ÉTABLISSEMENT DE LA STRATIGRAPHIE DU SOL DANS LE CADRE DE L'APPLICATION DU RÈGLEMENT SUR L'ÉVACUATION ET LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DES RÉSIDENCES ISOLÉES

Guide technique 2023

Votre gouvernement

Québec

Coordination et rédaction
Cette publication a été rédigée par la Direction des eaux usées municipales et produite par la Direction des communications du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP).

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2023
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-96490-2 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2023

Équipe de réalisation

Rédaction

- Gilles Gagné, M. Sc., agronome
- Michaël Leblanc, Ph. D.
- Linda Picard, ingénieure, Direction des eaux usées municipales, MELCCFP
- Éric Thibault, agronome, Groupe PleineTerre inc.

Collaboration

- Véronique Beaudin, Groupe PleineTerre inc.
- Julien Bouchard, ingénieur et agronome, Groupe PleineTerre inc.

Relecture

- Nathalie Frenette et Hélène Belley, MELCCFP, mise en page
- Audrée Lapointe, agronome, Groupe PleineTerre inc.

Direction

- Linda Picard, ingénieure, Direction des eaux usées municipales, MELCCFP
- Éric Thibault, agronome, Groupe PleineTerre inc.

Remerciements

Nous tenons à remercier Mme Maude Lapointe, professionnelle de recherche, ainsi que Mme Catherine Bossé, chargée de projets en pédologie et agronome, de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) pour la transmission de plusieurs photos de qualité qui permettent de bien distinguer et visualiser des caractéristiques des sols.

Table des matières

1 INTRODUCTION 1
2 SOURCES D'INFORMATION À CONSULTER AVANT DE RÉALISER DES TRAVAUX DE CARACTÉRISATION DU SITE ET DU TERRAIN NATUREL 3
2.1 Plan cadastral et matrice graphique 3
2.2 Photographies aériennes et imagerie satellitaire 3
2.3 Données topographiques 5
2.4 Renseignements et données sur les sols 6
2.4.1 Études pédologiques 6
2.4.1.1 Séries de sols et autres appellations 6
2.4.1.2 Renseignements utiles 8
2.4.1.3 Études disponibles au Québec 10
2.4.1.4 Sources de données 12
2.4.2 Cartes de dépôts de surface et autres données géologiques 13
2.4.3 Renseignements disponibles à la municipalité 14
2.5 Données hydrologiques 14
3 PHASES DE L'ÉTUDE DE CARACTÉRISATION 15
3.1 Phase 1 : Étude préliminaire 15
3.1.1 Renseignements provenant du propriétaire ou de la municipalité 16
3.1.2 Photographies aériennes ou satellitaires 16
3.1.2.1 Vérification de l'historique 16
3.1.2.2 Observation de surface 18
3.1.2.3 Éléments essentiels à la confection du plan d'ensemble 19
3.1.3 Données topographiques 20
3.1.4 Réseaux enfouis dans le sol 21
3.1.5 Renseignements et données sur les sols 21
3.1.5.1 Études pédologiques 21
3.1.5.2 Cartes de dépôts de surface 25
3.1.6 Données hydrographiques et milieux humides 25
3.1.7 Préparation d'une cartographie du site 26
3.2 Phase 2 : Relevés de terrain et identification des superficies de terrain récepteur potentiel 26
3.2.1 Observations de terrain 27
3.2.1.1 Position du site dans le paysage et relief 27
3.2.1.2 Historique d'utilisation du terrain 29
3.2.1.3 Végétation et sol 29
3.2.1.4 Humidité du sol à la surface 29
3.2.2 Relevés de terrain 30
3.2.3 Identification préliminaire du terrain récepteur potentiel 30
3.2.4 Planification des puits d'exploration et des sondages à réaliser 31
3.3 Phase 3 : Caractérisation du terrain récepteur 32

4 DESCRIPTION DE LA STRATIGRAPHIE DU SOL DU TERRAIN RÉCEPTEUR 33
4.1 Terminologie générale 33
4.1.1 Sol 33
4.1.2 Non-sol 33
4.1.3 Pédon 33
4.1.4 Coupe témoin 33
4.1.5 Horizons 34
4.1.6 Autres couches 34
4.1.7 Profil du sol 34
4.1.8 Nomenclature des horizons 35
4.1.9 Horizons de sols minéraux 35
4.1.10 Horizons de sols organiques 37
4.1.11 Mode de déposition ou d'accumulation 37
4.2 Équipement requis 40
4.3 Reconnaissance du terrain récepteur potentiel au moyen de sondages 42
4.4 Localisation et excavation des puits d'exploration 43
4.5 Segmentation des horizons du sol 44
4.6 Description des horizons du sol 45
4.6.1 Désignation 45
4.6.2 Profondeur et épaisseur 47
4.6.3 Humidité du profil 47
4.6.4 Couleur 47
4.6.4.1 Teinte (hue) 47
4.6.4.2 Luminosité (value) 47
4.6.4.3 Saturation (chroma) 48
4.6.4.4 Règles et précautions particulières 48
4.6.5 Marbrures 50
4.6.5.1 Couleur 50
4.6.5.2 Abondance 50
4.6.5.3 Dimension 52
4.6.5.4 Contraste 52
4.6.6 Texture 53
4.6.6.1 Classes texturales 54
4.6.6.2 Sous-classes texturales 56
4.6.6.3 Correspondance des classes texturales 57
4.6.6.4 Méthodes de terrain pour estimer les classes texturales 58
4.6.6.5 Fragments grossiers 61
4.6.7 Structure 63
4.6.7.1 Type 64
4.6.7.2 Dimension et classe 68

4.6.7.3 Développement (grade ou netteté) 69
4.6.8 Consistance 71
4.6.8.1 À l'état humide ou sec 71
4.6.8.2 À l'état trempé 73
4.6.9 Classe de cimentation 73
4.6.10 Horizons cimentés 74
4.6.11 Horizons fragiques 75
4.6.12 Description des racines 75
4.6.12.1 Abondance 75
4.6.12.2 Dimension 75
4.6.12.3 Orientation 76
4.6.13 Échantillonnage des horizons du sol pour la granulométrie 76
4.6.14 Niveau de perméabilité 76
5 ESTIMATION DU NMMES 79
5.1 Interprétation des traits d'oxydoréduction 79
5.1.1 Expression morphologique de l'hydrologie des sols 79
5.1.2 Couleurs diagnostiques des traits d'oxydoréduction 81
5.1.3 Relations généralisées entre le niveau des eaux souterraines et les traits d'oxydoréduction 82
5.1.3.1 Conditions d'oxydation complète 82
5.1.3.2 Conditions de réduction complète 82
5.1.3.3 Fluctuation de la nappe d'eau souterraine 82
5.1.4 Mises en garde relatives à l'interprétation des traits d'oxydoréduction 84
5.1.4.1 Traits d'oxydoréduction difficiles à observer ou absents 84
5.1.4.2 Traits d'oxydoréduction présents malgré l'absence de périodes de saturation en eau 86
5.1.4.3 Horizon éluvial 86
5.2 Interprétation de la classe de drainage naturel d'un sol 87
6 ANALYSE DES OBSERVATIONS 90
6.1 Interprétation des résultats 90
6.1.1 Estimation du NMMES 90
6.1.2 Profondeur du roc 90
6.1.3 Niveau de perméabilité des horizons du sol 90
6.2 Contenu du rapport 91
7 ARGILES DITES « GONFLANTES » 91
7.1 Définition de la classe smectique selon le SCCS 92
7.2 Conditions de la présence de minéraux smectiques 92
7.3 Statut minéralogique des sols du Québec 93
7.3.1 Minéraux hérités des matériaux parentaux 93
7.3.2 Minéraux évolués dans les couches du profil pédologique 94
7.4 Recommandations 95

ANNEXE 1 : AUTRES SOURCES D'INFORMATION EN PÉDOLOGIE 96
ANNEXE 2 : FICHE TERRAIN DE DESCRIPTION DU SOL 98
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 100

Liste des sigles et des acronymes

AAC : Agriculture et Agroalimentaire Canada

AR : Affleurement rocheux

CEPP : Comité d'experts sur la prospection pédologique

DETEU : Dispositif d'évacuation ou de traitement des eaux usées domestiques

GETC : *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique*

GTCS : Groupe de travail sur la classification des sols

IRDA : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

MAPAQ : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

MELCCFP : Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

MNT : Modèle numérique de terrain

MO : Matière organique

MRNF : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

NMMES : Niveau maximum moyen des eaux souterraines

NRCS : Natural Resources Conservation Service

OEIS : Ouvrage d'épuration par infiltration dans le sol

SCCS : Système canadien de classification des sols

SSDS : Soil Science Division Staff

USDA : United States Department of Agriculture

USEPA : United States Environmental Protection Agency

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Liste de fournisseurs d'imageries 5
Tableau 2.2 : Liste des études pédologiques les plus récentes du Québec par comté, regroupement de comtés ou région 11
Tableau 2.3 : Convention de couleurs des cartes pédologiques transposées sur un feuillet cartographique à l'échelle de 1/20 000 et de certaines cartes d'origine 12
Tableau 4.1 : Principaux horizons minéraux des sols trouvés dans le Québec méridional selon le SCCS 36
Tableau 4.2 : Horizons organiques selon le SCCS 37
Tableau 4.3 : Description et interprétation générale des principaux dépôts de surface du Québec 38
Tableau 4.4 : Matériel requis pour la description d'un profil du sol 40
Tableau 4.5 : Classes de contraste pour la description des marbrures 53
Tableau 4.6 : Classes granulométriques des particules élémentaires du sol selon le système du USDA-NRCS 54
Tableau 4.7 : Classes granulométriques des fractions sableuses selon le système du USDA-NRCS 54
Tableau 4.8 : Règles d'établissement de la classe texturale selon le système du USDA-NRCS 56
Tableau 4.9 : Règles de classification du sable, du sable limoneux et du limon sablonneux selon les sous-classes texturales du système du USDA-NRCS 57
Tableau 4.10 : Correspondance des classes texturales du Règlement, du système du USDA-NRCS et du SCCS 58
Tableau 4.11 : Méthode de terrain permettant d'estimer la classe texturale d'un échantillon de sol 59
Tableau 4.12 : Classes de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS 62
Tableau 4.13 : Qualificatifs texturaux par classe dominante de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS 63
Tableau 4.14 : Forme (type et sous-type), classe et dimension de la structure du sol selon le SCCS 66
Tableau 4.15 : Comparaison des classes et des sous-classes de perméabilité du sol utilisées dans le domaine de la pédologie avec les niveaux de perméabilité du Règlement 77
Tableau 4.16 : Niveau de perméabilité du sol estimé en fonction de la classe texturale, de la structure et de la consistance[1] 78
Tableau 5.1 : Résumé des critères de couleur servant à classifier un horizon gleyifié 82
Tableau 5.2 : Description des classes de drainage naturel des sols au Canada 89

Liste des figures

Figure 2.1 : Extrait de la carte pédologique pour la région de l'Abitibi-Témiscamingue 7
Figure 2.2 : Description de la série BÉARN extraite de l'étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue 9
Figure 3.1 : Démarche proposée en trois phases pour la réalisation de l'étude de caractérisation du site et du terrain naturel 15
Figure 3.2 : Photographies aériennes indiquant la présence d'un ancien bâtiment sur un terrain 17
Figure 3.3 : Photographie aérienne d'un sol organique et d'un sol minéral 18
Figure 3.4 : Photographie aérienne de champs drainés 19
Figure 3.5 : Relevé topographique provenant des données LiDAR 21
Figure 3.6 : Extrait de la carte pédologique du comté de Saint-Jean 22
Figure 3.7 : Description de la série de sols Saint-Mathieu, extrait de l'étude pédologique du comté de Saint-Jean 24
Figure 3.8 : Exemple d'une image présentant des milieux humides selon la carte de Canards Illimités Canada 25
Figure 3.9 : Exemple d'une cartographie préliminaire à l'échelle d'un site préparée au bureau 26
Figure 3.10 : Représentation des formes de pente du terrain et potentiel d'implantation d'un OEIS selon l'USEPA 28
Figure 3.11 : Exemple d'emplacement d'un OEIS dans un terrain en pente 28
Figure 3.12 : Parties d'un profil type de versant 29
Figure 4.1 : Coupe témoin de la série Saint-Rémi 34
Figure 4.2 : Tarière manuelle pédologique hollandaise 41
Figure 4.3 : Profil de sol en milieu naturel et désignation de ses horizons selon la nomenclature du SCCS 46
Figure 4.4 : Représentation du cylindre chromatique du système de couleurs Munsell 48
Figure 4.6 : Loam sableux à l'état sec, humide et trempé 49
Figure 4.7 : Marbrures 10YR 4/6 (brun jaunâtre foncé) sur une matrice 5Y 5/2 (gris olive) provenant d'un horizon gleyifié 50
Figure 4.8 : Marbrures peu nombreuses (photo de gauche) et marbrures excessivement nombreuses (photo de droite) 51
Figure 4.9 : Étalon d'estimation de l'abondance relative des marbrures 51
Figure 4.10 : Marbrures distinctes et marbrures très marquées 53
Figure 4.11 : Triangle des textures permettant la corrélation entre la texture et le niveau de perméabilité du sol 55
Figure 4.12 : Méthode d'évaluation au toucher de la texture du sol 61
Figure 4.13 : Relation générale entre le type de structure et l'infiltration de l'eau dans le sol 63
Figure 4.14 : Structure particulaire 64
Figure 4.15 : Structure massive 65
Figure 4.16 : Structure granulaire 65
Figure 4.17 : Structure polyédrique angulaire et structure polyédrique subangulaire 67
Figure 4.18 : Structure lamellaire 68
Figure 4.19 : Développement de la structure polyédrique subangulaire faible, modérée ou forte 69

Figure 4.20 : Représentation de la forme (type et sous-type), de la classe et de la dimension de la structure 70
Figure 4.21 : Horizon à ortstein, couche brun rougeâtre 74
Figure 5.1 : Zones grisâtres appauvries en pigments de fer et zones enrichies en fer (concentrations ou marbrures) d'une couleur allant du rougeâtre au brunâtre 80
Figure 5.2 : Profil d'un gleysol présentant un horizon fortement réduit 80
Figure 5.3 : Profil de sol présentant des conditions d'oxydation complètes suivi d'un horizon gleyfié 83
Figure 5.4 : Profil d'un sol de la série Saint-Urbain caractérisé par un horizon gleyifié à partir d'une profondeur de 20 cm qui correspond au NMMES 84
Figure 5.5 : Profil d'un sol de la série Saint-Jude présentant un horizon éluvial (Ae) de 19 à 38 cm de profondeur 87
Figure 5.6 : Profondeur des traits d'oxydoréduction généralement observés en relation avec les classes de drainage naturel 88
Figure 7.1 : Profil de sol de la série Kamouraska présentant des fentes de retrait 95

1 Introduction

L'étude de caractérisation du site et du terrain naturel constitue une étape fondamentale de la réalisation de tout projet d'assainissement autonome, puisqu'elle fournit les renseignements nécessaires pour localiser, choisir et concevoir un ouvrage d'épuration par infiltration dans le sol (OEIS).

Le Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Règlement) exige à cet effet que la demande d'un permis d'installation d'un dispositif d'évacuation ou de traitement des eaux usées domestiques (DETEU) comprenne une telle étude. Une description de la stratigraphie du sol du terrain récepteur doit, entre autres, être effectuée afin de fournir des renseignements requis par l'article 4.1 du Règlement. De plus, une description complète de la stratigraphie doit être transmise à la municipalité lorsqu'un OEIS est prévu pour un sol dont la texture se situe dans la zone imperméable du triangle de l'annexe 1 du Règlement[1]. Le professionnel[2] doit notamment s'assurer que les caractéristiques de ce sol (classe texturale, structure, consistance, minéralogie) répondent aux conditions établies par le Règlement.

Le présent guide permet d'acquérir des connaissances de base en pédologie et de les appliquer à la description de la stratigraphie du sol dans le cadre d'études appuyant le choix et la conception des OEIS. Il fournit également des informations pertinentes aux professionnels qui réalisent ces études. Ainsi, ce guide :

- précise les outils, les ressources et les références à consulter avant d'entreprendre les travaux de caractérisation du site et du terrain naturel;
- indique les éléments à considérer lors de l'inspection visuelle du site afin de juger de son aptitude à recevoir un OEIS;
- décrit les travaux et les interventions à effectuer pour faire une description de la stratigraphie représentative du sol du terrain récepteur;
- détaille les techniques, les méthodes, les connaissances ainsi que les références et formule des recommandations nécessaires pour décrire la stratigraphie du sol du terrain récepteur;
- présente une méthode permettant d'estimer le niveau maximum moyen des eaux souterraines (NMMES) à partir d'observations effectuées lors de la description de la stratigraphie du sol;
- présente une évaluation de la présence possible de sols de la classe minéralogique smectique au Québec à partir d'une revue de littérature et formule des recommandations au sujet des argiles dites « gonflantes ».

Les méthodes proposées pour établir la stratigraphie du sol sont conformes aux exigences du Règlement. Elles s'appuient sur les méthodes reconnues par le Système canadien de classification des sols (SCCS), sauf en ce qui a trait à la texture et à la classe texturale du sol, qui sont établies selon le système de classification du United States Department of Agriculture du Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS), auquel fait référence le triangle de l'annexe 1 du Règlement.

---

[1] Triangle permettant d'estimer le niveau de perméabilité d'un sol à partir de sa texture.

[2] Le Règlement exige dans cette situation que l'étude soit signée par un membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec ou de l'Ordre des géologues du Québec.

Les caractéristiques pertinentes du sol à décrire pour le domaine de l'assainissement autonome des eaux usées sont également précisées.

Ce guide ne traite pas des méthodes requises par le Règlement pour établir le niveau de perméabilité du sol du terrain récepteur. Le lecteur est invité à se référer aux documents suivants et à leurs références pour obtenir des précisions sur ces méthodes :

- Annexe B-2 du *Guide technique – Traitement des eaux usées des résidences isolées* (MELCCFP, 2009 – révisé en 2015);

- Annexe 2 de la fiche d'information intitulée *Application de l'article 4.1 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (MELCCFP, 2006 – révisée en 2021) (fiche 4.1);

- Le *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique* (GETC) (MELCCFP, 2001 – révisé en 2017).

La méthode proposée dans ce guide pour estimer le niveau de perméabilité à partir de l'analyse de la texture, de la structure et de la consistance d'un sol permet toutefois de vérifier le niveau de perméabilité obtenu selon les méthodes prévues par le Règlement.

Enfin, le présent guide peut servir de référence pour faire une description exhaustive du sol dans le cadre de projets devant faire l'objet d'une autorisation du Ministère. Il est toutefois important de mentionner que la portée de l'étude à réaliser pour ces projets ne pourra pas être réduite sur la base de ce guide. Les professionnels devront, pour ce faire, se référer au GETC.

2 Sources d'information à consulter avant de réaliser des travaux de caractérisation du site et du terrain naturel

Avant d'aller sur le terrain pour caractériser un site et son terrain naturel, il est important de consulter les outils, les ressources et les références disponibles afin de bien planifier les travaux. Les sources d'information les plus pertinentes sont indiquées dans les prochaines sections.

2.1 Plan cadastral et matrice graphique

Le plan cadastral à jour peut être consulté sur la carte interactive Infolot, accessible sur le site Web du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF). Cette carte permet de visualiser la représentation cadastrale de l'ensemble des propriétés du territoire québécois et d'en extraire le plan d'un lot ou d'un sous-ensemble de lots en version numérique. La forme, les mesures, la superficie et la position du lot par rapport aux propriétés voisines s'y trouvent également.

La matrice graphique, qui montre des éléments physiques caractérisant le territoire (voies de communication, principales servitudes, cours d'eau, etc.), peut également être obtenue auprès des municipalités.

2.2 Photographies aériennes et imagerie satellitaire

Les photographies aériennes et les images satellitaires permettent de visualiser l'état physique d'un terrain au moment où elles ont été prises. Elles peuvent fournir des renseignements sur l'utilisation des terres, les constructions et les ouvrages présents, le drainage, la végétation, les eaux de surface et l'emplacement approximatif probable des limites de la propriété.

Plusieurs fournisseurs proposent différents produits en fonction de la technologie utilisée (aérienne ou satellitaire). Les images peuvent être en différentes résolutions. Des images ont été acquises sur plusieurs années et certaines datent de plus de 30 ans. De plus, la disponibilité des images varie selon le territoire couvert. La couverture et la rémanence dans l'acquisition des images sont nettement supérieures dans le sud du Québec. Les images sont maintenant offertes en format numérique géoréférencé (orthophotos). Les sites suivants permettent leur consultation ou leur achat :

- USGS Earth Explorer est une base de données géographiques gratuite fournie par la United States Geographical Survey. Un compte sans frais doit toutefois être créé pour pouvoir y chercher des données et obtenir des images satellitaires et des cartes d'élévation. La plus haute résolution est Sentinel-2 (10 m) et cette imagerie est disponible depuis 2017 à des intervalles de cinq jours. Avec cette résolution, les bandes spectrales sont bleues (490 nm), vertes (560 nm), rouges (665 nm) et proches infrarouges (842 nm). L'imagerie Landsat est également offerte pour les années antérieures à 2017, mais en des résolutions moins précises (30 m).

- Géoboutique Québec est un site du MRNF qui permet l'achat de photos aériennes prises sur l'ensemble du territoire du Québec depuis 1958. Des orthophotos y sont également disponibles depuis 1992. Les images ont été acquises selon plusieurs résolutions ou échelles.

- Land Viewer de EOS permet la consultation payante d'images satellitaires dont la résolution varie de 0,4 m/pixel à 2 m/pixel. Des images sont disponibles depuis 2008 et de nouvelles photos sont intégrées au site sur une base journalière ou tous les deux jours.

- Ressources naturelles Canada propose l'achat de photographies aériennes et d'images satellitaires. Des photos aériennes sont disponibles depuis 1920 en format papier et depuis 1943 en format numérisé, et ce, en différentes résolutions. Des images satellitaires acquises tous les jours peuvent également être obtenues.

- La carte interactive Forêt ouverte permet de télécharger gratuitement des photos aériennes datant de 2002 à aujourd'hui et des photos satellitaires depuis 2011.

- Geoselec offre l'achat de photographies aériennes acquises depuis 1959 en format papier ou en format numérique.

- La carte Vue aérienne du Québec du MRNF permet la visualisation de photographies aériennes acquises annuellement depuis 2005. Celles-ci ont subi une orthorectification. La résolution des images varie de 5 cm à 5 m.

- Google Earth Pro contient plusieurs images satellitaires qui peuvent être consultées gratuitement. Les images du Québec sont disponibles depuis 1982, mais les options de date sont limitées. Ces images peuvent être téléchargées librement, mais ne sont pas géoréférencées. La résolution est de 15 cm ou moins, détaillée selon la date à laquelle l'image a été acquise. Elle est plus élevée pour les images les plus récentes.

Le tableau 2.1 fournit une liste de fournisseurs d'imageries ainsi qu'un résumé des produits offerts et de leurs principales caractéristiques.

Tableau 2.1 : Liste de fournisseurs d'imageries

Fournisseurs	Produits	Couverture géographique	Couverture temporelle	Résolution	Coûts	Lien Internet
USGS Earth Explorer	Orthophotos, rasters topographiques	Globale	Élevée	> 10 m	Gratuit	https ://earthexplorer.usgs.gov/
Géoboutique Québec	Données LiDAR, orthophotos, adresses au Québec	Québec	Limitée (plus élevée avant 2018)	20 cm – 30 cm	Payant	Géoboutique Québec (gouv.qc.ca)
Land Viewer	Orthophotos, rasters topographiques	Globale	Élevée	0,4 m – 30 m	Payant	Land Viewer | EOS
Ressources naturelles Canada	Photographies aériennes, images satellitaires	Canada	Élevée	~ 30 cm	Payant	SGDOT (nrcan-rncan.gc.ca)
Carte interactive Forêt ouverte	Données LiDAR, orthophotos	Québec	Limitée	10 m – 30 m	Gratuit	https ://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/inventaire-ecoforestier/foret-ouverte-wms/
Geoselec	Orthophotos, images topographiques	Québec	Limitée	7,5 cm – 30 cm	Payant	Recherche| Geoselec
Carte Vue aérienne du Québec (MRNF)	Visualisation de photos aériennes	Québec	Limitée	>~ 10 cm	Gratuit	Carte Vue aérienne du Québec – Imagerie continue
Google Earth Pro	Images satellitaires (non géoréfé-rencées)	Globale	Limitée	> 15 cm	Gratuit	https ://www.google.com/earth/versions/

2.3 Données topographiques

La topographie d'un site fournit des renseignements sur l'écoulement de l'eau de surface d'un secteur donné. Les cartes topographiques et les courbes de niveau réalisées à l'échelle de 1/20 000, accessibles sur le site Web du MRNF, peuvent être consultées à l'étape de l'avant-projet. La précision de ces données est toutefois insuffisante pour qu'il soit possible de travailler à l'échelle d'un terrain précis.

La plateforme Info-Sols 2 du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) permet de visualiser plusieurs couches d'informations géolocalisées, dont des modèles numériques de terrain, des courbes de niveau et la carte d'écoulement des eaux. L'accès au site est gratuit et un guide d'utilisateur est offert.

La carte interactive Forêt ouverte du MRNF donne accès à une panoplie de données géomatiques, dont les modèles numériques de terrain (MNT) obtenus à partir de relevés LiDAR. Les données disponibles couvrent la majeure partie du territoire québécois et peuvent être téléchargées gratuitement. Les tuiles disponibles ont une résolution de 1 m x 1m et couvrent de 250 à 300 km^2. Ce sont les données topographiques disponibles les plus précises.

2.4 Renseignements et données sur les sols

2.4.1 Études pédologiques

Les études pédologiques sont composées d'un rapport et d'une carte pédologique. Elles fournissent des renseignements sur la nature, la classification et l'étendue des sols, sur les qualités associées à leurs différentes utilisations et sur leur sensibilité à diverses formes de dégradation. De plus, la description des sols traite de différents aspects considérés individuellement, entre autres de leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Les études pédologiques visent aussi à décrire les facteurs susceptibles d'avoir influencé le développement génétique des sols (pédogenèse) et leur comportement.

2.4.1.1 Séries de sols et autres appellations

Il y a présentement 721 noms de sols au Québec, soit 696 séries (674 pour les sols minéraux et 22 pour les sols organiques), 20 types de terrains et 5 complexes.

Ces différentes appellations se distinguent de la manière suivante :

- La série de sols est la catégorie la plus détaillée du SCCS (GTCS, 2002).

  La série de sols[3] est le concept de base qui se trouve dans les études pédologiques. Elle consiste en un regroupement de sols dont les caractéristiques principales des horizons sont essentiellement semblables, à l'exception de la texture du sol de surface.

- Les types de terrains, aussi désignés comme étant des groupes cartographiques, sont des associations de sols, avec parfois des non-sols (comme les affleurements rocheux), reposant sur des matériaux parentaux quelquefois différents et qu'il est impossible de cartographier distinctement selon l'échelle utilisée.

- Les complexes de sols sont des caténas (un même matériau parental pour des sols différents selon leur drainage naturel, mais qu'il est impossible de cartographier distinctement avec l'échelle utilisée).

Les autres appellations figurant sur les cartes pédologiques font référence principalement à des désignations génériques telles que les affleurements rocheux, les alluvions non différenciées et les sols non différenciés par série. Parmi les sols non différenciés se trouvent des appellations de sols organiques ou de milieux humides (terres noires, tourbes, marécages, marais, etc.), des zones anthropiques ou

[3] Voir *Le système canadien de classification des sols* (GTCS), 2002, page 152, pour la différenciation des propriétés qui se trouvent dans le concept de série de sols.

urbanisées, des ravins, des carrières, des gravières, des sablières, etc. Les termes utilisés varient selon l'année et la provenance des publications.

La carte pédologique est composée de plusieurs unités cartographiques représentant chacune une portion de territoire avec des propriétés pédologiques variant entre des limites bien définies. Une unité cartographique comprend toutes les délimitations contenant la ou les mêmes séries de sols et autres appellations. Elle peut être **simple**, c'est-à-dire que le symbole renvoie à une seule série de sols (ou autre catégorie), ou **complexe**, c'est-à-dire qu'elle est composée de plusieurs séries de sols si intimement associées dans le paysage qu'il apparaît impossible de les représenter séparément à l'échelle utilisée. Plus l'échelle de la carte est précise (ex. : 1/20 000), plus il est probable de trouver des unités cartographiques simples. Les unités simples ou composées peuvent cependant inclure d'autres sols (**inclusions**) qui sont soit trop peu contrastants ou trop peu abondants pour être distingués par une unité cartographique spécifique. Cette règle permet d'éviter une surabondance d'unités cartographiques. La figure 2.1 présente un extrait d'une carte pédologique éditée par l'IRDA.

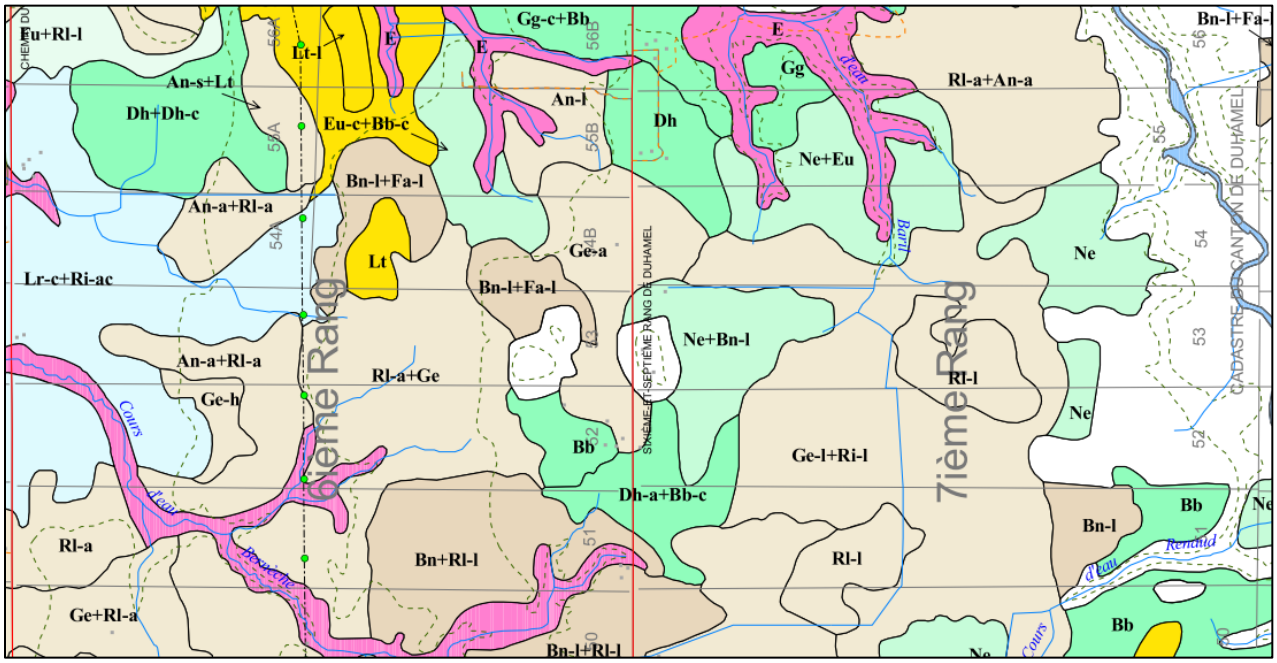


Figure 2.1 : Extrait de la carte pédologique pour la région de l'Abitibi-Témiscamingue (source : produit par AAC, MAPAQ et IRDA. Distribuée par l'IRDA, 1999)

Les pédologues-cartographes ont créé des variantes de séries afin d'éviter une surabondance de noms de séries de sols. Ces variantes sont utilisées lorsqu'une série de sols présente une ou plusieurs propriétés contrastantes nécessitant qu'un nom lui soit attribué selon les règles du GTCS, mais que la superficie concernée est trop petite pour justifier la création d'une nouvelle série ou que la propriété contrastante est relativement proche du concept central. Par exemple, par rapport au concept central d'une série, il peut s'agir d'un substratum calcaire ou non calcaire, d'une variation de profondeur (profonde, mince sur roc, très mince sur roc, etc.), d'un matériau parental contrastant ou d'une classe de drainage différente. Il arrive cependant qu'une variante d'une série de sols dans une étude pédologique devienne une série de sols distincte dans une étude subséquente. Un cas typique est celui de la variante du substratum calcaire de la série Sainte-Rosalie, qui est devenue la série Saint-Urbain dans une étude ultérieure. **Dans le cadre d'une analyse préliminaire pour la conception d'un OEIS, il est important de tenir compte, s'il y a lieu, de la variante de série, puisqu'elle peut avoir un impact important sur le type d'OEIS possible, par exemple si elle concerne la profondeur du roc.**

2.4.1.2 Renseignements utiles

Les renseignements utiles disponibles varient d'une étude pédologique à l'autre. Habituellement, plus l'étude est récente, plus elle contient des informations spécifiques associées aux séries de sols présentes dans le comté concerné.

Les renseignements pouvant être inclus et s'avérant pertinents lors de l'avant-projet pour la conception d'un OEIS sont les suivants :

- Les matériaux (sableux, silteux, argileux, organique, graveleux, pierreux, etc.);
- La perméabilité;
- Le drainage;
- La profondeur du gley, qui est un indicateur du NMMES;
- La profondeur du roc.

Une description de la stratigraphie du sol pour un profil représentatif est habituellement présentée pour chaque série de sols. Les informations pertinentes suivantes sont données pour chaque horizon principal du sol :

- La désignation;
- La profondeur et l'épaisseur;
- La texture et la classe texturale[4];
- Le pourcentage (%) de fragments grossiers;
- La couleur;
- Les marbrures;
- La structure;
- La consistance.

Certaines études fournissent également une estimation de descripteurs physiques analysés pour chaque série de sols :

- La densité relative (masse volumique apparente);
- La conductivité hydraulique;
- La réserve en eau du sol;
- La limite de liquidité et de plasticité.

Des résultats d'analyses physicochimiques sont aussi disponibles, principalement dans les études pédologiques récentes. Des statistiques (moyenne, coefficient de variation, limites inférieure et supérieure) associées aux résultats d'analyses granulométriques sont parfois présentées pour chaque horizon principal du profil. Dans certains cas, ces résultats incluent l'analyse des fractions sableuses (très fine, fine, moyenne, grossière, très grossière).

[4] Les études pédologiques établissent la texture et la classe texturale des sols selon le SCCS, alors que le Règlement exige qu'elles soient établies selon son annexe 1, qui s'appuie sur le système de classification du USDA-NRCS. Le tableau 4.10 du présent guide montre la correspondance entre les dénominations des classes texturales du Règlement et celles du SCCS.

La figure 2.2 fournit un exemple d'informations disponibles dans une étude pédologique.

b) Série BÉARN — Bn

Drainage modérément bon à imparfait — Superficie : 5 354 ha

La série Béarn ne diffère de la série Fabre que par son état de drainage, qui est modérément bon à imparfait; elle occupe des paysages plus doux où les pentes varient quand même entre 2% et 5%. C'est la série de sol la plus répandue au Témiscamingue; elle couvre plus de 5 300 ha, soit environ 10% de tout le territoire cartographié. Les principaux sols auxquels elle s'associe sont les séries Nédelec et Rémigny.

Description d'un profil de la série BÉARN

Horizon	Profondeur (cm)	Description
Ahp	0-18	Argile lourde brun gris très foncé (2.5 Y 3/2 h), gris clair (10 YR 7/1 s); polyédrique subangulaire, fine à moyenne, modérée; friable; racines abondantes, très fines, fines, moyennes, verticales; assez poreux; limite nette, ondulée; faiblement acide.
Aeg	18-30	Argile lourde gris olive (5 Y 4.5/2 h), blanche à gris clair (5 Y 7.5/1 s); marbrures fréquentes, petites, très marquées, brun jaune (10 YR 5/4 h); polyédrique subangulaire, moyenne à grossière, faible; ferme; racines peu abondantes, très fines, fines, verticales; peu poreux; limite nette, ondulée; faiblement acide.
Btg	30-50	Argile lourde brun gris foncé (2.5 Y 4/2 h), gris brun clair (2.5 Y 6/2 s); marbrures rares, petites, très marquées, brun jaune (10 YR 5/4 h); polyédrique subangulaire, fine, modérée à forte; friable; racines peu abondantes, très fines, fines, verticales; assez poreux; limite graduelle, ondulée; moyennement acide.
Cg	50+	Argile lourde brun gris foncé à brun gris (2.5 Y 4.5/2 h) et gris olive clair (5 Y 6/2 h), blanche (5 Y 8/1 s) et gris clair à gris brun clair (2.5 Y 6.5/2 s); marbrures rares, petites, très marquées, brun jaune (10 YR 5/4 h); polyédrique subangulaire, fine, moyenne, modérée à forte; friable; assez poreux; faiblement acide.

La teneur en matière organique est de niveau élevé et les pH sont faiblement acides tout au long du profil. La série Béarn se distingue par la présence d'horizons Aeg et Btg, signes de mauvaises conditions de drainage. Elle se démarque de la série Roulier par l'absence du fait calcaire, et l'importance de sa phase limoneuse (l) la rapproche de certains profils de la série Nédelec.

Fiche analytique d'un profil de la série BÉARN

Horizon	Prof. cm	Sable %	Limon %	Argile %	DMP total	pH			C org.	Pyrophosphate		Bases échangeables					CEC	Sat. bases	P		Ca/Mg	K/CEC
		2-0,05mm	50-2µ	< 2µ	mm	H_2O	$CaCl_2$ 0,01M	NaF	%	Fe %	Al %	Ca me/100g	Mg me/100g	K me/100g	Na me/100g	H me/100g	me/100g	%	ass. kg/ha	tot. kg/ha	me/100g	%
Ahp	0-18	0,8	36,8	62,4	-	6,37	5,85	8,02	3,37	1,25	0,16	17,31	5,56	0,45	0,41	10,32	34,05	69,69	47,0	1005	3,11	1,30
Aeg	18-30	0,5	35,3	64,2	-	6,29	5,48	8,57	0,12	1,09	0,14	11,31	5,02	0,31	0,51	8,16	25,31	67,76	100,8	693	2,25	1,20
Btg	30-50	0,1	17,3	82,6	-	5,97	5,73	8,42	0,68	0,96	0,22	19,72	8,82	0,62	0,69	10,16	40,01	74,61	164,6	831	2,23	1,54
Cg	50+	0,0	22,1	77,9	-	6,28	6,17	8,67	0,55	0,87	0,20	15,82	7,43	0,50	0,68	6,72	31,15	78,43	336,0	970	2,12	1,60

Figure 2.2 : Description de la série BÉARN extraite de l'étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue (source : Rompré, M. et Carrier, D. © ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 1997)

2.4.1.3 Études disponibles au Québec

Un total de 53[5] études pédologiques dites officielles ont été publiées au Québec entre 1943 et 2017. Il est important d'utiliser l'étude la plus récente, puisque certains comtés ont fait l'objet d'une étude plus détaillée que celle publiée dans les années 1940. Le tableau 2.2 présente la liste des études pédologiques les plus récentes par comté, regroupement de comtés ou région avec l'année de publication et l'échelle de la carte associée.

L'année de publication est généralement un bon indicateur de la fiabilité et de la précision de l'étude. Dans certains cas, la publication peut avoir été effectuée plusieurs années après les travaux de terrain. Notons qu'à partir des années 1960, la fiabilité des cartes produites s'est améliorée par l'utilisation de photographies aériennes avec stéréoscopie, ce qui permet de délimiter les contours des polygones, soit les délimitations cartographiques. En général, les études les plus récentes sont les plus fiables.

L'échelle de publication des cartes pédologiques récentes permet de se référer à la densité de prospection théorique (nombre d'observations par hectare). La variabilité des sols et la complexité pédogéomorphologique du territoire à cartographier déterminent la distribution du réseau d'échantillonnage à effectuer (Nolin et coll.,1994). Une observation pédologique par centimètre carré de carte de sol devrait avoir été réalisée pour respecter l'échelle de celle-ci. Le sondage et la description d'un profil pour 4 ha permettent de produire une carte à l'échelle de 1/20 000, ce qui correspond en moyenne à une grille d'observation de 200 m x 200 m. Une carte à l'échelle de 1/40 000 signifie une observation pédologique par 16 ha (400 m x 400 m), alors que, pour une carte à l'échelle de 1/50 000, il s'agit d'une observation pédologique par 25 ha (500 m x 500 m). L'échelle de la carte est donc intrinsèquement liée à sa fiabilité théorique et la précision du contenu d'une délimitation cartographique est liée à l'échelle de la carte.

Lorsqu'une étude pédologique couvre le secteur visé par un projet, elle devrait être consultée avant d'aller sur le terrain, puisqu'elle fournit plusieurs renseignements préliminaires très utiles sur les sols et le NMMES. La section 2.4.1.2 présente les renseignements pouvant être obtenus dans ces études

Au Québec, la plupart des cartes de sols ont été produites à des fins d'interprétation régionale de la variabilité des sols. La précision spatiale de ces cartes est insuffisante pour être utilisée dans le cadre de l'établissement d'un OEIS. La caractérisation des sols en place est donc indispensable pour établir la texture, la classe texturale, le niveau de perméabilité et l'épaisseur des horizons du sol non saturé d'un terrain récepteur potentiel.

[5] Ce nombre exclut les anciennes études qui ont fait l'objet d'une mise à jour.

Tableau 2.2 : Liste des études pédologiques les plus récentes du Québec par comté, regroupement de comtés ou région

Comté ou région	Échelle de la carte	Année de publication
Stanstead, Richmond, Sherbrooke et Compton	126 720	1943
Shefford, Brome et Missisquoi	63 360	1947
Nicolet	63 360	1948
Châteauguay	63 360	1950
Vaudreuil et Soulanges	63 360	1951
Huntingdon et Beauharnois	63 360	1954
Yamaska	63 360	1954
Montréal, île Jésus et île Bizard	63 360	1956
Berthier	63 360	1957
Lotbinière	63 360	1957
Bagot	63 360	1959
Argenteuil, Deux-Montagnes et Terrebonne	63 360	1960
Drummond	63 360	1960
Joliette	63 360	1961
Gatineau et Pontiac	63 360	1962
Lévis	63 360	1962
Maskinongé	63 360	1962
Assomption et Montcalm	63 360	1965
Kamouraska	63 360	1965
Lac-Saint-Jean	50 000	1965
Bellechasse et Montmagny	63 360	1966
Champlain et Laviolette	63 360	1967
Hull, Labelle et Papineau	63 360	1967
Îles-de-la-Madeleine	50 000	1967
Trois-Rivières et Saint-Maurice	63 360	1967
Chicoutimi	50 000	1971
Dorchester	50 000	1976
Portneuf	50 000	1976
L'Islet	63 360	1979
Rivière-du-Loup	63 360	1979
Îles d'Orléans, aux Coudres et aux Grues	20 000	1980
Charlevoix	50 000	1981
Témiscouata	50 000	1981
Arthabaska	50 000	1984
Mégantic	50 000	1989
Rimouski	20 000	1989
Richelieu	20 000	1990
Verchères	20 000	1990
Chambly	20 000	1991
Saint-Hyacinthe	20 000	1991
Beauce	50 000	1995
Frontenac	40 000	1996
Abitibi et Témiscamingue	20 000	1997
Wolfe	50 000	1998
Rouville	20 000	1999
Côte-de-Beaupré	20 000	2000
Laprairie	20 000	2000
Québec (secteurs de Sainte-Foy et de Valcartier)	20 000	2001
Saint-Jean	40 000	2001
Gaspésie	20 000	2005
Iberville	40 000	2010
Napierville	40 000	2014
Matane et Matapédia	20 000	2017

2.4.1.4 Sources de données

- ***Études et cartes pédologiques d'origine***

Les études pédologiques ont d'abord été publiées en format papier (rapport et carte). Ces études, y compris les cartes d'origine, sont accessibles gratuitement sur le site Internet du Service canadien d'information sur les sols (SISCan). Les rapports et les index cartographiques sont en format PDF et les cartes, en format JPEG. Certaines cartes ont été numérisées et sont offertes gratuitement en format *shapefile* (SHP). Les cartes d'origine présentent habituellement plus d'informations que les cartes qui en sont dérivées.

- ***Autres supports cartographiques***

Le MAPAQ puis l'IRDA ont numérisé des cartes pédologiques d'origine réalisées à différentes échelles. Ces cartes originales ont été transposées, sans ajout de valeur ou de précision, sur des feuillets cartographiques à l'échelle de 1/20 000 avec des données du cadastre (non rénové), toponymiques, hydrologiques et topographiques. Il s'agit de cartes pédologiques accessibles gratuitement sur le site Internet de l'IRDA en format PDF, KMZ et SHP. Le format KMZ permet une utilisation à l'aide de Google Earth avec la fonction de transparence (opacité), alors que le format SHP nécessite un logiciel de géomatique (ex. : ArcGIS, QGIS). Un guide d'utilisation des données géospatiales de la couverture pédologique du Québec a été produit par l'IRDA en 2022 (Gombault et coll., 2022).

Le site Web de l'IRDA fournit un index des cartes pédologiques pour le Québec qui permet d'identifier les numéros de feuillet de la carte et de l'étude pédologiques (original et format numérique) à consulter, selon l'emplacement d'un projet, ainsi qu'une liste pouvant être utilisée pour télécharger les études pédologiques sur le site Internet du Service canadien d'information sur les sols.

- ***Convention de couleurs***

Le tableau 2.3 présente la convention de couleurs utilisée dans les cartes pédologiques transposées sur un feuillet à l'échelle de 1/20 000, qui se trouvent sur le site Internet de l'IRDA, et dans certaines cartes d'origine pour différencier la nature du matériau parental des unités cartographiques. Par exemple, une unité cartographique jaune signifie que la série de sols dominante est de nature sableuse. Un gradient de couleur est également appliqué en fonction de la classe de drainage naturel du sol dominant : plus la couleur est foncée, plus le sol est mal drainé naturellement et, à l'inverse, plus la couleur est pâle, plus ce drainage naturel est rapide.

Tableau 2.3 : Convention de couleurs des cartes pédologiques transposées sur un feuillet cartographique à l'échelle de 1/20 000 et de certaines cartes d'origine

Couleur	Nature du matériau parental du sol dominant
Brun	Sols provenant de till (dépôt glaciaire)
Rouge	Sols graveleux
Jaune	Sols sableux
Vert	Sols loameux
Bleu	Sols argileux
Gris à gris noirâtre	Sols organiques

- ***Info-Sols 2***

La plateforme Info-Sols 2 accessible sur le site Internet du MAPAQ, permet de visualiser une partie des informations pédologiques se trouvant sur le site de l'IRDA. Deux outils facilitent la localisation du projet, soit le positionnement du curseur en fonction de ses coordonnées (latitude et longitude) et la recherche par numéro de lot du cadastre rénové. La consultation du site est gratuite, mais nécessite d'obtenir un code d'utilisateur et un mot de passe.

L'annexe 1 de ce guide présente d'autres sources d'information utiles pour approfondir ses connaissances en pédologie.

2.4.2 Cartes de dépôts de surface et autres données géologiques

Les cartes de dépôts de surface peuvent être consultées, à titre indicatif, lorsque le secteur visé par un projet d'OEIS n'est pas couvert par une étude pédologique.

Le dépôt de surface est la couche de matériau meuble qui recouvre le roc. Il peut avoir été mis en place par un glacier, lors de son retrait à la fin de la dernière glaciation, ou d'autres processus associés à l'érosion et à la sédimentation. La nature du dépôt meuble est évaluée à partir de la forme du terrain, de sa position sur la pente, de la texture du sol ou d'autres indices. Les cartes de dépôts de surface permettent de distinguer les grandes catégories de dépôts de surface et de connaître leur nature, leur épaisseur et leur répartition sur le territoire québécois. **Comme le premier mètre d'un dépôt meuble peut être exclu de cette cartographie, il faut utiliser ces cartes avec discernement.**

La plateforme de partage de Données Québec regroupe des données et des ressources sur les dépôts de surface. Entre autres, la carte interactive Forêt ouverte permet de télécharger la carte de dépôts meubles d'un territoire. Cette cartographie est issue de l'interprétation de photographies aériennes à l'échelle de 1/40 000 et de points de contrôle sur le terrain dans le cadre de l'inventaire écoforestier du Québec méridional. Elle couvre la quasi-totalité du territoire du Québec au sud du 52e parallèle et elle est diffusée au moyen d'un feuillet cartographique à l'échelle de 1/50 000. La Légende des dépôts de surface peut être téléchargée sur cette plateforme. Cette légende permet d'identifier les types de dépôts et de connaître leur description ainsi que l'origine et la morphologie à partir des codes indiqués sur cette cartographie.

Le Système d'information géominière du Québec du MRNF contient des données géoscientifiques recueillies depuis 150 ans. Chaque année, cette base de données s'enrichit des résultats des travaux de cartographie géologique, de prospection et d'exploration réalisés par ce ministère, les compagnies minières et les universités. Elle contient les informations suivantes :

- Géologie du quaternaire (notamment les dépôts de surface ou zones morpho-sédimentologiques) : type de dépôt, genèse du dépôt, environnement de déposition, information sommaire sur les épaisseurs dans certains cas.

  Ces données sont issues des levés géologiques réalisés par Géologie Québec. Ces levés comprennent des contrôles de terrain (sites d'observation) en appui à la photo-interprétation. Les données ne couvrent pas tout le territoire, mais il existe une couche des zones morpho-sédimentologiques générales pour tout le territoire.

- Granulat : dépôt de sable et de gravier classé selon son potentiel d'exploitation. Des informations sur l'épaisseur du dépôt, la profondeur de la nappe phréatique, etc., peuvent aussi être fournies. Ces données sont issues des levées d'inventaire réalisées par Géologie Québec. Toutefois, elles ne couvrent pas tout le territoire.

- Sondages (forages au diamant) réalisés par les compagnies d'exploration minière. Les forages contiennent des informations sur les épaisseurs des unités rencontrées notamment sur les dépôts de surface non consolidés (*mort terrain* dans le jargon minier*).*

Enfin, la base de données GEOSCAN du gouvernement du Canada permet de consulter et de télécharger gratuitement plusieurs études ou publications scientifiques de Ressources naturelles Canada, principalement dans le domaine des sciences de la terre.

2.4.3 Renseignements disponibles à la municipalité

Le professionnel peut vérifier auprès de la municipalité si elle dispose d'études ou de renseignements sur la nature des sols en place dans le secteur du projet. Le cas échéant, il peut demander à la municipalité de les consulter, dans le respect des prescriptions de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels.

Il peut aussi discuter avec l'officier municipal afin de bénéficier de sa connaissance du secteur.

2.5 Données hydrologiques

La Géobase du réseau hydrographique du Québec est un réseau hydrographique détaillé permettant de supporter de nombreuses applications en aménagement du territoire, en environnement et en sécurité civile. De plus, un index spatial des différentes bases de données permet de télécharger les données concernant la zone à l'étude.

Ces informations se trouvent aussi sur la plateforme Info-Sols du MAPAQ. Comme pour les données pédologiques et topographiques, ce site permet de visualiser les informations.

La Cartographie détaillée des milieux humides des zones habitées du sud du Québec, réalisée par Canards Illimités Canada et le MELCCFP, permet d'obtenir des données précises sur les milieux humides des secteurs habités du sud du Québec, notamment pour l'ensemble des basses-terres du Saint-Laurent et de la plaine du lac Saint-Jean. Une carte interactive est aussi disponible. L'acquisition de nouvelles données est en cours et la carte est bonifiée régulièrement.

La Cartographie des milieux humides potentiels du Québec fournit une information de base sur l'emplacement, le type et la délimitation des milieux humides potentiels de l'ensemble du Québec en combinant différentes sources de données cartographiques, dont la Cartographie détaillée des milieux humides des zones habitées du sud du Québec. Elle est mise à jour régulièrement et couvre toute la province. Un navigateur cartographique permet de visualiser les données et d'y superposer d'autres sources d'information pertinentes.

La Base de données des zones à risque d'inondation regroupe la cartographie réalisée dans le cadre du programme de cartographie de la Convention Canada-Québec de 1976 à 2001 et du Programme de détermination des cotes de crues de récurrences de 2001 à 2004. Elle comprend aussi la cartographie produite par la suite par le Centre d'expertise hydrique du Québec et ses différents partenaires.

Les données sur la profondeur de la nappe phréatique sont rares, très ponctuelles et localisées. Elles proviennent majoritairement de forages effectués pour des études précises. La Liste des données disponibles utiles en hydrogéologie (gouv.qc.ca), publiée par le MELCCFP, fournit des liens menant à ces données.

3 Phases de l'étude de caractérisation

La fiche d'information sur l'application de l'article 4.1 du Règlement (fiche 4.1) établit la portée de l'étude de caractérisation du site et du terrain naturel requise par celui-ci. Elle présente également une démarche structurée visant à restreindre les travaux de caractérisation du terrain récepteur aux parties du site où il est possible de localiser un OEIS conforme au Règlement. La figure 3.1 illustre cette démarche selon les trois phases proposées dans le guide de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) intitulé *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual* (2002).

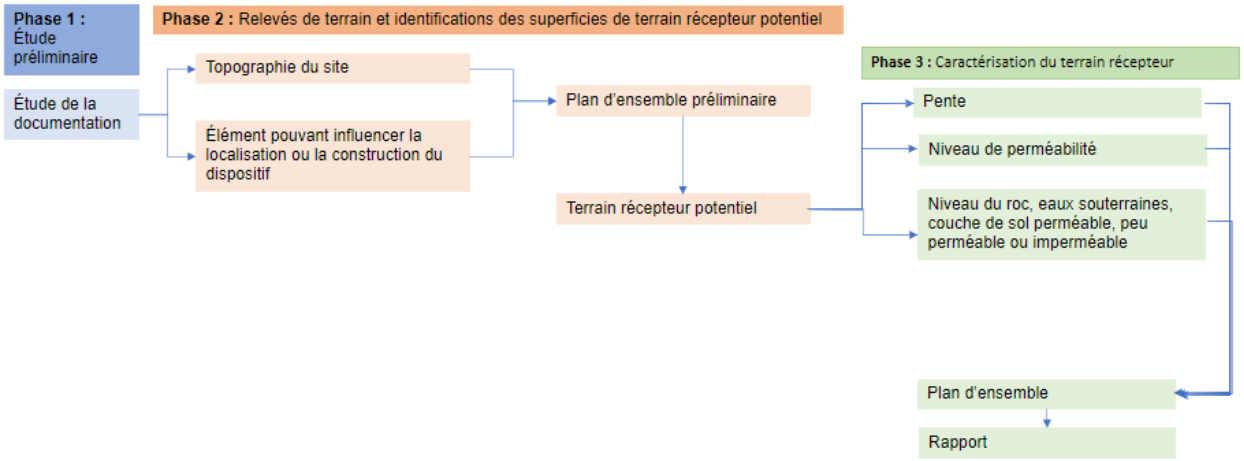


Figure 3.1 : Démarche proposée en trois phases pour la réalisation de l'étude de caractérisation du site et du terrain naturel

Généralement, si l'étude préliminaire (phase 1) a été bien effectuée pour un projet visant une résidence isolée, les relevés de terrain, l'identification des superficies potentielles et la caractérisation du terrain récepteur (phases 2 et 3) pourront être effectués lors d'une seule visite sur le terrain. La superficie potentielle déterminée à la phase 2 pourra être confirmée après la caractérisation du terrain récepteur (phase 3).

Les prochaines sections ainsi que les chapitres 4 et 5 complètent des éléments d'information contenus dans la fiche 4.1 concernant la description de la stratigraphie du sol et l'estimation du NMMES à l'aide d'observations effectuées durant celle-ci. Le niveau de perméabilité du sol estimé à partir de l'analyse de la texture, de la structure et de la consistance devrait permettre de vérifier le niveau de perméabilité établi selon les méthodes prévues par le Règlement. Le tableau 4.16 du présent guide, adapté de Tyler (2001), permet de faire cette estimation.

3.1 Phase 1 : Étude préliminaire

Cette étape vise à recueillir et à analyser des informations utiles avant d'entreprendre les travaux de caractérisation du site et du terrain naturel. Ces informations sont indiquées au chapitre 2. Leur analyse permettra d'estimer les caractéristiques générales du site et de son environnement, de déterminer les emplacements de travail et d'avoir une appréciation du potentiel du site pour l'établissement d'un DETEU.

Les objectifs de cette phase sont les suivants :

1) Identifier les conditions limites probables du site afin d'estimer sa capacité à recevoir un OEIS;

2) Déterminer de façon préliminaire des emplacements de terrains récepteurs potentiels;

3) Identifier d'autres milieux récepteurs potentiels (cours d'eau, fossé ou autre système de gestion des eaux pluviales) si un OEIS ne peut être envisagé;

4) Planifier les travaux de caractérisation du site et du terrain naturel en conséquence.

Une connaissance de la règlementation en vigueur est essentielle pour bien circonscrire les interventions à effectuer sur le terrain en fonction des contraintes potentielles du site. Les éléments à identifier dans l'étude préliminaire concernent le terrain visé par le projet ainsi que les terrains adjacents (installations de prélèvement d'eau, lacs, cours d'eau, etc.).

À l'issue de cette phase, le professionnel devrait avoir une idée des types d'OEIS possibles de même qu'une estimation de la superficie requise pour les implanter.

3.1.1 Renseignements provenant du propriétaire ou de la municipalité

Les renseignements suivants peuvent être obtenus du propriétaire ou de la municipalité, à savoir l'adresse municipale (ou les coordonnées du site), le plan de cadastre, la matrice graphique, les limites de la propriété[6] ainsi que les constructions et ouvrages souterrains existants (OEIS, réservoirs, conduites, etc.). Des informations concernant les données du projet, l'utilisation actuelle ou projetée du terrain, les servitudes, les constructions, les ouvrages et les utilisations des terres environnantes de même que le zonage doivent également être obtenues. Le propriétaire ou la municipalité peut aussi fournir des informations pertinentes sur l'utilisation antérieure du site et les sols en place.

L'emplacement et la description des installations de prélèvement d'eau constituent d'autres renseignements pouvant être recueillis auprès du propriétaire visé ou de la municipalité. Il est recommandé d'obtenir une copie de l'attestation du professionnel[7] ayant supervisé le scellement du puits si les conditions du site impliquent que la superficie disponible faisant l'objet d'une investigation peut être située à moins de 30 m d'une installation de prélèvement d'eau qui a fait l'objet d'un scellement.

3.1.2 Photographies aériennes ou satellitaires

L'analyse de photographies aériennes ou satellitaires sur plusieurs années permet de vérifier l'historique d'utilisation du terrain. L'analyse de photos plus récentes du site et de ses alentours sans couverture de neige permet d'identifier des variations liées à la topographie du site, au type de sol et à son humidité. Ces photos permettent aussi d'identifier la présence de plusieurs éléments essentiels à la confection du plan d'ensemble du site, qui sera réalisée à la suite du relevé de terrain.

3.1.2.1 Vérification de l'historique

Des événements anthropiques s'étant produits dans le passé peuvent avoir un impact important sur le choix et la localisation d'un OEIS. L'utilisation antérieure d'un terrain peut être vérifiée en analysant des photographies aériennes ou satellitaires datant d'il y a 5, 10, 20 ans ou même plus. La présence d'activités anthropiques devrait être identifiée et localisée lors de l'étude de ces photographies, notamment :

- Les décapages de sols;
- Les remblais et les déblais;

---

[6] Au besoin, il est possible de consulter le site de l'Ordre des arpenteurs-géomètres du Québec (https://www.oagq.qc.ca/grand-public/situations-communes/connaitre-les-limites-de-ma-propriete/).

[7] On peut demander une copie du rapport du puisatier si le scellement a été effectué entre le 15 juin 2003 et le 2 mars 2015.

- Les anciens bâtiments ou autres constructions;
- Les stationnements;
- Les anciens fossés ou cours d'eau;
- Les anciennes routes ou voies ferrées;
- Toute activité ayant pu modifier la topographie du site et les propriétés intrinsèques du sol.

Les sites en culture sont moins susceptibles que les autres d'avoir subi des modifications pédologiques majeures, mais un drainage souterrain pourrait être présent.

La figure 3.2 montre une situation où l'examen de photographies indique la présence d'un ancien bâtiment.

Figure 3.2 : Photographies aériennes indiquant la présence d'un ancien bâtiment sur un terrain
(source : Info-Sols, © Gouvernement du Québec)

3.1.2.2 Observation de surface

Plusieurs éléments visibles en surface peuvent indiquer des variations de la topographie du site, du type de sol ou de son humidité. L'observation des photographies aériennes ou satellitaires facilite l'identification de plusieurs de ces variations. Lorsque cela est possible, les éléments suivants devraient être repérés et localisés :

- Les variations importantes de couleur et de teinte à la surface du sol.
  Selon la date de prise de vue et les conditions climatiques antécédentes, les photographies aériennes en noir et blanc prises sur un sol nu ou avec une faible couverture végétale peuvent fournir des informations pertinentes sur le sol. En effet, les nuances des tons de gris permettent d'observer des variations :

  - Les sols contenant beaucoup de matière organique et les sols humides apparaissent habituellement d'une couleur allant du gris foncé au noir.

Figure 3.3 : Photographie aérienne d'un sol organique et d'un sol minéral
(source : Info-Sols, © Gouvernement du Québec)

  - Plus la couleur tend du gris pâle au blanc, plus le sol est sec, contient moins de matière organique ou est mince sur le roc.

  - La présence de drains souterrains peut parfois être identifiée en zone agricole grâce au fort contraste entre les sols plus secs, situés au-dessus des drains, et les sols plus humides, situés entre les drains.

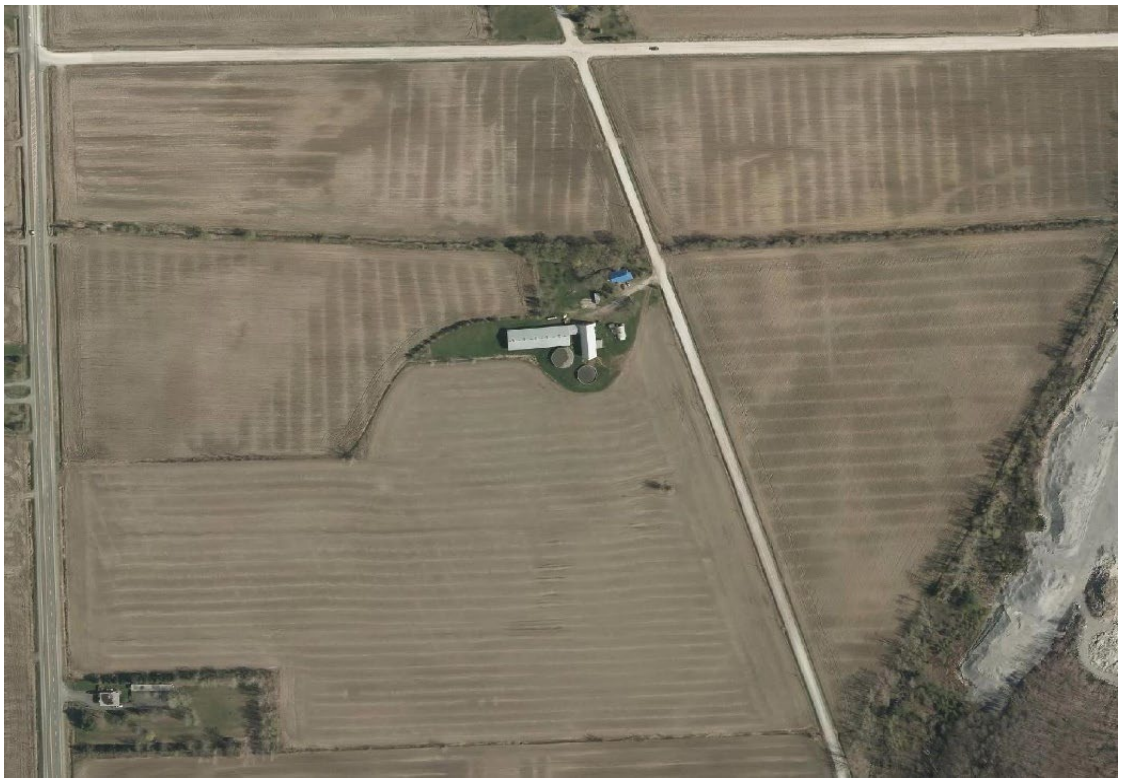


Figure 3.4 : Photographie aérienne de champs drainés avec une variation d'humidité entre chaque drain (source : Info-Sols, © Gouvernement du Québec)

- Les changements de végétation, principalement lorsque le sol est en friche ou en milieu naturel;

- Les variations dans la couleur de la végétation lorsque celle-ci est uniforme, par exemple sur les terrains engazonnés.

  Lorsque la végétation est relativement uniforme, y compris les terrains engazonnés, il est possible d'observer des variations dans la densité et la couleur des plantes (zone plus jaune ou plus verte). Les espèces de plantes présentes peuvent également varier. Ces changements peuvent signifier la présence de types de sols ou de niveaux d'humidité du sol différents, du moins en surface. Il est à noter que ces changements peuvent différer selon la date de prise de la photo;

- La présence de fragments grossiers, principalement des pierres ou des blocs, lorsqu'ils sont visibles;

- La présence d'affleurements rocheux.

3.1.2.3 Éléments essentiels à la confection du plan d'ensemble

Le Règlement prescrit, aux articles 7.1 et 7.2, des normes de localisation[8] applicables aux DETEU. Il précise des distances minimales à respecter entre les composantes d'un DETEU et des points de référence susceptibles d'être présents. Il interdit d'installer des composantes à ces endroits, notamment dans les

[8] Les pages 2 à 4 de la fiche d'information *Choix des composantes d'un dispositif d'évacuation, de réception ou de traitement des eaux usées domestiques des résidences isolées* (MELCCFP, 2013 – révisée en 2021) fournissent des précisions sur les normes de localisation applicables aux différents composantes d'un dispositif.

aires de circulation motorisée. De plus, le Règlement exige du professionnel d'indiquer tout élément pouvant influencer la localisation ou la construction du DETEU.

Une photographie aérienne ou satellitaire récente du site permet d'identifier certains des éléments pouvant y être présents, notamment :

- Les lacs et les cours d'eau[9];
- Les marais, les étangs et les autres milieux humides;
- Les résidences, les bâtiments, les aménagements et les autres constructions;
- Les arbres;
- Les indicateurs des limites de propriété potentielles;
- Les stationnements, les chemins et les autres aires de circulation motorisée.

D'autres éléments peuvent être repérés, mais ils sont généralement plus difficiles à percevoir sur une image. Les observations et les relevés de terrain effectués lors de la phase 2 permettront d'identifier et de localiser précisément les éléments pouvant influencer la localisation ou la construction du DETEU sur le plan d'ensemble du site.

3.1.3 Données topographiques

Les données topographiques disponibles permettent de situer le site à l'étude par rapport au territoire environnant. Elles peuvent ainsi indiquer si ce site se trouve dans une dépression, dans une pente, sur un terrain relativement plat ou sur une crête.

Les données topographiques acquises à l'aide de la technologie LiDAR[10] sont souvent assez précises pour permettre la localisation des zones basses (dépressions, baissières et bas de pente) et des zones plus élevées (crêtes et hauts de pente). Elles permettent ainsi d'identifier les zones potentielles d'accumulation d'eau. La figure 3.5 montre un exemple de relevé topographique provenant des données LiDAR et permettant de visualiser la direction de l'écoulement de l'eau et les zones potentielles d'accumulation d'eau (baissières). En zone agricole, les données disponibles sont généralement précises. Cependant, lorsqu'on s'approche des zones périurbaines ou des ensembles résidentiels plus denses, les données LiDAR sont souvent absentes ou moins précises. Il est important de vérifier la date d'acquisition des données LiDAR pour évaluer les risques que le terrain ait subi des transformations (remblais, déblais, etc.) subséquentes.

Les zones potentielles d'accumulation d'eau peuvent également être identifiées en jumelant les informations fournies par les photographies (aériennes ou satellitaires) et la topographie. Lorsque le terrain apparaît très noir sur la photo et que la topographie révèle la présence d'une baissière au même endroit, il est probable que le sol présente des limitations importantes pour l'établissement d'OEIS.

Les données topographiques disponibles ne sont pas assez précises pour qu'il soit possible de localiser et de concevoir des DETEU. Un relevé topographique du site devrait être effectué à l'aide d'un équipement spécialisé au cours de la phase 2 de l'étude. La fiche 4.1 présente, à l'annexe 1, les éléments qui doivent être respectés lors de l'établissement de la topographie du site.

[9] Les photographies aériennes (ou satellitaires) ne permettent généralement pas d'établir la limite du littoral d'un lac ou d'un cours d'eau. Cette limite doit être déterminée selon l'annexe 1 du Règlement sur les activités dans les milieux humides, hydriques et sensibles.

[10] Ces données proviennent du ministère des Ressources naturelles et des Forêts.

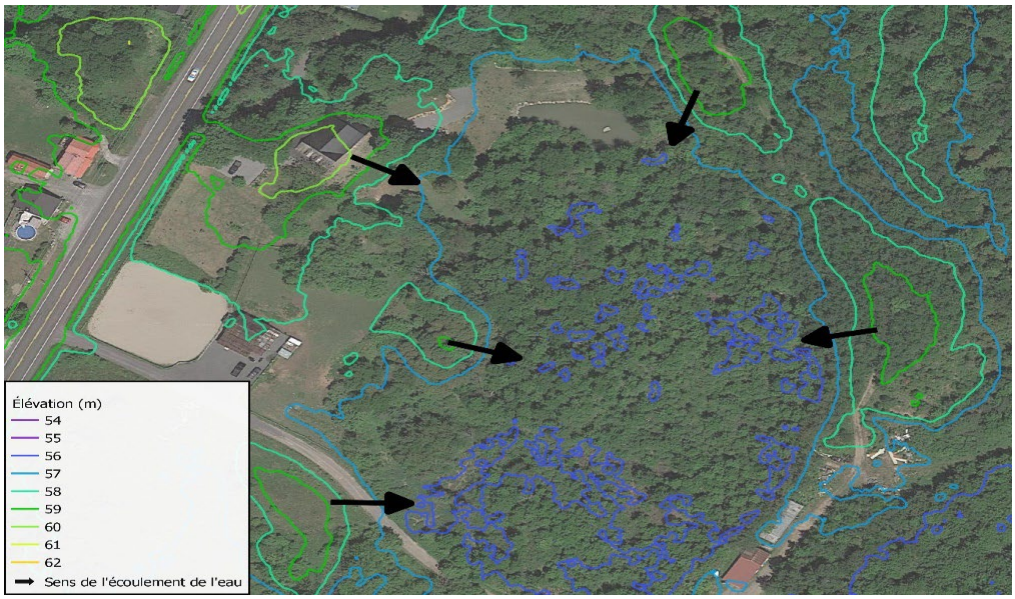


Figure 3.5 : Relevé topographique provenant des données LiDAR
(source : Info-Sols, © Gouvernement du Québec)

Enfin, les données topographiques permettent de planifier l'étude générale des formes de terrain qui sera effectuée sur le site.

3.1.4 Réseaux enfouis dans le sol

Une demande de localisation peut être faite en ligne sur le site Info-Excavation pour vérifier la présence de réseaux enfouis dans le sol sur la propriété afin d'éviter des dommages pendant les travaux d'excavation. La localisation des types d'infrastructures suivantes est possible :

- Les réseaux d'eau (eau potable, égouts);
- Les réseaux d'énergie (gaz, canalisations, électricité, chauffage);
- Les réseaux de télécommunication;
- Les occupations souterraines (passages piétonniers, voûtes, etc.).

3.1.5 Renseignements et données sur les sols

3.1.5.1 Études pédologiques

L'étude pédologique est très utile lors de l'avant-projet puisqu'elle permet de déterminer les types d'OEIS pouvant être mis en place selon la **nature probable du sol** et les conditions d'implantation établies par le Règlement. La superficie nécessaire pourra ainsi être déduite en considérant également les données du projet.

En effet, l'étude pédologique représente la plus grande source d'information utile concernant les sols. Si le secteur visé par le projet est couvert par une telle étude, celle-ci devrait être la première source d'information consultée lors de l'étude préliminaire.

La carte pédologique permet de repérer les éléments importants suivants :

- La ou les séries de sols qui sont présentes dans le secteur à l'étude[11];
- La variabilité spatiale des séries de sols dans le secteur.

  Plus les séries de sols sont nombreuses dans le milieu environnant, plus le professionnel devra s'assurer de l'homogénéité des sols dans le cadre de ces travaux. La variabilité des sols fait partie des éléments importants à considérer pour déterminer le nombre de sondages devant être effectués;

- La présence d'affleurements rocheux ou de sols minces sur roc dans le secteur.

  Même si le secteur ne présente pas d'affleurements rocheux, la présence de ceux-ci dans les zones situées au pourtour pourrait signifier que du roc se trouve à l'intérieur de la coupe témoin;

- La présence de sols organiques ou de couches organiques en surface.

La figure 3.6 présente un extrait de la carte pédologique du comté de Saint-Jean indiquant des sols organiques, des affleurements rocheux (AR), des sols argileux et des tills loameux sur le long de la montée Glass.

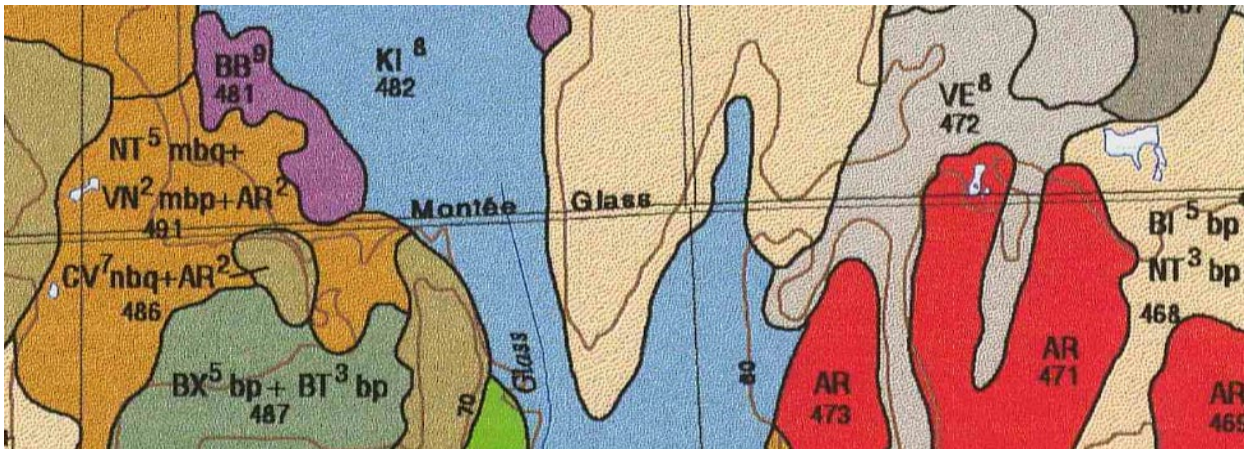


Figure 3.6 : Extrait de la carte pédologique du comté de Saint-Jean (source : Lamontagne et coll., 2001, AAC – Contient de l'information visée par la Licence du gouvernement ouvert - Canada)

Le secteur visé par le projet devrait être situé sur la carte pédologique et les séries de sols associées ou autres désignations, identifiées à partir de la légende. La consultation du rapport pédologique permet de reconnaître de façon préliminaire la ou les séries de sols, selon le cas, pouvant être présentes. Cette étape permet de prendre connaissance des principales caractéristiques et propriétés des séries et facilite la reconnaissance des séries dominantes sur le terrain ainsi que, par le fait même, la description des propriétés morphologiques associées. **Cette démarche est très utile, puisqu'elle donne une idée de la classe texturale des horizons potentiellement présents dans le sol, de leur épaisseur, de leur perméabilité et de la capacité de drainage avant d'aller sur le terrain.**

La carte pédologique et le rapport qui lui est lié fournissent des indicateurs importants sur les caractéristiques des sols naturels du secteur et leur variabilité. Étant donné la précision variable des études

[11] La section 2.4.1.1 du présent guide fournit des précisions à ce sujet.

pédologiques disponibles, la ou les séries de sols présentes sur le terrain pourraient toutefois être différentes.

Le rapport permet d'évaluer ou de connaître, pour chaque série de sols présente :

- La taxonomie (grand groupe et sous-groupe) du sol en présence et la classe de drainage naturel;
- La perméabilité du sol dans son ensemble et sur plusieurs couches dans le profil en se basant sur la texture, la couleur et la structure du sol;
- La profondeur du gley, qui est un indicateur du NMMES, et du roc;
- La classe texturale du sol[12] à différentes profondeurs. S'il y a lieu, les qualificatifs texturaux humifères et graveleux sont importants, car ils permettent de bien évaluer l'état de drainage et la perméabilité du sol;
- Le volume de fragments grossiers (graviers, cailloux, pierres et blocs) présent.

La figure 3.7 de la page suivante présente un exemple d'informations pouvant être obtenues en consultant une étude pédologique.

[12] Les études pédologiques établissent la classe texturale des sols selon le SCCS, alors que le Règlement exige qu'elle soit établie selon son annexe 1, qui s'appuie sur le système de classification du USDA-NRCS.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA SÉRIE DE SOLS

Matériau 1	Squelettique-loameux avec 20 à 50 % de graviers, cailloux et pierres de calcaire, grès, siltstone et shale, neutre à alcalin
Matériau 2	Loameux avec 20 à 50 % de graviers, plaquettes et cailloux de shale, grès et calcaire, alcalin et fortement calcaire
Dépôts	Tills remaniés calcaires
Physiographie (altitude)	Région de la plaine de Montréal (< 60 m), sous-région de la plaine ondulée (45-60 m) ; région des hautes-terrasses du Saint-Laurent - section des Adirondacks (60-160 m), sous-région de la plaine vallonnée (60-90 m)
Réserve en eau utile ($cm \cdot 100\ cm^{-1}$)	Modérée
Perméabilité	Modérée à rapide / Lente
Drainage	Mauvais
Taxonomie	Gleysol humique orthique

PROFONDEUR (cm)	
Matériau 2	70 (50-90)
Gley	30 (0-40)
Solum	70 (60-80)
Carbonates	70 (40-100)
Roc	> 100

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL TYPIQUE DE LA SÉRIE DE SOLS

Profil cultivé	Horizon	Profondeur (cm)	Texture et qualificatif	Fragments (% volume)	Couleur	Marbrures	Structure	Consistance
Couche de surface	Ap (Apg)	0-25	L, LLi, LSF (graveleux)	10 (1-30)	Brun foncé (10YR 3/3)	Absentes	Granulaire, fine, modérée	Très friable
Sous-sol	Bg	25-45	L, LSF, LS très caillouteux (caillouteux)	40 (20-50)	Brun olivâtre clair (2,5Y 5/3)	Fréquentes, fines, marquées, brun jaunâtre (10YR 5/6)	Amorphe (granulaire, fine, faible)	Friable
Substratum	IICkg	70 et +	L, LLi, LSF graveleux (très graveleux)	30 (20-50)	Brun olivâtre (2,5Y 4/3)	Nombreuses, fines, marquées, brun jaunâtre foncé (10YR 4/6)	Amorphe	Friable à ferme
Remarque	Il y a parfois présence de cailloux (7,5 à 25 cm de diamètre) dans le substratum.							

ESTIMATION DES DESCRIPTEURS PHYSIQUES DU PROFIL TYPIQUE DE LA SÉRIE DE SOLS

Profil cultivé	Densité apparente ($g \cdot cm^{-3}$)	Conductivité hydraulique ($cm \cdot hr^{-1}$)	Réserve en eau du sol ($cm \cdot cm^{-1}$)	Limite liquidité (%)	Limite plasticité (%)	Classification pour l'ingénieur		Texture et qualificatif
						Unified	AASHO	
Couche de surface	1,40-1,55	≥15	0,09-0,15	NL (20-30)	NP (15-25)	SM	A-4	**LSF**
	1,20-1,60	5-50	0,10-0,24	25-45	20-30	SM ou ML	A-4 ou A-6	**L, LLi**
Sous-sol	1,40-1,80	≥15	0,05-0,14	NL (10-30)	NP (10-20)	GM ou SM	A-2	
Substratum	1,60-2,00	< 1,5	0,05-0,21	NL (10-30)	NP (10-25)	SM ou ML	A-4 ou A-6	

DESCRIPTION DES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES

Symbole de l'unité	Phases de sol				Sols dominants		Inclusions			Délimitations			
	Texture de surface et qualificatif	Profondeur au roc (cm)	Pente (%)	Pierrosité	Série	%	Type	%	Série	N	Superficie (ha)		
											Min.	Max.	Totale
Remarque	Voir la série de sols de Napierville (NP) pour la description des unités cartographiques formées par l'association des sols NP^5bp+MT^4bp et NP^5bp+MT^4p.												

Figure 3.7 : Description de la série de sols Saint-Mathieu, extrait de l'étude pédologique du comté de Saint-Jean (source : Lamontagne et coll., 2001, AAC – Contient de l'information visée par la Licence du gouvernement ouvert - Canada)

Les renseignements contenus dans les études pédologiques ne peuvent pas remplacer les travaux de caractérisation du terrain récepteur devant être effectués sur le terrain. Les cartes pédologiques ne sont pas suffisamment précises pour appuyer la conception d'un OEIS étant donné la faible densité des sondages d'observation des sols ainsi que leur profondeur, qui est généralement limitée à 1,2 m.

3.1.5.2 Cartes de dépôts de surface

Lorsque les études pédologiques ne sont pas disponibles pour le secteur à l'étude, les cartes de dépôts de surface peuvent être consultées à titre indicatif pour connaître le type de dépôt et sa description générale, qui inclut parfois une estimation de l'épaisseur moyenne. Cependant, ces cartes sont beaucoup moins précises que les cartes pédologiques et contiennent peu d'information sur les caractéristiques des sols. **Il est important de se rappeler que les cartes de dépôts de surface ne caractérisent généralement pas le premier mètre de sol à partir de la surface.**

3.1.6 Données hydrographiques et milieux humides

La carte du réseau hydrographique permet de repérer la présence de lacs et de cours d'eau dans la superficie du terrain à l'étude et les terrains adjacents. La source de données hydrographiques la plus accessible et complète est la plateforme Info-Sols du MAPAQ. La carte interactive des milieux humides de Canards Illimités Canada peut aussi être consultée afin de localiser les milieux humides, si elle est disponible pour la région concernée. La figure 3.8 fournit l'exemple d'une image présentant les milieux humides et obtenue à partir de cette carte.

Figure 3.8 : Exemple d'une image présentant des milieux humides selon la carte de Canards Illimités Canada

3.1.7 Préparation d'une cartographie du site

À la suite de l'analyse des différentes sources d'information mentionnées précédemment, une cartographie du site à l'échelle peut être préparée au bureau afin de faciliter la détermination des travaux à effectuer sur le terrain. Cette cartographie devrait préférablement être réalisée avec un système d'information géographique ou un logiciel de dessin assisté par ordinateur. Ceux-ci permettent de superposer l'ensemble des couches d'information disponibles par rapport aux limites probables de la propriété.

Cette cartographie permet de repérer de façon préliminaire :

1) Des éléments potentiellement présents sur les sites et pouvant influencer la localisation du DETEU;
2) Des éléments à vérifier et à localiser sur le terrain;
3) Des secteurs propices pour l'implantation d'un OEIS;
4) Des zones probables où des sondages pourraient être réalisés.

Elle permet de vérifier de manière préliminaire si le site comporte l'espace nécessaire pour recevoir les types d'OEIS envisagés selon les données du projet, la nature probable du sol et les exigences du Règlement.

Même si cette cartographie est effectuée à l'échelle, elle n'est pas suffisamment précise pour permettre de situer chacun des éléments nécessaires pour localiser un DETEU. La précision des couches d'information disponibles est très variable et d'autres éléments non identifiés peuvent être présents sur le site.

La figure 3.9 donne un exemple de cartographie préliminaire à l'échelle d'un site préparée au bureau.

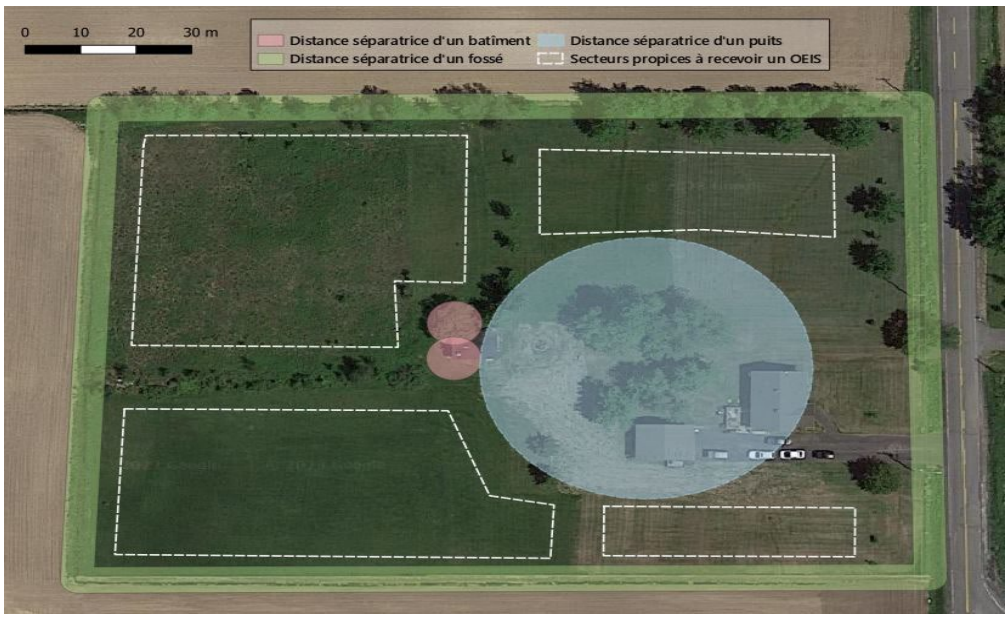


Figure 3.9 : Exemple d'une cartographie préliminaire à l'échelle d'un site préparée au bureau (source : Info-Sols, © Gouvernement du Québec)

3.2 Phase 2 : Relevés de terrain et identification des superficies de terrain récepteur potentiel

Cette phase vise à faire les observations et les relevés de terrain nécessaires en vue des actions suivantes :

1) Identifier et situer précisément tous les éléments pouvant influencer la localisation ou la construction d'un DETEU;
2) Appliquer les marges de recul applicables aux éléments visés par des distances minimales dans le Règlement (normes de localisation);
3) Délimiter les superficies de terrain récepteur potentiel;
4) Orienter la géométrie de l'OEIS;
5) Définir les travaux de caractérisation de la superficie de terrain récepteur potentiel.

Elle vise ainsi à vérifier les informations obtenues lors de l'étude préliminaire (phase 1) et à déterminer d'autres éléments présents sur le site et pouvant influencer la localisation d'un DETEU. Les relevés de terrain permettront de situer précisément les éléments sur un plan d'ensemble préliminaire du site et de délimiter les superficies de terrain récepteur potentiel. Ces relevés doivent être réalisés selon les règles de l'art ainsi que les recommandations contenues dans la fiche 4.1. La cartographie préparée d'après les recommandations de la sous-section 3.1.7 peut être utilisée pour faire les vérifications et mesures nécessaires.

3.2.1 Observations de terrain

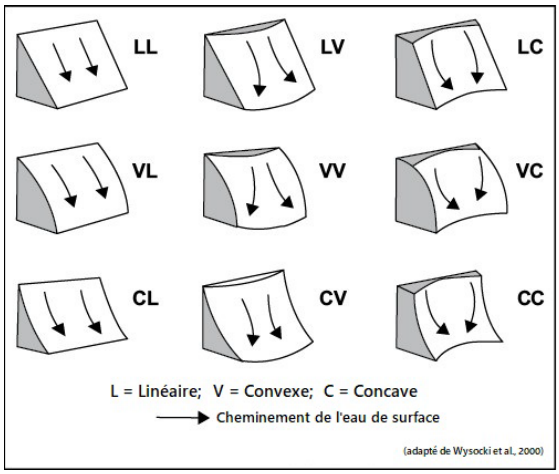
Cette étape consiste à marcher sur le terrain afin d'observer et de repérer tous les éléments présents sur le site (propriété et terrains adjacents) et pouvant influencer la localisation d'un DETEU. Elle permet aussi de noter les particularités pouvant affecter le potentiel d'un emplacement pour l'implantation d'un OEIS (position du paysage, relief, topographie, végétation, humidité du sol en surface, présence d'affleurements rocheux, etc.).

La présence du propriétaire ou de son représentant est recommandée au début de cette étape pour permettre de connaître ses besoins et d'obtenir des précisions sur le projet et le terrain. Celle des propriétaires des terrains adjacents peut aussi s'avérer nécessaire dans certaines situations.

3.2.1.1 Position du site dans le paysage et relief

La position du site dans le paysage et la forme du terrain (relief) devraient être observées afin de déterminer le patron de drainage du site. Les emplacements dont les caractéristiques du site concentrent les eaux de ruissellement devraient être évités (baissières, dépressions, plaines, vallons, bas de pente, etc.). En contrepartie, les secteurs situés dans des pentes convexes, des zones planes composées de sols perméables et des terrains, qui permettent une bonne infiltration des eaux usées et leur dispersion dans des sols non saturés en eau, devraient être favorisés.

La figure suivante présente le potentiel d'implantation d'un OEIS en fonction de la forme de la pente selon le USEPA (2002).



Forme de la pente	Potentiel d'implantation
LC VC CC	Non recommandé
LV VV CV	Acceptable
LL VL CL	Meilleur

Figure 3.10 : Représentation des formes de pente du terrain (source : SSDS, 2017) **et potentiel d'implantation d'un OEIS selon l'USEPA**

La figure 3.11 montre un exemple de localisation d'un OEIS dans un terrain en pente, alors que la figure 3.12 indique les différentes parties d'un profil type de versant.

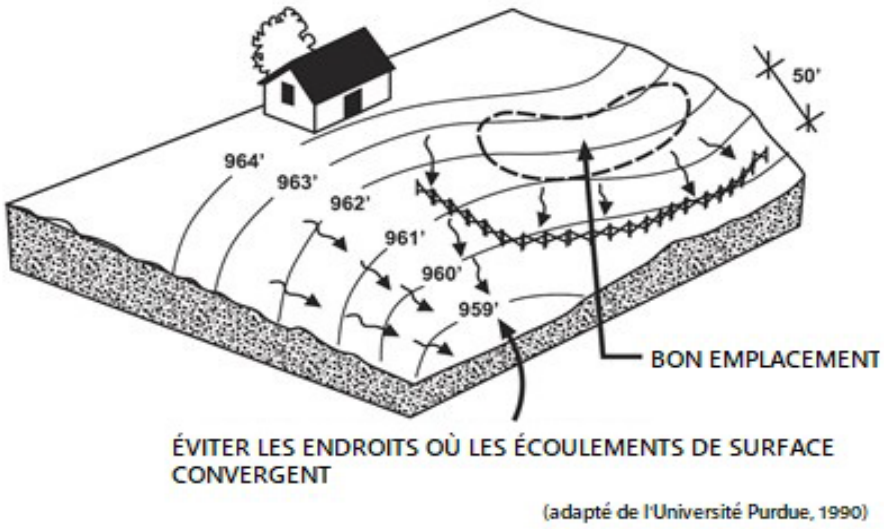
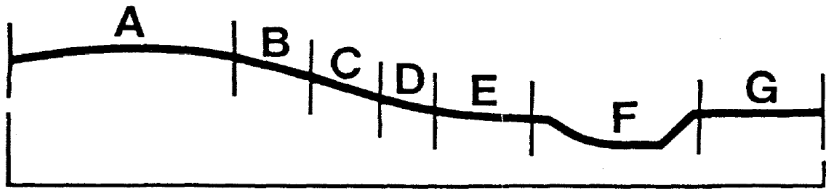


Figure 3.11 : Exemple d'emplacement d'un OEIS dans un terrain en pente (source : adapté de Purdue University, 1990)



A : Crête
B : Haut de pente
C : Milieu de pente
D : Bas de pente
E : Pied de pente
F : Dépression
G : Niveau

Figure 3.12 : Parties d'un profil type de versant (source : CEPP, 1982)

Selon le USEPA (2002), les lignes de crête sont des zones étroites qui possèdent généralement une profondeur de sol limitée, mais en contrepartie un bon potentiel de drainage. Les hauts et les milieux de pente (B et C) présentent souvent un bon drainage, bien que la couverture de sol puisse être mince et que des affleurements rocheux en surface puissent être rencontrés. Le bas de pente (D et E) et les dépressions (F) sont des zones concaves d'accumulation de sol. Cependant, les dépressions (F) ont généralement un mauvais drainage. Les sols les plus profonds et les mieux drainés se trouvent sur les crêtes (A), les pentes latérales inférieures (D) et les pieds de pente (E). Les bas-fonds peuvent avoir des sols profonds, mais peuvent aussi avoir un mauvais drainage souterrain.

La perméabilité du sol revêt également une très grande importance dans le potentiel d'un terrain pour l'implantation d'un OEIS. Un sol perméable situé sur une longue pente douce et convexe ou sur un plateau est idéal pour l'infiltration et la dispersion des eaux usées (USEPA, 2002). Un sol argileux sans structure imperméable dans les mêmes types de modelés de terrain ne permettrait pas un traitement efficace de celles-ci.

3.2.1.2 Historique d'utilisation du terrain

Tous les éléments mentionnés à la sous-section 3.1.2.1 doivent être vérifiés et repérés. La présence du propriétaire est recommandée pour faciliter la localisation d'ouvrages souterrains (puits, conduites, drains, puits absorbant pour gouttières, fils électriques, etc.) et d'anciens vestiges enfouis en dessous de la surface (gravier, asphalte, béton, remblais, etc.).

De plus, il peut être requis de sonder le terrain à l'aide d'une tige de sonde, d'une pelle ronde ou d'une tarière.

3.2.1.3 Végétation et sol

L'état de la surface du sol lors de la visite a un impact important sur les éléments qu'il est possible d'observer. Lorsque le sol est à nu (sans végétation), il est possible d'observer les variations de couleur et de teinte du sol à la surface. Sur un terrain engazonné, les variations de croissance du gazon et de couleur sont à privilégier. Sur un terrain toujours en friche, les variations dans le type de végétation doivent être localisées. Le type de végétation présent et le niveau de croissance de celle-ci sont des indicateurs importants de la perméabilité du sol sous-jacent et de son potentiel de drainage anthropique. Il est également nécessaire de noter la présence d'affleurements rocheux ou de fragments grossiers à la surface du sol.

3.2.1.4 Humidité du sol à la surface

En période de sécheresse, il est possible d'identifier les zones humides et les zones sèches. Dans les zones humides, le sol peut être mou, il peut être collant en présence d'argile et de l'eau peut se trouver en surface. Dans les zones sèches, le sol est habituellement plus dur, il peut avoir un aspect poudreux et il n'est habituellement pas collant. Les zones humides à la surface sont des indices importants de la présence

d'un horizon ou d'une couche imperméable ou peu perméable en profondeur ou encore d'une position topographique dans une dépression (creux).

3.2.2 Relevés de terrain

Cette étape consiste à faire un relevé pour localiser précisément les éléments (existants ou projetés) pouvant influencer la localisation d'un DETEU :

- Les limites de propriétés;
- Des installations de prélèvement d'eau (souterraine et de surface);
- Un lac, un cours d'eau, un marais ou un étang;
- Des résidences et autres bâtiments;
- Des conduites d'eau de consommation;
- Des aires de circulation motorisée;
- Des zones susceptibles d'être submergées;
- Des endroits non accessibles pour l'entretien d'un DETEU;
- Des conduites souterraines de drainage de sol;
- Des tranchées drainantes;
- Des talus;
- Des fossés;
- Des arbres;
- Tout autre élément identifié pouvant influencer la localisation d'un DETEU.

Les éléments situés sur les terrains adjacents et pouvant avoir une incidence sur le choix de l'emplacement d'un DETEU doivent également être identifiés et localisés.

Cette étape peut inclure le relevé de terrain à réaliser en vue de présenter la topographie du site sur le plan d'ensemble et de préparer les plans du DETEU. La mesure des élévations doit être effectuée selon un point de repère établi sur le site et rattaché à un point de référence permanent, s'il est disponible, ou à un autre point permettant de rétablir le point d'élévation en cas de disparition, de déplacement ou de dégradation.

Un croquis préliminaire présentant l'ensemble des observations effectuées devrait aussi être réalisé. La cartographie du site préparée au bureau suggérée à la section 3.1.7 peut servir de base pour la production du relevé de reconnaissance de terrain (croquis). Toute autre base de référence (papier quadrillé, image aérienne, etc.) permettant la prise de notes adéquates peut être utilisée.

3.2.3 Identification préliminaire du terrain récepteur potentiel

La superficie du terrain récepteur potentiel devrait être délimitée après avoir exclu les zones où un DETEU ne peut pas être implanté. À cet effet, les marges de recul correspondant aux distances minimales exigées par le Règlement pour chacun des points de référence présents sur le site sont appliquées pour les systèmes étanches et non étanches. Les zones de circulation motorisée, qui sont susceptibles d'être submergées ou qui ne sont pas accessibles pour l'entretien d'un DETEU, sont également exclues.

Les éléments discutés dans la section 3.2.1 doivent aussi être considérés dans cette démarche. A priori, les superficies de terrain récepteur potentiel ne devraient pas être localisées dans les endroits présentant les caractéristiques suivantes :

- Les sols organiques;
- Les remblais;
- Les zones d'accumulation d'eau (baissière ou partie basse du terrain récepteur);
- Les affleurements rocheux;
- Les plantes associées quasi exclusivement aux milieux humides;

- Les anciens bâtiments ou autres vestiges;
- Les anciens fossés ou cours d'eau remblayés;
- Les drains agricoles souterrains.

Il est recommandé, en présence de plusieurs superficies potentielles disponibles, de choisir celle où les conditions semblent les plus favorables. Celle-ci devrait être facile à déterminer si l'analyse des informations disponibles a bien été réalisée. Il importe également de tenir compte des besoins du client et de l'utilisation future projetée par ce dernier.

La superficie potentielle du terrain récepteur retenu devrait être localisée et délimitée précisément par rapport à des repères fixes (fanions) et géolocalisés sur le croquis. Les observations, les mesures et les essais effectués lors de la caractérisation du terrain naturel viendront confirmer ou infirmer la possibilité de mettre en place un OEIS sur la propriété. La superficie de terrain récepteur potentiel sera confirmée par la suite à partir du plan d'ensemble du site, qui sera préparé au bureau et qui présentera à l'échelle tous les éléments pouvant influencer la localisation d'un DETEU (topographie du site, éléments pour lesquels une norme de localisation est prévue par le Règlement, bâtiments existants et ceux prévus par le propriétaire ou toute autre occupation du sol).

3.2.4 Planification des puits d'exploration et des sondages à réaliser

Selon la fiche 4.1, le professionnel devrait réaliser des puits d'exploration[13] et des sondages[14] en profondeur et en nombre suffisant afin d'établir une stratigraphie représentative du sol du terrain récepteur potentiel (y compris le profil de la couche de roc, si elle est présente).

Dans tous les cas, **un minimum de trois sondages** d'une profondeur minimale de 1,8 m devrait être réalisés, sauf en cas d'une impossibilité technique, qui devrait alors être consignée au rapport. Leur nombre et leur emplacement devraient être déterminés en fonction du potentiel de variabilité des sols constaté pendant les trois phases d'étude. Les sondages peuvent être effectués dans la superficie identifiée pour le terrain récepteur potentiel. La section 4.3 fournit des recommandations supplémentaires concernant les sondages.

Il est également recommandé d'excaver **au moins un puits d'exploration** afin d'être en mesure d'observer la structure et les traits d'oxydoréduction présents dans le sol. Ce puits doit être creusé à l'extérieur de la superficie prévue pour l'implantation de l'OEIS. Il devrait se trouver au contact de la zone la plus représentative identifiée à la suite des observations effectuées sur le terrain et des sondages. Le puits d'exploration sera réalisé seulement lorsque les sondages indiqueront que les conditions du terrain naturel à cet endroit sont adéquates. La section 4.4 fournit d'autres recommandations concernant les puits d'exploration.

[13] Un puits d'exploration consiste généralement en une tranchée d'observation effectuée au moyen d'une mini-excavatrice ou d'une rétrocaveuse.

[14] Le sondage consiste généralement en un forage du sol effectué avec une tarière manuelle.

3.3 Phase 3 : Caractérisation du terrain récepteur

La phase 3 consiste à caractériser le terrain récepteur identifié à la phase 2 afin d'établir les conditions limites susceptibles d'affecter le choix et la conception d'un OEIS. Elle inclut les volets suivants :

1) La description de la stratigraphie du sol;
2) L'établissement du niveau de perméabilité du sol selon les méthodes reconnues par le Règlement;
3) La mesure du niveau des eaux souterraines et l'établissement du NMMES.

Le chapitre 4 portera sur la description de la stratigraphie du sol et le chapitre 5, sur l'estimation du NMMES. Le lecteur est invité à se référer aux documents suivants pour obtenir des précisions sur les autres volets de cette phase :

- Annexe B-2 du *Guide technique – Traitement des eaux usées des résidences isolées* (MELCCFP, 2009 – révisé en 2015);
- Annexe 2 de la fiche d'information intitulée *Application de l'article 4.1 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (MELCCFP, 2006 – révisée en 2021) (fiche 4.1);
- *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique* (MELCCFP, 2001 – révisé en 2017).

La cartographie du site pourra être finalisée à la suite de cette phase.

4 Description de la stratigraphie du sol du terrain récepteur

4.1 Terminologie générale

La description de la stratigraphie du sol (profil du sol) réalisée au Canada dans le domaine de la pédologie est basée sur une terminologie et des concepts définis par le SCCS (GTCS, 2002).

Pour le domaine associé à l'assainissement autonome des eaux usées, le Règlement fait référence à ce système de classification, sauf pour la texture et la classe texturale du sol, qui doivent être établies selon l'annexe 1 du Règlement, laquelle est basée sur le système du USDA-NRCS.

Voici quelques définitions, souvent propres à la pédologie, qui s'avéreront utiles à la compréhension et à l'application des notions présentées dans ce chapitre aux fins de respect du Règlement.

4.1.1 Sol

Le sol est défini comme un matériau minéral ou organique non consolidé, d'au moins 10 cm d'épaisseur, qui se trouve naturellement à la surface de la terre et qui peut supporter la croissance des plantes.

4.1.2 Non-sol

Le non-sol est une agrégation de matériau de surface qui ne correspond pas à la définition du sol. Il comprend notamment :

- Les matériaux minéraux non consolidés ou organiques de moins de 10 cm d'épaisseur sur le roc;
- Les affleurements rocheux;
- Les matériaux du sol déplacés par des procédés non naturels (ex. : remblais de terre).

Un non-sol n'est pas propice à l'établissement d'un OEIS. En effet, selon le Règlement, celui-ci ne peut être établi dans un sol organique ou un remblai. De plus, lorsque la profondeur du roc est située à moins de 30 cm de la surface du sol naturel, aucun OEIS ne peut être implanté.

4.1.3 Pédon

Le pédon est l'unité de base du sol selon le SCCS. Il constitue la plus petite unité tridimensionnelle à la surface de la terre qui est considérée comme un sol. Ses dimensions latérales sont de 1 m sur 1 m lorsque la variation ordonnée des horizons génétiques peut être échantillonnée à l'intérieur de cette limite ou lorsque ces horizons sont peu nombreux et faiblement exprimés. La dimension verticale du pédon s'étend jusqu'à la profondeur de la coupe témoin.

4.1.4 Coupe témoin

La coupe témoin est la section verticale du sol servant de base à la classification. Pour les sols minéraux, elle s'étend de la surface du sol minéral jusqu'à 25 cm au-dessous de la limite supérieure de l'horizon C ou IIC ou jusqu'à une profondeur maximale de 2 m, selon la profondeur qui est la moindre. Cependant, si la limite supérieure de l'horizon C ou IIC est à moins de 75 cm de la surface du sol minéral, la coupe témoin s'étend jusqu'à une profondeur de 1 m. Finalement, si le roc se trouve à une profondeur de 10 cm ou plus, mais à moins de 1 m, la coupe témoin s'étend de la surface jusqu'au contact lithique.

La figure 4.1 illustre la coupe témoin de la série Saint-Rémi.

Figure 4.1 : Coupe témoin de la série Saint-Rémi (source : Lamontagne, L., Martin, A. et Nolin, M.C. (2014), AAC – Contient de l'information visée par la Licence du gouvernement ouvert - Canada)

4.1.5 Horizons

Un horizon du sol se définit comme étant une couche de matériau du sol minéral ou organique, approximativement parallèle à la surface de celui-ci et dont les caractéristiques sont modifiées par les processus de formation du sol. Il diffère des horizons adjacents par des propriétés comme la couleur, la texture, la structure, la consistance ou encore la composition chimique, biologique ou minéralogique.

4.1.6 Autres couches

Les autres couches sont les couches de non-sol, comme le roc et l'eau, ainsi que les couches de matériau non consolidé, qui ne sont pas affectées par les processus de formation du sol.

Le roc est une couche consolidée trop dure pour être brisée à la main (dureté > 3 sur l'échelle de Mohs) ou creusée à la pelle à l'état humide. La limite entre la couche de roc et tout matériau non consolidé la recouvrant est un contact lithique et détermine la profondeur du roc.

4.1.7 Profil du sol

Le profil du sol désigne la séquence des couches horizontales, soit les horizons de sol, se trouvant dans la coupe verticale du sol exposé. Ce profil s'étend en profondeur de la couche de surface jusqu'au matériau originel (coupe témoin). La partie inférieure de la coupe témoin correspond à la section du dépôt meuble qui, depuis sa mise en place, a été peu modifiée par les processus pédogénétiques (Lamontagne et Nolin, 1990).

4.1.8 Nomenclature des horizons

Les horizons principaux du profil du sol sont usuellement désignés, depuis la surface de celui-ci vers le bas, par les lettres A, B et C pour la partie minérale et par les horizons L, F et H pour la litière qui s'accumule habituellement au-dessus de l'horizon minéral (A) d'un sol forestier. On parle aussi des horizons O (Of, Om ou Oh) pour décrire des sols organiques de milieux humides (tourbière, marécage, marais, etc.). Lorsqu'une description plus détaillée est nécessaire, ces horizons peuvent se subdiviser en sous-horizons par l'utilisation d'un suffixe (lettre minuscule) ajouté selon les caractéristiques morphologiques de chaque horizon principal (Lamontagne et Nolin, 1990).

L'horizon A de surface peut être subdivisé en horizons Ap, Ah, Ahe ou Ae. L'horizon Ap désigne la couche de surface des sols cultivés ou perturbés des sols minéraux. Cette couche plus foncée constitue généralement la couche de labour. Dans le cas des sols organiques cultivés, l'horizon Op désigne la couche de surface. L'horizon Ah correspond généralement à la zone d'accumulation de matière organique dans un horizon minéral d'un sol forestier, qui est ordinairement caractérisée par un aspect plus foncé de la surface du sol. L'horizon Ae, de couleur plus pâle, souvent grisâtre ou blanchâtre, indique soit une éluviation de la matière organique et/ou un appauvrissement en argile ou en fer. Il se trouve généralement sous un horizon Ah ou Ap (Gagné et coll., 2010).

L'horizon B, sous-jacent à l'horizon A, est caractérisé par un enrichissement en matière organique et en sesquioxydes (Bh, Bhf, Bf) ou en argile (Bt) ou encore par le développement de la structure ou un changement de couleur indiquant soit une réduction (Bg), une hydrolyse ou une oxydation (Bm) (Lamontagne et Nolin, 1990).

L'horizon C se trouve normalement sous l'horizon B et est formé de matériau parental relativement peu ou non modifié (C) par les processus pédogénétiques agissant dans les horizons A et B. Il est appelé « Cg » lorsqu'il a subi le processus de gleyification et « Ck » en présence de carbonates, un processus mis en évidence par une effervescence visible lorsque le sol est en contact avec de l'acide chlorhydrique (HCl) dilué (Lamontagne et Nolin, 1990).

Le modificateur numérique du suffixe permet d'identifier les subdivisions verticales d'un même horizon (ex. : Bf1, Bf2). Les chiffres romains servent de préfixes aux désignations d'horizons ou de couches pour indiquer les discontinuités lithologiques ou de matériau parental dans le profil tel qu'il est diagnostiqué par un changement significatif de la granulométrie (différence d'au moins deux classes texturales). Ce préfixe indique que la superposition de deux matériaux contrastants est le résultat de la déposition de matériaux géologiques différents et non de l'action de la pédogenèse. Le premier matériau n'est pas numéroté, tandis que le deuxième matériau contrastant porte le numéro « II » et les autres, « III », « IV », etc. Par exemple, un matériau sableux sur un matériau argileux pourrait se traduire dans un profil par la séquence d'horizons suivante : Ap, Bg1, Bg2, IICg (Lamontagne et Nolin, 1990).

4.1.9 Horizons de sols minéraux

Les horizons minéraux contiennent, en poids, 17 % ou moins de C organique (≤ 30 % de matière organique). Le tableau 4.1 présente les principaux horizons minéraux des sols du Québec méridional selon le SCCS.

Tableau 4.1 : Principaux horizons minéraux des sols trouvés dans le Québec méridional selon le SCCS

Horizon	Suffixe	Description	Exemple
A		Horizon minéral formé à la surface ou tout près de celle-ci	
	h	Enrichissement en matière organique (MO)	Ah
	p	Anthropique (perturbé)	Ap
	e	Éluviation (perte) d'argile, de MO, de fer et/ou d'aluminium	Ae, Ahe
B		Horizon minéral formé par l'enrichissement ou par l'altération du matériau parental	
	h	Enrichissement en MO	Bh
	f	Accumulation de fer et/ou d'aluminium	Bf, Bhf
	g	Marbrures et/ou couleurs de gley dues à la saturation en eau	Bg, Bfg, Bgf
	m	Légère modification de la couleur ou de la structure du matériau parental	Bm
	t	Accumulation d'argiles illuviales	Bt, Btg
	j	Indique que les caractéristiques exprimées ne satisfont pas aux limites spécifiées pour chaque suffixe qu'il modifie	Bfj, Bmgj, Bfjgj
	c	Présence de cimentation ou d'induration	Bfc, Bfcj
	cc	Présence de concrétions	Bfcc, Bhccj
	k	Présence de carbonates	Bmk
	x	Fragique	BCx
C		Horizon minéral peu influencé par les processus pédogénétiques	C
	g	Marbrures et/ou couleurs de gley dues à la saturation en eau	Cg, Cgj
	k	Présence de carbonates	Ck, Ckg, Ckgj

(source : adapté de GTCS, 2022)

4.1.10 Horizons de sols organiques

Les horizons organiques contiennent, en poids, plus de 17 % de C organique (plus de 30 % de matière organique). Ces horizons comprennent deux groupes : les horizons O (dérivés principalement de mousses, de joncs et de matériaux ligneux) et les horizons L, F et H (dérivés principalement de feuilles, de brindilles et de matériaux ligneux). Les horizons de sols organiques ne sont pas favorables au traitement et à l'évacuation des eaux usées. De plus, les horizons O se trouvent dans un milieu humide très mal drainé où le niveau de la nappe d'eau souterraine est habituellement près de la surface du sol. Le tableau 4.2 présente les horizons organiques selon le SCCS.

Tableau 4.2 : Horizons organiques selon le SCCS (source : adapté de GTCS, 2002)

Horizon	Suffixe	Description	Exemple
L, F, H		Horizons organiques développés principalement à partir de l'accumulation de feuilles, de brindilles et de matériaux ligneux qui recouvrent le sol minéral et habituellement trouvés dans les environnements forestiers bien à imparfaitement drainés	
	L	Litière organique facilement reconnaissable	L
	F	Matériel organique partiellement décomposé	F
	H	Matériel organique décomposé sans évidence de la composition originale	H
O		Horizon organique dérivé principalement de mousses, de joncs et de matériaux ligneux	
	p	Couche de sol organique perturbée par le travail de l'homme et habituellement composée de matériaux humiques fortement décomposés dont l'origine ne peut être déterminée	Op
	f	Composé de matériaux fibriques dont l'origine botanique peut facilement être retracée	Of
	m	Composé de matériaux mésiques (stade de décomposition intermédiaire) dont certains ont une forme reconnaissable, le reste étant fortement décomposé	Om
	h	Composé de matériau humique fortement décomposé dont l'origine ne peut être retracée	Oh
	co	Terre coprogène et matériau limnique déposé dans l'eau par des organismes aquatiques comme des algues	Oco

4.1.11 Mode de déposition ou d'accumulation

Le matériau parental d'un sol est généralement issu d'un dépôt de surface qui consiste en un sédiment meuble abandonné dans un endroit autre que son lieu d'origine par un agent naturel comme l'eau, le vent, la glace ou la gravité, ou par l'action de l'homme (Robitaille et Allard, 2007). Les propriétés du profil du sol, comme la texture, le contenu en fragments grossiers, la consistance et certaines structures, sont grandement liées aux modes de déposition. Certains types de dépôts présentent des caractéristiques ayant

un impact important sur le mouvement de l'eau dans le sol et qu'il faut connaître et reconnaître sur le terrain. Le tableau 4.3 présente la description et l'interprétation générale des principaux dépôts de surface du Québec.

Tableau 4.3 : Description et interprétation générale des principaux dépôts de surface du Québec

Dépôts	Description	Interprétation générale
Anthropogéniques	Matériaux profondément modifiés par les activités humaines. Il s'agit notamment de terrains excavés ou de zones de remblais.	La nature de ces matériaux est généralement trop variable et imprévisible pour la mise en place d'OEIS.
Alluvionnaires et fluviatiles	Matériaux transportés et déposés le long des cours d'eau. Les alluvions anciennes ou récentes sont généralement composées de sable et de gravier ou de silt et d'argile.	Ces dépôts présentent souvent de mauvaises conditions de drainage dues notamment à leur position basse dans le paysage et sont encore parfois soumis aux inondations printanières. Les structures observées dans ces types de sols sont souvent faiblement à modérément développées. Elles peuvent même être sans structure.
Éoliens	Dépôts édifiés par le vent à partir de dépôts sableux en l'absence d'une végétation pouvant contrer l'érosion. Il s'agit de dunes allongées généralement composées de sable moyen lité dont l'épaisseur varie de quelques décimètres à plusieurs mètres. Il est parfois difficile (sans étude microscopique des sables) de les différencier des dépôts marins sableux. Les lœss (dépôts éoliens silteux) sont peu communs au Québec.	Ces dépôts sont généralement très perméables en raison du contenu élevé en sable et de la structure généralement particulaire.
Fluvio-glaciaires	Dépôts constitués de débris transportés par les glaciers, puis triés et étalés par l'eau de fonte de ceux-ci. Ces dépôts sont stratifiés et présentent une alternance de couches de sédiments triés par l'eau. Ils sont habituellement constitués de sable, de gravier, de cailloux et de pierres arrondies et se présentent sous forme de dépôts pro-glaciaires (plaines d'épandage, deltas) ou juxta-glaciaires (eskers, kames, terrasses de kame).	Ces dépôts sont généralement perméables ou très perméables en raison de la granulométrie grossière du matériau.
Lacustres et glaciolacustres	Dépôts accumulés dans un lac (situé en marge d'un glacier pour le dépôt glaciolacustre), puis exposés à la surface à la suite de la vidange ou de l'abaissement du niveau du lac. Ils sont habituellement constitués de sable fin, de silt et d'argile. Les dépôts glaciolacustres présentent souvent des varves (alternance de couches d'argile et de couches de silt liée à la saison pendant laquelle elles se sont déposées).	Ces dépôts présentent parfois une structure lamellaire qui n'est pas favorable à l'écoulement vertical de l'eau. Les varves des dépôts glaciolacustres d'Abitibi-Témiscamingue sont habituellement apparentes à partir de 50 cm de profondeur et ne semblent pas défavoriser la perméabilité du matériau, notamment lorsqu'il est calcaire. Cependant, ces sols peuvent présenter de mauvaises conditions de drainage en raison de la topographie régionale (faible pente).
Marins	Dépôts mis en place au fond ou en bordure de mers postglaciaires. Ceux déposés en eau profonde salée ou saumâtre sont en général argileux et ceux accumulés en eau peu profonde ou sur les pourtours par des processus riverains, tels que l'action des vagues ou le courant littoral, sont sableux, silteux ou graveleux.	Lorsque la quantité d'argile est suffisante, ces sols présentent souvent des structures bien développées qui sont favorables au mouvement vertical de l'eau. Les matériaux calcaires présentent généralement un meilleur développement structural que les matériaux non calcaires. La structure des matériaux argileux remaniés par l'activité fluviatile ou ayant un contenu en silt plus élevé est généralement moins bien développée. Ces dépôts présentent

Dépôts	Description	Interprétation générale
		des conditions de drainage très variées, principalement liées à leur granulométrie, à leur développement structural et à leur position topographique dans le paysage.
Organiques	Dépôts constitués de matériaux organiques et formés dans les milieux où le taux d'accumulation de la matière organique excède son taux de décomposition.	Ces matériaux sont trop humides pour la mise en place d'OEIS.
Résiduels (saprolites ou altérites)	Dépôts résultant de l'altération du roc en place, généralement dans les roches sédimentaires des Appalaches, car les roches ignées et métamorphiques du Bouclier canadien sont difficiles à altérer. La texture et le contenu en fragments grossiers de ces dépôts sont directement liés à la nature pétrographique du socle rocheux.	Le socle rocheux est souvent présent à une faible profondeur sous le dépôt résiduel.
Tills	Dépôts glaciaires non stratifiés, transportés et laissés directement par les glaciers, et constitués de sable, de silt, d'argile, de gravier ou de blocs rocheux mélangés dans des proportions variables. Ils peuvent contenir des quantités importantes de fragments grossiers de grosseurs variées.	Le till de fond mis en place à la base du glacier lors sa progression est compact, alors que le till d'ablation abandonné sur le roc ou le till de fond lors de la fonte du glacier est peu compact. Les horizons fortement cimentés (à ortstein) sont habituellement observés dans les tills, particulièrement ceux du Bouclier canadien. Ces dépôts présentent des conditions de drainage très variées, principalement liées à leur position topographique dans le paysage.

Plus d'un dépôt peut être présent dans la même coupe témoin. Par exemple, un dépôt lacustre peut s'être déposé sur un till. Ainsi, le sol différera complètement entre la surface et le substratum. Le sol peut paraître très perméable en surface et devenir pratiquement imperméable en profondeur. La couche inférieure affectera le drainage naturel du site. Il est parfois difficile de différencier certains dépôts sur le terrain sans posséder une compréhension régionale des événements du quaternaire en fonction de la position physiographique, du niveau du terrain, etc. La connaissance du mode de déposition donne une indication primaire des caractéristiques hydrologiques du sol, lesquelles sont aussi influencées par de nombreux processus pédogénétiques qui agissent sur l'évolution du profil du sol depuis la mise en place du dépôt. Une description détaillée des propriétés du profil du sol est donc requise.

4.2 Équipement requis

La description d'un profil du sol exige un minimum d'équipement pour la préparation du pédon et la description des horizons. D'autres outils sont recommandés afin de faciliter ou de préciser le travail de description. Le tableau 4.4 présente le matériel requis pour la description d'un profil du sol.

Tableau 4.4 : Matériel requis pour la description d'un profil du sol

Matériel minimal à utiliser	Fonction
Pelle ronde	Creuser de petits sondages
Couteau ou truelle	Nettoyer et explorer la coupe verticale du profil
Ruban à mesurer	Mesurer la profondeur des horizons et la taille des fragments ou des sables
Charte de couleurs (code Munsell)	Qualifier la couleur
Distributeur d'eau	Humidifier le sol pour l'estimation tactile de la texture
Fiches descriptives et crayons	Prendre en note les observations et mesures
Matériel à utiliser de préférence	**Fonction**
Tarière pédologique manuelle	Sonder plus facilement le sol en profondeur
Mini-excavatrice ou rétrocaveuse	Creuser et refermer le puits d'exploration
Pic ou pince-monseigneur	Ameublir les sols compacts ou rocheux
Appareils et outils de mesure pour la réalisation d'un plan de localisation et la mesure des élévations (ex. : niveau avec règle graduée, station totale)	Mesurer les distances, les élévations et, au besoin, les angles par rapport à un repère fixe aux endroits où seront effectués les sondages et excavations
Séparateurs d'horizon (ex. : tés de golf)	Marquer la limite des horizons
Vaporisateur d'eau	Humidifier les surfaces de sols secs ou susceptibles de sécher rapidement
Appareil photo	Photographier le profil
Fanions	Marquer les points de repère
Sacs de plastique et marqueur	Échantillonner les horizons, par exemple pour la granulométrie, s'il y a lieu

Pelle ronde

L'excavation du puits d'exploration est habituellement effectuée à l'aide d'une mini-excavatrice ou d'une rétrocaveuse. Toutefois, une pelle est nécessaire pour nettoyer rapidement la paroi excavée qui doit être décrite. Elle peut également être utilisée pour faire des petits sondages de vérification à différents endroits sur les superficies à l'étude. Une pelle ronde est plus efficace pour le creusage. La pelle sélectionnée doit toutefois être robuste. De plus, il faut éviter les manches et les poignées en plastique, qui sont peu résistants.

Tarière pédologique manuelle

Il existe plusieurs modèles de tarières pédologiques manuelles, chacun étant adapté à diverses propriétés du sol. Pour la réalisation de sondages visant à décrire la stratigraphie du sol, une tarière hollandaise ou Edelman pour sol standard, d'un diamètre d'environ 5 à 6 cm et d'une longueur de 1,2 m, est généralement recommandée. Des modèles sont munis de rallonges qui permettent d'aller plus en profondeur (plus de 2 m de long).

Une tarière hollandaise de 2,5 cm de diamètre peut aussi être utilisée pour prospecter des sols compacts ou caillouteux. Une présence importante de fragments grossiers de grandes dimensions (gros graviers, cailloux, pierres) peut toutefois rendre difficile, parfois même impossible, l'utilisation de la tarière hollandaise. Des tarières manuelles de type Edelman sont également conçues pour échantillonner plus particulièrement le sable, le sable grossier et l'argile. D'autres modèles de tarières manuelles sont conçus pour échantillonner les sols caillouteux et pénétrer les couches plus dures.

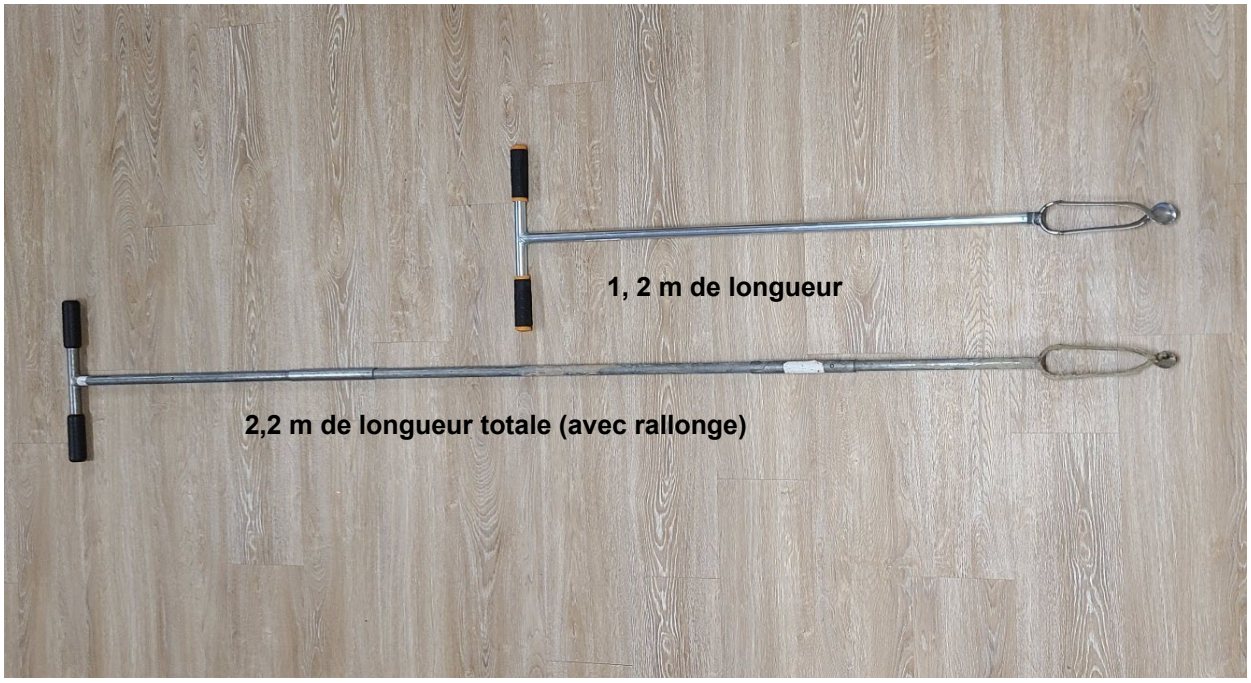


Figure 4.2 : Tarière manuelle pédologique hollandaise (source : Groupe Pleineterre inc.)

La tarière devrait être graduée tous les 10 cm afin qu'il soit facile de repérer la profondeur atteinte. Les graduations peuvent être effectuées de façon temporaire avec un marqueur noir indélébile ou du ruban adhésif opaque. Elles peuvent aussi être gravées de façon permanente.

La tarière pédologique manuelle permet de faire un sondage rapide afin de vérifier principalement la texture du sol et sa couleur. Elle présente l'avantage de ne pas perturber de façon importante certaines propriétés du sol. Cependant, il est difficile d'observer la structure de celui-ci. La tarière peut aussi être utilisée pour évaluer sa texture dans le fond du puits d'exploration.

Pic ou pince-monseigneur

Le pic ou la pince-monseigneur sont utiles pour les sites qui contiennent des fragments grossiers (graviers, cailloux et pierres) en bonne quantité ou lorsque le sol est compact. Ils permettent de dégager les fragments grossiers ou d'ameublir le sol et de poursuivre l'excavation lorsque des sondages sont effectués à l'aide d'une pelle ronde.

Couteau ou truelle

Un couteau rigide muni d'une lame d'une longueur variant de 8 à 12 cm et d'une poigne solide est nécessaire pour nettoyer la paroi excavée (du haut vers le bas). Il permet également de vérifier les changements de dureté entre les différentes couches de sol.

Une truelle à joints qui présente un bout pointu est aussi efficace pour ces opérations.

Charte Munsell

Le SCCS fait référence à la charte Munsell pour l'établissement de la couleur de l'horizon. Cette charte consiste en un code de couleurs constitué de cartons habituellement perforés et présentant des couleurs apparentées en fonction de la teinte, de la luminosité et de la saturation. Elle permet une description uniforme des couleurs dans le temps et le profil.

Distributeur d'eau

L'eau est utilisée pour estimer la classe texturale du sol à l'aide de la méthode du toucher. D'autres récipients peuvent être employés pour transporter l'eau, mais l'utilisation d'un flacon laveur permet d'éviter les pertes et de contrôler facilement la quantité d'eau requise au moyen du bec verseur.

Séparateurs d'horizon

Les séparateurs d'horizon sont insérés à la limite de chacune des couches et facilitent la prise de mesures. N'importe quel objet linéaire et relativement mince peut être utilisé comme séparateur d'horizon (couteau de cuisine, couteau industriel de type Richard, té de golf, crayon de bois, etc.).

Appareil photo

Un appareil photo est très utile pour garder des images du puits d'exploration et des sondages. Une photo d'un profil montrant les séparateurs d'horizon avec un ruban à mesurer déployé permet de revoir rapidement les différentes couches.

Fiches descriptives

L'utilisation de fiches descriptives détaillées contenant toutes les caractéristiques à décrire permet de recueillir des données de façon constante et uniforme, et d'éviter les oublis lors des observations. Ainsi, chaque profil peut être comparé facilement et décrit conformément aux exigences du Règlement. Un modèle de fiche descriptive est proposé à l'annexe 2.

4.3 Reconnaissance du terrain récepteur potentiel au moyen de sondages

Les sondages sont réalisés après avoir délimité la superficie potentielle du terrain récepteur à l'aide de repères fixes et déterminé le nombre initial de sondages requis et leur emplacement.

Ils doivent permettre d'établir une stratigraphie représentative du sol du terrain récepteur afin d'évaluer et de circonscrire sa variabilité spatiale. Trois sondages sont généralement suffisants pour les projets visés par le Règlement. Cependant, lorsqu'un des sondages diffère des autres et que ses résultats ne permettent pas d'observer une certaine continuité entre les profils du sol, des sondages supplémentaires devraient être effectués jusqu'à l'obtention d'une bonne connaissance de la variabilité.

Les sondages sont effectués avec une tarière manuelle. La profondeur atteinte doit être adaptée aux vérifications à effectuer. Pour des projets d'assainissement autonome visés par l'application du Règlement, la profondeur devrait être d'au moins 1,8 m. Une profondeur moindre peut être envisagée lorsque les conditions du sol rendent difficile la réalisation du sondage avec une tarière manuelle. Dans ce cas, la profondeur du sondage devrait être d'au moins 90 cm en dessous de la surface prévue pour l'infiltration des eaux usées.

La tarière doit être enfoncée manuellement par tranches de 10 à 15 cm de profondeur puis retirée. L'échantillon prélevé permet de vérifier rapidement la couleur et la classe texturale du sol. Les premières zones de 5 à 10 cm à partir du bout de la sonde doivent être utilisées pour effectuer les observations. Le sol situé au sommet du godet est souvent contaminé par les horizons supérieurs et n'est donc pas représentatif. Chacune des observations devrait être notée dans un carnet et chaque sondage doit être référencé.

Dans certains cas, une pelle ronde devrait être utilisée pour effectuer les sondages :

- Lorsque la quantité de fragments grossiers ne permet pas d'utiliser la tarière manuelle;
- Pour vérifier la structure du sol dans les sondages;
- Lors du ou des premiers sondages, pour bien observer le profil en surface et permettre d'atteindre une profondeur plus grande avec la tarière manuelle.

Des trous d'un diamètre d'environ 50 cm permettent d'effectuer des observations. Il est toutefois difficile et long de creuser à une profondeur supérieure à 1 m à l'aide d'une pelle. La fin du creusage peut être réalisée avec une tarière manuelle lorsque cela est possible.

Pendant cette reconnaissance, il est important de noter les variations de classe texturale (épaisseur et profondeur) et de couleur. S'il y a lieu, on doit noter et délimiter les différences contrastantes des sols sur un croquis bien orienté.

Il est possible que le terrain récepteur présente une trop grande variabilité spatiale pour faire l'objet d'une stratigraphie représentative. Dans un tel cas, la situation doit être bien analysée, car il pourrait s'agir d'un remblai de surface. Lors du creusage, un premier examen visuel permet de vérifier si les horizons du profil ont été perturbés ou mélangés par des processus parfois naturels (ex. : chablis), parfois anthropiques (ex. : enfouissement de drains). Avec un peu d'expérience acquise par l'observation de profils, on arrive à reconnaître assez facilement les sites bouleversés (horizons mélangés, inversés ou absents).

4.4 Localisation et excavation des puits d'exploration

Lorsque le travail préparatoire a été bien effectué, les sondages permettront normalement de confirmer la localisation du puits d'exploration. Si tel n'est pas le cas, les emplacements du puits d'exploration et de la superficie choisie seront révisés en fonction des résultats des sondages. Dans tous les cas, le puits d'exploration sera aménagé près de la superficie sélectionnée, mais à l'extérieur de celle-ci afin de ne pas perturber le sol dans la zone possible pour l'implantation de l'OEIS. Il devrait être orienté de manière que la lumière du jour éclaire la paroi verticale du puits à observer. En tout temps, la machinerie lourde ne doit pas circuler sur le terrain récepteur potentiel.

Le puits doit être creusé de façon à avoir accès à une coupe verticale de sol sur au moins 1,0 m de largeur et au moins 1,8 m de profondeur, sauf si le roc, un horizon de sol imperméable non structuré ou la nappe d'eau souterraine sont rencontrés avant cette profondeur. Il est important de creuser suffisamment le puits pour être à l'aise face à la coupe de sol, au profil dégagé, et pouvoir ainsi bien voir, noter, évaluer et mesurer les données à recueillir. Idéalement, une mini-excavatrice ou une rétrocaveuse devrait être utilisée, particulièrement en présence de sols lourds ou de sols issus de tills compacts. Lorsque cela est

impossible, une pelle ronde peut être utilisée pour le premier mètre et la fin du creusage pourra être effectuée avec une tarière. Cependant, l'excavation à la pelle n'est généralement pas praticable dans les tills compacts.

Il faut veiller à ce que le puits creusé soit conforme aux règles de sécurité en vigueur. Les sols sableux meubles et les sols humides sont particulièrement sensibles aux glissements ou aux affaissements de terrain.

Si l'endroit choisi est jugé a postériori peu représentatif ou montre une anomalie importante (zone anthropique, horizon contrastant peu représentatif, etc.), il faut creuser à côté jusqu'à l'obtention d'une coupe verticale adéquate ou recommencer le creusage à un autre endroit. Il importe d'augmenter le nombre d'excavations et de sondages pour pouvoir être en mesure de bien circonscrire les disparités et établir une stratigraphie représentative du sol du terrain récepteur. Si aucun profil ne semble adéquat, l'étude pourra conclure que le site ne permet pas la mise en place d'OEIS.

L'excavation du puits terminée, il faut rafraîchir la coupe pour observer les détails de chaque horizon du sol, en partant du haut, avec un couteau ou une truelle d'une bonne dimension. Pour ce faire, il suffit de gratter la paroi du puits avec le couteau ou la truelle en conservant un angle d'environ 30° par rapport à la paroi. Pour des sols secs ou susceptibles de sécher rapidement, un vaporisateur d'eau permet de mieux distinguer les horizons. La description peut être limitée par la présence d'eau dans le puits d'exploration. Il est préférable de ne pas faire de description à la suite d'une pluie abondante et de choisir une période plus sèche pour des sols mal drainés.

4.5 Segmentation des horizons du sol

La segmentation des horizons consiste à diviser le profil du sol en couches dont les propriétés morphologiques (couleur, texture, fragment, structure, consistance) seront relativement uniformes. En revanche, l'une ou plusieurs de ces propriétés devraient contraster avec celles des couches adjacentes. Ainsi, en cas de changement de propriétés, un nouvel horizon peut être désigné. **Habituellement, la couleur est le premier indice qui suggère une subdivision du profil en horizons.**

La segmentation des horizons est donc un processus rétroactif par rapport à l'observation préliminaire des propriétés morphologiques. Parfois, la limite entre deux horizons est abrupte et peut être délimitée précisément; parfois, elle est graduelle ou diffuse et la délimitation se fait en considérant un juste milieu. Durant ce processus, il est possible de distinguer les différents horizons à l'aide de séparateurs dans un endroit de la coupe de sol représentatif de la moyenne de la variation des épaisseurs des horizons. À cette fin, on peut enfoncer dans le sol des tés de golf blancs ou d'autres objets solides et colorés. Habituellement, de trois à six horizons permettent de bien décrire la variabilité verticale d'un profil du sol.

Pour la description stratigraphique du sol en vue de l'établissement d'un OEIS, il est particulièrement important de vérifier la variation des propriétés exerçant une influence sur la capacité d'infiltration des eaux. Ainsi, la segmentation des horizons doit permettre de localiser :

- Les horizons restrictifs en ce qui a trait au mouvement vertical de l'eau, comme les horizons à fort contraste textural ou stratifiés, les horizons gleyifiés avec des traits d'oxydoréduction indicatifs du niveau des eaux souterraines, les horizons indurés ou massifs et les substratums denses de tills glaciaires, pouvant constituer des limites lors de la conception des OEIS;

- Les couches présentant des niveaux de perméabilité différents dans les puits d'exploration ou les sondages.

Ainsi, la variation entre les divers paramètres présents entre deux couches doit être suffisamment importante pour engendrer un changement de niveau de perméabilité. Le nombre d'horizons décrits doit donc être relié au nombre de couches présentant des variations de niveau de perméabilité (très

perméable, perméable, peu perméable, imperméable). Par exemple, il n'est pas nécessaire de séparer deux horizons qui présentent des variations de couleur passant du brun olive (2.5Y 4/4) au brun olive pâle (2.5Y 5/4), puisque ce type de changement n'est pas caractéristique d'une variation du niveau de perméabilité.

Pour les paramètres les plus importants, les variations suivantes devraient mener à la séparation de deux horizons :

- **Couleur et traits d'oxydoréduction**
  - La couleur (Munsell) de la matrice passe d'une saturation supérieure à 3 à une saturation de 2 ou moins, ou l'inverse.
  - La couleur (Munsell) de la matrice passe d'une luminosité inférieure à 3 à une luminosité de 4 ou plus, ou l'inverse.
  - La teinte (Munsell) de la matrice varie de 5 ou plus.
  - Deux horizons sont différents au regard de la présence ou de l'absence de marbrures.
  - Les marbrures passe de peu nombreuse à très nombreuse ou l'inverse.
  - Les marbrures passent d'une petite à une grande dimension, ou l'inverse.
  - Le contraste entre la couleur de la matrice et celle des marbrures passe de distinct à très marqué.
- **Classe texturale**
  - Un changement de classe texturale est observé dans le triangle de l'annexe 1 du Règlement.
  - Une couche contenant des particules sableuses fines ou très fines est présente dans des sols de texture sableuse ou équilibrée (triangle des textures, USDA-NRCS).
  - Une couche graveleuse se distingue des autres dans des sols de texture sableuse ou équilibrée (triangle des textures, USDA-NRCS).
- **Structure**
  - Un changement de sous-type de structure est observé.
  - Le développement (grade) de la structure est différent.
  - La dimension des agrégats varie de deux classes ou plus.
- **Consistance et horizon cimenté**
  - Un changement de classe de consistance est observé.

4.6 Description des horizons du sol

4.6.1 Désignation

Selon le SCCS (GTCS, 2002), la désignation des couches et des horizons du sol comporte quatre éléments : la discontinuité lithologique, les horizons et les couches principales, les suffixes et le modificateur numérique. Pour plus de précision, on peut consulter la nomenclature des horizons à la section 4.1.8 du présent guide.

L'utilisation de la nomenclature des horizons du SCCS nécessite une bonne connaissance du code de désignation associé à la présence d'une multitude de traits morphologiques. La désignation de plusieurs horizons peut être réalisée à la suite d'une observation directe sur le terrain de traits morphologiques

particuliers (Ap : horizon de surface perturbé; Ae : horizon éluvial de couleur pâle; Bg : horizon B avec présence de marbrures et/ou de couleurs de gley; Ck : horizon C avec réaction au HCl dilué à une concentration de 10 %, etc.).

Cependant, des analyses physicochimiques doivent être réalisées pour confirmer la classification de certains horizons. Par exemple, la granulométrie permet de classifier les horizons enrichis en argiles illuviales (Bt), le C organique ainsi que le Fe et l'Al extraits au pyrophosphate servent à classifier les horizons B podzoliques (Bf, Bh, Bhf) et le Fe extrait au dithionite permet de distinguer les horizons Bgf et Bfg. De plus, malgré la spécificité de leurs désignations, tous les horizons ayant la même dénomination ne possèdent pas nécessairement des propriétés identiques. C'est pourquoi la description morphologique des horizons est nécessaire.

Dans le cadre de la description de la stratigraphie du sol, la numérotation des horizons par des chiffres arabes en ordre croissant (1, 2, 3, etc.), à partir de la couche supérieure, est suffisante. Il est néanmoins plus précis de désigner chacun des horizons en utilisant la nomenclature du SCCS. Il s'agit d'un langage qui permet de synthétiser rapidement les aspects morphologiques d'un profil du sol et d'en faciliter la communication. Par ailleurs, il peut être judicieux de commencer par la description des traits morphologiques des horizons pour ensuite effectuer leur désignation. La figure 4.3 présente la coupe stratigraphique d'un sol en milieu naturel avec ses horizons désignés selon le SCCS.

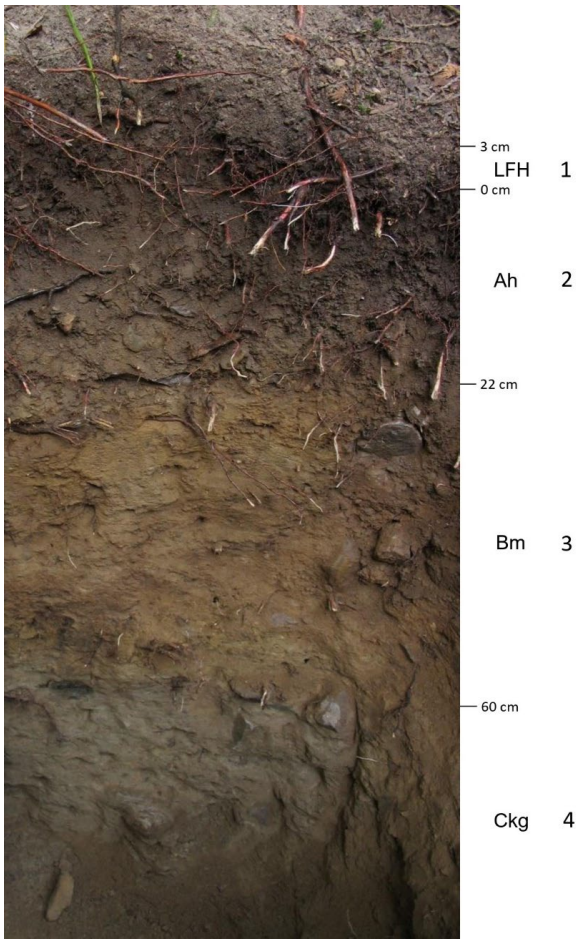


Figure 4.3 : Profil de sol en milieu naturel (série Saint-Rémi) et désignation de ses horizons selon la nomenclature du SCCS (source : Lamontagne, L., Martin, A. et Nolin, M.C. (2014), AAC – Contient de l'information visée par la Licence du gouvernement ouvert - Canada)

4.6.2 Profondeur et épaisseur

Les profondeurs de la **limite supérieure** et de la **limite inférieure** de chaque horizon ou couche sont rapportées en centimètres. Leur élévation par rapport à un repère fixe doit être indiquée sur la coupe stratigraphique.

Les couches organiques (L, F et H) situées au-dessus du sol minéral ne sont pas considérées pour l'établissement d'un OEIS. Cependant, il faudra établir leur épaisseur dans le cadre de la stratigraphie. La partie supérieure du sol minéral, c'est-à-dire le point de contact entre le matériau organique et le matériau minéral, représente la profondeur zéro (figure 4.3). Les profondeurs des horizons minéraux subséquents sont inscrites en valeurs croissantes (0-23 cm, 23-27 cm, 27-35 cm, etc.).

Pour la couche R (roc consolidé), seule la limite supérieure est inscrite. Elle définit la **profondeur du roc**.

4.6.3 Humidité du profil

L'état d'humidification des horizons est qualifié au moment de la description du profil du sol sur le terrain, et ce, selon trois états :

- **Sec :** état généralement observé en période de sécheresse, principalement dans les horizons supérieurs du profil du sol;
- **Humide :** état communément rencontré sur le terrain;
- **Trempé (gorgé d'eau) :** état observé dans les heures (jusqu'à 48) suivant une période d'averses intenses ou dans les horizons immergés par une nappe d'eau souterraine.

4.6.4 Couleur

La dénomination de la couleur se fait par une comparaison visuelle avec un référentiel standardisé nommé « charte de couleurs Munsell ». Le système de codification de la charte Munsell comprend trois variables : la teinte (*hue*), la luminosité ou la clarté (*value*) et la saturation ou l'intensité (*chroma*).

4.6.4.1 Teinte (hue)

La représentation tridimensionnelle du système Munsell est un cylindre (figure 4.4) dont le cercle chromatique est composé de 5 teintes de base (R : rouge, Y : jaune, G : vert, B : cyan, P : violet) et de 5 teintes intermédiaires (YR : orange, GY : vert jaune, BG : cyan foncé, PB : bleu violacé, RP : pourpre). Les 10 teintes principales se décomposent en 10 unités, 5 marquant le milieu de la teinte et 10, la limite de la teinte par rapport à la suivante (ex. : de 10YR à 2.5Y). Conventionnellement, les 10 teintes principales sont subdivisées en 4 intervalles de 2,5 unités (ex. : teinte Y en 2.5Y, 5Y, 7.5Y puis 10Y).

Les sols de couleur pourpre ou violette sont plutôt inhabituels. Une édition du code Munsell a donc été spécifiquement développée avec une gamme de couleurs adaptée à la description des sols (Munsell Soil Color Chart). Les teintes (hues) varient habituellement du rouge (R) au jaune (Y) comme suit : 5R, 7.5R, 10R, 2.5YR, 5YR, 7.5YR, 10YR, 2.5Y, 5Y, auxquelles s'ajoutent les pages de gley, qui comprennent notamment les teintes N, 10Y et 5GY.

4.6.4.2 Luminosité (value)

L'axe vertical du cylindre représente le degré de luminosité (value), qui varie de 0 à 10, soit du noir (0) au blanc (10) avec, dans l'axe principal, des nuances intermédiaires de gris (de 1 à 9).

4.6.4.3 Saturation (chroma)

L'axe horizontal du cylindre correspond au degré de saturation (chroma), qui varie de 0 pour le gris jusqu'à une limite supérieure qui varie d'une couleur à l'autre. La valeur maximale pour les sols est habituellement de 8.

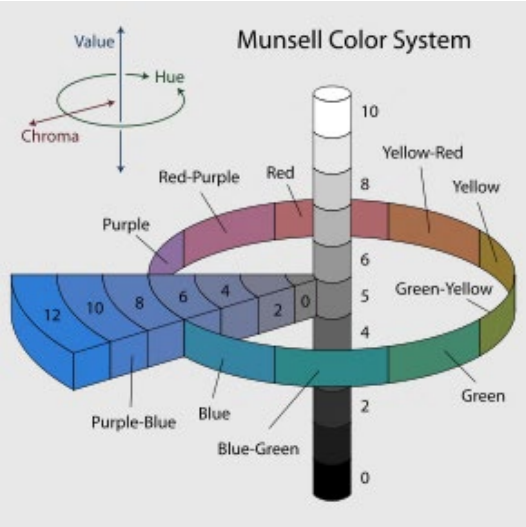


Figure 4.4 : Représentation du cylindre chromatique du système de couleurs Munsell
(source : © 2007, Jacob Rus)

Le code Munsell se présente sous la forme d'un livre ou d'un atlas dont chaque page ou planche fait référence à une teinte. Ainsi, les teintes s'y succèdent graduellement d'une page à l'autre (ex. : 10YR, 2.5Y, 5Y). L'axe vertical de la page représente la luminosité (value) et l'axe horizontal, la saturation (chroma), chaque coordonnée étant représentée par une pastille de couleur. Les trois dimensions de la couleur sont toujours rapportées dans l'ordre suivant : teinte (hue), luminosité (value) et saturation (chroma).

Une pastille de couleur se trouvant à la page 10YR avec une luminosité de 4 et une saturation de 6 est nommée « 10YR 4/6 ». Pour les couleurs achromatiques comme le noir, le blanc et les nuances intermédiaires de gris, la saturation (chroma) est de 0 et la teinte est désignée comme neutre (N) (ex. : N 0/3). Le code inclut également des pages pour les couleurs de gley (gris, gris verdâtre, vert clair, bleuâtre) en vue de la description des horizons hydromorphes ou réductiques.

Pour faciliter la communication et la visualisation, un qualificatif de couleur est attribué à chaque pastille. Or, un même qualificatif peut être associé à plusieurs pastilles. Par exemple, le qualificatif « brun foncé » peut correspondre aux pastilles 7.5YR 3/2, 7.5YR 3/3, 7.5YR 3/4 ou 10YR 3/3. Il est donc plus précis de rapporter le code plutôt que le qualificatif de couleur ou de rapporter le qualificatif de couleur accompagné du code (ex. : horizon brun foncé [10YR 3/3]).

4.6.4.4 Règles et précautions particulières

Couleur dominante

La détermination de la couleur du sol s'applique seulement à la terre fine (≤ 2 mm). Il faut faire abstraction des fragments grossiers (> 2 mm). Généralement, la couleur des faces naturelles de la matrice et des agrégats qui dominent les surfaces de l'horizon est estimée. Selon l'échelle d'observation, les faciès d'un sol peuvent présenter plusieurs nuances de couleurs, parfois influencées par l'effet des ombres dues à la rugosité. Plus le sol est observé de près, plus le nombre de détails utiles à l'objectif de la prospection et

pouvant être observés est élevé. Selon les besoins de l'étude, la couleur des faces extérieures des agrégats (exo-ped) ou celle de leur intérieur (endo-ped) de même que la couleur des marbrures, des revêtements et des enrobements ou celle d'autres éléments secondaires peuvent être déterminées. Pour les sols hydromorphes comportant des marbrures, il faut décrire plus d'une couleur : une pour la matrice (habituellement de couleur grise) et une pour les marbrures (habituellement de couleur orangée) (voir la sous-section 4.6.5).

États d'humidité

L'humidité du sol influence grandement la couleur, particulièrement l'intensité (*chroma*). Un sol devient plus pâle lorsqu'il sèche et, à l'inverse, il devient plus foncé lorsqu'il est humidifié (figure 4.6). **Il faut donc spécifier si la couleur a été déterminée à l'état humide ou à l'état sec** (qualificatif de couleur). Pour faciliter la comparaison des échantillons, il est préférable de déterminer la couleur au même stade d'humidité pour chacun d'entre eux. Habituellement, sur le terrain, la couleur est à l'état humide, puisqu'il est plus facile d'humecter que d'assécher un sol. Par ailleurs, il faut éviter de trop humidifier le sol (état trempé), car les reflets lumineux des films d'eau peuvent nuire à la détermination de la couleur.

Figure 4.5 : Loam sableux[15] à l'état sec, humide et trempé (source : Michaël Leblanc)

Conditions d'éclairage

Les conditions d'éclairage affectent considérablement la couleur des sols. Celle-ci devrait être déterminée dans des conditions lumineuses uniformes, préférablement à la lumière du soleil, mais à contre-jour pour éviter l'éblouissement. Avoir le soleil *dans le dos* améliore la corrélation avec des couleurs déterminées en présence d'un ciel nuageux. Il importe aussi d'éviter la lumière du soleil au crépuscule et de faire attention au contraste avec une végétation verte, qui fait paraître les sols plus rouges qu'ils ne le sont en réalité.

Unités de mesure

Généralement, la page (teinte) correspondant à la couleur recherchée est d'abord déterminée, suivie des coordonnées (luminosité et saturation) de la pastille. Il est souvent impossible d'associer exactement chaque échantillon de sol à une pastille de couleur. Il faut alors choisir la ou les deux pastilles situées le plus près. Par exemple, entre les teintes (*hues*) 10YR et 2.5Y se trouve la teinte 1.25Y ou entre les teintes 2.5Y et 5Y figure la teinte 3.75Y. De plus, entre les luminosités (*values*) 5 et 6 se trouve la luminosité 5.5 et entre les saturations (*chroma*) 2 et 3 se situe la saturation 2.5. Toutefois, il ne faut pas faire preuve d'excès de zèle, puisqu'il s'agit d'une estimation, bien que rigoureuse, de la couleur. Cette estimation demeure en partie subjective, car deux personnes peuvent coder un peu différemment le même échantillon de sol en utilisant le code Munsell. De plus, plusieurs livres présentant ce code ne seront pas identiques.

[15] Ce sol est un loam sableux selon le SCCS et un limon sableux selon le système de classification du USDA-NRCS.

En effet, les pastilles de couleur deviennent altérées et délavées avec l'usage, particulièrement lorsqu'elles ont été trop souvent exposées directement au soleil.

4.6.5 Marbrures

La marmorisation d'un horizon peut être occasionnée par de nombreux facteurs pédogénétiques, mais elle représente l'un des principaux traits d'oxydoréduction rencontrés dans les sols mal drainés. Les marbrures sont des mouchetures ou des taches de couleurs diverses dispersées dans la matrice (fond dominant) (figure 4.7). En plus de la couleur, la description des marbrures précise l'abondance, la dimension et le contraste de couleur de celles-ci avec la matrice.

Figure 4.6 : Marbrures 10YR 4/6 (brun jaunâtre foncé) sur une matrice 5Y 5/2 (gris olive) provenant d'un horizon gleyifié (source : Michaël Leblanc)

4.6.5.1 Couleur

La couleur des marbrures est déterminée de la même façon que celle de la matrice du sol.

4.6.5.2 Abondance

La classe d'abondance est qualifiée selon la proportion (%) de la surface occupée par les marbrures. Les cartons d'occupation relative, souvent présents dans la charte Munsell, peuvent aider à la calibration de cette estimation visuelle :

- Peu nombreuses : moins de 2 % de la surface;
- Nombreuses : de 2 à 20 % de la surface;
- Très nombreuses : plus de 20 à 50 % de la surface;
- Excessivement nombreuses : 50 % et plus de la surface.

Figure 4.7 : Marbrures peu nombreuses (photo de gauche) et marbrures excessivement nombreuses (photo de droite) (source : IRDA)

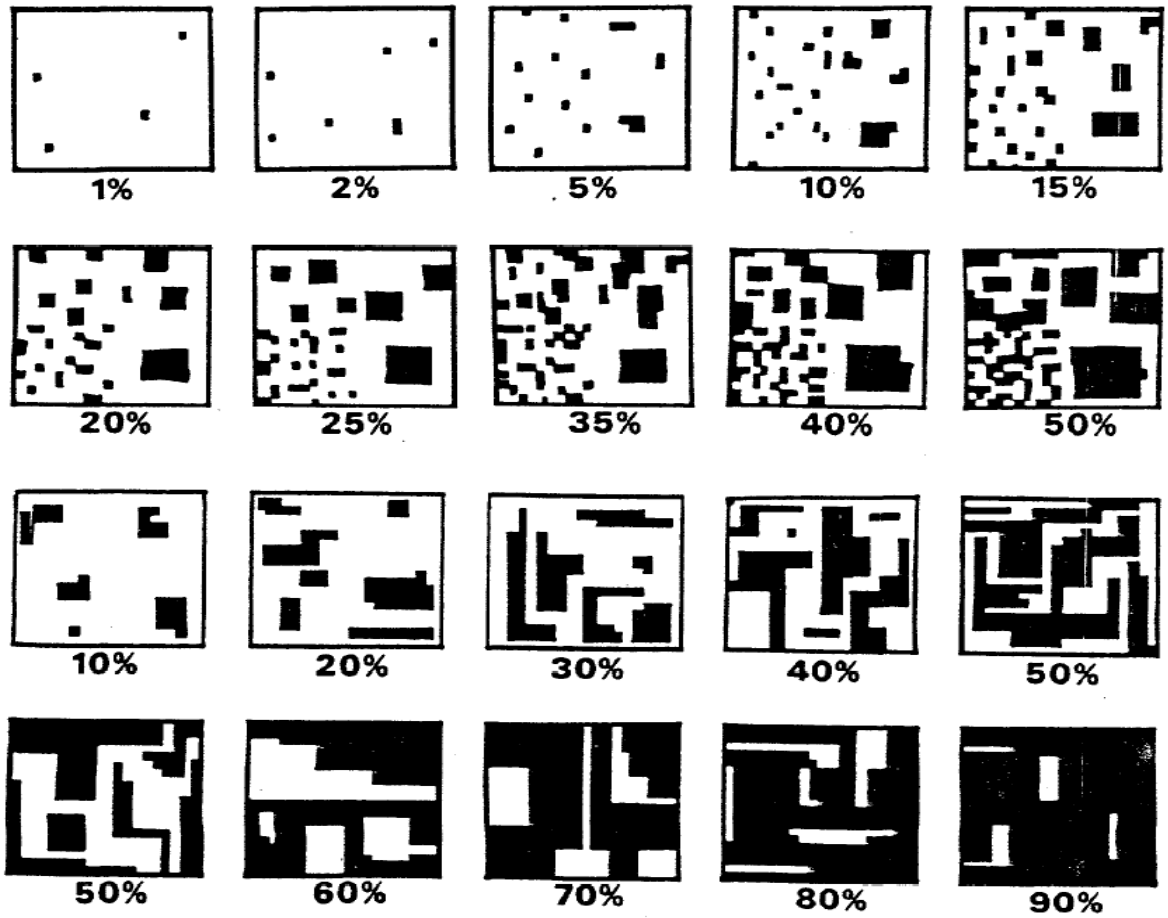


Figure 4.8 : Étalon d'estimation de l'abondance relative des marbrures (source : CEPP, 1982)

4.6.5.3 Dimension

La classe de dimension est déterminée par la dimension en millimètres des marbrures. Lorsque la longueur d'une marbrure n'est pas plus que de deux ou trois fois sa largeur, la dimension notée est la plus grande. La largeur doit être décrite lorsque la marbrure est plutôt longue et étroite :

- Petites : < 5 mm;
- Moyennes : de 5 à 15 mm;
- Grandes : ≥ 15 mm.

4.6.5.4 Contraste

La classe de contraste spécifie le degré de distinction entre la couleur des marbrures et celle de la matrice. Ces degrés sont les suivants :

- **Peu marqué :** Seul un examen attentif permet de déceler un contraste peu marqué. Les marbrures peu marquées ont généralement la même teinte que la couleur de la matrice et elles diffèrent de moins de 3 unités de luminosité ou de moins de 2 unités de saturation. Les marbrures qui diffèrent de 2,5 unités de teinte (1 page) et qui ont la même luminosité et la même saturation sont aussi qualifiées de peu marquées.

- **Distinct :** Un contraste distinct est facile à voir, mais ne contraste que modérément avec la couleur de la matrice. Les marbrures distinctes possèdent la même teinte que celle de la matrice. Elles diffèrent de 3 à 4 unités de luminosité ou de 2 à 4 unités de saturation, ou elles diffèrent de 2,5 unités de teinte (1 page) et d'au plus 2 unités de luminosité ou d'au plus 1 unité de saturation.

- **Très marqué :** Contraste fortement avec la couleur de la matrice avec laquelle les marbrures sont comparées. Les marbrures très marquées diffèrent par au moins 5 unités de teinte (2 pages) si la luminosité et la saturation sont identiques à celles de la matrice. Elles diffèrent également de 2,5 unités de teinte (1 page) et par plus de 2 unités de luminosité ou 1 unité de saturation. Enfin, si elles possèdent la même teinte que celle de la matrice et diffèrent d'au moins 4 unités de luminosité ou d'au moins 4 unités de saturation.

Le tableau 4.5 présente les classes de contraste pour la description des marbrures selon la différence de couleur avec la matrice.

Tableau 4.5 : Classes de contraste (différence de couleur avec la matrice) pour la description des marbrures (source : adapté de CEPP, 1982)

Classe de contraste	Contraste de couleur avec la matrice		
	Teinte	Luminosité (L)	Saturation (S)
	Unité		
Peu marqué	0	< 3	< 2
	2,5	0	0
Distinct	0	3 ≤ L < 4	2 ≤ S < 4
	2,5	0 < L ≤ 2	0 < S ≤ 1
Très marqué	0	≥ 4	≥ 4
	2,5	> 2	> 1
	≥ 5,0	0	0

Figure 4.9 : Marbrures distinctes (photo de gauche) et marbrures très marquées (photo de droite) (source : IRDA)

4.6.6 Texture

La texture d'un sol est définie dans le Règlement comme étant la répartition granulométrique des particules minérales d'un sol selon les pourcentages en poids des particules élémentaires inférieures ou égales à 2 mm qui le constituent, établis selon les dimensions des particules indiquées à l'annexe 1 de ce règlement. Cette annexe fait référence aux dimensions des particules élémentaires du système de classification du USDA-NRCS. Le tableau 4.6 présente les classes granulométriques des particules élémentaires du sol selon ce système.

Tableau 4.6 : Classes granulométriques des particules élémentaires du sol selon le système du USDA-NRCS (source : SSDS, 2017)

Particule élémentaire	Dimension (mm)
Sable	De 2,0 à 0,05
Silt	De 0,05 à 0,002
Argile	Inférieur à 0,002

La texture correspond ainsi à la composition granulométrique, c'est-à-dire aux proportions relatives sur base massique des différentes fractions granulométriques (sable, silt, argile). La texture considère seulement les particules minérales plus petites ou égales à 2 mm (≤ 2 mm), à l'exclusion de la matière organique, des fragments grossiers (> 2 mm) et des carbonates. Notons que la détermination de la texture ne s'applique pas au roc ni à certaines couches comme les horizons cimentés, les horizons de sols organiques et les horizons contenant plus de 90 % de fragments grossiers (moins de 10 % en volume de terre fine ≤ 2 mm).

La définition des classes granulométriques des particules élémentaires peut être précisée notamment pour les fractions sableuses. Le tableau 4.7 présente les classes granulométriques des fractions sableuses selon le système du USDA-NRCS.

Tableau 4.7 : Classes granulométriques des fractions sableuses selon le système du USDA-NRCS (source : SSDS, 2017)

Particule élémentaire	Dimension (mm)
Sable très grossier	De 2,0 à 1,0
Sable grossier	De 1,0 à 0,5
Sable moyen	De 0,5 à 0,25
Sable fin	De 0,25 à 0,10
Sable très fin	De 0,10 à 0,05

4.6.6.1 Classes texturales

Les **classes texturales** correspondent à des regroupements de textures de sol. Le Règlement indique que la classe texturale d'un sol doit être établie selon le triangle de son annexe 1 (figure 4.12), qui est basé sur le triangle des textures du système de classification du USDA-NRCS (SSDS, 2017). Selon les proportions de sable, de silt et d'argile, un sol peut être inclus dans l'une des 12 classes texturales.

Lorsque la texture est située à la limite des classes établies, il est recommandé de se référer au tableau 4.8 pour établir la classe texturale. Ce tableau précise les règles de classification de la texture selon le système du USDA-NRCS.

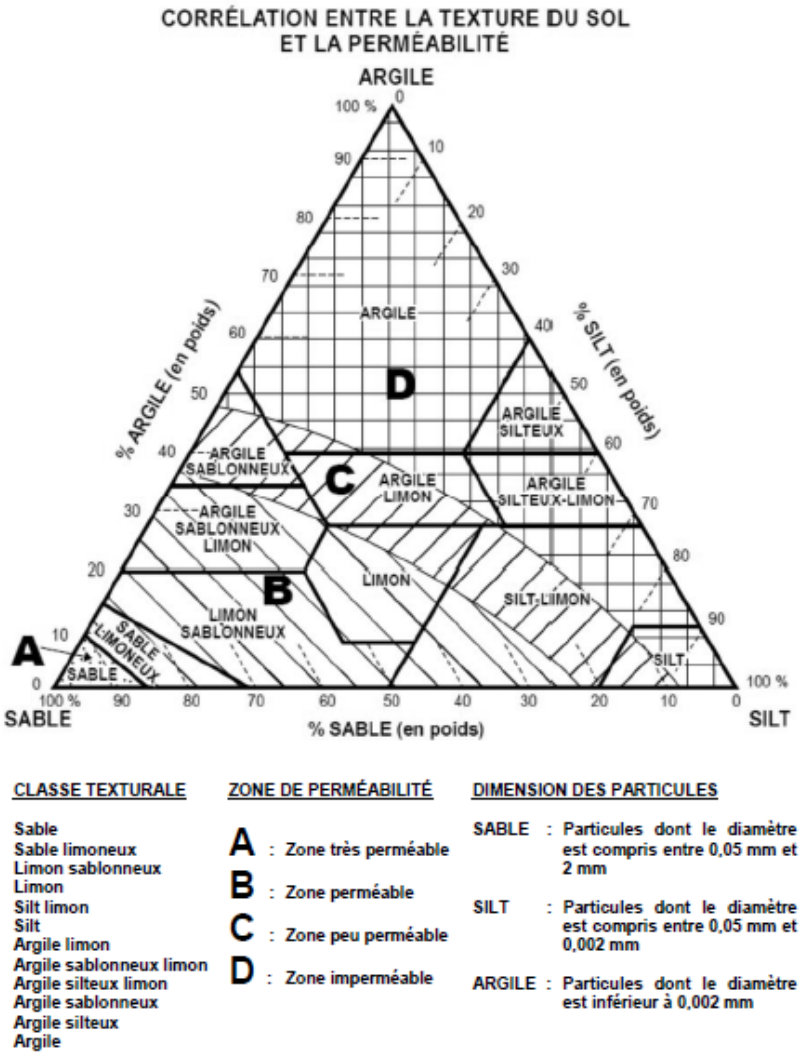


Figure 4.10 : Triangle des textures permettant la corrélation entre la texture et le niveau de perméabilité du sol (annexe 1 du Règlement)

Tableau 4.8 : Règles d'établissement de la classe texturale selon le système du USDA-NRCS (sources : SSDS, 2017; Benham et coll., 2009)

Classe texturale	Règles de classification
Sable	A) Sable > 85 % et silt + (1,5 * argile) < 15 %
Sable limoneux	A) Sable > 70 % et sable < 91 % et silt + 1,5 * argile ≥ 15 % et silt + 2 * argile < 30 %
Limon sablonneux	A) Argile ≥ 7 % et argile < 20 % et sable > 52 % et Silt + 2 * Argile ≥ 30% OU
	B) Argile < 7% et Silt < 50% et Silt + 2 * Argile ≥ 30%
Limon	A) Argile ≥ 7% et Argile < 27% et Silt ≥ 28% et Ssilt < 50 % et sable ≤ 52 %
Silt-limon	A) Silt ≥ 50 % et argile ≥ 12 % et argile < 27 % OU
	B) Silt ≥ 50 % et silt < 80 % et argile < 12 %
Silt	A) Silt ≥ 80 % et argile < 12 %
Argile sablonneux limon	A) Argile ≥ 20 % et argile < 35 % et silt < 28 % et sable > 45 %
Argile limon	A) Argile ≥ 27 % et argile < 40 % et sable > 20 % et sable ≤ 45 %
Argile silteux-limon	A) Argile ≥ 27 % et argile < 40 % et sable ≤ 20 %
Argile sablonneux	A) Argile ≥ 35 % et sable > 45 %
Argile silteux	A) Argile ≥ 40 % et silt ≥ 40 %
Argile	A) Argile ≥ 40 % et sable ≤ 45 % et silt < 40 %

4.6.6.2 Sous-classes texturales

Le comportement hydrologique des sols est influencé par les proportions de sable, de silt et d'argile, mais également par les proportions de sable très grossier à très fin. Il peut donc être avantageux de détailler les fractions sableuses afin de préciser les sous-classes texturales.

Ainsi, lorsque la proportion des fractions sableuses est déterminée, les classes texturales du sable, du sable limoneux et du limon sablonneux peuvent être subdivisées chacune en quatre sous-classes. Un sol peut alors être inclus dans l'une des 21 **sous-classes texturales**. Notons qu'il n'existe pas de représentation graphique pour les sous-classes texturales. Pour définir celles qui tiennent compte de la granulométrie des fractions sableuses, il faut se référer au tableau 4.9, qui présente les règles de classification du sable, du sable limoneux et du limon sablonneux selon les sous-classes texturales du système du USDA-NRCS.

Tableau 4.9 : Règles de classification du sable, du sable limoneux et du limon sablonneux selon les sous-classes texturales du système du USDA-NRCS (sources : SSDS, 2017; Benham et coll., 2009)

Sous-classe texturale	Règles de classification
Sable grossier	A) STGSG ≥ 25 et SM < 50 et SF < 50 et STF < 50
Sable	A) STGSGSM ≥ 25 et STGSG < 25 et SF < 50 et STF < 50 OU
	B) STGSG ≥ 25 et SM ≥ 50
Sable fin	A) SF ≥ 50 et SF > STF OU
	B) STGSGSM < 25 et STF < 50
Sable très fin	A) STF ≥ 50
Sable grossier limoneux	A) STGSG ≥ 25 et SM < 50 et SF < 50 et STF < 50
Sable limoneux	A) STGSGSM ≥ 25 et STGSG < 25 et SF < 50 et STF < 50 OU
	B) STGSG ≥ 25 et SM ≥ 50
Sable fin limoneux	A) SF ≥ 50 OU
	B) STGSGSM < 25 et STF < 50
Sable très fin limoneux	A) STF ≥ 50
Limon sablonneux grossier	A) STGSG ≥ 25 et SM < 50 et SF < 50 et STF < 50 OU
	B) STGSGSM ≥ 30 et STF ≥ 30 et STF < 50
Limon sablonneux	A) STGSGSM ≥ 30 et STGSG < 25 et SF < 30 et STF < 30 OU
	B) STGSGSM ≤ 15 et SF < 30 et STF < 30 et SSFTF < 40 OU
	C) STGSG ≥ 25 et SM ≥ 50
Limon sablonneux fin	A) SF ≥ 30 et STF < 30 et STGSG < 25 OU
	B) STGSGSM ≥ 15 et STGSGSM < 30 et STGSG < 25 OU
	C) SSFTF ≥ 40 et SF ≥ STF et STGSGSM ≤ 15 OU
	D) STGSG ≥ 25 et SF ≥ 50
Limon sablonneux très fin	A) STF ≥ 30 et STGSGSM < 15 et STF > SF OU
	B) SSFTF ≥ 40 et STF > SF et STGSGSM < 15 OU
	C) STGSG ≥ 25 et STF ≥ 50 OU
	D) STGSGSM ≥ 30 et STF ≥ 50
SM : sable moyen, SF : sable fin, STF : sable très f n, STGSG : somme de sable très grossier, sable grossier et sable moyen, SFSTF : somme de sable fin et sable très fin.	

4.6.6.3 Correspondance des classes texturales

Les définitions des classes texturales du système du USDA-NRCS et celles du SCCS sont très semblables. Les dimensions des particules minérales d'un sol (sable, silt, argile) de ces systèmes sont identiques. De plus, tous les points délimitant les polygones des triangles qui définissent les différentes classes texturales sont équivalents, sauf que l'abaque du SCCS ajoute un polygone spécifique à l'argile lourde (incluse dans l'argile du système du USDA-NRCS). Néanmoins, les noms des classes texturales de l'annexe 1 de la version française du Règlement diffèrent de ceux de la version française du SCCS, alors qu'ils sont identiques dans les versions anglaises du Règlement, du système USDA-NRCS et du SCCS.

Pour établir la description de la stratigraphie du sol dans le cadre d'un projet soumis au Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées, il faut utiliser les dénominations de l'annexe 1 de celui-ci. Le tableau 4.10 présente la correspondance entre les noms des classes texturales du Règlement, du système du USDA-NRCS et du SCCS. Il facilite la compréhension des rapports, des études et des profils de sol consultés faisant référence au SCCS, notamment des études pédologiques. Il est à noter que le terme « limon » ne correspond pas à la même catégorie de sols dans la version française du Règlement que dans la version française du SCCS.

Tableau 4.10 : Correspondance des classes texturales du Règlement, du système du USDA-NRCS et du SCCS

Règlement		USDA-NRCS	SCCS	
Français	**Anglais**		**Anglais**	**Français**
Sable	Sand	Sand	Sand	Sable
Sable limoneux	Loamy sand	Loamy sand	Loamy sand	Sable loameux
Limon sablonneux	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam	Loam sableux
Limon	Loam	Loam	Loam	Loam
Silt-limon	Silt loam	Silt loam	Silt loam	Loam limoneux
Silt	Silt	Silt	Silt	Limon
Argile sablonneux limon	Sandy clay loam	Sandy clay loam	Sandy clay loam	Loam sablo-argileux
Argile-limon	Clay loam	Clay loam	Clay loam	Loam argileux
Argile silteux-limon	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Loam limono-argileux
Argile sablonneux	Sandy clay	Sandy clay	Sandy clay	Argile sableuse
Argile silteux	Silty clay	Silty clay	Silty clay	Argile limoneuse
Argile	Clay	Clay	Clay	Argile
			Heavy clay	Argile lourde

4.6.6.4 Méthodes de terrain pour estimer les classes texturales

La classe texturale d'un sol peut être estimée au toucher, puisque la composition granulométrique des sols influence leurs propriétés tactiles.

Le tableau 4.11 présente une méthode de terrain permettant d'estimer la classe texturale d'un échantillon de sol. Cette méthode est basée sur plusieurs tests (sensation au toucher, moule humide, rubanage, brillance) comportant une définition élaborée des propriétés tactiles des classes texturales. Par conséquent, elle nécessite de connaître un grand nombre de critères associés à chacune de ces classes.

Tableau 4.11 : Méthode de terrain permettant d'estimer la classe texturale d'un échantillon de sol
(adapté de Bates et coll., 1985, par Gagné et coll., 2010)

Classe texturale[1]	Tests			
	Sensation au toucher	Moule humide	Rubanage	Brillance
Sable	Très grenu	Aucun	Aucun	Aucune
Sable limoneux	Très grenu	Très faible Ne se manipule pas	Aucun	Aucune
Limon sablonneux	Grenu Mod. farineux	Très faible Se manipule avec soin	Forme à peine un ruban de 1,5 à 2,5 cm (de 5/8 à 1 po)	Aucune
Silt-limon	Lég. grenu Farineux	Faible Se manipule avec soin	Desquame Forme des flocons plutôt qu'un ruban	Aucune
Silt	Très farineux Non collant	Faible Se manipule avec soin	Desquame Forme des flocons plutôt qu'un ruban	Aucune
Limon	Grenu Lég. collant	Modéré Se manipule facilement	À peine, épais et très court < 2,5 cm (1 po)	Aucune
Argile sablonneux limon	Grenu De lég. à mod. collant	Modéré	Épais et court De 2,5 à 5 cm (de 1 à 2 po)	Aucune
Argile-limon	Grenu Mod. collant	Fort	Assez mince, se brise facilement et supporte à peine son propre poids	Légère
Argile silteux-limon	Lisse Farineux Collant	Fort	Assez mince, se brise facilement et supporte à peine son propre poids	Légère
Argile sablonneux	Grenu Collant	Fort	Mince, assez long, de 5 à 7,5 cm (de 2 à 3 po) et supporte son propre poids	Aucune
Argile silteux	Lisse Collant	Très fort	Mince, assez long, de 5 à 7,5 cm (de 2 à 3 po) et supporte son propre poids	Modérée
Argile	Lisse Collant	Très fort	Très mince, très long et plus de 7,5 cm (plus de 3 po)	Forte

[1] Les classes texturales font référence à celles de l'annexe 1 du Règlement.

La méthode de Thien (1979), présentée à la figure suivante, est organisée selon un arbre décisionnel simple et intuitif basé sur trois principaux tests (sensation au toucher, moule humide, rubanage). Cependant, cette méthode présente un critère prédominant (longueur du ruban) qui peut causer une déviation importante de l'estimation s'il n'est pas correctement défini.

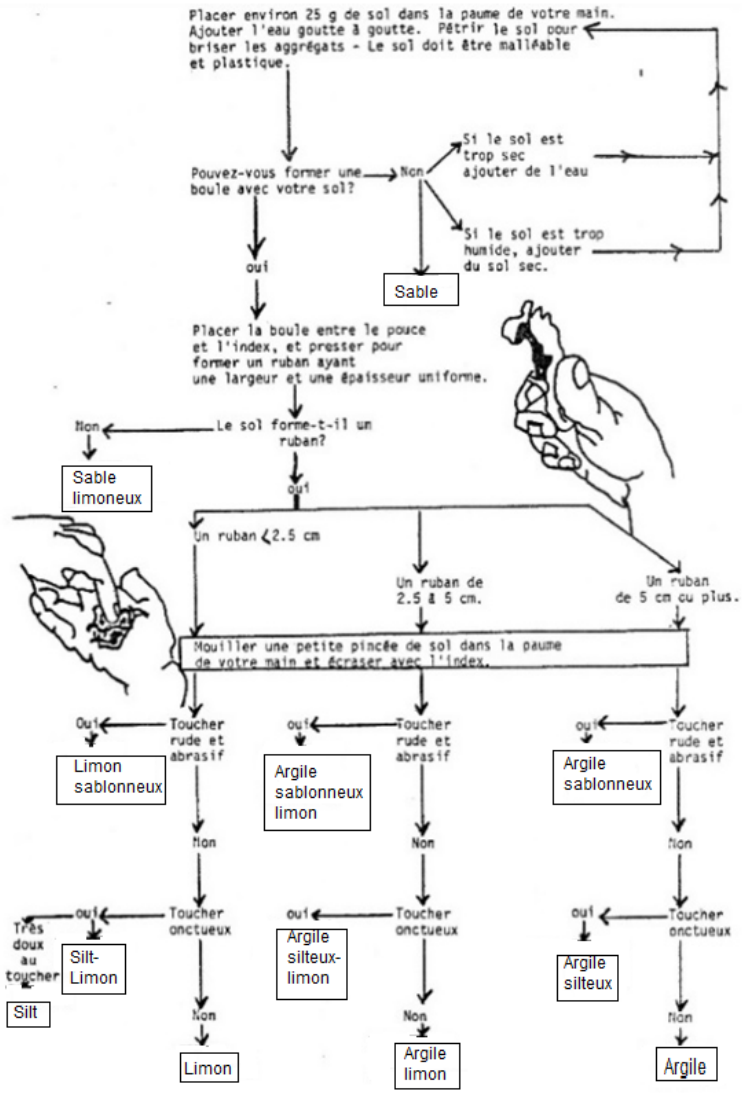
Il est possible de se référer à plus d'une méthode lorsqu'on apprend ou qu'on peaufine sa technique d'évaluation de la texture sur le terrain. Il peut être pertinent de procéder par élimination, c'est-à-dire en rejetant les classes qui ne correspondent pas aux propriétés de l'échantillon. Avec l'expérience, on peut développer sa propre méthode en combinant des critères proposés par ces deux méthodes. **Cependant, il est recommandé de comparer un certain nombre de ses estimations au toucher avec une analyse de texture réalisée en laboratoire, afin de valider sa technique et de s'ajuster si nécessaire.**

La liste qui suit présente les définitions des différents tests utilisés pour évaluer les classes texturales sur le terrain. Pour chacun de ces tests, le spécimen de sol doit être graduellement humecté au besoin, entièrement refaçonné et pétri pour lui conférer le maximum de plasticité. Il faut éviter d'ajouter trop d'eau qui pourrait faire perdre à l'échantillon de sa cohérence (Gagné et coll., 2010).

- **Sensation au toucher :** Assécher et écraser une petite quantité de sol en le frottant avec son index dans la paume de son autre main. Frotter une partie entre son pouce et ses doigts pour mesurer sa teneur en sable. Plus le sol est granuleux ou grenu, plus il contient du sable. Plus le

sol est farineux ou savonneux, plus il contient du silt. Plus le sol est collant et lisse, plus il contient de l'argile.

- **Moule humide :** Comprimer une petite quantité de sol dans sa main. En ouvrant celle-ci, si le sol se tient et conserve sa forme, le passer d'une main à l'autre. Plus le sol conserve sa forme longtemps, plus il contient de l'argile.
- **Rubanage :** Rouler une poignée de sol humide en forme de rouleau et la comprimer entre son pouce et son index pour former le ruban le plus long, le plus mince et le plus large possible. Un sol à forte teneur en silt forme des flocons ou laisse des empreintes de pouce plutôt qu'un ruban. Plus le ruban est long, mince et large, plus la proportion d'argile est élevée.
- **Brillance :** Rouler une petite boule de sol modérément sec, puis la frotter sur une surface dure et lisse comme une lame de couteau ou l'ongle de son pouce. L'apparition d'un éclat brillant indique la présence d'argile.



Les classes texturales font référence à celles de l'annexe 1 du Règlement.

Figure 4.11 : Méthode d'évaluation au toucher de la texture du sol (source : adapté de Thien, © 1979 American Society of Agronomy).

4.6.6.5 Fragments grossiers

Dans les sols minéraux, les fragments grossiers sont des fragments de roche dont le diamètre est supérieur à 0,2 cm (> 2 mm). La proportion (%) de fragments grossiers dans les couches est estimée sur une base volumétrique. Les fragments grossiers de forme arrondie, subarrondie et anguleuse de toute nature pétrographique sont classés selon leurs dimensions. Le tableau 4.12 présente les différentes classes de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS.

Tableau 4.12 : Classes de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS (source : SSDS, 2017)

Classe de fragments grossiers	Dimension (cm)	Adjectif
Graviers	> 0,2 à 7,6	Graveleux
Graviers fins	> 0,2 à 0,5	
Graviers moyens	> 0,5 à 2,0	
Graviers grossiers	> 2,0 à 7,6	
Cailloux	> 7,6 à 25,0	Caillouteux
Pierres	> 25,0 à 60,0	Pierreux
Blocs	> 60,0	Blocailleux

Lorsque le sol contient 15 % ou plus de fragments grossiers, un qualificatif textural peut être adjoint au nom de la classe texturale pour qualifier la présence de fragments grossiers selon que la dominance des classes de fragments est composée de graviers (graveleux), de cailloux (caillouteux) ou de pierres (pierreux). Le tableau 4.13 présente les qualificatifs texturaux par classe dominante de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS. Ces qualificatifs sont définis selon les classes de contenu en fragments grossiers suivantes :

- **Moins de 15 % (en volume) :** Aucun qualificatif textural n'est employé.
- **De 15 à moins de 35 % (en volume) :** L'adjectif de la classe dominante de fragments grossiers est employé pour qualifier la classe texturale (ex. : limon graveleux ou limon caillouteux).
- **De 35 à moins de 60 % (en volume) :** L'adjectif de la classe dominante de fragments grossiers est employé avec le mot « très » pour qualifier la classe texturale (ex. : limon très graveleux ou limon très caillouteux).
- **De 60 à moins de 90 % (en volume) :** L'adjectif de la classe dominante de fragments grossiers est employé avec le mot « extrêmement » pour qualifier la classe texturale (ex. : limon extrêmement graveleux ou limon extrêmement caillouteux).
- **90 % ou plus (en volume) :** Aucun qualificatif textural n'est employé. Ces sols dits fragmentaires ont trop peu de terre fine dans les interstices pour qu'il soit possible de déterminer la classe texturale.

Tableau 4.13 : Qualificatifs texturaux par classe dominante de fragments grossiers selon le système du USDA-NRCS (source : SSDS, 2017)

Classe dominante de fragments grossiers	**Qualificatif textural** (pourcentage en volume de fragments grossiers)				
	< 15 %	De 15 à < 35 %	De 35 à < 60 %	De 60 à < 90 %	≥ 90 %
Graviers	Aucun qualificatif	Graveleux	Très graveleux	Extrêmement graveleux	Aucun qualificatif
Cailloux		Caillouteux	Très caillouteux	Extrêmement caillouteux	
Pierres		Pierreux	Très pierreux	Extrêmement pierreux	
Blocs		Blocailleux	Très blocailleux	Extrêmement blocailleux	

4.6.7 Structure

La structure du sol fait référence à l'arrangement des particules élémentaires (sable, silt, argile), avec ou sans matière organique, en particules plus grandes nommées « agrégats », « peds » ou « éléments structuraux ». Les agrégats sont séparés les uns des autres par des plans de moindre résistance.

La structure influence la distribution et la dimension des pores entre les agrégats. Il s'agit donc d'une caractéristique importante à considérer pour connaître le mouvement de l'eau dans les sols. La qualité, la taille, le type et l'orientation de la structure influenceront le mouvement de l'eau dans le profil du sol, surtout si celui-ci est à texture fine. La figure suivante présente la relation générale entre le type de structure et l'infiltration de l'eau dans le sol.

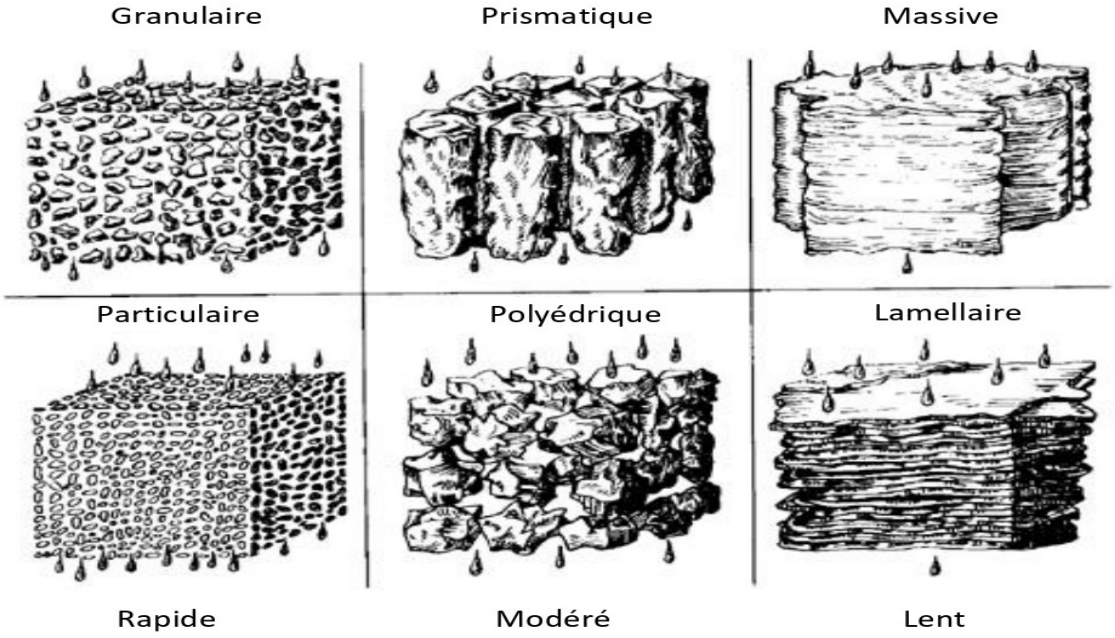


Figure 4.12 : Relation générale entre le type de structure et l'infiltration de l'eau dans le sol (source : adapté de USDA-NRCS, 1991)

Le Règlement exige que l'établissement de la structure d'un sol soit effectué selon les définitions du SCCS. La description de la structure du sol sur le terrain selon cette classification est basée sur la forme, la dimension et le développement (grade ou netteté) des agrégats. Le tableau 4.14 et la figure 4.21 présentent la forme (type et sous-type), la classe et la dimension de la structure du sol selon le SCCS.

Lors de la description de la structure d'un sol, il faut indiquer celle qui se dévoile naturellement (structure primaire). Il se peut que les agrégats se subdivisent aussi en agrégats plus petits délimités par des microfissures qui se dégagent sous l'action des doigts. Il s'agit alors d'une sous-structure (structure secondaire). Il est donc possible d'observer plus d'une structure pour un même horizon de sol. Par ailleurs, il ne faut pas confondre les agrégats avec les mottes résultant de la perturbation du sol (ex. : par un instrument aratoire), qui moule celui-ci en une masse instable et de dimension variable, avec les fragments grossiers ou les concrétions formés par l'accumulation localisée de substances qui cimentent irréversiblement les grains du sol.

4.6.7.1 Type

Le type de structure renvoie à la forme des agrégats (ou à l'absence de forme pour les sols sans structure). Il comprend les types sans structure, polyédrique, lamellaire et prismatique.

Sans structure

Les sols sans structure ne présentent pas d'agrégats (apédiques) ou d'éléments structuraux. Ce type de structure comprend les sous-types particulaire et massif.

- Le sous-type **particulaire** qualifie une masse meuble sans cohésion entre les particules. Ce sous-type est généralement observé dans les sols sableux avec ou sans la présence de fragments grossiers.

Figure 4.13 : Structure particulaire (source : IRDA)

- Le sous-type **massif** (amorphe) qualifie une masse cohésive qui ne présente aucun signe de disposition définie des particules. Il peut notamment être observé dans les horizons naturellement indurés (ortstein, fragipan) ou les horizons compactés par des activités anthropiques. Le sol présente alors une consistance ferme à très ferme. Certains horizons de sol demeurent naturellement sans structure (amorphes) et plastiques, notamment dans les couches profondes de sols très humides où l'absence de cycles de dessiccation-humectation ou de gel-dégel ne permet pas le développement d'une structure.

Figure 4.14 : Structure massive (source : IRDA)

Polyédrique

La structure polyédrique comprend les sous-types granulaire, polyédrique subangulaire et polyédrique angulaire.

- Le sous-type **granulaire** (ou grumeleux) présente habituellement des agrégats aux arêtes arrondies avec un faible diamètre. Il se développe principalement dans la couche de surface, sous l'action de l'activité biologique du sol (champignons, bactéries, arthropodes, vers de terre, racines, etc.). Les contenus élevés en matière organique, typique de la couche de surface, contribuent à une forte cohésion interne des agrégats de type granulaire.

Figure 4.15 : Structure granulaire (source : Groupe PleineTerre inc.)

Tableau 4.14 : Forme (type et sous-type), classe et dimension de la structure du sol selon le SCCS (source : adapté de GTCS, 2002)

Type	Sous-type	Classe	Dimension (mm)
Sans structure : aucune agrégation visible ni aucune disposition ordonnée et définie autour des lignes naturelles de faible résistance.	**Particulaire :** masse meuble et non cohésive de particules isolées, comme dans les sables.	s. o.	s. o.
	Massive (amorphe) : masse cohésive ne présentant aucun signe d'une disposition définie des particules du sol.	s. o.	s. o.
Polyédrique : particules du sol disposées autour d'un point et délimitées par des surfaces planes ou arrondies.	**Polyédrique angulaire :** faces rectangulaires et aplaties avec arêtes très aiguës.	Fine Moyenne Grossière Très grossière	< 10 10-20 20-50 > 50
	Polyédrique subangulaire : faces subrectangulaires avec arêtes principalement obliques ou subarrondies.	Fine Moyenne Grossière Très grossière	< 10 10-20 20-50 > 50
	Granulaire : particules sphéroïdale avec arêtes arrondies.	Fine Moyenne Grossière	< 2 2-5 5-10
Lamellaire : particules du sol disposées sur un plan horizontal et généralement délimitées par des surfaces relativement planes et horizontales.	**Lamellaire :** plans horizontaux plus ou moins développés.	Fine Moyenne Grossière	< 2 2-5 > 5
Prismatique : particules du sol disposées autour d'un axe vertical et délimitées par des surfaces relativement planes et verticales.	**Prismatique :** faces verticales bien définies et arêtes aiguës.	Fine Moyenne Grossière Très grossière	< 20 20-50 50-100 > 100
	Colonnaire : arêtes verticales près du sommet des colonnes et non aiguës, colonnes pouvant avoir un sommet plat, arrondi ou irrégulier.	Fine Moyenne Grossière Très grossière	< 20 20-50 50-100 > 100

- Le sous-type **polyédrique subangulaire** présente des arêtes principalement obliques ou subarrondies et les faces montrent habituellement cinq côtés ou plus. La structure **polyédrique angulaire** présente des faces rectangulaires et aplaties ainsi que des arêtes très aiguës et les faces ont habituellement moins de cinq côtés.

  Il est commun d'observer les sous-types subangulaire et angulaire dans les horizons du sous-sol (horizons B). Ces sous-types sont également communs dans la couche de surface lorsque le sol a été perturbé par les pratiques agricoles (horizon Ap). Généralement, la dimension des agrégats polyédriques augmente dans les couches profondes du profil.

Figure 4.16 : Structure polyédrique angulaire (photo de gauche) et structure polyédrique subangulaire (photo de droite) (source : Groupe PleineTerre inc.)

Lamellaire

La structure **lamellaire** se présente comme des lamelles disposées sur des plans horizontaux et généralement délimitées par des surfaces relativement planes.

Ce type de structure est habituellement dû aux cycles de gel et de dégel ainsi qu'aux cycles d'humectation et de dessiccation, dont les effets sont transmis dans le sol le long de plans parallèles à la surface du sol. Il est commun d'observer une structure lamellaire dans un horizon éluvial Ae. Cet horizon contient très peu de matière organique et l'activité biologique y est très peu active, ce qui permet la préservation de la structure lamellaire à travers le temps. Dans les autres couches de surface qui contiennent une teneur élevée en matière organique, le sol est continuellement perturbé par la faune du sol, ce qui brise la structure lamellaire qui pourrait s'y développer.

Les sédiments accumulés par couches peuvent présenter une structure lamellaire lorsque les strates du dépôt d'origine n'ont pas été altérées par la pédogenèse. Les sols résiduels développés par l'altération sur place d'un socle rocheux de nature sédimentaire peuvent également présenter une structure lamellaire intrinsèque de la roche mère. La structure lamellaire peut donc être d'origine pédologique ou géologique.

Figure 4.17 : Structure lamellaire (source : IRDA)

Prismatique

La structure prismatique comprend les sous-types **prismatique** et **colonnaire**.

Ces structures sont disposées autour d'un axe vertical et délimitées par des surfaces relativement planes et verticales. **Ces deux sous-types sont souvent associés aux sols contenant des argiles dites « gonflantes » (smectites, vermiculites).** Le sous-type prismatique présente des faces verticales bien définies et des arêtes aiguës, alors que le sous-type colonnaire présente des arêtes arrondies au sommet des colonnes. La structure colonnaire est principalement observée dans les sols contenant une forte teneur en sodium (horizon solonetzique). Les structures prismatiques se développent habituellement dans les régions arides ou semi-arides et sont peu communes au Québec.

4.6.7.2 Dimension et classe

La dimension des agrégats permet de définir la classe de la structure. Les classes de dimension varient en fonction du type et du sous-type de structure selon le tableau 4.14.

4.6.7.3 Développement (grade ou netteté)

Le développement de la structure caractérise le degré d'agrégation. Le grade est évalué en observant la proportion des agrégats et des non-agrégats obtenus par un léger écrasement du sol entre les doigts. Il est à noter que le grade peut varier en fonction de l'humidité du sol.

- **Faible :** Agrégats à peine formés, sans caractère distinctif, avec une agrégation peu évidente. Dans la main, le sol se décompose en quelques agrégats entiers, mélangés à de nombreux agrégats brisés, avec une masse importante de particules élémentaires.
- **Modérée :** Agrégats modérément bien formés et possédant des caractères distinctifs, moyennement durables et évidents. Dans la main, le sol se décompose en de nombreux agrégats entiers avec peu d'agrégats brisés et peu de particules élémentaires.
- **Forte :** Agrégats durables qui adhèrent faiblement les uns aux autres, résistant au déplacement et se séparant lorsque le sol est perturbé. Dans la main, le sol se décompose presque uniquement en agrégats entiers avec quelques agrégats brisés et très peu de particules élémentaires ou aucune particule élémentaire.

Figure 4.18 : Développement de la structure polyédrique subangulaire faible (photo de gauche), modérée (photo du centre) ou forte (photo de droite) (source : IRDA)

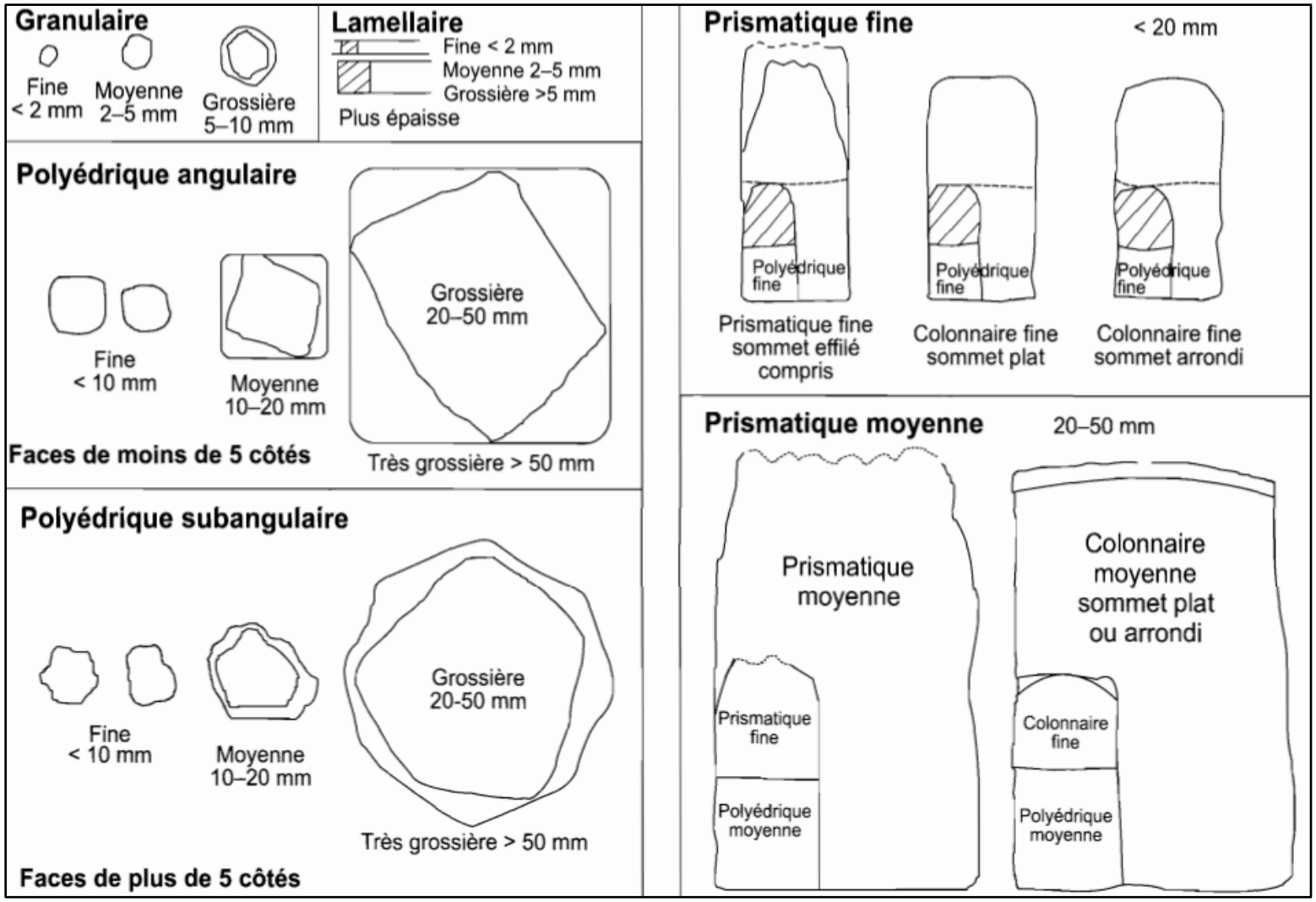


Figure 4.19 : Représentation de la forme (type et sous-type), de la classe et de la dimension de la structure (source : Le système canadien de classification des sols, 3e édition, 2002 © Société Canadienne de la science du sol)

4.6.8 Consistance

La consistance fait référence à la résistance d'un matériau à la déformation et à la rupture ou à son degré de cohésion et d'adhésivité. Le Règlement exige que la consistance soit établie selon les définitions du SCCS. La méthode d'évaluation et la terminologie utilisées pour la description de la consistance varient selon l'état d'humidité du sol (sec, humide, trempé). Le Règlement demande ainsi que la consistance soit évaluée à l'état humide afin de différencier les horizons d'une consistance très ferme des autres classes (ferme, friable, très friable, meuble), lorsqu'un filtre à sable hors sol ou un champ de polissage est envisagé dans un sol dont la texture se situe dans la zone imperméable du triangle de l'annexe 1 du Règlement.

Sur le terrain, le sol est habituellement à l'état humide. L'état sec d'un horizon de sol est généralement observé en période de sécheresse, principalement pour les horizons supérieurs du profil du sol. **Notons qu'il n'existe pas de relation directe entre la consistance à l'état sec et celle à l'état humide, et qu'un sol sec ne peut être humecté en quelques minutes sans engendrer un biais dans l'évaluation de sa consistance humide.** L'état trempé d'un horizon de sol est observé dans les heures (jusqu'à 48) suivant une période d'averses intenses ou dans les horizons immergés par une nappe d'eau souterraine. **Par conséquent, la description d'un profil du sol et de sa consistance devrait être évitée en période de sécheresse ou à la suite d'averses importantes.**

4.6.8.1 À l'état humide ou sec

La consistance du sol est évaluée sur le terrain, à l'état humide ou sec, en estimant la résistance mécanique du sol (résistance à l'écrasement), manifestée par un volume de sol non perturbé (état naturel) et non confiné (extrait du sol). La définition des classes de consistance comprend à la fois des descriptions qualitatives et des limites quantitatives pour la force à appliquer sur un échantillon de sol. Comme la résistance mécanique du sol dépend souvent des dimensions de l'échantillon, de sa forme, de la façon dont la force est appliquée et d'autres facteurs, il faut faire appel à une technique empirique pour pouvoir comparer les résultats. Si le sol se tient bien, un bloc de 25 à 30 mm de chaque côté est extrait. L'échantillon est prélevé de manière à obtenir deux surfaces parallèles, l'une supérieure et l'autre inférieure, puis la contrainte est appliquée lentement à l'aide du pouce et de l'index, parallèlement à l'axe vertical, pendant un maximum de 4 secondes (normalement 1 seconde). La force à exercer pour provoquer la rupture est le critère appliqué aux classes de consistance humide et sèche.

Étant donné que la perception de la quantité relative de force nécessaire pour provoquer la rupture d'un échantillon varie d'une personne à l'autre, il convient à chacun d'apprendre à quoi correspond la résistance (force appliquée en newtons [N]) associée aux différentes classes de consistance. Le sens tactile peut être calibré pour chaque limite de classe en appliquant une force sur une balance et en détectant la pression du bout des doigts ou de la plante du pied. Une balance postale peut être utilisée pour la plage de résistance à évaluer avec les doigts (seuils de 80 N ou moins). Un pèse-personne peut être employé pour une plus grande résistance à la rupture (seuils de 160 N ou plus applicables aux classes de consistance à l'état sec). Pour calculer la force en newtons, la force appliquée en kilogrammes est multipliée par 10,0 et celle en livres, par 4,54.

À **l'état humide**, les classes de consistance sont les suivantes :

- **Meuble :** Le matériau de sol est non cohérent.
- **Très friable :** Le matériau de sol s'écrase sous une pression très faible, mais forme une masse cohérente lorsqu'on le comprime. La rupture du spécimen se produit sous une force inférieure à 8 N (pression très faible).
- **Friable :** Le matériau de sol s'écrase facilement sous une pression faible à modérée, entre le pouce et l'index, et forme une masse cohérente lorsqu'on le comprime. Le spécimen résiste à une force de 8 N, mais une force de 20 N (légère pression) provoque sa rupture.
- **Ferme :** Le matériau de sol s'écrase lorsqu'on exerce une pression modérée entre le pouce et l'index, mais il montre une résistance notable. L'échantillon résiste à une force de 20 N, mais une force de 40 N provoque sa rupture (une force de 40 N correspond à la pression ferme que peuvent exercer la plupart des gens entre le pouce et l'index, mais elle est considérablement inférieure à la force maximale qui peut être appliquée lentement).
- **Très ferme :** On peut écraser le matériau de sol entre le pouce et l'index, mais une forte pression est nécessaire. L'échantillon résiste à une force de 40 N, mais une force de 80 N provoque sa rupture (une force de 80 N est proche de la force maximale que l'on peut exercer entre le pouce et l'index).

Il est recommandé de considérer les horizons d'un sol très ferme comme des couches limitantes pour l'implantation d'une solution de traitement par infiltration dans le sol au même titre que le roc, une couche de sol imperméable ou les eaux souterraines.

À **l'état sec**, les classes de consistance sont les suivantes :

- **Meuble :** Le matériau de sol est non cohérent.
- **Tendre :** Le matériau de sol est faiblement cohérent et fragile. Il se réduit en poudre ou en granules individuels lorsqu'on exerce une pression très faible. Une force inférieure à 8 N (pression très faible) provoque la rupture de l'échantillon.
- **Peu dur :** Le matériau de sol résiste faiblement à la pression et l'on peut aisément le broyer entre le pouce et l'index. L'échantillon résiste à une force de 8 N, mais une force de 40 N provoque sa rupture (une force de 40 N correspond à une pression ferme entre le pouce et l'index, mais elle est bien inférieure à la force maximale que l'on peut exercer avec lenteur).
- **Très dur :** Le matériau de sol oppose une forte résistance à la pression. On peut difficilement le broyer dans ses mains et l'on ne peut pas le briser entre le pouce et l'index. Le spécimen résiste à une force de 80 N, mais une force de 160 N provoque sa rupture (une force de 160 N correspond approximativement à la force que l'on peut appliquer lentement avec le pied ou en comprimant l'échantillon entre ses deux mains).
- **Extrêmement dur :** Le matériau de sol oppose une résistance extrême à la pression. On ne peut pas le briser dans ses mains. L'échantillon résiste à une force de 160 N, mais une force de 800 N provoque sa rupture (une force de 800 N est proche de la pression exercée par la masse corporelle moyenne).
- **Rigide :** On ne peut briser le matériau de sol qu'en exerçant une pression extrême. L'échantillon résiste à une force de 800 N.

4.6.8.2 À l'état trempé

La consistance d'un sol trempé est déterminée à des niveaux d'humidification équivalents ou légèrement plus élevés que la capacité sur le terrain. On broie l'échantillon dans sa main, on ajoute de l'eau si nécessaire pour mouiller complètement le sol, puis on le brasse bien. On presse alors le sol entre le pouce et l'index, puis l'on note son adhérence aux doigts. On ajuste la teneur en eau en pétrissant l'échantillon pour enlever de l'eau ou en en ajoutant autant que nécessaire pour obtenir l'adhésivité maximale.

À **l'état trempé**, les classes de consistance sont les suivantes :

- **Non collant :** Lorsqu'on n'exerce plus aucune pression, le matériau de sol n'adhère pratiquement plus au pouce et à l'index.
- **Peu collant :** Dès que l'on n'applique plus aucune pression, le matériau de sol adhère à la fois au pouce et à l'index, mais se détache assez nettement de l'un ou de l'autre. Le sol ne s'étire à peu près pas lorsqu'on écarte les doigts l'un de l'autre.
- **Collant :** Lorsqu'on n'applique plus aucune pression, le matériau de sol adhère fortement à la fois au pouce et à l'index et a tendance à s'étirer quelque peu au lieu de se détacher aisément d'un doigt ou de l'autre.
- **Très collant :** Lorsqu'on n'applique plus aucune pression, le matériau de sol adhère fortement à la fois au pouce et à l'index et s'étire de façon prononcée lorsqu'on les écarte l'un de l'autre.

4.6.9 Classe de cimentation

La cimentation désigne la consistance dure et fragile engendrée par des agents liants autres que des minéraux argileux (ex. : par des sesquioxydes de fer). **Un horizon cimenté doit être considéré comme une couche limitante pour l'implantation d'un OEIS.** Contrairement à la consistance, la classe de cimentation n'est pas évaluée à l'état d'humidité sur le terrain. Le sol d'un horizon suspecté d'être cimenté doit être échantillonné et séché à l'air (environ 48 heures). Un bloc de 25 à 30 mm de chaque côté est ensuite immergé dans l'eau pendant au moins une heure. Un sol qui se désagrège dans l'eau n'est pas considéré comme cimenté et les catégories de consistances de la section précédente doivent être considérées.

Lorsqu'un échantillon de sol ne se désagrège pas, sa consistance appartient à une classe de cimentation qui est déterminée à l'état trempé, selon sa résistance à l'écrasement et suivant les définitions du SCCS :

- **Peu cimenté :** Le matériau de sol trempé et cimenté est cassant et dur, mais on peut le briser dans ses mains. Une force inférieure à 8 N provoque la rupture de l'échantillon.
- **Fortement cimenté :** Le matériau de sol trempé et cimenté est cassant et trop dur pour qu'on puisse le briser dans ses mains, mais on peut aisément le briser avec un marteau. Le spécimen résiste à une force de 8 N, mais une force de 80 N provoque sa rupture.
- **Induré :** Le matériau de sol trempé et cimenté est cassant et si fortement cimenté qu'il faut un bon coup de marteau pour le briser. L'échantillon résiste à une force de 80 N.

Par ailleurs, un horizon cimenté peut être qualifié de continu ou discontinu selon qu'il est présent sur toute la largeur du pédon (1 m) ou interrompu.

Il est recommandé de considérer les horizons de sol dont la consistance appartient à une classe de cimentation comme étant des couches limitantes pour l'implantation d'une solution de traitement par infiltration dans le sol au même titre que le roc, une couche de sol imperméable ou les eaux souterraines.

4.6.10 Horizons cimentés

Selon le SCCS, les horizons cimentés sont désignés par le suffixe « c » (ex. : Bhc, Bhfc ou Bfc). Au Québec, l'horizon à ortstein (figure 4.23) est le plus commun. Il s'agit d'un horizon fortement cimenté d'au moins 3 cm d'épaisseur qui se trouve dans plus du tiers de la face exposée du pédon. Les horizons à ortstein sont généralement d'une couleur allant du brun-rougeâtre au brun rougeâtre très foncé.

Figure 4.20 : Horizon à ortstein, couche brun rougeâtre (source : Groupe PleineTerre inc.)

Principalement rencontré au sud-ouest de la Colombie-Britannique, l'horizon durique, fortement cimenté, ne satisfait pas aux critères d'un horizon B podzolique, dont la couleur est similaire à celle du matériau parental. L'horizon placique, principalement rencontré en Colombie-Britannique et dans les provinces maritimes, est une mince couche cimentée de 5 mm ou moins d'épaisseur, généralement d'une couleur allant du brun rougeâtre foncé au noir et souvent formée à l'interface d'une discontinuité texturale. Les horizons duriques et placiques sont peu communs au Québec (GTCS, 2002; Sanborn et coll., 2011).

4.6.11 Horizons fragiques

Au Québec, il est également commun de rencontrer des horizons fragipans désignés par le suffixe « x » (ex. : BCx, Cgx). **Ces horizons ne sont pas cimentés.** Il s'agit d'horizons sous-jacents loameux d'une densité relative élevée et d'une teneur en matière organique très faible. L'argile serait le principal agent liant de ces horizons. À l'état sec, ils ont une consistance dure et semblent cimentés. À l'état humide, leur fragilité est modérée à faible. Ces horizons présentent souvent des plans de fracture décolorés et sont surmontés d'un horizon B friable. Les mottes d'horizons fragiques séchées à l'air se désagrègent dans l'eau.

4.6.12 Description des racines

Le développement racinaire de la végétation en place est un indicateur des propriétés hydrologiques du sol, particulièrement là où la végétation est établie depuis plusieurs années comme dans un boisé. Généralement, les racines explorent aisément les horizons de sols poreux et bien structurés qui favorisent l'écoulement vertical de l'eau. En revanche, le développement racinaire est compromis par des couches restrictives avec une densité relative élevée ou une consistance très ferme (contrainte physique) ou par la présence d'une nappe d'eau souterraine élevée (milieu anoxique). Néanmoins, le développement des racines est grandement lié au type de végétation et à son stade de développement. De plus, d'autres conditions édaphiques (ex. : pH, faible fertilité) pas forcément liées aux propriétés hydropédologiques peuvent nuire à la croissance des racines. Ainsi, la description des racines amène principalement l'observateur à surveiller la présence de couches restrictives ou trop humides. Selon le SCCS, les racines sont décrites en notant leur abondance, leur dimension et leur orientation.

4.6.12.1 Abondance

L'abondance qualifie le nombre moyen de racines par unité de surface de 1 dm^2.

- Très peu nombreuses : < 1 racine par décimètre carré
- Peu nombreuses : De 1 à 3 racines par décimètre carré
- Nombreuses : De 4 à 14 racines par décimètre carré
- Très nombreuses : > 14 racines par décimètre carré

4.6.12.2 Dimension

Les classes de dimension des racines sont rapportées en millimètres. Plusieurs classes peuvent être combinées pour décrire la dimension des racines.

- Microracines : < 0,075 mm
- Très fines : De 0,075 à 1 m
- Moyennes : De 2 à 5 mm
- Grossières : > 5 mm

4.6.12.3 Orientation

Les racines peuvent être classifiées comme étant verticales, horizontales, obliques ou sans orientation. Plusieurs classes peuvent être combinées pour décrire l'orientation des racines.

4.6.13 Échantillonnage des horizons du sol pour la granulométrie

Le Règlement exige que la classe texturale soit établie selon la texture à partir de son annexe 1. Ainsi, lorsque la classe texturale d'un sol doit être établie, des échantillons doivent être prélevés lors de la description de la stratigraphie du sol pour une analyse granulo-sédimentométrique en laboratoire. Au moins un échantillon de sol devrait être prélevé par horizon identifié. Les résultats obtenus permettront de valider les classes texturales observées sur le terrain.

Lorsque des échantillons du sol sont prélevés dans un puits d'exploration pour effectuer des analyses en laboratoire, il est préférable de commencer par la couche inférieure et de continuer vers le haut du profil. Cela permet d'éviter que du sol de couches supérieures tombe sur la paroi des couches inférieures et que celles-ci nécessitent d'être nettoyées de nouveau avant d'être échantillonnées.

La localisation des échantillons prélevés doit être indiquée sur la coupe stratigraphique.

La prise de photos doit être effectuée avant que le profil soit perturbé par la description et l'échantillonnage des couches.

4.6.14 Niveau de perméabilité

La perméabilité est la capacité du sol à se laisser traverser plus ou moins facilement par les gaz ou les liquides. Le Règlement définit en ce sens quatre niveaux de perméabilité : très perméable, perméable, peu perméable et imperméable. Le tableau 4.15 présente une comparaison des classes et des sous-classes de perméabilité du sol utilisées dans le domaine de la pédologie avec les niveaux de perméabilité indiqués dans le Règlement.

Des caractéristiques décrites lors de l'établissement de la stratigraphie du sol peuvent être utilisées pour valider le niveau de perméabilité obtenu par une méthode requise par le Règlement. En effet, les taux d'infiltration des eaux usées pouvant être appliqués au sol varient selon la texture, la structure, la consistance et la minéralogie de celui-ci (Tyler, 2001). Tyler et Kramer Kuns (2000) proposent à cet égard un tableau permettant d'estimer le taux de charge hydraulique pour des eaux usées selon la classe texturale et la structure du sol. Le tableau 4.16, adapté de Tyler (2001), peut être utilisé afin de valider le niveau de perméabilité obtenu au moyen des méthodes requises par le Règlement. Ce tableau indique toutefois que, si la consistance d'un horizon du sol est plus forte que ferme, elle appartient à une classe cimentée ou que, si la minéralogie de l'argile est smectique, l'horizon sera limitant pour l'implantation d'un OEIS.

Tableau 4.15 : Comparaison des classes et des sous-classes de perméabilité du sol utilisées dans le domaine de la pédologie avec les niveaux de perméabilité du Règlement

Classes et sous-classes de perméabilité utilisées dans le domaine de la pédologie des sols selon la conductivité hydraulique			Niveaux de perméabilité du Règlement correspondant
Classes	**Sous-classes**	**Conductivité hydraulique (cm/hr)**	
Rapide	Très rapide	≥ 50,0	Très perméable
	Rapide	15,0 – 50,0	
Modérée	Modérément rapide	5,0 – 15,0	Perméable ou très perméable
	Modérée	1,5 – 5,0	Perméable
	Modérément lente	0,5 – 1,5	Peu perméable ou perméable
Lente	Lente	0,15 – 0,5	Imperméable ou peu perméable
	Très lente	0,015 – 0,15	Imperméable
	Extrêmement lente	≤ 0.015	

Tableau 4.16 : Niveau de perméabilité du sol estimé en fonction de la classe texturale, de la structure et de la consistance[1] (adapté de Tyler, 2001)

Classe texturale	Structure		Niveau de perméabilité[1]
	Type	Grade	
Sable grossier, sable, sable limoneux grossier et sable limoneux	Sans structure		Très perméable
Sable fin, sable très fin, sable limoneux fin et sable limoneux très fin	Sans structure		Perméable
Limon sablonneux grossier et limon sablonneux	Sans structure		Peu perméable
	Lamellaire	Faible	Peu perméable
		Modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Perméable
		Modéré ou fort	Très perméable
Limon sablonneux fin et limon sablonneux très fin	Sans structure		Peu perméable
	Lamellaire	Faible, modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Peu perméable
		Modéré ou fort	Perméable
Limon	Sans structure		Peu perméable
	Lamellaire	Faible, modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Perméable
		Modéré ou fort	Très perméable
Silt-limon	Sans structure		Imperméable
	Lamellaire	Faible, modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Perméable
		Modéré ou fort	Très perméable
Silt, argile sablonneux, limon, argile-limon et argile silteux-limon	Sans structure		Imperméable
	Lamellaire	Faible, modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Peu perméable
		Modéré ou fort	Perméable
Argile sablonneux, argile silteux et argile	Sans structure		Imperméable
	Lamellaire	Faible, modéré ou fort	Imperméable
	Prismatique, polyédrique ou granulaire	Faible	Imperméable
		Modéré ou fort	Peu perméable

1 Si la consistance de l'horizon du sol est plus forte que ferme, qu'elle appartient à une classe cimentée ou que la minéralogie de l'argile est smectique (argile dite « gonflante »), l'horizon sera limitant pour l'implantation d'un OEIS.

5 Estimation du NMMES

Les mesures du niveau des eaux souterraines effectuées au moyen de piézomètres ne donnent qu'un portrait instantané au moment des lectures. Il est donc essentiel de compléter cette information en procédant à une estimation du **niveau maximum moyen des eaux souterraines** (NMMES). Ce niveau correspond à la moyenne des niveaux maximums de la nappe d'eau souterraine enregistrés, sur une base mensuelle, dans des piézomètres installés sur le site. Sa détermination requiert toutefois de relever une série de données sur une base régulière pendant une période minimale de deux ans.

En l'absence de telles données, des méthodes d'évaluation du sol et du site peuvent être utilisées pour estimer le niveau saisonnier élevé de la nappe phréatique (*seasonally high water table*). Celui-ci fournit une bonne indication du niveau maximum moyen de saturation de la couche naturelle du sol au-dessus de laquelle l'oxygénation est suffisante pour permettre le traitement des eaux usées. Cette approche permet d'estimer le niveau élevé de l'eau souterraine et des fluctuations de la nappe à partir de la présence des **traits d'oxydoréduction** des sols.

5.1 Interprétation des traits d'oxydoréduction

5.1.1 Expression morphologique de l'hydrologie des sols

Le régime hydrique d'un sol influence sa couleur en agissant sur l'état, le mouvement et l'accumulation de la matière qui enrobe et pigmente ses particules. Le fer (Fe) est le principal colorant des sols, dont l'oxydation et la réduction occasionnent des variations de couleur indicatives de leur régime hydrique, particulièrement du niveau des eaux souterraines.

Dans un milieu non saturé en eau où se maintiennent des conditions aérobies, le fer sous forme oxydée (Fe3+) est habituellement responsable des **colorations de sol allant du rougeâtre au brun jaunâtre**.

Dans un milieu saturé en eau, la diffusion de l'oxygène est limitée et il se développe des conditions anoxiques. L'oxygène dissous dans l'eau est rapidement consommé par les microorganismes du sol, qui l'utilisent a priori comme accepteur d'électron lors de l'oxydation des composés organiques. Une baisse du potentiel d'oxydoréduction du milieu est observée. Les microorganismes anaérobiques utilisent alors d'autres éléments, dont le plus commun est le fer, comme accepteurs d'électrons pour respirer. Dans un milieu réducteur, le fer sous forme réduite (Fe2+) est typiquement responsable de colorations **grisâtres, olivâtres ou bleuâtres de faible saturation**.

Sous sa forme réduite, le fer est soluble et sujet à la lixiviation ou à la migration. Il se forme alors des zones appauvries en pigments de fer (déplétions) qui causent la couleur souvent grisâtre ou pâle des surfaces minérales du matériau parental. Lorsque de l'oxygène s'introduit en milieu réducteur via la porosité, un canal racinaire ou une fente de retrait, souvent en raison de la baisse du niveau de la nappe d'eau souterraine, le fer réduit exposé à l'oxygène est oxydé et devient immobile. Il se forme alors des zones enrichies en fer (concentrations ou marbrures) d'une couleur allant du rougeâtre au brunâtre (figure 5.1). **Les horizons qui montrent des marbrures sur une matrice grisâtre de faible saturation sont souvent associés à une zone d'oscillation des eaux souterraines (saturation saisonnière)**.

Figure 5.1 : Zones grisâtres appauvries en pigments de fer et zones enrichies en fer (concentrations ou marbrures) d'une couleur allant du rougeâtre au brunâtre (source : Gilles Gagné)

Dans un milieu fortement réducteur, les couleurs de réduction sans marbrures suggèrent que la majorité du fer a été réduit et que le sol subit des périodes de saturation en eau prolongées (permanentes ou quasi permanentes). La figure suivante présente le profil d'un gleysol présentant, à partir de 65 cm, un horizon fortement réduit, caractérisé par une matrice de couleur grise et des marbrures peu marquées (figure 5.2).

Figure 5.2 : Profil d'un gleysol présentant un horizon fortement réduit (source : IRDA)

Les déplétions, les marbrures et les matrices réduites sans marbrures sont des traits d'oxydoréduction typiques qui indiquent des conditions de saturation en eau périodiques ou permanentes. Les horizons qui montrent une matrice grisâtre de faible saturation avec ou sans marbrures sont considérés comme gleyifiés. **Ainsi, la profondeur à laquelle les traits d'oxydoréduction débutent, soit la limite supérieure de la zone gleyifiée (profondeur du gley), marque le niveau saisonnier élevé de la nappe phréatique et, par conséquent, donne une bonne indication du NMMES.**

5.1.2 Couleurs diagnostiques des traits d'oxydoréduction

Un horizon de sol gleyifié, indiquant une intense réduction permanente ou périodique, est caractérisé par des traits d'oxydoréduction, c'est-à-dire une couleur grise ou des marbrures très marquées, ou les deux. Des critères de couleur sont définis par le SCCS pour l'établissement du diagnostic d'un horizon gleyifié.

Notons qu'un horizon sans marbrure avec une saturation (*chroma*) inférieure ou égale à 1 et une luminosité (*value*) inférieure à 4, correspondant au noir ou au gris très foncé, n'est pas forcément associé à un environnement de saturation ou de réduction (Vepraskas et Vaughan, 2016). Ainsi, les critères diagnostiques ne s'appliquent pas aux horizons de surface Ah ou Ap, dont la faible saturation est due à la présence de matière organique. Néanmoins, certaines caractéristiques peuvent suggérer la présence de conditions réductrices, jusqu'à la surface du sol notamment, lorsque la couche de surface est humifère (entre 9 et 17 % de C organique) ou organique (plus de 17 % de C organique). Il est aussi possible que l'horizon de surface soit sujet à des périodes de réduction temporaires lorsque l'horizon sous-jacent est fortement gleyifié (ex. : un horizon Ah directement sur un horizon Bg).

De plus, les critères établis ne s'appliquent pas à un horizon éluvial (Ae) dont les couleurs claires ou pâles sont dues à la perte d'éléments (Fe, Al, matières organiques). Même avec une saturation (*chroma*) inférieure ou égale à 1 et une luminosité (*value*) supérieure ou égale à 4, correspondant au gris ou au gris clair, l'horizon Ae peut être associé à un profil oxydé. Pour qu'un horizon Ae soit qualifié de gleyifié (Aeg), il devrait présenter, en toutes circonstances, des marbrures marquées qui indiquent l'existence de conditions réductrices périodiques près de la surface (GTCS, 2002).

Notons que, dans certains sols issus de matériaux parentaux de couleur rouge, des couleurs de matrice de teinte rougeâtre et de fortes saturations peuvent persister en dépit de longues périodes de réduction. Dans ces sols issus de matériaux rouges, les horizons sont désignés comme étant gleyifiés en présence de marbrures grises ou de décolorations marquées sur les faces des peds ou le long des fissures (GTCS, 2002).

Selon le SCCS, un horizon gleyifié est défini par les critères de couleur suivants, lesquels sont résumés au tableau 5.1 :

- Pour tous les sols, sauf ceux avec des matériaux rouges (5YR ou plus rouge) :
    - des saturations dominantes de couleur 1 ou moins et sans marbrures ou
    - des saturations dominantes de couleur 2 ou moins dans les teintes 10YR et 7.5YR, accompagnées de marbrures marquées de 1 mm ou plus de diamètre et occupant au moins 2 % de la surface exposée, ou
    - des saturations dominantes de couleur 3 ou moins dans des teintes plus jaunes que 10YR, accompagnées de marbrures marquées de 1 mm ou plus de diamètre et occupant au moins 2 % de la surface exposée, ou
    - des saturations dominantes de couleur 1 ou moins dans des teintes plus bleues que 10Y, avec ou sans marbrures.
- Pour les sols développés dans des matériaux rouges (5YR ou plus rouge) :
    - Des marbrures distinctes ou marquées de 1 mm ou plus de diamètre et occupant au moins 2 % de la surface exposée.

Tableau 5.1 : Résumé des critères de couleur servant à classifier un horizon gleyifié (source : GTCS, 2002)

Critères	Tous les sols, sauf ceux avec des matériaux rouges				Sols issus de matériaux rouges
Teinte[1]	Toutes	10YR et 7.5YR	Plus jaune que 10YR	Plus bleue que 10Y	5YR ou plus rouge
Saturation[1]	≤ 1	≤ 2	≤ 3	s. o.	s. o.
Marbrures*	Aucune	Marquées	Marquées	Pouvant être présentes	Distinctes ou marquées

* Dimension ≥ 2 mm et abondance ≥ 2 %

La teinte (*hue*) et la saturation (*chroma*) sont déterminées selon la charte Munsell. Elles doivent faire référence à la couleur dominante de la matrice à l'état humide. Les classes de contraste entre la couleur des marbrures et celle de la matrice sont définies au tableau 4.5.

5.1.3 Relations généralisées entre le niveau des eaux souterraines et les traits d'oxydoréduction

Un schéma simple permet de relier les couleurs du sol et son statut hydrologique selon trois principaux environnements décrits ci-dessous (Schaetzl et Thompson, 2015).

5.1.3.1 Conditions d'oxydation complète

Dans les sols poreux où la nappe d'eau souterraine est très profonde, les couleurs indiquent des conditions d'oxydation sans traits d'oxydoréduction (figure 5.3). La matrice du sous-sol montre des colorations rouges, brunes ou jaunes avec généralement les teintes 10YR, 7.5YR ou parfois 5YR. Les couleurs sont relativement uniformes dans les horizons et changent graduellement dans l'axe vertical du profil. Les sols sont bien à très rapidement drainés. Si la nappe remonte près de la surface pendant une brève période, elle n'affecte pas la couleur ou l'effet s'estompe rapidement.

5.1.3.2 Conditions de réduction complète

Dans les sols humides où la nappe d'eau souterraine se trouve près de la surface, les couleurs indiquent des conditions de réduction. La matrice du sol montre des colorations grises, gris-olive ou gris-bleu avec des teintes 2.5Y, 5Y, 10Y, N ou même 5GY, souvent associées aux pages de gley de la charte Munsell. Les couleurs sont relativement uniformes dans le profil. La plupart de ces sols sont très mal à mal drainés. Aucun signe d'oxydation périodique (marbrure) n'est visible dans la partie supérieure du profil, souvent masqué par le contenu élevé en matière organique. Ces sols peuvent d'ailleurs présenter une couche de sol organique (plus de 17 % en poids de C organique) en surface.

5.1.3.3 Fluctuation de la nappe d'eau souterraine

Tous les sols, hormis ceux bien à très rapidement drainés, sont affectés par la nappe d'eau souterraine à un moment de l'année. Ainsi, la plupart des sols dont la nappe oscille au cours de l'année sont modérément bien à mal drainés. Dans ces sols, les horizons associés à la zone de fluctuation de la nappe présentent des déplétions (zone grise) et des concentrations de fer oxydé (marbrures orangées). Le profil typique montre une séquence d'horizons à la matrice complètement réduite en profondeur qui changent pour des horizons marmorisés si on remonte vers la surface. Lorsque le niveau élevé de la nappe d'eau n'atteint pas la surface, des horizons jaune-brun se retrouvent dans la partie supérieure du profil (horizons B supérieurs). À l'occasion, la saturation en eau peut être due à une nappe perchée avec une accumulation temporaire d'eau au-dessus d'une couche relativement imperméable (ex. : couche cimentée). Dans une telle situation,

il est possible de rencontrer des horizons gleyifiés au-dessus d'une couche très peu perméable avec des horizons non gleyifiés plus en profondeur.

La figure suivante montre un profil de sol présentant des conditions d'oxydation (couleur 10YR50/40) complètes jusqu'à 40 cm. Ainsi, après 40 cm, le sol est gleyfié, il devient grisâtre et des marbrures sont présentes. Le NMMES est situé à 40 cm de profondeur.

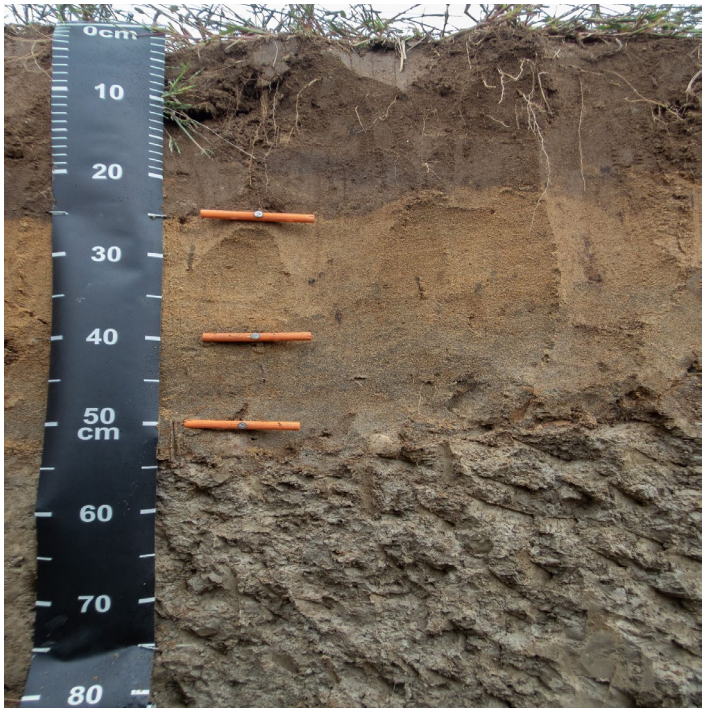


Figure 5.3 : Profil de sol présentant des conditions d'oxydation complètes suivi d'un horizon gleyfié (source : IRDA)

Les horizons marmorisés peuvent présenter différents patrons de couleurs dans divers contextes hydrologiques. Dans la zone de fluctuation de la nappe, les déplétions (zones grises) et les marbrures peuvent se former à l'intérieur des peds ou à la surface de ceux-ci, des canaux racinaires et des galeries de vers de terre (soit là où se trouvent de la porosité, des espaces vides pouvant être occupés par de l'eau libre ou de l'air). En général, plus la période de saturation en eau est courte avec une longue période aérée, plus la couleur de la matrice est brunâtre et moins les marbrures sont contrastées par rapport à la matrice (ex. : Bmgj, Bfjgj). À l'inverse, plus un horizon de sol est saturé en eau pendant une longue période avec une courte période sèche, moins les marbrures sont abondantes, plus la couleur de ces marbrures est pâle et moins elle contraste avec la couleur grisâtre de la matrice réduite. Les marbrures sont certes plus abondantes dans la zone du profil où la variation du potentiel d'oxydoréduction est la plus importante (Duchaufour et coll., 2018; Schaetzl et Thompson, 2015). Néanmoins, il n'est pas possible de prédire, par l'abondance, la forme ou la dimension des marbrures, la durée de la saturation sans effectuer une calibration selon le contexte local par le suivi des nappes (Vepraskas et Lindbo, 2012). Néanmoins, dans tous les cas, les critères de couleur des horizons gleyifiés du tableau 5.1 sont des indicateurs morphologiques clés permettant d'estimer précisément le NMMES.

Figure 5.4 : Profil d'un sol de la série Saint-Urbain caractérisé par un horizon gleyifié à partir d'une profondeur de 20 cm qui correspond au NMMES (source : IRDA)

5.1.4 Mises en garde relatives à l'interprétation des traits d'oxydoréduction

Les traits d'oxydoréduction fournissent beaucoup d'informations sur le statut hydrologique à long terme du sol. Cependant, en raison de la nature de celui-ci et des conditions pédogénétiques actuelles ou antérieures, la correspondance entre la morphologie du sol et l'hydrologie peut être altérée ou biaisée.

Ainsi, il convient de prévenir deux types de mésinterprétation des traits d'oxydoréduction, à savoir les traits difficiles à observer ou absents malgré les périodes de saturation en eau et, à l'inverse, les traits présents malgré l'absence de périodes de saturation en eau (GTCS, 2002; Schaetzl et Thompson, 2015; Vepraskas, 2015; Vepraskas et Lindbo, 2012; Vepraskas et Vaughan, 2016).

5.1.4.1 Traits d'oxydoréduction difficiles à observer ou absents

Baisse insuffisante du potentiel d'oxydoréduction

Les milieux saturés en eau ne sont pas toujours des milieux réducteurs où des traits d'oxydoréduction liés au fer peuvent se développer. Rappelons qu'une baisse du potentiel d'oxydoréduction résulte de l'oxydation de composés organiques par les microorganismes en l'absence d'oxygène. Ainsi, les sols et plus particulièrement les couches de sol profondes (au-delà de la zone racinaire) qui n'ont aucune ou qui ont une faible population microbienne active ou une source de carbone organique oxydable ne développeront pas de traits d'oxydoréduction.

De plus, un pH élevé diminue la tendance d'un élément à accepter des électrons. Ainsi, lorsque le pH du sol est élevé (pH > 7), la réduction du fer nécessite un potentiel d'oxydoréduction plus bas, de sorte que la formation de traits d'oxydoréduction est moins probable ou atténuée dans les sols alcalins. Par ailleurs, dans des conditions où le potentiel d'oxydoréduction est très bas et le pH, près de la neutralité, le fer s'accumule sous forme insoluble de couleur bleu-vert (ex. : $FeCO_3$), ce qui explique la couleur verdâtre de certaines argiles calcaires mal drainées.

Enfin, il arrive que des sols périodiquement saturés en période hivernale, où le froid réduit l'activité biologique, ne développent pas les propriétés associées aux conditions réductrices. Notons toutefois qu'au Québec, les niveaux élevés de la nappe s'observent habituellement avant et après la période hivernale (fin de l'automne et début du printemps), au moment où les microorganismes du sol sont actifs.

Autres éléments dominants de coloration

L'expression des traits d'oxydoréduction peut être masquée ou confondue par un matériau parental de couleur rougeâtre ou foncée ou par une forte concentration en matière organique. Certains sols lithochromes, c'est-à-dire dont la couleur est principalement héritée du matériau parental, présentent des teintes orangées ou rouges dues à l'abondance de fer oxydé dans les minéraux du matériau parental (la plupart du temps une roche mère), ce qui rend les traits peu perceptibles.

Les traits d'oxydoréduction sont aussi difficiles à observer dans un horizon comportant beaucoup de matière organique, car les pigments noirs contrôlent la couleur et le brassage biophysique des racines et de la faune du sol altère l'empreinte des marbrures.

Les critères de couleur des horizons gleyifiés permettent en partie de contrer ce genre de mésinterprétation (critères adaptés aux sols rouges et critères non applicables aux horizons de surface avec un contenu élevé en C organique [Ap ou Ah]). De plus, l'étude préliminaire des sols environnants donne une indication de la couleur du matériau parental (ex. : matériau de couleur rouge de certains sols de la péninsule gaspésienne). Néanmoins, pour les faibles saturations dont la luminosité est inférieure à 4, il est important d'analyser le profil dans son ensemble avant de conclure à un horizon gleyifié. Par exemple, il serait peu probable de rencontrer un horizon gleyifié au-dessus d'un horizon pleinement oxydé, à moins que cet horizon soit cimenté et imperméable, permettant alors le maintien d'une nappe perchée temporaire. Il serait plus probable qu'il s'agisse d'un horizon avec accumulation de C organique (Ahe, Bh) aucunement gleyifié malgré une couleur de faible saturation.

Les couleurs de certains horizons peuvent résulter de plusieurs processus pédogénétiques. Les traits d'oxydoréduction peuvent être difficiles à observer dans les sols podzoliques, car les couleurs d'oxydation associées aux processus d'éluviation et d'illuviation peuvent se confondre avec celles des marbrures (horizon Bfg). Certains sols mal drainés ont un horizon Bgf présentant habituellement des marbrures très marquées, avec plus de la moitié de la matrice du sol formant des marbrures avec des couleurs de forte saturation, qu'il ne faut pas confondre avec un horizon fortement oxydé (ex. : Bf). Dans tous les cas, les marbrures marquées doivent être accompagnées d'une matrice de faible saturation (tableau 5.1).

Dans les sols sableux, les traits d'oxydoréduction, particulièrement ceux de petites dimensions, sont parfois difficiles à observer en raison de la porosité de la matrice. De plus, ces traits peuvent être assez éphémères étant donné la faible surface spécifique des sables (un moins grand nombre de pigments sont nécessaires pour colorer les grains de sable que pour les particules de limon et d'argile).

Pédogenèse récente

Les sols développés sur des dépôts nouvellement mis en place tendent à exposer la couleur du matériau parental. Au Québec, il s'agit essentiellement d'alluvions récentes en bordure de rivières ou de lacs dont le processus de sédimentation est parfois encore actif. Ces sols peuvent présenter de mauvaises conditions de drainage dues notamment à leur position basse dans le paysage. Toutefois, étant donné la jeunesse de leur matériau, les signatures morphologiques de réduction ne sont pas toujours visibles ou sont parfois faiblement exprimées.

Faible teneur en fer

L'absence de traits d'oxydoréduction peut aussi être causée par un matériau parental très pauvre en fer, comme dans les sols issus de grès ou de sables composés principalement de quartz. Par contre, les sols du Québec contiennent en général des minéraux ferromagnésiens comme des amphiboles (hornblende), des micas noirs (biotite) ou des pyroxènes avec un contenu élevé en fer.

5.1.4.2 Traits d'oxydoréduction présents malgré l'absence de périodes de saturation en eau

Reliques

Les traits d'oxydoréduction peuvent refléter des conditions hydropédologiques contemporaines ou peuvent être des reliques. Lorsqu'un sol humide est drainé, le plus souvent par des actions anthropiques (fossés, drains souterrains, stations de pompage), la nappe d'eau souterraine est normalement abaissée, mais les traits d'oxydoréduction peuvent persister pendant plusieurs années. A priori, les traits d'oxydoréduction devraient être considérés comme applicables à la situation actuelle, à moins qu'il existe des preuves solides qu'ils reflètent des conditions du passé (évidence de travaux de drainage du site). Ces traits ne peuvent être qualifiés de reliques avec certitude sans que des mesures piézométriques confirmant que l'hydrologie est différente de ce que les traits suggèrent aient été effectuées. Néanmoins, quelques indicateurs peuvent aider à interpréter des traits suspectés d'être des reliques.

Habituellement, les marbrures contemporaines présentent des limites diffuses avec la matrice. En revanche, les marbrures qui sont des reliques peuvent comporter des limites abruptes indiquant que leur processus de formation est terminé. Si toutes les marbrures d'un horizon présentent des limites abruptes, il est possible que l'hydrologie du sol ait changé et que l'horizon soit devenu aéré toute l'année. Par contre, il faut aussi examiner les horizons sous-jacents pour identifier des traits d'oxydoréduction qui se seraient maintenus ou qui pourraient être en train de se former.

Matériau parental grisâtre et marbrures lithochromiques

Les traits d'oxydoréduction peuvent être confondus avec des patrons de couleurs liés au matériau parental. Par exemple, certains sols bien drainés développés dans un matériau d'origine glaciaire (till) ont une coloration brun-jaunâtre dans le sous-sol, mais deviennent de plus en plus grisâtres en profondeur, car le degré d'altération est plus élevé dans la partie supérieure que dans la partie inférieure du profil. Ainsi, les couleurs grises n'indiquent pas nécessairement un niveau élevé de la nappe d'eau. Habituellement, il existe une zone de fluctuation de la nappe d'eau avec présence de marbrures entre une zone grisâtre complètement réduite et une zone jaunâtre aérée.

Certains sols présentent des marbrures lithochromiques qui ne sont pas des traits d'oxydoréduction, mais des mouchetures de couleurs liées à l'hétérogénéité du matériau parental. Des fragments de roche altérés et oxydés peuvent aussi être confondus avec des concentrations de fer oxydé. Cependant, dans ce cas, la matrice ne devrait pas présenter de couleur de faible saturation.

5.1.4.3 Horizon éluvial

L'horizon éluvial (Ae), caractérisé par l'éluviation d'argile, de fer, d'aluminium ou de matière organique, seuls ou en combinaison, présente une couleur pâle de faible saturation et surmonte un horizon d'accumulation (figure 5.5). L'horizon Ae a souvent une saturation inférieure à 2 et une luminosité de 4 ou plus lorsque les particules de sol ont été dépouillées des pigments d'oxyde de fer. Cette perte de fer peut découler des processus de réduction ou de podzolisation, où les acides organiques produits dans les horizons de surface migrent vers l'horizon Ae, dissolvent le fer et l'entraînent dans les horizons sous-jacents. L'horizon Ae n'est pas considéré comme un horizon gleyifié. Un horizon Ae grisâtre qui est formé dans des conditions réductrices présente des marbrures marquées (dimension supérieure ou égale à 2 mm et abondance supérieure ou égale à 2 %). De plus, les horizons sous-jacents à un horizon Aeg devraient aussi être gleyifiés avec des traits d'oxydoréduction (ex. : Bfg, Bg).

Figure 5.5 : Profil d'un sol de la série Saint-Jude présentant un horizon éluvial (Ae) de 19 à 38 cm de profondeur (source : IRDA)

5.2 Interprétation de la classe de drainage naturel d'un sol

La classe de drainage naturel d'un sol fait référence à la fréquence, à la profondeur et à la durée des périodes durant lesquelles le sol est complètement ou partiellement saturé en eau dans des conditions naturelles (ni drainé ni irrigué). Cette classe est estimée par l'examen morphologique (couleur, marbrures, texture) du profil du sol. Le tableau 5.2 présente les sept classes de drainage reconnues au Canada.

Habituellement, l'étude préliminaire des cartes pédologiques à l'échelle régionale (voir la section 3) donne un aperçu des séries de sols potentiellement rencontrées sur le site. Les classes de drainage associées aux séries de sols donnent ainsi une indication primaire du NMMES aux environs du site. En effet, la classe de drainage naturel, établie par des indicateurs morphologiques comme les traits d'oxydoréduction, est généralement corrélée avec la profondeur de la nappe d'eau souterraine. Les marbrures et les couleurs de réduction sont des traits diagnostiques permettant d'identifier les sols modérément bien, imparfaitement, mal ou très mal drainés (figure 5.6).

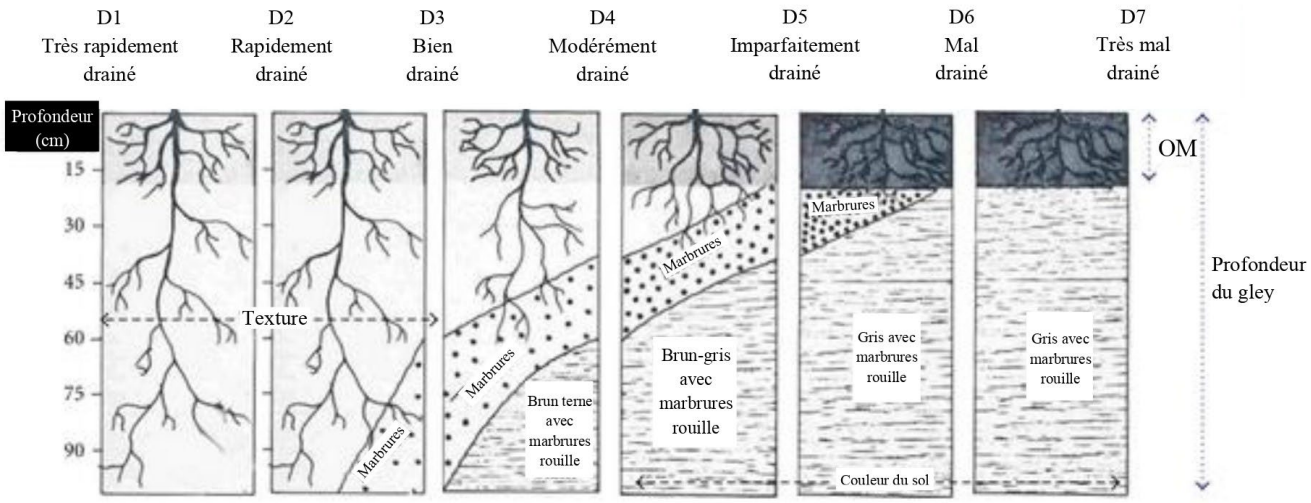


Figure 5.6 : Profondeur des traits d'oxydoréduction généralement observés en relation avec les classes de drainage naturel (source : adapté de Niang et coll., 2012)

Tableau 5.2 : Description des classes de drainage naturel des sols au Canada

Classe de drainage naturel	Caractéristiques applicables lorsque le sol n'a pas été artificiellement drainé (CEPP, 1982)	Profondeur typique du niveau élevé de la nappe d'eau souterraine	Position typique des traits d'oxydoréduction
Très rapidement drainé	Le retrait d'eau du sol est très rapide par rapport à l'apport d'eau. Le sol a une très faible capacité de rétention d'eau, habituellement inférieure à 2,5 cm dans la coupe témoin, sa texture est en général grossière ou il est peu profond.	>180 cm	Aucun trait
Rapidement drainé	Le retrait d'eau du sol est rapide par rapport à l'apport d'eau. Le sol a une faible capacité de rétention d'eau, soit de 2,5 à 4,0 cm dans la coupe témoin, sa texture est généralement grossière ou il est peu profond.	>180 cm	Aucun trait
Bien drainé	Le retrait d'eau du sol se fait facilement, mais peu rapidement. Le sol a une capacité moyenne de rétention d'eau, soit de 4 à 5 cm dans la coupe témoin, et il présente généralement une texture et une profondeur moyennes.	100-180 cm	Gleyifié dans l'horizon BC ou C inférieur à 100 cm
Modérément bien drainé	Le retrait d'eau du sol est assez lent par rapport à l'apport d'eau. Le sol a une capacité moyenne à élevée de rétention d'eau, soit de 5 à 6 cm dans la coupe témoin, et sa texture est en général moyenne ou fine. Dans un sol de texture grossière, l'eau doit provenir des précipitations et de l'écoulement souterrain.	75-100 cm	Gleyifié dans l'horizon BC ou C inférieur à 75 cm
Imparfaitement drainé	Le retrait d'eau du sol est assez lent par rapport à l'apport d'eau de telle sorte que le sol reste humide pendant une grande partie de la saison de croissance. Les sols varient grandement du point de vue de la capacité de rétention d'eau, de la texture et de la profondeur, et ils correspondent aux phases gleyifiées des sous-groupes bien drainés.	50-75 cm	Gleyifié dans l'horizon B médian ou inférieur et dans l'horizon C
Mal drainé	Le retrait d'eau du sol est si lent par rapport à l'apport d'eau que le sol reste humide pendant une assez grande partie du temps où il n'est pas gelé. La capacité de rétention d'eau, la texture et la profondeur du sol varient fortement. Ce sol appartient aux sous-groupes gleyifiés, aux gleysols ou aux sols organiques.	20-50 cm	Gleyifié dans l'horizon B et matrice réduite sans marbrures marquées dans l'horizon C inférieur à 75 cm
Très mal drainé	Le retrait d'eau du sol est si lent que la nappe phréatique atteint ou dépasse sa surface pendant la plus grande partie de la période où il n'est pas gelé. La capacité de rétention d'eau, la texture et la profondeur du sol varient fortement et ce dernier est soit gleysolique, soit organique.	Surface ou <20 cm	Gleyifié dans l'horizon B ou matrice réduite sans marbrures marquées jusqu'à la surface ou à l'horizon O

6 Analyse des observations

6.1 Interprétation des résultats

La **stratigraphie du sol du terrain récepteur** est établie à partir des **coupes stratigraphiques** obtenues du puits d'exploration et des sondages. Elle permettra d'estimer le NMMES et d'établir le niveau du roc et de toute couche de sol limitante pour l'implantation d'un OEIS. L'**épaisseur minimale du sol naturel non saturé disponible** sous la surface du terrain récepteur pourra ainsi être obtenue de même que son niveau de perméabilité estimé. Ces renseignements permettront d'identifier les types d'OEIS et leurs niveaux d'implantation possibles en considérant la topographie du site, la pente du terrain récepteur, la superficie disponible et les exigences du Règlement. Pour plus d'information, on peut consulter la *fiche d'information Choix des composantes d'un dispositif d'évacuation, de réception ou de traitement des eaux usées domestiques des résidences isolées* (MELCCFP, 2013 – révisée en 2021).

Les niveaux d'implantation d'OEIS envisagés permettront par la suite de déterminer à quels endroits et à quelles profondeurs les essais prévus par le Règlement devront être réalisés pour établir le niveau de perméabilité du sol qui sera mis à contribution pour traiter et évacuer les eaux usées.

6.1.1 Estimation du NMMES

La description des couleurs pour chacune des couches de sol du profil sert à estimer le NMMES. La section 5 traite des éléments qui permettent de le faire lors de la description de la stratigraphie d'un sol. À moins de conditions particulières mentionnées à cette section, la profondeur de la couche limitante reliée aux eaux souterraines débute à la limite supérieure du premier horizon gleyifié

6.1.2 Profondeur du roc

Le roc constitue une couche limitante pour l'implantation de tous les OEIS. Son niveau doit être mesuré lorsqu'il est présent à moins de 1,8 m de profondeur.

6.1.3 Niveau de perméabilité des horizons du sol

La texture, la structure et la consistance du sol ont un impact sur son niveau de perméabilité. Plus le sol est sableux et contient du sable grossier, plus il est perméable. À l'inverse, plus le sol est argileux et mal structuré, moins il est perméable. Le tableau 4.16, adapté de Tyler (2001), permet d'estimer le niveau de perméabilité de chacune des couches observées en fonction de la texture et de la structure (type et grade). Ce tableau ne s'applique toutefois pas aux horizons du sol dont la consistance est plus forte que ferme, qui appartiennent à une classe cimentée ou de classe minéralogique smectique (argile dite « gonflante »). Ce niveau de perméabilité devra toutefois être confirmé par au moins une méthode prévue par le Règlement.

6.2 Contenu du rapport

Le contenu du rapport sur l'étude, requis pour satisfaire aux exigences de l'article 4.1 du Règlement, est précisé dans la fiche 4.1.

Pour la description de la stratigraphie du sol, les puits d'exploration et les sondages devraient être localisés sur le plan d'ensemble. Les coupes stratigraphiques de ces puits d'exploration et de ces sondages devraient également être présentées dans le rapport afin de démontrer que la stratigraphie proposée pour le choix et la conception de l'OEIS est représentative du terrain récepteur. L'épaisseur du dépôt organique devrait y être précisée ainsi que les paramètres suivants, décrits pour chaque horizon de sol rencontré selon les méthodes présentées dans le chapitre 4 :

- La profondeur et l'épaisseur;
- La classe d'humidité;
- La couleur de la matrice;
- La couleur, l'abondance et le contraste des marbrures;
- La texture et la classe texturale du sol;
- La proportion et la classe de fragments grossiers;
- Le type, la dimension et le développement (grade) de la structure;
- La consistance;
- La classe de cimentation;
- L'abondance, la dimension et l'orientation des racines, s'il y a lieu;
- Le niveau de perméabilité.

Les échantillons prélevés et les essais effectués devraient être localisés sur les coupes stratigraphiques.

Enfin, le rapport devrait présenter le profil stratigraphique du sol du terrain récepteur retenu en indiquant l'épaisseur du dépôt organique, le NMMES, le niveau du roc et, pour chaque horizon de sol, le niveau, l'épaisseur, la classe texturale et le niveau de perméabilité associé. Ce rapport devrait aussi fournir une justification du choix et de la conception de l'OEIS.

7 Argiles dites « gonflantes »

Depuis le 3 décembre 2020, le Règlement permet, sous réserve de certaines conditions, la mise en place d'un filtre à sable hors sol ou d'un champ de polissage dans un sol dont la texture se situe dans la zone imperméable du triangle de son annexe 1. Le Règlement prescrit également des conditions d'implantation, notamment les suivantes :

- Les tests de conductivité hydraulique ou de percolation démontrent que le sol du terrain récepteur est perméable ou peu perméable.

- Le sol du terrain récepteur possède une consistance, à l'état humide, meuble, très friable, friable ou ferme et n'appartient pas à une classe de cimentation.

- Le sol du terrain récepteur n'appartient pas à la classe minéralogique smectique.

Concernant ce dernier point, la tendance des sols argileux à se gonfler et à se rétracter en fonction de leur teneur en eau est liée à leur teneur en argile ainsi qu'au type de minéraux argileux présents. Cette caractéristique affecte la perméabilité de l'argile lorsqu'elle gonfle en présence d'eau. Ce sont principalement les **minéraux du groupe des smectites** qui présentent cette propriété. Leurs variations de volume sont de l'ordre de 10 à 1 (Duchaufour et coll., 2018). Ce comportement de retrait et de gonflement

engendre des mouvements de masse dans le profil du sol et la formation de fentes de retrait qui perturbent ses propriétés hydrologiques, dont sa capacité d'infiltration en eau.

7.1 Définition de la classe smectique selon le SCCS

Le SCCS (GTCS, 2002) comprend une organisation hiérarchique qui compte cinq catégories (ordre, grand-groupe, sous-groupe, famille, série) et qui permet de considérer les sols selon divers degrés de généralisation. La minéralogie est un critère de classification se situant au niveau de la famille.

Les classes minéralogiques de la famille sont basées sur la composition minéralogique des fractions granulométriques sélectionnées dans la partie de la coupe témoin qui est utilisée pour la désignation des classes granulométriques, généralement à une profondeur de 25 à 100 cm (critères de profondeur détaillés aux pages 144 et 145 du SCCS [GTCS, 2002]). La classe smectique s'applique aux sols de granulométrie argileuse ou squelettique-argileuse (classes granulométriques de la famille), c'est-à-dire aux sols ayant 35 % ou plus d'argile (en poids) de la fraction de terre fine (≤ 2 mm). Les sols de la classe smectique contiennent plus de 50 % (en poids) de smectites (montmorillonite ou nontronite) ou un mélange comportant une quantité plus grande de smectites que tout autre minéral argileux, et ce, dans la fraction granulométrique inférieure à 0,002 mm.

Ainsi, pour désigner un sol de la **classe minéralogique smectique**, la fraction de terre fine (≤ 2 mm) du sous-sol doit contenir 35 % ou plus (en poids) d'argile (< 0,002 mm) et cette fraction granulométrique (< 0,002 mm) doit contenir plus de 50 % (en poids) de smectites ou un mélange comportant une quantité plus grande de smectite que tout autre minéral argileux.

Au Canada, les **vertisols** contiennent 60 % ou plus d'argile[16], dont au moins la moitié est constituée de smectites. Cet ordre de sols présentant un contenu élevé en argiles « gonflantes » est caractérisé par des horizons perturbés et brassés par des alternances de gonflement et de retrait associées à des cycles d'humectation et de dessiccation. Le concept central de l'ordre est celui des sols présentant des fentes de retrait, de l'argilipédoturbation et d'un mouvement de masse mis en évidence par la présence de faces de glissement et de fortes dislocations dans la coupe témoin. La majorité des étendues de vertisols sont situées dans les plaines intérieures de l'Ouest du Canada (GTCS, 2002).

En général, les sols argileux du Québec ne semblent pas posséder les caractéristiques minéralogiques des argiles et des régimes d'humidité des sols permettant d'exprimer le développement de propriétés morphologiques typiques des vertisols avec leurs horizons diagnostiques (Lamontagne, 2004; Brierley et autres, 2011).

7.2 Conditions de la présence de minéraux smectiques

Les argiles minéralogiques (phyllosilicates) du groupe des smectiques trouvées dans les sols peuvent être héritées du matériau parental, résulter d'une transformation ou être néoformées sous certaines conditions physicochimiques.

La néoformation de smectites (montmorillonite ou nontronite, saponite, beidellite) nécessite une hydrolyse totale de minéraux (dans un climat chaud) qui libère des constituants de base (alumine, silice). Ces constituants peuvent être recombinés en smectites s'ils n'ont pas été complexés à la matière organique et que le milieu est confiné avec un pH supérieur à 7 (faible précipitation et/ou drainage lent dans un matériau parental calcaire), principalement dans un climat méditerranéen ou subtropical. Les saponites et les nontronites (formes ferrifères de beidellites caractéristiques des vertisols formés sur basalte) sont rares dans les sols (Churchman et Velde, 2019; Duchaufour et coll., 2018).

Ainsi, dans un climat tempéré ou boréal, l'origine des argiles smectiques est essentiellement un héritage et une transformation. Les smectites d'héritage proviennent de l'altération physique de roches détritiques,

[16] Ceux-ci correspondent à la classe texturale de l'argile lourde du SCCS.

qui les ont piégées lors de leur sédimentation sous-marine et de leur diagenèse. La roche mère du matériau parental doit donc contenir des minéraux smectiques pour que des smectites d'héritage soient présentes dans le sol. Les smectites de transformation (aussi nommées « smectites de dégradation ») résultent de microdivisions et d'altérations biochimiques faibles avec des pertes de certains ions (K^+, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Al^{3+}). Ce processus concerne notamment la transformation de micas (muscovite, biotite) en argiles micacées (illite, vermiculite) ou de chlorites en vermiculites. Dans un milieu très acide, soit des environnements rencontrés principalement dans les horizons supérieurs acides et éluviaux (Ae) de sols podzoliques, la perte d'ions Al^{3+} entraine la transformation de vermiculites en smectites (beidellite) (Churchman et Velde, 2019; Duchaufour et coll., 2018).

7.3 Statut minéralogique des sols du Québec

La plupart des sols du Canada ont une minéralogie mixte, si ce n'est l'exception notable des sols argileux smectiques des plaines intérieures de l'Ouest du Canada (GTCS, 2002), dont la minéralogie est héritée de la roche sédimentaire sous-jacente de la période crétacée (Kodama, 1979). Les sols du Québec sont en général caractérisés par une composition minéralogique mixte (Lamontagne et Nolin, 1997) en raison de la nature géologique des matériaux parentaux et, dans une moindre mesure, des processus pédogénétiques (De Kimpe et coll., 1979; Kodama, 1979).

7.3.1 Minéraux hérités des matériaux parentaux

La nature géologique du socle rocheux et des dépôts de surface influence la composition minéralogique des sols. Au Québec, la **majorité des sols** se sont développés dans des matériaux issus des roches du Bouclier canadien et des Appalaches ainsi que, dans une moindre mesure, de la plateforme du Saint-Laurent.

Les roches ignées et métamorphiques du Bouclier canadien (granite, gneiss, micaschiste) sont une source importante de minéraux felsiques comme le quartz, les feldspaths potassiques (microcline) et sodiques (plagioclase), les micas (biotite, muscovite) et les amphiboles (hornblende).

Les roches sédimentaires des Appalaches (mudrock, grès, conglomérat) sont, pour leur part, une source importante de phyllosilicates et de quartz.

Les roches sédimentaires de la plateforme du Saint-Laurent (shale, grès, calcaire) sont aussi une source de phyllosilicates et de quartz, mais plutôt circonscrite à certains sols des basses-terres du Saint-Laurent (ex. : tills locaux trouvés en surface à la suite de l'érosion de sédiments argileux d'origine marine).

L'analyse minéralogique des sédiments argileux déposés dans les mers de Tyrrell (baie d'Hudson), Laflamme (Saguenay–Lac-Saint-Jean), Champlain et Goldthwait (basses-terres du Saint-Laurent) ainsi que dans le lac Barlow-Ojibway (Abitibi-Témiscamingue) montre que les minéraux felsiques dominent les phyllosilicates, même dans la fraction argileuse. La prédominance des minéraux felsiques dans la fraction argileuse traduit le caractère détritique de ces sédiments provenant de l'abrasion glaciaire (Locat et coll., 1984). Les argiles de la mer de Champlain sont constituées, dans une proportion de 50 %, de farine de roche (Bentley et Smalley, 1978; Foscal-Mella, 1976). Les sédiments argileux situés à proximité du Bouclier canadien contiennent relativement plus de minéraux felsiques et moins de phyllosilicates que ceux qui en sont plus éloignés (Quigley, 1980; Locat et coll., 1984), un gradient minéralogique expliqué par la nature des deux principales sources géologiques à l'origine des sédiments.

Selon Lebuis et ses collaborateurs (1982), les particules d'argile (fraction granulométrique inférieure à 0,002 mm) des sédiments argileux de la mer de Champlain sont constituées de quartz (14-40 %), de plagioclases (25-50 %), de feldspaths potassiques (2-15 %), d'amphiboles (0-15 %), de calcite (0-5 %), de dolomite (0-3 %) de même que de phyllosilicates et de matières amorphes (10-45 %). Parmi les phyllosilicates, 80 % sont des micas (principalement des biotites), 15 %, des chlorites et 5 %, des vermiculites et des interstratifiés illites-smectites. Les sédiments argileux de la mer Laflamme présentent une composition similaire de minéraux primaires avec des phyllosilicates constitués d'illites (micacées), de chlorites et de kaolinites, sans trace de smectites (Lessard et Mitchell, 1985). Selon Penner et Burn (1978), la fraction de la dimension argileuse des dépôts marins argileux de l'Est du Canada est principalement

constituée de feldspaths, de quartz et d'amphiboles. Les phyllosilicates sont des micas et des illites avec présence de chlorites et de vermiculites, et les smectites sont absentes ou présentes en petite quantité. Certaines études ont donc permis de noter la présence de smectites et d'interstratifiés (illite-montmorillonite, chlorite-smectite) dans les matériaux parentaux, mais toujours dans de faibles proportions.

7.3.2 Minéraux évolués dans les couches du profil pédologique

La dernière période glaciaire étant relativement récente, les minéraux des sols canadiens sont en général peu altérés, ce qui favorise une prédominance des minéraux primaires par rapport aux minéraux secondaires comme les phyllosilicates. Ce sont principalement les sols podzoliques, dont les chlorites et les micas des horizons de surface se sont transformés, en totalité ou en partie, en argiles partiellement à complètement « gonflantes » (vermiculite alumineuse, smectites), qui présentent les niveaux d'altération les plus importants (Kodama, 1979). Simard et ses collègues (1990) ont observé, pour certains sols acides du Québec (podzols et sols hydromorphes acides), une diminution des teneurs en feldspath et une transformation des micas en minéraux gonflants.

Laverdière et ses collaborateurs (1981) ont étudié la minéralogie de 13 séries de sols sableuses du Saguenay–Lac-Saint-Jean et des basses-terres du Saint-Laurent. La fraction argileuse présente des quantités importantes de smectites de dégradation (beidelite) uniquement dans l'horizon Ae. Les contenus en illite, en chlorite et en vermiculite augmentent avec la profondeur et la kaolinite a été identifiée dans toutes les couches de surface. Le quartz représente le principal minéral de la fraction sableuse, les micas augmentent avec la profondeur (de 0 à 10 %), alors que la distribution des feldspaths potassiques et plagioclases, pouvant atteindre 25 % de cette fraction, est variable.

La composition minéralogique de la fraction argile des séries de sols gleysoliques principalement argileuses, étudiées par De Kimpe et ses collègues (1979) dans les régions de Montréal, de Québec et du Lac-Saint-Jean pour les horizons A, B et C, varie de 18 à 33 % pour le quartz, de 4 à 23 % pour les feldspaths, de 10 à 25 % pour les smectites, de 5 à 16 % pour les vermiculites, de 12 à 56 % pour la somme des illites et des chlorites ainsi que de 1 à 15 % pour le matériel amorphe.

La compilation canadienne de Kodama et de ses collaborateurs (1993) fait état de la minéralogie de 13 sols du Québec dont la classe dominante (> 35 %) est mixte ou micacée, avec des minéraux présentant des quantités modérées (10-35 %) de micas, de chlorites, de quartz, de kaolinites et parfois de vermiculites, de smectites et de feldspaths.

D'après les sols de surface étudiés par Simard et ses collègues (1990), la vermiculite, alumineuse ou chlorotisée pour les podzols, domine la fraction argileuse des trois principales régions physiographiques du Québec. Des chlorites et des illites sont également présents, plus particulièrement dans les Appalaches. Les minéraux interstratifiés se trouvent dans toutes les régions. Dans celle du Bouclier canadien, la fraction argileuse contient aussi des feldspaths et du quartz. Les feldspaths, le quartz et la hornblende composent la fraction limoneuse des sols de la région du Bouclier canadien, alors que le quartz, l'illite et les feldspaths prédominent dans les sols de la région des Appalaches. De manière générale, les minéraux des sols des basses-terres du Saint-Laurent, situés au sud de ce fleuve, s'apparentent aux matériaux appalachiens, tandis que ceux qui se trouvent au nord du Saint-Laurent et dans la portion sud-ouest du Québec, soit dans l'axe des Adirondacks, s'apparentent aux matériaux du Bouclier canadien.

Les connaissances actuelles montrent que les sols du Québec méridional contiennent parfois des minéraux smectiques dans une fraction inférieure à 0,002 mm, mais que leurs proportions sont faibles ou modérées (< 35 %), ou qu'ils sont situés dans les horizons Ae ou Ahe de sols podzoliques à texture sableuse ou limoneuse. Il est donc peu probable que la classe minéralogique smectique puisse être attribuée à un sol du Québec.

7.4 Recommandations

Les sols argileux fermes, collants ou plastiques peuvent contenir une quantité importante d'argile. Les structures prismatiques sont souvent associées aux sols contenant des argiles dites « gonflantes » et peuvent ne pas convenir à la mise en place d'OEIS. C'est pourquoi le Règlement exige la vérification de caractéristiques importantes, notamment la consistance et la structure (type et grade) avec confirmation de la perméabilité du sol par des mesures de conductivité hydraulique ou de temps de percolation, avant que soit permise l'implantation d'OEIS. Cette vérification doit être effectuée avec rigueur en présence de sols ayant un fort contenu en argile, surtout si des structures prismatiques sont observées, celles-ci devant être considérées comme un avertissement du risque de la présence d'argile « gonflante ». Des précautions doivent être prises pour s'assurer d'appliquer le bon protocole pour effectuer les essais de conductivité hydraulique ou de percolation visant à confirmer la perméabilité saturée de ces sols.

Enfin, lors de la description d'un profil de sol argileux, il faut être attentif à la présence de caractéristiques associées aux processus vertisoliques comme les **fentes de retrait** (figure 7.1), les mouvements de masse mis en évidence par des **faces de glissement** et de fortes **dislocations des horizons** dans la coupe témoin. Le terrain récepteur ne devrait pas être utilisé pour la mise en place d'un OEIS lorsque ces caractéristiques sont observées. La figure 7.1 présente un profil de sol de la série Kamouraska comportant des fentes de retrait.

Figure 7.1 : Profil de sol de la série Kamouraska présentant des fentes de retrait
(Source : Gilles Gagné)

Annexe 1 : Autres sources d'information en pédologie

- *Fiches synthèses des séries de sols du Québec*, IRDA. L'IRDA publie sur son site Internet des fiches ayant comme objectifs de vulgariser et de diffuser de l'information sur les principales séries de sols du Québec. Chaque fiche traite d'une série de sols et des propriétés qui y sont associées. Elle présente les principales caractéristiques de la série de sols, une photo d'un profil typique ainsi que la répartition géographique de cette série. L'IRDA a également publié un guide d'utilisation pour ces fiches.

- *Manuel de description des sols sur le terrain*, Comité d'experts sur la prospection pédologique, Système d'informatique des sols au Canada, Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, IRT, contribution n° 82-52, révisé en 1982, 109 p. et annexes.

  Ce document de référence assure une description uniforme des sols selon le SCCS. La majorité des classes et des propriétés définies pour la réalisation de la description de la stratigraphie d'un sol proviennent de ce document, sauf en ce qui concerne la texture et la classe texturale du sol, qui font référence au système du USDA-NRCS.

- *Classement des séries de sols minéraux du Québec selon les groupes hydrologiques*, G. Gagné, I. Beaudin, M. Leblanc, A. Drouin, G. Veilleux, J.-D. Sylvain et A.-R. Michaud, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Québec, Canada, 2013, 81 p.

  La section 2.4.1.2 de cet ouvrage présente des informations générales sur les séries de sols du Québec. Les données modales par série de sols qui se trouvent à l'annexe 2 (sous-groupe taxonomique, classe de drainage, mode de déposition et granulométrie du matériau 1, classe de profondeur et classe de drainage) ont fait l'objet d'une vérification et d'une mise à jour, s'il y a lieu. Selon le cas, la mise à jour a été effectuée par l'entremise du fichier associé au document intitulé *Dossier des noms de sol du Québec* de la Banque de données sur les sols et des études pédologiques d'origine.

- *Le système canadien de classification des sols*, 3e édition, Groupe de travail sur la classification des sols, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, publication 1646, Ottawa, Ontario, 2002, 196 p.

  Cet ouvrage de référence est utile pour la désignation des horizons et la classification taxonomique des sols selon le SCCS. Le chapitre 17 présente un résumé de la terminologie descriptive des propriétés de sols par référence au document *Manuel de description des sols sur le terrain*.

- *Dossier des noms de sols du Québec*, L. Lamontagne et M.-C. Nolin, Équipe pédologique du Québec, Centre de recherches et de développement sur les sols et les grandes cultures, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy, Québec, bulletin d'extension n° 8, 1997, 59 p.

  Le tableau A3 présente une synthèse de plusieurs données sur les séries de sols du Québec. Les provinces, les régions et les sous-régions pédologiques du Québec y sont également brièvement présentées (figure A1 et tableau A2). Pour plus d'information sur cet aspect, le document intitulé *Cadre pédologique de référence pour la corrélation des sols* des mêmes auteurs peut être consulté.

- *Guide de référence en fertilisation*, 2e édition, L.-É. Parent et G. Gagné (éditeurs scientifiques), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2010, 473 p.

La lecture et la compréhension du chapitre 1 de ce guide sont utiles pour réaliser des descriptions de profils de sol, en particulier les pages 1 à 20 et les pages 24, 28 et 29.

- *Guide pratique d'identification des dépôts de surface au Québec*, A. Robitaille et M. Allard, Notions élémentaires de géomorphologie, 2e édition, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 2007, 132 p.

  Ce document permet de mieux comprendre les modes de déposition des dépôts de surface (matériaux parentaux) et de les identifier.

- *Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec*, M. Tabi, L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré, Entente auxiliaire Canada-Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1990.

  Ce document peut aider à mieux décrire certains sols, puisque 157 séries de sols ont été étudiées dans le cadre de l'inventaire qu'il présente.

Annexe 2 : Fiche terrain de description du sol

Fiche descriptive de la stratigraphie du sol

SiteCode	Date

Responsable de la description	Organisme

Coordonnées du sondage	LATITUDE	LONGITUDE

Type de sol	TYPE DE SOL
M- Minéral	O- Organique

Nom de la série de sols	

Classe de pente		PENT
1- 0-0.5 %	5- 10-15 %	8- 0.6-5 %
2- 0.6-2 %	6- 16-30 %	9- 3-9 %
3- 3-5 %	7- 31-45 %	10- 6-15 %
4- 6-9 %		11- 10-30 %

Étude de référence (comté)	ETUD

Type de pente	TYPP
1- Simple	2- Complexe

Remarques pour le site	Remarques_site

Pierrosité	PIER
1- < 0.01% ; > 30m	4- 3-15% ; 0.5-2m
2- 0.01-0.1% ; 10-30m	5- 15-50% ; 0.1-0.5m
3- 0.1-3.0% ; 2-10m	6- ≥ 50% ; < 0.1m

Roccosité	ROCC
1- < 2% ; > 75m	4- 25-50% ; 2-10m
2- 2-10% ; 25-75m	5- 50-90% ; < 2m
3- 10-25% ; 10-25m	6- ≥ 90%

Identifiant des photos	PhotoID

Profondeur du gley (NMMES)	PGLE
	cm

Profondeur du roc	PROC
	cm

Profondeur du dépôt organique	PGLE
	cm

	Remarques à l'horizon
NOC	Remarques_hzn
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Fiche descriptive de la stratigraphie du sol

	Profondeur (cm)		Texture	Fragments grossiers (%)		Humidité du profil
	Supérieure	Inférieure		Total	Classe	
NOC	L_SUP	L_INF	TEX	FRGT	CFRG	HUM
1						
2						
3						
4						
5						
6						

TEX			FRGT	CFRG	HUM
1- Sable grossier	9- Limon sablonneux grossier	17- Argile limon	0- 0%	0- Absent	1- Sec
2- Sable	10- Limon sablonneux	18- Argile silteux limon	1- < 15%	1- Graviers (20 à 75 mm)	2- Humide
3- Sable fin	11- Limon sablonneux fin	19- Argile sablonneux	2- 15-35%	2- Graviers à cailloux (20-250 mm)	3- Trempé
4- Sable très fin	12- Limon sablonneux très fin	20- Argile silteux	3- 35-60%	5- Cailloux (75 à 250 mm)	
5- Sable grossier limoneux	13- Limon	21- Argile	4- 60-90%	6- Cailloux à Pierres (≥ 75 mm)	
6- Sable limoneux	14- Silt limon	22- Organique	5- > 90%	7- Pierres (≥ 250 mm)	
7- Sable fin limoneux	15- Silt				
8- Sable très fin limoneux	16- Argile sablonneux limon				

	Matrice			Marbrures					
	Couleur			Couleur			Description		
	Teinte	Value	Chroma	Teinte	Value	Chroma	Abondance	Dimension	Contraste
NOC	TEI	VAL	CHR	MTE	MVA	MCH	MAB	MDI	MCO
1									
2									
3									
4									
5									
6									

MAB	MDI	MCO	RAB	ROR
1- Peu nombreuses [< 2 %]	1- Petite [<5 mm]	1- Faible	1- Très peu nombreuses (< 1 racine/dm²)	1- Verticales
2- Nombreuses [2-20 %]	2- Moyenne [5-15 mm]	2- Distinct	2- Peu nombreuses (1 à 3 racines/dm²)	2- Horizontales
3- Très nombreuses [20-50 %]	3- Grande [≥15 mm]	3- Fort	3- Nombreuses (4 à 14 racines/dm²)	3- Obliques
4- Extrêmement nombreuses [≥ 50%]			4- Très nombreuses (>14 racines/dm²)	4- Sans orientation

	Structure			Consistance	Perméabilité	Description des racines		
	Type	Classe	Grade			Abondance	Dimensions	Orientation
NOC	STT	STC	STG	CON	PERM	RAB	RDI	ROR
1								
2								
3								
4								
5								
6								

STT	STC	STG	CON	PERM	RDI
0- Enchevêtré	0- Sans structure	1- Sans structure	1- Meuble	0- Imperméable	1- Micro-racines (<0,075 mm)
1- Lamellaire	1- Très fine	2- Très faible	2- Très friable	1- Peu perméable	2- Très fines (0,075-1 mm)
2- Prismatique	2- Très fine à fine	3- Faible	3- Friable	2- Perméable	3- Fines (1-2 mm)
3- Colonnaire	3- Fine	4- Faible à modéré	4- Ferme	3- Très perméable	4- Moyennes (2-5 mm)
4- Poly. angulaire	4- Fine à moyenne	5- Modéré	5- Très ferme		5- Grossières (>5 mm)
5- Poly. subangulaire	5- Moyenne	6- Modéré à fort			
6- Granulaire	6- Moyenne à grossière	7- Fort			
7- Massive	7- Grossière				
8- Particulaire	8- Très grossière				
9- Lenticulaire					

Références bibliographiques

AAC, MAPAQ et IRDA (2009). *Couverture pédologique québécoise (2022)* Couverture pédologique de la province du Québec. 2e version numérique [31M06201]. Échelle 1 :20 000. Distribuée par l'IRDA

Bates, D. M., Belisle, J. M., Cameron, B. H., Evans, L. J., Jones, R. K., Pierpoint, G. et Brock, B. V .D. (1985). *Field Manual for Describing Soils (3e édition)*. Ontario Institute of Pedology, University of Guelph, 38 p. ISBN : 978-0-889-55046-9.

Bedard-Haughn, A. (2011). *Gleysolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification*. Canadian Journal of Soil Science, 91: 763-779.

Benham, E., Ahrens, R. J. et Nettleton, W. D. (2009). *Clarification of soil texture class boundaries*. MO5 Soil Technical Note-16. National Soil Survey Center, USDA-NRCS, Lincoln, Nebraska.

Bentley, S. P. et Smalley, I. J. (1978). *Mineralogy of sensitive clays from Quebec*. Canadian Mineralogist, 16: 103-116.

Brierley, J. A., Stonehouse, H. B. et Mermut, A. R. (2011). *Vertisolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification*. Canadian Journal of Soil Science, 91: 903-916.

Churchman, G. J. et Velde, B. (2019). *Soil Clays: Linking Geology, Biology, Agriculture, and Environment*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 250 p.

Comité d'experts sur la prospection pédologique. (1982). *Système d'informatique des sols au Canada : manuel de description des sols sur le* terrain (révisé en 1982). Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Ottawa, IRT, contribution n° 82-52, 109 p. et annexes.

Culley, J. L. B. (1993). *Density and compressibility* (p. 529-540), dans M. R. Carter (éd.). Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publication, Boca Raton, Florida.

De Kimpe, C. R., Laverdière, M. R. et Martel, Y. A. (1979). *Surface area and exchange capacity of clay in relation to the mineralogical composition of gleysolic soils*. Canadian Journal of Soil Science, 59: 341-347.

Duchaufour, P., Faivre, P., Poulenard, J. et Gury, M. (2018). *Introduction à la science du sol*. Sol, végétation, environnement (7e édition). Dunod, Paris, 450 p.

Foscal-Mella, G. (1976). *Analyse minéralogique des argiles glaciaires*. mémoire de maîtrise, Département de génie minéral, École polytechnique de Montréal, Québec, Canada, 148 p.

Gagné, G., Angers, D., Grenon, L., Guertin, S. P., Khiari, L., Lamontagne, L. N'Dayegaminye, A., Nolin, M., Parent, L. E., Thibault, É. et Whalen, J. K. (2010). *Le sol* (p. 1-54), dans Parent, L. E. et Gagné G. (éd.). Guide de référence en *fertilisation (2e édition)*. CRAAQ, Québec. ISBN : 978-2-764-90231-8.

Gombault, C., Bossé, C., Lapointe, M. et Blais-Gagnon, A. (2022). *Guide d'utilisation des données géospatiales de la couverture pédologique du Québec*. IRDA, 68 p. © Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc.

Groupe de travail sur la classification des sols. (2002). *Le système canadien de classification des sols (3e édition)*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, publication 1646, Ottawa, Ontario, 196 p.

Kodama, H., Ross, G. J., Wang, C. et Macdonald, K. B. (1993). *Clay mineralogical database of Canadian soils*. Research Branch Technical Bulletin 1993-1[E]. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Ontario, 58 p.

Kodama, H. (1979). *Clay minerals in Canadian soils: Their origin, distribution and alteration*. Canadian Journal of Soil Science, 59: 37-58.

Lamontagne, L., Martin, A. et Nolin, M.C. (2014). *Étude pédologique du comté de Napierville (Québec)*. Laboratoires de pédologie et d'agriculture de précision, Centre de recherches et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec (Québec), 403 p. et 1 carte à l'échelle de 1/40 000.

Lamontagne, L. (2004). *Les vertisols : un nouvel ordre de sols dans la plus récente édition française du système canadien de classification des sols (2002)*. Résumés des conférences du 17e congrès de l'AQSSS, Sherbrooke, Bulletin AQSSS, vol., 14, n° 1.

Lamontagne, L., Martin, A., Grenon, L. et Cossette, J.-M. (2001). *Étude pédologique du comté de Saint-Jean (Québec)*. Laboratoires de pédologie et d'agriculture de précision, Centre de recherches et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy, Québec, bulletin d'extension n° 12, 356 p. et 1 carte à l'échelle de 1/40 000.

Lamontagne, L. et Nolin, M. C. (1997). *Dossier des noms de sols du Québec 1997*. Système canadien d'information sur les sols (SISCan), Équipe pédologique du Québec, Centre de recherches et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy, Québec.

Lamontagne, L. et Nolin, M. C. (1990). *Étude pédologique du comté de Verchères*. Équipe pédologique du Québec, Centre de recherches sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy, Québec, contr. n° 87-92, vol, 1., 313 p., vol. 2., 135 p. ISBN : 978-0-662-95873-4.

Laverdière, M. R., De Kimpe, C. R. et D'Avignon, A. (1981). *Caractéristiques minéralogiques et chimiques de quelques sols sableux du Québec en regard de leur évolution pédologique*. Canadian Journal of Soil Science, 61: 273-283.

Lebuis, J., Robert, J.-M. et Rissmann, P. (1982). *Regional mapping of landslide hazard in Quebec*, (p. 205-262), dans Symposium on Slopes on Soft Clays. Swedish Geotechnical Institute Report, n° 17, Linkoping.

Lessard, G. et Mitchell, J. K. (1985). *Causes and effects of aging in quick clays.* Canadian Geotechnical Journal, 22: 335-346.

Locat, J., Lefebvre, G. et Ballivy, G. (1984). *Mineralogy, chemistry and physical properties inter-relationship of some sensitive clays from Eastern Canada*. Canadian Geotechnical Journal, 21: 530-540.

Nolin, M. C., Lamontagne, L., et Dubé J. C. (1994). *Cadre méthodologique d'une étude détaillée des sols et son application en terrain plat*. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada, bulletin technique 1994-4F.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2013). *Fiche d'information sur le choix des composantes d'un dispositif d'évacuation, de réception ou de traitement des eaux domestiques des résidences isolées*, révisée en 2021, 17 p.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2011). *Fiche d'information sur l'interprétation de l'expression « où il n'est pas susceptible d'être submergé » – Articles 7.1 et 7.2 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2009). *Guide technique – Traitement des eaux usées des résidences isolées*, édition de janvier 2009, révisé en mars 2015.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2006). *Fiche d'information sur l'application de l'article 4.1 du Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*, révisée en mars 2021, 24 p.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2001). *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestiques*, révisé en 2017.

Niang, M. A., Nolin, M., Bernier, M. et Perron, I. (2012). *Digital mapping of soil drainage classes using multitemporal RADARSAT-1 and ASTER images and soil survey data*. Applied and Environmental Soil Science, vol. 2012,17 p.

Penner, E. et Burn, K. N. (1978). *Review of engineering behaviour of marine clays in eastern Canada*. Canadian Geotechnical Journal, 152: 269-282.

Purdue University. (1990). *Steps in Constructing a Mound (Bed-Type) Septic System*. Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Quigley, R.M. (1980). *Geology mineralogy and geochemistry of Canadian soft soils: A geotechnical perspective*. Canadian Geotechnical Journal, 17: 261-285.

Ralston, I., Payne, M. (2014). *Sewerage System Standard Practice Manual*. Version 3. Health Protection Branch, Ministry of Health, British Columbia, 367 p.

Robitaille, A. et Allard, M. (2007). *Guide pratique d'identification des dépôts de surface au Québec, Notions élémentaires de géomorphologie* (2e édition). Direction des inventaires forestiers et Direction des communications du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Gouvernement du Québec, Les Publications du Québec, 121 p.

Rompré, M. et Carrier, D. (1997). *Étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue*. Centre de recherche et d'expérimentation en sols, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 127 p.

Rus, J. (2007). *Munsell color system*. Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 License. https ://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munsell-system.svg (Consulté le 6 mars 2018).

Sanborn, P., Lamontagne, L. et Hendershot, W. (2011). *Podzolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification*. Canadian Journal of Soil Science, 91: 843-880.

Schaetzl, R. J. et Thompson, M. L. (2015). *Soils: Genesis and Geomorphology* (2e édition). Cambridge University Press, New York, USA, 778 p.

Schoeneberger, P. J., Wysocki, D.A., Benham E. C. et Soil Survey Staff. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils*, version 3.0. USDA Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Simard, R. R., Zizka, J. et De Kimpe, C. R. (1990). *Le prélèvement du K par la luzerne* (Medicago sativa L.) et sa dynamique dans 30 sols du Québec. Canadian Journal of Soil Science, 70: 379-393.

Soil Science Division Staff. (2017). *Soil Survey Manual*. C. Ditzler, K. Scheffe et H. C. Monger (éd.), United States Department of Agriculture Handbook, n° 18, Government Printing Office, Washington, D.C., 603 p.

Thien, S. J. (1979). *A flow diagram for teaching texture by-feel analysis*. Journal of Agronomic Education, 8: 54-55.

Tyler, E. J. (2001). *Hydraulic wastewater loading rates to soil*. K. Mancel (éd.), On-Site Wastewater Treatment Proc. of the 9th International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, ASAE, St. Joseph, MI, p. 80-86.

Tyler, E.J. et L. K. Kuns. (2000). *Designing with Soil: Development and Use of a Wastewater Hydraulic Linear and Infiltration Loading Rate Table*, presented at NOWRA 2000 Proceedings. November 2000.

United States Environmental Protection Agency (2002). *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*. EPA/625/R-00/008, Office of Water et Office of Research and Development.

USDA-NRCS. (1991). *Soil-Water-Plant Relationships*. Section 15, Chapter 1, National Engineering Handbook (2e édition).
https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=18350.wba

Vepraskas, M. J. et Vaughan, K. L. (2016). *Morphological features of hydric and reduced soils* (p. 189-217), dans M. J. Vepraskas et C. N. Craft (éd.), Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes and Classification (2e édition). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Vepraskas, M. J. (2015). *Redoximorphic features for identifying aquic conditions*. Technical Bulletin 301. North Carolina Agricultural Research Service, NC State University Raleigh, North Carolina, USA, 29 p.

Vepraskas, M. J. et Lindbo, D. L. (2012). *Redoximorphic features as related to soil hydrology and hydric soils* (p. 143-172), dans H. Lin (éd.), Hydropedology: Synergistic integration of soil science and hydrology. Elsevier.

Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs

Québec