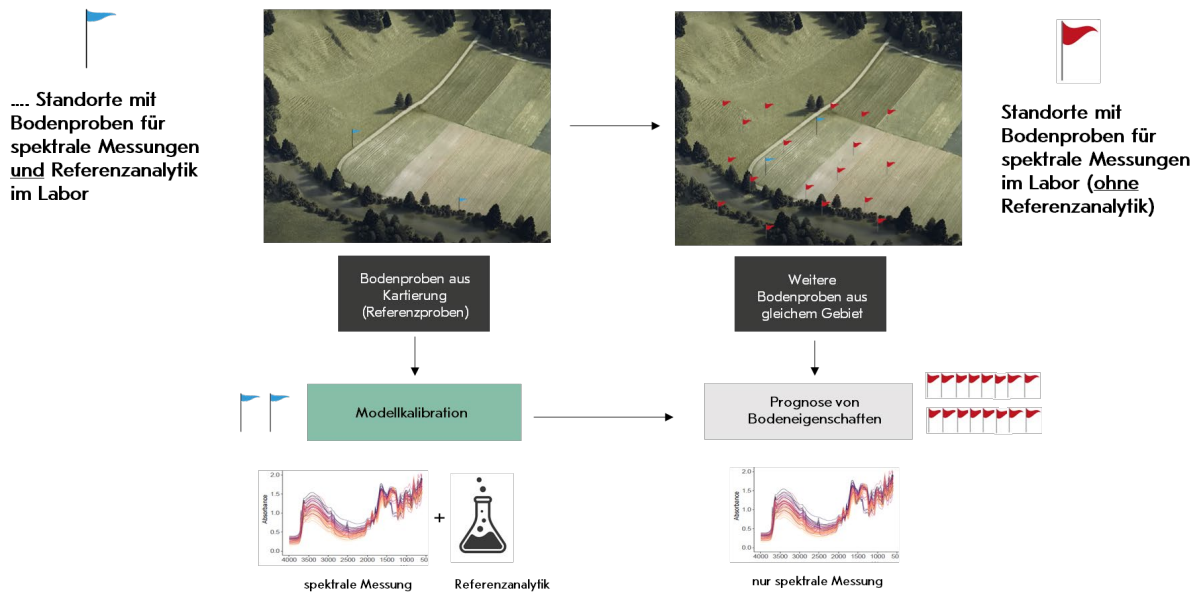


Figure : Procédure de base et utilisation de la spectroscopie pour la détermination des propriétés des sols.

Spectroscopie

- Convient pour : carbone organique (SOC), carbone total (TOC), texture (argile, limon, sable), capacité d'échange cationique (CEC), pH, fractions de la matière organique (labile, stable), teneur totale en azote, minéralogie et autres.
- Dans le premier projet pilote du CCSols, des mesures ont été effectuées à l'aide de l'infrarouge moyen (MIR) et l'infrarouge proche (NIR). Il s'est avéré que les résultats obtenus seulement avec le MIR étaient très bons.

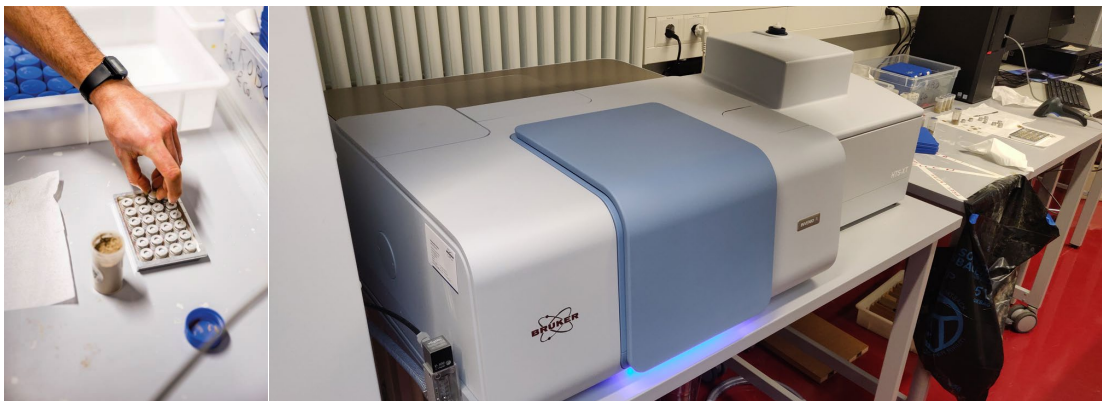
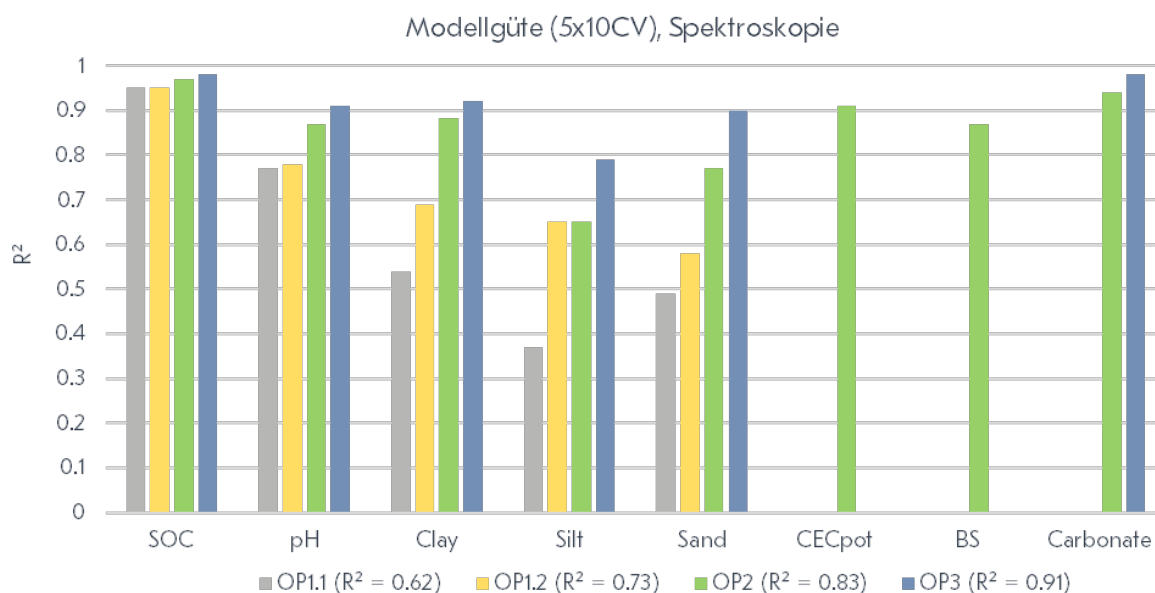


Figure : Plaques pour Autosampler (24 échantillons) de l'appareil Bruker MIR

Qualité du modèle des mesures MIR

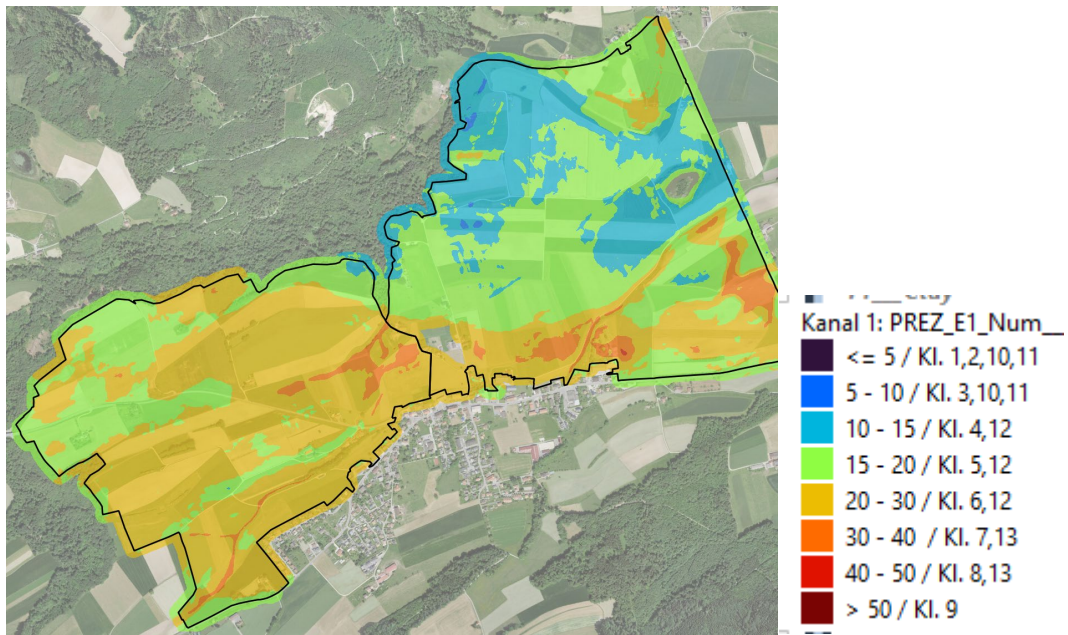
Le contrôle qualité des mesures spectrales a été amélioré par étapes. Chaque échantillon a fait l'objet de 4 mesures spectrales dans le projet pilote du CCSols à Prez. La qualité du modèle était en moyenne très bonne pour la détermination des propriétés des sols (voir Figure, OP3 barres bleue)



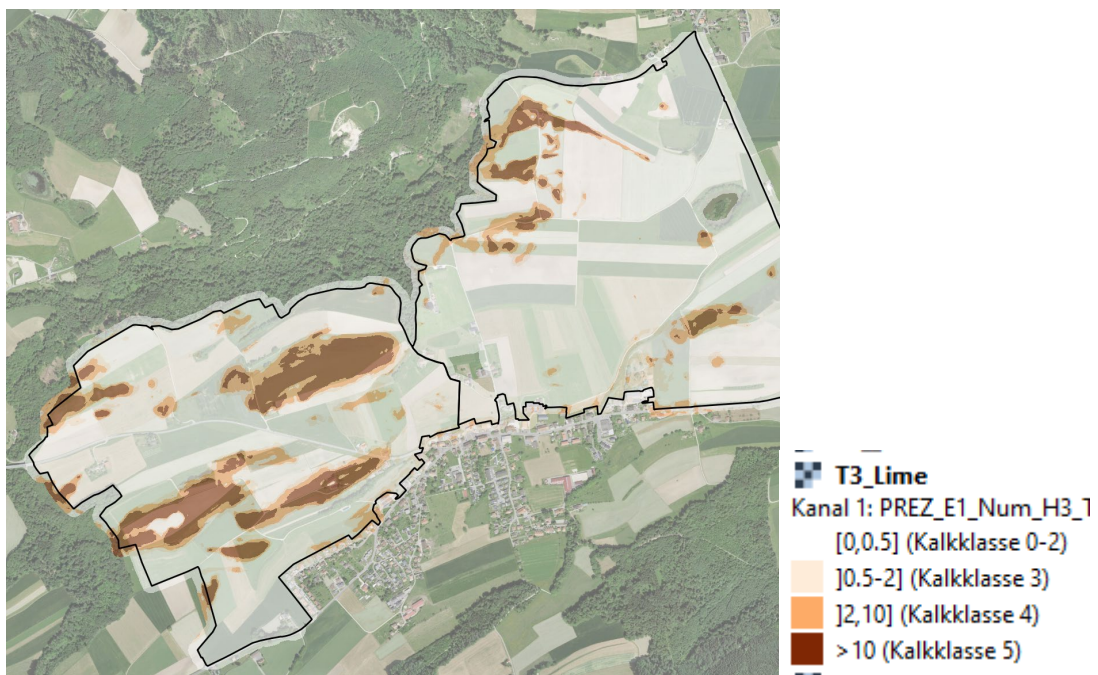
Augmentation de la qualité des modèles pour les mesures spectroscopiques dans les trois premiers projets pilotes du CCSols (OP1 à OP3) grâce au contrôle qualité.

5.3 Création de cartes matricielles des propriétés des sols

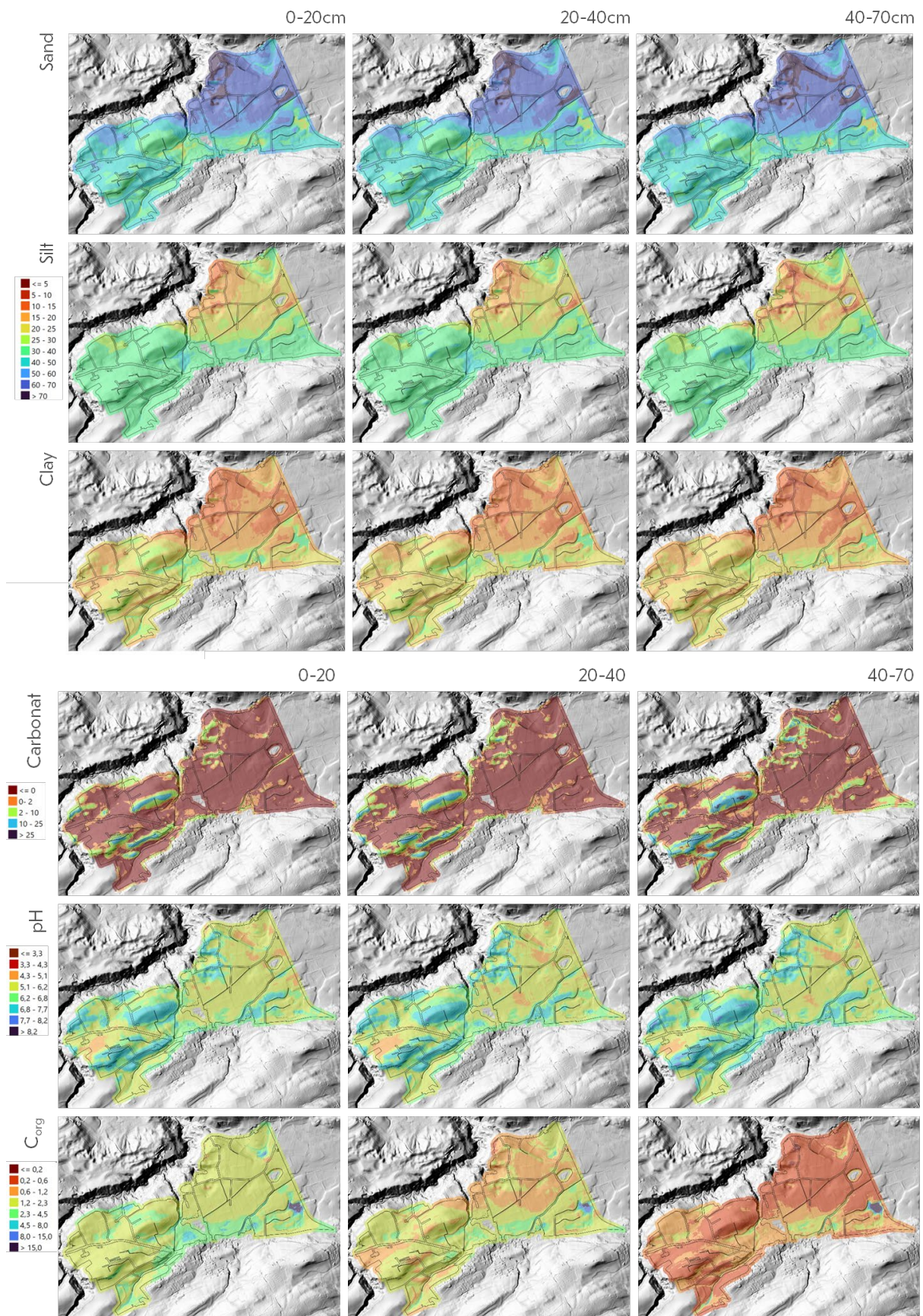
- Après les étapes de travail mentionnées ci-dessus, on dispose pour Prez-vers-Noréaz d'environ 2100 mesures pour l'argile, le limon, le pH et la matière organique dans les quelque 250 ha avec 3 échantillonnages par hectare x 3 profondeurs.
- Pour chaque profondeur (0-20 cm, 20-40 cm, 40-70 cm), la modélisation spatiale des propriétés des sols a été réalisée selon la procédure « scorpan », c'est-à-dire que les relations entre les valeurs mesurées sur les quelque 750 sites échantillonnés sont modélisées à l'aide des >400 cartes de base préparées (covariables ayant un rapport avec les facteurs de formation pédologique) et des cartes matricielles sont établies.
- La procédure exacte pour la modélisation et la description de la méthode dépassent le cadre de ce guide d'excursion, c'est pourquoi la modélisation des propriétés des sols sera abordée plus en détail dans le cadre d'une autre manifestation.



Teneur en argile, profondeur : 0-30 cm.



Teneur en carbonates, profondeur : 60-90 cm.



Cartes matricielles des propriétés des sols pour différentes profondeurs.

6 Poste 2 : nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain I

Pendant la cartographie, les données pédologiques ont été relevées exclusivement sous forme numérique avec l'application web Soildat. Les bases nécessaires à la cartographie ont également été rassemblées sous forme numérique dans un projet Qfield et mises à disposition des cartographes au moyen d'une tablette Android. En outre, l'équipe de cartographie a testé quatre nouveaux outils. Deux d'entre eux sont présentés plus en détail dans le poste 2 : la couche STATUT et la couche SOILDATA. Le premier est un outil qui facilite l'organisation pendant la cartographie de terrain en permettant la mise à jour numérique du statut d'un relevé, et ce, de manière synchronisée sur tous les appareils de l'équipe de cartographie. Le second est une visualisation en direct de tous les relevés effectués dans le périmètre du projet, également de manière synchronisée sur tous les appareils de l'équipe de cartographie. Cela permet aux cartographes de contextualiser leurs sondages avec les relevés effectués dans l'environnement.

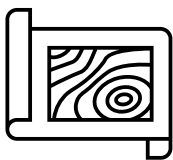
Nous allons maintenant aborder plus en détail l'application web Soildat, le projet Qfield ainsi que les deux outils Layer STATUT et Layer SOILDATA.

Application web Soildat

L'application web Soildat permet de saisir numériquement des données pédologiques sur le terrain. Des masques de saisie prédéfinis permettent de décrire les sols de manière plus ou moins détaillée pour les profils et les sondages. Pour le projet pilote, un masque « LIGHT », c'est-à-dire un jeu de données réduit, a été défini pour les sondages pédologiques. Comme les cartes des propriétés des sols modélisées grâce à la spectroscopie étaient déjà disponibles pendant la cartographie de terrain, entre autres pour les teneurs en argile, en limon et en sable, aucune estimation de la granulométrie n'a été effectuée. Également pour cette raison, aucune estimation de la teneur en matière organique et aucune mesure du pH Hellige n'ont été effectuées.



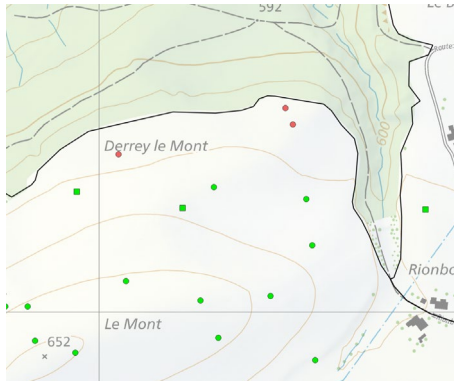
Projet Qfield



Pour la cartographie de terrain, les cartographes ont reçu une tablette Android avec un projet Qfield spécifique au projet. Qfield est une application open source développée par OPENGIS.ch. Cette application permet d'assembler des jeux de données vectorielles et matricielles. Il peut s'agir de couches hors ligne qui sont utilisées pour la visualisation, mais qui ne peuvent pas être traitées ou synchronisées sur le terrain. Il est également possible d'intégrer des couches en ligne qui sont toujours synchronisées sur plusieurs appareils, de sorte que les cartographes peuvent à tout moment consulter les modifications apportées par les autres cartographes. Le projet Qfield sert de carte numérique de terrain (courbes de niveau, carte nationale, parcelles avec cultures, données sur les conduites) et d'ouvrage de référence avec des données de base (p. ex. carte géologique, carte Siegfried) et des données sur le relief (p. ex. pente, relief). En outre, toutes les cartes des propriétés des sols modélisées peuvent être consultées dans le projet (teneurs en argile, limon et sable, teneurs en matière organique, pH et teneur en carbonates à différentes profondeurs). Les couches en ligne du projet Qfield

contiennent, entre autres, les deux couches STATUT et SOILDATA expliquées plus en détail dans les paragraphes suivants.

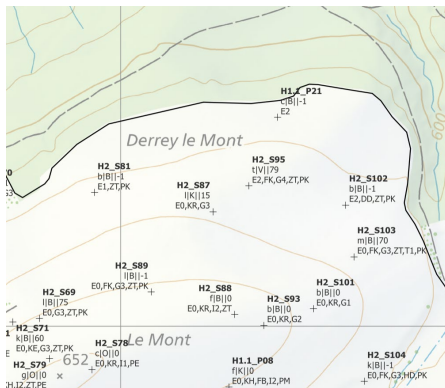
Layer STATUT



La couche en ligne STATUT sert à mettre à jour le statut d'un sondage. Au début du projet, tous les sondages ont le statut « disponible » (« offen » en allemand). Lorsqu'un sondage est creusé mécaniquement, il reçoit soit le statut « creusé on-site », soit le statut « creusé dépôt », cela dépend si le sondage est laissé sur place (on-site) ou ramené au dépôt. Quand le sondage est ensuite décrit par les cartographes, il reçoit le statut final « décrit » (« beschrieben » en allemand). Si un sondage est creusé manuellement, le statut passe directement de « disponible » à « décrit ». La couche STATUT contient un lien hypertexte

permettant aux cartographes de créer directement un nouveau sondage dans Soildat. En outre, des informations sur la nature de la surface peuvent être écrites pendant la saisie du statut, par exemple la présence de dégâts dus au piétinement du bétail ou de traces d'érosion. Cette couche permet de suivre facilement l'état des sondages et facilite ainsi la gestion de projet pendant la phase de terrain.

Layer SOILDATA



La couche en ligne SOILDATA sert à visualiser les données pédologiques relevées. Lorsqu'un sondage est décrit, il apparaît en quelques minutes dans la couche SOILDATA et peut être consulté par tous les collaborateurs du projet. Selon le niveau de zoom, différentes données pédologiques sont représentées sur la tablette sous forme de chaîne de texte. Dans la « vue éloignée » apparaissent des informations sur le sol qui concernent l'observation, par exemple le groupe de régime hydrique, le type de sol et les sous-types. Dans la « vue rapprochée », les cartographes voient des informations détaillées sur l'horizon. Il s'agit, par exemple, de la désignation et de la profondeur de l'horizon ainsi que de la classe de teneur en carbonates et de la teneur estimée en gravier. Cette couche permet aux cartographes d'inclure les sondages voisins dans la description de leur sondage et leur donne un aperçu rapide des associations de sols existantes.

7 Poste 3 : nouveaux outils de soutien aux travaux sur le terrain II

7.1 Cartes de base : classification du relief selon revKLABS

- Selon le Guide pour la description des sols sur le terrain. (Version 1.0; version de test prépubliée., Oechslin et Schmidhauser 2024), le relief peut se classer en domaine proximal, moyen et distant.
- Le domaine moyen comprend un rayon de 25 à 50m autour d'un point (surface de 0.25 à 1ha). Ceci correspond aux unités d'une cartographie vectorielle (polygones) de moyenne à grande échelle.
- Pour ce projet, deux cartes de position dans le relief (Lage im Relief) ont été modélisées comme aide aux cartographes de terrain. Une carte analyse la position dans le relief selon un rayon de 25m et l'autre selon un rayon de 50m.



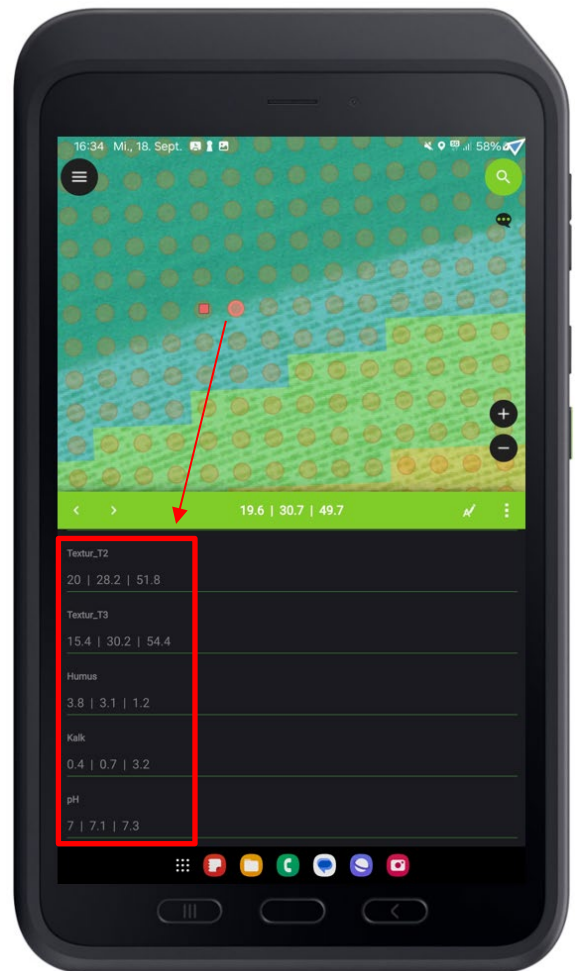
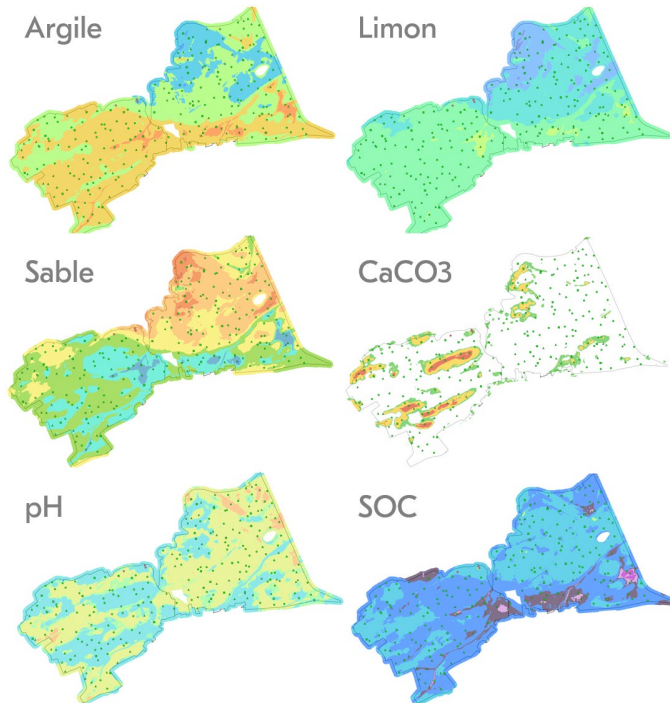
Code	Désignation	Description
A1 & A2	Élévation	Zone sommitale d'une élévation. Pas ou peu de pente (<5%)
B	Haut de pente	Partie supérieure d'une pente, généralement aplanissement vers le haut
C	Mi-pente	Partie centrale d'une pente dont la pente est généralement la plus forte.
D	Bas de pente	Partie inférieure d'une pente, généralement aplanissement vers le bas
E	Dépression	Zone la plus basse d'une dépression dans le relief. Pente nulle ou faible (<5%)
F	Aplatissement	Pas ou peu de pente (<5%) en terrain plat ou sur une terrasse, ni creux ni relief.

Illustrations et tableau modifiés à partir du Guide pour la description des sols sur le terrain. (Version 1.0; version de test prépubliée., Oechslin et Schmidhauser 2024).

7.2 Cartes matricielles (raster) dans Qfield – Propriétés des sols

- Cartes de propriétés des sols modélisées à partir de données spectrales.
- Échantillonnage et modèle en couches fixes (T1 : 0-20 / T2 : 20-40 / T3 : 40-70cm)
- Le projet Qfield contient :
 - 12 cartes matricielles (« Soilproperties raster ») :
 - argile, limon, sable, pH, carbonates et SOC pour les profondeurs T1 et T2
 - 1 « couche points » (« Soilproperties points »):

- Couches affichables en zoomant sur le point d'intérêt et contenant toutes les données de propriété du sol pour ce point.



Extraits des cartes matricielles de propriétés des sols (« Soilproperties raster ») modélisées pour la profondeur T1 : 0-20cm.

Illustration de la « couche points » (« Soilproperties points ») permettant une visualisation des valeurs modélisées à un point d'intérêt.

7.3 Saisie de polygones simplifiés dans Qfield

- Saisie de polygones simplifiée directement sur le terrain dans Qfield.
 - Les polygones correspondent à la surface de représentativité d'un sondage pédologique
 - Fonction de dessin avec points d'ancrage ou à main levée
 - Visualisation «Live» du travail des collaborateurs et des collaboratrices
 - Affichage selon des données attributaires modifiables
- Valorisation de la lecture du paysage par les pédologues
- Amélioration des modèles spatiaux grâce à des informations d'apprentissage supplémentaires :
 - Estimation et saisie de l'étendue sûre des paramètres pédologiques directement sur le terrain par les cartographes.
 - Extension du jeu de données d'apprentissage disponible au-delà du point.
 - Assurer la prise en compte d'informations pédologiques spatialement hétérogènes ou sous-représentées dans les systèmes informatiques.



Lors de la description de chaque sondage, un polygone surfacique de représentativité y est associé. Ce dernier se base sur la compréhension du paysage par les pédologues.



Sur la base de règles d'affichage liées aux données attributaires, les polygones apparaissent en vert ou en rouge selon s'ils sont validés ou non. De plus, lorsque les surfaces dessinées sont inférieures à l'unité cartographique minimale de 0.25ha, elles apparaissent en traitillés.

8 Poste 4 : Types de sol recensés à Prez-vers-Noréaz et création de cartes thématiques

8.1 Profils pédologiques



8.2 Classification des profils pédologiques

Profil n°	Description pédologique
1	Sol brun très profond, à recouvrements argileux et faiblement pseudogleyifié sur moraines
2	Gley-sol brun assez superficiel, fortement gleyifié, faiblement mouillé, à tuf calcaire et drainé
3	Sol brun très profond, à recouvrements argileux avec une grande profondeur de colluvions
4	Sol brun très profond, humide en profondeur, à recouvrements argileux et partiellement décarbonaté avec dépôt de colluvions sur moraines
5	Régosol assez superficiel, riche en calcaire sur moraines érodées
6	Sol brun profond, pseudogleyifié et humide en profondeur avec influence anthropique
7	Sol brun acide très profond avec des recouvrements argileux et une influence anthropique (tuiles)
8	Régosol superficiel - très superficiel, calcaire sur des dépôts fluvioglaciers
9	Gley oxydé assez superficiel, très fortement gleyifié, mouillé avec des couches intermédiaires de tourbe
10	Sol brun assez superficiel, pseudogleyifié, faiblement gleyifié, drainé sur des dépôts fluvioglaciers



8.3 Aperçu des cartes thématiques issues de la cartographie des sols

Le tableau suivant donne un aperçu des méthodes utilisées pour les cartes thématiques qui ont déjà été réalisées dans le cadre d'un projet d'opérationnalisation (OP) précédent (elles seront également réalisées pour OP3) ou qui sont en cours de (re)développement pour OP3. Une documentation détaillée sur la méthode sera bientôt disponible sur la page de téléchargement du CCSols. (<https://ccsols.ch/fr/downloadcenter/>).

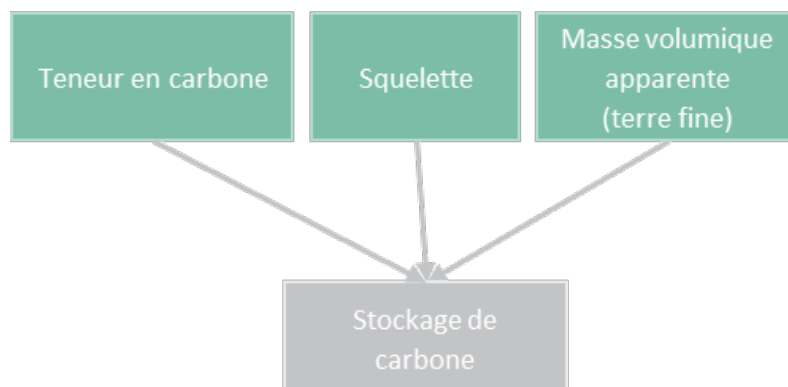
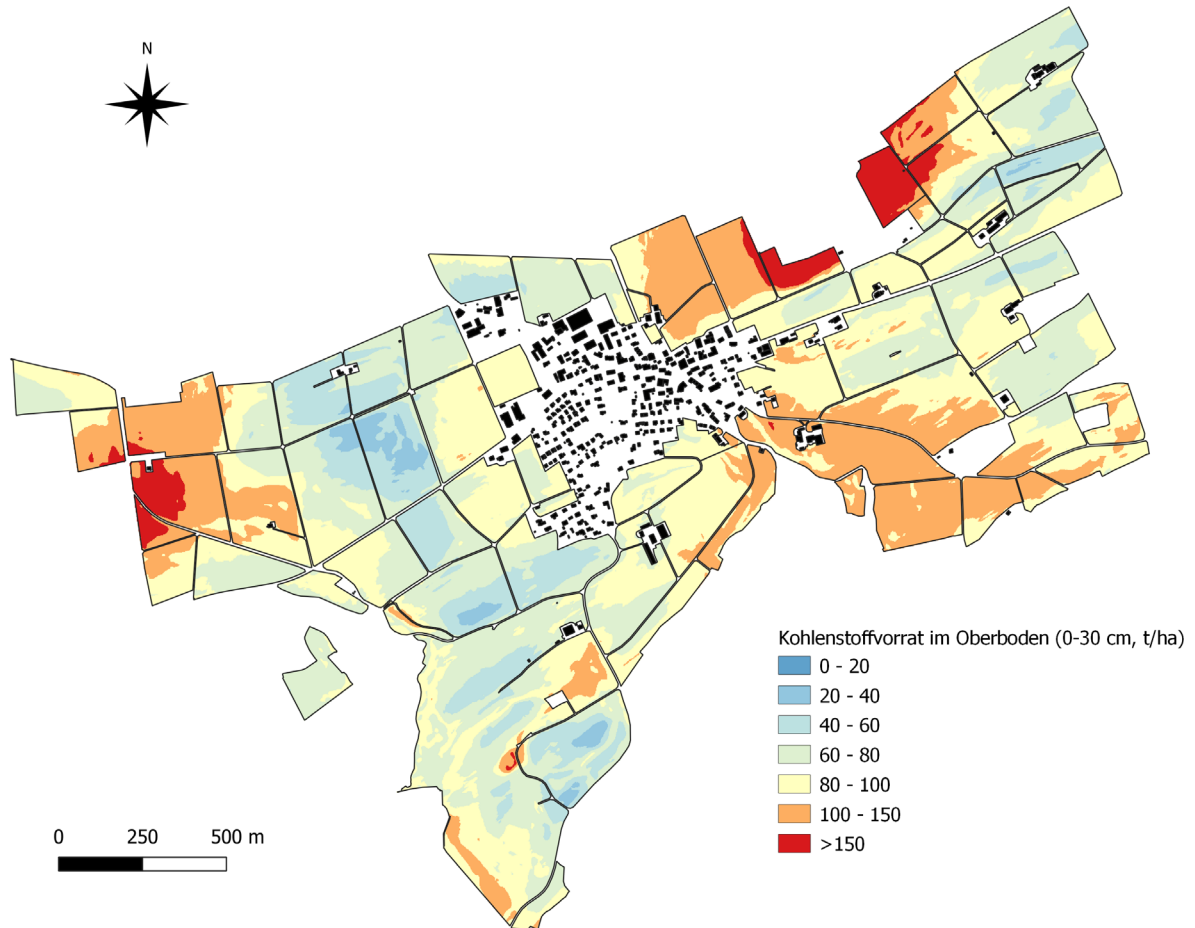
Cartes thématiques	Sources	Domaine thématique principal
Capacité à lier et à dégrader les polluants	Bechler und Toth 2010	Protection des eaux et eaux souterraines
Capacité à fixer les métaux lourds	DVWK 1988	Protection des eaux et eaux souterraines
Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement	Jäggli et al. 1998	Protection des eaux et eaux souterraines
Fonction de régulation du régime hydrique	Danner et al. 2003	Protection contre les inondations
Potentiel d'enrichissement en matière organique	Johannes et al. 2017	Protection du climat
Stockage de carbone	Keller et al. 2023	Protection du climat
Fonction de régulation du climat	Feldwisch 2016	Protection du climat
Recommandation de chaulage	VDLUFA 2000	Agriculture
Besoin de chaulage	Flisch et al. 2017	Agriculture
Facteur de correction des sols pour la fertilisation azotée normalisée	Sinaj et al. 2018	Agriculture
Disponibilité des nutriments	Lehmann et al. 2013	Agriculture
Potentiel de libération de l'azote	Flisch et al. 2017	Agriculture
Sites humides potentiels	Vögeli et al. 2022	Protection de la nature
Fonction d'habitat pour les microorganismes	Oberholzer et Scheid 2007	Protection de la nature
Potentiel du site pour les communautés de plantes vivantes aux conditions extrêmes	Siemer et al. 2014	Protection de la nature
Sites secs potentiels	Lienhard et Merkel 2002	Protection de la nature z
Indice de qualité des sols	Angelini et al. 2023	Aménagement du territoire
Indice de qualité des sols	Engel et Stadtmann 2020	Aménagement du territoire
Indice de qualité des sols	Hilbert et al. 2021	Aménagement du territoire
Indice de qualité des sols	Knoll et al. 2010	Aménagement du territoire
Indice de qualité des sols	Miller et al. 2022	Aménagement du territoire
Aptitude agricole CA 2023	Greiner et al. 2023	Aménagement du territoire
Aptitude à l'irrigation	Pressler et Bagnoud 2013	Sécheresse
Potentiel du besoin en irrigation	Müller et al. 2012	Sécheresse
Gradient d'acidité	Zimmermann et al. 2011	Forêts et sylviculture
Risque d'érosion des sols		Protection des sols
Risque de compaction des sols		Protection des sols
Irrigation (développement des méthodes)		Sécheresse
Risque de lessivage des nitrates		Protection des eaux et eaux souterraines

Méthodes déjà disponibles. Elles seront également utilisées pour les cartes thématiques d'OP3

Méthodes en (re)développement pour OP3

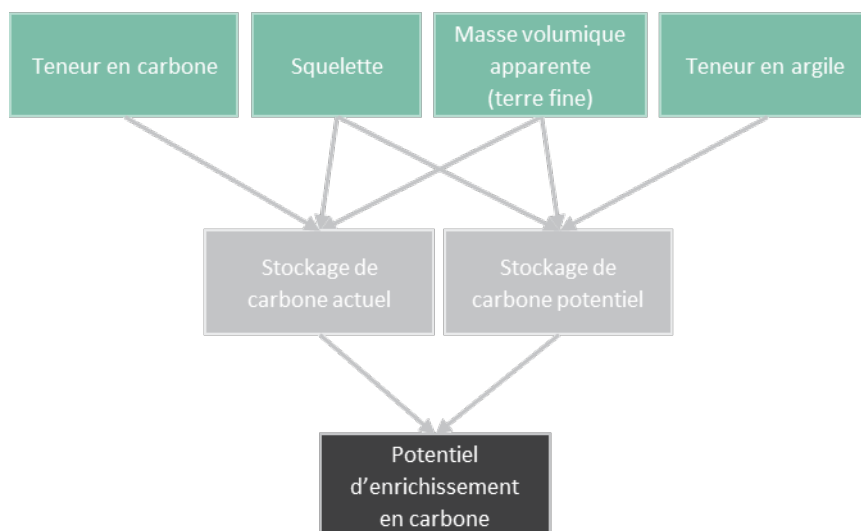
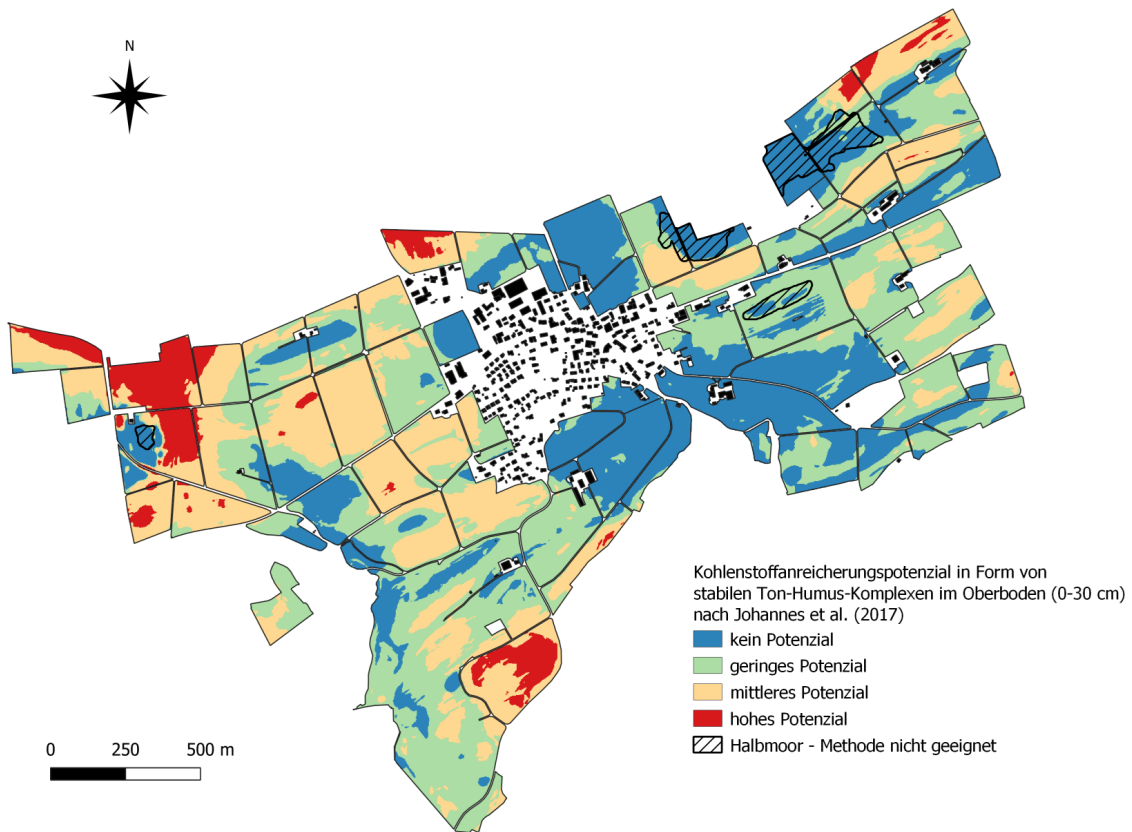
8.4 Stockage de carbone dans la couche arable

La matière organique contenue dans les sols a une influence positive sur la santé de ceux-ci. Elle est importante dans le contexte du changement climatique, car les sols sont un important réservoir de carbone stocké dans la matière organique. Le stock de carbone (c.-à-d. la quantité de carbone stockée par hectare dans la couche arable) est une donnée importante dans ce contexte.



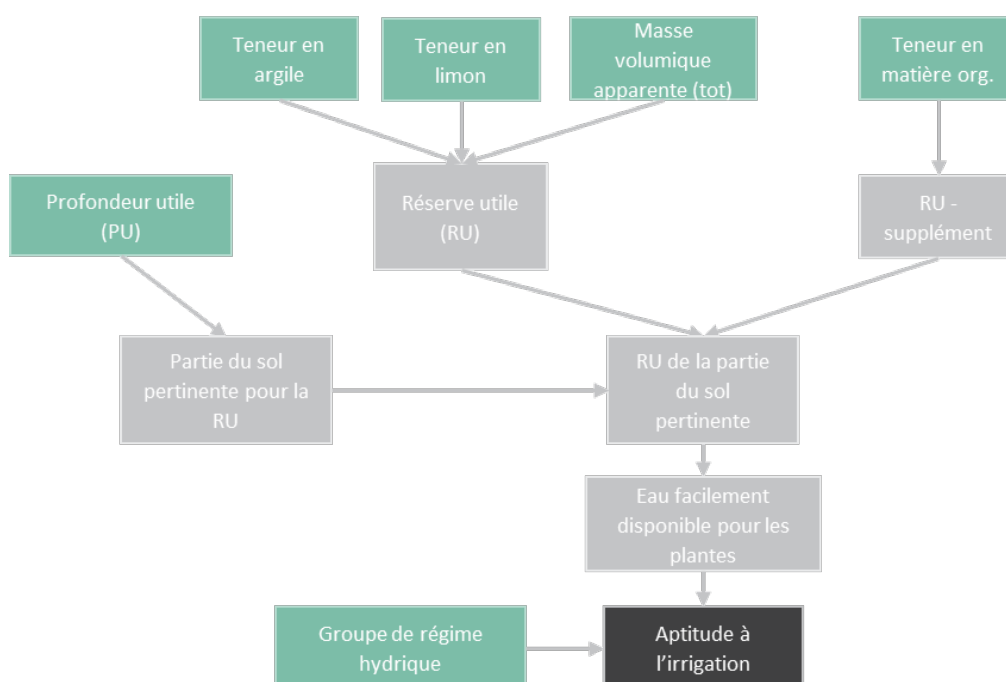
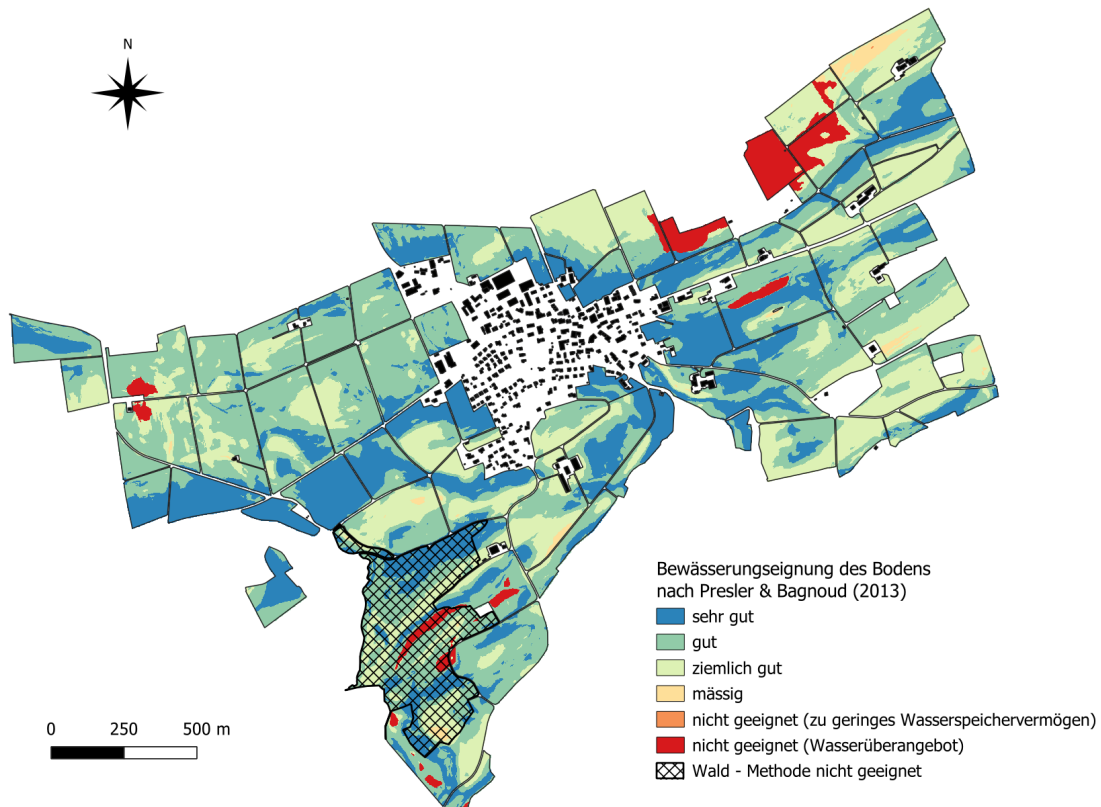
8.5 Potentiel des sols à accumuler du carbone sous une forme stable

Avec les argiles minérales, le carbone peut former des liaisons stables (complexes argilo-humique) ; sous cette forme, il est protégé de la dégradation microbienne pendant des siècles. Le potentiel d'enrichissement en carbone indique le potentiel d'un tel stockage à long terme, en plus du stock de carbone déjà présent dans le sol. L'évaluation du potentiel d'enrichissement en carbone se base exclusivement sur les propriétés des sols (teneur en carbone, teneur en argile, squelette, masse volumique apparente).



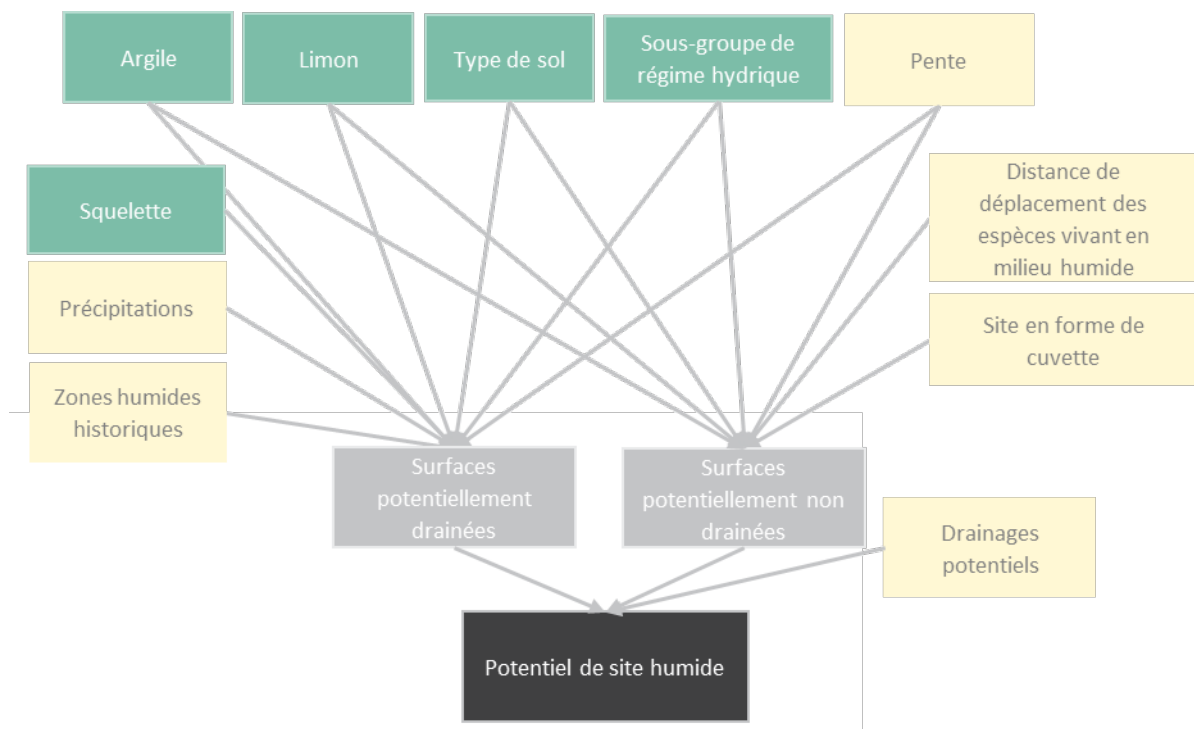
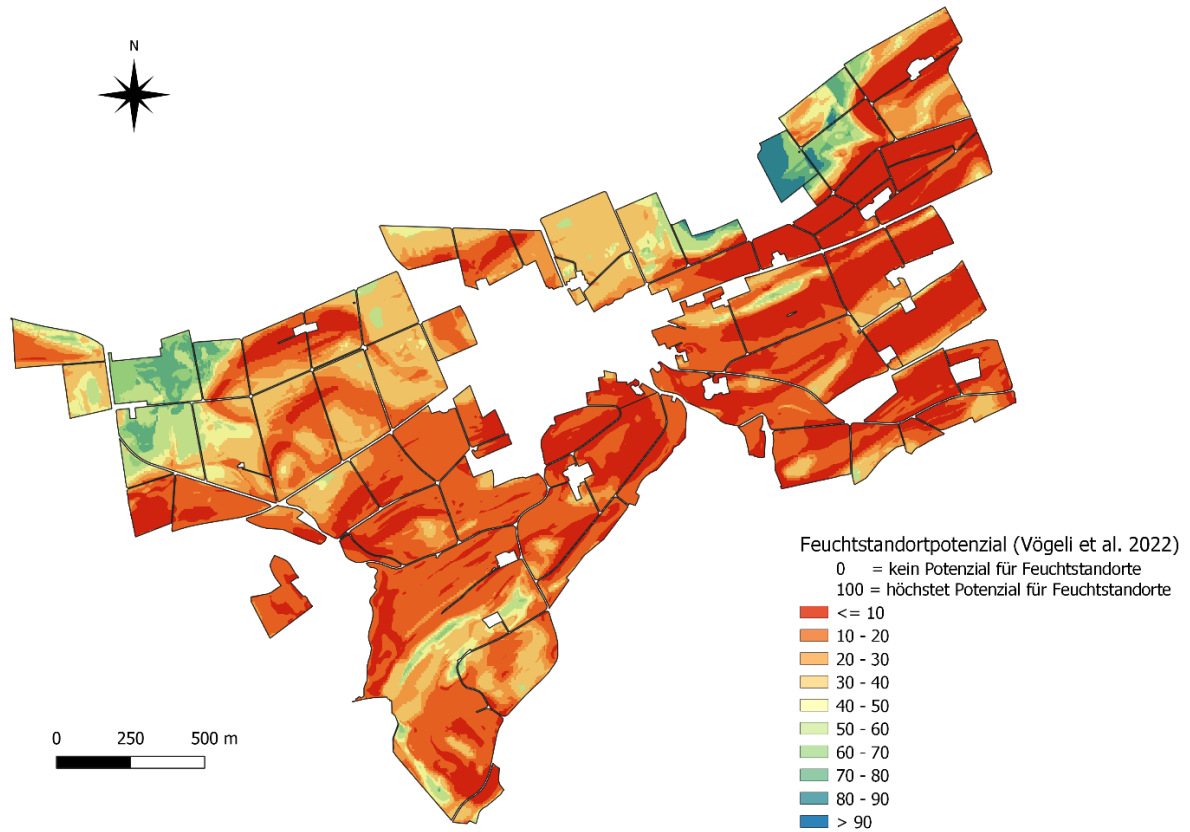
8.7 Aptitude des sols à l'irrigation

Cette méthode évalue l'aptitude de base des sols à l'irrigation en se basant sur les propriétés pédologiques qui caractérisent la capacité de rétention en eau et le degré d'engorgement. Les sols sont considérés comme adaptés à l'irrigation s'ils ont une capacité de stockage suffisante pour l'eau disponible pour les plantes. Les sols qui n'ont qu'une faible capacité de rétention en eau ou qui sont souvent humides jusqu'à la surface sont considérés comme inadaptés à l'irrigation.



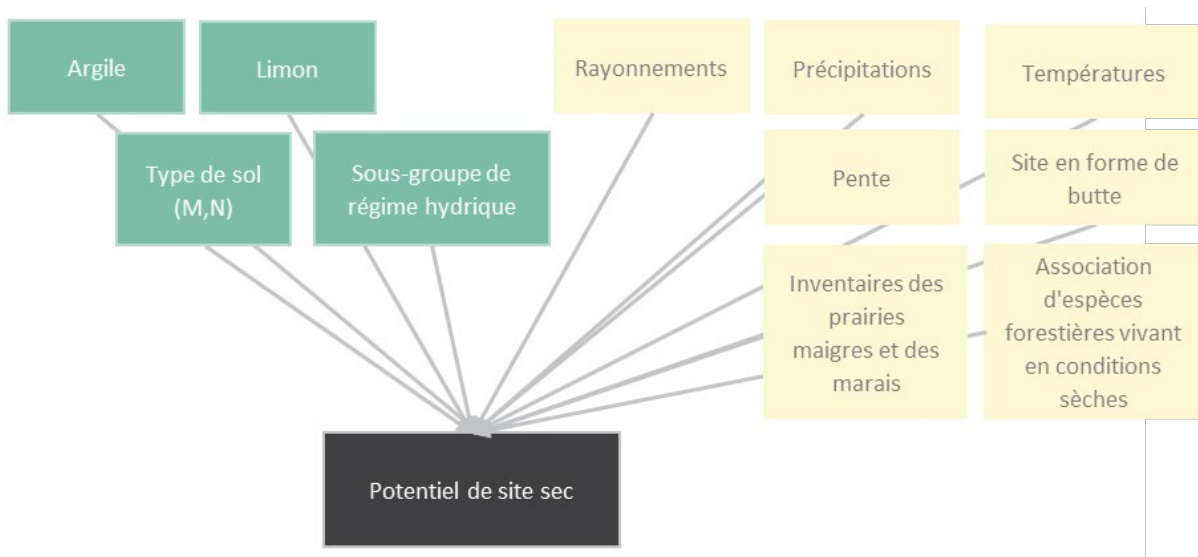
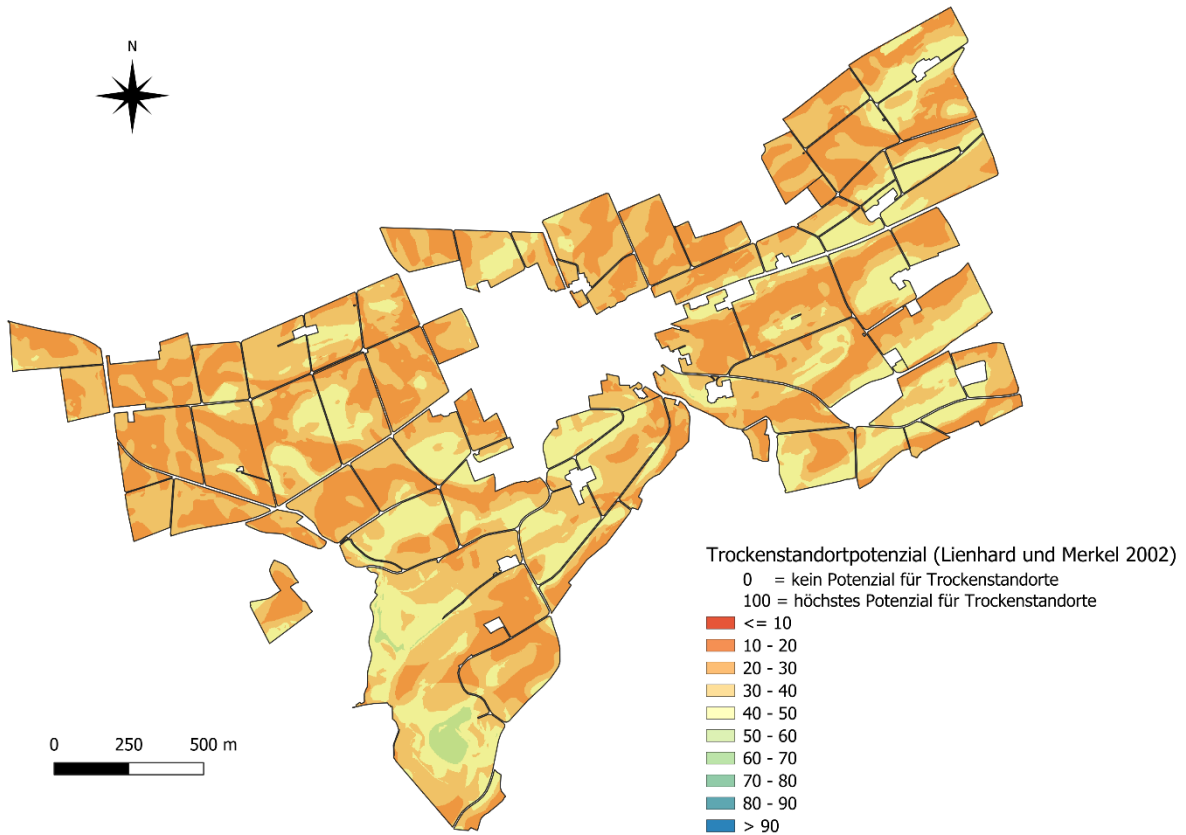
8.8 Sites humides potentiels

Cette méthode évalue les sites humides potentiels. Les zones en cuvette, les surfaces avec beaucoup de précipitations, peu de pentes et des caractéristiques d'engorgement sont considérées comme des surfaces à fort potentiel.



8.9 Sites secs potentiels

La méthode évalue le potentiel du site à être une prairie sèche. Pour ce faire, l'évaluation tient compte non seulement des facteurs pédologiques, mais aussi du climat, du terrain et de la proximité d'autres réserves naturelles.



8.10 Exemple d'évaluations de sols pour différents thèmes

Exemple « régosol »

Régosol très superficiel avec les sous-types alcalin et calcaire.



Ah,p: Gepflügter, humoser Oberboden

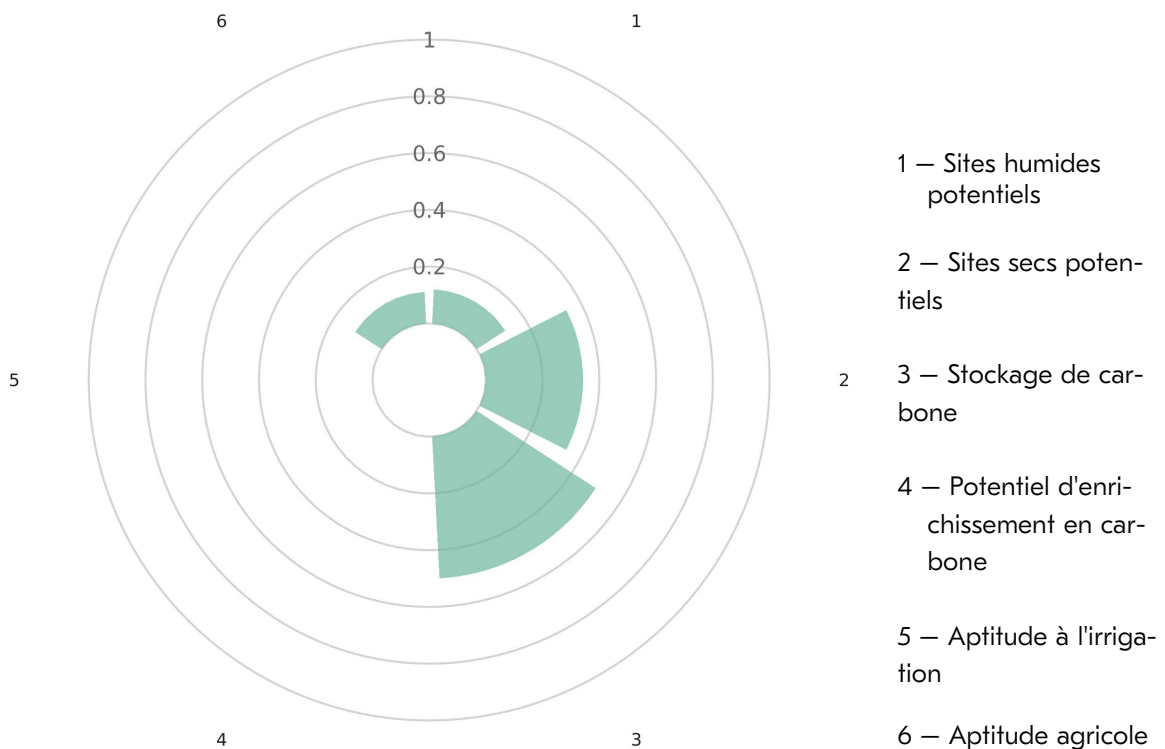
0-28 cm	Körnung [%]	Skelett	Humus	pH-Wert	Kalk
	(Ton / Schluff / Sand)	[%]	[%]		[%]
	15.8 / 14.1 / 70.1	24	4.4	6.9	3.8

28 cm

28-70 cm	Körnung [%]	Skelett	Humus	pH-Wert	Kalk
	(Ton / Schluff / Sand)	[%]	[%]		[%]
	- / - / -	50	0.5	7.4	25.1

C: Untergrund mit fluvioglazialen Ablagerungen unterschiedlichen Kies- und Steingehalts

150 cm

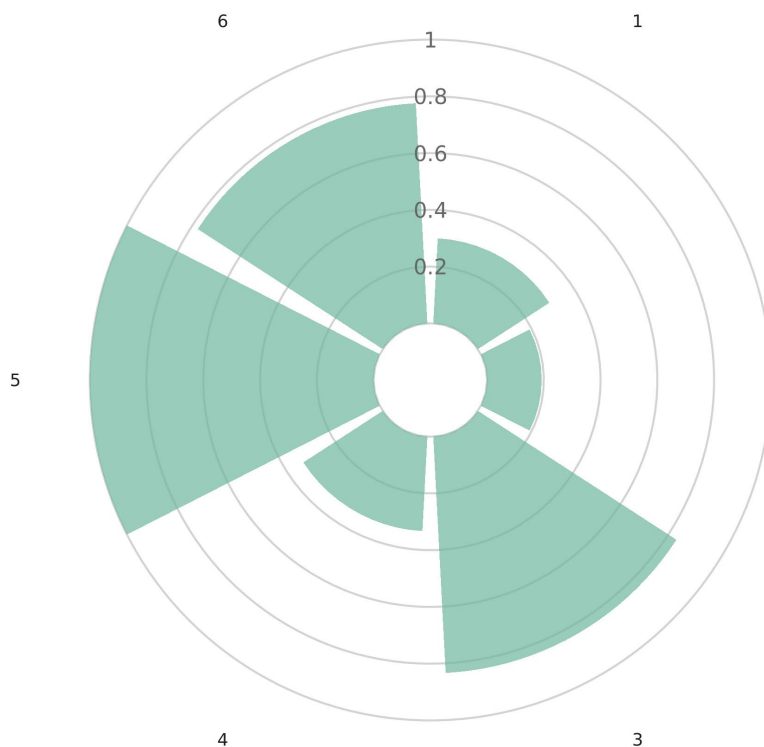


Exemple « sol brun »

Sol brun profond avec les sous-types faiblement acide, pseudoglycifié, humide en profondeur et anthropogène.



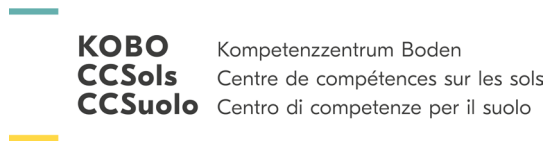
	Körnung [%] (Ton / Schluff / Sand)	Skelett [%]	Humus [%]	pH-Wert	Kalk [%]
Ah,p: Geflügter, humoser Oberboden 23 cm	23.7 / 31.9 / 44.3	4	4.9	5.9	0
(B)A(h),g: Oberboden im Übergangsbereich zum Unterboden					
Bw,(t),g: Unterboden mit Rostflecken und schwachen Tonhüllen 70 cm	23.1 / 16 / 60.9	38	0.9	6.2	0
Bw,g: Unterboden mit Rostflecken 91 cm	6.6 / 9.9 / 83.5	38	0.5	6.4	0
II B(w)Ccn,g: Übergangsbereich zum Untergrund					
II Cg: Untergrund mit Rostflecken 155 cm	7.0 / 5.3 / 87.6	3	0.3	7.7	7.7



- 1 – Sites humides potentiels
- 2 – Sites secs potentiels
- 3 – Stockage de carbone
- 4 – Potentiel d'enrichissement en carbone
- 5 – Aptitude à l'irrigation
- 6 – Aptitude agricole

9 Informations complémentaires

Informations sur le projet pilote du Nr. 3 du CCSols à Prez-vers-Noréaz



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG
WWW.FR.CH

[Projet pilote à Prez-vers-Noréaz - Centre de compétences sur les sols \(ccsols.ch\)](#) [Cartographie des sols | Etat de Fribourg](#)

Informations complémentaires sur la cartographie des sols

[Informations complémentaires sur le déroulement d'une cartographie des sols du CCSols et sur les méthodes et applications utilisées de la part du CCSols](#)

[Informations complémentaires sur la cartographie des sols par la part de l'Office fédérale de l'environnement OFEV](#)



Le CCSols se réjouit de recevoir d'autres questions et commentaires à l'adresse info@ccsols.ch info@ccsols.ch

Editeur : Centre de compétences sur les sols (CCSols), www.ccsols.ch.

Le Centre de compétences sur les sols travaille sur mandat de trois offices fédéraux l'OFEV (Office fédéral de l'environnement), l'OFAG (Office fédéral de l'agriculture) et l'ARE (Office fédéral du développement territorial). Il est situé à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) de la Haute école spécialisée bernoise (BFH) à Zollikofen.

Centre de compétences sur les sols

BFH-HAFL

Länggasse 85 _ 3052 Zollikofen

info@ccsols.ch _ ccsols.ch