

# Nouvelles méthodes de cartographie des sols – Projet pilote CCSols de Prez (FR)

Rapport du CCSols N° 13  
Annexe A: compléments généraux

# Table des matières

<b>A 1. Préparation des données environnementales et des géodonnées</b>	<b>2</b>
A 1.1 Cartes historiques	2
A 1.2 Cultures principales	3
A 1.3 Analyses du relief	4
A 1.4 Végétation et utilisation du sol	5
A 1.5 Informations spectrales sur les sols	6
A 1.6 Cartes indicatives de propriétés des sols	7
<b>A 2. Phase conceptuelle</b>	<b>8</b>
A 2.1 Concept d'échantillonnage	8
A 2.2 Phase de prospection	14
<b>A 3. Travail de Terrain</b>	<b>16</b>
A 3.1 Aperçu du nombre de relevés réalisés lors des travaux de terrain	16
A 3.2 Masques Soildat	19
A 3.2.1 Masque OP3 H0	19
A 3.2.2 Masque OP3 H1 & H1.1	21
A 3.2.3 Masque OP3 H2 Light	24
A 3.2.4 Masque OP3 H2 Full	27
A 3.3 Contrôle qualité des relevés pédologiques	30
A 3.4 Résultats des descriptions des H1	31
A 3.4.1 Fiche descriptive du profil P02 : Gley - Sol brun	31
<b>A 3.4.1.1 Fiche descriptive du profil P03 : Sol brun</b>	<b>32</b>
<b>A 3.4.1.2 Fiche descriptive du profil P04 : Sol brun</b>	<b>33</b>
<b>A 3.4.1.3 Fiche descriptive du profil P05 : Régosol</b>	<b>34</b>
<b>A 3.4.1.4 Fiche descriptive du profil P06 : Sol brun</b>	<b>35</b>
<b>A 3.4.1.5 Fiche descriptive du profil P07 : Sol brun acide</b>	<b>36</b>
<b>A 3.4.1.6 Fiche descriptive du profil P08 : Régosol</b>	<b>37</b>
<b>A 3.4.1.7 Fiche descriptive du profil P10 : Sol brun</b>	<b>38</b>
A 3.5 Miniprofils (niveau hiérarchique H1.1)	39
A 3.6 Sondages pédologiques (niveau hiérarchique H2)	45
<b>A 3.6.1 Test du véhicule</b>	<b>47</b>
<b>A 3.6.2 Résultats de l'évaluation statistique des sondages H2 (n=330)</b>	<b>51</b>
A 3.7 Piézomètre	55
A 3.8 Analyse en laboratoire	62
A 3.8.1 Analyses des propriétés chimiques des sols	62
A 3.8.2 Analyses des propriétés physiques des sols	62
<b>A 4. Outil de terrain</b>	<b>63</b>
<b>A 5. Table des illustrations</b>	<b>66</b>
<b>A 6. Liste de tableaux</b>	<b>68</b>
<b>A 7. Bibliographie</b>	<b>69</b>

# A 1. Préparation des données environnementales et des géodonnées

---

## A 1.1 Cartes historiques

Comme mentionné dans le rapport principal de ce projet au Paragraphe 2.1, la zone d'étude a fait l'objet de nombreuses interventions humaines, en particulier dans sa moitié est. Les principales modifications concernent l'assèchement des sols, la canalisation des cours d'eau ainsi que l'exploitation de matériaux tels que les tourbes et les graviers.

La carte Dufour de 1862 montre que certains cours d'eau, comme le Palon, n'étaient alors pas encore canalisés. En revanche, la carte Siegfried de 1880 (Figure 1) suggère que des travaux de canalisation avaient déjà été entrepris à cette époque. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, le Palon a été mis sous tuyau, avant de faire l'objet, en 2017, de travaux de remise à ciel ouvert. L'étang de la Goillette, anciennement nommé Sensuy, semble également avoir subi plusieurs transformations au fil du temps. Son origine est vraisemblablement liée à l'exploitation de tourbes. Les orthophotos datant de 1930 à 1953 montrent que l'étang était alors asséché et partiellement boisé. Depuis 1954, il y a de nouveau de l'eau dans l'étang. Par ailleurs, l'étendue du marais associé au lac de Seedorf, situé à l'est en dehors du périmètre d'étude, semble avoir diminué entre 1862 et aujourd'hui. Cette évolution est principalement due à l'assèchement progressif des sols dans cette zone.

Enfin, des chemins et des routes ont également été aménagés. Certains chemins ruraux ont été supprimés et les surfaces correspondantes sont aujourd'hui à nouveau cultivées. De nouvelles routes ont été construites, notamment l'axe reliant Maison Rouge à Noréaz, qui traverse une zone anciennement marécageuse.

L'ensemble de ces observations a été pris en compte lors du choix des emplacements des profils de sol, ainsi que durant les campagnes de sondages H2 et d'échantillonnages H3.

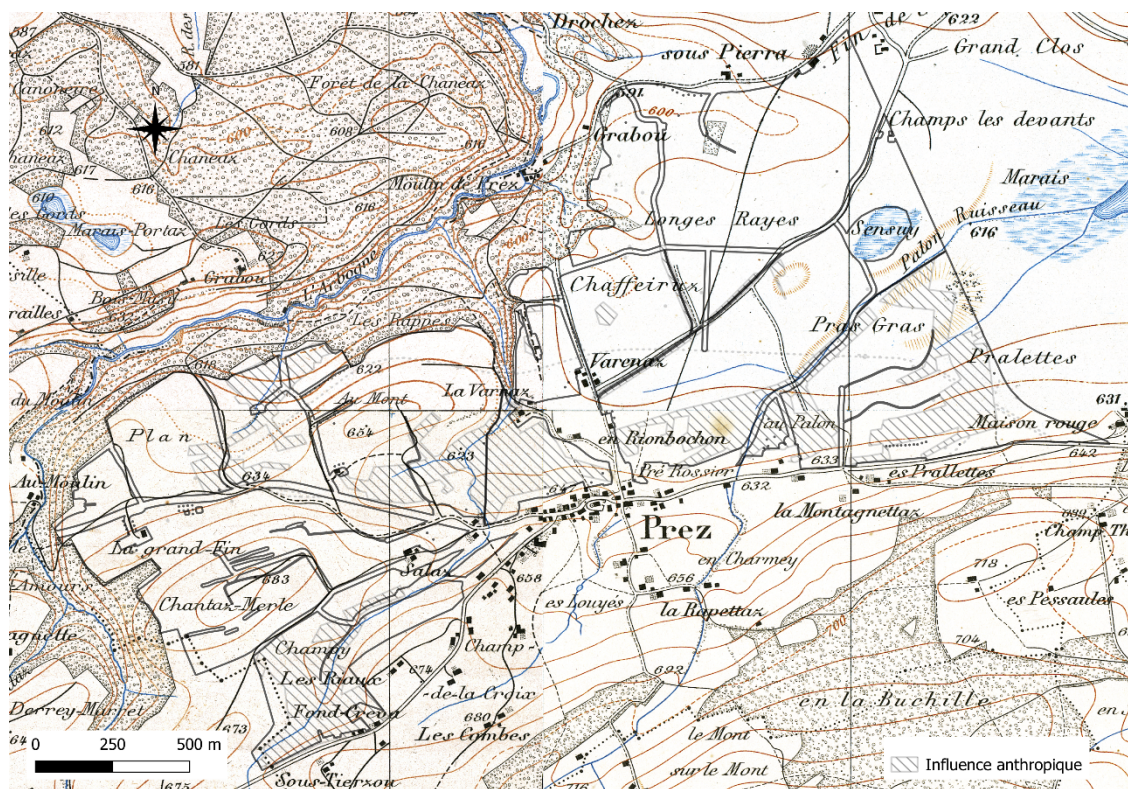


Figure 1 : Carte Siegfried (1880) de la région de Prez-vers-Noréaz. Les surfaces hachurées indiquent les zones dans lesquelles des modifications humaines ont été identifiées.

## A 1.2 Cultures principales

Durant les années 2022-2024, les cultures fourragères comprenant prairies artificielles, prés et pâturages étaient légèrement plus répandues que les grandes cultures au sein du périmètre du projet. Les grandes cultures observées durant cette période comprenaient notamment diverses céréales, le colza, le maïs, les betteraves sucrières, les pommes de terre et le tournesol. Par ailleurs, des cultures maraîchères plus spécialisées, telles que les carottes ou les courges, étaient implantées de manière ponctuelle.

## A 1.3 Analyses du relief

Afin d'obtenir une sélection de paramètres de relief et d'échelles, les résultats de l'analyse du relief à différentes échelles ont été convertis en données vectorielles (polygones) (Behrens et al. 2023). L'outil numérique TerraPoly a été utilisé à cette fin. Les données vectorielles constituent une information facile à interpréter lors de la phase conceptuelle.

Les caractéristiques du relief contribuent à la formation des sols. C'est pour cette raison qu'ils ont été calculés à partir du modèle numérique d'altitude pour différentes échelles pour la zone d'étude (Figure 2).

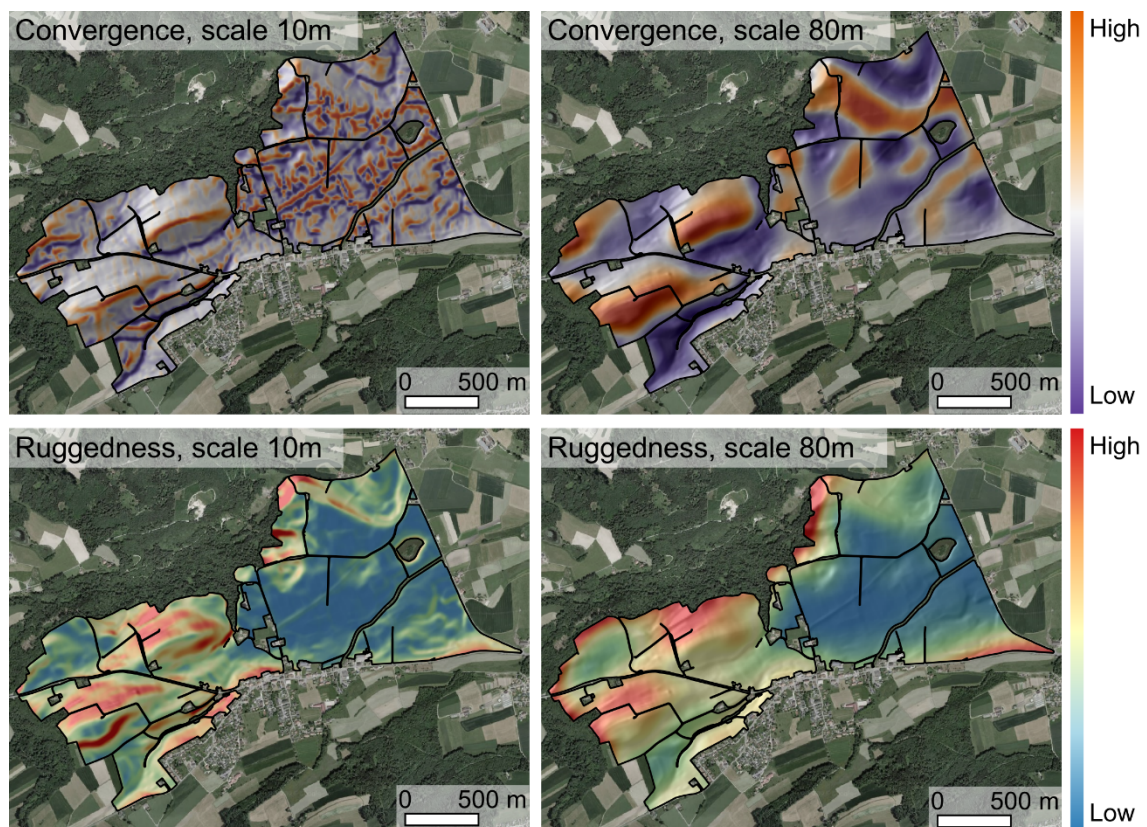


Figure 2 : Exemple d'analyses multiscalaires du relief. Ligne du haut : concentration de l'eau de ruissellement (Convergence). Ligne du bas : forme du terrain (Ruggedness). Echelles : 10 m et 80 m.

## A 1.4 Végétation et utilisation du sol

La végétation et l'utilisation du sol influencent la formation des sols. Une analyse à l'échelle nationale, basée sur des images satellites périodiques, a permis de caractériser leur évolution dans le temps et l'espace. Les données utilisées sont des séries chronologiques de l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de Sentinel depuis 2018, indicateur de la densité, de l'état et de la productivité de la végétation (Stumpf et al. 2024).

La Figure 3 ci-dessous illustre l'indice spectral « NDVI ». C'est un indice sans unité, dont les valeurs varient de -1 à +1 et qui indique la densité et la vigueur de la végétation.

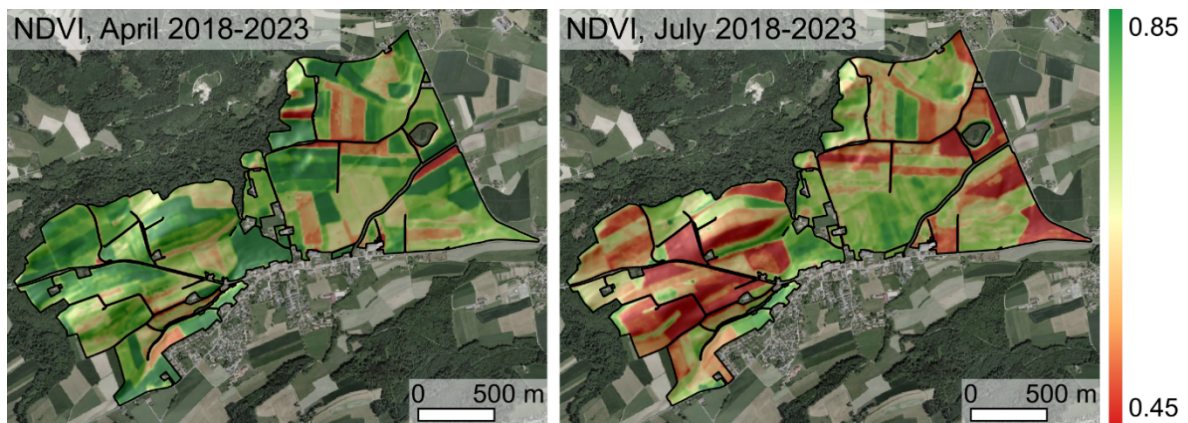


Figure 3 : Analyses de la végétation et de l'utilisation du sol réalisées à partir des moyennes mensuelles calculées sur la période 2018-2022. La série chronologique représentée se base sur l'indice spectral « NDVI » des données satellitaires Sentinel-2.

## A 1.5 Informations spectrales sur les sols

La signature spectrale des propriétés des sols est liée aux minéraux, à la texture et à la couleur de ceux-ci (Safanelli et al. 2020). Une analyse spectrale du paysage terrestre a permis de déterminer la signature spectrale de la surface des sols à l'échelle nationale. Les données sont basées sur des images satellites provenant des archives Landsat depuis 1985 (USGS 2022).

Dans un premier temps, les séries chronologiques matricialisées ont été filtrées pour exclure les zones sans végétation. Elles ont ensuite été regroupées chronologiquement. La signature spectrale est donc disponible pour toutes les zones sans végétation depuis 1985. Pour les zones qui ont toujours été couvertes de végétation depuis 1985 (par exemple, les forêts), la signature spectrale a été modélisée à l'aide de l'apprentissage automatique (Stumpf et al. 2023).

Comme illustré sur la Figure 4 ci-dessous, chaque élément à la surface de la Terre possède donc un signal spectral unique, qui est continuellement enregistré par les capteurs Landsat. Par exemple, l'humidité des sols ou l'état de la végétation peuvent être relevés.

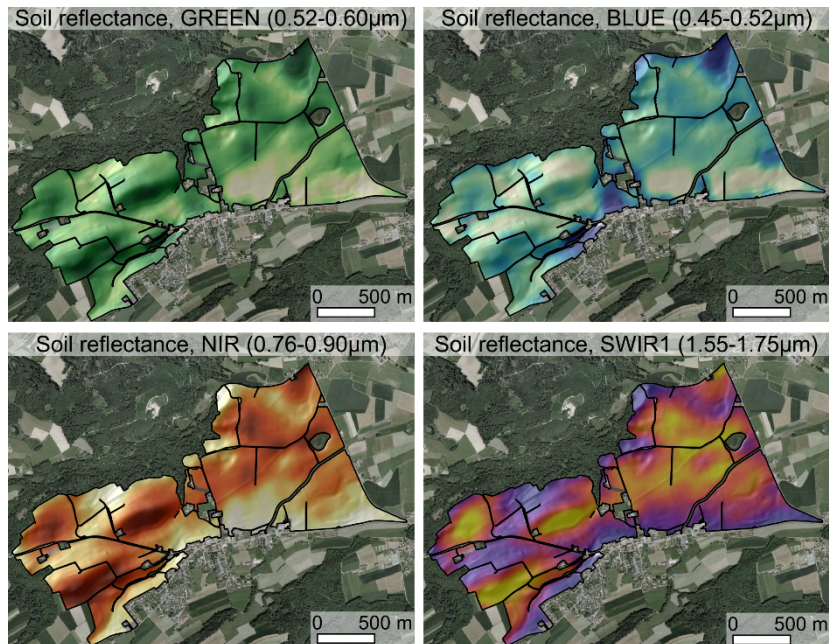


Figure 4 : Signature spectrale moyenne des sols nus sur 37 ans, calculée à partir des bandes Landsat.

---

## A 1.6 Cartes indicatives de propriétés des sols

Des cartes indicatives de propriétés des sols à différentes profondeurs ont été établies pour la Suisse. Pour ce faire, des données issues du Système national d'information pédologique NABODAT ainsi que d'autres données environnementales et géographiques ont été utilisées.

À l'aide de la méthode « Digital Soil Mapping » (DSM), le pH, la texture, la teneur en matières organiques et la capacité d'échange cationique ont été modélisés à l'échelle nationale pour plusieurs profondeurs. Les propriétés des sols sont décrites en fonction du relief, du climat, de la végétation, de l'utilisation du sol et de la signature spectrale du sol nu.

Ces cartes sont disponibles sur le [portail des sols](#) (rendez-vous dans la rubrique « Bodeninformationen National »).

## A 2. Phase conceptuelle



### A 2.1 Concept d'échantillonnage

Les Figures Figure 5 à Figure 9 suivantes indiquent, pour chaque niveau hiérarchique, la localisation des sites dans le périmètre du projet.

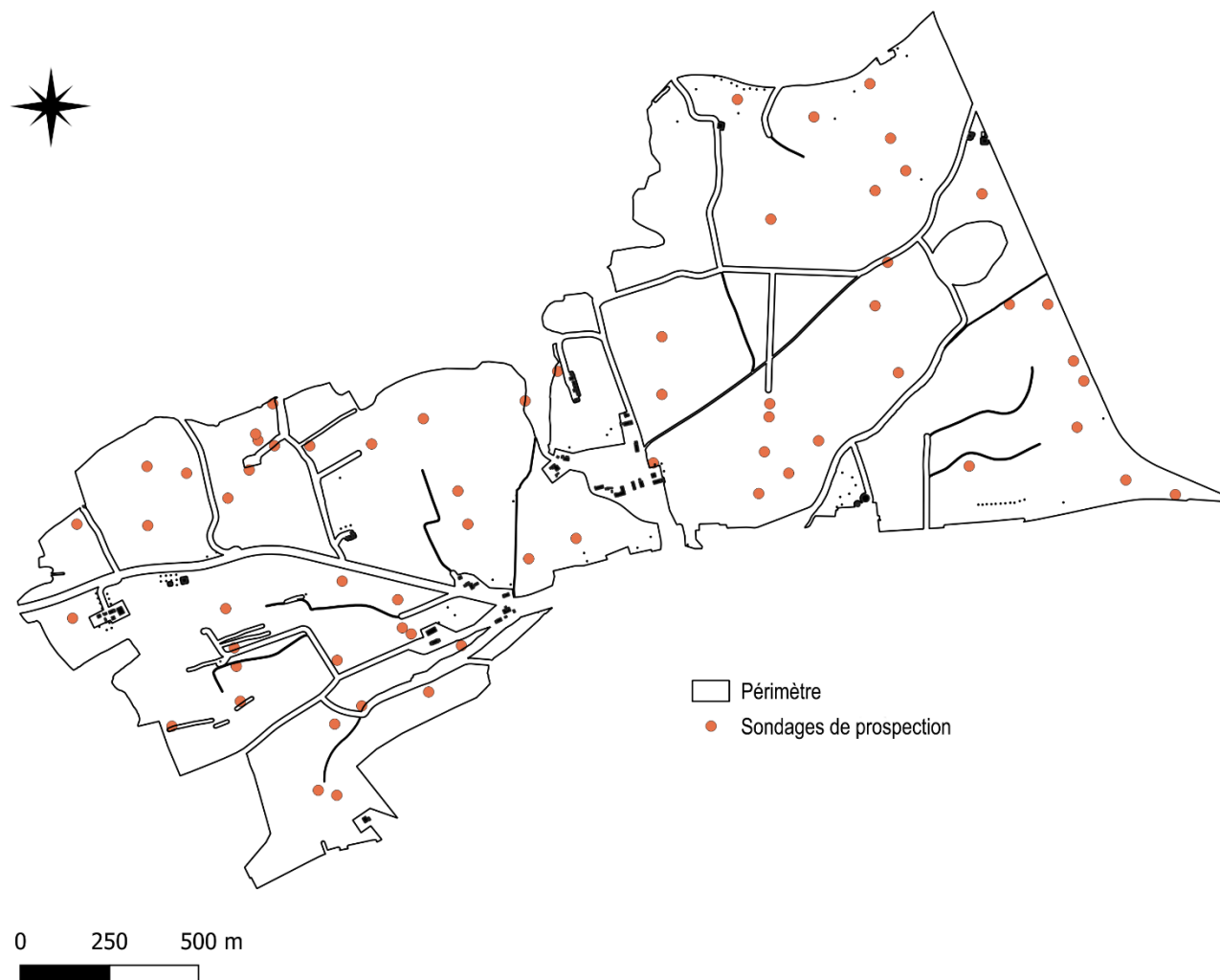


Figure 5 : Emplacement des sondages de prospection (hiérarchie H0). Ceux-ci ont lieu avant la phase de profil.

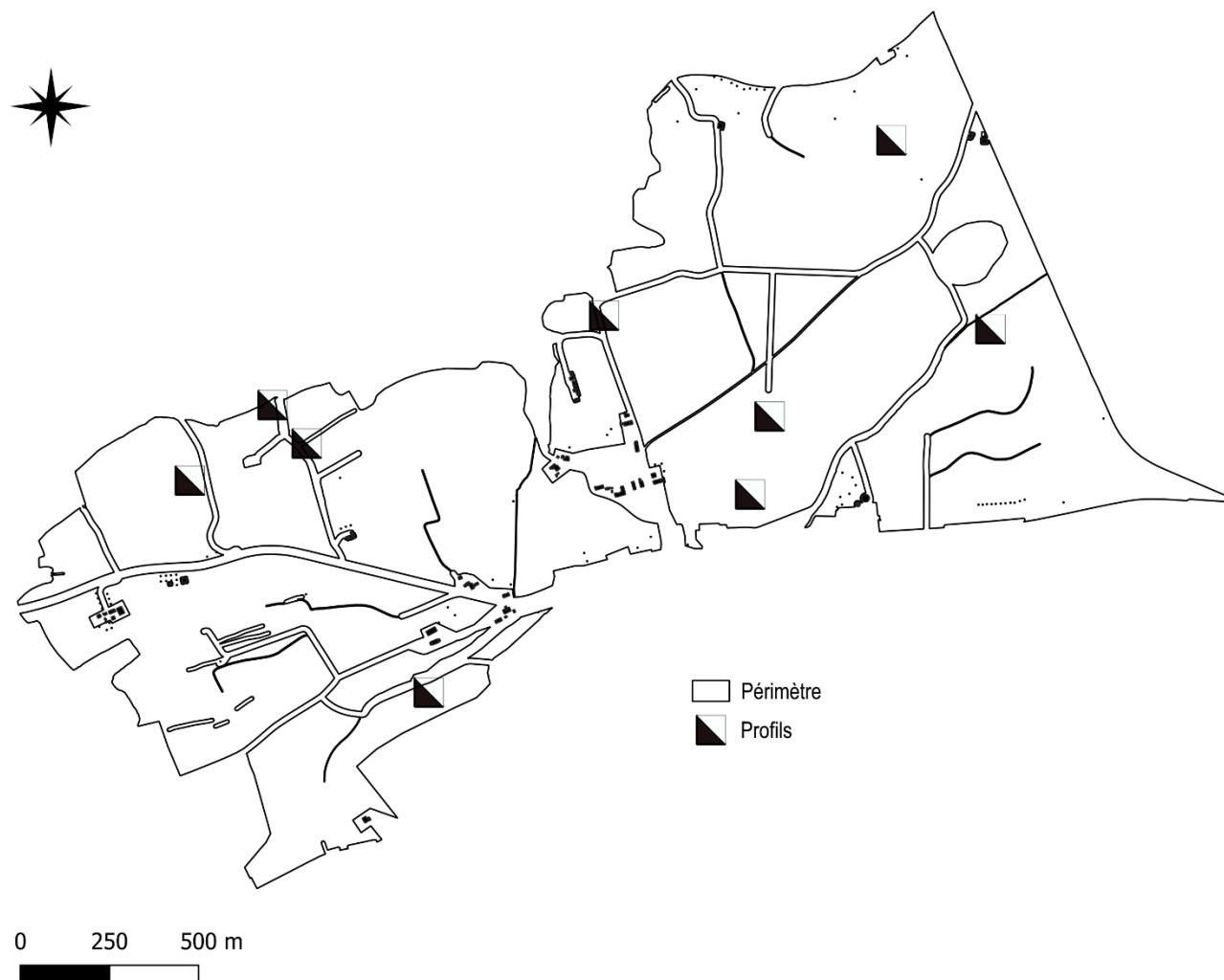


Figure 6 : Localisation des 10 profils. Les sites ont été déterminés par les cartographes.

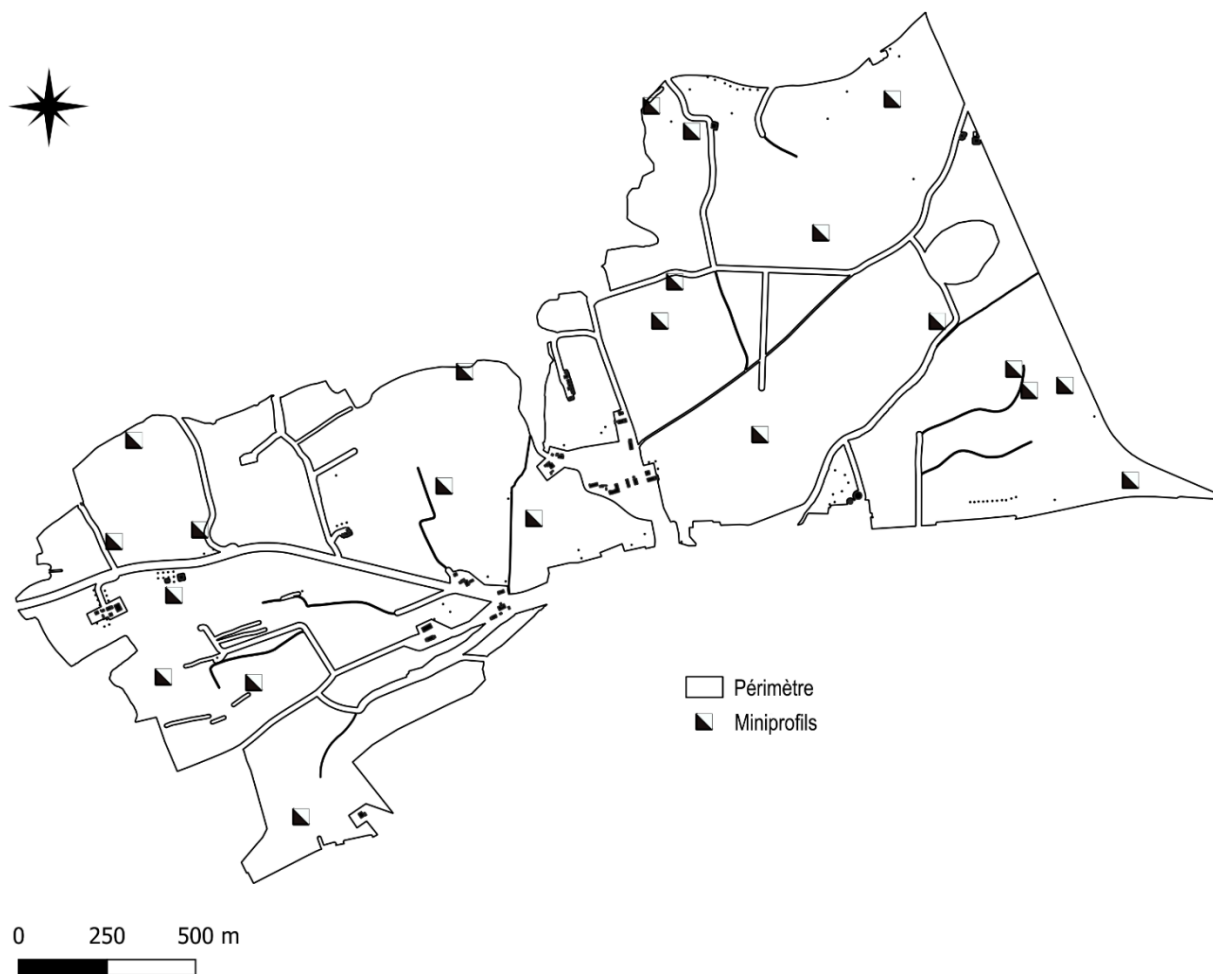


Figure 7 : Localisation des 22 miniprofils. Les sites ont été déterminés par les cartographes. Les données pédologiques relevées sur les miniprofils complètent les données.

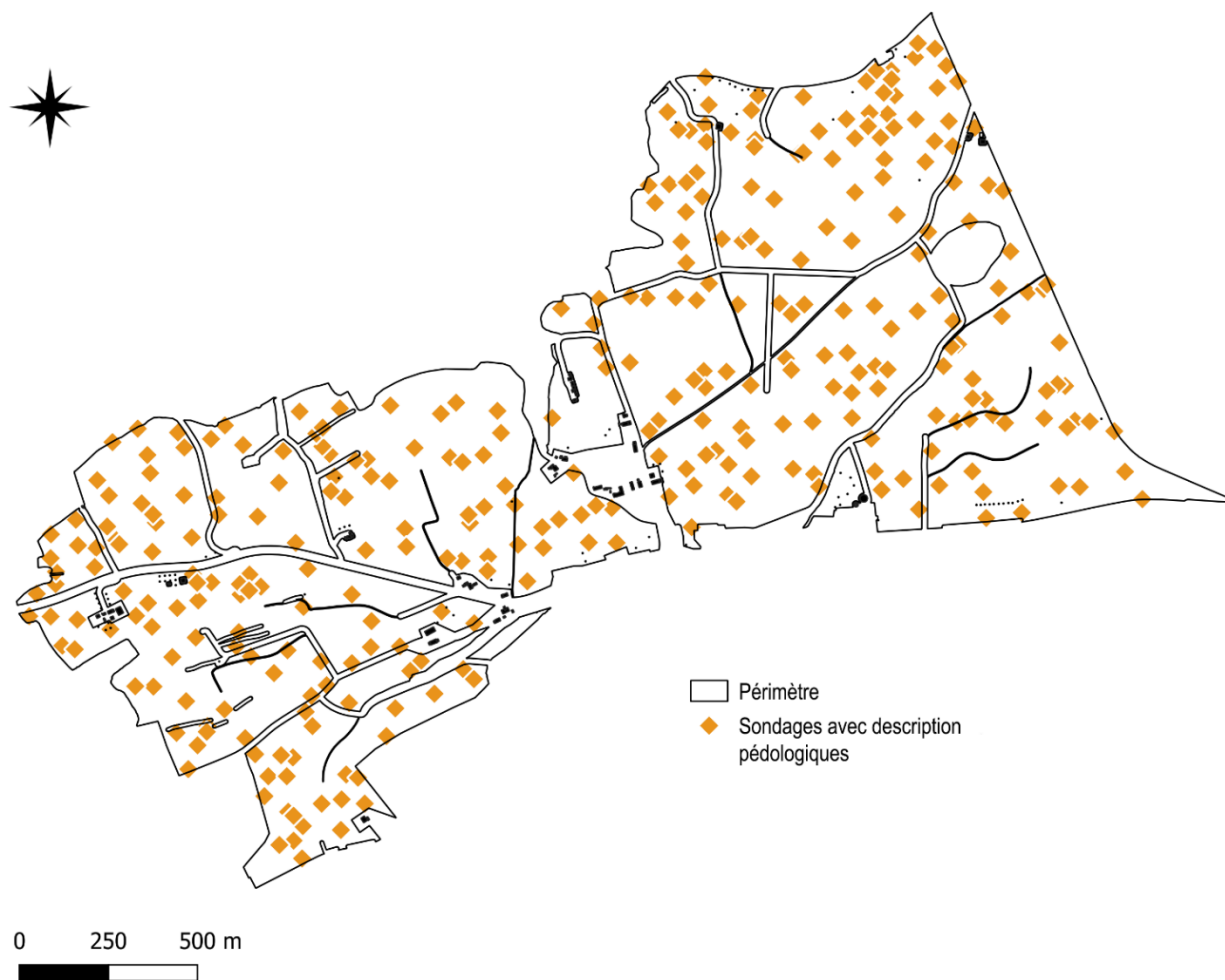


Figure 8 : Localisation des sondages pédologiques : ceux-ci se composent de sites prédéfinis statistiquement et de sites librement choisis par les cartographes.

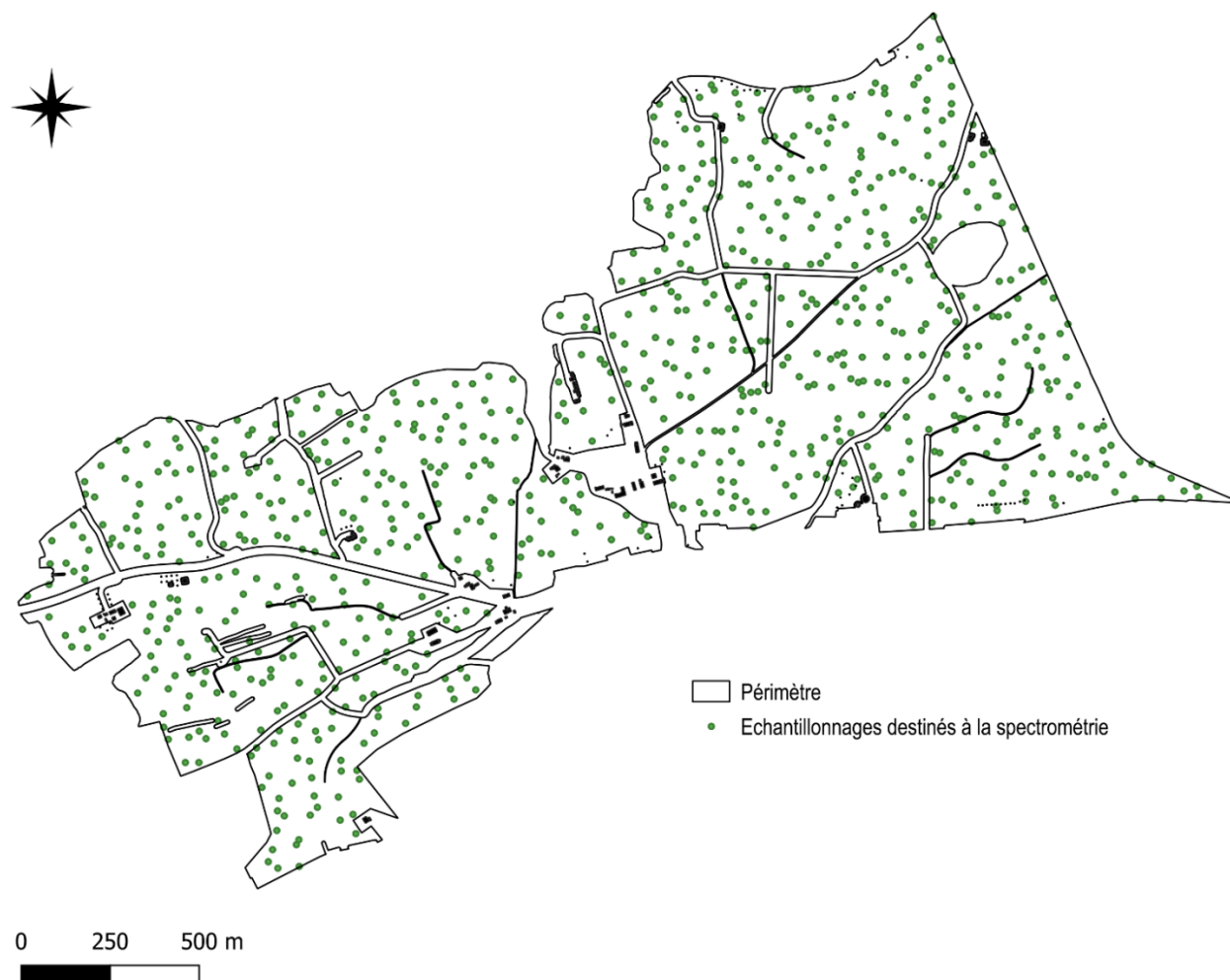


Figure 9 : Localisation des échantillons prélevés pour la spectroscopie. Ces sites ont été échantillonnés à trois profondeurs différentes (0-20 cm, 20-40 cm et 40-70 cm).

---

## A 2.2 Phase de prospection

À l'aide des données issues de 64 sondages de prospection, l'emplacement de 10 profils a été déterminé lors d'une concertation. La détermination des emplacements s'est faite selon les critères suivants :

- Les profils doivent représenter, autant que possible, tous les types de sols identifiés lors des sondages de prospection.
- Les sols peu jusqu'à très développés, les sols peu jusqu'à très humides ainsi que les différents matériaux parentaux devront être examinés plus en détail dans des profils.
- Il convient d'éviter les « emplacements de niche », c'est-à-dire qu'une certaine fréquence d'observation et une certaine représentativité sont nécessaires pour justifier un profil.
- Les profils doivent être répartis de manière représentative sur l'ensemble de la zone d'étude.
- Les sols présentant des traces de modifications anthropiques ne devraient pas être pris en compte.

Les considérations pratiques telles que la prévention des dommages aux cultures actuelles et l'accessibilité. Les résultats des sondages de prospection ont été regroupés par type de sol, groupe de régime hydrique et matériau parental. Les sites ont été déterminés sur la base des critères susmentionnés. Plusieurs sites de remplacement ont été définis pour chaque site potentiel. Comme le montre la Figure 10 et 11, le type de sol dominant, avec une proportion de 55 % des sondages de prospection, est le Sol brun. Les sols soumis à des nappes perchées étaient absents ou peu présents.

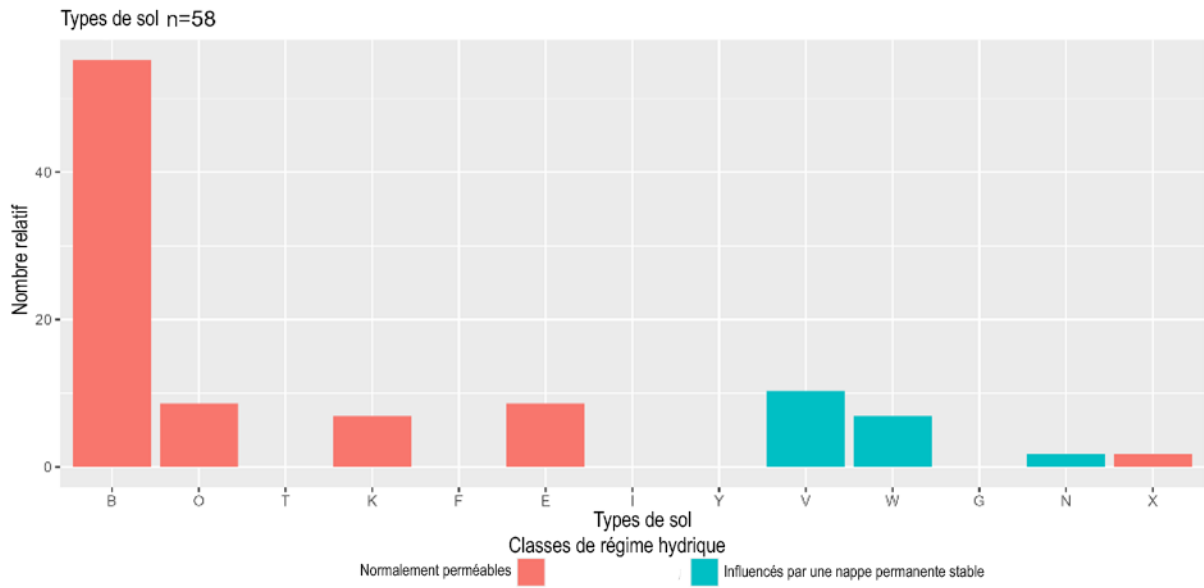


Figure 10 : Proportions relatives des types de sols déterminés à partir des sondages de prospection.

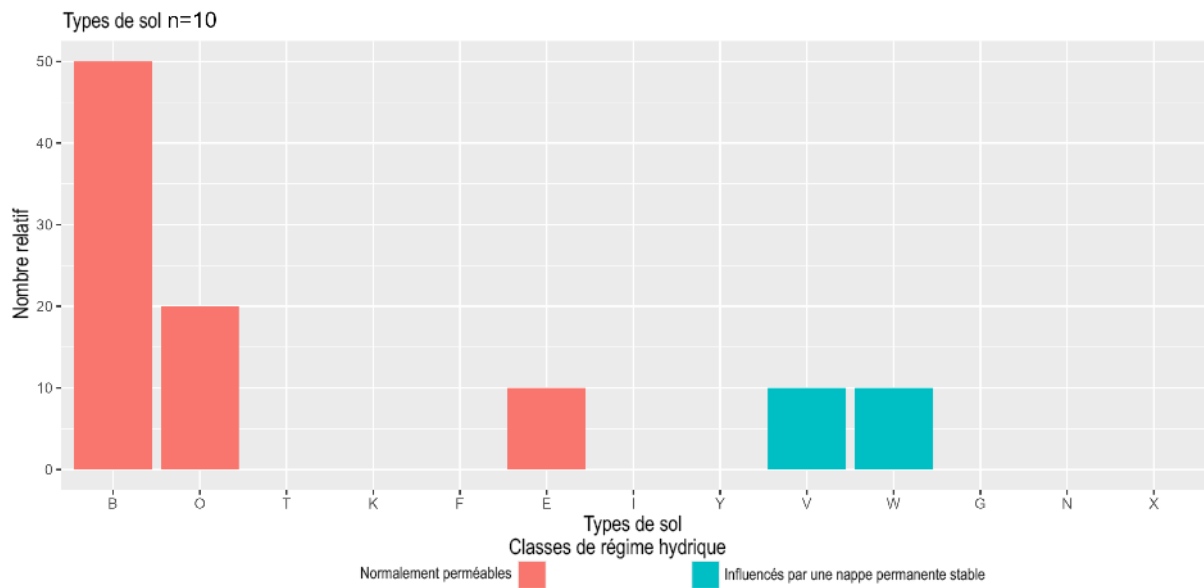


Figure 11 : Proportions relatives des types de sols déterminés à partir des profils.

## A 3. Travail de Terrain

### A 3.1 Aperçu du nombre de relevés réalisés lors des travaux de terrain

Le Tableau 1 présente de manière synthétique la stratégie de prélèvement des différents niveaux hiérarchiques H0-H3. Les piézomètres n'ont pas de niveau hiérarchique propre et ne sont, par conséquent, pas mentionnés ici.

Tableau 1 : Aperçu du nombre de relevés réalisés au cours des travaux de terrain dans le cadre du projet pilote CCSols de Prez.

	Sondages de prospection	Profils pédologiques	Carottages de gros calibre H1.1 (« miniprofils »)	Sondages avec description pédologique	Echantillonnages destinés à la spectroscopie
<b>Niveaux hiérarchiques / abréviation</b>	H0	H1	H1.1	H2	H3
<b>Appareils utilisés pour creuser</b>	Tarière hollandaise	Pelle rétro	Appareil de sondage Zurbuchen Bodenschutz GmbH	Véhicule de sondage / Tarière (manuelle)	Véhicule de sondage Peters
<b>Profondeur maximale [cm]</b>	100	150	180	120 (véhicule de sondage) / 100 (manuelle)	70
<b># points [-]</b>	64	10	22	330	810
<b>Densité de points [points / ha]</b>	0.2	0.04	0.09	1.4	3.5
<b>Description pédologique</b>	Réduite	Oui	Oui	Réduite	Non
<b>Attributs pédologiques</b>	Masque H0 (Paragraphe A 3.2.1)	Masque H1 (Paragraphe 0)	Masque H1.1 (Paragraphe 0)	Masque H2 «light» ou «full» (Paragraphe A 3.2.3 & 0)	-

	Sondages de prospection	Profils pédologiques	Carottages de gros calibre H1.1 (« miniprofils »)	Sondages avec description pédologique	Echantillonnages destinés à la spectroscopie	
<b>Niveaux hiérarchiques / abréviation</b>	H0	H1	H1.1	H2	H3	
<b>Mode d'échantillonnage</b>	Pas d'échantillonnage	Échantillons simples / cylindres (250 ml)	Échantillons simples à certains points	Échantillon simple à certains points	Échantillons simples / échantillons composites (3 piqûres)	
<b>Poids moyen de l'échantillon humide [g]</b>		env. 600	env. 600	env. 600	env. 100	
<b>Echantillonnés d'après</b>		Horizon	Horizon	Horizon	Profondeurs fixes T1: 0-20cm T2: 20-40cm T3: 40-70cm	
<b># échantillons / points</b>		3-4	2-3	2-3	3	
<b># échantillons pour T1 [0-20cm]</b>		Échantillonnage avec des profondeurs prédéfinies				810
<b># échantillons pour T2 [20-40cm]</b>		Échantillonnage avec des profondeurs prédéfinies				801
<b># échantillons pour T3 [40-70cm]</b>		Échantillonnage avec des profondeurs prédéfinies				734
<b>Nombre total d'échantillons</b>		31	30	87	2347	
<b>Nombre d'échantillons de référence laboratoire externe</b>	31	30	0	255		

**Pourcentage  
d'échantillons de  
référence [%]**

100

100

0

11

---

## A 3.2 Masques Soildat

---

### A 3.2.1 Masque OP3 H0

**Site**

- Altitude
- Élément du paysage
- Pente
- Forme du terrain
- Remarques

**Limitations**

- Limitations
- Aménagements constatés

**Désignation du sol**

- Niveau d'eau
- Limite des carbonates
- Profondeur du profil
- Sous-groupe de régime hydrique
- Type de sol
- Sous-type
- Pierrosité
- PU
- PU estimée
- Remarques
- Fichiers (images : seulement jpg/png)

- Végétation

**Données de base**

- Qualité de la description
- Date

Horizon

- Carbonates CaCO<sub>3</sub>
- pH (seulement sous-sol))
- Matière organique
- Degré de décomposition
- Argile
- Limon
- Sable
- Gravier
- Pierres
- Couche examinée
  
- Pédogénèse
- Désignation de l'horizon
- Expression
- État de la MO
- Facteur de diminution de la PU, terre fine
- PU calculée
- Remarques

Matériau parental

Changement lithologique

**Nom:** OP3\_H0

---

## A 3.2.2 Masque OP3 H1 & H1.1

### Site

- Précision de la localisation
- Commune
- Altitude
- Microrelief
- Élément du paysage
- Pente
- Exposition (Degré | 0/360=N)
- Zone agroclimatique
- Zone du cadastre agricole
- Forme du terrain
- Remarques

### Limitations

- Aménagements constatés
- Aménagements recommandés
- Utilisation d'engrais solides
- Utilisation d'engrais liquides

- Etat de la structure
- Limitations
- Restrictions à l'utilisation

### Désignation du sol

- Niveau d'eau
- Limite des carbonates
- Profondeur de l'enracinement
- Profondeur du profil
- Epaisseur de la litière
- Sous-groupe de régime hydrique
- Type de sol
- Sous-type
- Pierrosité
- Assez pierreux
- Texture
- PU
- PU estimée
- Niveau de fertilité

- Végétation

- Pointage du sol
- Aptitude agricole
- Classes d'aptitude agricole
- Sondage suppl. de
- Limitation de la profondeur
- Remarques
- Fichiers (images : seulement jpg/png)

**Données de base**

- Expérience du pédologue
- Qualité de la description
- Date

**Horizon**

- Carbonates CaCO<sub>3</sub>
- PH
- Matière organique
- Degré de décomposition
- Argile
- Limon
- Sable
- Gravier
- Pierres
- Type de roche
- Matériau technogène
- Humidité
- Forme de la structure
- Taille de la structure
- Porosité
- Enracinement
- Activité des vers de terre
- Résidus de récolte
- Couche examinée

Matériau parental

Changement lithologique

- Pédogénèse
- Désignation de l'horizon
- Expression
- Etat de la MO
- Concrétions / nodules
- Traits rédoxiques
- Horizon réductique
- Etat de l'altération
- Etat de la structure
- Enrichissement en particules minérales

- Ions alcalins et alcalinoterreux
- Transition inférieure
- Désignation de l'horizon
- Couleur de la matrice
- Couleur des taches
- Facteur de diminution de la PU, squelette
- Facteur de diminution de la PU, terre fine
- PU calculée
- Remarques

**Echantillon**

Profondeur de / à

- Surface / longueur
- Prélèvements simples
- Matériau à analyser
- Mode d'échantillonnage
- Type d'échantillonnage
- Appareil de prélèvement
- Dimension
- Code
- Remarques

**Nom:** OP3\_H1

---

## A 3.2.3 Masque OP3 H2 Light

### Site

- Précision de la localisation
- Commune
- Altitude
- Microrelief
- Élément du paysage
- Pente
- Exposition (Degré | 0/360=N)
- Zone agroclimatique
- Zone du cadastre agricole
- Forme du terrain
- Remarques

### Limitations

- Aménagements constatés
- Aménagements recommandés
- Utilisation d'engrais solides
- Utilisation d'engrais liquides
- Etat de la structure
- Limitations
- Restrictions à l'utilisation

### Désignation du sol

- Niveau d'eau
- Limite des carbonates
- Profondeur de l'enracinement
- Profondeur du profil
- Epaisseur de la litière
- Sous-groupe de régime hydrique
- Type de sol
- Sous-type
- Pierrosité
- assez pierreux
- Texture
- PU
- PU estimée
- Niveau de fertilité
- Végétation

- Pointage du sol
- Aptitude agricole
- Classes d'aptitude agricole
- Sondage suppl. de
- Limitation de la profondeur
- Remarques
- Fichiers (images : seulement jpg/png)

**Données de base**

- Expérience du pédologue
- Qualité de la description
- Date

**Horizon**

- Carbonates CaCO<sub>3</sub>
- PH
- Matière organique
- Degré de décomposition
- Argile
- Limon
- Sable
- Gravier
- Pierres
- Type de roche
- Matériau technogène
- Humidité
- Forme de la structure
- Taille de la structure
- Porosité
- Enracinement
- Activité des vers de terre
- Résidus de récolte
- Couche examinée

Matériau parental

Changement lithologique

- Pédogénèse
- Désignation de l'horizon
- Expression
- Etat de la MO
- Concrétions / nodules
- Traits rédoxiques
- Horizon réductique
- Etat de l'altération
- Etat de la structure
- Enrichissement en particules minérales

- Ions alcalins et alcalinoterreux
- Transition inférieure
- Désignation de l'horizon
- Couleur de la matrice
- Couleur des taches
- Facteur de diminution de la PU, squelette
- Facteur de diminution de la PU, terre fine
- PU calculée
- Remarques

**Echantillon**

Profondeur de / à

- Surface / longueur
- Prélèvements simples
- Matériau à analyser
- Mode d'échantillonnage
- Type d'échantillonnage
- Appareil de prélèvement
- Dimension
- Code
- Remarques

**Nom:** OP3\_H2\_LIGHT

---

## A 3.2.4 Masque OP3 H2 Full

### Site

- Précision de la localisation
- Commune
- Altitude
- Microrelief
- Élément du paysage
- Pente
- Exposition (Degré | 0/360=N)
- Zone agroclimatique
- Zone du cadastre agricole
- Forme du terrain
- Remarques

### Limitations

- Aménagements constatés
- Aménagements recommandés
- Utilisation d'engrais solides
- Utilisation d'engrais liquides
- Etat de la structure
- Limitations
- Restrictions à l'utilisation

### Désignation du sol

- Niveau d'eau
- Limite des carbonates
- Profondeur de l'enracinement
- Profondeur du profil
- Epaisseur de la litière
- Sous-groupe de régime hydrique
- Type de sol
- Sous-type
- Pierrosité
- assez pierreux
- Texture
- PU
- PU estimée
- Niveau de fertilité
- Végétation

- Pointage du sol
- Aptitude agricole
- Classes d'aptitude agricole
- Sondage suppl. de
- Limitation de la profondeur
- Remarques
- Fichiers (images : seulement jpg/png)

**Données de base**

- Expérience du pédologue
- Qualité de la description
- Date

**Horizon**

- Carbonates CaCO<sub>3</sub>
- PH
- Matière organique
- Degré de décomposition
- Argile
- Limon
- Sable
- Gravier
- Pierres
- Type de roche
- Matériau technogène
- Humidité
- Forme de la structure
- Taille de la structure
- Porosité
- Enracinement
- Activité des vers de terre
- Résidus de récolte
- Couche examinée

Matériau parental

Changement lithologique

- Pédogénèse
- Désignation de l'horizon
- Expression
- Etat de la MO
- Concrétions / nodules
- Traits rédoxiques
- Horizon réductique
- Etat de l'altération
- Etat de la structure
- Enrichissement en particules minérales

- Ions alcalins et alcalinoterreux
- Transition inférieure
- Désignation de l'horizon
- Couleur de la matrice
- Couleur des taches
- Facteur de diminution de la PU, squelette
- Facteur de diminution de la PU, terre fine
- PU calculée
- Remarques

**Echantillon**

Profondeur de / à

- Surface / longueur
- Prélèvements simples
- Matériau à analyser
- Mode d'échantillonnage
- Type d'échantillonnage
- Appareil de prélèvement
- Dimension
- Code
- Remarques

**Nom:** OP3\_H2\_FULL

### A 3.3 Contrôle qualité des relevés pédologiques

La Figure 12 ci-dessus montre un aperçu du rapport du contrôle qualité effectué par le CCSols grâce à un script R appelé « Contrôle des données saisies dans Soildat » version 0,7 (voir Paragraphe 4.1 du rapport principal).

ID Feld (Soildat-Link)	Kartierperson	201. WHG passt nicht zu PNG	202. Bodentyp K <=> Karbonatgrenze	403. B dominant ohne w, gg, r, t	405. Profil mit y aber fehlendem b	413. Bedingungen Bodentyp Halbmoor	421. (r) et r <-> UTR	422. Bedingung für PK	424. png Faktor Feinerde ungewöhnlich	45. Parabraunerde ohne It und E
H2_S75	cee1								4	
H2_S233	cee1					x			4	
H2_S804	cee1					x	x		3	
H2_S68	hah	x								
H2_S110	hah						x			
H2_S43	hzm5						x		3	
H2_S140	hzm5								2	
H2_S179	hzm5						x			
H2_S18	hzm5						x			
H2_S744	hzm5		2						4	
H2_S72	hzm5	x								
H2_S213	moe			x						
H2_S8	slm14	x								
H2_S113	slm14	x								
H2_S155	slm14	x								

Figure 12 : Affichage des sites avec des entrées manquantes ou non plausibles. Les numéros correspondent aux horizons concernés.

## A 3.4 Résultats des descriptions des H1

### A 3.4.1 Fiche descriptive du profil P02 : Gley - Sol brun

**Emplacement et utilisation :** ce profil est situé près de la lisière de la forêt, sur un versant plat orienté vers le nord. La surface est utilisée à des fins agricoles, mais a été drainée en raison de l'eau provenant de la pente.

**Classification :** le profil P02 peut être classé comme un Gley - Sol brun assez superficiel à superficiel. La caractéristique frappante est la forte teneur en carbonates et le tuf précipité visible dans le profil.

**Horizons :** le profil s'est formé dans une succession de différentes couches peu épaisses composées de tourbe, d'alluvions, de tuf et de matériau morainique. Le premier horizon contient beaucoup de matières organiques issues de la tourbe contrairement au reste du profil composé de couches de sous-sol dans lesquels les caractéristiques typiques sont peu exprimées. En raison de l'eau de pente abondante, la teneur en carbonate est très élevée dans tout le profil et des signes d'engorgement (taches de rouille) sont visibles presque jusqu'à la surface.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** ce site est très probablement un ancien bas marais de petite taille alimenté par les eaux de ruissellement des versants, drainé et homogénéisé pour les besoins de l'exploitation agricole. La tourbe a été, par conséquent, dégradée par oxydation.

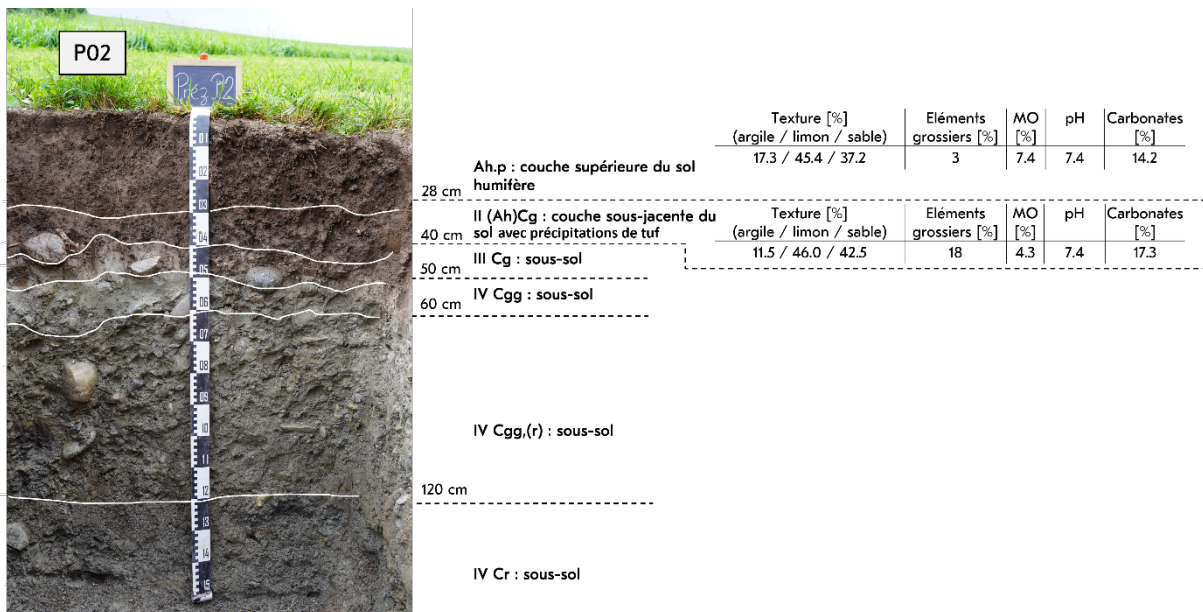


Figure 13 : Profil P02

### A 3.4.1.1 Fiche descriptive du profil P03 : Sol brun

**Emplacement et utilisation :** le profil P03 est situé sur une parcelle agricole au pied d'une pente ayant une inclinaison d'environ 9% et une orientation nord.

**Classification :** le profil est un Sol brun très profond qui s'est développé dans des colluvions épais et qui contiennent des revêtements argileux peu marqués dans la couche sous-jacente du sol.

**Horizons :** le profil P03 illustre la succession typique d'horizons d'un sol agricole : une couche supérieure humifère et labourée sur une couche sous-jacente altérée et un sous-sol non altéré. La couche supérieure et sous-jacente du sol présentent des teneurs en matières organiques relativement élevées dont l'origine provient du matériau parental. Le matériau morainique non altéré du sous-sol n'a été atteint que grâce à un sondage manuel réalisé pour prolonger le profil au fond de la fosse.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** le profil s'est développé sur des colluvions qui se sont déposées au pied de la pente. Il s'agit d'un matériau pédologique qui a été érodé plus haut sur le versant et transporté au pied de la pente. La couleur sombre est typique des colluvions, car il ne s'agit pas de simples sédiments, mais de matériaux érodés et redéposés, éventuellement enrichis en matières organiques ou brunifiés. De plus, les colluvions contiennent souvent du charbon de bois et des fragments de céramique montrant clairement que ces matériaux ont dû se trouver un jour à la surface.

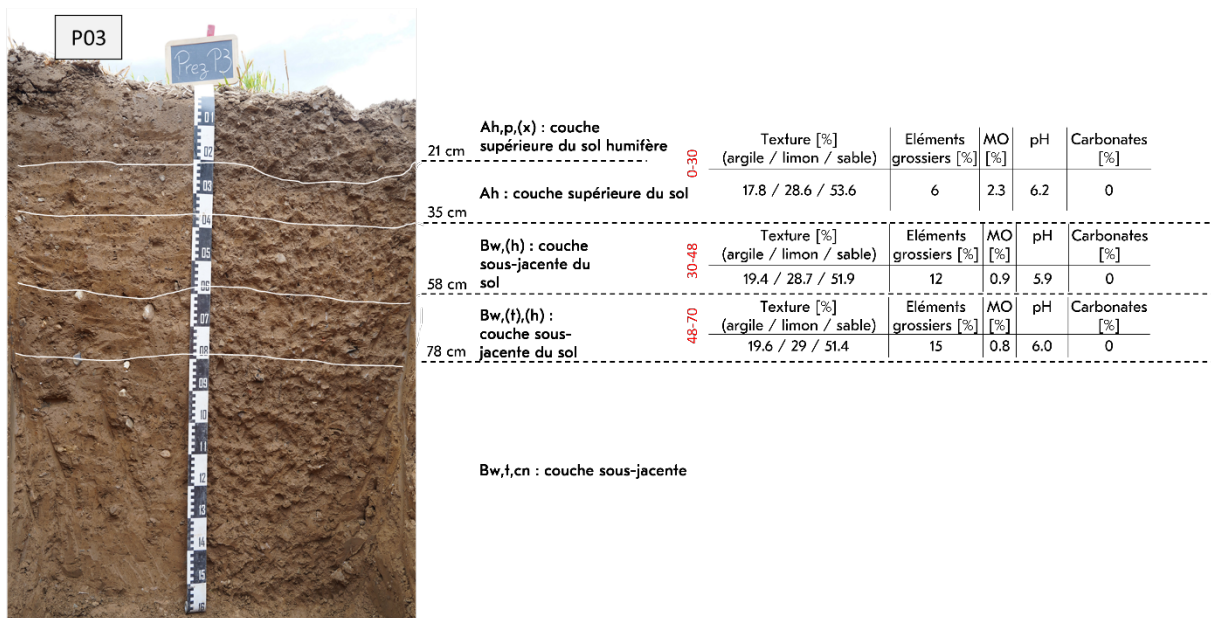


Figure 14 : Profil P03

### A 3.4.1.2 Fiche descriptive du profil P04 : Sol brun

**Emplacement et utilisation :** le site du profil P04 se trouve à proximité du village de Prez-vers-Noréaz, sur un versant régulier ayant une inclinaison de 16%, orienté nord-ouest et utilisé pour l'agriculture.

**Classification :** le sol peut être classé comme un Sol brun très profond, partiellement décarbonaté et humide en profondeur ayant des revêtements argileux et recouvert de colluvions de faible épaisseur (45 cm).

**Horizons :** la couche supérieure et sous-jacente du sol, qui se sont développées dans les colluvions, sont humifères. Les horizons composant le sous-sol se sont, quant à eux, développés dans des matériaux morainiques issus de la dernière glaciation et montrent des traces de lessivage des argiles.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** ce profil contient clairement des revêtements argileux dans la couche sous-jacente du sol sans qu'aucun horizon éluvial ne soit présent. Il est possible qu'un déplacement d'argile vers la couche sous-jacente du sol ou un enrichissement de celle-ci se produise sans formation d'un horizon de lessivage visible, mais il serait également possible que le processus qui a déposé les colluvions à cet endroit ait préalablement éliminé l'horizon de lessivage.

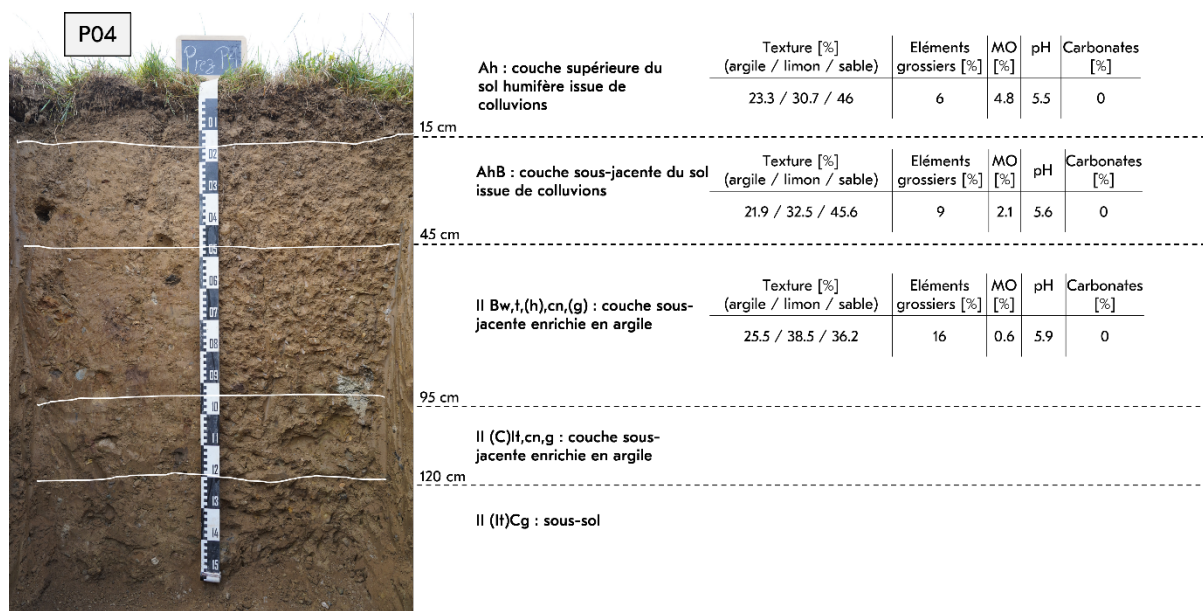


Figure 15 : Profil P04

### A 3.4.1.3 Fiche descriptive du profil P05 : Régosol

**Emplacement et utilisation :** le profil P05 se trouve sur un versant peu incliné (20 %) près du sommet d'un drumlin dans la partie occidentale de la zone cartographiée. La parcelle est exclusivement utilisée comme pâturage.

**Classification :** le sol du profil P05 est un régosol assez superficiel, normalement perméable.

**Horizons :** le régosol se compose d'une couche supérieure avec des matières organiques (40 cm d'épaisseur) qui repose directement sur le matériau d'origine, largement épargné par les intempéries. Celui-ci est constitué de dépôts morainiques datant de la dernière glaciation et est calcaire jusqu'à la surface.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** la succession des horizons et la position du profil près du sommet de la colline suggèrent qu'il s'agit d'un site érodé. L'absence totale d'horizons de sol sous-jacents ne peut guère s'expliquer autrement. On peut donc supposer que le sol qui s'est développé à cet endroit a été fortement érodé par le déboisement et l'exploitation agricole (et probablement aussi par le labour dans le passé), de sorte qu'il ne reste plus rien du profil d'origine.

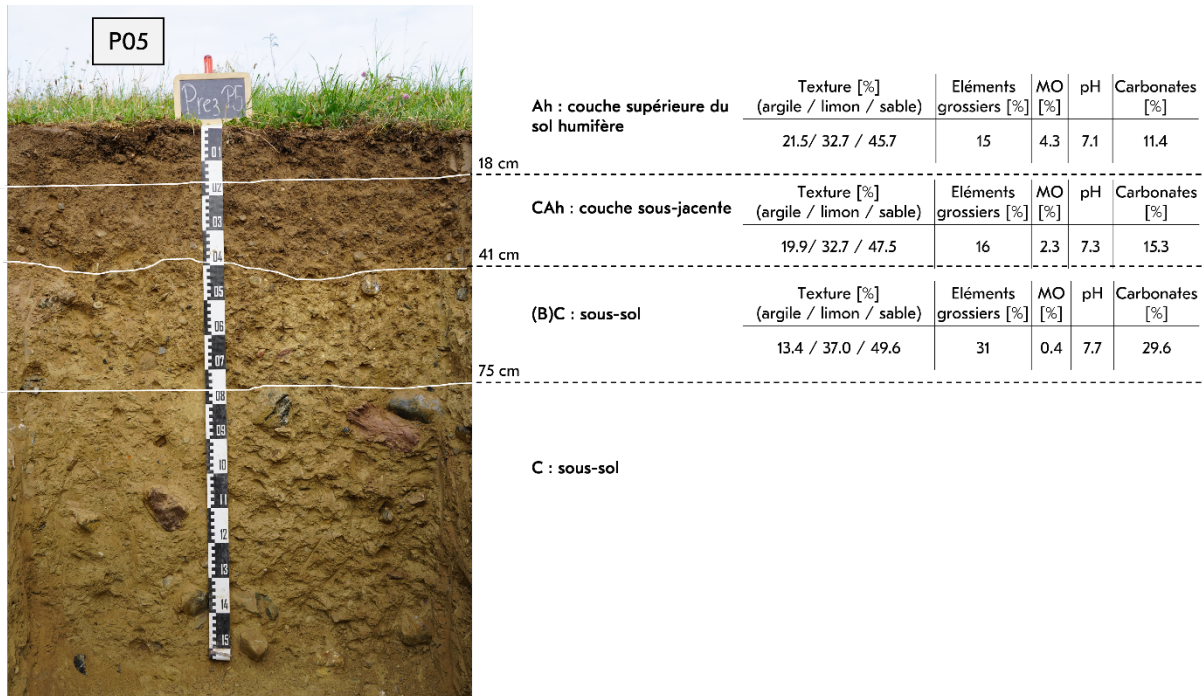


Figure 16 : Profil P05

### A 3.4.1.4 Fiche descriptive du profil P06 : Sol brun

**Emplacement et utilisation :** le profil P06 se trouve au nord du village de Prez-vers-Noréaz, sur un sommet plat qui s'étend en une plaine. La pente du profil est de 1 % et la surface est utilisée pour l'agriculture.

**Classification :** le profil est constitué d'un Sol brun profond influencé par une nappe perchée. Le profil est influencé par l'activité humaine (tuiles romaines, sur la paroi gauche du profil : remblayage).

**Horizons :** ce profil s'est développé dans des sédiments alluviaux, ce qui explique la forte teneur en squelettes, en particulier dans la couche sous-jacente du sol, sous laquelle se trouvent des dépôts fluvio-glaciaires peu altérés. La couche supérieure présente l'homogénéisation typique des sols agricoles et, juste en dessous, les premiers signes d'engorgement apparaissent sous forme de taches de rouille, que l'on retrouve dans tout le reste du profil. On peut supposer que la forte teneur en argile provoque une certaine accumulation d'eau, tandis que les sédiments alluviaux indiquent que, même s'il n'y a plus de ruisseau, il peut encore y avoir un certain écoulement d'eau dans le sous-sol, ce qui entraîne une humidité de fond.

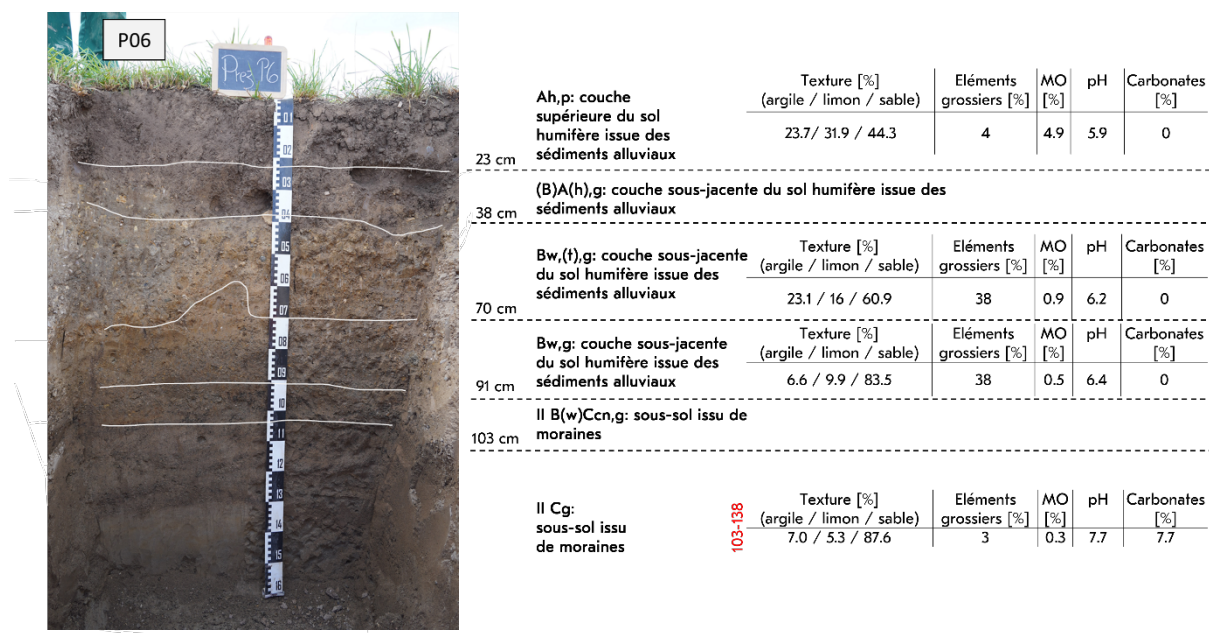


Figure 17 : Profil P06

### A 3.4.1.5 Fiche descriptive du profil P07 : Sol brun acide

**Emplacement et utilisation :** le profil P07 se trouve au nord du village, près du profil P06. La surface est utilisée pour l'agriculture.

**Classification :** le profil P07 est un Sol brun acide très profond. Le profil est influencé par l'activité humaine (présence de tuiles romaines).

**Horizons :** le profil s'est développé dans un remblai recouvrant des dépôts fluvio-glaciaires. Le remblai présente un horizon labouré homogénéisé et, en dessous, une couche sous-jacente du sol altérée. On observe une faible accumulation d'argile dans les dépôts fluvio-glaciaires.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** la raison pour laquelle le sol a été remblayé vers le profil P07 n'est pas connue. Il semble qu'il y ait eu à cet endroit un Sol brun lessivé (déplacement des argiles dans le sol), bien que l'horizon qui a perdu son argile ait disparu et ait été remplacé par le remblai.

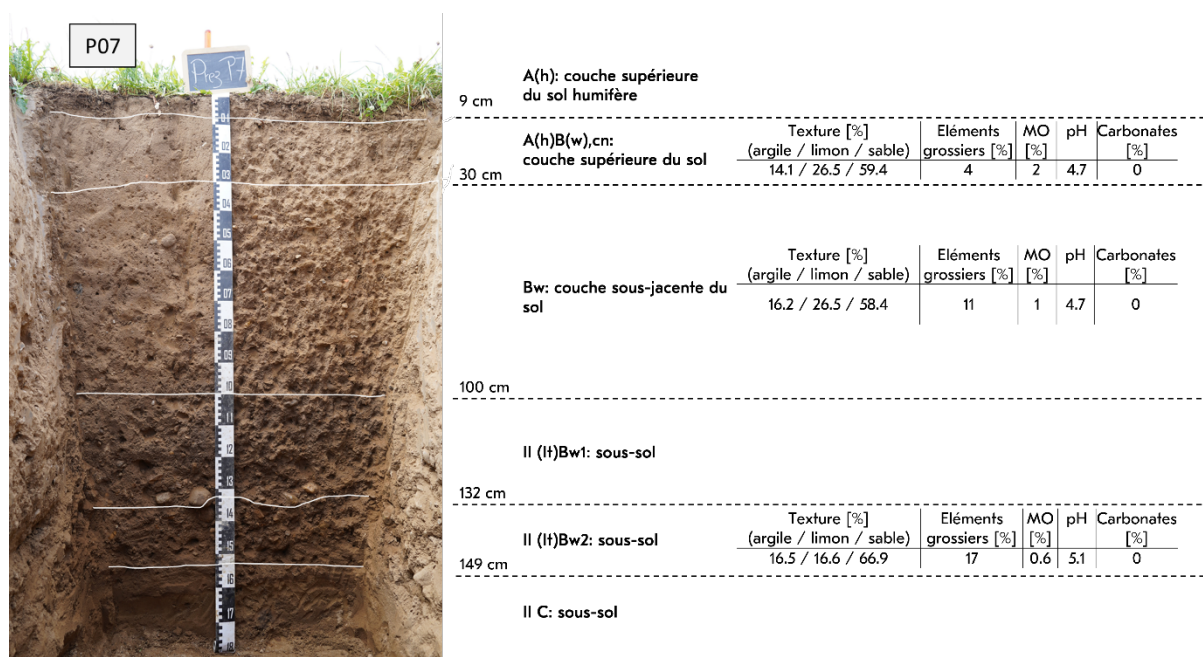


Figure 18 : Profil P07

### A 3.4.1.6 Fiche descriptive du profil P08 : Régosol

**Emplacement et utilisation :** le profil P08 se trouve à proximité de la forêt, sur la grande plaine au nord du village. Cette plaine est constituée de dépôts fluvio-glaciaires et est utilisée pour l'agriculture.

**Classification :** le sol du profil P08 est un régosol superficiel, normalement perméable.

**Horizons :** ce sol se compose d'une couche supérieure avec des matières organiques, homogénéisée par le labour et d'une couche inférieure aux limites très nettes, facilement reconnaissable à son changement brusque de couleur. En dessous se trouve un matériau d'origine non altéré, graveleux et sableux. Les régosols se caractérisent par une forte teneur en carbonates jusqu'à la surface.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** les régosols sont généralement des sols très jeunes ou fortement érodés, dont les horizons supérieurs et inférieurs ont été éliminés. Dans le cas présent, le labour a mélangé les matières organiques avec le matériau d'origine, formant ainsi un horizon humifère (Ah,p). Les dépôts sur lesquels repose le sol ayant vraisemblablement été formés pendant ou peu après la dernière période glaciaire, on ne peut pas considérer le sol Profil P08 comme un sol jeune. Il est donc probable que le site ait été fortement érodé, même si la forme du terrain ne laisse apparaître aucun processus d'érosion visible.

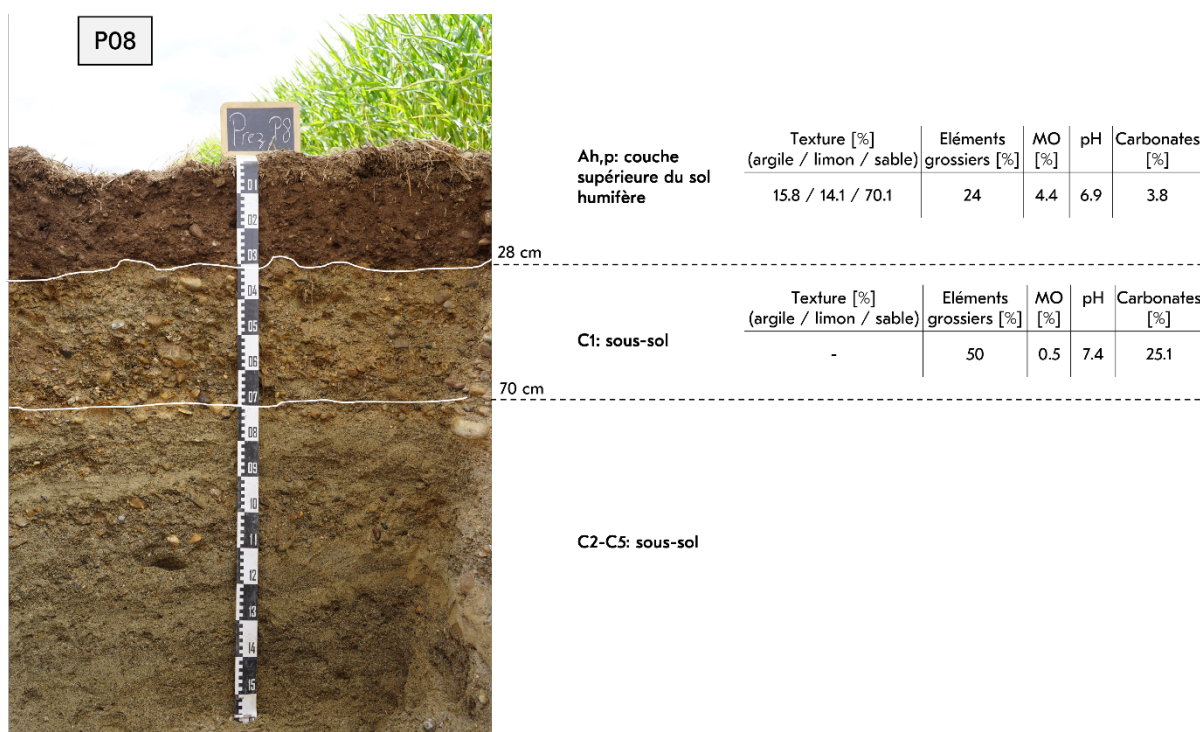


Figure 19 : Profil P08

### A 3.4.1.7 Fiche descriptive du profil P10 : Sol brun

**Emplacement et utilisation :** le site du profil P10 se trouve au sud de l'étang (La Goillette) sur un terrain plat (pente de 3 %). La surface est utilisée pour l'agriculture.

**Classification :** Le profil peut être classé comme un Sol brun assez superficiel. Il est toutefois pseudo-gleyique et faiblement gleyique et a été drainé.

**Horizons :** le profil présente la succession typique de la couche supérieure du sol, de la couche sous-jacente du sol et du sous-sol. On remarque un léger compactage juste sous l'horizon labouré et des signes d'engorgement qui s'étendent également jusqu'à l'horizon labouré, mais qui pourraient aussi être des reliques.

**Hypothèse sur l'origine du sol :** le profil s'est développé dans une succession de sédiments fluvio-glaciaires issus de la dernière période glaciaire. Les grandes différences entre les horizons du sous-sol (regroupés sous le symbole Cg) en termes de composition granulométrique et de teneur en éléments grossiers indiquent que les conditions de dépôt étaient très variables : des dépôts fluviaux graveleux classiques à des matériaux extrêmement limoneux, qui ont peut-être été déposés dans des eaux presque stagnantes.

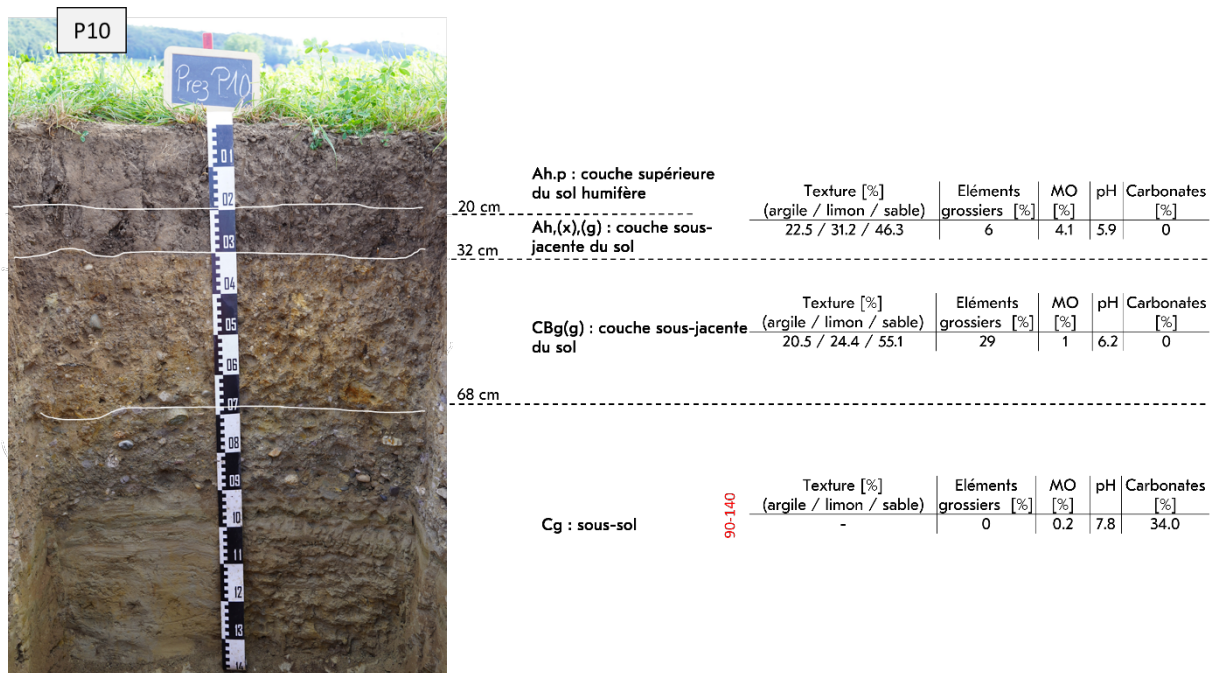


Figure 20 : Profil P10

## A 3.5 Miniprofils (niveau hiérarchique H1.1)

Comparaison entre profils et miniprofils

### Classification

Comparaison à l'aide de diagrammes à barres (paires comparatives selon les types de sols)

La classification des sols en fonction des types et sous-types de sols est globalement similaire (voir marquage « id » dans Figure 21). Dans 4 sols sur 10, les types de sols classés sont exactement les mêmes. Plusieurs facteurs expliquent pourquoi 6 sols sur 10 présentent des caractéristiques distinctes (symboles « a » à « c », Figure 21) :

- a. Subjectivité dans la distinction entre les Sols bruns avec des recouvrements argileux (sous-type ZT) et les Sols bruns lessivés : dans trois cas, il existe des différences d'interprétation entre les Sols bruns avec des recouvrements argileux et les Sols bruns lessivés, respectivement entre les Sols bruns (sans sous-type ZT) et les Sols bruns lessivés.
- b. *Subjectivité dans la délimitation des sols influencés par l'activité humaine (sous-type PM) et des remblais : dans un cas, un remblai a été cartographié dans le miniprofil à la place d'un Sol brun de sous-type PM. Les tuiles trouvées peuvent être attribuées à l'époque romaine et ne sont pas considérées comme un remblai récent au sens actuel du protocole d'étalonnage de Prez. Dans un autre cas, un remblai a également été cartographié dans le miniprofil à la place d'un Sol brun (sans sous-type PM). Dans la région de Prez, seuls les remblais pouvant être prouvés sont indiqués comme type de sol « remblai ». Dans ce cas, les preuves faisaient défaut.*
- c. *Subjectivité dans l'évaluation des caractéristiques hydromorphiques : dans un cas, la limite supérieure des caractéristiques hydromorphiques (gg) a été évaluée différemment, ce qui a conduit à un autre sous-type G et donc à un autre type de sol (Gley-sol brun au lieu de Gley oxydé).*

En principe, la perte d'informations (miniprofil vs profil) et la variabilité à petite échelle (emplacement non identique) peuvent également être prises en compte pour expliquer les différences mentionnées ci-dessus.

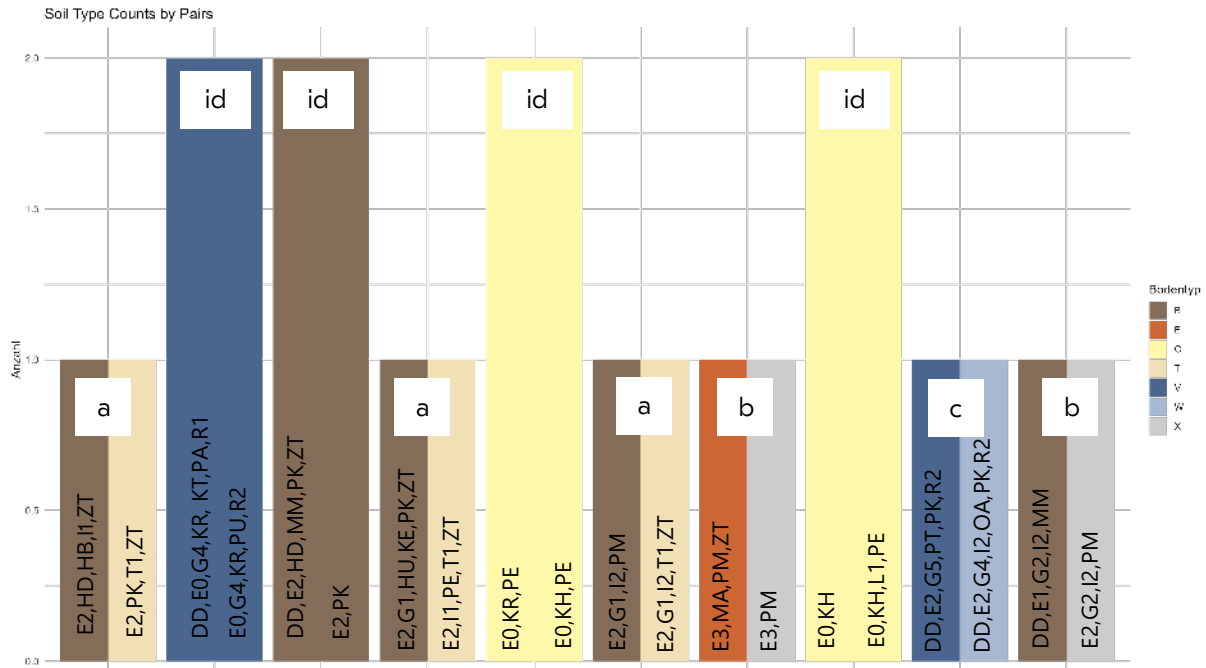


Figure 21 : Comparaison de la classification des types de sols répartis en 10 groupes (profils vs miniprofiles). id = classification identique des types de sols. a = subjectivité concernant la délimitation des Sols bruns argileux (sous-type ZT) par rapport aux Sols bruns lessivés. b = subjectivité concernant la distinction entre les sols influencés par l'activité humaine (sous-type PM) et les remblais. c = subjectivité concernant l'évaluation des caractéristiques hydromorphiques.

#### Comparaison avec l'indice de Jaccard (plusieurs caractéristiques d'identification)

Le coefficient de Jaccard, également appelé indice de Jaccard, a été utilisé pour comparer plusieurs caractéristiques de classification des deux ensembles de données (profils, miniprofiles). Cet indice est calculé à partir du nombre d'éléments communs entre les deux groupes divisés par la taille de l'union des deux groupes :

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

A = caractéristiques d'identification sélectionnées<sup>1</sup> 10 profils

B = caractéristiques d'identification sélectionnées 10 miniprofiles

Plus l'indice est élevé, plus les deux ensembles de données sont similaires en termes de caractéristiques d'identification sélectionnées.

Liste des règles et des caractéristiques d'identification sélectionnées :

- types de sols (Code), par exemple B (Sol brun)
- sous-groupes de régime hydrique (Code), a (normalement perméable, très profond)
- groupe de régime hydrique (catégorie), par exemple 4 (influencé par de l'eau de nappe perchée, rarement engorgé jusqu'en surface)
- sous-type relatif à l'acidité (Code), par exemple E2 (faiblement acide)
- teneur en carbonates (Code), par exemple KH (calcaire), 0 (pas de sous-type K)
- sous-type « Nappe perchée » (Code), par exemple I1 (faiblement pseudogleyifié), 0 (pas de sous-type I)

<sup>1</sup> Uniquement des valeurs de catégorie ou binaires

- sous-type « Nappe permanente à battements » (Code), par exemple G2 (faiblement gleyifié), 0 (pas de sous-type G)
- sous-type « Nappe permanente stable » (Code), par exemple R2 (mouillé), 0 (pas de sous-type R)
- sous-type « Drainage artificiel » (Code), par exemple DD (drainé), 0 (pas de sous-type DD)
- sous-type « anthropogène PM » (binaire), 0 (pas de PM), 1 (PM)
- sous-type « colluvial PK » (binaire), 0 (pas de PK), 1 (PK)
- sous-type « à recouvrements argileux ZT » (binaire), par exemple 0 (pas ZT), 1 (ZT)
- sous-type « érodé PE » (binaire), par exemple 0 (pas PE), 1 (PE)

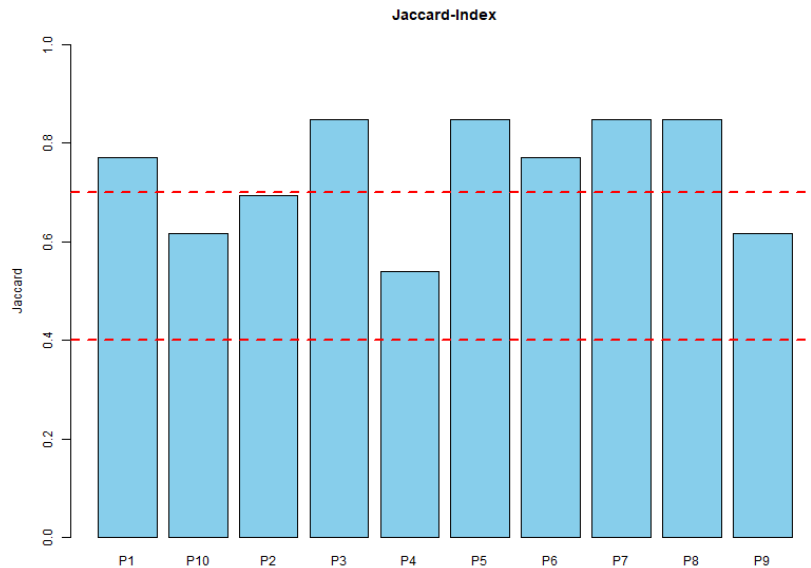


Figure 22 : Indice de Jaccard pour les 10 paires comparées (profils - miniprofils). Un indice de Jaccard inférieur à 0,4 indique une faible similitude entre les paires comparées. Un indice de Jaccard compris entre 0,4 et 0,7 indique une similitude modérée et un i

La Figure 22 montre qu'aucun couple comparatif ne présente une faible similitude (<0,4). 4 couples comparatifs sur 10 présentent une similitude modérée et 6 couples comparatifs sur 10 présentent une similitude élevée.

La similitude la plus faible a été constatée pour le profil P4 (indice de Jaccard = 0,54) (Tableau 2). Comme déjà mentionnées dans le diagramme à barres, ces différences sont notamment dues à la subjectivité lors de la distinction entre les sols bruns avec des recouvrements d'argile et les sols bruns lessivés. Dans cette paire comparative, le régime hydrique a également été évalué différemment (nappe de fond vs faiblement pseudogleyifié) et la situation de gain ou de perte de matériau (PE vs PK) a été interprétée différemment. Il est impossible de savoir si le cartographe aurait décrit le sol de la même manière dans le profil en raison des différences d'affleurement. Les différences de classification constatées semblent toutefois reposer sur une interprétation différente des caractéristiques et non sur une description divergente des propriétés des sols en soi.

Tableau 2 : Comparaison directe des caractéristiques d'identification sélectionnées pour le profil présentant l'indice de Jaccard le plus faible.

Sites	Type de sol	Sous-groupe de régime hydrique	Groupe de régime hydrique	Sous-type										
				E	G	I	R	DD	K	PM	PK	ZT	PE	
H1_P4	B	a	1	E2	G1	0	0	0	0	KE	0	1	1	0
ZP4	T	a	1	E2	0	I1	0	0	0	0	0	0	1	1

### Nombre d'horizons

Le nombre d'horizons relevés est, en général, plus élevé dans les profils (voir Tableau 3). En moyenne, 1 à 2 horizons supplémentaires sont décrits dans les profils. Sous l'effet du rayonnement solaire, le matériau fracturé du miniprofil est moins propice à la reconnaissance des limites des horizons en fonction de leur couleur que la paroi lisse d'un profil.

Tableau 3 : Statistiques sur le nombre d'horizons pour les niveaux hiérarchiques H1, H1.1 et H2.

	H1 (n=10)	H1.1 (n=22)	H2 (n=330)
Minimum	4	4	2
Median	6.5	5	4
moyenne	6.4	4.8	4.3
Maximum	8	8	7

### Conservation et remplissage

Les miniprofils peuvent être conservés plusieurs mois s'ils sont emballés dans un emballage hermétique. Cela permet, par exemple, de réexaminer les miniprofils avant la phase de cartographie sur le terrain (réétalonnage). Cela peut être particulièrement avantageux si un intervalle de temps prolongé est prévu entre la campagne de profils et la campagne de sondage. La conservation nécessite toutefois des possibilités de stockage appropriées. Si les carottes sont emportées (pour être conservées ou analysées ailleurs), le trou du sondage doit être comblé avec de la terre, sinon des animaux risquent d'être blessés.

### Limitations

En cas de sécheresse, la structure des miniprofils ne peut plus être correctement examinée. De plus, les substrats sablo-graveleux et organiques entraînent une perte de matériau dans le cas des miniprofils. Dans le cas des substrats sablo-graveleux, le système de percussion permettant le prélèvement des miniprofils entraîne un effet de tri, dans lequel les grains grossiers remontent à la surface. De plus, le véhicule de sondage et la pelle sur chenilles sont limités par la pente.

### Echantillonnage

Des analyses physiques des sols sont généralement effectuées sur des profils sélectionnés (prélèvement de cylindres). La possibilité de prélèvement de cylindres sur les miniprofils a été testée à Prez (Figure 23), mais les cylindres n'ont pas pu être prélevés de manière satisfaisante, ou seulement de manière très limitée (dans la couche supérieure). Dans l'ensemble, les miniprofils sont jugés non échantillonnables à l'aide de cylindre. Les deux systèmes permettent de réaliser des échantillons composites destinés à des analyses chimiques par voie humide.



Figure 23 : Test portant sur le prélèvement de cylindres dans un miniprofil.

### Efficacité des systèmes et prix

L'efficacité de la mise en œuvre et de la cartographie pour deux systèmes sont documentées dans le Tableau 4 ci-dessous (valeurs moyennes basées sur les valeurs empiriques à Prez). Les prix unitaires sont également comparés. Pour les profils, l'indemnisation des exploitant-e-s s'ajoute aux coûts d'excavation.

Tableau 4 : Comparaison entre les profils et les miniprofils : efficacité de mise en œuvre et de cartographie, ainsi que prix.

	Profil	Miniprofil (jusqu'à 180 cm)
# Excavation/sondage par jour	env. 10	env. 20-30
Description par jour et par personne	2-3	6-7
Prix unitaire [CHF]	450-500*	365
Indemnisation des exploitant-e-s	oui	non

\* Plus il y a de profils, plus le prix unitaire est avantageux (effet d'échelle)

Le Tableau 5 ci-dessous compare les coûts totaux. Les coûts totaux comprennent l'excavation, l'indemnisation et les frais de description (hypothèse : tarif horaire de 160.-). En moyenne, un profil coûte deux fois plus cher qu'un miniprofil.

Tableau 5 : Comparaison entre les profils et les miniprofils - coûts complets.

	Profil	Miniprofil
Coût total par unité [CHF]	1003-1230	559-592
Coût total moyen par unité [CHF]	1167	576

### Tâche de coordination et de validation

Le travail nécessaire à la coordination est comparable pour les deux systèmes. Dans les deux cas, les propriétaires et les exploitant-e-s doivent être informés au préalable et leur accord doit être obtenu. En principe, les miniprofils sont mieux acceptés, car l'impact sur le sol est nettement moindre (un trou de sondage) et la carotte peut être déplacée, par exemple, vers le bord de la parcelle (aucune restriction d'exploitation).

## **Conclusion**

À l'avenir, les profils ne pourront pas être entièrement remplacés par des miniprofils. En effet, il est important que tous les attributs puissent être relevés avec une grande précision à certains endroits sélectionnés dans la zone cartographiée (y compris les agrégats structuraux et les composants grossiers). Les miniprofils sont particulièrement limités lors de substrats sablo-graveleux et organiques. De plus, des analyses physiques des sols doivent être effectuées à des points sélectionnés, ce qui nécessite un profil.

→ C'est pour cette raison qu'il est proposé à l'avenir de remplacer partiellement les profils, par exemple en les réduisant de 30 à 50 %. Pour cela, il serait possible de fixer le nombre de miniprofils à environ 2/3 du nombre total de profils. Ce pourcentage dépend en principe de l'hétérogénéité du matériau parental et de la diversité des processus de formation des sols. D'autres tests dans différentes zones sont nécessaires afin de définir un pourcentage de réduction « plus concret » des profils permettant d'estimer les coûts de la CARTO-CH. En raison des limitations (pertes importantes dues aux carottes), les miniprofils ne sont pas recommandés pour la cartographie dans les zones où les sols sont principalement organiques. En revanche, les carottages par battage ont donné de bons résultats pour sonder le sous-sol minéral des zones organiques et, le cas échéant, les couches intermédiaires minérales. De plus, la limitation de la profondeur de carottage à 2 m avec ce système est supprimée.

Les avantages d'un remplacement partiel des profils par des miniprofils sont les suivants :

- 80 % des données relevées ont une qualité comparable à celle d'un profil,
- classification identique/similaire à celle d'un profil (avec moins d'horizons),
- profondeur de carottage jusqu'à 2 m,
- augmentation du rendement quotidien des carottages et de la cartographie,
- ½ du coût total par unité,
- meilleure acceptation de la part des exploitant-e-s,
- recalibrage possible avant une campagne de cartographie ultérieure.

## A 3.6 Sondages pédologiques (niveau hiérarchique H2)

Environ 70% des sondages H2 ont été prédéfinis par le concept d'échantillonnage et les 30% restant ont été déterminé par les pédologues eux-mêmes sur le terrain. L'objectif était de permettre aux cartographes de terrain de densifier de manière autonome les concepts d'échantillonnage prédéfinis. Les sondages libres ont été réalisés à la fin de la campagne de terrain et malheureusement toutes les parcelles n'étaient plus accessibles à ce moment-là en raison des cultures. De ce fait, la densité des sondages H2 est nettement plus élevée dans certaines zones (Figure 9, Paragraphe A 2.1 ).

Dans ce projet pilote, la cartographie sur le terrain a été sensiblement modifiée par rapport aux projets pilotes précédents :

- Au début de la cartographie sur le terrain, les cartographes ont reçu des cartes matricielles (raster) illustrant les propriétés des sols suivantes : teneur en argile, limon et sable, pH CaCl<sub>2</sub>, Corg et teneur en carbonate sur trois profondeurs (T1 = 0-20 cm, T2 = 20-40 cm, T3 = 40-70 cm).
- Ces cartes de propriétés des sols ont été disponibles sous forme numérique sur les tablettes mises à disposition. Il était alors possible de consulter pour chaque « point » les valeurs de la grille pour les différentes profondeurs.
- Tous les sondages n'ont pas été décrits et saisis en détail. Deux jeux de données ont été définis à cet effet (Paragraphe A 3.2.3 et A 3.2.4 ).
  - Le jeu de données réduit (Light) ne comprenait aucune estimation de la granulométrie, aucune mesure du pH, ni aucune estimation de la teneur en matières organiques. Celui-ci a visé à augmenter l'efficacité des relevés en ne prenant que les données nécessaires.
  - Des descriptions complètes n'ont été réalisées que lorsque les valeurs des propriétés des sols modélisées à l'aide des échantillonnages H3 ne correspondaient pas à celles observées dans le sondage. Des échantillons ont également été prélevés à ces endroits.

L'utilisation de différents appareils de sondage et de nombreuses cartes matricielles lors de la campagne de sondage H2 a nécessité le développement de nouveaux outils de terrain (tablette avec l'application Ofield) afin de garantir l'efficacité du travail sur le terrain. Les outils suivants ont été développés en version test pour les travaux sur le terrain :

- Statut : outil de gestion permettant d'avoir une vue d'ensemble des sondages H2 carottés ou déjà décrits.
- Soilproperties : récupération/consultation des valeurs matricielles sur le site d'un sondage H2 (en plus des propriétés des sols).
- Soildat Live : visualisation de toutes les données Soildat saisies jusqu'à présent dans le projet (avec mise à jour en direct).
- Polygones : permet de dessiner des polygones simplifiés illustrant les unités spatiales pédologiques.

Les résultats obtenus avec le véhicule de sondage Wintex MCL3 ainsi que l'évaluation statistique des sondages H2 sont présentés ci-après. Les outils utilisés lors des campagnes de terrain sont présentés en détail dans le Chapitre 5 du rapport principal.

Tableau 6 : Récapitulatif des sondages manuels et mécaniques

	Nombre de sondages (total n=330)
Système Greenground	76 (=23%)
Système Wintex MCL3	77 (=23%)
Sondages manuels	177 (=54%)

Tableau 7 : Emplacements des sondages H2 : selon le concept d'échantillonnage ou librement choisi par les cartographes.

	Nombre de sondages (total n=330)
Concept d'échantillonnage	237 (=71%)
Sondages libres	93 (=29%)

Tableau 8 : Aperçu des jeux de données minimaux

	Nombre de sondages (total n=330)
Jeu de données complet H2 (Full)	53 (=16%)
Jeu de données réduit H2 (light)	277 (=84%)

### A 3.6.1 Test du véhicule

Le véhicule de sondage Wintex MCL3 a été testé à Prez sur 77 sites afin de déterminer son aptitude à carotter des sites des sondages H2 (1 journée de travail pour le prélèvement des sondages). Ce chapitre présente ce système, puis les conclusions des essais réalisés sur le terrain à Prez.

#### Présentation du véhicule de sondage

Le système de sondage Wintex MCL3 est disponible en différentes configurations. À Prez, les prélèvements ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 100 cm et les carottes ont été placées dans un tube en PVC de 40 mm d'épaisseur.

#### Test sur le terrain - Situation initiale

L'appareil est capable de prélever à très grande vitesse des carottes adaptées à la description des sols. Au cours d'une journée de travail, 77 sondages H2 ont pu être réalisés. La condition préalable à l'utilisation du véhicule de sondage a été l'obtention de l'accord préalable des exploitant-e-s concerné-e-s pour circuler dans leurs champs. En principe, seuls les champs déjà récoltés, les engrais verts et les prairies ont pu être parcourus le jour du test sur le terrain.



Figure 24 : Tour de carottage Wintex MCL3 (à gauche) et sondage réalisé (à droite)

Pour cet essai sur le terrain, l'accent a été mis sur les « conditions difficiles » connues grâce aux relevés précédemment réalisés :

- Les sols contenant beaucoup de matières organiques. En effet, il est rarement possible d'obtenir des carottes complètes dans les sols à forte teneur en matières organiques (comme illustré lors les sondages d'essai réalisés dans le cadre du projet pilote CCSols de Lommis (Grob et al. 2024)). Cela a été testé à nouveau à Prez lors de plusieurs sondages.
- Les sols ayant des substrats graveleux et sableux (très répandu à Prez dans la zone des dépôts fluvio-glaciaires).
- Les sols contenant une haute teneur en éléments grossiers.

Les limitations suivantes n'ont pas été prises en compte :

- Le véhicule porteur présente des limites de praticabilité dues à la pente. En effet, les pentes raides supérieures à 20 % ne sont plus praticables. Lorsque les sols sont humides, le risque de pertes d'adhérence des roues augmente, ce qui les rend impraticables même avec des pentes moins raides. Cette limitation étant connue, aucun terrain en pente raide n'a été sélectionné pour le test.

## Test sur le terrain - Valeurs expérimentielles

Tableau 9 : Comparaison des avantages et des désavantages liés à l'utilisation du véhicule de sondage Wintex MCL3.

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>La profondeur de carottage visée a pu être atteinte dans environ 80 % des sondages.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dans les substrats organiques, la profondeur de carottage souhaitée n'a pas pu être atteinte (collage à la cartouche en PVC / compression du substrat par la poussée du carottage sans remplissage de la cartouche).</li> <li>Dans les substrats sableux et graveleux, les profondeurs de carottage visées n'ont pas pu être atteintes. La tour de sondage pénètre profondément dans les sols sans remplir la cartouche. La profondeur de carottage effective ne correspond pas à la longueur du tube en PVC rempli.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dans environ 80% des sondages, les cartouches en PVC destinés à la description des sols ont pu être vidés sans difficulté.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dans les substrats organiques et les substrats saturés, sableux et graveleux, la cartouche en PVC ne peut parfois être vidée que par découpe pour permettre l'accès à la carotte.</li> <li>Une alternative possible à la découpe de la cartouche pourrait reposer sur un système à air comprimé.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Étant donné que le système peut être installé sur une grande variété de véhicules, son utilisation est très flexible et reste possible avec des véhicules légers, même dans des conditions d'humidité du sol sous-optimales.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'appareil est capable de prélever à très grande vitesse des carottes adaptées à la description. Rendement journalier &gt; 70 sondages.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il convient principalement aux grandes surfaces accessibles aux véhicules pour lesquelles les exploitant-e-s concerné-e-s ont donné leur accord. Selon l'état des cultures, cela peut nécessiter un travail de coordination important.</li> <li>Le carottage étant automatisé, le technicien ne peut pas l'arrêter avant que celui-ci ne soit terminé (par exemple lorsque la résistance à la pénétration due à la présence de graviers/pierres rend le carottage difficile). Il peut donc arriver que l'ensemble du sondage doive être jeté, alors qu'une grande partie aurait pu être utilisée. Un sondage peut donc nécessiter</li> </ul>

	<p>plusieurs essais, ce qui est coûteux en termes de temps et d'argent.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grâce à la possibilité de stockage dans un tube en PVC, le sondage peut ensuite être stocké et transporté (tampon temporel et spatial).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une description hors site n'est toutefois recommandée qu'après une calibration préalable et une bonne connaissance des processus de formation des sols de la région. Il est également recommandé d'utiliser les nouveaux outils (en particulier Soildat-Live).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les pierres de grande taille peuvent bloquer le processus de carottage et empêcher le prélèvement d'une carotte intacte.</li> </ul>

## A 3.6.2 Résultats de l'évaluation statistique des sondages H2 (n=330)

### *Nombre d'horizons*

Le cahier des charges du projet prévoyait 4 à 5 horizons par sondage H2, que les données relevées proviennent d'un jeu de données réduit ou complet. La Figure 10 montre que cette exigence n'a pas été respectée dans la plupart des cas.

Tableau 10 : Statistiques sur le nombre d'horizons par niveaux hiérarchiques H1, H1.1 et H2.

	H1 (n=10)	H1.1 (n=22)	H2 (n=330)
Minimum	4	4	2
Median	6.5	5	4
Moyenne	6.4	4.8	4.3
Maximum	8	8	7

### *Types de sols et groupe de régime hydrique*

À Prez, les relevés ont montré que les sols sont principalement normalement perméables (environ 84 % des sondages) et, dans une moindre mesure, quelques sols sont également caractérisés par la présence d'eau souterraine (environ 16 % des sondages, Tableau 11). Parmi les types de sols, les Sols bruns dominent avec plus de 60 % de tous les sondages H2, suivis des Régosols avec près de 11 %. Les Sols bruns lessivés sont rares dans la région, avec moins de 3 % d'occurrence. Parmi les types de sols caractérisés par la présence d'eau souterraine, le Gley-Sol brun domine avec un peu plus de 8 %, suivi du Gley oxydé avec 4 %. Les Sols semi-tourbeux ne sont présents que dans 3 sondages H2 (un peu moins de 1 %). Les sols caractérisés par une accumulation d'eau, tels que les sols Pseudogley - sol brun ou les Pseudogley, n'ont jamais été rencontrés. Des remblais ont également été observés de manière isolée dans la région. Ce type de sol « Remblai » (X) n'a pas été pris en compte dans la modélisation spatiale. À la place, la carte des types de sols (Paragraphe 6.2 du rapport principal et Annexe C 2.8) comporte un hachurage indiquant les surfaces potentiellement influencées par l'activité humaine.

Tableau 11 : Statistiques sur les groupes de régimes hydriques (n=330).

	Normalement perméable	Influencé par une nappe perchée	Influencé par une nappe de fond
# Nombre [-]	278 (=84%)	0	52 (=16%)

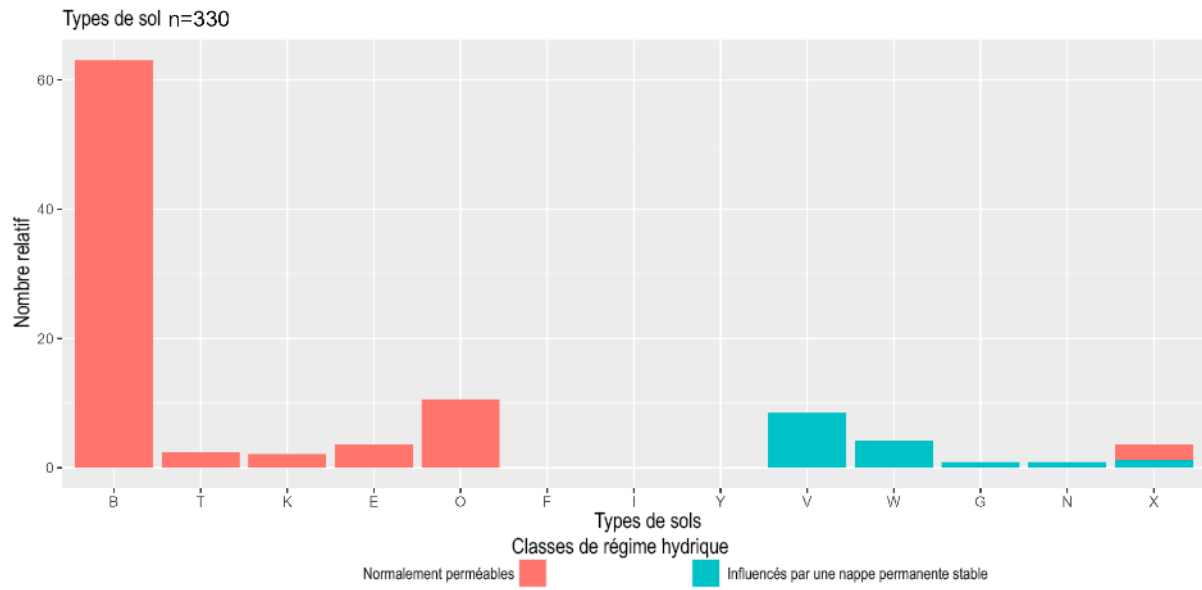


Figure 25 : Aperçu des proportions relatives des types de sols, colorés selon leur régime hydrique

**Profondeur utile**

Les valeurs de profondeur utile (PU) varient entre 16 cm et 104 cm. La plupart des sondages H2 ont des valeurs PU de classe « modérément profond » (38 %) et « profond » (34 %) et répondent ainsi au critère SDA en termes de profondeur minimale requise.

La Figure 26 montre, pour chaque classe PU présente à Prez, quels types de sols apparaissent en fréquence relative. Les fréquences absolues sont également indiquées dans le graphique. Il est par exemple frappant de constater que le type de « Sol brun », qui domine dans la région, se trouve principalement dans les classes PU de profondeur modérée à très profonde. Les Régosols et les sols influencés par les eaux souterraines, tels que les Gley oxydés ou les Gley-sols bruns, appartiennent en revanche dans la plupart des cas à une classe PU superficielle à assez superficielle. Le Tableau 12 illustre les valeurs de profondeur utile relevées lors des campagnes de sondages H2.

Tableau 12 : Données de base sur la profondeur utile (n=330).

	profondeur [cm]		#Nombre [-]
Minimum	16	Très superficiel [0,10[	0
1. quantile	49	Superficiel [10,30[	10 (=3%)
Médiane	62.5	Assez superficiel [30,50[	76 (=23%)
Moyenne	63.3	Modérément profond [50,70[	125 (=38%)
3. quantile	78	Profond [70,100[	111 (=34%)
Maximum	104	Très profond [100, inf[	8 (=2%)

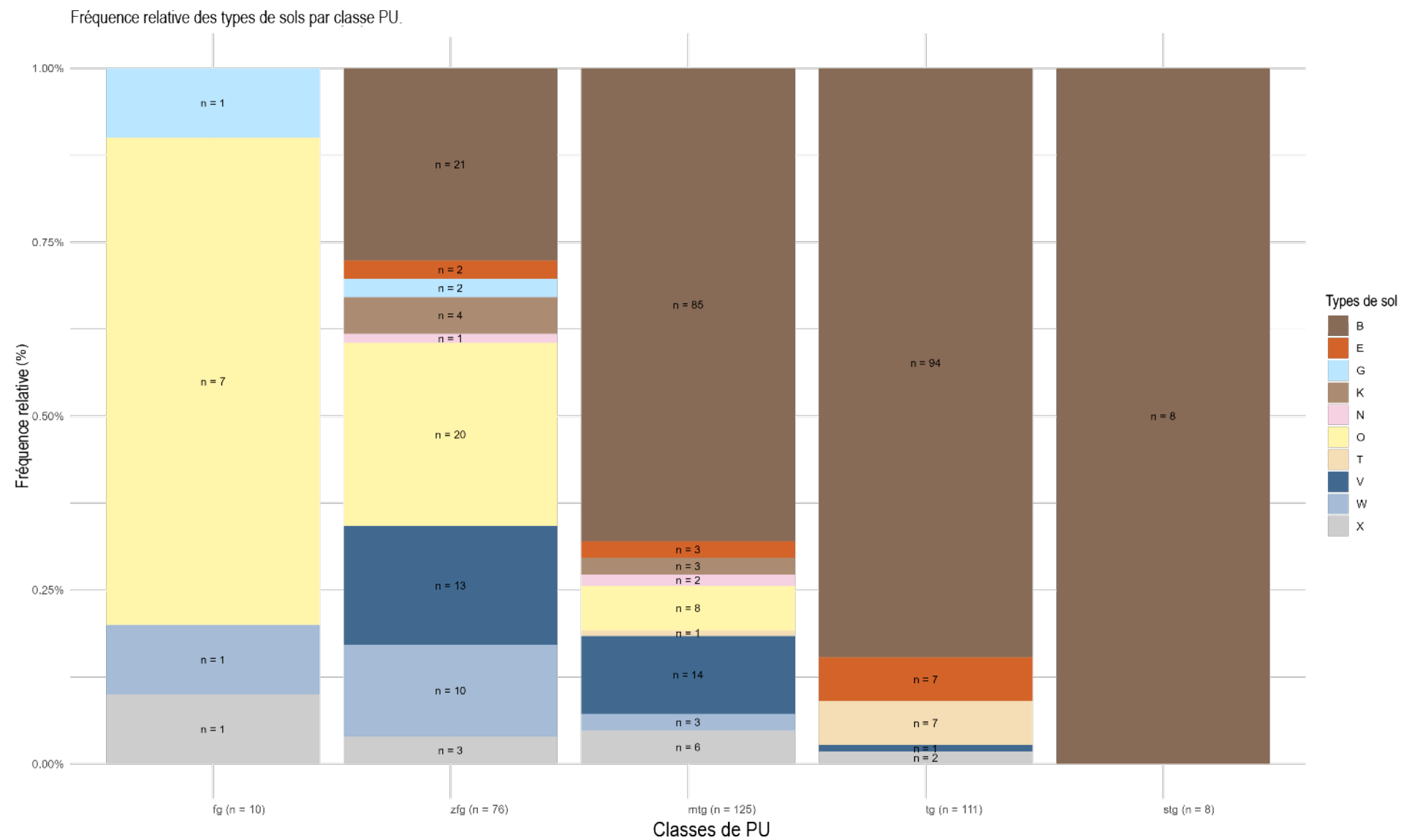


Figure 26 : Fréquence relative des types de sols par classe PU.

---

## A 3.7 Piézomètre

### Installation des piézomètres et évaluation

Les piézomètres en acier de 1,5 pouce ont été installés par la société UmweltMess GmbH le 11 décembre 2023 à l'aide d'un carottage réalisé jusqu'à une profondeur de 2 m. Ils ont été positionnés de manière à dépasser d'environ 0,5 m au-dessus de la surface du sol. Les piézomètres sont équipés d'une crépine filtrante entre 0,5 et 2,0 m de profondeur sous la surface du sol. La partie supérieure de l'ouvrage a été scellée à l'aide de bentonite afin d'éviter tout risque de court-circuit hydraulique. Durant la campagne de mesure, les piézomètres ont été protégés par des piquets en bois afin de prévenir tout dommage. Les carottes prélevées lors de l'installation ont été déposées dans des caisses et mises à disposition pour la description pédologique.

Des collecteurs de données de mesure de type Dipper-APT ont été installés dans les piézomètres mis en place le 20 décembre 2023. De plus, un Baro-Dipper a été installé au point de mesure P03. Les Dipper-APT enregistrent en continu la pression et la température de l'eau, permettant ainsi de calculer le niveau des eaux souterraines. Le Baro-Dipper mesure la pression atmosphérique et sert à la correction barométrique des mesures du niveau d'eau enregistrées. Afin de corréler les valeurs mesurées, trois mesures supplémentaires du niveau des eaux souterraines ont été effectuées à l'aide d'un sondeur optique.

Les piézomètres ont été retirés avec les enregistreurs de données après la fin des mesures, le 1er octobre 2024. Quatre des six piézomètres ont été endommagés par des machines agricoles. Le piézomètre P06 était tellement endommagé que l'enregistreur de données n'a pas pu être lu. L'ensemble des données de la série de mesures n'est donc pas disponible pour ce point de mesure.

Les données ainsi recueillies ont été analysées à l'aide du logiciel statistique R. Pour chaque site, un diagramme illustrant l'évolution du niveau de la nappe phréatique, respectivement de la distance entre la nappe et la surface du sol, a été établi et mis en relation avec les données pluviométriques provenant de la station climatique la plus proche, Payerne (source : MétéoSuisse). Les diagrammes correspondants sont présentés ci-dessous (Figure 28 -Figure 38).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

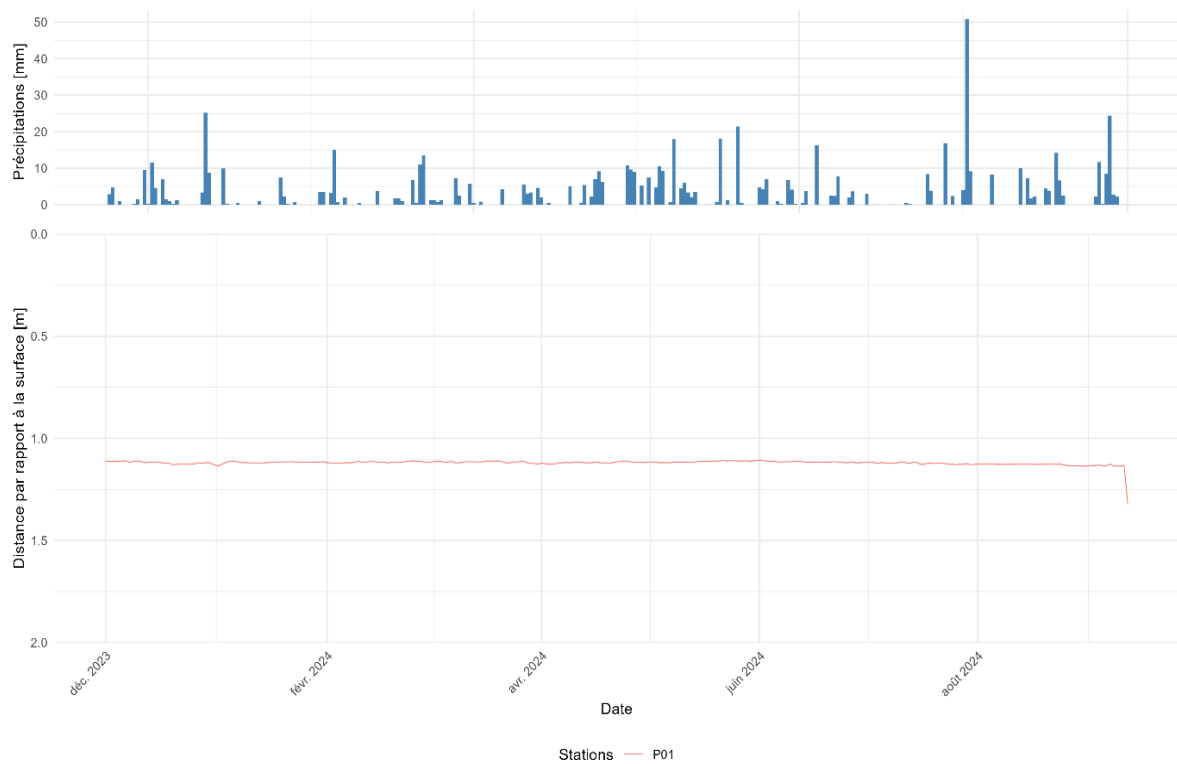


Figure 28 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P01 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

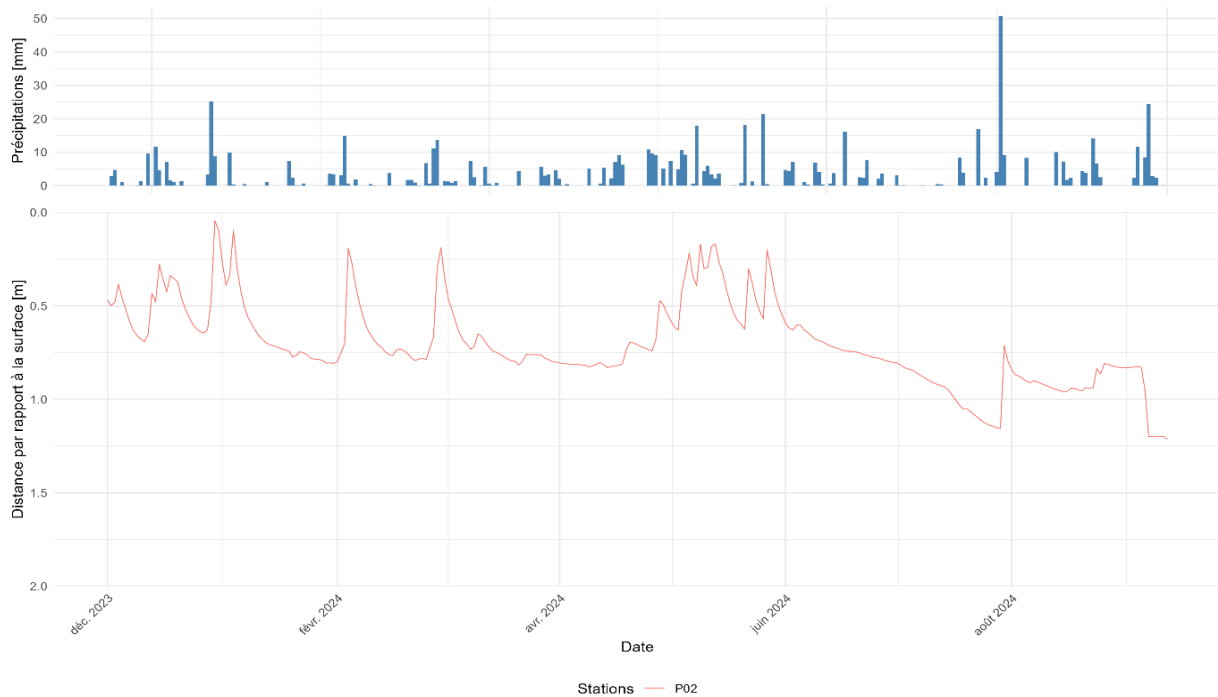


Figure 27 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P02 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

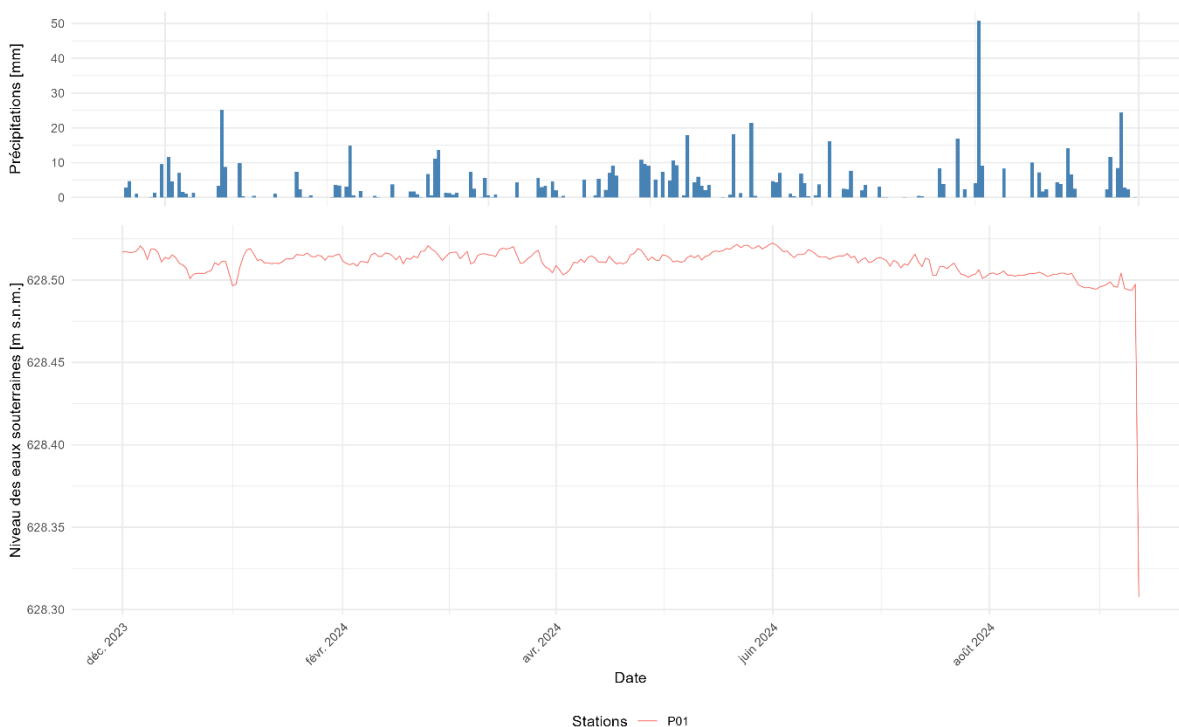


Figure 30 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P01 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

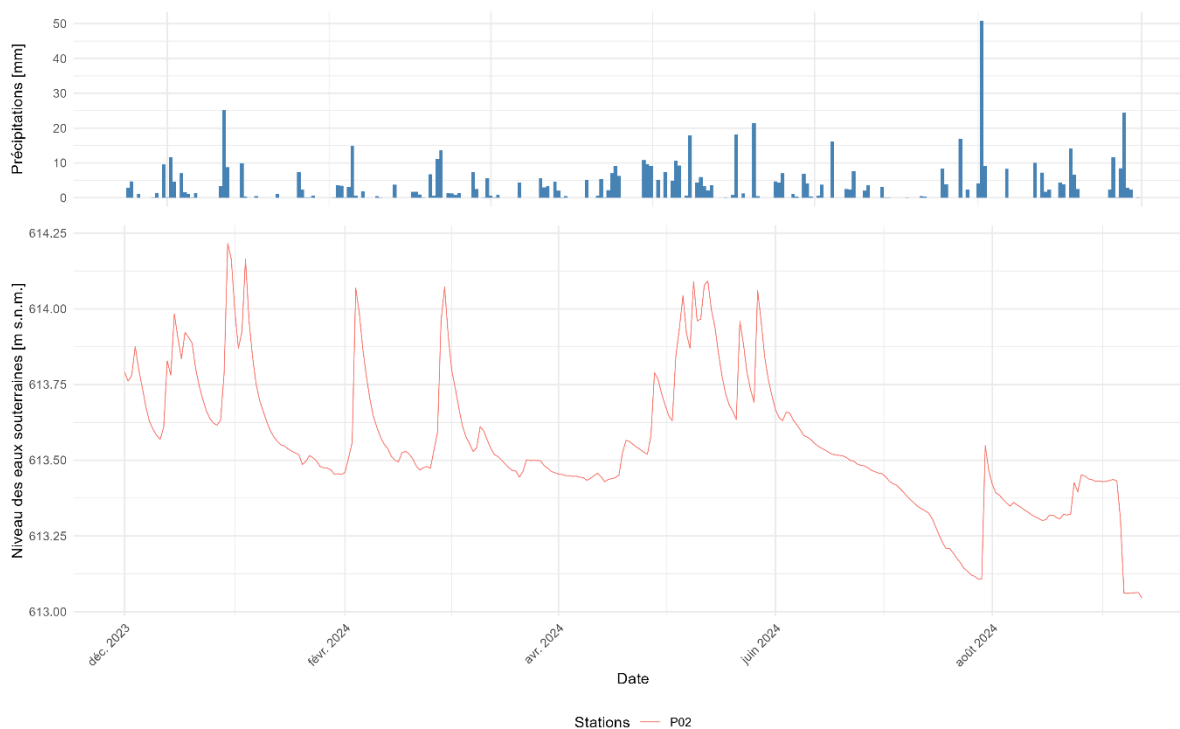


Figure 29 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P02 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

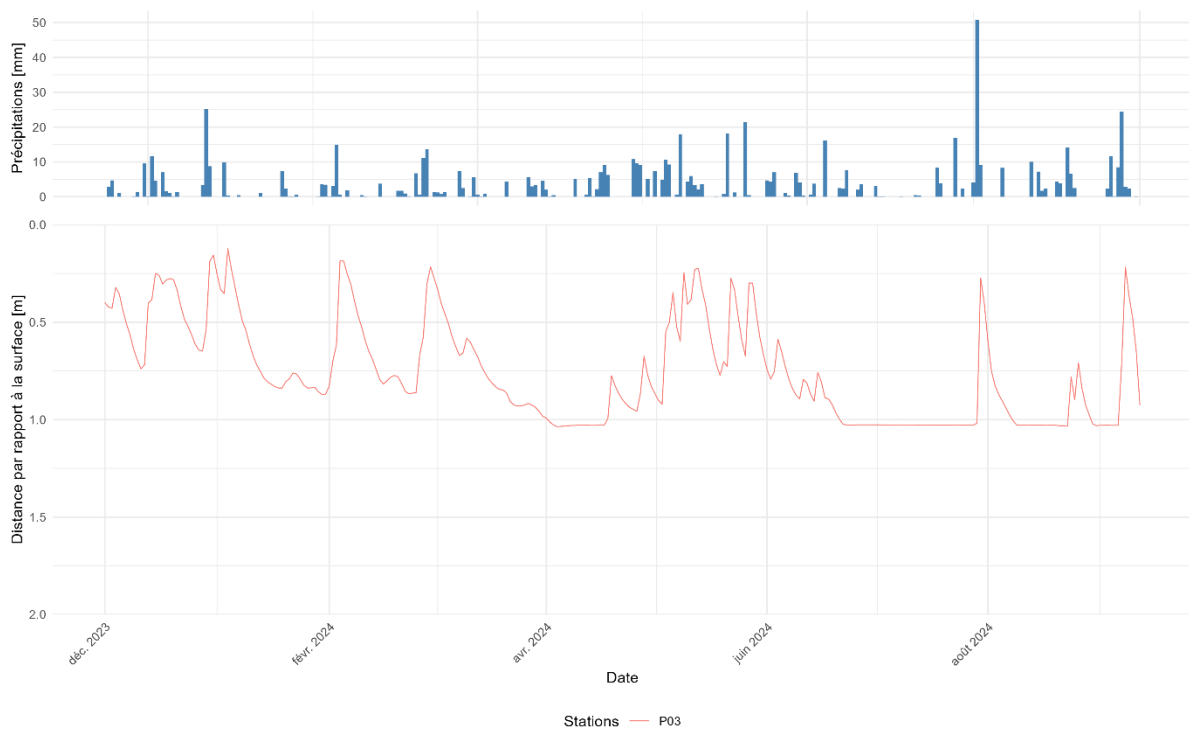


Figure 32 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

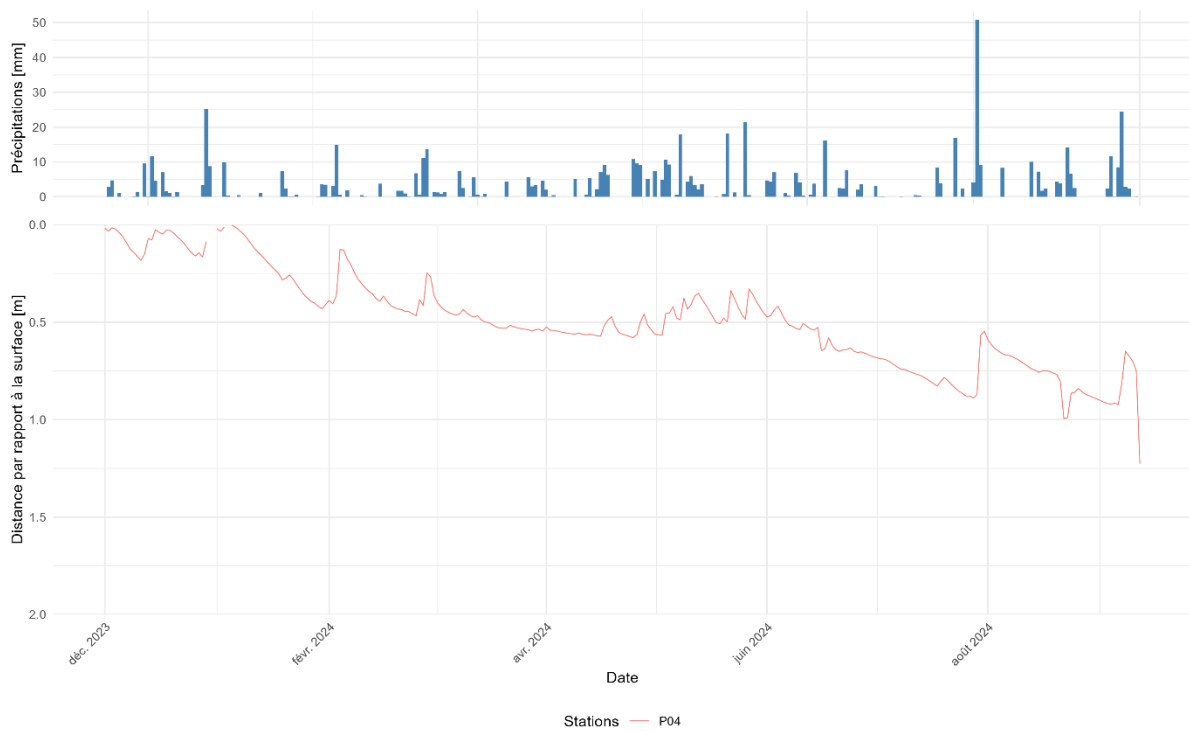


Figure 31 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

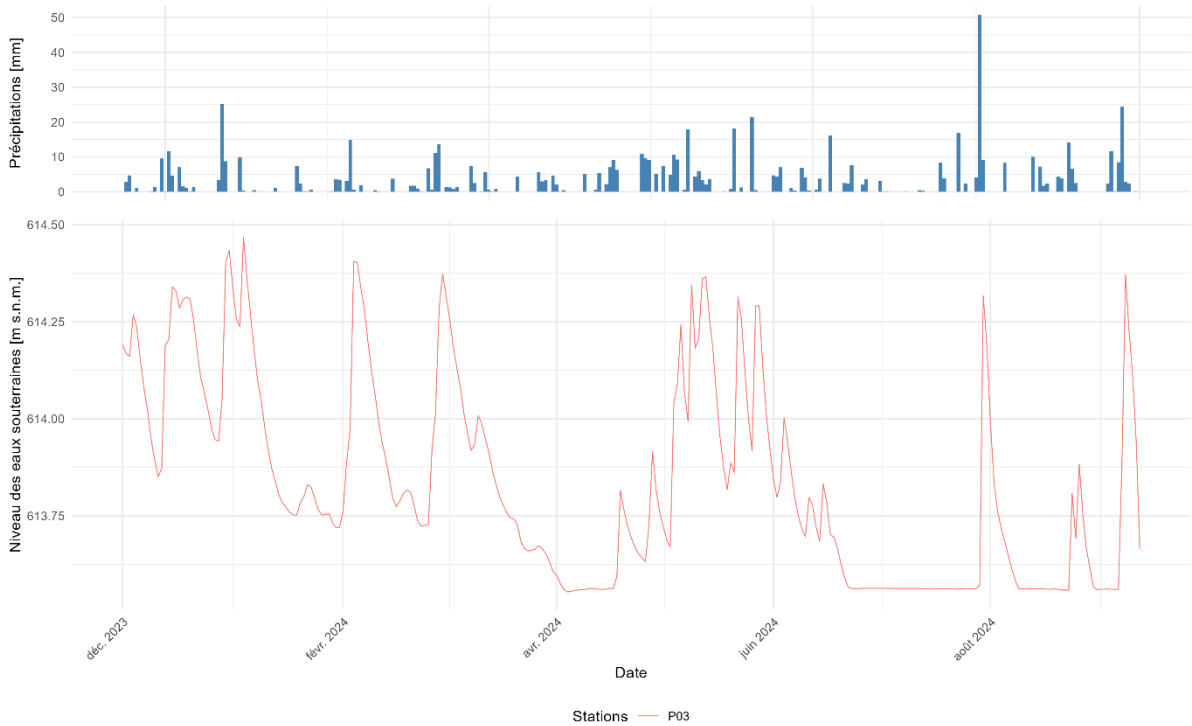


Figure 33 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations

Stations sélectionnées

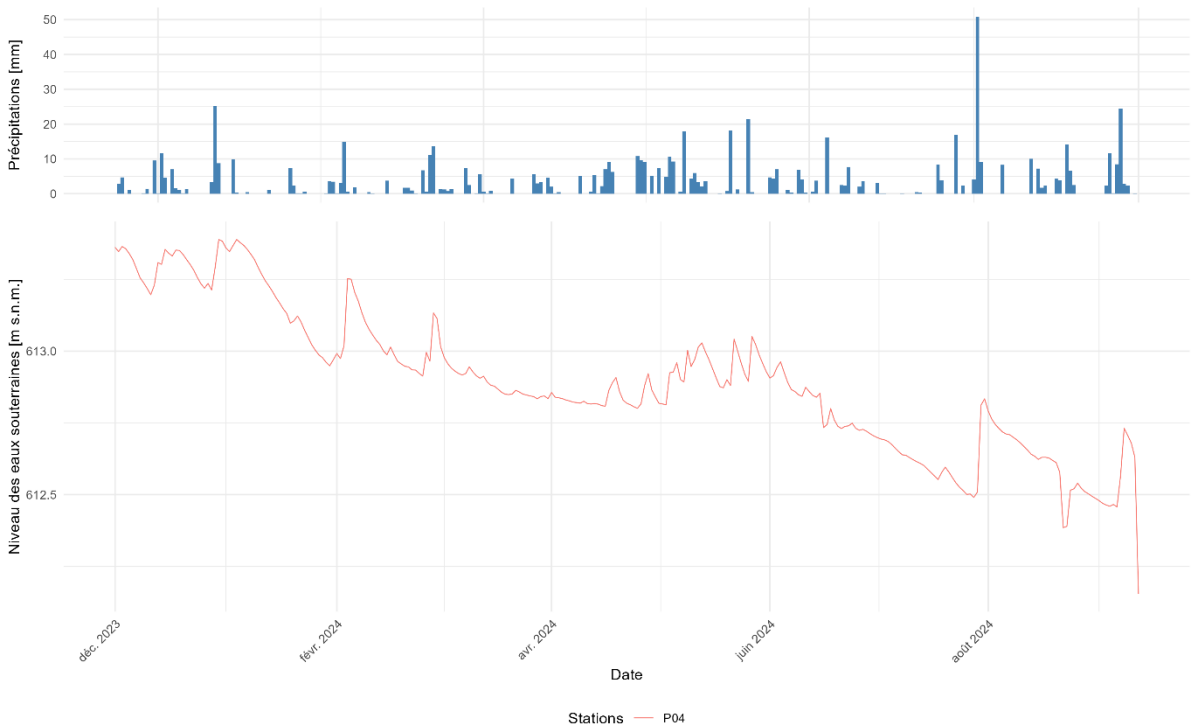


Figure 34 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P04 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations  
Stations sélectionnées

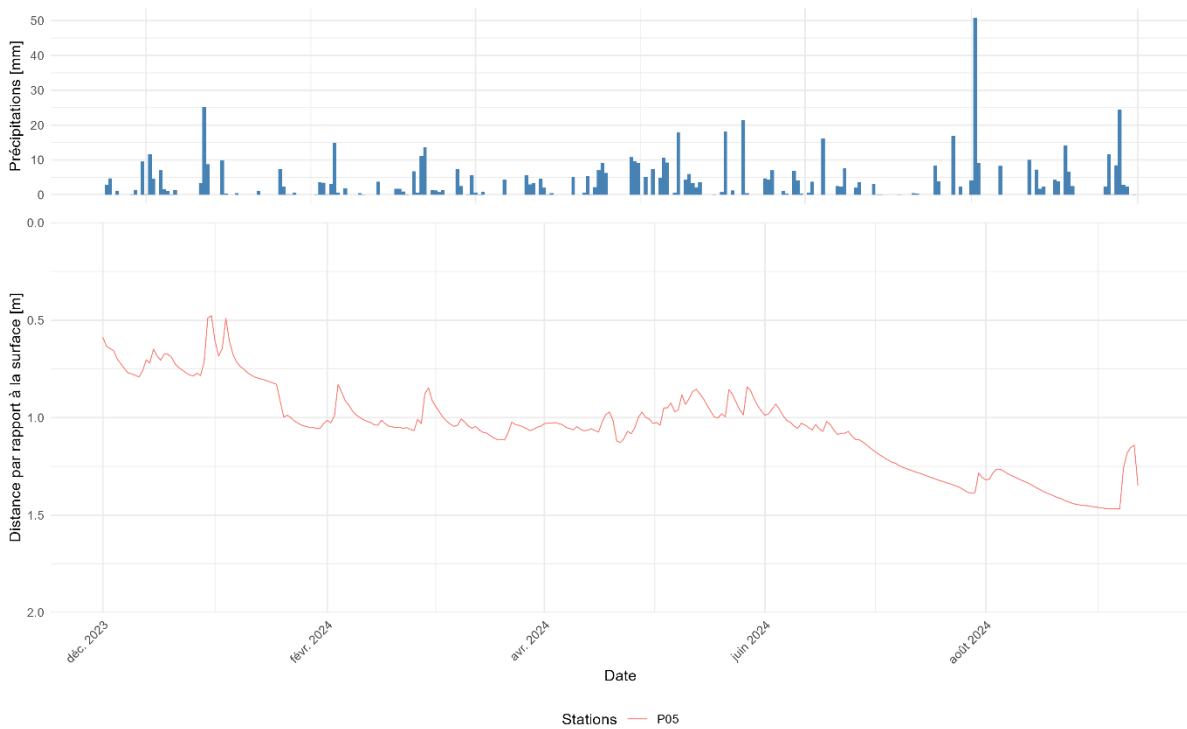


Figure 36 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P05 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

Eaux souterraines et précipitations  
Stations sélectionnées

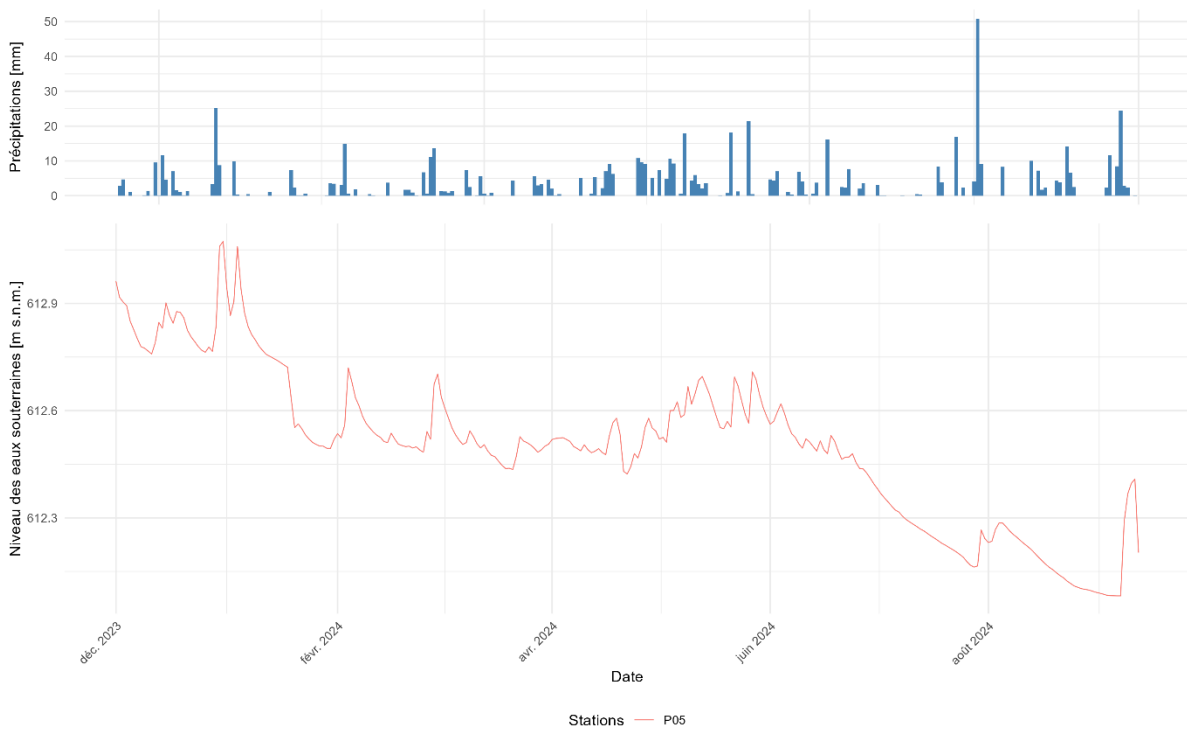


Figure 35 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P05 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

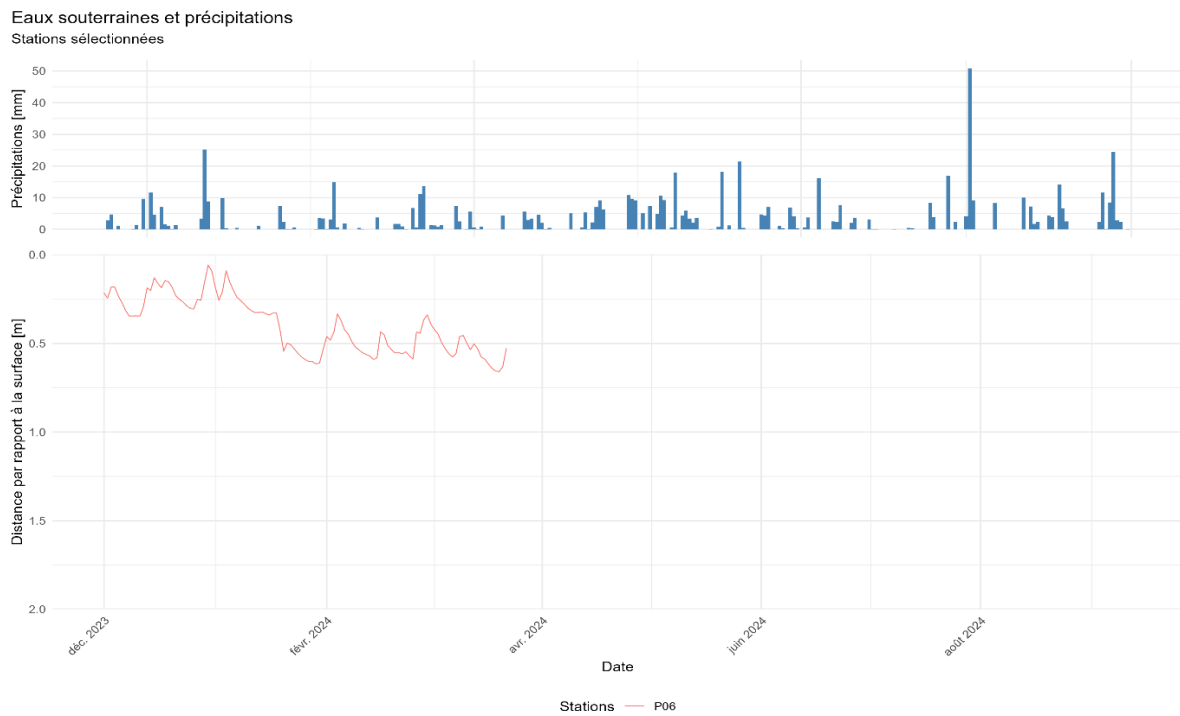


Figure 37 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P06 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

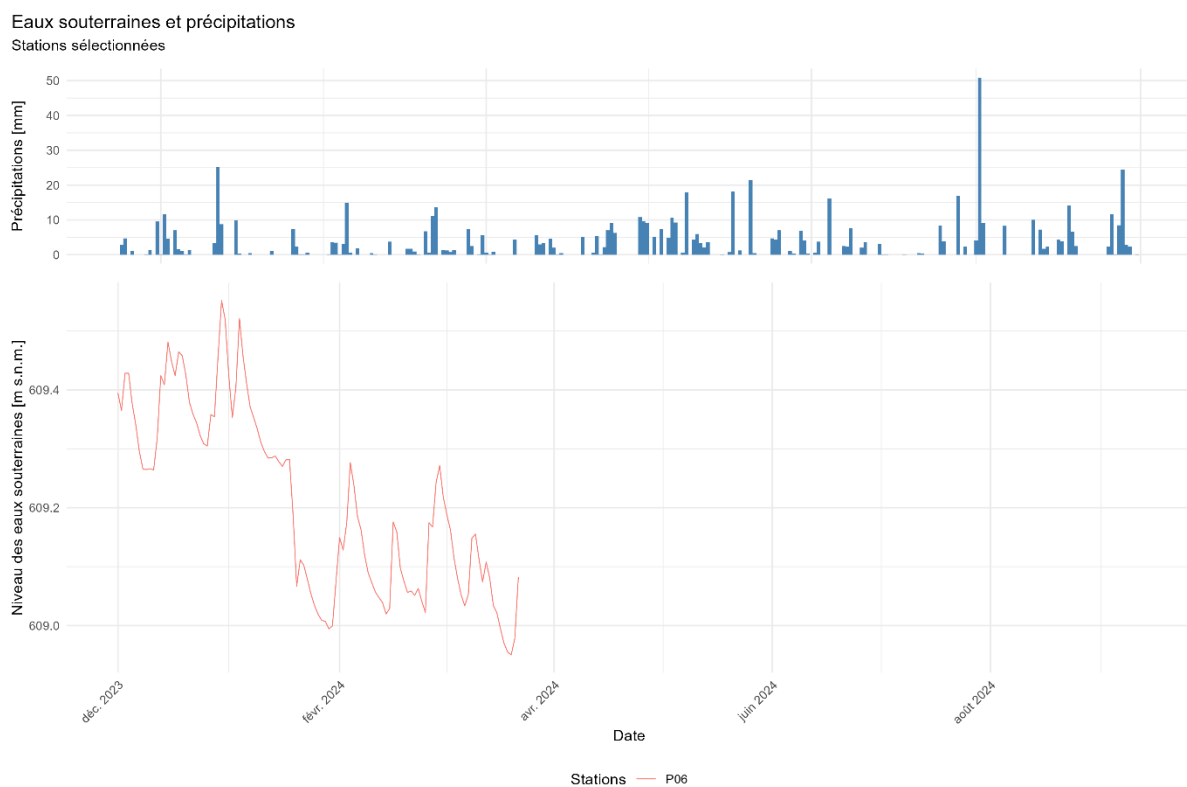


Figure 38 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P06 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).

## A 3.8 Analyse en laboratoire

De plus amples informations sur les analyses de laboratoire sont disponibles dans le rapport CCSols n°11 illustrant la cartographie des sols de la commune de Lommis (Grob et al. 2024).

### A 3.8.1 Analyses des propriétés chimiques des sols

Préparation des échantillons

Les échantillons ont été séchés une première fois à 60°C pendant quelques heures afin qu'une partie de l'eau puisse s'évaporer, sans toutefois que la terre ne devienne trop dure, puis tamisés manuellement à 2mm. Ils ont été séchés une deuxième fois à 105°C pendant 24 heures. Une petite quantité d'échantillon (environ 30 g) a ensuite été finement broyée pour les analyses spectroscopiques.

Types d'analyses

De la même façon que pour les précédents projets pilotes CCSols, les propriétés chimiques des sols ont été déterminées à l'aide du spectromètre Bruker INVENIO avec un module à haut débit (HTS-XT) dans le laboratoire de la HAFL. Tous les échantillons finement broyés ont été mesurés à quatre reprises dans le domaine de l'infrarouge moyen (MIR) avec des longueurs d'onde comprises entre 1330 nm et 16660 nm.

De plus, une petite partie des échantillons tamisés à 2mm ont été mesurés selon les méthodes de référence d'Agroscope dans un laboratoire externe (Tableau 13). Aucune analyse de référence n'a été effectuée sur les échantillons prélevés lors des sondages H2 (sondages complets (Full))

Tableau 13: Provenance des échantillons et nombre d'analyses chimiques de référence réalisées.

	<b>Corg</b>	<b>MO*</b>	<b>Carbonates</b>	<b>pH CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Sable</b>	<b>Limon</b>	<b>Argile</b>
<b>H1</b>	31	31	35	31	29	29	29
<b>H1.1</b>	30	30	30	30	25	25	25
<b>H3</b>	255	255	252	252	249	249	249

\* Teneur en matières organiques (MO) = teneur en carbone organique (Corg) x 1,725.

### A 3.8.2 Analyses des propriétés physiques des sols

Des analyses physiques des sols ont été réalisées sur 47 échantillons volumétriques provenant de sites H2 prélevés à l'aide de la tour de sondage Greenground. Les échantillons ont été prélevés selon des horizons précis, séchés en laboratoire à 105 °C puis tamisés par voie humide. Ainsi, cette démarche a permis de déterminer mathématiquement la masse volumique apparente totale et de la terre fine, la quantité de terre fine et la quantité volumétrique du squelette.

## A 4. Outil de terrain

### Principes fondamentaux de la saisie polygonale

Le relief et les propriétés des sols constituent une base essentielle pour la délimitation des polygones. Selon les différents facteurs de la formation des sols, diverses bases cartographiques peuvent être mobilisées pour cette délimitation. Par exemple, pour les unités spatiales dominées par le relief et pertinentes du point de vue pédologique, la couche représentant les classes de pente peut servir de support d'information pertinent. En revanche, pour les unités pédologiques influencées par le régime hydrique, des données telles que l'accumulation d'eau, la position topographique ou la carte de la teneur en carbone à la profondeur T3 (40–70 cm) peuvent s'avérer plus appropriées.

### Délimitation des polygones

La délimitation des polygones s'effectue de manière similaire à celle décrite dans la KA23 (Siegrist et Marugg 2023). Les principales différences résident dans le fait que les limites des polygones ne doivent pas être « recherchées » à l'aide de sondages supplémentaires et que les tracés des limites ne doivent pas être numérisés de manière topologiquement exacte. Les lacunes ou les chevauchements entre les polygones peuvent être tolérés. Dans les zones inconnues, il est recommandé de ne commencer à dessiner les polygones que lorsque l'on dispose de suffisamment d'informations sur le sol, c'est-à-dire lorsque plusieurs sondages voisins ont été décrits.

En règle générale, les règles et considérations suivantes s'appliquent à la délimitation des polygones :

- Les polygones doivent caractériser des conditions pédologiques homogènes.
- L'homogénéité se réfère aux caractéristiques des sols telles que le type et l'épaisseur du sol et le régime hydrique.
- Les surfaces homogènes peuvent être mises en évidence par la végétation, la structure du terrain ou le cours d'eau.
- En ce qui concerne les structures du terrain, les différences de forme sont plus importantes que les différences de pente. Ces indicateurs aident à délimiter les frontières sur le terrain.
- Les surfaces inférieures à la surface minimale (MFG) sont autorisées, mais doivent rester exceptionnelles. Il convient toutefois d'examiner si une unité complexe judicieuse. Die Flächenabdeckung der Polygone sollte > 75 % der kartierten Fläche betragen.

La Figure 39 ci-dessous illustre un processus de délimitation des polygones sur la base des géodonnées disponibles et des cartes des propriétés des sols.

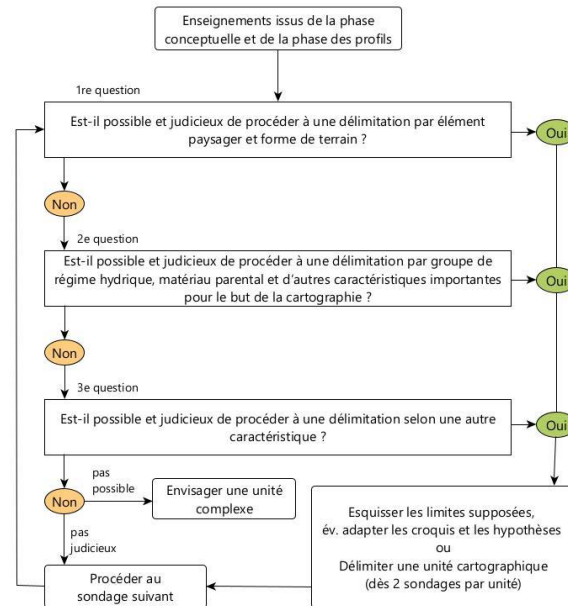


Figure 39 : Règles de délimitation des polygones (Siegrist et Marugg, 2023)

La couche SIG « Soildat-Live » sert également de base décisionnelle pour délimiter différents sondages ou pour l'agrégation. Cette couche en ligne permet de visualiser toutes les données pédologiques relevées jusqu'à présent dans Soildat dans le cadre du projet. Elles constituent donc, en plus des géodonnées existantes, une base importante pour la délimitation des polygones.

### Utilisation des polygones

Les polygones esquissés sont optimisés localement de manière adaptative à l'aide de méthodes pédométriques et régionalisés sans discontinuité. En principe, les sondages individuels pourraient également être utilisés pour créer des cartes des sols pour les caractéristiques nominales (type de sol, groupe de régime hydrique) afin de générer des cartes vectorielles. Cependant, les polygones stabilisent les modèles, car ils permettent d'obtenir des points d'appui supplémentaires, ce qui améliore la précision des cartes. Cette partie centrale du travail pédologique est donc essentielle. Grâce à la compréhension du paysage par les pédologues, les modèles spatiaux sont améliorés par des informations supplémentaires. La Figure 40 suivante montre l'emplacement des sondages H2 et des polygones correspondants dans la zone du projet.

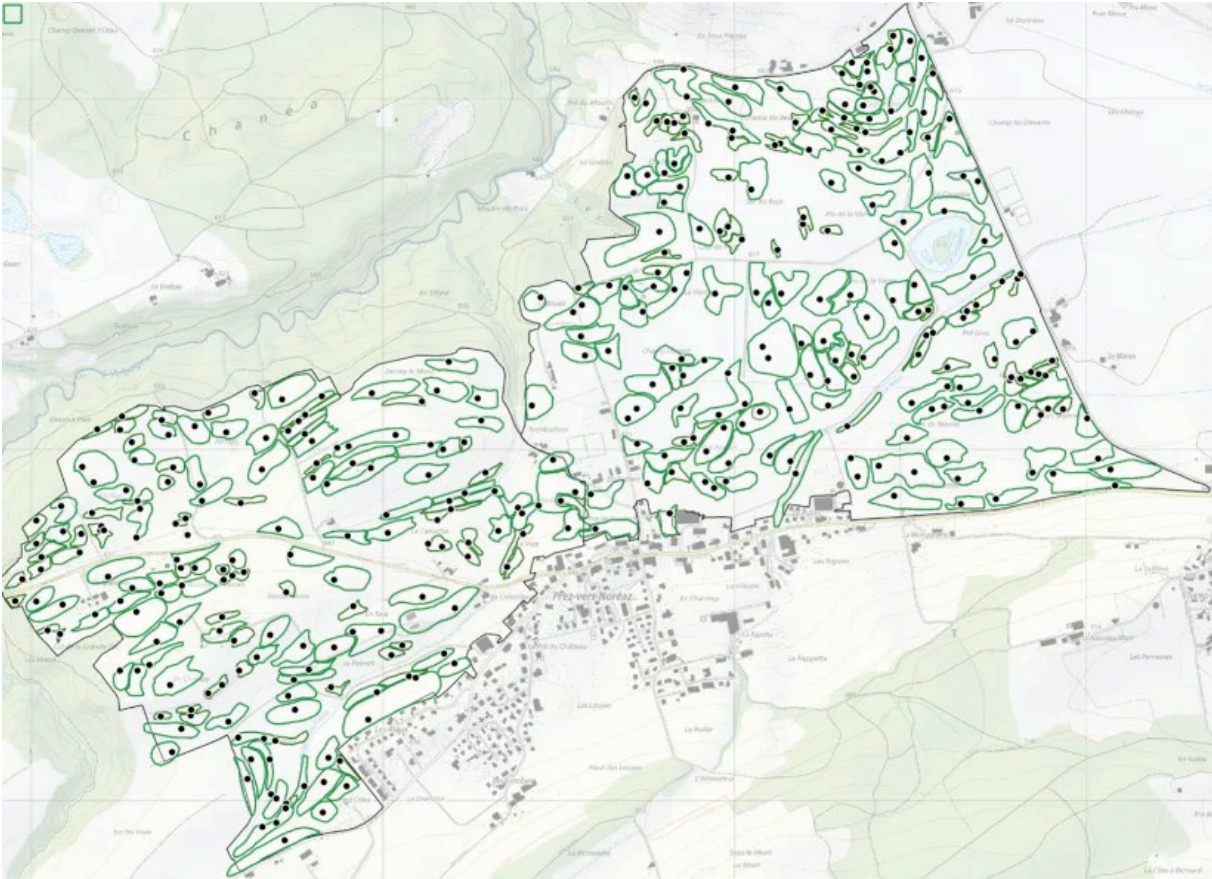


Figure 40 : Exemple de relevés de sondages et de polygones saisis dans la zone du projet.

## A 5. Table des illustrations

Figure 1 : Carte Siegfried (1880) de la région de Prez-vers-Noréaz. Les surfaces hachurées indiquent les zones dans lesquelles des modifications humaines ont été identifiées.	3
Figure 2 : Exemple d'analyses multiscalaires du relief. Ligne du haut : concentration de l'eau de ruissellement (Convergence). Ligne du bas : forme du terrain (Ruggedness). Echelles : 10 m et 80 m.	4
Figure 3 : Analyses de la végétation et de l'utilisation du sol réalisée à partir des moyennes mensuelles calculées sur la période 2018-2022. La série chronologique représentée se base sur l'indice spectral « NDVI » des données satellitaires Sentinel-2.	5
Figure 4 : Signature spectrale moyenne des sols nus sur 37 ans, calculée à partir des bandes Landsat.	6
Figure 5 : Emplacement des sondages de prospection (hiérarchie H0). Ceux-ci ont lieu avant la phase de profil.	9
Figure 6 : Localisation des 10 profils. Les sites ont été déterminés par les cartographes.	10
Figure 7 : Localisation des 22 miniprofils. Les sites ont été déterminés par les cartographes. Les données pédologiques relevées sur les miniprofils complètent les données.	11
Figure 8 : Localisation des sondages pédologiques : ceux-ci se composent de sites prédéfinis statistiquement et de sites librement choisis par les cartographes.	12
Figure 9 : Localisation des échantillons prélevés pour la spectroscopie. Ces sites ont été échantillonnés à trois profondeurs différentes (0-20 cm, 20-40 cm et 40-70 cm).	13
Figure 10 : Proportions relatives des types de sols déterminés à partir des sondages de prospection.	15
Figure 11 : Proportions relatives des types de sols déterminés à partir des profils.	15
Figure 12 : Affichage des sites avec des entrées manquantes ou non plausibles. Les numéros correspondent aux horizons concernés.	30
Figure 13 : Profil P02	31
Figure 14 : Profil P03	32
Figure 15 : Profil P04	33
Figure 16 : Profil P05	34
Figure 17 : Profil P06	35
Figure 18 : Profil P07	36
Figure 19 : Profil P08	37
Figure 20 : Profil P10	38
Figure 21 : Comparaison de la classification des types de sols répartis en 10 groupes (profils vs miniprofils). id = classification identique des types de sols. a = subjectivité concernant la délimitation des Sols bruns argileux (sous-type ZT) par rapport aux Sols bruns lessivés. b = subjectivité concernant la distinction entre les sols influencés par l'activité humaine (sous-type PM) et les remblais. c = subjectivité concernant l'évaluation des caractéristiques hydromorphiques.	40
Figure 22 : Indice de Jaccard pour les 10 paires comparées (profils - miniprofils). Un indice de Jaccard inférieur à 0,4 indique une faible similitude entre les paires comparées. Un indice de Jaccard compris entre 0,4 et 0,7 indique une similitude modérée et un i	41
Figure 23 : Test portant sur le prélèvement de cylindres dans un miniprofil.	43
Figure 24 : Tour de carottage Wintex MCL3 (à gauche) et sondage réalisé (à droite)	47
Figure 25 : Aperçu des proportions relatives des types de sols, colorés selon leur régime hydrique	52
Figure 26 : Fréquence relative des types de sols par classe PU.	54

Figure 27 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P01 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	56
Figure 28 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P02 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	56
Figure 29 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P01 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	57
Figure 30 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P02 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	57
Figure 31 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	58
Figure 32 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	58
Figure 33 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P03 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	59
Figure 34 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P04 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	59
Figure 35 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P05 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	60
Figure 36 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P05 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	60
Figure 37 : Représentation de la distance des eaux souterraines par rapport à la surface (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P06 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	61
Figure 38 : Représentation du niveau des eaux souterraines (valeurs moyennes quotidiennes) au point de mesure P06 par rapport aux données pluviométriques de la station climatique de Payerne (PAY, source : MétéoSuisse).	61
Figure 39 : Règles de délimitation des polygones (Siegrist et Marugg, 2023)	64
Figure 40 : Exemple de relevés de sondages et de polygones saisis dans la zone du projet.	65

## A 6. Liste de tableaux

Tableau 1 : Aperçu du nombre de relevés réalisés au cours des travaux de terrain dans le cadre du projet pilote CCSols de Prez.	16
Tableau 2 : Comparaison directe des caractéristiques d'identification sélectionnées pour le profil présentant l'indice de Jaccard le plus faible.	41
Tableau 3 : Statistiques sur le nombre d'horizons pour les niveaux hiérarchiques H1, H1.1 et H2.	42
Tableau 4 : Comparaison entre les profils et les miniprofils : efficacité de mise en œuvre et de cartographie, ainsi que prix.	43
Tableau 5 : Comparaison entre les profils et les miniprofils - coûts complets.	43
Tableau 6 : Récapitulatif des sondages manuels et mécaniques	46
Tableau 7 : Emplacements des sondages H2 : selon le concept d'échantillonnage ou librement choisi par les cartographes.	46
Tableau 8 : Aperçu des jeux de données minimaux	46
Tableau 9 : Comparaison des avantages et des désavantages liés à l'utilisation du véhicule de sondage Wintex MCL3.	49
Tableau 10 : Statistiques sur le nombre d'horizons par niveaux hiérarchiques H1, H1.1 et H2.	51
Tableau 11 : Statistiques sur les groupes de régimes hydriques (n=330).	51
Tableau 12 : Données de base sur la profondeur utile (n=330).	53
Tableau 13: Provenance des échantillons et nombre d'analyses chimiques de référence réalisées.	62

## A 7. Bibliographie

- Afu Solothurn (Hrsg.), 2020. Projekthandbuch Kanton Solothurn: Kartiermethodik, Teil III, Kartiermethode FAL24+ (6. Auflage.). 45 S.
- Angelini ME, Heuvelink GBM, Lagacherie P, 2023. A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France. *European Journal of Soil Science*, 74 (2), e13345. <https://doi.org/10.1111/ejss.13345>
- Bechler K, Toth O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Behrens T, Hertzog M, Schmidt K, Keller A, 2023. TerraPoly – Karten zu multiskaligen Reliefableitungen zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 4.
- BGS, 2010. Klassifikation der Böden der Schweiz Bodenprofiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definitionen der Begriffe, Anwendungsbeispiele. Luzern.
- Bonny D, Gendre S, Jolliet P, Bovet P, Staub Barbey I, Egger S, Perroud C, Bersier I, 2023. Le Preztexte n°6. Informations communales, commune de Prez. Autorités communales, Commission de l'information. [https://prez.ch/fileadmin/user\\_upload/documents/accueil/administration-autorite/administration-communale/bulletins\\_d\\_informations\\_communales/Preztexte\\_juin\\_2023.pdf](https://prez.ch/fileadmin/user_upload/documents/accueil/administration-autorite/administration-communale/bulletins_d_informations_communales/Preztexte_juin_2023.pdf)
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraff M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- DVWK, 1988. Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft.
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz (Hrsg.), 1997. Kartieranleitung Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. 175 S
- Engel N, Stadtmann R, 2020. Bodenfunktionsbewertung auf regionaler und kommunaler Ebene: Ein niedersächsischer Leitfaden für die Berücksichtigung der Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung. [https://doi.org/10.48476/GEOBER\\_26\\_2020](https://doi.org/10.48476/GEOBER_26_2020)
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2025. Manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole. Méthode des classes d'aptitude (méthode CA) Version actualisée 2023. Version test 1.1.
- Grob U, Hertzog M, Keller A, Tutsch S, Zahner D, Scheifele M, Greiner L, Schmidt K, Stumpf F, Petter G, et al., 2024. KOBO-Bericht Nr. 11: Neue Methoden in der Bodenkartierung – Pilotprojekt Lommis.
- Hilbert S, Thelemann M, Brandt M, Siewert W, Gerstenberg JH, 2021. Planungshinweise zum Bodenschutz. Leitbild und Massnahmenkatalog für den vorsorgenden Bodenschutz in Berlin.
- Jäggi F, Peyer K, Pazeller A, Schwab P, 1998. Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich.
- Johannes A, Matter A, Schulin R, Weisskopf P, Baveye PC, Boivin P, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.02>
- Keller A, Grob U, Hertzog M, Zahner D, Greiner L, Stumpf F, Petter G, Wallner M, Sprafke T, Racine S, et al., 2023. Neue Methoden in der Bodenkartierung – Pilotprojekt Diemerswil: KOBO-Bericht Nr. 3.
- Knoll A, Sutor G, Huber G, Kübler B, 2010. «Pilotprojekt Boden». Bewertung von Bodenfunktionen in Planungsverfahren.
- Lehmann A, David S, Stahr K, 2013. TUSEC – Bilingual-Edition: Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden (Deutsche Fassung). Stuttgart. [https://soil.uni-hohenheim.de/uploads/media/TUSEC\\_2.Aufl\\_03.pdf](https://soil.uni-hohenheim.de/uploads/media/TUSEC_2.Aufl_03.pdf)
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich.
- Marugg D, Siegrist J, 2023. Beschreibung, Klassifikation und Kartierung der Böden der Schweiz: Teil III Kartieranleitung (KA23).

- \_ MeteoSuisse, 2026. Données de mesures au sol. Stations pluviométriques automatiques. Station de payerne. <https://www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/applications/valeurs-mesurees.html> - param=messwerte-lufttemperatur-10min&table=false
- \_ Miller R, Busch J, Friedrich K, Fritzsche D, Goldschmitt M, Handke K, Pflanz D, Sauer S, Vorderbrügge T, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland- Pfalz, 2022. Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 5: Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren.
- \_ Monnier J, 2020. 5000 ans d'histoire sur 2,5 km à Prez-vers-Noréaz. Abgerufen am 28.01.2026, <https://doi.org/10.5169/SEALS-919816>
- \_ Müller U, Engel N, Heidt L, Schäfer W, Kunkel R, Wendland F, Roehm H, Elbracht J, 2012. Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). GeoBerichte (20). [https://doi.org/10.48476/GEOBER\\_20\\_2012](https://doi.org/10.48476/GEOBER_20_2012)
- \_ Oberholzer H-R, Scheid S, 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Umwelt-Wissen, 0723, 76.
- \_ Presler J, Bagnoud N, 2013. Generelles Projekt der 3. Rhonekorrektur. Grundlagenstudie Bodenkunde. Technischer Bericht.
- \_ PRIF, 2017. Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF). Guillaume, T., Liebisch F., Carlen C. (Dir.). [www.prif.ch](http://www.prif.ch)
- \_ Rehbein K, Sprecher C, Keller A, 2019. Übersicht Stand Bodenkartierung in der Schweiz: Ergänzung des Bodenkartierungskataloges Schweiz um Boden-informationen aus Melioartionsprojekten.
- \_ Stumpf F, Behrens T, Schmidt K, Keller A, 2023a. Vegetation und Landnutzung – Karten zur Vegetation und Landnutzung in Raum und Zeit aus der Fernerkundung zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. BFH-HAFL, Zollikofen. Report No. 5.
- \_ Stumpf F, Behrens T, Schmidt K, Keller A, 2023b. Hinweiskarten für Bodeneigenschaften. Landesweit modellierte Karten für Bodeneigenschaften für drei Tiefenstufen.
- \_ Stumpf F, Behrens T, Schmidt K, Keller A, 2024. Exploiting Soil and Remote Sensing Data Archives for 3D Mapping of Multiple Soil Properties at the Swiss National Scale. Remote Sensing, 16 (15), 2712. <https://doi.org/10.3390/rs16152712>
- \_ Tanner S, Nussbaum M, Büeler F, Kellermann L, Oechlin S, Tuchschnid R, Burgos S. Erstellen und Anwenden von Bodenkarten im Kanton Bern.
- \_ VDLUFA, 2000. Standpunkt des VDLUFA. Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.
- \_ Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.
- \_ Weidmann M, 1996. Feuille 1204 Romont. – Atlas géologique Suisse 1:25 000, carte 99.

**Centre de compétences sur les sols**

BFH-HAFL

Länggasse 85 \_ 3052 Zollikofen

info@ccsols.ch \_ ccsols.ch