



PROTOCOLES





La mallette «Clés de Sol» est mise à disposition selon les termes de la Licence CC BY-NC-SA 4.0



SOMMAIRE

INTRODUCTION

PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DES PROTOCOLES

FICHE A : Choix de la station d'observation et du point d'étude	p6
FICHE B : Environnement du point d'étude	p8
FICHE C : Rugosité	p12
FICHE D : Épaisseur du sol et des horizons	p14
FICHE E : Hydromorphie	p18
FICHE F : Éléments grossiers	p20
FICHE G : Couleur	p22
FICHE H : Texture et Réservoir utile	p24
FICHE I : Prélèvement de terre pour la mise en œuvre des protocoles des fiches J à N (à réaliser en salle)	p30
FICHE J : Calcaire	p34
FICHE K : pH	p36
FICHE L : Porosité	p38
FICHE M : Stabilité structurale	p40
FICHE N : Capacité au champ	p44

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION

- Chaque fiche se compose d'une partie «Informations» (pour faciliter la compréhension) et d'un protocole associé.
- Vous pouvez réaliser tous les protocoles (FICHES A à N) ou seulement ceux qui correspondent à vos centres d'intérêt :

Potentiel d'infiltration de l'eau
(FICHES A, B, C, E, H, I, L, M)

Potentiel de rétention d'eau
(FICHES A, B, D, H, I, L, N)

**Potentiel de production
de biomasse**
(FICHES A, B, D, E, H, I, J, K, L, M, N)

**Potentiel d'habitat
pour la biodiversité**
(FICHES A, B, D, E, H, I, J, K, L, M, N)

- Certains protocoles s'effectuent sur le terrain, tandis que d'autres se réalisent en salle, avec des durées, des niveaux de difficulté et de précision différents. Cette distinction est précisée dans l'en-tête de chaque fiche, grâce à la nomenclature ci dessous :



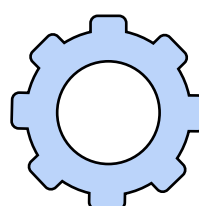
Terrain



Salle



Durée



Difficulté



Précision

- Avant de commencer, préparez votre matériel (plus de détails dans le livret «Guide d'utilisation», page 7), vérifiez les conditions météorologiques et assurez-vous de disposer des autorisations nécessaires pour accéder aux sites que vous avez choisis pour mettre en œuvre les protocoles présentés dans ce livret.

**BONNE EXPÉRIENCE
À VOUS !**

PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DES PROTOCOLES

FICHE A - CHOIX DE LA STATION D'OBSERVATION ET DU POINT D'ETUDE

FICHE B - ENVIRONNEMENT DU POINT D'ETUDE

FICHE C - RUGOSITE

FICHE D - EPAISSEUR DU SOL ET DES HORIZONS

FICHE E - HYDROMORPHIE

FICHE F - ELEMENTS GROSSIERS

FICHE G - COULEUR

FICHE H - TEXTURE ET RESERVOIR UTILE

FICHE I - PRELEVEMENT DE TERRE POUR LA MISE EN OEUVRE DES PROTOCOLES DES FICHES J A N

FICHE J - CALCAIRE

FICHE K - PH

FICHE L - POROSITÉ

FICHE M - STABILITE STRUCTURALE

FICHE N - CAPACITE AU CHAMP

CHOIX DE LA STATION D'OBSERVATION ET DU POINT D'ÉTUDE

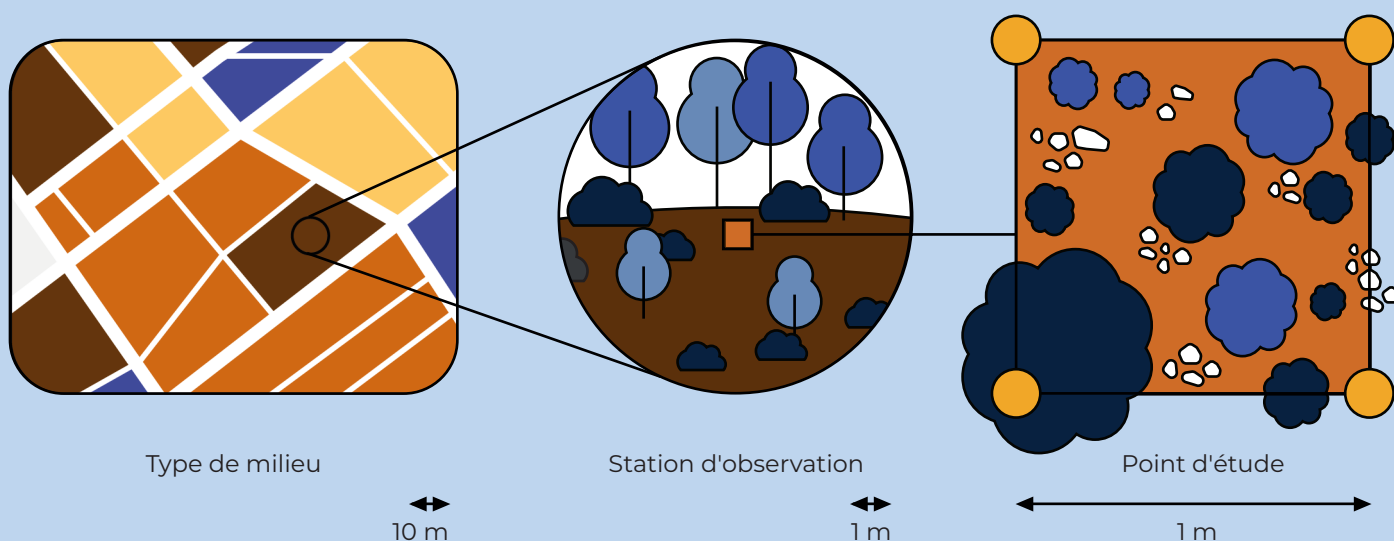


30 min



3/4

- Selon vos centres d'intérêt, vous pouvez choisir d'étudier un milieu naturel (espace boisé, lande, zone humide, etc. ou anthropisé¹ (culture, jardin, espace public, etc.). Vous choisirez ensuite une station d'observation représentative de ce milieu (une parcelle ou une portion de parcelle agricole, un jardin privatif, une parcelle de forêt ou de lande, etc.). Enfin, vous délimitez un point d'étude au sein de la station d'observation. Bien caractériser pas à pas le type de milieu, la station d'observation et la façon dont vous avez choisi votre point d'étude sont des éléments importants de contextualisation de l'étude du sol que vous allez mener. Pour cette étude pas à pas, suivez le Protocole A.



- Définitions :
 - Station d'observation : Portion de territoire uniforme et représentative du milieu qui sert de cadre à une étude.
 - Point d'étude : Endroit précis où se font les observations et le prélèvement d'échantillons. Il est délimité au sol au moyen d'un quadrat.
 - Référentiel géodésique : Système de coordonnées cartographiques permettant de définir la position et l'altitude de tout point à la surface de la Terre (WGS84 et Lambert93).



WGS84
Google Maps



Lambert 93
Géoportail

MATÉRIEL

- 1 mètre ruban > 2 m
- 4 jalons² et 1 corde de plus de 4 m ou 1 quadrat d'1 m de côté
- 1 smartphone / 1 tablette (avec application : Google maps, Géoportail, etc.) ou 1 carte du territoire
- 1 ardoise blanche + 1 feutre effaçable ou 1 ardoise noire + 1 craie

¹Anthropisé : milieu modifié par les activités humaines : aménagements, exploitation, dégradation.

²Jalon : tige qu'on enfonce dans le sol et qui sert à prendre des repères.

PROTOCOLE A: Choix du milieu, de la station d'observation et du point d'étude.

○ Choisissez le type de milieu que vous souhaitez étudier.

○ Choisissez une station d'observation représentative du milieu et uniforme.



Vérifiez que vous disposez des autorisations nécessaires pour accéder à la station d'observation.

☐ Remplissez la partie A1 (page Restitution A).

☐ Remplissez la partie A2 (page Restitution A).

☐ Remplissez la partie A3 (page Restitution A).

○ Choisissez un point d'étude au sein de la station d'observation :

- Soit représentatif de celle-ci (topographie¹, recouvrement par de la végétation). Dans ce cas, placez-vous à plus de 20 m d'éléments comme des bordures, ornières, entrées de champs, anciennes zones d'habitation, chemins, bords de routes, lieux de passage, etc.
- Soit présentant un contraste que vous souhaitez étudier (exemple : abords d'une haie).



Veillez à ce que le point d'étude n'ait pas été piétiné.

☐ Remplissez la partie A4 (page Restitution A).

☐ Remplissez la partie A5 (page Restitution A).

○ Délimitez physiquement le point d'étude en formant un carré d'1 m de côté à l'aide d'un quadrat, ou à défaut, de jalons et d'une corde.



Veillez à ne pas piétiner l'intérieur du quadrat afin de ne pas perturber les observations.

○ Choisissez l'outil ainsi que le référentiel géodésique (Lambert 93 de préférence ou WGS 84) que vous utiliserez pour déterminer les coordonnées et l'altitude du point d'étude.

☐ Remplissez la partie A6 (page Restitution A).

○ Déterminez les coordonnées et l'altitude du point d'étude.

☐ Remplissez la partie A7 (page Restitution A).

○ Notez la référence du point d'étude sur l'ardoise de la manière suivante :

** Date / Commune / Code postal / Code Station*

(Exemple : 5 mai 2024 / Champenoux / 54280 / Forêt d'Amance)

○ Déposez l'ardoise à côté du point d'étude.

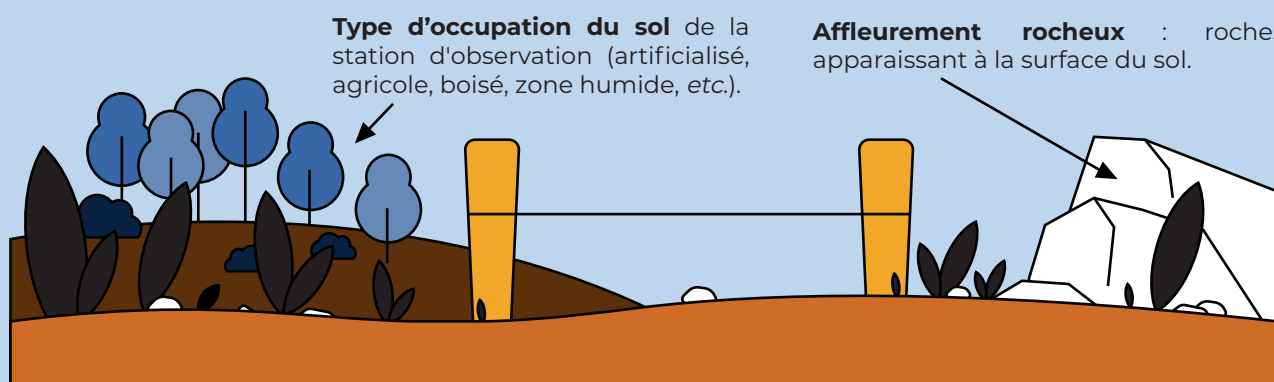


30 min



2/4

- L'observation de l'environnement du point d'étude est une étape importante de l'étude du sol. La description du contexte paysager de la station d'observation et celle de la surface du point d'étude apportent des éléments utiles pour interpréter les résultats que vous obtiendrez.



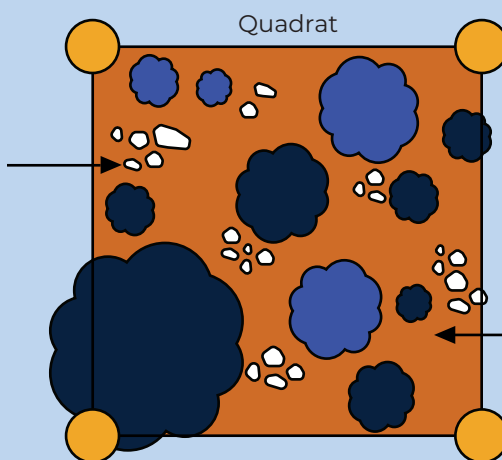
Type d'occupation du sol de la station d'observation (artificialisé, agricole, boisé, zone humide, etc.).

Affleurement rocheux : roches apparaissant à la surface du sol.

Vue de profil

Vue de dessus

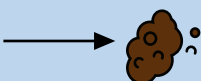
Pierrosité : Recouvrement du sol par des éléments grossiers (constituants minéraux, comme des graviers, cailloux ou pierres, de taille supérieure à 2 mm).



Recouvrement du sol par de la végétation (vivante ou morte).

Couleur

Battance : défaut d'un sol qui, par dégradation de sa structure grumeleuse sous l'action de la pluie, entraîne la libération d'éléments fins conduisant à un durcissement superficiel et à la formation d'une croûte plus ou moins lisse de plusieurs millimètres en surface (croûte de battance).

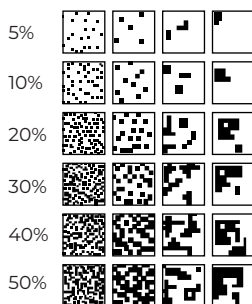


Fente : ouverture étroite et longue qui peut mesurer quelques centimètres de large et quelques décimètres de profondeur. Les fentes se forment principalement dans les sols qui contiennent une proportion importante d'argiles dites gonflantes.

- Pour caractériser le contexte paysager de la station observation et décrire la surface du sol, suivez le Protocole B.

AIDE À LA RÉALISATION DU PROTOCOLE

- Détermination de la proportion de végétation (vivante ou morte) ou d'éléments grossiers à la surface du sol.

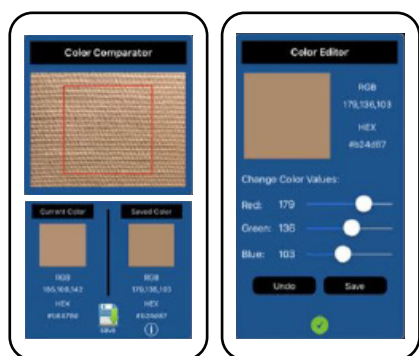


- Pour déterminer la proportion de recouvrement du sol par de la végétation ou des éléments grossiers, comparez la surface du point d'étude aux figures ci-contre, dans lesquelles les surfaces noires représentent des végétaux ou des éléments grossiers.

- Notez ensuite la proportion (pourcentage) de recouvrement indiquée à gauche de chaque ligne.

Bayley, D (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW.

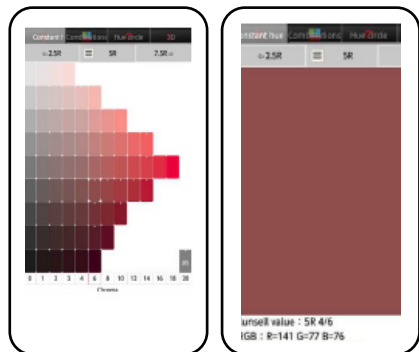
- Application smartphone : ColorComparator (IOS).



Les 2 écrans de l'application

- Ajustez la surface sur laquelle se fera la mesure (carré rouge sur la figure de gauche), en faisant varier la distance entre le smartphone et l'échantillon. Celle-ci doit être la plus petite possible pour pouvoir isoler au mieux une couleur uniforme, tout en permettant une mesure.
- Mesurez la couleur en trouvant l'éclairage de l'échantillon qui modifie le moins possible la couleur de la pastille «current color» par rapport à l'échantillon. Des modifications d'éclairage peuvent être apportées en se tournant vers des directions différentes.
- Une fois que la pastille ressemble au maximum à la couleur de l'échantillon, sauvegardez la couleur en cliquant sur «save». La couleur sauvegardée s'affiche dans la pastille «saved color».

- Application smartphone Munsell color chart (Android).



Écrans de l'application : page «SR» et zoom sur la couleur SR4/6

- Choisissez une plage uniforme sur votre échantillon de terre et comparez-la aux couleurs qui s'affichent sur votre écran (sur l'application, utilisez les planches de teintes constantes «onglet constant hue plane»).
- Sélectionnez ensuite la teinte principale dans le bandeau (défilement latéral). Pour les sols français les teintes les plus fréquentes se trouvent sur les planches 10YR, 2,5Y, 7,5YR et 5YR. Vous pouvez bien sûr consulter d'autres planches pour trouver celle qui s'adapte le mieux à la couleur de l'échantillon.
- Sélectionnez un rectangle de couleur qui se rapproche le plus de la couleur de l'échantillon. La couleur apparaît alors en plein écran.
- Le code couleur Munsell correspondant à la couleur sélectionnée s'affiche alors en bas de la page (ex : 7,5YR4/5).

MATÉRIEL

- 1 appareil photo ou 1 smartphone
- 1 vaporisateur d'eau
- 1 charte Munsell ou 1 smartphone / 1 tablette avec l'application Munsell color chart (Android) ou Color comparator (IOS)

PROTOCOLE B : Observation et description de l'environnement du point d'étude (occupation du sol, affleurement rocheux, battance, fentes) et des ses caractéristiques de surface (couleur, pierrosité, recouvrement par de la végétation).

-  Prenez du recul vis-à-vis du point d'étude puis prenez une photographie permettant de visualiser l'ensemble de la station d'observation.



Lors de l'envoi de la photographie sur la plateforme en ligne, l'intitulé du cliché sera (à partir des références du point d'étude) :

Date_Commune_Code postal_Code Station_Paysage.jpeg

-  Au niveau du point d'étude, prenez une photo à la verticale de la surface du quadrat, en veillant à placer l'ardoise avec les références visibles sur le côté du point d'étude.



Veillez à ne pas projeter votre ombre à l'intérieur du quadrat lors de la prise de la photographie.

Lors de l'envoi de la photographie sur la plateforme en ligne, l'intitulé du cliché sera (à partir des références du point d'étude) :

Date_Commune_Code postal_Code Station_Surface.jpeg

- Observez puis déterminez le type de milieu ainsi que le type d'occupation du sol de la station d'observation.

☐ Remplissez la partie B1 (page Restitution B).

- Observez puis déterminez s'il existe un ou plusieurs affleurements rocheux aux alentours du point d'étude.

☐ Remplissez la partie B2 (page Restitution B).

- Observez puis déterminez si la surface du point d'étude est recouverte par de la végétation (vivante ou morte). Si oui, mesurez approximativement sa hauteur.

☐ Remplissez la partie B3 (page Restitution B).

- Observez puis déterminez si la surface du point d'étude est recouverte entièrement ou non par de la végétation (vivante ou morte).

☐ Remplissez la partie B4 (page Restitution B).

Si la surface du point d'étude est entièrement recouverte par de la végétation (vivante ou morte) passez directement à la Fiche C, sinon poursuivez le Protocole B.

- Observez puis déterminez sur quelle proportion (en %) la surface du point d'étude est recouverte par de la végétation (vivante ou morte). Aidez-vous de la figure présentée dans la page Restitution B.

☐ Remplissez la partie B5 (page Restitution B).

- Retirez, délicatement à la main, le couvert de végétation (vivante ou morte) à la surface du point d'étude.

- Observez puis déterminez la proportion (en %) d'éléments grossiers présents à la surface du point d'étude. Aidez-vous de la figure présentée dans la page Restitution B.

☐ Remplissez la partie B6 (page Restitution B).

- Choisissez l'outil de colorimétrie (Charte Munsell de préférence / Applications smartphone «Munsell color chart (Android)» «ColorComparator (IOS)»), que vous utiliserez pour déterminer la couleur du sol à la surface du point d'étude.

☐ Remplissez la partie B7 (page Restitution B).



Si vous utilisez une application smartphone, augmentez la luminosité de votre appareil au maximum.

Si la surface du point d'étude est sèche, humectez¹ la petit à petit, à l'aide du vaporisateur d'eau, puis attendez quelques secondes afin que l'eau puisse s'infiltrer. Veillez à ne pas trop l'humecter : elle ne doit pas devenir luisante.

- Déterminez la couleur du sol à la surface du point d'étude.

☐ Remplissez la partie B8 (page Restitution B).



Par temps ensoleillé, déterminez la couleur à l'ombre ou en plaçant le soleil dans votre dos.

Déplacez-vous dans un rayon de 15 m autour du point d'étude.

- Observez puis déterminez si des signes de battance apparaissent aux alentours du point d'étude.

☐ Remplissez la partie B9 (page Restitution B).

- Observez puis déterminez s'il existe des fentes (ayant une profondeur d'au moins 5 cm) à la surface du sol aux alentours du point d'étude.

☐ Remplissez la partie B10 (page Restitution B).

☐ Remplissez la partie B11 (page Restitution B).

Humecter¹ : mouiller quelque chose, l'imprégner légèrement d'eau.

C | RUGOSITÉ



2/4

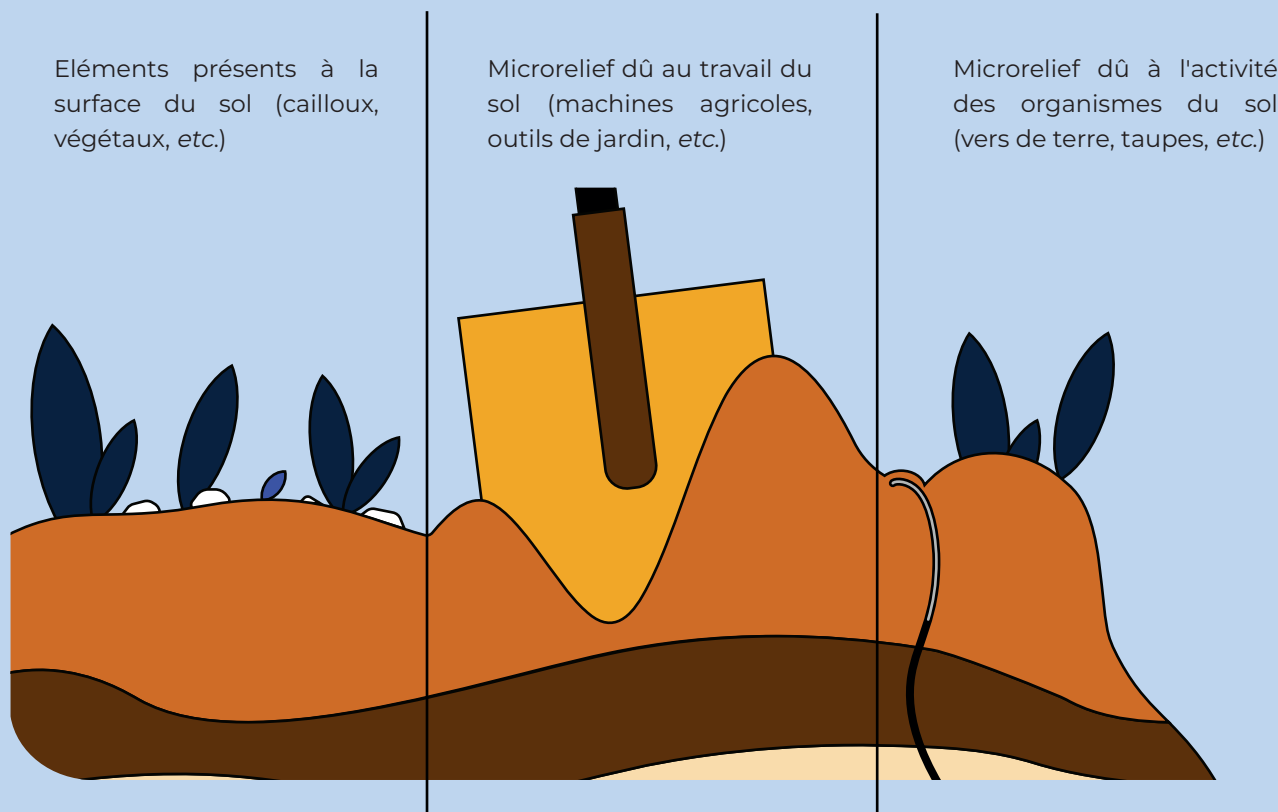


30 min



1/4

- La rugosité est une caractéristique de la surface du sol. Elle résulte de la présence en surface de divers éléments :



- Ces éléments constituent des obstacles à l'écoulement de l'eau en surface. Ainsi, une rugosité de surface importante, en ralentissant l'écoulement de l'eau, limite le ruissellement et le risque d'érosion. Cet effet est d'autant plus marqué que la pente est faible et devient négligeable lorsqu'elle excède 30%.
- Il est possible de limiter le ruissellement à la surface et de prévenir l'érosion¹ du sol en adoptant des pratiques de gestion des sols favorisant la rugosité :
 - Maintenez une couverture végétale au sol (végétation vivante ou paillage).
 - Évitez l'émiettement excessif du sol.
- Pour caractériser la rugosité du sol, suivez le Protocole C.

MATÉRIEL

- 1 chaînette avec microbilles assez lourdes* de 2 m environ * type chaînette d'évier, de fond de tarte ou avec des plombs de pêche ou bijou
- 1 mètre ruban > 2 m
- 1 calculatrice ou 1 smartphone

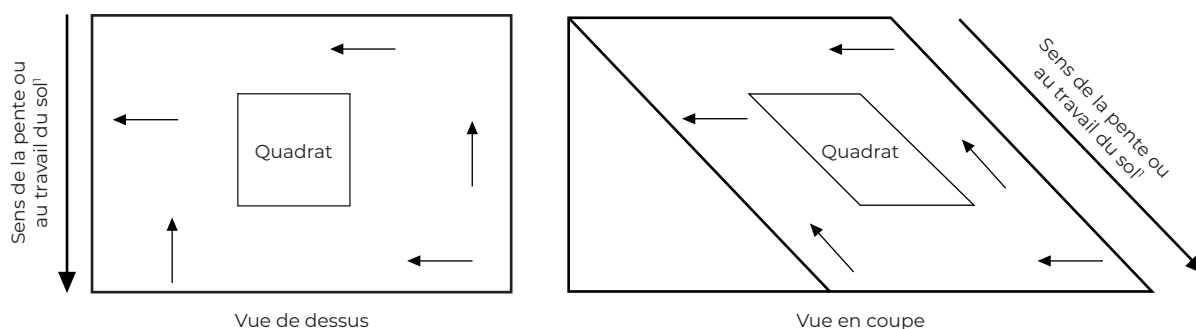
Érosion¹: déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues.

PROTOCOLE C : Détermination de la rugosité de la surface du sol.

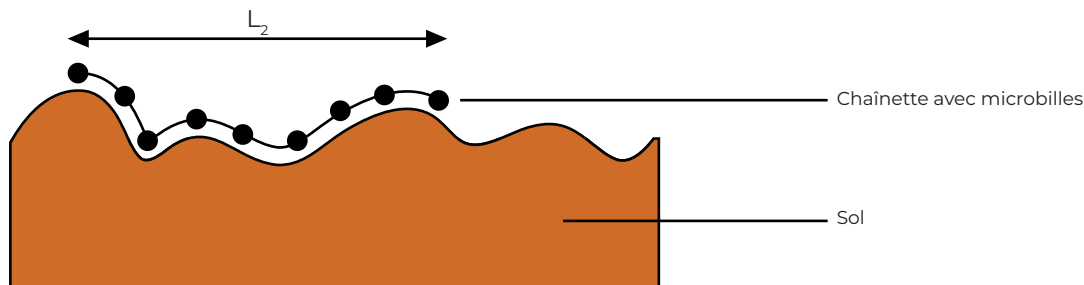
- Mesurez la longueur «totale» L_1 (en cm) de la chaînette avec microbilles.
- Remplissez la partie A1 (page Restitution A).
- Choisissez 5 points distincts aux alentours du point d'étude.

Pour chacun des 5 points choisis.

- Posez la chaînette avec microbilles sur la surface du sol, en l'orientant soit perpendiculairement, soit parallèlement au sens de la pente ou au travail du sol¹.



- Mesurez la «nouvelle» longueur L_2 (en cm) de la chaînette avec microbilles posée sur le sol.



- Remplissez la partie C2 (page Restitution C).

Une fois la longueur L_2 (en cm) mesurée pour les 5 points.

- Calculez le coefficient de rugosité R (en %) pour chacun des points puis leur moyenne. Utilisez la formule présentée dans la page Restitution C.
- Remplissez la partie C3 (page Restitution C).
- Remplissez la partie C4 (page Restitution C).

Vérifiez si les 5 valeurs de coefficient de rugosité R (en %) obtenues sont cohérentes entre elles (du même ordre de grandeur). Si ce n'est pas le cas, augmentez le nombre de points de mesure et complétez la partie C3. Sinon, passez à la Fiche D.

¹ Travail du sol¹: façons culturales réalisées à l'aide de machines agricoles ou d'outils de jardinage.

D ÉPAISSEUR DU SOL ET DES HORIZONS

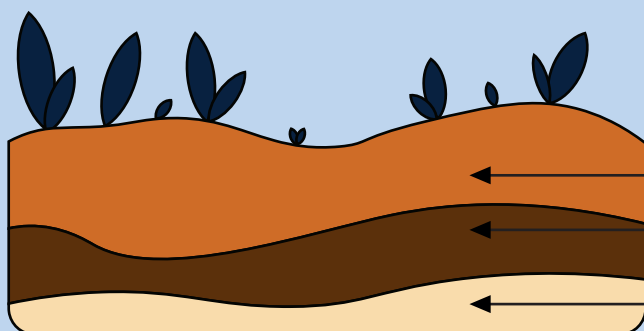


30 min



3/4

- Ce protocole explicite comment prélever du sol au moyen d'une tarière et comment reconstituer le profil dans une gouttière. A partir de ce profil, on détermine l'épaisseur du sol et des horizons. Le sol est constitué de couches superposées appelées horizons. Chaque horizon correspond à une couche uniforme plus ou moins épaisse, qui se distingue des autres horizons par sa couleur, sa texture ou encore sa teneur en éléments grossiers (> 2 mm).



- Dans «Clés de Sol», les horizons sont distingués par la lettre H suivie d'un nombre, comme H1, H2, H3, pour faciliter leur identification et leur comparaison.

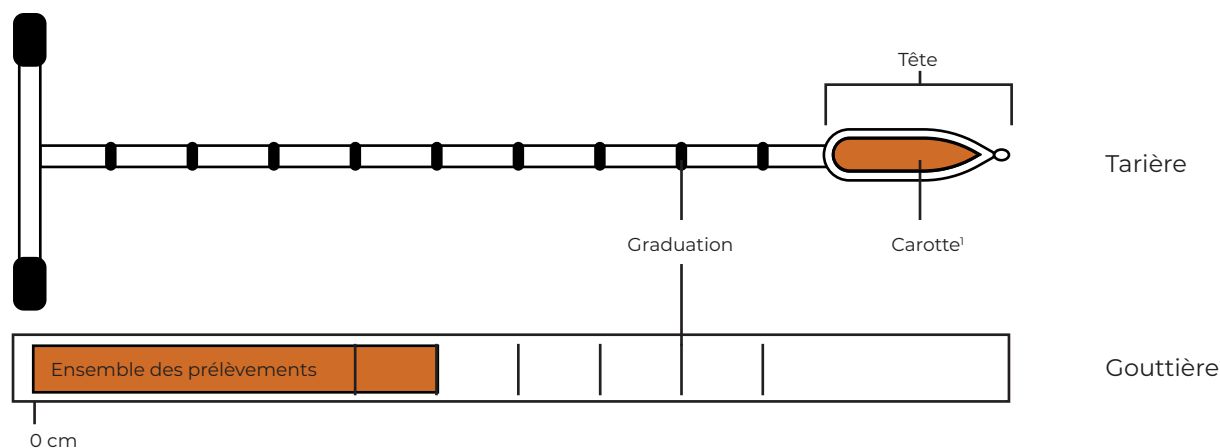
Le 1^{er} horizon, noté H1.

Le 2^{ème} horizon, noté H2.

Le 3^{ème} horizon, noté H3. Il n'est pas étudié dans les protocoles qui suivent.

- Suivez le Protocole D : l'épaisseur du sol est déterminée au centre du quadrat. La tarière est enfoncée progressivement et les échantillons de terre extraits sont déposés au fur et à mesure dans la gouttière graduée. Le maximum d'enfoncement de la tarière correspond à l'épaisseur du sol. Les horizons sont distingués les uns des autres uniquement sur la base des changements de couleur.

AIDE À LA RÉALISATION DU PROTOCOLE



MATÉRIEL

- Des paires de gants
- 1 tarière (1,20 m, graduée tous les 10 cm avec du ruban adhésif de couleur)
- 1 gouttière (1,20 m, graduée tous les 10 cm)
- 1 couteau
- 1 mètre ruban > 2 m
- 1 appareil photo ou 1 smartphone

Carotte¹ : échantillon obtenu à partir d'un prélèvement de sol sous forme de cylindre.

PROTOCOLE D : Détermination de l'épaisseur du sol puis identification des différents horizons et mesure de leur épaisseur.

Vidéos



Vidéo Clés de Sol (vidéo de Blandine, montée et mise sur AOBox)
Mot de passe : ClésDeSol



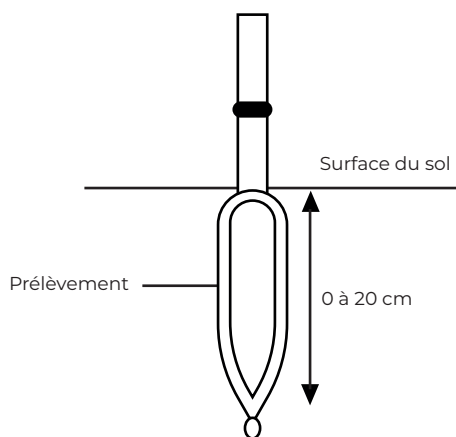
AFES Diagnostic sol # 6/tarière
: https://www.youtube.com/watch?v=_g_G7P5KdR0 (0:40 à 4:50)

- Mettez des gants.
- Positionnez la tarière au centre du point d'étude (quadrat).
- Enfoncez la tarière en faisant des mouvements circulaires dans le sens des aiguilles d'une montre afin de creuser le sol jusqu'à ce que la partie large (le haut) de la tête de tarière soit à la limite de la surface du sol.

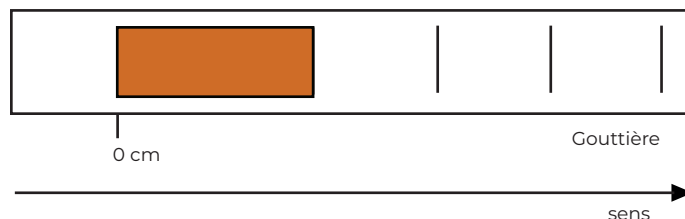
Veillez à garder la tarière bien verticale lorsque vous creusez.
Veillez à creuser en adoptant une position ergonomique afin d'éviter tout risque de blessure.
- Ressortez la tarière du sol verticalement.

Attention à ne pas perdre de sol, surtout dans les sols secs et / ou sableux.
- Arasez¹, à l'aide d'un couteau, les 2 côtés de la tête de la tarière en prenant appui sur ses bords, puis retirez le petit morceau de sol pouvant se trouver dans la pointe de la tarière.
- Déposez délicatement la terre contenue dans la tête de la tarière à l'une des extrémités de la gouttière.

1^{ère} carotte (0 - 20 cm)



Modalités de prélèvement des échantillons de terre à la tarière (d'après Jolivet et al., 2018)



Positionnement de la tarière pour déposer le 1^{er} prélèvement (1^{ère} carotte) de terre dans la gouttière.

¹Araser¹: mettre à niveau / enlever l'excédent de terre se trouvant de chaque côté de la tarière.

Si vous pouvez encore enfoncer la tarière dans le sol à l'endroit du 1^{er} prélèvement, poursuivez le Protocole D. Dans le cas contraire, passez directement à l'étape du Protocole D indiquée par un *.

2^{ème} carotte (20 - 30 cm)

- Enfoncez la tarière à nouveau de 10 cm (grâce à la graduation sur la tige de la tarière) à l'endroit du 1^{er} prélèvement.
- Ressortez la tarière verticalement.
- Arasez¹, à l'aide d'un couteau, les 2 côtés de la tête de la tarière en prenant appui sur ses bords, puis retirez les 10 premiers cm de terre situés dans la partie supérieure de la tête de tarière.
- Déposez délicatement la terre restant dans la partie inférieure de la tête de la tarière à la suite du prélèvement que vous avez déjà déposé dans la gouttière.

Modalités de prélèvement des échantillons de terre à la tarière (d'après Jolivet et al., 2018)

Positionnement de la tarière pour déposer le 2^{ème} prélèvement (2^{ème} carotte) de terre dans la gouttière.

* Le prélèvement à éliminer correspond à du matériau retombé dans le trou et donc remanié.

Si vous pouvez encore enfoncer la tarière dans le sol à l'endroit des deux premiers prélèvements, poursuivez le Protocole D. Dans le cas contraire, passez directement à l'étape du Protocole D indiquée par un *.

Carottes suivantes (jusqu'à 120 cm maximum)

- Répétez l'opération jusqu'à atteindre une profondeur de 120 cm maximum ou jusqu'à ce que la tarière ne puisse plus pénétrer le sol. À chaque prélèvement, ne conservez et ne déposez dans la gouttière que les 10 cm situés dans la partie inférieure de la tête de tarière.

¹Araser¹ : mettre à niveau / enlever l'excédent de terre se trouvant de chaque côté de la tarière.

* Lorsque le(s) prélèvement(s) est (sont) terminé(s) et déposé(s) dans la gouttière :

- Déterminez l'épaisseur (en cm) du sol, en mesurant la profondeur du trou formé à l'aide de la tarière. Pour ce faire, enfoncez la tarière dans le trou sans tourner puis placez votre main sur la tige de la tarière, au ras du sol et remontez la tarière sans déplacer votre main. Vous repérez ainsi l'épaisseur du sol.
 - Remplissez la partie D1 (page Restitution D).
 - Remplissez la partie D2 (page Restitution D).
- Déterminez l'épaisseur (en cm) du sol déposé dans la gouttière, à l'aide d'un mètre ruban ou en posant la tarière le long de la gouttière.



Si l'épaisseur est plus importante dans la gouttière que dans le trou, c'est que vous avez « espacé » les échantillons de terre en les déposant. Réajustez vos échantillons déposés dans la gouttière.
- Ouvrez, à la main, les mottes en deux dans le sens de la longueur (parallèlement à la gouttière).
- Observez le profil reconstitué dans la gouttière afin de détecter des changements qui marquent les changements d'horizons.
 - Remplissez la partie D3 (page Restitution D).
 - Remplissez la partie D4 (page Restitution D).
- Si vous parvenez à distinguer les différents horizons, mesurez l'épaisseur de chacun d'eux à l'aide d'un mètre ruban. Dans le cas contraire, considérez que l'horizon 1 (H1) a une épaisseur comprise entre 0 et 20 cm et que l'horizon 2 (H2) a une épaisseur comprise entre 30 et 50 cm.
-  Prenez une photographie de la gouttière avec le mètre ruban ouvert et placé à côté.



Lors de l'envoi de la photographie sur la plateforme en ligne, l'intitulé du cliché sera (à partir des références du point d'étude) :
`Date_Commune_CodePostal_CodeStation_Sondage.jpeg`



Si vous êtes dans un contexte de sol caillouteux ou que l'épaisseur du sol lors de la 1^{ère} mesure vous paraît trop faible (< 10 cm) :

- Réalisez 2 autres points de prélèvement, positionnés aux angles du quadrat, en procédant de la même manière que pour le 1^{er} point au centre du quadrat.
- Déterminez l'épaisseur du sol (en cm) des 2 autres points de prélèvement.



Dans la page Restitution D, ne reportez que les données issues du point d'échantillonnage qui donnent l'épaisseur du sol maximale (en cm) : épaisseur du sol et de chacun des 2 horizons H1 et H2.

E | HYDROMORPHIE



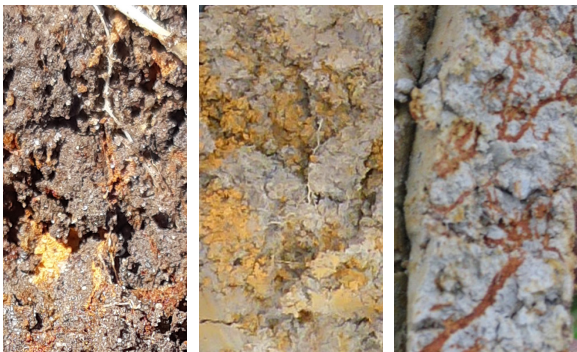
20 min



3/4

- Un sol ou un horizon hydromorphe présente des marques visibles qui résultent de son engorgement régulier par l'eau sur une période plus ou moins longue de l'année. Cet excès d'eau provoque une privation d'oxygène. Le fer, abondant le sol, prend alors des colorations qui résultent de son état (oxydé ou réduit). Ces colorations, appelées "traces d'hydromorphie", permettent de caractériser l'hydromorphie du sol et des horizons.

Engorgement en eau

Horizon non hydromorphe	Horizon hydromorphe	
Sol sans trace d'engorgement	Sol témoignant d'un engorgement temporaire en eau	Sol témoignant d'un engorgement permanent en eau
 Colorations homogènes	 Colorations bariolées de couleur rouille (fer à l'état oxydé) ou concrétions foncées plus ou moins dures (précipités ferromanganeux) : sol engorgé par de l'eau à certaines périodes de l'année	 Colorations bleutées-grisâtres homogènes (fer à l'état réduit) ou tourbe (matière organique non décomposée) : sol saturé en eau et privé d'oxygène (anoxie).

Typologie des traces d'hydromorphie (Photographies : Institut Agro Rennes-Angers)

- ATTENTION : un sol humide ou mouillé n'est forcément hydromorphe. Certaines colorations peuvent être sans lien avec l'hydromorphie :
 - Ocre : couleur de la roche mère¹, présence de cailloux ou d'artefacts de couleur rouge ou rouille (briques, tuiles, etc.).
 - Bleuté ou grisâtre : couleur de la roche mère¹ (schistes ardoisiers ou argile verte par exemple).
- Un sol hydromorphe associé à une végétation hygrophile² est caractéristique d'une zone humide, qui doit être préservée (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000019151510>). Dans les sols hydromorphes : les plantes et microorganismes adaptés à la privation d'oxygène peuvent se développer ; les bactéries anaérobies dénitrifiantes contribuent à l'épuration de l'eau en transformant les nitrates.
- Il est possible de limiter l'engorgement du sol par l'eau en le drainant. Toutefois, il reste préférable de privilégier la préservation des caractéristiques naturelles du sol et d'adapter l'usage à ce caractère hydromorphe : on peut maintenir la parcelle en prairie permanente (réserve de fourrage l'été) ou planter des arbres hygrophiles², par exemple.
- Pour caractériser l'hydromorphie du sol, suivez le Protocole E.

Roche mère¹ : couche minérale superficielle de la croûte terrestre, dont l'altération contribue à la constitution du sol. On parle aussi de matériau parental.

Hygrophile² : se dit d'une plante qui se développe dans les milieux humides.

PROTOCOLE E : Caractérisation de l'hydromorphie du sol.

- Observez le profil placé dans la gouttière.
 - Déterminez s'il existe des traces d'hydromorphie ou non le long du profil de sol. Aidez-vous des illustrations présentées dans la page Restitution E.
 - En présence de traces d'hydromorphie, mesurez à quelle(s) profondeur(s) elle(s) se trouve(nt).
- Remplissez la partie E1 (page Restitution E).

F | ÉLÉMENTS GROSSIERS



30 min



3/4

- Les éléments grossiers sont les constituants minéraux du sol dont le diamètre est supérieur à 2 mm (lorsque leur diamètre est inférieur à 2 mm, ils constituent la terre fine). Les constituants minéraux du sol sont classifiés selon leur taille :

Diamètre des constituants minéraux	Dénomination
< 2 mm	Terre fine
2 mm à 2 cm	Gravier
2 cm à 7,5 cm	Caillou
7,5 cm à 12 cm	Pierre
12 cm à 25 cm	Grosse pierre
> 25 cm	Bloc

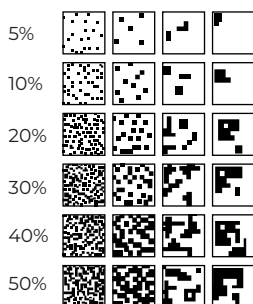
Éléments grossiers

Dénomination des constituants minéraux présents dans le sol selon leur taille.

- Selon leur abondance dans le sol et leur taille, les éléments grossiers influencent l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol, ainsi que la pénétration des racines. Les éléments grossiers ne jouent pas toujours un rôle négatif : dans certains sols, ils constituent une réserve d'eau et permettent au sol de se réchauffer plus rapidement en sortie d'hiver, favorisant ainsi la croissance des plantes. Certains éléments grossiers poreux peuvent contribuer à la réserve en eau du sol.
- Pour déterminer la proportion d'éléments grossiers dans le sol, suivez le Protocole F.

AIDE À LA RÉALISATION DU PROTOCOLE

- Détermination de la proportion d'éléments grossiers dans le sol.



- Pour déterminer la proportion d'éléments grossiers présents dans le sol, comparez la terre étalée sur le sac blanc aux figures ci-contre, dans lesquelles les surfaces noires représentent des éléments grossiers.
- Notez ensuite la proportion (pourcentage) indiquée à gauche de chaque ligne.

Bayley, D (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW.

MATÉRIEL

- 2 sacs plastiques (sacs poubelles blancs de préférence pour faciliter l'observation des contrastes)

PROTOCOLE F : Détermination de la proportion (en %) d'éléments grossiers contenus dans l'horizon 1 (H1) et l'horizon 2 (H2).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon H avec lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez, à la main, dans la gouttière, la totalité de la terre correspondant à l'horizon H que vous avez choisi.
- Étalez-la de manière uniforme sur un sac plastique.



Utilisez un sac plastique différent pour chacun des horizons H1 et H2.

- Observez et déterminez la proportion (en %) d'éléments grossiers (particules de diamètre supérieur à 2 mm) que contient l'horizon H. Aidez-vous de la figure présentée dans la page Restitution F.



Ne jetez ni les sacs plastiques ni la terre des horizons H1 et H2 qui y est déposée. Ils seront utilisés dans les protocoles suivants.

□ Remplissez la partie F1 (page Restitution F).

G | COULEUR



10 min

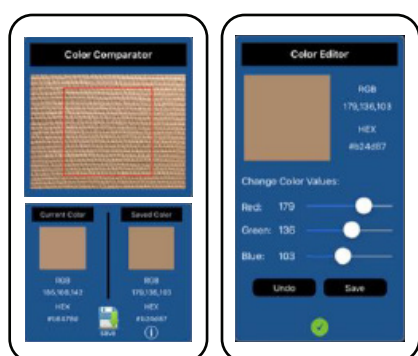


3/4

- La couleur du sol est un témoin des conditions climatiques au moment de sa formation («sols rouges méditerranéens»). Elle renseigne sur son fonctionnement hydrique actuel (plus ou moins bon drainage de l'eau en excès) ou sur sa teneur en matière organique (plus le sol est brun, plus il est riche en matière organique). La couleur est un élément déterminant pour différencier les horizons du sol. Pour déterminer la couleur dominante du sol, suivez le Protocole G.

AIDE À LA RÉALISATION DU PROTOCOLE

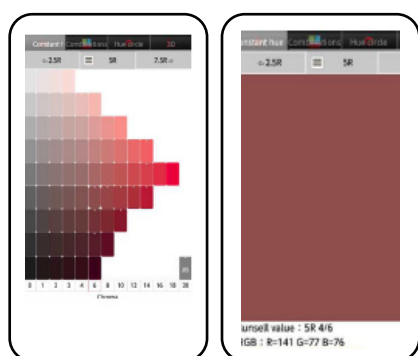
- Application smartphone : ColorComparator (IOS).



Les 2 écrans de l'application

- Ajustez la surface sur laquelle se fera la mesure (carré rouge sur la figure de gauche) en faisant varier la distance entre le smartphone et l'échantillon. Celle-ci doit être la plus petite possible pour pouvoir isoler au mieux une couleur uniformegène, tout en permettant une mesure.
- Mesurez la couleur en trouvant l'éclairage de l'échantillon qui modifie le moins possible la couleur de la pastille «current color» par rapport à l'échantillon. Des modifications d'éclairement peuvent être apportées en se tournant vers des directions différentes.
- Une fois que la pastille ressemble au maximum à la couleur de l'échantillon, sauvegardez la couleur en cliquant sur «save». La couleur sauvegardée s'affiche dans la pastille «saved color».

- Application smartphone Munsell color chart (Android).



Écrans de l'application : page «SR» et zoom sur la couleur SR4/6

- Choisissez une plage uniforme sur votre échantillon de terre et comparez-la aux couleurs qui s'affichent sur votre écran (sur l'application, utilisez les planches de teintes constantes «onglet constant hue plane»).
- Sélectionnez ensuite la teinte principale dans le bandeau (défilement latéral). Pour les sols français les teintes les plus fréquentes se trouvent sur les planches 10YR, 2,5Y, 7,5YR et 5YR. Vous pouvez bien sûr consulter d'autres planches pour trouver celle qui s'adapte le mieux à la couleur de l'échantillon.
- Sélectionnez un rectangle de couleur qui se rapproche le plus de la couleur de l'échantillon. La couleur apparaît alors en plein écran.
- Le code couleur Munsell correspondant à la couleur sélectionnée s'affiche alors en bas de la page (ex : 7,5YR4/5).

MATÉRIEL

- 1 vaporisateur d'eau
- 1 charte Munsell ou 1 smartphone / 1 tablette avec l'application Munsell color chart (Android) ou Color comparator (IOS)

PROTOCOLE G : Détermination de la couleur de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

- Choisissez quel outil de colorimétrie (Charte Munsell (de préférence) / Applications smartphones «Munsell color chart (Android)» «ColorComparator (IOS)») vous utiliserez pour déterminer la couleur des horizons H1 et H2.

□ Remplissez la partie G1 (page Restitution G).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon par lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez à la main directement sur le sac plastique (ou dans la gouttière si vous n'avez pas réalisé le Protocole F) une petite motte de terre correspondant à l'horizon H que vous avez choisi.
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Déchirez la motte de façon à obtenir une surface de quelques cm² non perturbée par les outils de prélèvement ou vos doigts, qui pourraient avoir lissé le sol ou mélangé les couleurs.



Si la motte que vous avez prélevée est sèche (c'est à dire qu'elle ne laisse pas de trace d'humidité sur les doigts quand on la touche), vaporisez un peu d'eau dessus et attendez quelques secondes pour laisser le temps à la motte de s'imbiber.

- Déterminez si la couleur de la motte est uniforme.

□ Remplissez la partie G2 (page Restitution G).

- Déterminez la couleur dominante et le code couleur de la motte à partir de l'outil de colorimétrie que vous avez sélectionné.

□ Remplissez la partie G3 (page Restitution G).



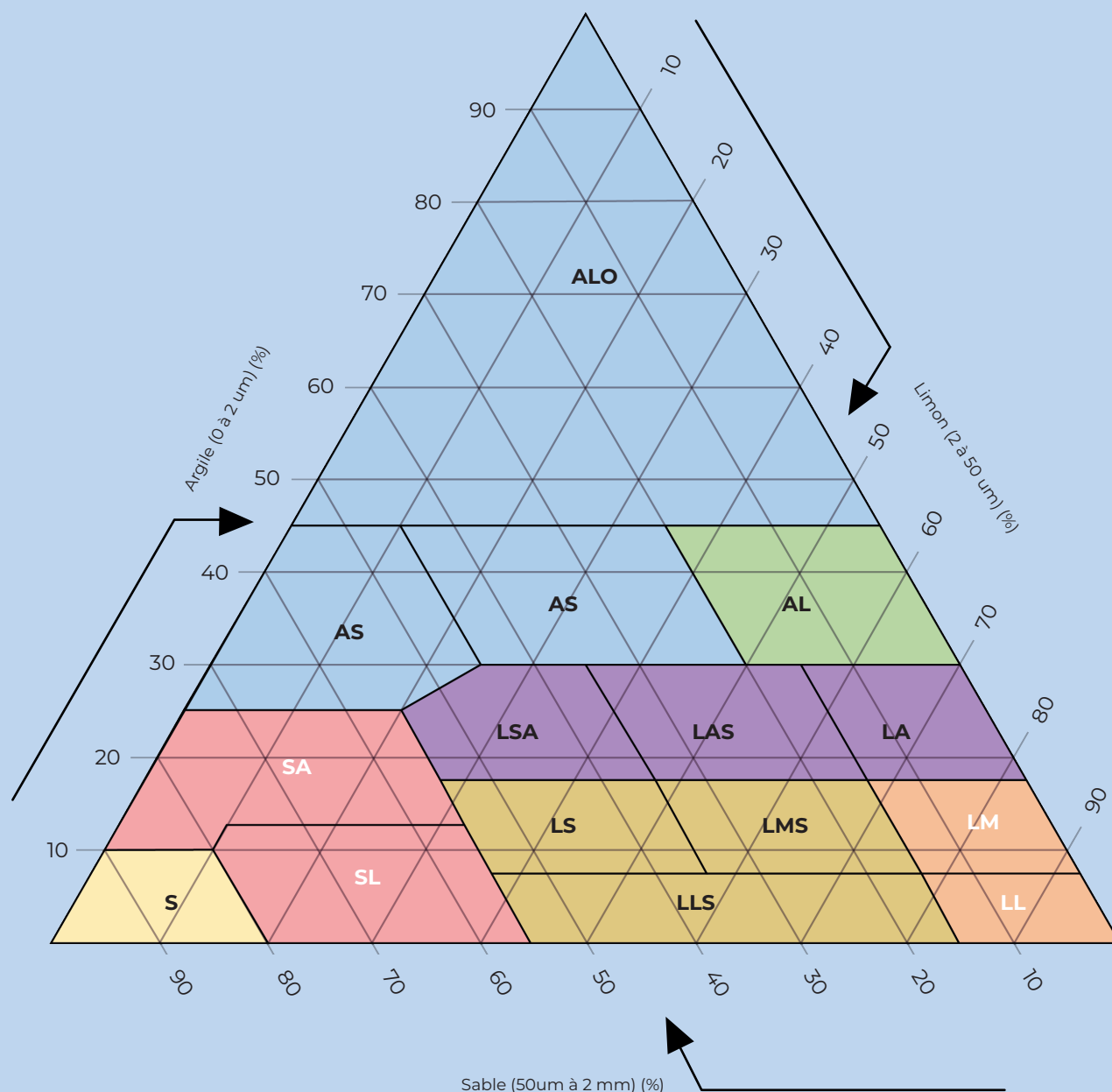
Si plusieurs couleurs sont présentes, ne déterminez que la couleur dominante.

- Nettoyez vos mains.



- La terre fine est composée de particules minérales de diamètre inférieur à 2 mm : sable (2 mm – 50 µm), limon (50 µm – 2 µm) et argile (< 2 µm). La proportion de chacune de ces fractions dans le sol conditionne sa texture (par exemple : argile limoneuse, sable argileux, etc.).

		Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Test du boudin
ALO	Argile lourde	0-55	0-55	45-100	Argileux
AS	Argile sableuse	45-75	0-25	25-45	
A	Argile	20-45	10-50	30-45	
AL	Argile limoneuse	0-20	55-70	30-45	Argilo-limoneux
S	Sable	80-100	0-20	0-10	Sableux
LSA	Limon sablo-argileux	35-55	20-47	18-30	Limono-argileux
LAS	Limon argilo-sableux	15-35	35-67	18-30	
LA	Limon argileux	0-15	55-83	18-30	
LS	Limon sableux	35-55	27-57	8-18	Limono-sableux
LMS	Limon moyen sableux	15-35	47-77	8-18	
LLS	Limon léger sableux	15-55	37-85	0-8	
SL	Sable limoneux	55-80	10-45	0-13	Sablo-limoneux
SA	Sable argileux	55-100	0-33	10-25	
LM	Limon moyen	0-15	67-93	8-18	Limoneux
LL	Limon léger	0-15	77-100	0-8	

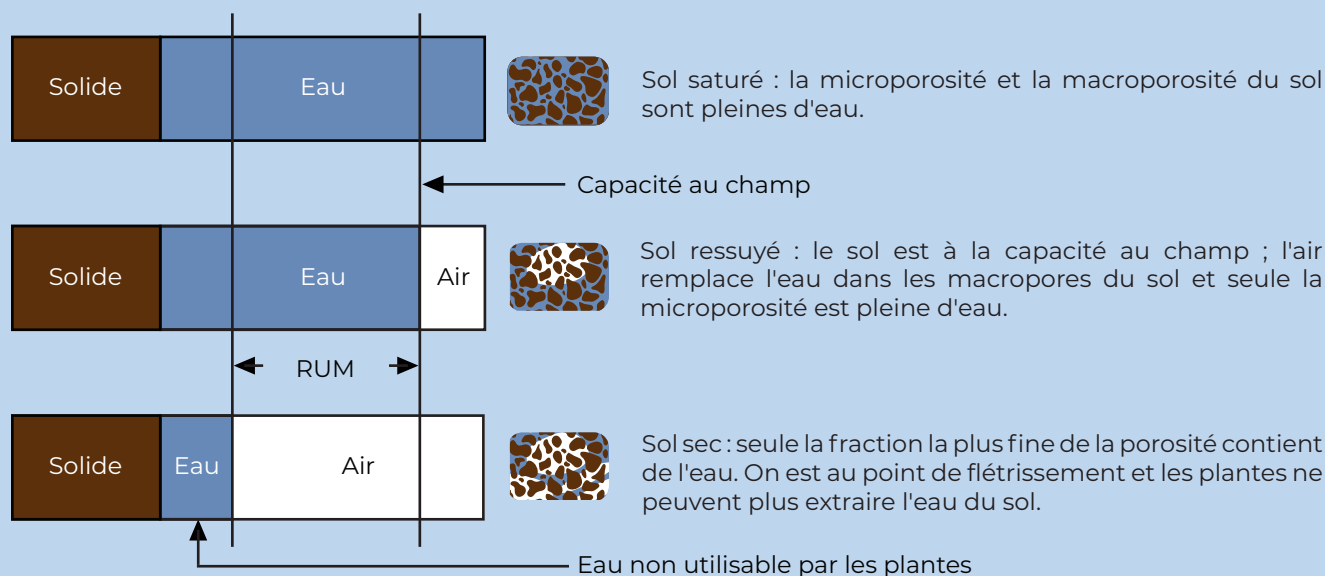


Positionnement des résultats du test du boudin sur le triangle des textures dit «de l'Aisne»

- Si la texture d'un sol ne peut pas être modifiée, son influence sur le fonctionnement hydrique du sol peut être modulée.

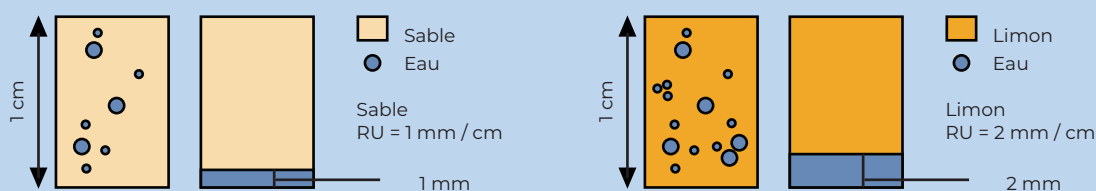
Classe texturale	Comportement	Actions possibles
Sableux ou Sablo-limoneux	Retient mal l'eau et les éléments minéraux apportés.	Pour améliorer la capacité du sol à retenir l'eau, apportez de grandes quantités de matières organiques.
Limoneux	Sujet à la formation d'une croûte de battance qui l'imperméabilise puis favorise l'érosion par l'eau.	Pour éviter la formation d'une croûte de battance, maintenez des cultures toute l'année et en particulier en hiver et conservez des mottes à la surface du sol.
Argileux ou /et argilo-limoneux	Peut devenir très dur en période sèche et limiter l'infiltration de l'eau en condition humides.	N'intervenez que lorsque le sol est ressuyé.
Texture équilibrée limono-argileux et limono-sableux	Assure une infiltration et une rétention de l'eau optimales, à condition qu'il ne soit pas trop compacté.	

- Le réservoir utile maximal (RUM) d'un sol est la quantité d'eau qu'il peut contenir et restituer aux plantes c'est-à-dire l'eau présente dans les micropores¹ du sol ressuyé. Le réservoir utile d'un sol dépend de sa texture, de sa teneur en matière organique, de sa pierrosité, et de son épaisseur. En première approche, il peut être estimé à partir de la texture du sol.



Différents états d'humidité d'un sol (d'après Bouthier et al, 2022)

- Le réservoir utile s'exprime en mm / cm. Cette unité représente la hauteur d'eau (mm) dans une hauteur de sol de 1 cm. Par exemple :



- Le réservoir utile d'un sol est un indicateur intéressant pour adapter l'irrigation, choisir les essences d'arbres et d'arbustes, et évaluer la fertilité physique du sol. Il est d'autant plus important que le sol présente une porosité élevée.
- Pour augmenter le réservoir utile d'un sol :
 - Favorisez l'enracinement des plantes en travaillant la compacité et la structure du sol : plus l'enracinement sera important, plus la plante pourra utiliser l'eau présente en profondeur.
 - Enrichissez le sol en matière organique, qui a un pouvoir de rétention en eau important, améliore la stabilité structurale et limite la formation de croûte de battance (couche superficielle du sol qui empêche l'eau et l'air de s'infiltrer).
 - Limitez la présence d'éléments grossiers (graviers, cailloux, etc.) : tout espace occupé par ces éléments grossiers est du volume en moins pour l'eau, même si certains éléments grossiers peuvent contribuer au réservoir utile en eau.
- Pour déterminer la texture du sol selon le test du boudin, puis en déduire le réservoir utile, suivez le Protocole H. Le test du boudin ne permet pas de caractériser de façon précise les proportions de sable, argile et limon que contient le sol, mais donne une idée de sa texture dominante. Si vous souhaitez déterminer la proportion exacte de ces éléments, une analyse granulométrique par un laboratoire agréé est nécessaire.

Pores¹ : espaces vides du sol dans lesquels circulent l'eau et l'air et où vivent les organismes vivants. Les macropores sont des pores de grande taille et les micropores, des pores de petite taille.

- Mettez en rapport les résultats de réservoir utile obtenus avec le protocole « Porosité » (Fiche L) : le réservoir utile est plus important pour un sol dont la porosité est élevée. Comparez le résultat avec celui de la «Capacité au champ» (Fiche N) : le réservoir utile est normalement inférieur à la capacité au champ.

MATÉRIEL

- 1 gourde ou 1 bouteille d'eau
- Des chiffons

Protocole H : Détermination de la texture et du réservoir utile de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

Vidéo de démonstration du protocole



Soil texture by feel test (Prof M. Valen) <https://www.youtube.com/watch?v=ahY5qZwaY1E> (2:00 à 3:10)

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon par lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez directement sur le sac plastique (ou dans la gouttière si vous n'avez pas réalisé le Protocole F) une petite poignée de terre correspondant à l'horizon H que vous avez choisi, soit environ 25 g (de quoi remplir la paume de la main).
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Placez l'échantillon de terre dans votre main.

- Amenez l'échantillon de terre à un état d'humidité optimal pour son pétrissage (la terre commence à s'agglomérer, mais sans adhérer à votre main). Cette étape est essentielle pour une observation de qualité.

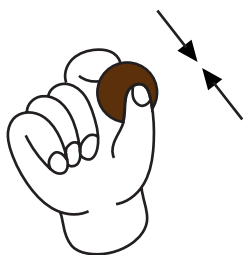


Si la terre est trop humide (elle «brille»), asséchez-la en la malaxant.

Si la terre est trop sèche, humidifiez-la progressivement en versant quelques gouttes d'eau à l'aide de la pissette, tout en la pétrissant.

Test du boudin

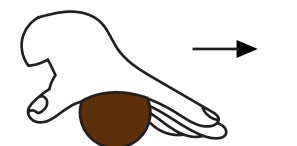
- Écrasez le pâton¹ de terre entre le pouce et l'index.



Si l'échantillon de terre colle fortement, il est probablement riche en argile.

A l'inverse, si vous ressentez des petits grains rugueux qui crissent (n'hésitez pas à rapprocher l'échantillon de votre oreille), il s'agit de sables plus ou moins grossiers.

- Roulez l'échantillon pour en faire une boule d'environ 3 cm de diamètre.

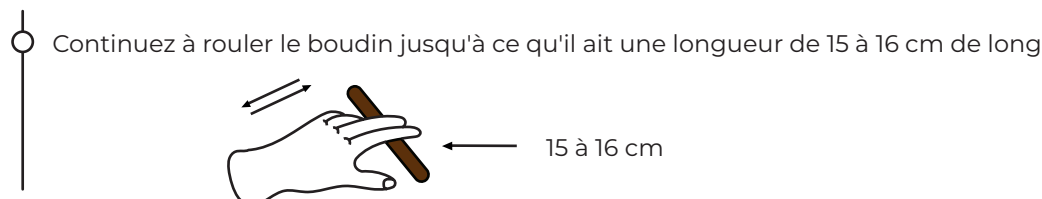


¹Pâton¹: Boule obtenue par pétrissage.

Si la boule se désagrège, sa texture est **sableuse**.
Si la boule ne se désagrège pas, continuez le Protocole H.



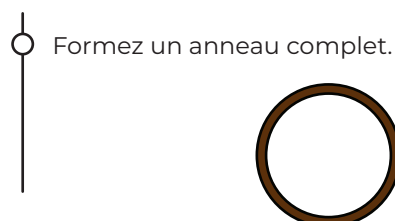
Si le boudin ne garde pas sa forme, sa texture est **sablo-limoneuse**.
Si le boudin garde sa forme, continuez le Protocole H.



Si le boudin ne garde pas sa forme, sa texture est **limono-sableuse**.
Si le boudin garde sa forme, continuez le Protocole H.



Si le boudin ne se courbe pas, sa texture est **limoneuse**.
Si le boudin se courbe et se maintient, continuez le Protocole H.



Si l'anneau ne résiste pas, sa texture est **limoneuse-argileuse**.
Si l'anneau résiste un peu, sa texture est **argilo-limoneuse**.
Si l'anneau résiste, sa texture est **argileuse**.



Pour plus d'informations sur l'abondance relative des différents constituants (sable, argile, limon) dans les horizons H1 et H2. Reportez-vous au triangle des textures présenté Fiche H.

□ Remplissez la partie H1 (page Restitution H).

- Déduisez le réservoir utile (mm/cm) du résultat du test du boudin, pour chacun des deux horizons H1 et H2. Aidez-vous du tableau présenté dans la page Restitution H.
- Lavez vos mains.

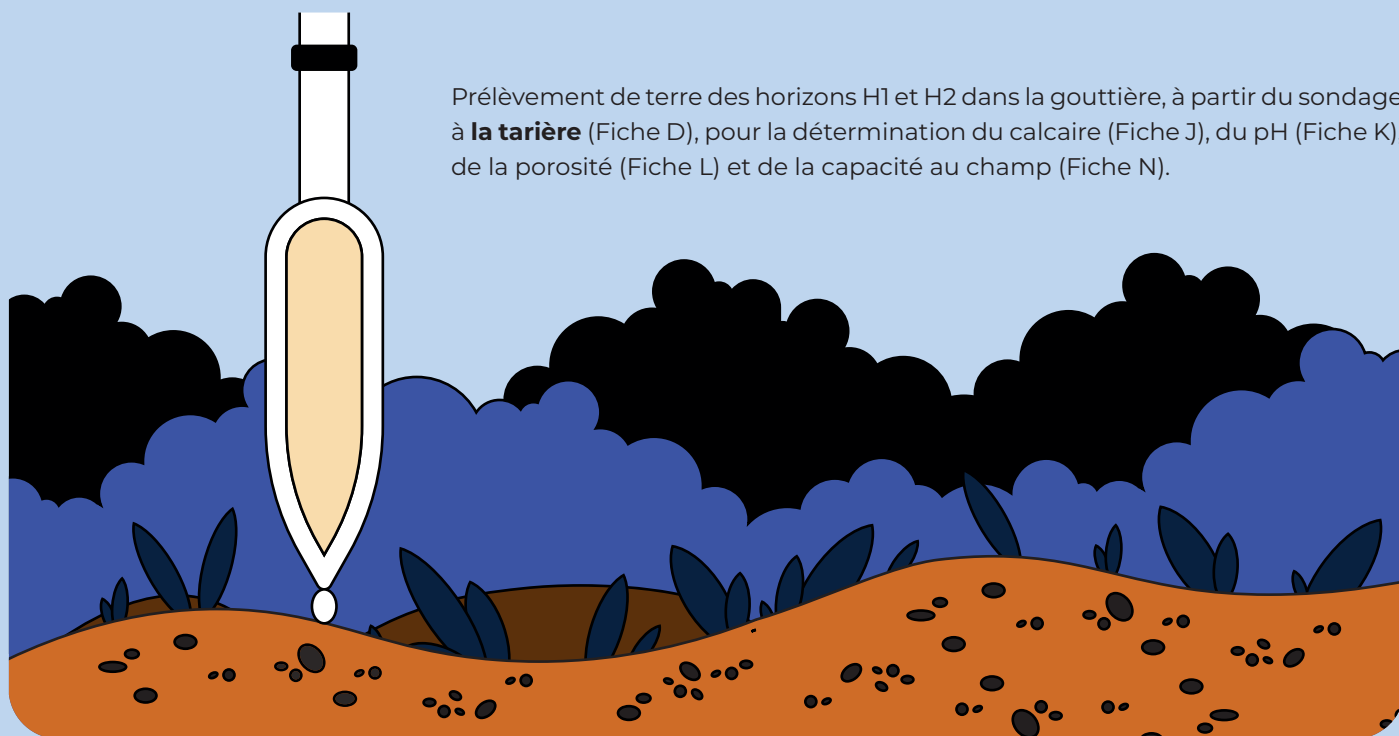
I

PRÉLÈVEMENT DE TERRE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES PROTOCOLES DES FICHES J À N (EN SALLE)



15 min

- Le mode de prélèvement et de préparation des échantillons de terre dépend des protocoles en salle (Fiches J à N) que vous souhaitez mettre œuvre :



Prélèvement de terre des horizons H1 et H2 dans la gouttière, à partir du sondage à **la tarière** (Fiche D), pour la détermination du calcaire (Fiche J), du pH (Fiche K), de la porosité (Fiche L) et de la capacité au champ (Fiche N).



Prélèvement de terre à la **bêche**, pour obtenir un échantillon de terre de l'horizon H1 non déstructuré destiné à la détermination de la stabilité structurale (Fiche M).

Pour prélever les échantillons de terre nécessaire à la mise en œuvre des protocoles en salle, suivez le Protocole I.

QUANTITÉ DE SOL NÉCESSAIRES PAR HORIZON (EN g OU EN mL)

Protocole en salle	Quantité de sol nécessaire par horizon (environ)	
	g	mL
Calcaire (Fiche J)	30	25
pH (Fiche K)	30	25
Porosité (Fiche L)	50	40
Capacité au champ (Fiche N)	160	120

MATÉRIEL

- Des paires de gants
- 1 bêche
- 1 tarière (1,20 m graduée tous les 10 cm avec du ruban adhésif de couleur)
- 1 gouttière (1,20 m graduée tous les 10 cm)
- 1 couteau
- 1 mètre ruban > 2 m
- 3 boîtes avec couvercle (type boîte de glace) ou 3 sachets plastique (type congélation)
- 1 marqueur indélébile ou 1 feutre marqueur

Protocole I : Prélèvement d'échantillons de terre de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2) pour mettre en œuvre les protocoles en salle (K à N).

- Mettez des gants.

Prélèvement dans la gouttière (si le Protocole F n'a pas été réalisé) ou sur le sac plastique (si le Protocole F a été réalisé).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon avec lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez directement sur le sac plastique (ou dans la gouttière si vous n'avez pas réalisé le Protocole F) environ 500 g / 400 mL de terre correspondant à l'horizon que vous avez choisi.
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Placez la terre dans une boîte ou un sac.
- Identifiez la boîte ou le sac en inscrivant le numéro de l'horizon dessus.
- Fermez la boîte ou le sac.

Nouveau prélèvement à la tarière au niveau d'un coin du quadrat (non piétiné), s'il n'y a pas suffisamment de matière dans la gouttière (ou sur le sac plastique).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon avec lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Refaites le Protocole D.
- 

Veillez à creuser en adoptant une position ergonomique afin d'éviter tout risque de blessure.
- Prélevez directement dans la gouttière environ 500 g / 400 mL de terre correspondant à l'horizon que vous avez choisi.
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Placez la terre dans une boîte ou un sac.
- Identifiez la boîte ou le sac en inscrivant le numéro de l'horizon dessus.
- Fermez la boîte ou le sac et rebouchez les trous en respectant au mieux l'ordre des différents horizons.

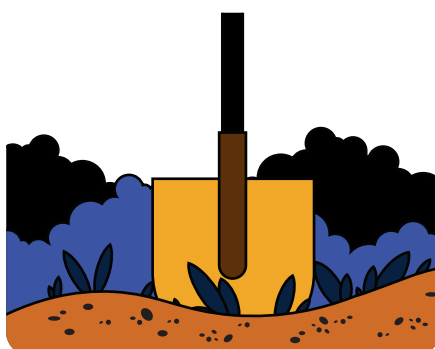
Prélèvement à la bêche à proximité du quadrat dans un environnement non piétiné. Uniquement l'horizon H1 et pour déterminer la stabilité structurale (Fiche M).

- Évacuez les 2 premiers centimètres de terre meuble / sèche, de végétation, de résidus de culture, etc. à la surface du sol en faisant des mouvements d'aller-retour («balayage») avec la bêche.

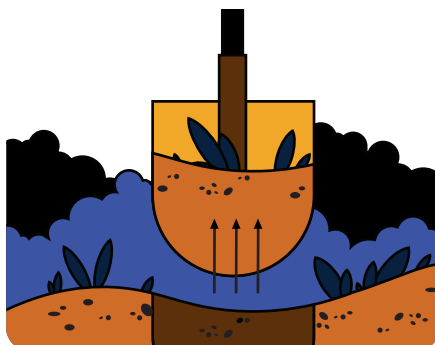


Veillez à ne pas déstructurer le sol.

- Délimitez, à l'aide de la bêche, un carré de sol à extraire, dont la longueur du côté est égale à la largeur de la bêche.
- Creusez verticalement un cube de sol en un seul mouvement, en vous aidant du poids de votre corps. La profondeur du cube devra être légèrement supérieure à celle souhaitée (0 – 20 cm ou la profondeur de l'horizon H1 déterminée précédemment).



- Extrayez ce bloc de sol, à l'aide de vos mains, avec soin.



- Prélevez à la main un échantillon de terre d'environ 400 g / 300 mL.
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Placez la terre dans une boîte ou un sac.
- Identifiez la boîte ou le sac avec le numéro de l'horizon H1 (H1) et le type de prélèvement (H1, bêche).
- Fermez la boîte ou sac.
- Rebouchez les trous, en respectant au mieux l'ordre des différents horizons.

J | CALCAIRE



1/4

10
min

2/4

- Le calcaire ou carbonate de calcium (CaCO_3) est un composé riche en calcium (Ca) issu de l'altération de la roche mère¹ qui influence les cortèges végétaux et les populations d'organismes vivant dans le sol.
 - La présence de calcaire dans le sol est indicatrice de son pH : un sol calcaire a un pH basique, c'est-à-dire supérieur à 7.
 - Il fournit du calcium, essentiel à la structure des parois cellulaires des plantes.
 - Il participe à agrégation des particules du sol, améliorant la porosité, la circulation de l'eau et de l'air.
- Pour évaluer la richesse en calcaire du sol, suivez le protocole J. Vous pourrez confronter avec les résultats avec la valeur de pH du sol (Fiche K) : un sol calcaire a un pH basique, c'est à dire supérieur à 7.

MATÉRIEL

- Des paires de gants
- 1 paire de lunettes de protection
- 1 blouse
- 1 bouteille d'acide chlorhydrique (HCl) achetée dans le commerce (30 à 33%) (précaution : si vous transportez la solution acide, vérifiez que le flacon soit bien fermé)
- Eau (1 L environ)
- 3 verres
- 1 pissette vide
- 1 marqueur indélébile ou 1 feutre marqueur
- 2 coupelles
- Des chiffons

Roche mère¹ : couche minérale superficielle de la croûte terrestre, dont l'altération contribue à la constitution du sol. On parle aussi de matériau parental.

Protocole J : Caractérisation de la richesse en calcaire de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

- Mettez des gants, des lunettes de protection et une blouse.
 - Préparez une solution d'acide chlorhydrique dilué (dilution 1/3) en versant dans un verre, 2 volumes d'eau puis 1 volume d'acide chlorhydrique.
- 

Versez toujours l'acide dans l'eau et non l'inverse pour éviter les projections d'acide.
- Versez la solution d'acide chlorhydrique dilué dans une pissette.
 - Étiquetez la pissette.

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon par lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Gardez vos gants, vos lunettes de protection et votre blouse.
 - Prélevez, à la main, environ 30 g / 25 mL de terre de l'horizon H choisi.
 - Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
 - Placez cette terre dans une petite coupelle.
 - Déposez, à l'aide de la pissette, quelques gouttes d'acide chlorhydrique dilué sur la terre placée dans la coupelle.
 - Observez la formation de bulles.
- 

Si les bulles restent invisibles, recommencez l'opération en rapprochant l'échantillon de votre oreille pour entendre un éventuel crépitement lié à une faible effervescence (non perceptible à l'œil).

Afin de ne pas confondre l'effervescence produite par la terre fine et celle produite par de petits graviers ou concrétions calcaires qui s'y trouveraient, vérifiez que la répartition des bulles sur l'échantillon est bien uniforme et non localisée près des éléments grossiers.
- Caractérissez le crépitement et déduisez la présence en calcaire du sol. Aidez-vous de la figure présentée dans la page Restitution J.
- ☐ Remplissez la partie J1 (page Restitution J).
- Rincez bien la coupelle avec de l'eau entre 2 échantillons.

K | pH



2/4



10 min



4/4

- Le pH (potentiel hydrogène) correspond à la concentration d'ions H^+ libres dans une solution. Il s'exprime selon une échelle allant de 0 (état acide) à 14 (état basique) où 7 correspond à l'état neutre. Certaines espèces cultivées sont plus adaptées ou moins adaptées à un pH donné, comme illustré dans le tableau ci-dessous.

Acide 4 < pH < 6		Acide à neutre 6 < pH < 7		Neutre à basique 7 < pH < 7,5	
Châtaignier	Lin	Abricotier	Navet	Asperge	Concombre
Chêne	Lupin	Aubergine	Pêcher	Betterave	Courgette
Chicorée	Mûre	Cerisier	Persil	Blette	Épinard
Conifère	Myrtille	Citrouille	Poirier	Brocoli	Laitue
Echalote	Oeillet d'Inde	Courge	Pois	Carotte	Luzerne
Endive	Patate douce	Fraise	Pommier	Céleri	Oignon
Fenouil	Pomme de terre	Groseille	Raisin	Chou	Poireau
Fougère	Rhubarbe	Haicots	Tomate	Chou de Bruxelles	Trèfle
Framboisier	Lin	Moutarde	Soja	Chou-fleur	

Plantes cultivables selon le pH mesuré d'après Tela-botanica (<https://www.tela-botanica.org/>)

- En France métropolitaine, le pH des sols est généralement compris entre 4,5 et 8,5. Suivant leur pH, on classe les sols de la façon suivante :
 - pH < 3,5 : sol hyper acide
 - 3,5 < pH < 4,2 : sol très acide
 - 4,2 < pH < 5,0 : sol acide
 - 5,0 < pH < 6,5 : peu acide
 - 6,5 < pH < 7,5 : sol neutre
 - 7,5 < pH < 8,7 : sol basique
 - pH > 8,7 : très basique.
- Pour faire évoluer le pH d'un sol :
 - Apportez un amendement calcaire ou magnésien (chaux, calcaire, dolomie, etc.) et évitez les espèces végétales acidifiantes pour limiter l'acidité d'un sol.
 - Apportez de la terre de bruyère ou un engrais riche en soufre pour rendre un sol plus acide.
- Pour déterminer le pH du sol, suivez le Protocole K. Vous pouvez confronter les résultats à ceux obtenus lors de l'évaluation de la richesse en calcaire du sol (Fiche J) : plus le sol contient de calcaire, plus son pH est élevé.

MATÉRIEL

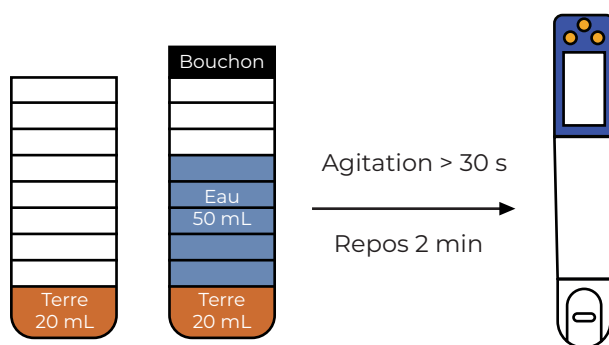
- 1 pH-mètre stylo portable avec les solutions étalon fournies
- Eau déminéralisée (pour fer à repasser par exemple) ou eau de source à faible teneur ionique (comme celles recommandées pour les bébés)
- 1 flacon ou biberon gradué de 100 mL et avec bouchon ou 1 éprouvette graduée
- 1 cuillère

PROTOCOLE K : Détermination du pH de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

- Avant toute série de mesures, étalonnez¹ le pH-mètre à l'aide de la notice et des solutions étalon fournies.

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon par lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez, à la cuillère, environ 30 g / 25 mL de terre de l'horizon H choisi.
 - Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
 - Placez la terre dans le flacon (biberon ou éprouvette graduée).
 - Ajoutez 50 mL d'eau déminéralisée dans le flacon contenant la terre.
 - Fermez le flacon (contenant la terre et l'eau) avec un bouchon ou votre main.
 - Uniformisez le contenu du flacon en le secouant vivement pendant au moins 30 secondes, jusqu'à disparition complète des agrégats².
-
- Cette étape de mise en solution est importante : multipliez les mouvements de rotation.
- Laissez reposer le mélange deux minutes afin qu'il décante³.
 - Ouvrez le flacon.
 - Versez doucement de la solution obtenue dans le pH-mètre.
 - Attendez que le pH-mètre se stabilise.
 - Lisez la valeur du pH indiquée sur le pH-mètre.
- Remplissez la partie K1 (page Restitution K).
- Rincez soigneusement l'ensemble du matériel utilisé avec de l'eau déminéralisée entre 2 échantillons.



Étalonner¹: vérifier une mesure par comparaison avec un étalon.

Agrégat²: "assemblage élémentaire" constitué des particules minérales de sol, de ciments (organiques, oxydes et hydroxydes, etc.).

Décanter³: séparer par gravité des produits non miscibles, dont l'un au moins est liquide.

L | POROSITÉ

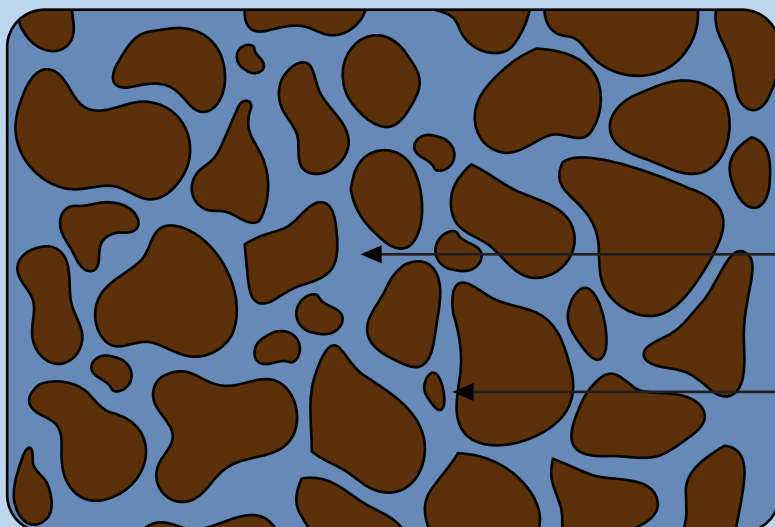


20 min



1/4

- La porosité est la proportion du volume de sol occupé par du vide : ce sont les pores. L'eau et l'air y circulent et les organismes y vivent.



Les macropores (grands pores) assurent la circulation de l'air et de l'eau.

Les micropores (petits pores) retiennent l'eau.

- Pour favoriser la circulation de l'eau et de l'air, les pores doivent former un réseau continu, sans rupture (mottes dures, fentes, etc.). Le tassement du sol dégrade ce réseau et diminue la porosité. Elle varie de 30 % pour les sols à texture très fine et très tassés, jusqu'à 70 % pour les sols riches en humus et à texture équilibrée. Pour exemple, la porosité totale d'une roche telle que le granite est de 1%.
- Une porosité élevée favorise l'enracinement et la circulation de l'air et de l'eau. Pour augmenter la porosité d'un sol :
 - Favorisez la présence d'organismes dans les sols (sols vivants) car ils soutiennent la structuration du sol (galeries des vers de terre, fourmis, etc.).
 - Favorisez la présence de matière organique.
 - Évitez le tassement car il dégrade le réseau de pores.
 - Aérez le sol avec des outils.
- Pour déterminer la porosité totale du sol, suivez le Protocole L. La valeur de porosité totale que vous obtiendrez n'est qu'indicative de l'état de porosité du sol. Le test proposé est sensible au degré de modification de la structure du sol lors des manipulations et au vide initial entre les parois du flacon et l'échantillon de terre. Le Protocole L "Porosité" est lié aux protocoles « Capacité au champ » (Fiche N) et « Réservoir utile » (Fiche H), qui concernent la capacité de rétention en eau des sols : de façon générale, ces paramètres augmentent avec la porosité.

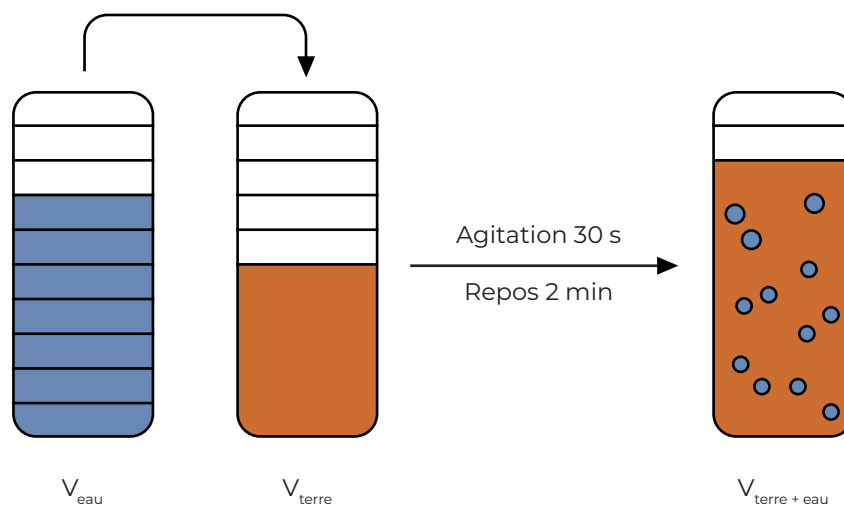
MATÉRIEL

- Eau (environ 0,5 L)
- 2 biberons de 250 mL, avec des graduations au minimum tous les 10 mL (ou 2 éprouvettes graduées)
- 1 calculatrice ou 1 smartphone

PROTOCOLE L : Détermination de la porosité de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé séparément pour chacun des horizons H1 et H2. Choisissez l'horizon par lequel vous souhaitez commencer, puis :

- Prélevez, à la main, une motte environ 50 g / 40 mL de terre de l'horizon choisi.
- Retirez les éléments grossiers (cailloux, briques, racines, etc.).
- Placez la terre dans un 1^{er} flacon (biberon ou éprouvette graduée).
- Déterminez le volume V_{terre} (en mL) de la terre.
□ Remplissez la partie L1 (page Restitution L).
- Versez exactement 70 mL d'eau dans un 2^{ème} flacon (biberon ou éprouvette graduée).
- Versez doucement le contenu du 2^{ème} flacon dans le 1^{er} flacon.
- Fermez le flacon (contenant la terre et l'eau) avec un bouchon ou votre main.
- Agitez énergiquement le flacon (contenant la terre et l'eau) pendant environ 30 secondes, de manière à bien mélanger l'eau et la terre, sans en renverser.
- Laissez reposer 2 minutes le flacon (contenant la terre et l'eau) de façon à laisser sédimenter¹ son contenu.
- Déterminez le volume $V_{\text{terre+eau}}$ (en mL) obtenu (en comptabilisant l'eau colorée au-dessus de la terre).
□ Remplissez la partie L2 (page Restitution L).
- Calculez la porosité totale P_t (en %) du sol. Aidez-vous de la formule présentée dans la page Restitution L.
□ Remplissez la partie L3 (page Restitution L).
- Nettoyez l'ensemble du matériel entre chaque échantillon de terre.

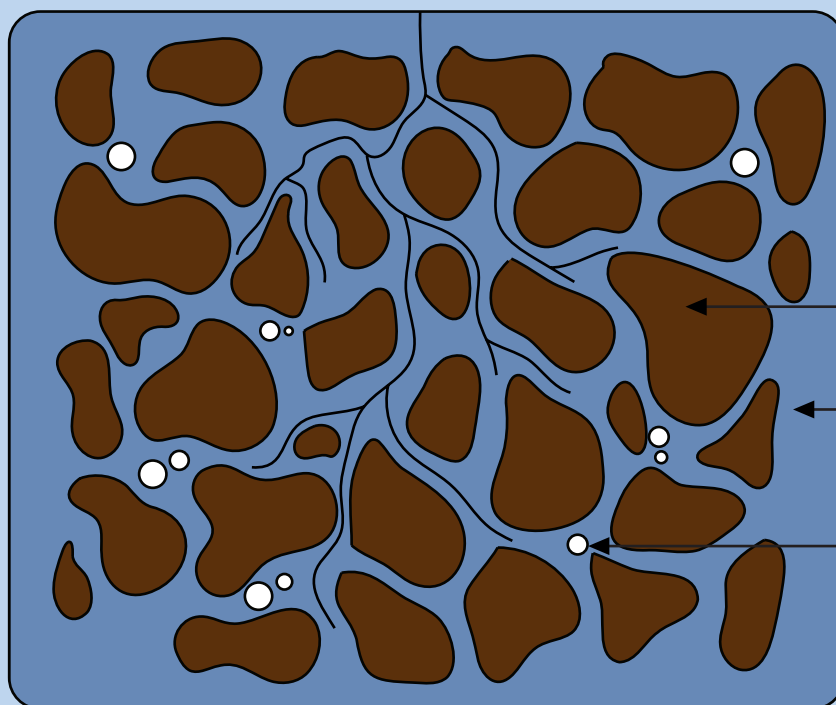


Sédimenter¹ : se déposer, en parlant de particules en suspension.

60
min

2/4

- La stabilité structurale est une propriété physique du sol qui reflète l'aptitude des agrégats¹ qui le composent à résister à l'action mécanique notamment celle des pluies (et in fine à l'érosion²).



Fraction solide :
Agrégat organique et minéral

Fraction liquide :
Eau + substances dissoutes

Fraction gazeuse :
Air + gaz issus de la
décomposition du sol

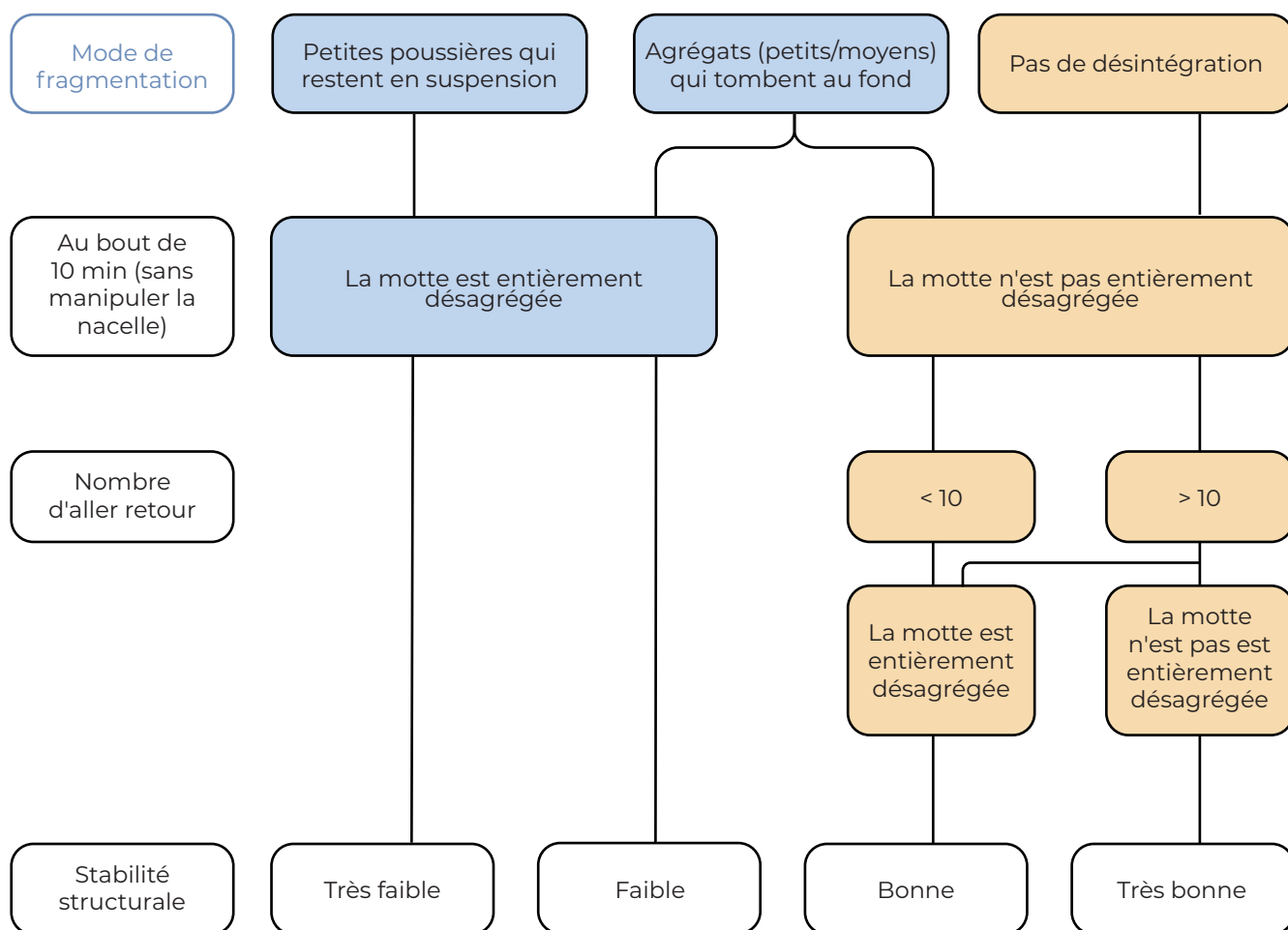
Les éléments constitutifs d'un sol (source : CIVAM 30, <https://formationcivamgard.fr/?SolDebutes>)

- La stabilité structurale d'un sol dépend surtout :
 - De sa texture (teneur en argile) (Fiche H).
 - De sa richesse en matière organique.
 - De sa richesse en éléments minéraux tels que le calcium (Ca), qui stabilise les agrégats, et le sodium (Na), qui les fragilise.
- Pour favoriser la stabilité structurale d'un sol :
 - Implantez un couvert végétal qui permettra de structurer le sol et d'augmenter sa résistance à l'érosion grâce à l'enracinement.
 - Augmentez le taux de matière organique dans le sol.
- Ces deux pratiques favorisent l'activité biologique du sol (champignons, bactéries, algues, vers de terre, etc.), qui elle-même stabilise la structure.
- Pour déterminer la stabilité structurale du sol, suivez le Protocole M. Plus la motte se décompose rapidement, moins la structure de l'échantillon est stable.

Agrégat de sol : Aussi appelés « assemblages élémentaires », ils sont constitués des particules minérales de sol, de ciments (organiques, oxydes et hydroxydes, etc.), et sont visibles à l'œil nu (diamètre de l'ordre du mm).

Érosion² : déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues.

AIDE À LA RÉALISATION DU PROTOCOLE



MATÉRIEL

- Bocaux à cornichons avec nacelle (type Amora®) autant de bocaux que d'échantillons à tester (4 à 6 pour faire 2 à 3 répétitions par horizon)
- Eau (environ 3 L)
- 1 chronomètre ou 1 smartphone

PROTOCOLE M : Détermination de la stabilité structurale de l'horizon 1 (H1) uniquement, prélevé à la bêche.

Vidéo de démonstration du protocole



5 tests simples pour évaluer son sol (Terre-net) <https://www.terre-net.fr/fertilisation/article/202848/des-outils-simples-pour-evaluer-son-sol> (2:13 à 3:30)



Au moment de l'échantillonnage, veillez à ne pas « déstructurer » l'échantillon de horizon H1 (ni le compacter, ni l'émietter), pour ne pas fausser les résultats du test. S'il y en a, gardez les éléments grossiers dans la petite motte prélevée.

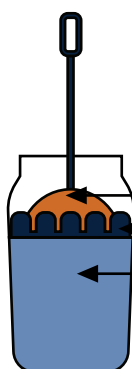
Le test peut être fait sur plusieurs échantillons simultanément : prévoyez plusieurs mottes pour réaliser des répétitions sur un même échantillon. Préparez autant de bocaux que d'échantillons.

Horizon H1 uniquement (prélevé à la bêche).

- Ouvrez le bocal à cornichons et retirez la nacelle.
- Remplissez les $\frac{3}{4}$ du bocal avec de l'eau.
- Prélevez, à la main, une motte d'environ 50 g / 40 mL.
- Déposez la motte sur la nacelle.
- Déposez le bas de la nacelle sur la surface de l'eau.



La partie basse de la nacelle doit être en contact avec l'eau mais la motte ne doit pas être immergée.



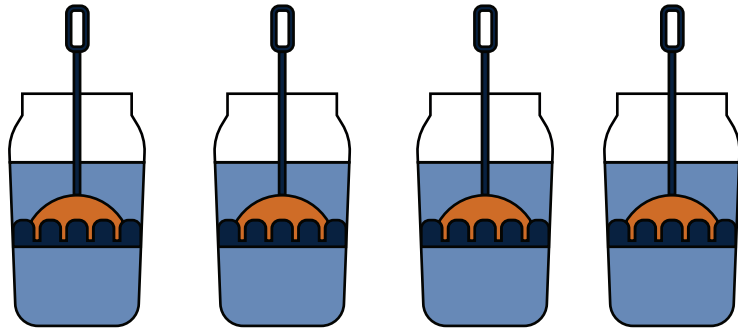
Motte
Nacelle
Eau

- Déclenchez le chronomètre.

- Enfoncez doucement la nacelle dans l'eau (la motte doit être entièrement immergée).



Si plusieurs échantillons ont été préparés : plongez-les en même temps.



- Observez et déterminez si la motte se désagrège ou non. Si elle se désagrège, caractérisez le mode de fragmentation : sous forme de petites poussières qui restent en suspension ou sous forme de petits agrégats qui se fragmentent ensuite eux-mêmes et tombent au fond du bocal.

☐ Remplissez la partie M1 (page Restitution M).

- Déterminez si la motte s'est entièrement désagrégée en moins de 10 min (et si oui, au bout de combien de temps (en min)).

☐ Remplissez la partie M2 (page Restitution M).

Si l'échantillon est toujours intact ou consistant au bout de 10 min.

- Effectuez a minima 5 allers-retours avec la nacelle (1 geste / seconde environ), en la déplaçant de haut en bas, c'est-à-dire en immergeant puis émergeant la motte. Si nécessaire, augmentez le nombre d'allers-retours et comptez-les.

☐ Remplissez la partie M3 (page Restitution M).

- Déterminez en combien d'aller-retours la motte s'est désagrégée entièrement.

N | CAPACITÉ AU CHAMP



Phase de séchage : 12 h
Phase d'humidification : 12 h



- La capacité au champ, aussi appelée « capacité de rétention maximale » en eau, est le volume maximal d'eau que le sol est capable de retenir dans ses pores. Si on compare le sol à une éponge, la capacité au champ s'apparente au moment où l'éponge est pleine et ne goutte pas (tous les pores sont remplis mais l'eau ne déborde pas de l'éponge).
- La capacité au champ d'un sol (ou son pouvoir à retenir l'eau infiltrée) est variable dans le temps et l'espace car elle dépend de :
 - La profondeur du sol,
 - Sa porosité (taille, nombre et connectivité des pores),
 - Sa texture.
- Connaître la capacité au champ d'un sol permet d'adapter son irrigation (arrosage). Sur-arrosé, un sol qui présente une faible capacité au champ n'est pas en mesure de retenir toute l'eau reçue. Par conséquent, une partie de l'eau est perdue par drainage (vers le sous-sol) ou ruissellement (en surface).
- Pour déterminer la capacité au champ du sol, suivez le Protocole N. Mettez en rapport les résultats obtenus avec le Protocole « Porosité » (Fiche L) : la capacité au champ est d'autant plus importante que la porosité est élevée. Comparez le résultat avec celui du « Réservoir utile » (Fiche H) : le réservoir utile est inférieur à la capacité au champ.

MATÉRIEL

- 4 coupelles ou bocaux
- 4 gobelets en plastique
- 1 aiguille
- 2 bacs ou 2 assiettes creuses
- Eau
- 1 balance (type balance de cuisine)
- 1 calculatrice ou 1 smartphone
- Des chiffons ou essuie-tout

PROTOCOLE N : Détermination de la capacité au champ de l'horizon 1 (H1) et de l'horizon 2 (H2).

Le protocole décrit ci-après doit être réalisé pour chacun des horizons H1 et H2 simultanément.

Phase de séchage

- Prélevez, à la main, une motte d'environ 80 g / 70 mL de l'horizon, retirez-en les éléments grossiers et déposez-la dans un gobelet.
- Prélevez une autre motte d'environ 80 g / 70 mL du même horizon, retirez-en les éléments grossiers et déposez-la dans un autre gobelet (elle sera nommée motte de référence).
- Placez la terre contenue de chacun de ces deux gobelets dans 2 coupelles ou bocaux différents.
- Séchez ces 2 mottes au moins 12 h (une nuit) à l'air libre (il est aussi possible de les mettre au four, ou au soleil).
- Assurez-vous au bout de 12 h que la motte de référence est sèche en l'émiettant de façon à vérifier si l'intérieur des agrégats est encore humide ou non.



Attention, ne manipulez que la motte de référence pour ne pas détruire la motte qui servira à la mesure.

Si la motte de référence n'est pas sèche : continuez à faire sécher les 2 mottes.

Si la motte de référence est sèche : continuez le Protocole N.

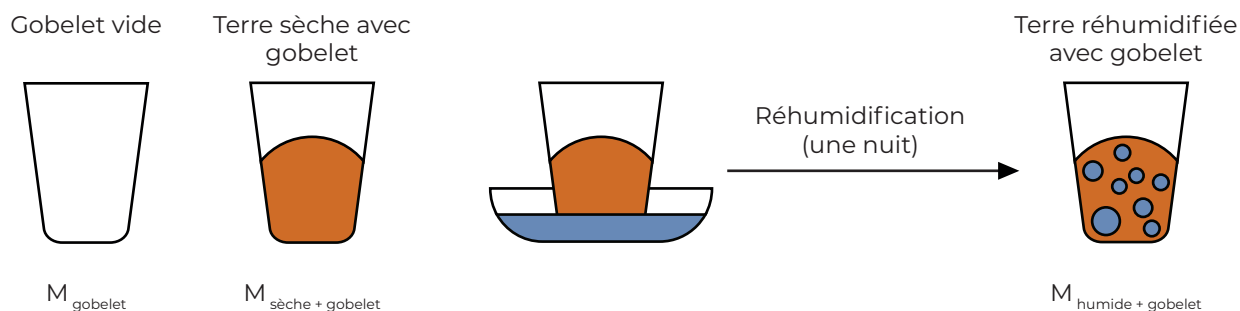
Phase d'humidification

- Pesez un gobelet vide M_{gobelet} (en g).
 - Remplissez la partie N1 (page Restitution N).
- Versez la terre sèche contenue dans la coupelle ou le bocal dans ce gobelet préalablement pesé.
- Pesez l'ensemble terre sèche + gobelet ($M_{\text{sèche+gobelet}}$) (en g).
 - Remplissez la partie N2 (page Restitution N).
- Trouez, à l'aide d'une aiguille, le pourtour du fond du gobelet contenant la terre sèche.
- Placez le gobelet troué contenant la terre sèche dans un bac (ou une assiette creuse) rempli avec un fond d'eau (ne pas submerger l'échantillon).
- Attendez que l'eau remonte par capillarité jusqu'à la surface de la terre sèche (environ une nuit).
 - Veillez à ce qu'il reste toujours de l'eau au fond du bac ou de l'assiette.
- Vérifiez que la terre sèche est bien humidifiée (le sommet de la terre doit être humide quand vous le touchez).

Si la terre n'est pas parfaitement humide, rajoutez un fond d'eau dans le bac (ou l'assiette creuse) et poursuivez la phase d'humidification.

Si la terre est parfaitement humide, continuez le Protocole N.

- Retirez le gobelet du bac ou de l'assiette creuse.
- Essuyez l'excès d'eau en passant délicatement un chiffon propre (ou un essuie-tout) à l'extérieur du gobelet.
- Pesez l'ensemble terre humide + gobelet ($M_{\text{humide+gobelet}}$) (en g).
 - Remplissez la partie N3 (page Restitution N).
- Calculer la capacité au champ CAC (en %). Aidez-vous de la formule présentée dans la page Restitution N.
 - Remplissez la partie N4 (page Restitution N).



Visuel du protocole de la capacité au champ

REMERCIEMENTS

- Nous vous remercions d'avoir participé à ces expériences.
- N'hésitez pas à transmettre vos résultats et vos photographies sur notre plateforme en ligne, car chaque donnée partagée contribue à mieux connaître les sols et à favoriser leur protection.



Lien : «Clés de Sol – utilisateurs» :

<https://aobox.agrocampus-ouest.fr/s/jW0rnJOnIfffanp>

Code d'accès : clesdesol



Chaque protocole est assorti d'explications destinées à en faciliter la compréhension et la mise en oeuvre. Toutefois, nous recommandons la présence de personnes formées à l'utilisation de la mallette Clés de Sol pour accompagner la mise en oeuvre des protocoles par toutes et tous.

