

Projet de recherche participative sur les sols

# Rapport de la phase 1 du projet Clés de Sol 2019-2021

Rapport de synthèse

Avril 2022



**Pour citer ce rapport**

Blanchard A., Brun A., Frey-Klett P., Gascuel C., Lagacherie P., Lemerrier B., Louiset R., Sauter J., Serin L., Soulier A., 2022. Rapport de la phase 1 du développement du projet Clés de Sol. Xx pp.

## Tables des matières

Introduction.....	4
I – Historique, genèse du projet .....	6
II – Objectifs de la phase 1 du projet Clés de sol.....	7
III – La méthode et les différentes étapes de la mise en place du projet .....	9
3.1 – Une première écriture des protocoles « sols » retenus.....	9
3.2 – La démarche de consolidation des protocoles.....	10
3.3 – Les structures « relais ».....	10
3.3.1 – La typologie des structures.....	10
3.3.2 – La formation des huit animateurs .....	11
3.3.3 – Le rôle des animateurs .....	12
3.4 – Les boucles d’amélioration des protocoles en différentes étapes.....	12
3.5 – Les retours d’expériences des animateurs et des bénévoles.....	13
IV – Les productions du projet .....	14
4.1 – La mallette Clés de sol .....	14
4.2 – Les incertitudes associées aux propriétés des sols .....	14
4.2.1. – Méthode .....	14
4.2.2. – Résultats .....	15
4.2.2.1. – Résultats préliminaires : présentation des caractéristiques générales des échantillons de terre sur lesquels les protocoles Clés de Sol ont été mis en œuvre .....	15
4.2.2.2. – Les variables bien estimées .....	15
4.2.2.3. – Les variables dont la rigueur d’estimation nécessite une évolution du protocole ...	17
4.2.2.4. – Les variables « difficiles » pour lesquelles un important travail de formation est à réaliser en amont de leur mise en œuvre .....	19
4.2.2.4.1. – Texture.....	19
4.2.2.4.2. – Couleur .....	21
4.2.3. – Enseignements et limites.....	22
4.3 – Le test de cartographie.....	22
4.3.1. – Méthode .....	23
4.3.1.1. – Choix de la propriété de sol à cartographier .....	23
4.3.1.2. – Construction des fonctions de prédiction et validations .....	24
4.3.2. – Résultats .....	24
4.4. – Enseignements .....	26
V – Enseignements et messages clés du projet Clés de Sol .....	27
VI – Perspectives .....	28
ANNEXES.....	31

## Introduction

### **Le projet de sciences et recherches participatives Clés de Sol est né de différents constats**

La recherche a mis au point des modèles numériques de cartographie des sols qui permettent d'estimer des propriétés des sols à partir de diverses informations, sur les sols eux-mêmes et sur le contexte dans lesquels ils se situent. Cette « prédiction » spatiale est assortie d'une incertitude qui se réduit au fur et à mesure que l'information s'ajoute. Les informations locales, hétérogènes, issues des sciences participatives, peuvent-elles apporter une information utile pour produire des cartes plus précises, plus utiles ?

La demande de connaissance des sols est souvent à l'échelle territoriale (l'agriculteur sur son territoire d'exploitation, collectivité territoriale pour son plan d'aménagement, etc.) : quels sont mes sols ? sont-ils fragiles ? de bonne qualité ? Or la puissance publique ne pourra pas aller à cette échelle territoriale (10 000 – 50 000ème) sur l'ensemble du territoire national. Des acteurs locaux vont inévitablement prendre le relais, sur des zones à enjeux (zones péri-urbaines pour limiter l'artificialisation des sols, zones de captage d'eau pour mieux protéger l'eau, etc.).

Même si les sols font l'objet de plus en plus d'attention, ils restent méconnus du grand public. Sensibiliser la société à ce qu'est un sol, à la diversité des sols et de leurs fonctions est essentiel pour les enjeux de biodiversité (les sols sont l'habitat d'une formidable biodiversité), d'aménagement (pour protéger les sols, en lien notamment avec les politiques du zéro artificialisation net), de mode de production agricole et d'alimentation (les fonctions des sols sont très mobilisées dans les démarches d'agroécologie), de contribution à la lutte contre les changements climatiques avec les initiatives comme 4p1000 visant à favoriser la séquestration du carbone dans les sols, etc. Les sols sont au centre de multiples politiques publiques. Créer des outils, des démarches de sciences participatives peuvent contribuer à sensibiliser la société à ce qu'est un sol, aux fonctions essentielles qu'ils remplissent pour la société. Ces enjeux de connaissance des sols s'inscrivent dans la transition écologique.

L'objectif de Clés de sol étant d'améliorer la connaissance des sols à l'échelle des territoires, la construction du projet s'est orientée sur les caractéristiques innées ou intrinsèque des sols, celles liées à la formation des sols (pédogénèse) qui montrent la plus grande stabilité dans le temps, qui sont majoritairement étudiées par le pédologue/cartographe de terrain, peu connues de la société, hors sphère agricole. Par ailleurs, d'autres projets de sciences participatives s'intéressent à la biodiversité du sol, terme bien intégré aujourd'hui. Ces deux types de propriétés sont complémentaires et concourent ensemble aux grandes fonctions écologiques des sols.

Ce projet vise donc à enrichir les bases de données sur les sols, à développer les méthodes de cartographie des sols aux échelles territoriales, à partir d'informations hétérogènes, tout en contribuant à propager dans la société une meilleure connaissance des sols et des enjeux dont ils sont porteurs. Un premier travail d'inventaire des démarches a été fait en 2017 qui avait esquissé le projet Clé de Sol (Jondreville et al., 2018).

### **Le projet Clés de Sol s'attache ainsi à deux objectifs concrets**

- Améliorer la cartographie des sols aux échelles territoriales en développant des méthodes participatives permettant d'enrichir les bases de données existantes, d'améliorer les cartes produites et de faciliter leurs usages ;
- Contribuer à diffuser dans la société une meilleure connaissance des sols et des enjeux dont ils sont porteurs et apporter des outils de connaissances sur le territoire.

Pour ce faire, il s'attache aussi à faire connaître et rendre accessibles les données disponibles sur les sols, à sensibiliser les publics à la diversité des sols et leur permettre d'identifier les principales propriétés et fonctions assurées par les sols.

### **Le sol tel que pris en compte dans Clés de Sol est un objet original des sciences participatives**

Il est complexe à décrire, en trois dimensions. Il a une dimension verticale, nécessitant souvent l'usage d'une tarière ou d'un code couleur pour décrire les différents horizons, l'appréciation de sa texture n'est pas évidente, etc. Il a aussi une dimension horizontale qui se traduit par des variations spatiales rapides, en lien avec le paysage dans lequel il s'inscrit. Par ailleurs, décrire le sol, c'est aussi regarder le paysage, le relief, les usages des sols, etc. C'est un objet large qui ouvre sur de multiples dimensions. Il a un caractère semi-permanent : beaucoup de ses caractéristiques ne changent pas, ou lentement ; l'information acquise est stable et directement intégrable. Dans ce projet, ce n'est pas la mise en évidence d'une évolution temporelle qui est recherchée, mais une densification de l'information dans l'espace. C'est aussi un objet ludique qui peut être manipulé, touché, observé sur le terrain.

### **Des partenaires de la recherche et de la société se sont rassemblés pour co-construire un projet et co-piloter sa mise en œuvre**

Le projet Clés de sol est porté par des acteurs aux compétences complémentaires : chercheurs académiques (INRAE, Institut Agro site de Rennes), réseaux associatifs (Union nationale des CPIE ; France Nature Environnement - FNE), acteurs du développement agricole (Chambre régionale d'agriculture Grand Est - CRA-GE). Ces acteurs sont présents sur différentes régions du territoire français et permettent de couvrir les différents besoins du projet (connaissances scientifiques et pédagogiques, animation de réseaux de bénévoles, public, structures et sols variés).

- L'Union nationale des CPIE est engagée dans la coordination d'acteurs en sciences participatives (co-animation du Collectif national Sciences participatives biodiversité (2012-2017) ; animation du portail web OPEN (depuis 2018)). Elle anime également son propre dispositif de réseau, les « Observatoires Locaux de la Biodiversité », démarche de mobilisation citoyenne en faveur de l'amélioration de la connaissance naturaliste.
- INRAE s'est engagé très fortement dans les actions de sciences et recherches participatives (Houllier et Merilhou-Goudard, 2016), a conforté cet engagement dans sa stratégie 2030, avec un thème dédié à la science ouverte. Un numéro spécial de la revue NOVAE (<https://www.inrae.fr/actualites/sciences-recherches-participatives-novae>) vient d'être édité sur les sciences et recherches participatives ; un blog est dédié à rassembler toutes les initiatives (<https://ist.blogs.inrae.fr/sciencesparticipatives>). Trois unités sont impliquées dans le projet, l'UMR SAS de Rennes, l'UMR LISAH de Montpellier et l'unité Tous Chercheurs de Nancy. L'Institut Agro site de Rennes est également partenaire du projet, sous portage INRAE, dans le cadre de son association dans l'UMR SAS de Rennes.
- FNE. Au sein du mouvement FNE, de nombreuses associations portent et/ou animent des programmes de sciences participatives, et depuis 2016 FNE participe au Collectif national Sciences Participatives biodiversité. FNE s'est par ailleurs investie en 2017 dans une campagne européenne de mobilisation autour des enjeux liés au sol, People for soil (People4Soil). Elle a coordonné cette action sur le territoire français, à travers l'Appel du Sol, et l'accompagnement

d'évènement locaux portés par les associations membres de FNE, pour sensibiliser le grand public à l'importance des sols.

- La chambre régionale d'Agriculture Grand Est (CRA-GE) constitue, auprès des pouvoirs publics, l'organe consultatif et professionnel des intérêts agricoles. Sur la question des sols, la CRA-GE est particulièrement engagée. Aux côtés du Gis Sol, elle coordonne et réalise la nouvelle campagne du RMQS<sup>1</sup> dans le Grand Est et en Franche-Comté, et elle est partenaire du programme IGCS<sup>2</sup> qui a conduit notamment à la réalisation des Référentiels Régionaux Pédologiques, dont elle est gestionnaire pour les territoires de Lorraine et d'Alsace. Elle participe à l'animation et au copilotage du RMT<sup>3</sup> Sols et Territoires.

L'ambition de Clés de sols est large et le collectif a souhaité déployer le projet en deux phases bien distinctes. Ce rapport présente les résultats de la phase 1, menée de 2019 à 2021, financée par la Fondation de France dans le cadre de l'appel à projet CO3.

## I – Historique, genèse du projet

Dans la phase préparatoire du projet Clés de sol (Jondreville et al., 2018), quatre actions ont été conduites, deux sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici, un benchmark des initiatives internationales et une enquête auprès de bénévoles dans les CPIE et structures locales de FNE, pour identifier l'intérêt mais aussi les contraintes telles que perçues par ceux-ci. Les deux autres travaux, sur lesquels ce projet a été développé, sont détaillés ci-dessous.

### **Un travail de pré-identification d'un panel de propriétés du sol**

Le travail collectif a permis de co-construire de manière très préliminaire une première liste de variables et de protocoles expérimentaux. Un document de synthèse (Jondreville et al, 2018 ; <https://ist.blogs.inra.fr/sciencesparticipatives/publications>) rassemble ces éléments et dresse des propositions concrètes de variables clés :

- La position du site, pour en évaluer la représentativité.
- Le contexte paysager, notamment la position topographique, la pente, la proximité au cours d'eau, les usages des sols... qui vont indiquer, par exemple, la vraisemblance d'une traduction de critère de couleur en propriété d'hydromorphie, la vraisemblance d'une traduction de couleur en teneur en matière organique, en lien avec les usages des sols, les successions culturales...
- La surface du sol, en relation avec la couverture du sol, sa permanence dans le temps, l'éventuel aspect crouté du sol en relation avec des propriétés de stabilité structurale, de battance du sol. La présence de cailloux est également importante en lien avec des enjeux de production agricole. La présence de déjections (turricules de vers de terre) en temps qu'indicatrices de l'activité biologique du sol.

---

<sup>1</sup> Réseau de Mesures de la Qualité des Sols

<sup>2</sup> Inventaire, Gestion et Conservation des Sols

<sup>3</sup> Réseau Mixte Technologique

- L'épaisseur du sol, mesurée à la tarière, par une gouge ou une simple tige filetée, propriété qui a une grande importance, avec la texture, sur la réserve en eau du sol, l'alimentation en eau des plantes, la lixiviation des solutés comme le nitrate.
- Les couleurs à différentes profondeurs, qui peuvent être un indicateur de la teneur en matière organique du sol, de l'hydromorphie (couleur dominante, hétérogénéité de la couleur, taches de couleur...), indiquant la stagnation de l'eau et son rôle sur les états du fer, du manganèse.
- La texture qui contribue à un grand nombre de propriétés, notamment la réserve en eau du sol, par le biais de la porosité, la stabilité de la structure qui prévient la battance.
- Le pH qui agit sur la fertilité du sol, en lien avec l'activité biologique.

### **Un travail de structuration du projet Clés de sol selon différentes actions**

- Stabilisation des protocoles sur les propriétés identifiées, en les testant avec différents publics
- Gestion des données (aspects juridiques, scientifiques, de diffusion)
- Développements informatiques (base de données, articulation avec les bases de données sol)
- Création et test d'une application mobile (saisie sur outil smartphone...)
- Communication et Animation (logo, site web, site de saisie...)
- Déploiement de l'application (avec un large public, son accompagnement...)

Compte tenu de l'ampleur de ces actions, le collectif a convenu de se focaliser, dans la première phase, sur la stabilisation de protocoles, sur certains aspects de la gestion des données (point juridique), sur le début d'une communication. Un point d'attention a été fortement souligné, sur le fait que faire vivre un projet au-delà de son développement, nécessite un travail conséquent et des moyens notamment pour son animation.

## **II – Objectifs de la phase 1 du projet Clés de sol**

Le projet présenté à CO3 a donc visé la réalisation des premières phases du projet Clés de sol, autour de trois objectifs :

- Stabiliser les protocoles participatifs par des opérations pilotes ;
- Tester la qualité des informations collectées par des non experts et créer les supports pédagogiques et le réseau nécessaires pour l'accompagnement, la mise en œuvre ;
- Préparer la phase de déploiement du projet.

Le premier objectif, celui de stabiliser les protocoles, s'est organisé autour de 2 actions :

- une consolidation sur le fond des protocoles (calibration et validation des méthodes de mesure), qui font appel à des méthodes simplifiées, d'où l'importance de vérifier l'adéquation aux objectifs de cartographie des méthodes proposées. Le laboratoire Tous Chercheurs de Nancy a accompagné cette phase. Des échantillons ont été collectés et des propriétés mesurées selon les méthodes de références (analyses physico-chimiques) et des protocoles simplifiés, selon différents publics, de façon à identifier les erreurs, le domaine de validité des tests et la pertinence des protocoles.
- une consolidation sur la forme des protocoles et des voies de collecte des données. Il s'agissait d'analyser que la donnée est suffisamment attrayante et compréhensible, qu'elle fait sens pour les bénévoles, qu'elle est en accord avec la représentation que se fait le public du paysage et du sol, afin de permettre sa saisie fiable.

Le second objectif, celui de créer les outils pédagogiques et le réseau nécessaires à la mise en œuvre de la démarche, s'est organisé autour de trois actions :

- La consolidation de l'argumentaire scientifique : quelles données pour quel besoin de recherche ? Cet argumentaire éclaire sur les propriétés des sols choisies en relation avec les grandes fonctions (régulation, production...) des sols, sur les implications au lever de propriétés des sols par des non experts, en termes notamment d'incertitude, de cartographie.
- La mobilisation et la formation de différents groupes de bénévoles. Les partenaires associatifs se sont appuyés sur quelques animateurs de leurs réseaux. Ces animateurs ont été formés aux protocoles, notamment par le laboratoire Tous chercheurs. Ils ont eu à leur tour la charge de mobiliser des groupes de bénévoles (« participants testeurs ») pour tester les protocoles et faire un retour d'expérience.
- La conception et le test de supports pédagogiques qui permettent d'explicitier les protocoles, de les rendre accessibles et *in fine* de favoriser l'encapacitation des participants à y contribuer. Ces supports pouvant être, par exemple, des fiches techniques sur les propriétés des sols, une vidéo pédagogique sur les étapes des protocoles à suivre avec la captation d'images terrain.

Le troisième objectif a été de préparer une phase de déploiement du projet, notamment en travaillant sur le cadre juridique des données issues d'une recherche participative sur les sols, sur la cohérence entre les variables, les protocoles et la BDD<sup>4</sup> DoneSol du GIS SOL.

Une fois ce cadre établi, les partenaires du projet prévoyaient de travailler à l'élaboration d'un plan de gestion des données, à un cahier des charges de l'opérationnalisation (saisie sur smartphone...). Cette étape a été juste amorcée et des éléments sont repris dans les conclusions.

Le pilotage administratif et financier du projet a été assuré par l'Union nationale des CPIE pour l'ensemble des partenaires du projet. Elle a été l'interlocutrice directe de la Fondation de France, co-financier du projet. Elle a créé pour cela les outils de pilotage financiers avec les partenaires et élaboré les conventions partenariales. Deux personnes, de statut auto-entrepreneurs, Annie Soulier et Anne Blanchard, ont été en charge de phases importantes du projet, permettant des engagements variables en temps selon ses différentes phases, l'articulant avec d'autres engagements, ce qui n'a pas toujours été simple pour elles durant les 3 années du projet.

Dans le cadre de CO3, un dispositif de tiers-veilleurs a été mis en place pour l'ensemble des projets que l'association Sciences Citoyennes a contribué à animer. Claude Millier, ancien directeur de recherche d'INRAE, a été choisi par les partenaires de Clés de sol pour être leur tiers-veilleur et il a donc participé à plusieurs des réunions collectives des partenaires Clés de sol.

Une plateforme collaborative a été mise en place par l'Institut Agro, pour partager l'ensemble des documents (protocoles, CR de réunion, présentations...).

---

<sup>4</sup> Base de données

## III – La méthode et les différentes étapes de la mise en place du projet

### 3.1 – Une première écriture des protocoles « sols » retenus

Comme expliqué ci-dessus, la construction des protocoles s'est orientée sur les caractéristiques « innées » des sols, celles qui montrent la plus grande stabilité dans le temps et qui sont majoritairement étudiées par le pédologue/cartographe de terrain. Elles sont de natures physico-chimique et structurelle.

Étudier les propriétés d'un sol en un point nécessite de bien contextualiser l'information pour pouvoir l'interpréter.

Ainsi la construction des fiches « protocoles » s'est appuyée sur quatre items :

- La logistique : *informations à apporter sur le lieu, et le choix de l'emplacement ;*
- L'observation du milieu et prélèvement des échantillons : *informations sur l'environnement du point d'étude et les modalités de prélèvement des échantillons de sol à différentes profondeurs en fonction du matériel à disposition ;*
- Variables du sol étudiées : *description de la surface du point d'étude, description de la profondeur du sol et des horizons (c'est-à-dire les différentes couches du sol), mesures sur des échantillons de sol en appliquant des protocoles expérimentaux à mettre en œuvre sur le terrain ou bien à la maison.*
- Remontée des données collectées : *formulaire de restitution des résultats.*

Les variables étudiées sont : l'épaisseur du sol, les différents horizons, et, décliné pour chaque horizon, le pH, la texture (2 méthodes retenues), la couleur, la teneur en éléments grossiers (cailloux).

La biologie des sols n'a pas été prise en compte car il s'agit d'une caractéristique très variable dans le temps. Cette thématique est par ailleurs bien traitée par d'autres projets de recherche participative tels que Jardibiodiv', l'observatoire participatif des vers de terre (OPVT),... Des liens pourront être développés, à termes, entre ces différents projets de sciences participatives. Une fiche prenant en compte les paramètres biologiques, selon le protocole « Jardibiodiv' », a toutefois été intégrée dans la démarche. L'ensemble des protocoles s'est décliné dans un premier temps en **12 fiches de quelques pages** chacune, une fiche supplémentaire précise les objectifs du projet et la marche à suivre.

Dans la construction de tels protocoles, il est important d'amener l'observateur à raisonner son choix dans le positionnement du point d'étude et son échantillonnage, de manière que cet échantillonnage soit le plus représentatif possible et utile aux chercheurs. Mais il est aussi primordial de laisser l'observateur s'intéresser à une situation particulière pour satisfaire une curiosité / un intérêt personnel. Cette étape doit aussi permettre de se familiariser avec le sol tout en conservant une approche ludique de la démarche. Pour répondre aux enjeux cartographiques du projet Clés de sol, l'objectif est vraiment d'amener le bénévole à étudier plusieurs sites, plutôt que de multiplier les observations sur un même lieu, pour faire des comparaisons, percevoir la grande variabilité des sols.

Pour tenir compte des différents niveaux d'investissement des bénévoles (temps à passer, matériel disponible) les fiches sont rédigées de manière autoportante, de façon à pouvoir être utilisées seules, sans nécessairement dépendre l'une de l'autre. Des informations identiques peuvent ainsi se retrouver dans plusieurs fiches. Les déterminations sur échantillons ne sont pas obligatoires, mais certaines d'entre-elles sont nécessaires pour répondre aux objectifs cartographiques des chercheurs.

### 3.2 – La démarche de consolidation des protocoles

L'écriture des protocoles pour amener un bénévole à déterminer certaines propriétés du sol en un point est une première étape mais leur consolidation nécessite une analyse complémentaire qui comprend deux volets :

- Mesurer la qualité et la fiabilité des protocoles : pour cela des échantillons ont été envoyés au Laboratoire d'Analyse des Sols (LAS) à Arras qui a effectué des mesures avec ses propres protocoles et outils de mesure certifiés ;
- Mesurer la perte de précision générée par la mise en œuvre des protocoles par des non experts : pour cela les résultats obtenus par les animatrices et animateurs des structures locales et une personne experte de Tous chercheurs, en réalisant les mêmes protocoles sur des échantillons identiques, ont été comparés.

Ainsi, pour un même échantillon de sol, les données sur les sols sont obtenues par trois voies de détermination différentes : le laboratoire d'analyses des sols de Arras (protocole d'analyse certifié), la détermination par les animateurs considérés comme un public « non expert » (protocole Clés de sol), et détermination selon le même protocole par une personne de Tous chercheurs », considérée comme « experte ». La comparaison des trois résultats obtenus pour chaque échantillon permettant de répondre aux questions détaillées au paragraphe 4.2.

### 3.3 – Les structures « relai »

Un groupe de huit structures relai a été constitué avec un double objectif : tester la mise en œuvre des protocoles tout en contribuant à leur amélioration et mobiliser des groupes de bénévoles pour une première prise en main de la démarche « Clés de sol ». On désigne par « animateur », la personne correspondante dans chaque structure relai, et par « bénévoles », ou « observateurs » les personnes qu'il a pu mobiliser dans chacune des structures.

#### 3.3.1 – La typologie des structures

Ces structures relai se distinguent par leur réseau d'appartenance (associatif ou non, milieu agricole ou non), leur localisation géographique et le type de bénévoles impliqués (cf. Tableau 1). De plus, chaque animateur possède une expérience en sciences participative et/ou a une connaissance plus ou moins avancée sur le sol.

Tableau 1 : Typologie des structures relai

Structure relai	Localisation	Caractéristique de la structure / orientation des bénévoles
Bio Grand-Est	Région Grand-Est	Animation d'un groupe de maraîchers bio (réseau DEPHY – alternative aux pesticides). Approche actuelle sur la fertilité biologique des sols. Public de maraîchers, étudiants licences pro et lycéens.
Chambre d'agriculture des Ardennes	Ardennes	Animation d'un groupe d'agriculteurs DEPHY en polyculture-élevage, et un autre groupe orienté physique du sol, tassement. Animation sur les bassins de captage d'eau potable, intérêt pour mobiliser les acteurs. Public d'agriculteurs.

CPIE Loire-Anjou	Maine et Loire	Accompagnement des collectivités : valorisation des déchets verts, gestion intégrée des eaux pluviales. Intérêt de bénévoles pour le sol via des recherches archéologiques. Public de jardiniers (« Bienvenue dans mon jardin au naturel »).
CPIE des Pays Tarnais	Tarn	Intérêt pour activer un projet sur les sols, activité d'animation en lien avec les problématiques « phytosanitaires » et « gestion de l'eau ». Public de jardiniers, agriculteurs bio et structures en agroforesterie.
CPIE Nancy-Champenoux	Meurthe et Moselle	Intérêt pour appréhender la transversalité du sol en lien avec la gestion de l'eau, l'agriculture. Public de jardiniers (« bienvenue dans mon jardin au naturel »), d'enseignants d'un lycée agricole, grand public.
CREPAN	Calvados	Animation territoriale (territoire des marais) sur la préservation des zones humides. Public d'élus, grand publics et animateurs de territoire.
FNE Savoie	Savoie	Contribution à l'outil pédagogique « le sol m'a dit ». Public d'adhérents, grand public.
Nature 18	Cher	Faire entrer la problématique sol dans plusieurs approches (étude avec des agriculteurs des systèmes de prairies en zones humides, accompagnement des communes sur la gestion des sites naturels et les inventaires de biodiversité). Mobilisation des publics d'élus.

### 3.3.2 – La formation des huit animateurs

Une formation destinée aux animateurs des huit structures relai a été organisée les 3 et 4 octobre 2019. Encadrée par INRAE, l'Institut Agro et la Chambre d'agriculture Grand-Est, elle s'est déroulée dans les locaux du laboratoire INRAE Tous Chercheurs à Nancy.

L'objectif de cette formation était multiple :

- Échanger autour des enjeux liés à la connaissance des sols, et notamment comment faire coïncider les besoins de données des chercheurs et les réponses qu'attendent les citoyens et groupes locaux en lien avec des problématiques territoriales ;
- co-construire un argumentaire scientifique à destination des bénévoles (intérêt du projet, sa portée éducative, capacité de mobilisation) ;
- Expliquer les attentes du groupe projet aux animateurs, à savoir leur implication dans les tests et la validation des protocoles d'acquisitions d'informations sur les sols (sur la forme et le fond) et la constitution de groupe de bénévoles testeurs.

Sur ces deux journées, les deux tiers du temps ont été destinés à la mise en œuvre des protocoles sur le terrain et en laboratoire. Dans cette première approche les animateurs ont été laissés en autonomie et ont ainsi pu apporter un premier regard critique sur les protocoles proposés alors dans leur version V1, tant sur la forme que sur le fond. L'ensemble des fiches a été mis en pratique et testé.

A l'issue de cette formation, les différentes structures ont eu accès à une plate-forme d'échange collaborative, de manière à pouvoir partager l'ensemble des documents.

La mise en présence de tous les acteurs du projet Clés de sol a été un moment fort et apprécié qui a permis de poser les bases des deux années de travail.

### 3.3.3 – Le rôle des animateurs

Les animateurs ont eu une place essentielle dans la réalisation du projet Clés de sol et le déroulement de cette première phase.

Leur implication est intervenue à plusieurs niveaux notamment pour comprendre, mettre en œuvre et tester les protocoles en procédant aux premières observations de terrain et pour mobiliser un groupe de bénévoles également testeurs. En itérant les protocoles initiés, ils ont contribué à leur amélioration et leur stabilisation, en fonction des approches de terrain.

Sur la durée du projet, les animateurs ont ainsi été sollicités à plusieurs reprises :

- En octobre 2019, ils ont assisté aux deux journées de formation, apportant ainsi un premier éclairage sur la prise en main des protocoles ;
- De décembre 2019 à février 2020, ils ont réalisé une campagne de prélèvements d'échantillons de sols répartis sur des sites aux caractéristiques différentes (5 points d'étude par animateur et 2 prélèvements par point correspondants à 2 profondeurs différentes). Un total de 80 échantillons a été transmis pour analyse au laboratoire « Tous chercheurs ». L'ensemble des données collectées et les photos ont été déposées sur la plate-forme collaborative ;
- Début 2021, chacun s'est attaché à mobiliser et à former un groupe de bénévoles pour qu'ils testent également les protocoles. Sur la base des échéances proposées, chaque animateur a pu s'organiser en fonction de ses propres contraintes (structurelles, climatiques, propres contraintes des bénévoles).

Leurs retours d'expérience sur l'ensemble de ces étapes ont contribué à évaluer l'intérêt de la démarche. Chaque animateur a reçu les résultats des analyses physico-chimiques transmis par le laboratoire des sols de Arras pour leurs propres échantillons de sols prélevés, en comparaison avec leurs propres résultats. Pour les structures qui en ont fait la demande, l'achat de matériel nécessaire à la mise en œuvre des protocoles a été pris en charge, à savoir une charte Munsell, une tarière et un tamis.

### 3.4 – Les boucles d'amélioration des protocoles en différentes étapes

Plusieurs versions des protocoles se sont succédées, tenant compte des retours d'expérience des animateurs et de l'analyse des résultats des mesures sur échantillons :

- La version V1 établie pour la formation des animateurs (octobre 2019) a été ajustée sur la base des retours de cette première prise en main. Cela a conduit à la **version V2** (en décembre 2019) qui a été utilisée par les animateurs pour la campagne de prélèvement des 80 échantillons.
- La **version V3** produite en septembre 2020 (retardée en raison des impacts de la crise sanitaire au printemps 2020), intègre les remarques et propositions émises par les animateurs suite à

leur campagne de prélèvements. Plusieurs données demandées et disponibles par d'autres biais ont été supprimées (par exemple le relief, l'environnement géographique du point d'étude...). Cette version est marquée par une forte réorganisation des fiches protocoles de manière à en simplifier leur utilisation (en fonction notamment du matériel dont on dispose, de la réalisation des analyses à la maison ou sur le terrain). Des illustrations ont été ajoutées pour guider le bénévole dans le choix du point d'étude dans son environnement. L'ensemble des documents est présenté sous forme d'une mallette dont la présentation est détaillée au paragraphe 4.1.

- La **version V4**, finalisée en mai 2021, tient compte de l'analyse des résultats obtenus sur les échantillons (laboratoire d'analyse de Arras) et de l'évaluation des incertitudes sur les données acquises par des non experts. La modification phare de cette version est la suppression de l'étape du tamisage et des protocoles qui en découlent (test de la bouteille pour définir la texture du sol, détermination de la teneur en éléments grossiers...). Ces protocoles restent toutefois disponibles dans la mallette et peuvent tout à fait être réalisés quand la nature des sols s'y prête (sols peu argileux par exemple). L'usage de la charte de couleur Munsell a été supprimée, remplacée par l'utilisation de comparateurs de couleurs disponibles sur smartphone. Tous les tests demandés sont, à ce stade, réalisables sur le terrain. C'est cette version qui a été mise en œuvre par les bénévoles des structures.

### 3.5 – Les retours d'expériences des animateurs et des bénévoles

Les retours d'expérience des animateurs ont été collectés à chaque grande étape de la démarche. Cela s'est fait via un questionnaire d'évaluation des fiches protocoles en avril 2020 (format papier et échange téléphonique individuel), puis par une réunion de synthèse qui s'est tenue en distanciel, le 12/11/2020, réunissant l'ensemble des animateurs et les différents membres du groupe projet. Leurs avis ont été pris en compte dans la construction des différentes versions des fiches et la production de support pédagogiques synthétiques.

Concernant la phase de test des protocoles et leurs premières réalisations, les résultats obtenus les ont confortés dans les difficultés qu'ils ont pu ressentir ou non en fonction, notamment, des différents types de sols rencontrés par chacun et chacune.

Un questionnaire à l'attention des bénévoles a été transmis en juin 2021 en amont de la deuxième campagne d'étude des sols, sous forme framiform avec réponse directement en ligne. Différents questionnements ont été abordés notamment sur la compréhension des diverses fiches, l'importance d'avoir un accompagnement préalable ou non, leur capacité à reproduire l'exercice et l'intérêt qu'ils trouvent à la démarche.

Les retours ont été peu nombreux. Mais globalement, les documents transmis apparaissent clairs, avec un vocabulaire adapté. Cependant, les protocoles restent complexes, perçus comme difficiles et longs à mettre en œuvre compte tenu du nombre important de fiches. Le volume d'informations à s'approprier a pu paraître pour certains rébarbative. L'accompagnement par une structure relais paraît indispensable, a minima pour le prêt de matériel.

## IV – Les productions du projet

### 4.1 – La mallette Clés de sol

Une organisation des protocoles dans une forme de « mallette Clés de Sol » a été créée, avec 4 volets, chacun étant constitué d'un ou plusieurs documents :

- Volet 1 : le projet Clés de sol, contexte et objectifs (informations sur Clés de sol, le rôle des contributeur-trice-s, argumentaires scientifique sur les liens entre les propriétés du sol et ses fonctions, les enjeux de société) ;
- Volet 2 : la prise en main des protocoles Clés de sols par un document d'information pré-opérationnel, qui intègre le volet « cadre juridique » ;
- Volet 3 : les fiches protocoles ;
- Volet 4 : le formulaire de restitution des données.

La conception de la mallette a été concomitante avec la production des fiches V3. La réorganisation a permis de simplifier les fiches et d'en réduire le nombre total, passant ainsi de 12 à 9.

La structuration de cette mallette permet une prise en main progressive de la démarche, évoluant étape par étape dans les protocoles. Elle offre un support relativement complet pour permettre à l'animateur-riche d'avoir en main les différents éléments afin d'expliquer les objectifs du projet aux bénévoles. Elle accompagne le bénévole dans une évolution étape par étape pour se familiariser avec l'objet sol et sa complexité. Cette progression est résumée dans le schéma figurant en annexe 1.

Des vidéos, en mode « tutoriel », viennent illustrer des points précis relatifs à la mise en œuvre de certains protocoles : la pratique du sondage pédologique avec reconstitution de l'échantillon de sol prélevé, le descriptif du matériel nécessaire, les différentes astuces pour un usage optimal de la tarière. L'objectif de ces supports est d'accompagner les animateurs dans leur mission d'information auprès des bénévoles, soit en amont du terrain, lors d'une présentation en salle par exemple, ou alors *a posteriori* pour parfaire la mise en œuvre des protocoles.

### 4.2 – Les incertitudes associées aux propriétés des sols

L'un des objectifs de cette première phase de Clés de Sol a été d'estimer les incertitudes générées par la mise en œuvre de protocoles scientifiques adaptés à des non experts. Il s'agissait de :

- Mesurer la qualité et la fiabilité des protocoles Clés de Sol ;
- Mesurer la perte de précision générée par le transfert de ces protocoles à des non experts.

#### 4.2.1. – Méthode

Comme décrit précédemment (section III-2-c), les animateurs, après leur formation à Tous Chercheurs – Nancy, ont pu mettre en œuvre les protocoles de Clés de Sol sur différents terrains d'étude lors d'une campagne test de prélèvements. Les échantillons de terre qu'ils ont prélevés au cours de ces interventions ont été :

- Analysés par leur soin, en mettant en œuvre les protocoles Clés de Sol adaptés – les résultats présentés ci-dessous et appartenant à ce groupe sont nommés « ANIM » ;
- Envoyés à Tous Chercheurs, pour que les protocoles Clés de Sol soient mis en œuvre selon le même principe (même matériel que les animateurs) par des experts pédologues – les résultats présentés ci-dessous et appartenant à ce groupe sont nommés « TC » (pour Tous Chercheurs) ;

- Envoyés au Laboratoire d'Analyse des Sols (LAS) à Arras, pour que des mesures puissent être effectuées sur ces mêmes échantillons de terre selon des protocoles normalisés et avec des outils de mesure de laboratoire. Ces résultats constituent les déterminations de référence – les résultats présentés ci-dessous et appartenant à ce groupe sont nommés « LAS ».

Les paramètres pour lesquels des comparaisons ont pu être effectuées par ces trois groupes sont les suivants : texture (avec résultats issus du « test du boudin » et du « test de la bouteille »), pH, calcaire et couleur.

#### 4.2.2. – Résultats

##### 4.2.2.1. – Résultats préliminaires : présentation des caractéristiques générales des échantillons de terre sur lesquels les protocoles Clés de Sol ont été mis en œuvre

Les résultats présentés ci-après résultent d'une comparaison entre « ANIM », « TC » et « LAS » réalisée sur ces échantillons de terre. Le Tableau 2 présente les résultats des paramètres mesurés par le LAS. Ces données permettent de montrer l'environnement pédologique des sols sur lequel les protocoles Clés de Sol ont été mis en œuvre.

Tableau 2 : Données exploratoires issues des échantillons de terre analysés et acquises par le LAS

	Argile %	Limon %	Sable %	pH /	Calcaire g/kg	Matiere organique g/kg	N g/kg	C_N /	CEC cmol+/kg
<b>Moyenne</b>	32,0	42,4	25,7	7,0	48,0	42,5	2,3	10,5	19,5
<b>Ecart-type</b>	18,4	17,2	22,5	1,2	112,7	47,9	2,6	2,1	15,6
<b>Coefficient de variation</b>	57%	40%	88%	17%	235%	113%	112%	20%	80%
<b>Minimum</b>	5,9	6,2	0,8	4,2	0,0	2,8	0,3	6,0	2,0
<b>Maximum</b>	91,4	77,2	85,4	8,5	530,0	341,0	17,9	18,2	77,5
<b>Nombre d'échantillons</b>	78	78	78	78	78	78	76	78	78
<b>Valeurs Terres arables (thèse Sophie Joimel)</b>				7,1		31,5	2,3	7,8	

Les résultats indiquent que les échantillons de terre prélevés lors de la campagne test présentent certaines caractéristiques pour lesquelles les coefficients de variation sont faibles, tels que le pH (taux de variation de 17 %) ou encore le rapport C/N (taux de variation de 20 %). À l'inverse, certains paramètres présentent une forte variation. C'est le cas de la teneur en azote, qui présente un coefficient de variation de 112 %, du taux de matière organique dont le coefficient de variation s'élève à 113 %, ou encore du calcaire qui présente un coefficient de variation atteignant 235 %. Ces résultats montrent aussi que certains paramètres agronomiques sont comparables aux valeurs généralement observées sur des terres arables : la teneur en azote, le pH ou encore le taux de matière organique.

##### 4.2.2.2. – Les variables bien estimées

La mesure du taux de calcaire de chaque échantillon de terre a pu être comparée entre le groupe ANIM et TC, qui ont produit une donnée qualitative (effervescence à l'HCl ou non) et le LAS qui a produit une donnée quantitative (taux de calcaire en g/kg rencontré dans l'échantillon de terre analysé).

La Figure 1 montre qu'il existe une différence significative entre les moyennes de taux de calcaire mesurés par le LAS et les moyennes des mesures au test de l'effervescence par TC (test de Student avec p-value < 0,001). L'utilisation du test à l'HCl, selon le contexte défini par le protocole Clés de Sol,

permet ainsi d'obtenir des résultats rigoureux, de l'ordre de ceux mesurés en laboratoire d'analyses des sols.

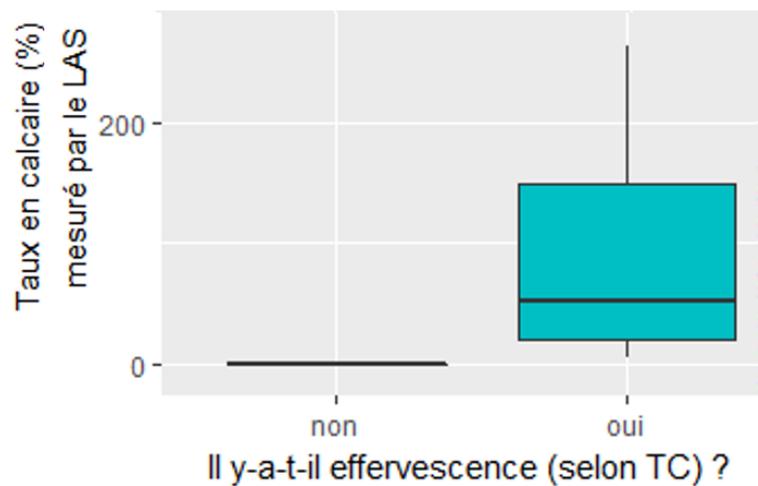


Figure 1 : Comparaison d'une effervescence observée sur l'échantillon de terre (TC) et du taux de calcaire mesuré (LAS) ; n=76

La Figure 2 indique qu'il existe également une différence significative entre les moyennes des taux de calcaire mesurés par le LAS et les moyennes des mesures faites au test de l'effervescence par ANIM (test de Kruskal-Wallis,  $p=10^{-13}$ ). Les échantillons de sol considérés comme « calcaires » par ANIM sont également ceux qui présentent un taux en calcaire le plus élevé, tel que mesuré par LAS. La mise en œuvre du protocole adapté par le groupe ANIM n'entraîne pas de perte de précision sur les résultats obtenus par ces « non experts ».

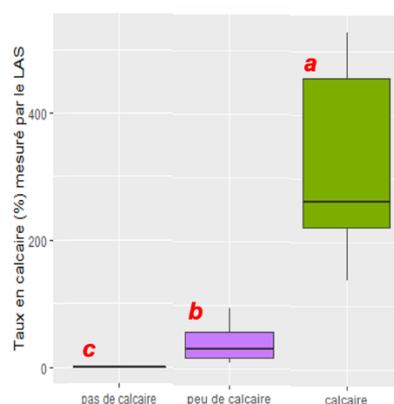


Figure 2 : Comparaison des classes d'effervescence observées sur l'échantillon de terre (ANIM) et du taux de calcaire mesuré (LAS) – pas de calcaire = <10 %, peu de calcaire = entre 10 et 100 %, calcaire = >100 % ; n=76

Cependant, une analyse plus poussée des résultats met en évidence que, s'il existe effectivement une différence significative entre les résultats obtenus par ANIM et par LAS, les résultats obtenus par les « non experts » sont moins précis que ceux obtenus par le groupe des « experts » (TC). La Figure 3

indique que TC estime<sup>5</sup> un sol comme « calcaire » lorsque la teneur en CaCO<sub>3</sub> est supérieure à 20 %. De manière différente, ANIM estime<sup>6</sup> un sol comme « calcaire » lorsque la teneur en CaCO<sub>3</sub> est égale à 100 %.

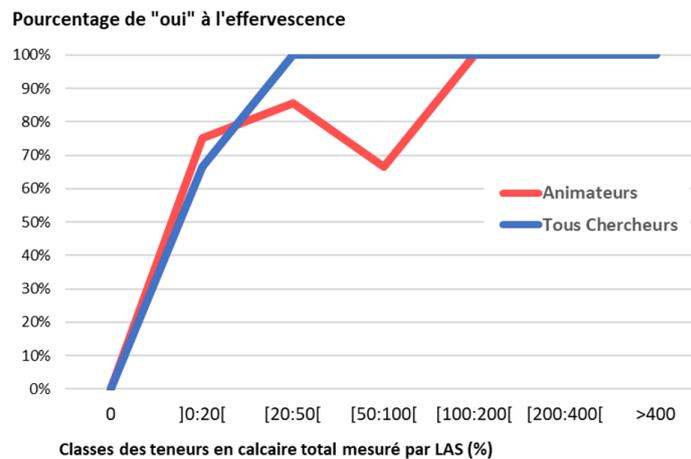


Figure 3 : Pourcentage de « oui » au test de l'effervescence (TC et ANIM) selon différentes classes de teneur en calcaire mesurées par le LAS ; n=76

#### 4.2.2.3. – Les variables dont la rigueur d'estimation nécessite une évolution du protocole

La Figure 4 et le Tableau 3 mettent en évidence qu'il existe une différence significative entre les pH mesurés par TC et ANIM (à l'aide d'une bandelette pH) et ceux mesurés en laboratoire par LAS (test de Student sur échantillons appariés, p-value = 0,002 pour TC et  $<10^{-8}$  pour ANIM).

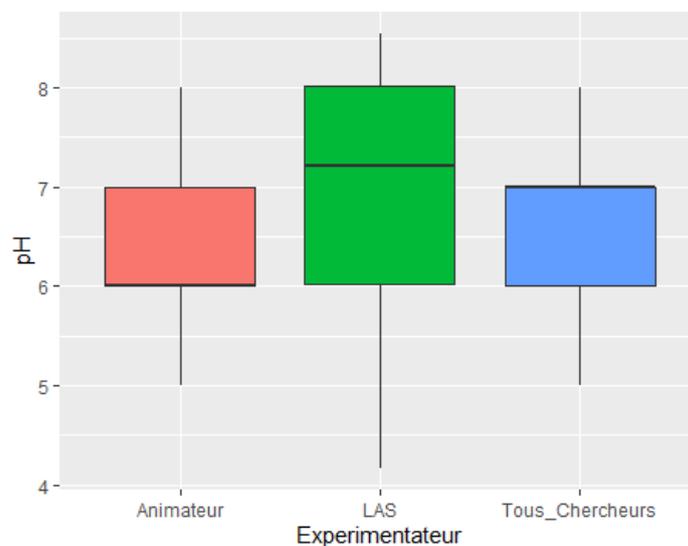


Figure 4 : Comparaison des valeurs de pH obtenues par TC et ANIM avec celles du LAS ; n=76

<sup>5,2</sup> C'est-à-dire que 100 % des réponses au test calcaire sont « oui »

Tableau 3 : Résultats issus des analyses statistiques effectuées sur les résultats pH obtenus par TC et ANIM ; n=76

	TC	ANIM
<b>EQM</b>	0,69	1,36
<b>R<sup>2</sup></b>	56 %	35 %
<b>p-value (Student)</b>	0,002	10 <sup>-8</sup>

La Figure 5 et ce Tableau 3 montrent que les valeurs pH mesurées par TC sont mieux corrélées avec les valeurs de référence du LAS ( $R^2 = 56\%$ ) que celles mesurées par ANIM ( $R^2 = 35\%$ ), traduisant pour ce paramètre, une perte de précision lors du passage du protocole Clés de Sol à un groupe de « non experts ».

Enfin, la Figure 4 complétée de la Figure 5, permettent d'aller un peu plus loin dans l'interprétation de cette comparaison. Elles mettent en évidence qu'il existe une surestimation des valeurs lorsque le pH de l'échantillon de terre est inférieur à 6,3 et une sous-estimation lorsque celui-ci dépasse 6,3.

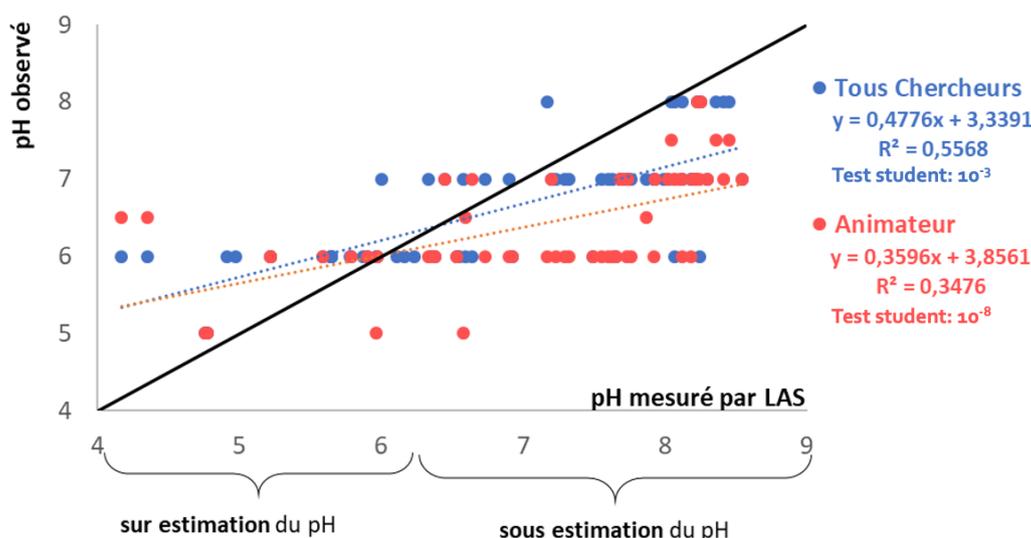


Figure 5 : Corrélations entre les valeurs mesurées par LAS et les valeurs observées par ANIM et TC (bandelette pH) ; n=76

Il faut mettre en corrélation ces résultats avec les données pédologiques des échantillons de terre sur lesquels ces tests pH ont été effectués, mais également avec le matériel utilisé lors de ce protocole. En effet, les données exploratoires présentées précédemment indiquent que le pH moyen des échantillons de terre se situe autour de 7,0 et que c'est un paramètre qui varie peu entre tous les échantillons analysés (coefficient de variation = 17 % - Tableau 2). A ce titre, cette différence significative observée entre les résultats TC et ANIM et les résultats de référence peut être la conséquence de cette homogénéité des pH des échantillons considérés, mais également de l'utilisation des bandelettes pH, qui indiquent le résultat sous forme de couleur à comparer avec un référentiel et qui donc, dans le cas de pH homogènes, ne permet pas de mettre clairement en avant une différence significative entre un pH de 6 et un pH de 7. A ce titre, ce paramètre est placé dans les « paramètres dont le protocole doit évoluer », notamment en considérant l'utilisation d'un nouvel outil de mesure tel qu'une sonde pH, qui pourrait remplacer l'utilisation de la bandelette pH et donner un résultat

quantitatif (chiffré) et non qualitatif, qui serait alors plus précis et donc plus discriminant. A défaut, l'utilisation de bandelettes ne pourra mettre en avant que de très fortes variations.

#### 4.2.2.4. – Les variables « difficiles » pour lesquelles un important travail de formation est à réaliser en amont de leur mise en œuvre

##### 4.2.2.4.1. – Texture

Le Tableau 4 présente les indices d'accord entre les résultats obtenus par TC et ANIM selon les deux méthodes mises en œuvre pour mesurer la texture des échantillons de terre, et les valeurs de référence calculées par LAS. Ces informations mettent en évidence trois éléments :

- Le test du boudin, qu'il soit mis en œuvre par des experts ou des non experts, présente un indice de concordance plus élevé que celui du bocal. A ce titre, l'indice de concordance entre les valeurs de référence du LAS et celles obtenues par TC grâce au test du bocal indique une concordance de résultats égale à 51 %, mettant en exergue la plus faible précision du protocole du bocal par rapport à celui du boudin ;
- Les résultats obtenus par TC avec le test du boudin témoignent d'une concordance de 65 % avec les valeurs référence mesurées par LAS. Si ce test semble le plus rigoureux en comparaison de celui du bocal, cet indice de concordance peut paraître « faible » ;
- Qu'il s'agisse des résultats apportés par le test du boudin ou du bocal, l'indice de concordance est toujours plus élevé pour TC *versus* LAS que pour ANIM *versus* LAS. En effet, les indices de concordance sont très faibles pour ANIM, respectivement 0,02 pour le test du boudin et -0,3 pour celui du bocal. Ces résultats soulignent la perte de précision très importante engendrée par la mise en œuvre de ces protocoles par des « non experts ».

Tableau 4 : Indices de Cappa de Cohen (K) obtenus à la suite de l'analyse statistique des résultats de texture mesurés par les méthodes du boudin et du bocal par TC et ANIM en comparaison avec les valeurs de référence LAS ; n=76

Test appliqué pour évaluer la texture	TC		ANIM	
	Test du boudin	Test du bocal	Test du boudin	Test du bocal
<b>K (Cappa de Cohen)</b>	0,65	0,51	0,02	-0,3

Des analyses statistiques complémentaires permettent de mettre en évidence quelques premiers éléments pouvant expliquer cette perte de précision. Le Tableau 5 présente les coefficients de détermination (régression) et les p-values (test de Student sur échantillons appariés) obtenus par TC et ANIM par rapport aux valeurs de référence LAS et présentés pour chaque particule d'argile, limon et sable.

Tableau 5 : Coefficient de détermination (régression) et p-value (test de Student sur échantillons appariés) obtenus en comparant les valeurs mesurées pour « argile », « limon » et « sable » par TC et ANIM par rapport aux valeurs de référence LAS ; n=76

Particules	TC			ANIM		
	Argile	Limon	Sable	Argile	Limon	Sable
<b>R<sup>2</sup> (%)</b>	24	36	11	13	1	1
<b>p-value</b>	10-8	0,27	0,002	0,23	0,40	0,18

Ces résultats permettent de montrer que TC sous-estime la teneur en argile ( $p$ -value  $< 10^{-8}$ ) et par conséquent surestime la teneur en sable ( $p$ -value  $< 0,001$ ) (Figure 6). De la même manière, les résultats issus des analyses réalisées par ANIM témoignent du fait que le groupe de « non experts » surestime la teneur en sable ( $p$ -value = 0,18) et par conséquent sous-estime celle en argile ( $p$ -value = 0,23) (Figure 6). Il y a quelques incertitudes pour la teneur en limon, les valeurs mesurées par TC n'expliquent que 35 % de la variabilité des taux de limons mesurés par le LAS.

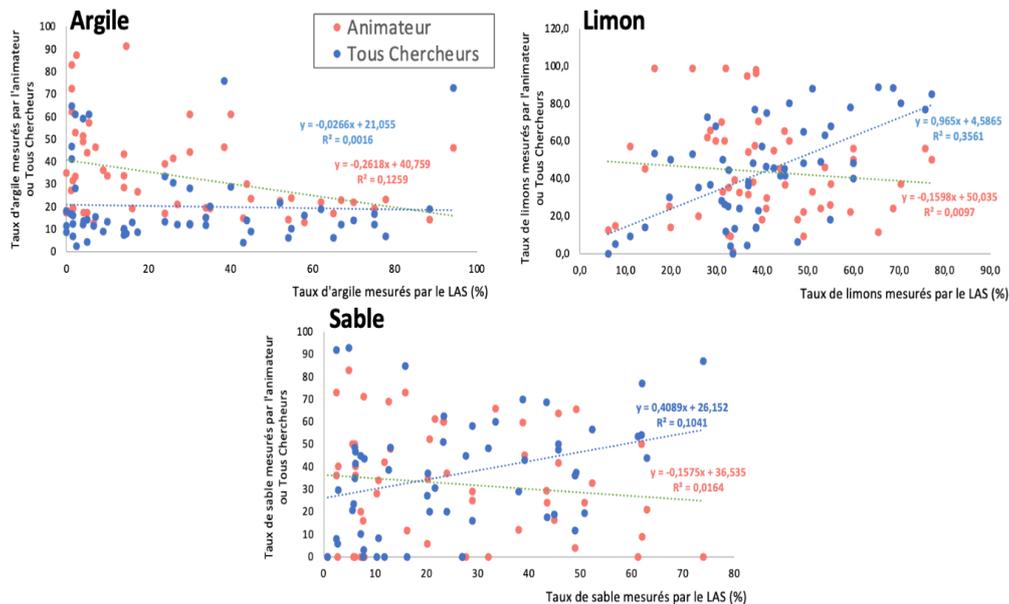


Figure 6 : Taux d'argile, de limon et de sable mesurés par le LAS et par TC et ANIM ; n=76

Cette comparaison (Figure 6) souligne qu'il existe très peu de corrélations entre les valeurs mesurées et les valeurs observées par les deux groupes d'expérimentateurs en comparaison avec les valeurs de référence du LAS. Au mieux, ce sont les résultats du taux de limon mesurés par TC qui indiquent la plus forte chance de prédire un résultat rigoureux : 35 % (avec une pente proche de 1).

Enfin, d'autres analyses statistiques permettent d'expliquer cette perte de précision engendrée par la mise en œuvre des protocoles Clés de Sol par des groupes d'experts ou de non experts. La Figure 7 met en effet en évidence que les erreurs engendrées par le test du boudin, qu'ils s'agissent du groupe d'expérimentateurs TC ou ANIM, sont plus importantes lorsque les teneurs en argile, limon ou sable sont plus importantes.

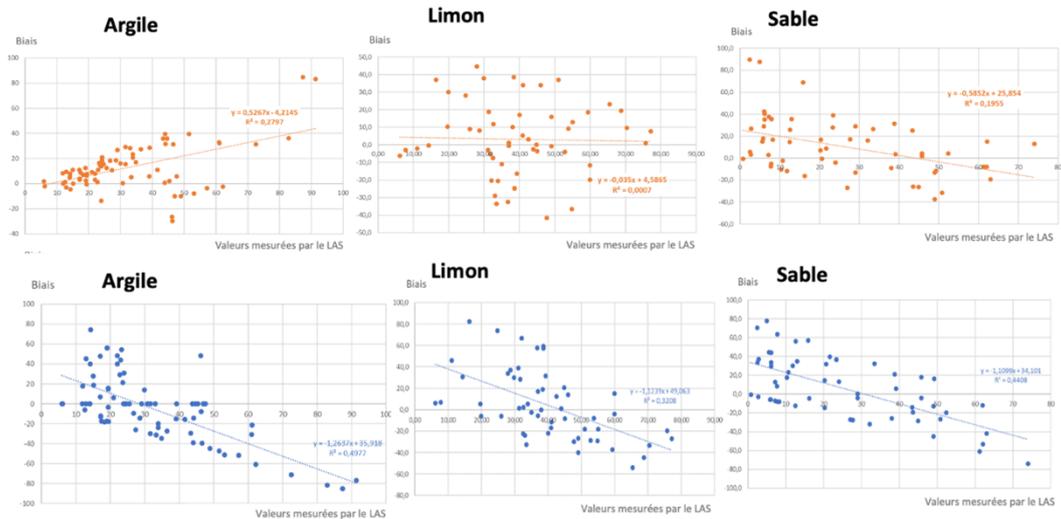


Figure 7 : Biais issus des mesures d'argile, limon et sable par TC (orange) et ANIM (bleu) grâce au test du boudin, par rapport aux valeurs de référence LAS ; n=76

#### 4.2.2.4.2. – Couleur

La Figure 8 met en évidence une corrélation entre les couleurs attribuées par TC et le taux de matière organique mesuré par LAS : la couleur s'assombrit au fur et à mesure que les échantillons de terre présentent un taux de matière organique élevé. Ce résultat permet d'appuyer la pertinence de l'utilisation du protocole Clés de Sol.

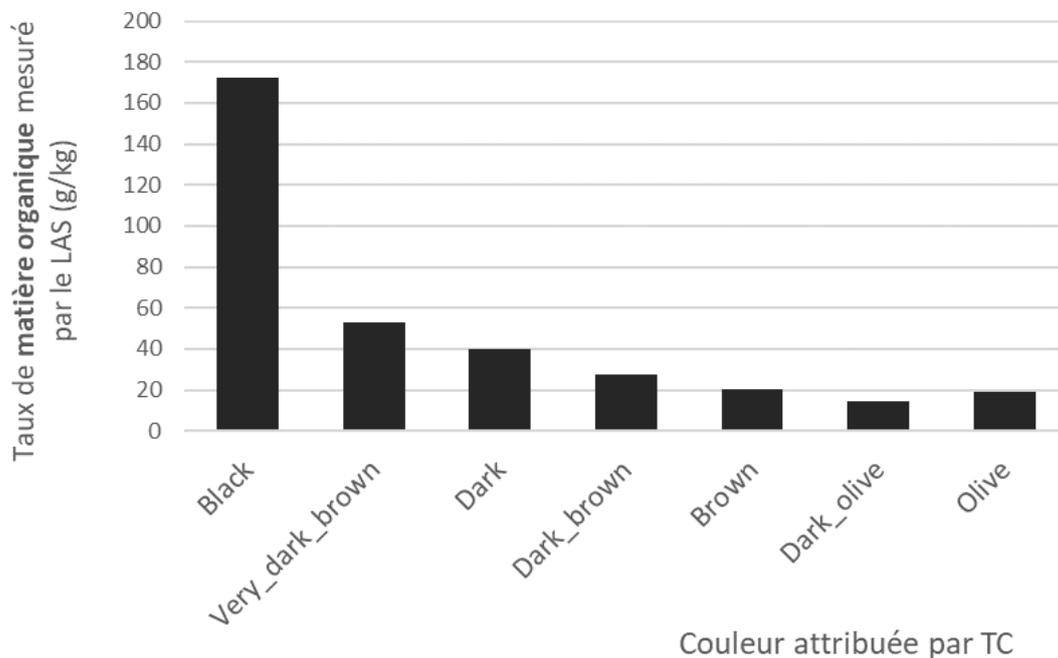


Figure 8 : Comparaison entre le taux de matière organique mesuré par LAS et la couleur attribuée par TC à l'aide de la Charte Munsell ; n=20

Cependant, la comparaison des couleurs observées par TC et par ANIM, met en évidence un fort désaccord entre les résultats rendus par ces deux groupes (Figure 9). En effet, le test de Kappa de Cohen présente un indice statistique K inférieur à 0 (K=-0,15), traduisant ainsi un désaccord

d'observation entre ces deux lots d'échantillons. À ce titre, ces résultats traduisent une perte de précision générée par l'utilisation de ce protocole par le groupe de « non experts ». Une formation à l'utilisation de la Charte Munsell par des non experts serait à réaliser.

	Animateur					
TC	Brown	Dark_brown	Pink	Reddish_brown	Dark_olive	Very_dark_brown
Brown	3	2	0	1	0	0
Dark_brown	1	4	0	0	0	3
Pink	0	0	0	0	0	0
Reddish_brown	0	0	0	0	0	0
Dark_olive	1	0	1	0	0	0
Very_dark_brown	0	3	0	0	0	1

Figure 9 : Comparaison des couleurs observées par TC et ANIM grâce à l'utilisation de la Charte Munsell ; n=20

#### 4.2.3. – Enseignements et limites

Les analyses statistiques réalisées sur les trois groupes de résultats ANIM, TC et LAS ont permis de mettre en évidence les protocoles Clés de Sol pour lesquels la fiabilité des protocoles est de haut niveau, par exemple la mesure du taux de calcaire.

Ces analyses ont également mis en évidence des protocoles « à améliorer », par l'utilisation d'un nouvel outil de mesure, par exemple pour le pH, en remplaçant peut-être la bandelette pH par une sonde pH, ceci permettant d'acquérir un résultat chiffré, donc normalement plus précis.

Enfin, ces analyses statistiques ont permis de mettre en évidence qu'il existe certains protocoles où on a une perte de précision de la donnée entre si elle est récoltée par des experts pédologue ou par des non experts. Cette perte de précision peut être expliquée :

- Par un manque d'expérience de l'utilisateur du protocole (par exemple, la détermination de la couleur ou encore de la texture par le test du boudin) ;
- Par un manque de rigueur de fond du protocole (par exemple, le test du bocal) ;
- Par un contexte pédologique spécifique (par exemple, une teneur élevée en argile, limon ou sable).

Ceci pourrait être confirmé ou non par la réalisation d'analyses statistiques complémentaires (en étudiant par exemple le contexte calcaire ou non des échantillons de terre).

Pour ces protocoles, un travail supplémentaire de rédaction, d'illustration et de formation doit être réalisé, de sorte à pouvoir les faire évoluer et gagner en fiabilité, avant d'être à nouveau testés auprès d'utilisateurs experts et non experts en sciences du sol. Ces résultats complémentaires pourront également impliquer une nécessaire formation spécifique, notamment à l'utilisation de certains outils de mesure (par exemple, Charte Munsell).

#### 4.3 – Le test de cartographie

Il est bien connu des spécialistes de cartographie des sols que la précision des cartes de propriétés de sol issues de démarches de cartographies des sols par modélisation statistique (CSMS) est principalement limitée par une trop faible densité spatiale des observations de sol sur les territoires à cartographier. Pour augmenter ces densités spatiales et ainsi mieux représenter les variations locales de propriétés de sols, on peut envisager de recourir à des groupes de citoyens qui pourraient compléter/suppléer le pédologue dans ces tâches d'observation. Les travaux décrits précédemment ont montré que des citoyens guidés par des protocoles d'observation adaptés (Mallette Clés de sol)

peuvent recueillir des observations de sol sur un ensemble de sites moyennant une incertitude qui a été quantifiée (voir paragraphes précédents). Il était donc logique d'essayer de déterminer quel pourrait être l'impact de cette incertitude sur les cartes de propriétés de sol qui pourraient être produites en alimentant les modèles de CSMS avec cette nouvelle source d'observations de sols, celles de non experts des sols.

Il n'était pas possible d'expérimenter en vraie grandeur une approche de CSMS impliquant des citoyens. En effet, cette expérimentation aurait nécessité à la fois des données « sol » collectées par les citoyens et des analyses de sol pour valider les résultats dont les volumes nécessaires dépassaient largement les moyens du projet. L'alternative retenue a été de mener une expérimentation virtuelle simulant l'utilisation de données citoyennes sur un petit territoire (commune de Bouillargues, Gard) où nous disposions déjà d'un volume important d'observations qualitatives de sol (2 765) sur un territoire contrasté au niveau pédologique (Figure 10).

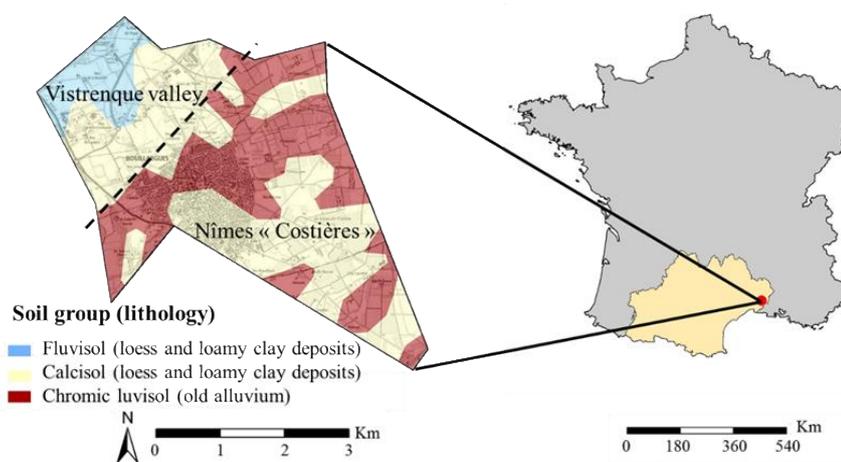


Figure 10 : Localisation de la commune de Bouillargues (30) et carte des sols sur le site test

L'expérimentation virtuelle a consisté à simuler un recueil massif de données citoyennes nécessaires à la CSMS en perturbant les observations de sol disponibles de façon à reproduire les incertitudes d'observation mesurées lors du test effectué avec les non experts (voir paragraphes précédents). Ces observations de sol ainsi perturbées ont été utilisées pour construire des fonctions de prédiction de propriétés de sol dont les performances ont été comparées avec celles estimées en utilisant les observations de sol non perturbées, censées représenter des données recueillies par des experts. Nous donnons dans la suite des détails sur l'approche menée et les résultats obtenus.

#### 4.3.1. – Méthode

##### 4.3.1.1. – Choix de la propriété de sol à cartographier

Parmi toutes les propriétés de sol faisant l'objet d'observations de bénévoles, notre choix d'expérimentation était limité par les contraintes suivantes :

- La propriété de sol testée devait être à la fois effectivement observée sur la zone d'étude et considérée dans les tests d'incertitudes menés à l'étape précédente ;
- La propriété testée devait être suffisamment variable sur la zone d'étude pour qu'une cartographie ait du sens ;

- Les tests d'incertitudes effectués sur cette propriété devaient être réalisés sur un nombre suffisant d'échantillons pour une bonne quantification des incertitudes introduites dans les données d'observation de sol.

La prise en compte de ces trois contraintes a conduit à sélectionner la texture de sol mesurée à 65 cm de profondeur, avec deux seules modalités. Ce regroupement de modalités par rapport à une détermination usuelle de texture du sol a été nécessaire pour satisfaire la troisième contrainte citée précédemment. Sur la base des tests d'incertitude réalisés à l'étape précédente, deux niveaux d'incertitudes d'observation ont été considérés : observateur « expert » (incertitude modérée, 85 % de classes bien identifiées) et « observateur non expert » (incertitude forte, 58 % de classes bien identifiées).

#### *4.3.1.2. – Construction des fonctions de prédiction et validations*

Sur les 2 765 observations de sol, 276 (10 %) ont été réservées pour la validation des fonctions de prédictions. Le reliquat a été utilisé pour construire les estimations utilisant un algorithme d'apprentissage automatique connu pour son efficacité en CSMS, dénommé « forêts d'arbres aléatoires de classification » (« Classification Random Forest »). Les estimations ainsi construites délivrent en chaque point de l'espace une estimation de la propriété d'intérêt (ici la texture du sol à 65 cm de profondeur, selon deux classes) à partir de données spatiales (Modèle numérique de terrain, images de télédétection, ...) disponibles de façon exhaustive sur la zone étudiée. Ces données spatiales sont sélectionnées automatiquement par l'algorithme comme les plus efficaces pour estimer cette propriété de sol parmi un ensemble de données spatiales.

Trois types d'estimation, générant trois cartes de texture à 65 cm de profondeur, ont été construites : une de référence construite avec des données sol non perturbées (« fonction de référence »), et deux construites avec des données sols perturbées selon deux niveaux d'incertitude (« fonction expert » et « fonction non expert »). Les performances de ces trois fonctions ont été évaluées à partir des 276 observations de sol réservées, en calculant la précision totale (ou accuracy) mesurant le pourcentage de bonnes estimations.

L'utilisation de données « expert » a également été testée en considérant des volumes de données recueillies plus petits, et donc plus réalistes à collecter pour un groupe de citoyens dans une commune donnée. De 10 % à 90 % des observations de sol disponibles ont été échantillonnées de façon homogène sur la zone d'étude (échantillonnage stratifié géographiquement). Des estimations de la texture du sol à 65 cm ont été construites à partir de différents volumes d'observations de sol. Leurs performances ont été évaluées comme décrit précédemment, et comparées avec les performances d'estimations construites avec les volumes d'observation de référence.

#### *4.3.2. – Résultats*

L'appréciation visuelle des cartes ainsi que l'évaluation quantitative du pourcentage de bonnes estimations (Figure 11) montrent une dégradation modérée des résultats lorsque les observations de sol de référence sont remplacées par des observations d'experts, mais une dégradation forte lorsque sont utilisées des observations de sol non experts.

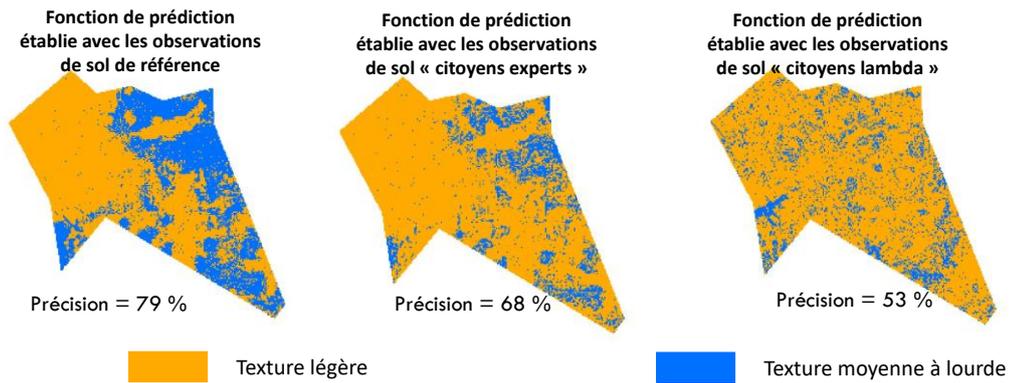


Figure 11 : Carte des sols selon les 3 méthodes sur le site tests, et précision associée

D'une façon générale, les performances semblent modérément affectées par le volume de données, qu'elles soient issues d'observations de référence ou d'observations d'experts (moins de 10 % de variation des performances). Les variations observées sur le graphique (Figure 12) doivent être interprétées avec précaution du fait de la marge d'erreur sur l'évaluation des performances de CSMS montrées dans des études précédentes<sup>7</sup>.

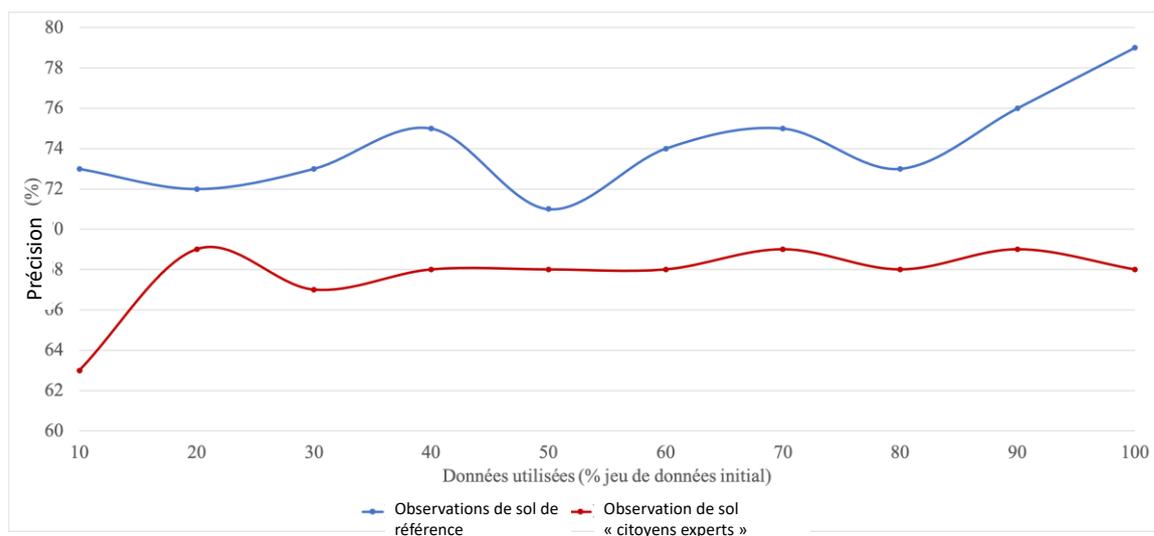


Figure 12 : Estimation de la précision des résultats en fonction du volume de données

Ce résultat, apparemment surprenant, s'explique par le fait que les estimations de texture de sol sont plus affectées par les erreurs sur les observations de sol (déterminations tactiles de texture par le test du boudin) que par les erreurs liées à la construction des fonctions d'estimations, seules susceptibles

<sup>7</sup> Lagacherie, P., Arrouays, D., Bourennane, H., Gomez, C., Martin, M., Saby, N.P.A., 2018. How far can the uncertainty on a Digital Soil Map be known?: A numerical experiment using pseudo values of clay content obtained from Vis-SWIR hyperspectral imagery. Geoderma.

d'être affectées par le volume d'observations utilisées. En d'autres termes, les erreurs de détermination de texture constituent un plancher indépassable qui limite les performances, quelle que soit le volume d'observation utilisé. Ce résultat peut se généraliser à différents volumes et type d'observations.

#### 4.4. – Enseignements

L'expérimentation virtuelle d'utilisation de données d'observation de sol décrite ci-dessus a permis de montrer la faisabilité d'inclure de type d'observation non expert pour élaborer une carte de propriétés de sol par CSMS. Cependant, dans le cas de la propriété testée, la texture, l'incertitude affectant la mesure de la propriété de sol par un non expert s'est révélée être une limite importante. D'autres tests seraient à effectuer sur des propriétés mieux estimées. Ceci milite cependant pour un accompagnement des non experts par des experts, qui peuvent être des bénévoles formés au départ ou s'étant progressivement formés, afin d'atteindre une qualité d'observation de sol « experte ».

Les résultats obtenus dans cette expérimentation virtuelle restent cependant très partiels et doivent être considérés avec prudence, de nombreux points nécessitant d'être approfondis, en particulier :

- L'évaluation des performances des différentes fonctions d'estimation doit être approfondie en testant plusieurs échantillons de validation, et en étendant l'expérimentation avec des densités d'échantillonnage plus faibles, à même de révéler des niveaux de performance variés, des différences plus ou moins importantes selon les sources de données.
- Des objectifs plus réalistes de cartographie de propriété de sol, qu'une simple détermination de texture à deux modalités, devront être considérés. Ceci implique de poursuivre les tests d'incertitude de la mesure par des non experts, pour obtenir des références d'incertitude plus complètes, robustes, notamment des incertitudes sur des non experts mieux accompagnés.
- L'expérimentation virtuelle doit être généralisée à d'autres approches de CSMS qui pourraient montrer des résultats différents de ceux obtenus dans ce projet. Notamment de nouvelles approches récentes de CSMS apportant des progrès importants dans l'utilisation de données de sol incertaines<sup>8</sup> seraient à tester.
- Des expérimentations en vraie grandeur devront être engagées pour mieux apprécier les volumes, les distributions spatiales et les qualités d'observation qu'il est possible d'obtenir de non experts dans des conditions réelles de mise en œuvre, impliquant d'autres contraintes non considérées dans cette expérimentation virtuelle (exemple, contrainte d'échantillonnage).
- Une variété de contextes pédologiques présentant une large gamme de variabilités de propriétés de sol à cartographier devra aussi être considérée pour apprécier la faisabilité du déploiement d'une telle approche participative sur des territoires à enjeux.

---

<sup>8</sup> Wadoux, A.M.J., Padarian, J., Minasny, B., 2018. Multi-source data integration for soil mapping using deep learning. *Soils*.

Zare, S., Abtahi, A., Rashid, S., Shamsi, F., Lagacherie, P., 2021. Combining laboratory measurements and proximal soil sensing data in digital soil mapping approaches. *Catena* 207, 105702.

## V – Enseignements et messages clés du projet Clés de Sol

Après cette première phase de mise en œuvre, les résultats de Clés de sols sont :

- Une mallette Clés de sol finalisée avec des protocoles ciblés sur les propriétés physico-chimiques des sols, pouvant être utiles en soi et dans d'autres projets participatifs sur les sols (par exemple, portant sur la biodiversité) ;
- Une co-construction des protocoles avec les structures relais ;
- Une évaluation des bénéfices et des limites liées à une approche participative ;
- Une mise en évidence de l'importance de structures intermédiaires entre les observateurs et la recherche, la nécessité d'un accompagnement plus grand des bénévoles, vu la complexité des sols et de leurs propriétés, la nécessité de donner du sens au travail des bénévoles ;
- La mise en ligne d'un portail internet.

Clés de sol est donc désormais un programme de recherche participative novateur dans sa co-conception et son co-pilotage, reconnu comme tel. Il traite d'un sujet non exploré dans un champ participatif qui, après 3 ans de réalisation, a produit des résultats encore partiels et à consolider. Il apporte néanmoins une amorce de réponse pour la société aux enjeux de préservation des sols. Un sentiment d'utilité des bénévoles impliqués a été mis en évidence. Une mallette Clés de sol pour s'impliquer et agir concrètement a été réalisée, incluant un argumentaire scientifique et un cadre juridique. **Cependant, Clés de sol porte sur un sujet qui reste ardu pour impliquer largement les citoyens.** Des liens avec d'autres programmes participatifs, notamment sur la biodiversité, sont à opérer. Quelques points peuvent être développés.

**Relation équipe projet – animateurs – bénévoles.** La gestion de la crise sanitaire à partir de mars 2020 a fortement affecté le déroulement du projet. Des échantillons n'ont pas pu être prélevés au bon moment et plusieurs mois ont ainsi été perdus. La dynamique du projet, pourtant bien engagée avec la formation et la campagne d'échantillonnage portée par les animateurs, en a été affectée au fil du temps : les moments d'échange entre animateurs et équipes pilotes, les moments de restitution et de discussion avec l'équipe projet-les animateurs-les bénévoles, sur les données, leur richesse et faiblesse n'ont pu être faits qu'en visioconférence. Par ailleurs, nous avons constaté un fort renouvellement des animateurs au sein des structures relais (plus de la moitié), ceci ne facilitant pas une capitalisation de la formation et la mise en place d'échanges continus. L'entretien de cette relation, équipe projet-animateurs-bénévoles, indispensable, n'a pas été aussi facile qu'imaginée, de manière plus générale et plus encore dans les conditions de la crise sanitaire, car elle demande à chaque étape, temps et engagement. Ce point avait été soulevé en début de projet et s'est trouvé bien confirmé, amplifié par les conditions spécifiques des 2 dernières années du projet.

**L'intérêt pour le sol en tant qu'objet de science participative. L'intérêt pour les propriétés innées du sol et pour la cartographie des sols, en tant que cible d'un projet de sciences participatives.** L'intérêt pour le sol est avéré, que ce soit de la part des structures locales que des bénévoles. Cependant l'angle sous lequel il est traité dans Clés de sol n'est ni évident pour les bénévoles, ni pour les animateurs. La formation (2 jours en octobre 2019) avait souligné le très bon retour des animateurs, à découvrir un parcours de découverte du sol, riche, varié. Cependant sa déclinaison vers des bénévoles non formés et sans doute moins motivés pose question. La thématique des propriétés « innées » est moins attractive que d'autres (biodiversité, vers de terre...), d'où l'importance plus encore de bien illustrer l'intérêt et la mise en relation de ces propriétés avec les enjeux sociétaux, et de cibler des contextes ou des acteurs où cet angle de vue du sol fait sens.

- **Développer une/des démarches qui font sens pour des bénévoles.** A titre d'exemple, l'animateur « agricole » souligne le fait de plus travailler à connaître les caractéristiques des sols en lien avec des pratiques culturales innovantes (pratiques de conservation des sols, réduction du travail du sol...) telle que la structure du sol, la stabilité structurale ou la biodiversité des sols, et parallèlement mieux prendre en compte la connaissance des sols qu'ont déjà les agriculteurs qui disposent en général d'analyses de sol sur les propriétés intrinsèques. Les propriétés identifiées, en tant que telle, n'amènent par exemple pas suffisamment d'intérêt pour les agriculteurs. Autre exemple, l'artificialisation des sols, dans un projet d'urbanisation. A titre d'exemple, les propriétés de Clés de sol pourraient être utilisées dans un projet d'urbanisation en veillant à préserver les sols à forte teneur en matière organique (couleur), profond (profondeur), forte réserve en eau (texture et profondeur).
- **Appuyer les associations** au développement de ces démarches car l'angle pris par le projet Clés de sol n'est pas autoporteur, et il y a besoin d'une structure qui va chercher les relais, que ce soit des associations ou directement des bénévoles avec une problématique accrocheuse, ceci tout au long du projet.

**Des protocoles encore trop compliqués dans une première phase.** La mise au point des protocoles a fait l'objet d'un important travail de simplification et d'explication pédagogique, avec des boucles de test, de relecture, d'accompagnement par des vidéos... Force est de constater qu'ils apparaissent encore trop complexes, notamment quand ils sont déployés par des bénévoles, même accompagnés d'un animateur.

- L'idée pourrait être d'avoir des protocoles à deux niveaux, l'un d'amorçage avec des approches très simples, l'autre de déploiement, avec les approches proposées actuellement.
- La formation tout au long du projet doit se développer sous une forme ou une autre (présentiel, MOOC...). Car il y a une difficulté à accéder seul aux protocoles. En particulier, un accompagnement de groupes de citoyens en début de prospection par un expert pourrait permettre d'améliorer la prise en main des protocoles et, ce faisant, la qualité des résultats.
- Enfin, les formes de restitution des données devraient faire encore l'objet d'une réflexion collective.

**Le cout du matériel ou l'accompagnement à s'équiper peut être un frein pour certaines structures.**

## VI – Perspectives

Des perspectives peuvent être dressées à plusieurs niveaux : 1) celui de tirer les enseignements sur les travaux réalisés ; 2) celui de poursuivre le projet tel que nous l'avions défini ; 3) celui de tirer parti des dynamiques actuelles sur les approches de sciences participatives sur le sol.

Le premier, celui de répondre aux enseignements sur les travaux réalisés :

- Développer des « produits » qui valorise bien les données acquises, pour les animateurs et bénévoles qui s'y engagent ET pour les scientifiques. La définition de « produits » pour les bénévoles et animateurs qui s'y engagent doit être développée, et ce développement dépendra des publics et des contextes. Comment utiliser et valoriser la donnée transmise, comment faire démonstration que la donnée leur serve. Un sentiment d'utilité vis-à-vis de la recherche est importante pour les bénévoles, ce qui implique aussi un retour de la recherche vers eux. Un volet de formation, d'acquisition de connaissance, en lien avec une utilité pour la société ou pour les personnes est également important.

- Faire le lien entre les propriétés étudiées, et l'utilité et l'usage des résultats pour répondre à une question de société. Par exemple : trouver un intérêt personnel en lien avec un métier/un loisir (pour un agriculteur/un jardinier : mieux appréhender les sols de son champ/de son jardin) ; rattacher Clés de Sol à des enjeux de territoire comme l'artificialisation des sols, l'alimentation...

La seconde perspective est le déploiement du projet Clés de sol tel qu'il avait été défini, avec un projet de type Clés de sol phase 2 qui pourrait comprendre le contenu suivant :

- Un déploiement aux niveaux national et territorial, une réflexion sur le modèle socio-économique de Clés de sol à moyen terme ;
- Un travail sur la capitalisation des données, notamment avec la création d'une application mobile, dont une chaîne de traitements et de restitution standard des données ;
- Une communication via un site internet à destination des personnes destinées à contribuer (explication des données, retour aux contributeurs...). En effet, le portail web ([www6.inrae.fr/clesdesol](http://www6.inrae.fr/clesdesol)) créé en 2021, grâce à la mobilisation de ressources informatiques d'INRAE et des partenaires pour le contenu du site, est destiné à faire connaître le projet à des partenaires, des structures associatives. Un travail similaire doit être fait pour s'adresser aux bénévoles. Clés de sol dispose néanmoins déjà d'une plaquette de présentation à destination de bénévoles futurs contributeurs et d'un visuel comme identité graphique (réalisés en 2021).

La troisième perspective est née de l'émergence de nombreux projets de sciences participatives sur les sols. Il faut analyser en quoi Clés de sol peut se nourrir de l'expérience d'autres projets, notamment pour développer les actions prévues dans la seconde phase, et en quoi Clés de sol peut compléter des projets sur d'autres angles du sol. Deux sont identifiés : travailler avec les projets qui portent sur la biodiversité, pour compléter leur offre et vice versa ; travailler d'une nouvelle manière sur l'identification des sols, non pas à partir de la caractérisation de propriétés des sols prédéfinies, mais à partir d'une nomenclature de sol co-construite avec les acteurs dans le cadre d'une problématique donnée. C'est ce que fait le projet PELUDO\_AAC, coordonné par P. Lagacherie, membre du projet Clés de sol, en développant une méthode participative d'étude pédologique sur les aires d'alimentation de captages d'eau potable. Une solution serait de proposer les deux voies, selon le contexte de l'étude.

INRAE, avec l'appui financier de l'Ademe et de l'OFB, a organisé le 24 novembre 2021, à la Cité des sciences et de l'industrie de La Villette, un colloque sur les programmes participatifs sur les sols. Une centaine de personnes était présente, et une vingtaine de projets ont été inventoriés en France. Une grande partie de l'équipe de Clés de sol était impliquée dans l'organisation (Chantal Gascuel, INRAE) ou dans les intervenants (Ludovic Serin, Union nationale des CPIE ; Joëlle Sauter, Chambre régionale d'agriculture Grand-Est ; Blandine Lemerrier (Institut Agro site de Rennes), Pascale Frey-Klett (Tous chercheurs), Philippe Lagacherie (INRAE, UMR LISAH). Clés de sol a fait partie des 5 projets présentés à l'auditoire par Blandine Lemerrier et Ludovic Serin. Cette dynamique nationale dans laquelle Clés de Sol occupe une place importante appuie cette troisième perspective.

## Références

Catherine Jondreville, Blandine Lemerrier, Caroline Joigneau-Guesnon, Rachel Louiset, Chantal Gascuel, Christophe Roturier. 2018. Clés de sol : un projet de sciences participatives pour caractériser les sols et leurs fonctions, 42 pp.

Philippe, L., Bertrand, L., Patrick, L.G., Laurent, R., 2021. Une démarche de co-construction de la connaissance pédologique par les agriculteurs et les pédologues. L'exemple de l'Aire d'Alimentation de Captage de la Gimone (82). Agron. Environ. Société 11, 1–12.

<https://www.inrae.fr/actualites/sciences-participatives-au-service-sols>

<https://www.afes.fr/actions/recherches-participatives/porteurs-de-projets-recherche-participative/>

<https://www.afes.fr/actions/recherches-participatives/le-colloque-annuel/>

<https://www.inrae.fr/actualites/aux-sols-citoyens>

## ANNEXES

Projet de recherche participative sur les sols

Fondation  
de  
France

# Rapport de la phase 1 du projet Clés de Sol 2019-2021

ANNEXES

Avril 2022



  
RÉSEAU CPIE

  
INRAE  
tous  
CHERCHEURS  
agriculture • alimentation • environnement

l'institut Agro

AGRO  
CAMPUS  
DU EST

  
FRANCE NATURE  
ENVIRONNEMENT

  
AGRICULTURES  
& TERRITOIRES  
CHAMBRE D'AGRICULTURE  
GRAND EST

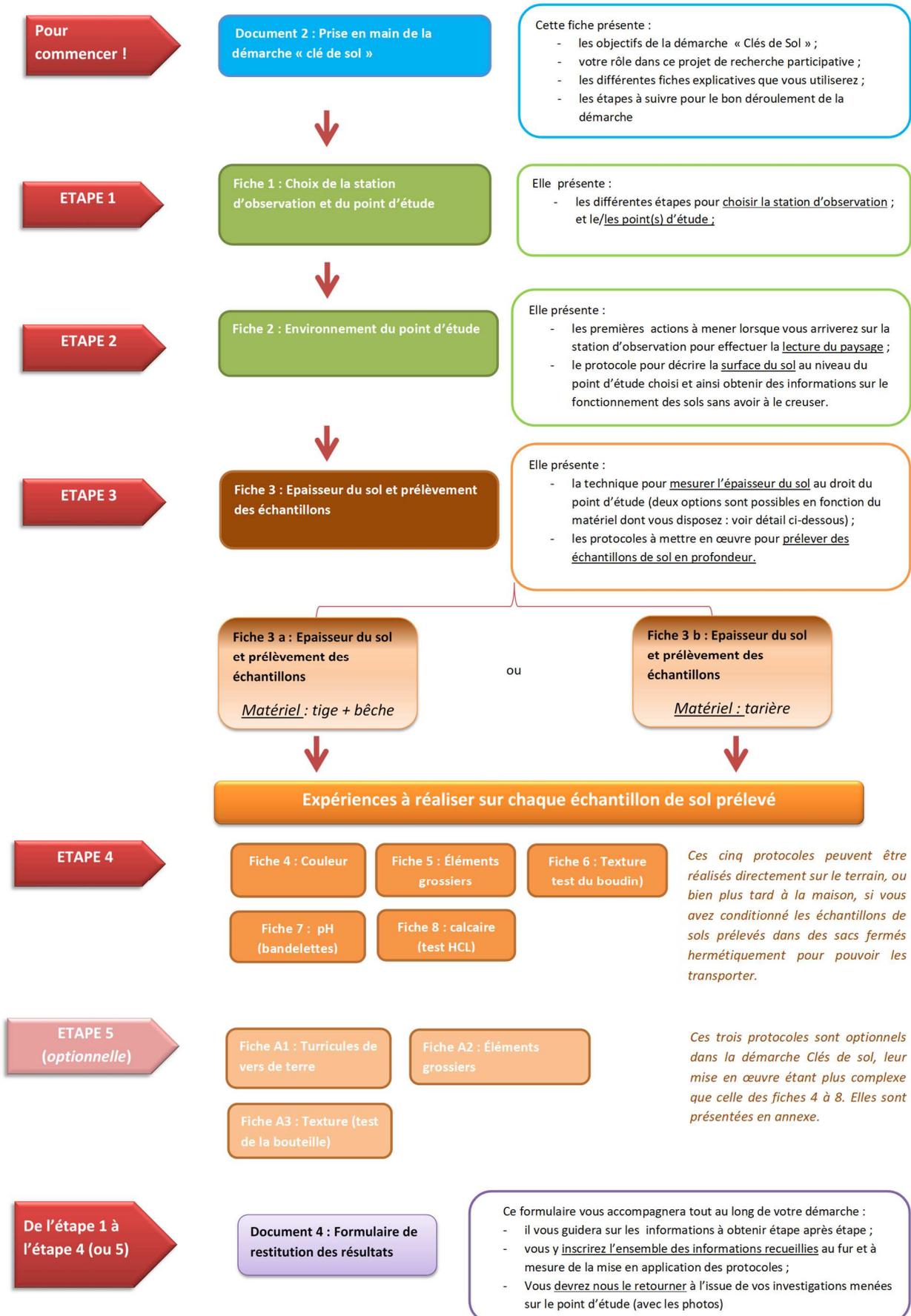
**Pour citer ce rapport**

Blanchard A., Brun A., Frey-Klett P., Gascuel C., Lagacherie P., Lemerrier B., Louiset R., Sauter J., Serin L., Soulier A., 2022. Rapport de la première phase de développement du projet Clé de Sol. Xx pp.

## Tables des matières

Annexe 1 : les différentes étapes de la démarche Clés de sol .....	
Annexe 2 : Les documents de la mallette « Clés de sol » .....	
Annexe 3. Le flyer .....	

## Annexe 1 : les différentes étapes de la démarche Clés de sol



## Annexe 2 : Les documents de la mallette « Clés de sol »

Document 1 : Contexte et objectifs – argumentaire scientifique

Document 2 : Prise en main de la démarche Clés de sol

Document 3 :

- Les fiches protocoles : Fiches 1 à 8
- Présentation synthétique des protocoles de terrain
- Les fiches optionnelles

Document 4 : Formulaire de restitution des résultats

## DOCUMENT 1

### Le projet « Clés de Sol » : Contexte et objectifs - argumentaire scientifique

---

Depuis une dizaine d'années, le sol est au cœur de débats sociétaux majeurs : production agricole, défi alimentaire, changements climatiques, artificialisation, gestion de l'eau, santé, biodiversité, etc. Des événements internationaux comme la journée annuelle mondiale des sols du 5 décembre mise en place en 2002 (Union internationale des sciences du sol), l'année internationale des sols en 2015 (ONU), ont souligné l'importance du sol. La notion de service écosystémique s'est imposée récemment. Le sol est un écosystème qui contribue à rendre de multiples services à l'humanité (Global Soil Partnership, FAO, 2013). C'est une ressource indispensable et fragile.

La connaissance des sols et de leurs propriétés est un prérequis pour caractériser les fonctions et les services écosystémiques des sols, éclairer les décisions qu'il faut prendre à l'échelle locale en matière d'agriculture, d'environnement et d'aménagement du territoire (Sanchez et al, 2009). Les bases de données et les cartes des sols auxquelles ces bases conduisent, sont le plus souvent à une résolution spatiale trop faible pour être utilisées dans ce but. Ainsi, la France n'est couverte quasi-exhaustivement que par des cartes départementales ou régionales au 1/250 000, les Référentiels Régionaux Pédologiques (Voltz et al, 2018). Ces cartes, élaborées avec relativement peu d'observation de sol (en moyenne un profil - ou fosse - pour 40 km<sup>2</sup> un sondage pour 400 ha), ne délimitent que de grands ensembles – polygones - (taille moyenne de 3 km<sup>2</sup>). Elles représentent donc les variations des sols et de leurs propriétés avec de trop faibles précisions pour aider à des décisions aux échelles locales (de la parcelle à la commune en passant par l'exploitation agricole ou le petit bassin versant).

Pour répondre à cette demande d'une meilleure connaissance des sols, la communauté scientifique a développé une nouvelle approche de cartographie des sols, appelée en France cartographie des sols à base de modélisation statistique (CSMS) (Lagacherie et al, 2013, Voltz et al, 2018). Le principe consiste à estimer des classes de sol ou leurs propriétés à partir des données disponibles sur la zone à étudier et de données spatiales représentant des éléments du paysage. Des modèles statistiques du type « Scorpan » ( $Sol = f(S : \text{connaissance sol a priori}, C : \text{Climat}, O : \text{Organismes}, \text{Relief}, P. \text{Matériau parental}, A : \text{Age et } N : \text{position géographique})$ ) sont déployés (Mc Bratney, 2003). Les travaux scientifiques récents permettent d'estimer une incertitude et de prendre en compte d'autres données spatiales récentes (base de données du relief, images de télédétection, données de capteurs des propriétés du sol). Ces prédictions sont le plus souvent réalisées par des fonctions de prédiction induites par des

algorithmes d'apprentissage automatique ou des modèles géostatistiques. Le grand intérêt de ces modèles est qu'ils peuvent être constamment améliorés par l'ajout de nouvelles observations du sol et de nouvelles données spatiales au fur et à mesure des avancées technologiques.

Sous l'impulsion d'une communauté scientifique organisée au sein d'un groupe de travail de l'Union Internationale de science du Sol, la CSMS apparaît comme une solution opérationnelle de cartographie des sols. Un projet international GlobalSoilMap (Arrouays et al, 2014) s'est mis en place pour prédire, sur 80% de la planète, les propriétés de sol les plus courantes sur une grille de 90 m de côté et à différentes profondeurs. Ce programme a été appliqué sur de grands bassins versant (ex. Nussbaum et al, 2018), des régions (ex. Vaysse et al, 2015), des pays (ex. Mulder et al, 2016) ou même à l'échelle mondiale (Hengl et al, 2017). A l'examen des résultats, il apparaît clairement que, malgré leur forte résolution spatiale affichée, leurs précisions restent trop faibles pour pouvoir fournir aux décideurs une connaissance suffisante des sols pour aider leur décision. En effet, la part de variabilité des sols reproduites par les produits GSM ( $R^2$ ) restent faibles (moins de 50% pour 80% des propriétés de sols prédites).

L'analyse fine des performances des différents produits GSM obtenus sur la région Languedoc-Roussillon (Vaysse et al, 2015) a montré que la densité spatiale des observations constituait le facteur limitant les performances de ces modèles. Ceci a été confirmé par plusieurs études récentes qui ont testé la sensibilité des performances des modèles aux densités d'échantillonnage (Somarathna et al., 2017 ; Wadoux et al., 2019 ; Lagacherie et al, 2020) mais aussi à la répartition spatiale de ces échantillons (Lagacherie et al, 2020). Toutes ces études montrent que les performances des modèles CSMS s'accroissent avec la densité d'échantillonnage, une répartition régulière dans l'espace et représentative des distributions de la propriété ciblée. Lagacherie et al (2020) ont montré que des performances élevées compatibles avec des prises de décision à l'échelle locale pouvaient être obtenues par ces approches, à condition que les observations soient en quantité et en qualité suffisantes. Ces résultats théoriques ont trouvé confirmation dans un travail récent où des performances élevées ont été enregistrées ( $R^2 = 0.7$  soit 70% de variabilité cartographiée) pour cartographier le Réservoir Utile du sol sur une commune d'un périmètre irrigué de la plaine littorale Languedocienne (Thèse Q. Styc, 2020), utilisant des données pédologiques anciennes très denses (4 profils de sol et 38 sondages pour 1 km<sup>2</sup>). Ainsi, la densité et la régularité des échantillonnages constitue la première condition pour que la CSMS concrétise les espoirs de fournir des cartes des sols et de leurs propriétés utilisables de manière effective pour l'aide à la décision locale.

A côté de la nécessaire récupération des données pédologiques anciennes et du développement des capteurs permettant d'estimer à coûts limités certaines propriétés de sol, une approche de collecte des données sur les sols par des citoyens apparaît comme une voie complémentaire et prometteuse pour alimenter les modèles de CSMS (« CSMS citoyenne »). Cette nouvelle voie a pour avantage de permettre au citoyen de participer à la construction de bases de données et de cartes de sol, gage également de meilleure appropriation des documents et des décisions futures qui peuvent en découler. Il n'existe à ce jour dans la littérature aucun exemple de mise en œuvre d'une CSMS

citoyenne. Des questions méthodologiques nouvelles se posent pour une CSMS participative : comment bâtir des protocoles de collecte pour des données fiables sur les sols ? comment intégrer ces données nouvelles en tenant compte de leurs incertitudes ? comment orienter le choix de sites et d'échantillonnages pour obtenir les meilleures performances avec le moins d'observations possible ?

Enfin se pose la question de savoir sur quelles propriétés de sol peut et doit porter l'effort d'une CSMS participative. Dans un premier temps, le choix est fait de se focaliser sur des propriétés de sol à la fois importantes pour la prise de décision mais aussi pour lesquelles il existe déjà des bases de données qu'il convient d'enrichir. Ceci amène à privilégier des propriétés pérennes du sol traduisant un potentiel invariant dans le temps. Le groupe de propriétés sélectionnées dans le projet GlobalSoilMap constitue une première base. Le projet Clés de Sol permettra d'affiner cette sélection en identifiant les propriétés qui peuvent effectivement être collectées par les citoyens avec une bonne fiabilité. Les travaux pourront être dans un second temps être étendus à d'autres propriétés comme la biodiversité du sol.

Au début de chaque fiche protocole regroupée dans le document 3, une explication sur l'intérêt de la propriété étudiée est présentée.

### **Pour en savoir plus**

Arrouays, D., Grundy, M. G., Hartemink, A. E., Hempel, J. W., Heuvelink, G. B. M., Hong, S. Y., Lagacherie, P., Lelyk, G., McBratney, A. B., McKenzie, N. J. (Auteur de correspondance), Mendonca-Santos, M. D. L., Minasny, B., Montanarella, L., Odeh, I. O. A., Sanchez, P. A., Thompson, J. A., Zhang, G.-L. (2014). GlobalSoilMap : toward a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in Agronomy*, 125, 93 – 134

Hengl, T., De Jesus, J.M., Heuvelink, G.B.M., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., Kempen, B., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS One* 12, 1–40.

Lagacherie, P., Walter, D.A.C., 2013. Cartographie numérique des sols : principe, mise en œuvre et potentialités. *Etude et Gestion des Sols* 20, 83–98. [http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/09/EGS\\_20\\_1\\_EGS\\_20\\_1\\_CN\\_Lagacherie.pdf](http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/09/EGS_20_1_EGS_20_1_CN_Lagacherie.pdf)

Lagacherie, P., Arrouays, D., Bourennane, H., Gomez, C. Nkuba Kasanda, L., 2020. Analysing the impact of soil spatial sampling on the performances of Digital Soil Mapping models and their evaluation: a numerical experiment on Quantile Random Forests using clay contents obtained from Vis-NIR-SWIR hyperspectral imagery. A paraître dans *Geoderma*.

McBratney, A.B., Santos, M.L.M and Minasny B., (2003). *On digital soil mapping*. *Geoderma* 117: 3-52

- Mulder, V.L., Lacoste, M., Richer-de-Forges, A.C., Arrouays, D., 2016. *GlobalSoilMap* France: high-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth. *Sci. Total Environ.* 573:1352-1369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.066.tb01630.x>
- Nussbaum, M., Spiess, K., Baltensweiler, A., Grob, U., Keller, A., Greiner, L., Schaepman, M.E., Papritz, A., 2018. Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. *Soil* 4, 1–22.
- Sanchez, P.A., Ahamed, S., Carré, F., Hartemink, A.E., Hempel, J., Huising, J., Lagacherie, P., McBratney, A.B., McKenzie, N.J., De Lourdes Mendonça-Santos, M., Minasny, B., Montanarella, L., Okoth, P., Palm, C.A., Sachs, J.D., Shepherd, K.D., Vågen, T.-G., Vanlauwe, B., Walsh, M.G., Winowiecki, L.A., Zhang, G.-L., 2009. Digital soil map of the world. *Science* (80-. ). 325.
- Somarathna, P.D.S.N., Minasny, B., Malone, B.P., 2017. More Data or a Better Model? Figuring what Matters Most for the Spatial Prediction of Soil Carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81, 1413–1426.
- Styc, K. Cartographie numérique du RU à partir de données pédologiques anciennes. Thèse de doctorat. A soutenir .
- Vaysse, K., Lagacherie, P., 2015. Evaluating Digital Soil Mapping approaches for mapping *GlobalSoilMap* soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Reg.* 4, 20–30.
- Voltz, M., Arrouays, D., Bispo, A., Lagacherie, P., Laroche, B., Lemerrier, B., Richer-de-Forges, A.C., Sauter, J., Schnebelen, N., 2018. La cartographie des sols en France: Etat des lieux et perspectives, INRA, Paris, France, 112 pages.
- Wadoux, A.M.J., Brus, D.J., Heuvelink, G.B.M., 2019. Sampling design optimization for soil mapping with random forest. *Geoderma* 355.

## DOCUMENT 2

### Prise en main de la mission « Clés de Sol »

---

L'objectif de ce document est de vous présenter le déroulé de la mission « Clés de sol » dans son ensemble et quel sera votre rôle dans ce projet de recherche participative. Vous découvrirez les différentes étapes à suivre dans une démarche progressive, que chaque bénévole pourra adapter à sa situation.

Dans un esprit pré-opérationnel, il détaille également la liste du matériel dont vous aurez besoin pour les investigations à réaliser sur le terrain et à la maison et liste les points sur lesquels vous devrez vous engager afin de respecter le cadre juridique auquel doit satisfaire le projet Clés de sol.

## **1. Cadre scientifique et objectifs de « Clés de Sol »**

*Le paragraphe présenté ici est une synthèse du document 1 que vous pouvez consulter pour une présentation plus détaillée de l'argumentaire scientifique et des objectifs du projet « clés de sol ».*

Clés de Sol est un projet national de recherche participative financé par la Fondation de France et porté par l'Union Nationale des Centres Permanents d'Initiative pour l'Environnement (UNCPIE), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), l'institut Agro (école interne AGROCAMPUS OUEST), et France Nature Environnement (FNE).

Le sol est une ressource non renouvelable à l'échelle humaine et limitée qui fournit une multitude de bienfaits essentiels pour la viabilité des sociétés humaines (production de denrées alimentaires, régulation du changement climatique, habitat pour la biodiversité des sols, etc.). Mais le sol est un milieu fragile, aujourd'hui menacé en de nombreux endroits, principalement du fait des activités humaines qui peuvent modifier l'état du sol, dégrader sa qualité et ainsi affecter les bienfaits qu'il peut fournir. Il est donc devenu urgent d'agir pour préserver cette ressource.

Cela suppose d'avoir préalablement une bonne connaissance des sols, quant à leur fonctionnement, leur diversité et leur répartition sur le territoire national.

A l'échelle de la France, le programme national d'inventaire des sols (programme IGCS, pour Inventaire, Gestion et Conservation des Sols) coordonné par le Groupement d'intérêt scientifique Sol (Gis Sol), apporte une connaissance spatialisée des sols au 1/250 000<sup>ème</sup> sur l'ensemble du territoire. Ce programme est en cours d'achèvement. Les données collectées sont rassemblées dans une base de données au format national, Donesol (voir <https://www.gissol.fr>, <https://www.geoportail.gouv.fr>).

Ces cartes et bases de données sont les outils indispensables à la connaissance actuelle des sols pour répondre aux enjeux territoriaux (gestion des eaux pluviales, stockage de carbone, production agricole, épuration/transfert des matières polluantes...).

Tout l'enjeu aujourd'hui est donc de poursuivre l'acquisition de données sur les sols, sur le terrain, pour alimenter ces bases de données afin de préciser le niveau d'informations déjà existant. En parallèle, il s'avère nécessaire de sensibiliser la société à ce qu'est un sol et aux bienfaits qu'ils fournissent. Car même si les sols font l'objet de plus en plus d'attention, ils restent méconnus du grand public. Or, sensibiliser la société sur cet objet est indispensable pour une meilleure prise en compte des sols dans les politiques publiques au regard de leurs fonctions environnementales.

Le projet de recherche participative « Clés de Sol » a pour objectif d'apporter quelques réponses face à ces enjeux :

- mobiliser des citoyens pour acquérir des données sur les sols afin d'enrichir les bases de données existantes ;
- développer des méthodes de cartographie des sols aux échelles territoriales à partir d'informations hétérogènes ;
- propager dans la société une meilleure connaissance des sols et des enjeux dont ils sont porteurs.

## **2. Votre rôle dans ce projet de recherche participative**

En participant à ce projet de recherche vous pourrez :

- **collecter des données sur les sols** en mettant en œuvre des protocoles de recherche sur des **points d'étude** que vous aurez choisis (en fonction de vos besoins) ;
- **faire avancer la recherche en transmettant les résultats de vos observations et de vos analyses** à un groupement de chercheurs afin d'enrichir les bases de données sur les sols ;
- **acquérir des connaissances personnelles sur le fonctionnement des sols, leur diversité**, et sur les bienfaits qu'ils fournissent.

Concrètement, votre rôle consistera à :

- **choisir la station d'observation** (une parcelle agricole, un espace au sein parc urbain, une clairière, une friche,...) au sein de laquelle vous positionnerez le **point d'étude**, lieu où vous analyserez le sol;
- **observer et décrire l'environnement de ce point d'étude**, ainsi que la **surface du sol** en place ;
- **mesurer la profondeur du sol et prélever des échantillons de sol** sur le terrain, à **différentes profondeurs** (au moins jusqu'à 50 cm), afin de caractériser le sol dans toutes ses dimensions ;
- **procéder à la mise en œuvre de protocoles scientifiques**, vous permettant, à partir des échantillons prélevés, **d'acquérir des informations** sur certaines caractéristiques des sols directement **sur le terrain puis à la maison** ;
- **remplir un formulaire de relevés de données, et le déposer sur une plateforme collaborative.**

### 3. Comment procéder ?

- Dans un premier temps, vous **prendrez connaissance de l'intégralité de ce dossier** et des fiches qui le constituent.
- L'ensemble des actions à réaliser est en effet présenté sous forme de fiches explicatives, numérotées de 1 à 8, **que vous devrez suivre dans l'ordre**, qui vous mèneront des interventions à effectuer sur le terrain jusqu'aux analyses à faire éventuellement à la maison. Elles vous permettront de collecter des informations sur les propriétés physico-chimiques des sols. Les différentes étapes à suivre pour mener à bien cette mission Clés de sol sont schématisées dans la figure 1 ci-contre.
- Vous trouverez ponctuellement dans les fiches 1 et 2, l'icône suivante  lorsque qu'il sera nécessaire de prendre une photographie sur le terrain.
- Au fur et à mesure de votre progression dans la mise en œuvre des protocoles, vous **compléterez le formulaire de relevé des résultats**.
- Pour finaliser votre participation à ce projet de recherche, vous nous **transmerez la Fiche de synthèse des données dûment complétée et votre dossier photos en les déposant sur la plateforme d'échange suivante** :
  - i. Lien : « Clés de sol – utilisateurs » : <https://aobox.agrocampus-ouest.fr/s/jW0rnJOnlfffanp>
  - ii. Code d'accès : clesdesol

**Le temps passé sur le terrain** pour réaliser les observations sera nécessairement significatif (**environ 2 heures**). Il variera en fonction des conditions d'accès au lieu choisi, des connaissances que vous avez déjà sur les sols, des conditions de prélèvement des échantillons, etc.

Vos premières investigations seront peut-être déroutantes, le sol reste un objet complexe. Il est important de garder un regard indulgent et positif sur votre participation et de dédramatiser face à vos doutes.

L'un des points importants de ce projet est de pouvoir fidéliser les contributeurs. En effet, la qualité des observations sera d'autant meilleure que les points d'étude décrits par une même personne seront nombreux. Nous vous remercions pour votre investissement.

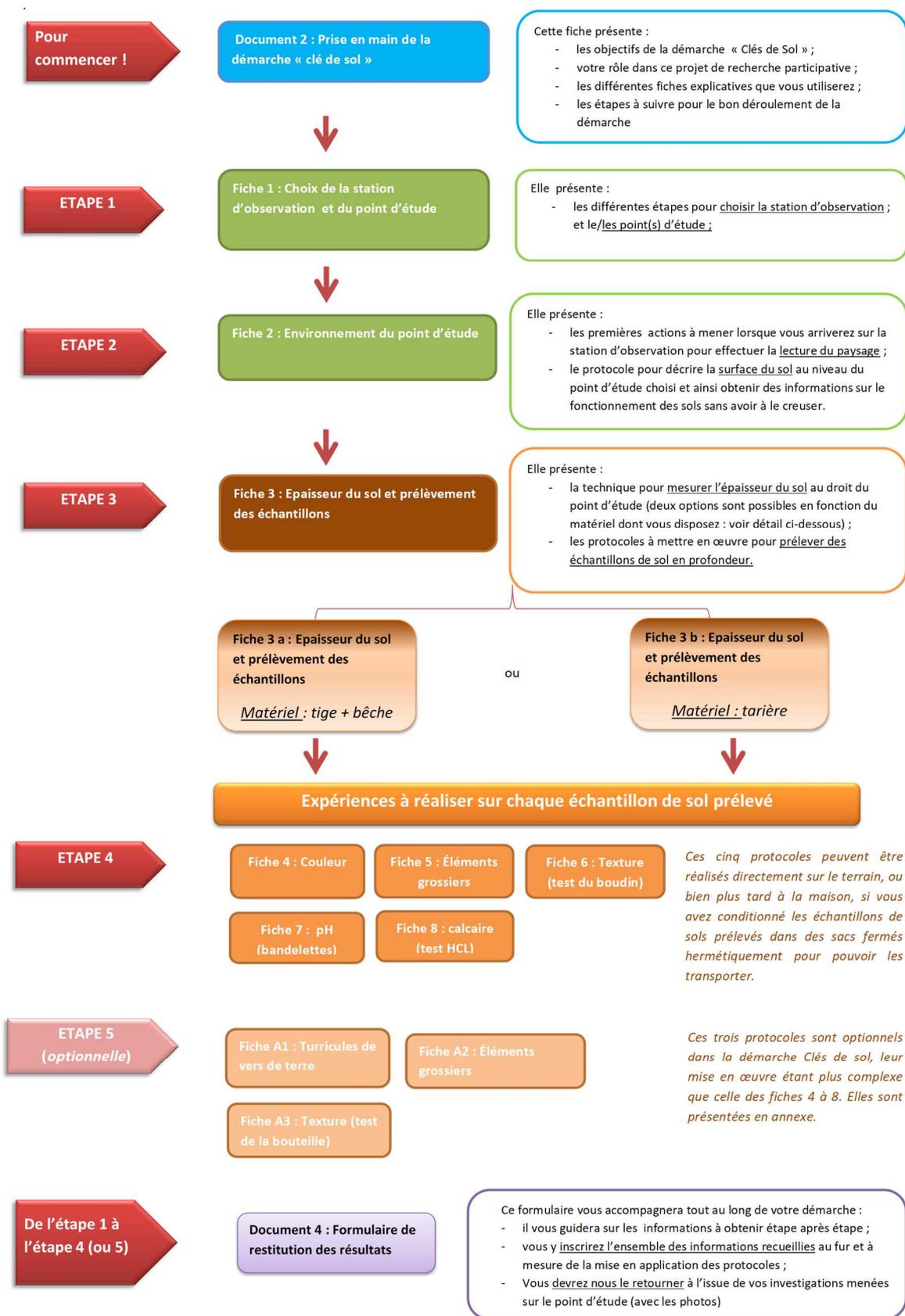


Figure 1 : Démarche générale de la mission de recherche participative « Clés de Sol »

Cette figure représente un enchaînement complet des protocoles à appliquer pour décrire un sol, mais selon vos possibilités et selon le milieu pédologique étudié, vous pourrez ne réaliser qu'une partie de ces protocoles, sous réserve que cette démarche soit décidée de façon concertée avec le groupe d'observateurs auquel vous appartenez.

Pour toute question relative à la compréhension des fiches ou à la mise en pratique des protocoles, vous pourrez contacter l'une des personnes suivantes:

- Anne Blanchart : [anne.blanchart@sol-et-co.fr](mailto:anne.blanchart@sol-et-co.fr)
- Philippe Lagacherie : [philippe.lagacherie@inrae.fr](mailto:philippe.lagacherie@inrae.fr)
- Blandine Lemercier : [blandine.lemercier@agrocaampus-ouest.fr](mailto:blandine.lemercier@agrocaampus-ouest.fr)
- Joëlle Sauter : [joelle.sauter@grandest.chambagri.fr](mailto:joelle.sauter@grandest.chambagri.fr)
- Annie Soulier : [annie.soulier@orange.fr](mailto:annie.soulier@orange.fr)

En vous remerciant de votre participation !

#### **4. Quelle attitude adopter sur le terrain ?**

Dans la pratique, un sondage, une description des sols à partir d'un sondage, le prélèvement d'échantillons non archivés, sont des actions qui sont faites généralement sans demander d'autorisation préalable. Sachez cependant, que le propriétaire peut vous refuser l'accès à sa propriété et que vous devez l'accepter.

Les bonnes pratiques sont d'informer au préalable les autorités locales, par exemple le maire de la commune, de l'intercommunalité, si le secteur d'intervention est bien défini. Sur le terrain, la bonne pratique est d'avoir à disposition un descriptif du projet, du cadre de la démarche, de manière à l'expliquer oralement et à laisser un document écrit le cas échéant. Il pourra y être également mentionné que les données acquises sont de portée générale et qu'elles ne portent pas préjudice au propriétaire.

#### **5. Liste du matériel à rassembler**

Voici le matériel qu'il vous faudra utiliser pour mener à bien les protocoles décrits dans les fiches 1 à 8.

Il est important de bien réunir tout le matériel nécessaire avant de partir sur le terrain.

### **Matériel à emporter sur le terrain**

#### ***Documents de travail, de prise de notes***

- Document 3 compilant l'ensemble des fiches 1 à 8 et leurs annexes
  - o Schéma de pourcentage de recouvrement
  - o Mise en œuvre des protocoles – les étapes simplifiées
- Document 4 : Formulaire de restitution des résultats
- Plaquette d'information du projet Clés de Sol (à présenter au propriétaire le cas échéant)
- Support rigide pour faciliter la prise de notes
- Stylo, crayon de papier (en cas de pluie)

- Marqueur indélébile
- Feuilles de notes
- Appareil photo
- Boussole (pour l'orientation des photos du paysage de la station d'observation)
- Ardoise blanche et feutre effaçable (pour identifier le point d'étude sur les photos)
- Smartphone
  - o application GPS pour géolocaliser votre point d'étude (ex : l'application : « Ma Position GPS »)
  - o application color comparator (pour iphone) ou munsell color chart (pour android) pour identifier la couleur

### **Observations de surface**

- Mètre gradué
- 4 piquets
- Quadrat de 1 m de côté (ou 4 jalons et une corde de 4 m)
- La charte Munsell (optionnel)

### **Détermination de la profondeur et prélèvement d'échantillons**

Il existe deux options en fonction du matériel dont vous disposez (Tableau 1).

Tableau 1 : Type de matériel permettant de déterminer la profondeur du sol et/ou de prélever des échantillons de sols

Type de matériel	Déterminer la profondeur	Prélèvement d'échantillon à différentes profondeurs
Tige graduée tous les 10 cm (type fer à béton) et Maillet (ou massette pour enfoncer la tige)	OUI	NON
Tarière graduée tous les 10 cm	OUI (maxi 120 cm)	OUI (maxi 120 cm)
Bêche + piochon	NON	OUI (maxi 50 cm)

Suivant le matériel choisi, vous suivrez les indications de la fiche 3a ou de la fiche 3b.

**Fiche 3a**

- Tige de 100 cm graduée tous les 10 cm + maillet
- Bêche
- Piochon

**Fiche 3 b**

- Tarière graduée tous les 10 cm
- Gouttière de 120 cm graduée tous les 10 cm

Et le matériel complémentaire :

- Couteau (*opinel lame 12cm*)
- Sac de prélèvement (*type sac de congélation modèle moyen – 2 à 3 litres*)
- Bâche ou grand sac poubelle (*en l'absence de gouttière*)
- Sac poubelle (blanc de préférence) pour y déposer l'échantillon de sol sur le terrain (pour réaliser les observations)

**Détermination sur les échantillons sur le terrain**

- Pipette d'eau
- Pipette d'HCl (dilué à 30%)
- Petite coupelle
- Gants
- Seau (*ou bassine*)
- Pelle à main de jardinier
- Eau déminéralisée
- Bandelettes pH
- Flacon de 120 mL avec bouchon
- Petite spatule (*ou cuillère qui ne sert plus et que vous aurez au préalable bien lavée*)

**Pour les protocoles optionnels (Fiches A1, A2 et A3)**

- Tamis de 2 mm
- Bouteille ou bocal en verre de 250 ml (5 à 6 cm de diamètre)
- Point d'accès à de l'eau
- Bassine
- Balance de ménage
- Règle graduée

**6. Lexique**

**Sol** : couche de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère et de la transformation de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus de pédogenèse.

**Horizon de sol** : couche de sol homogène qui se distingue d'une autre par sa couleur, sa granulométrie, sa compacité, sa densité de racines et son fonctionnement.

**Profil de sol** : ensemble des horizons d'un sol

**Qualité bio-physico-chimique** : aptitude d'un sol à fonctionner au sein et dans les limites des écosystèmes naturels ou aménagés, afin de maintenir les productivités végétale et animale, de maintenir ou d'améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et de soutenir la santé humaine et les besoins d'habitation.

**Services rendus par les sols** : bénéfiques, directs et indirects, que retirent les sociétés humaines du fonctionnement des sols (ex : régulation du climat, infiltration de l'eau, production de biomasse<sup>1</sup>).

**Sciences participatives** : Les sciences participatives sont des programmes de collecte d'informations impliquant une participation du public dans le cadre d'une démarche scientifique

---

<sup>1</sup> Ensemble de la matière organique végétale et animale.

# Fiche 1 : Choix de la station d'observation et du point d'étude

## 1. Comment choisir et positionner son point d'étude ?

Les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols en un point donné sont fortement influencées par les caractéristiques du milieu environnant, notamment par la topographie (pente forte, zone de plateau...), l'occupation du sol (parcelle cultivée, parc urbain, lande, forêt...), la présence d'eau à proximité (plaine alluviale, zone de bas-fond, marais littoraux...), le contexte géologique, etc. Aussi, le positionnement de votre **point d'étude** et la prise en compte de son environnement sont des éléments importants dans la démarche et ils auront une incidence sur les résultats que vous obtiendrez.

Pour choisir le point d'étude à caractériser, il est recommandé de suivre trois étapes :

### ETAPE 1 : Quel type de milieu souhaitez-vous étudier ? (Figure 1)

- un milieu naturel (espace boisé, lande, littoral, zone humide, etc.) ?
- un milieu anthropisé (culture, prairie, jardin, espace public, etc.) ?

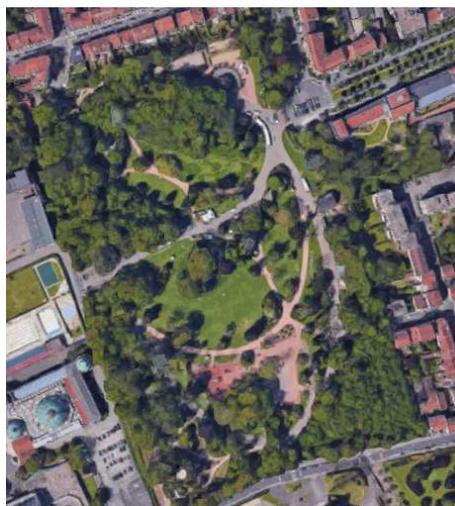
Vous serez aussi guidé dans le choix du milieu à étudier par le contexte géographique que vous souhaitez connaître, chaque territoire présentant ses particularités :

- Plaine du bassin parisien,
- Rives de Meurthe,
- Métropole du Grand Nancy,
- Marais du Cotentin,
- Plateau du Larzac,
- Gironde,
- Zone de montagne,
- Etc.

*Faites ce choix en fonction de vos attentes (volonté de connaître le fonctionnement des sols de ma propriété par exemple) ou bien des besoins de la recherche (vous savez par exemple qu'il existe peu de données en recherche sur les sols de jardins privés urbains).*



*Vue aérienne de la métropole nancéienne*



*Vue aérienne du parc Sainte Marie - Nancy*

*Figure 1 : Choix du milieu à étudier : par exemple un parc urbain au sein du territoire de la Métropole du Grand Nancy*

## **ETAPE 2 : Choisir la station d'observation** (Figure 2)

**Une station d'observation** est considérée comme une portion de territoire bien définie et homogène qui va servir de cadre à votre étude de sol.

Une fois que vous avez choisi le type de milieu que vous souhaitez étudier, vous devez déterminer précisément la **station d'observation** au sein de laquelle vous souhaitez réaliser votre étude de sol et vos analyses. Il peut s'agir : d'une parcelle agricole ou d'une portion de parcelle, d'un jardin privatif, d'un espace au sein d'un parc urbain, d'une parcelle de forêt ou de lande homogène.

*Faites ce choix en vous aidant d'une carte de votre territoire (format papier, format WEB – Google earth,...) si vous en avez besoin ou alors vous connaissez à côté de chez vous une station d'observation représentant le type de milieu que vous avez sélectionné à l'étape 1. Les conditions d'accès peuvent aussi orienter le choix d'une station d'observation.*

	
<p><i>Choix de la station d'observation au sein du parc urbain Sainte-Marie à Nancy- vue aérienne (Cf. figure 1)</i></p>	<p><i>Choix d'une station d'observation - une parcelle cultivée dans la métropole rennaise- vue depuis l'entrée de champ</i></p>
	
<p><i>Choix d'une station d'observation - une prairie pâturée en bordure d'une rivière - vue depuis l'entrée de champ</i></p>	

*Figure 2 : Exemples de choix de stations d'observation dans différentes situations*

### **ETAPE 3 : Choisir le point d'étude** (Figure 3)

Il s'agit de l'endroit précis où le sol sera observé et où seront prélevés les échantillons nécessaires aux analyses. Vous pouvez choisir un ou plusieurs points d'étude au sein d'une même station d'observation.

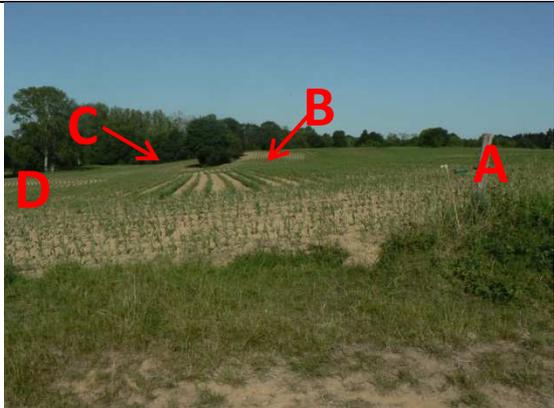
La position du point d'étude au sein de la station est importante. Elle peut être sélectionnée pour :

1. que le point soit le plus représentatif possible de la station d'observation (du point de vue de la topographie et du recouvrement par la végétation). Pour se faire, il est nécessaire de sélectionner une zone homogène et non perturbée. La surface du sol doit donc être homogène et il faudra s'écarter d'au moins 20 mètres de ces éléments :
  - Les zones perturbées comme les bordures, ornières ou entrées de champ ;
  - Les anciennes zones d'habitation ou anciens chemins ;
  - Les bords de route ou de chemin ;
  - Les lieux de passage ;

- La proximité immédiate des arbres, qu'ils soient disposés en haie ou isolés (sauf en milieu forestier bien entendu) ;
- Les zones de rupture de pente ou géologique comme les pieds de falaise ;
- Les lieux de dépôts de matériaux ;
- *Etc.*

2. présenter, au contraire, une variabilité qui peut être importante ou une zone très contrastée du reste de la station. Par exemple, si vous souhaitez mettre en évidence l'effet d'une haie perpendiculaire à la pente sur la profondeur du sol ou l'épaisseur des horizons riches en matière organique, vous placerez des observations de part et d'autre de la haie à différentes distances de celle-ci.

*Faites ce choix en fonction de vos attentes (volonté de connaître les sols à cet endroit spécifique de la parcelle) ou bien des besoins de la recherche.*

	
<p><i>Choix du point d'étude au sein de la station d'observation du parc urbain, à un endroit assez éloigné des arbres et des cheminements. (parc Sainte-Marie - Nancy)</i></p>	<p><i>Plusieurs points d'étude possibles dans la parcelle cultivée :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A : zone de plateau</li> <li>- B : amont de la haie</li> <li>- C : aval de la haie</li> <li>- D : sol dans le versant, en s'éloignant de l'entrée de champ</li> </ul>
	
<p><i>Plusieurs points d'étude possibles dans la prairie permanente de bord de cours d'eau :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A : dans le versant en retrait de l'entrée de champ</li> <li>- B : dans le bas fond, en bordure du cours d'eau</li> </ul>	

*Figure 3 : Exemples de choix du ou des points d'étude au sein de différentes stations d'observations*

## Fiche 2 : Environnement du point d'étude

### Objectif :

Déterminer le contexte paysager de la station d'observation et identifier plus précisément les caractéristiques de la surface du sol du point d'étude.

L'observation se déroule en 2 temps et sur 2 échelles. Ex : « Dans un premier temps (2.1), vous donnerez des informations sur le paysage alentour (environnement général de la station d'observation), puis dans un second temps (2.2), vous observerez plus spécifiquement la surface du sol au niveau de votre point d'étude (surface d'1m<sup>2</sup>)

### 2.1 – Description du paysage de la station d'observation

#### Pourquoi connaître le contexte paysager de la station d'observation ?

La formation d'un sol, ses propriétés et leurs évolutions sont intimement liées au paysage dans lequel se situe le sol. Ainsi, l'observation du contexte paysager, notamment le relief, la proximité des cours d'eau, l'occupation du sol, le type de végétation ou encore la présence d'affleurements rocheux permet d'obtenir, sans avoir besoin de creuser, des éléments d'information sur les propriétés des sols en place et les causes de dégradation possibles de ces derniers. Cela permet également de contextualiser l'observation, pour mieux interpréter les données obtenues suite à la mise en œuvre des protocoles présentés dans les fiches suivantes. Les informations concernant le relief ou la proximité d'un cours d'eau ne vous sont pas demandées ici car elles peuvent être collectées par les scientifiques par d'autres moyens.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

#### Photographie de l'environnement du point d'étude

Pour accompagner les éléments de description du paysage que vous allez renseigner dans le *formulaire de restitution des résultats*, merci de joindre une photographie d'ensemble de la station d'observation, en prenant du recul par rapport au point d'étude (pensez à matérialiser votre point d'étude pour le localiser, à l'aide de la bêche ou de la tarière).

Elle sera déposée sur la plateforme d'échanges Clés de Sol dont les identifiants de connexion vous sont donnés dans le document 2 : *Prise en main de la mission Clés de sols*  
Merci de la référencer (nom du fichier) de la façon suivante :

- *Date\_Nom\_Prenom\_Commune -code postal\_CodeStation\_CodePoint d'etude\_*  
*\_Photo-Paysage.jpeg*

### 2.1.1 - L'occupation du sol

En regardant autour de vous, décrivez l'occupation du sol de la station d'observation en vous appuyant sur les situations répertoriées dans le *formulaire de restitution des résultats*. Noter directement vos observations dans le formulaire.

### 2.1.2 - La végétation

La caractérisation de la végétation permet de formuler des hypothèses quant aux propriétés physiques, chimiques voire biologiques des sols. Elle renseigne également sur la capacité de la surface du sol à infiltrer l'eau de pluie ou, au contraire, à générer du ruissellement. Cette description concerne les strates herbacées, arbustives et arborescentes. Les strates inférieures (mousses, lichens, champignons) présentent également un grand intérêt du fait de leur sensibilité aux changements de leur environnement, mais leur détermination sur le terrain demande des compétences spécifiques et surtout une durée incompatible avec le temps imparti à ce relevé.

En vous aidant du *formulaire de restitution des résultats*, choisissez dans la liste de proposée le type de végétation qui couvre les sols de la station d'observation. Inscrivez vos observations dans le formulaire.

### 2.1.3 - L'affleurement de roches

Un affleurement est une formation rocheuse non déplacée et non remaniée qui a été mise à nu sous l'action d'une érosion naturelle (hydrique, glaciaire, marine) ou par l'action de l'Homme. Certains affleurements présentent plusieurs intérêts : paysager, géologique et écologique justifiant éventuellement une protection (Figure 1). Par ailleurs leur présence peut être révélatrice de sols peu épais ayant une faible capacité à retenir l'eau.



Figure 1 : Exemples d'affleurements de roches

Analysez si vous observez un ou plusieurs affleurements rocheux sur la station d'observation, et recensez vos observations dans le *formulaire de restitution des résultats*.

#### 2.1.4 - Autres éléments

Tout autre élément présent sur la station d'observation qui aiderait à discuter les résultats des analyses effectuées par la suite sur les horizons de sols sont intéressants à relever.

Mentionnez sur le *formulaire de restitution des résultats* la présence sur la station d'observation d'une haie, d'une zone humide, d'habitations, etc. ainsi que la distance à laquelle se trouve le(s) point(s) d'étude de cet (ces) élément(s).

## 2.2 – Observation de la surface du sol au niveau du point d'étude

### Pourquoi observer la surface du sol du point d'étude ?

Les éléments présents à la surface du sol et l'état de la surface sont des indicateurs des propriétés et du fonctionnement des sols. Ils reflètent généralement les pratiques de gestion du sol. Aussi, décrire ces éléments au préalable de tout échantillonnage de sol, permet d'ores et déjà de formuler des hypothèses sur les caractéristiques des sols et permettra par la suite de contextualiser et discuter les résultats obtenus grâce aux protocoles suivants.

### Contexte opérationnel :

Cette étape de description ne peut se faire que si le sol n'est pas entièrement recouvert par de la végétation. Si le sol du point d'étude est totalement recouvert de végétation, comme cela peut être le cas en prairie ou parfois en forêt, vous pouvez prendre connaissance des protocoles ci-dessous mais vous ne pourrez pas renseigner les éléments du *formulaire de restitution des résultats*.

### !!! Point de vigilance !!!

Les observations de surface doivent être réalisées sur un sol non modifié. Il est donc très important de préserver un espace non piétiné aux abords immédiats du point d'étude.

### Les différentes observations de surface :

Elles portent sur les critères suivants :

- Recouvrement par la végétation
- Pierrosité
- Battance
- Couleur
- Fentes

L'observation de ces différents éléments constitue un outil de contrôle de cohérence pour les scientifiques au regard des résultats que vous obtiendrez en appliquant les protocoles des fiches 3 à 8 sur les échantillons prélevés.

## Mise en place du dispositif pour matérialiser la zone d'observation au droit du point d'étude

***Ce dispositif est commun pour tous les critères décrits à la surface du sol et restera en place y compris pour le prélèvement des échantillons de sol à différentes profondeurs (voir Fiches 3a ou 3b).***

### Matériel nécessaire :

- Un mètre
- Un quadrat de 1 m de côté *ou 4 jalons et une corde de 4 mètres*
- Un appareil photo
- Une ardoise blanche et un stylo effaçable

### Protocole :

- Matérialisez la zone d'observation sur la surface du sol à l'aide du quadrat (*si vous utilisez les 4 jalons et la corde, reconstituez un carré de 1 m de côté*)
- Notez les références du point d'étude sur l'ardoise : *Date / Commune-CodePostal - codeStation - codePointd'étude* déposer l'ardoise en limite extérieure du quadrat (elle servira de référence pour la photo).
-  Prenez une photo de la surface du quadrat (à la verticale du quadrat) en prenant soin de voir l'ardoise et en évitant de projeter votre ombre à l'intérieur du quadrat. Référez la photo de la façon suivante :  
*Nom\_Prenom\_Date\_Commune\_code postal\_CodeStation\_CodePoint d'etude\_*  
***Photo-Surfacedusol.jpeg***
- Déposez cette photo dans le dossier « photographies » sur la plate-forme d'échange

### 2.2.1 - Le recouvrement du sol par la végétation

Temps nécessaire : 10 min

Facilité : ++++

Précision : ++++

#### Objectif :

Estimer la proportion de sol recouvert par de la végétation vivante ou morte (mulch, paillage) au moment de l'observation.

#### Pourquoi estimer le taux de recouvrement de la surface du sol par la végétation ?

Le sol peut être recouvert par de la végétation vivante, qu'elle soit permanente (dans le cas des prairies permanente, bois, landes, *etc.*) ou non (zones cultivées), ou par de la végétation morte (également appelée mulch) issue des résidus de culture ou produite en

dehors de la station d'observation et apportée au sol. La présence de végétation à la surface du sol permet de :

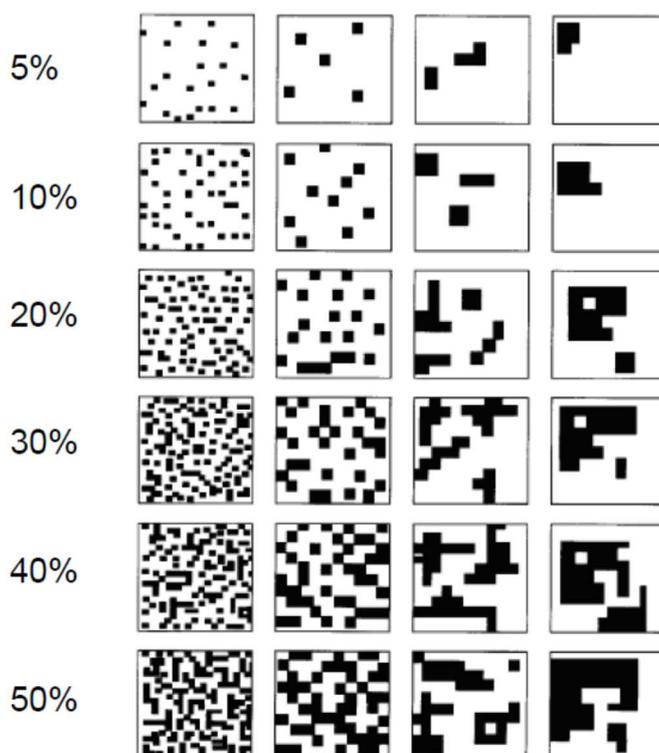
- Limiter l'évaporation de l'eau, et de conserver une certaine humidité dans le sol qui peut être valorisée par les plantes et les organismes vivants du sol. Ceci est valable dans le cas d'une végétation morte. En effet, un couvert végétal vivant absorbe toujours plus d'eau qu'un sol nu n'en évapore ;
- Protéger la surface du sol par rapport à l'érosion, grâce à deux mécanismes : le rôle d'écran pour éviter que les gouttes de pluies n'atteignent directement la surface du sol ; le fait de ralentir l'écoulement de l'eau qui ruisselle à la surface du sol et peut arracher facilement les particules de terre sur son passage ;
- Fournir de la matière organique fraîche au sol, qui est à la base de la chaîne alimentaire du sol.

### Matériel nécessaire :

- Schéma de pourcentage de recouvrement en annexe
- Utilisation du quadrat de 1 m<sup>2</sup>.

### Protocole :

- A l'aide de la Figure 2, déterminez le pourcentage de la surface du quadrat recouvert par :
  - de la végétation vivante
  - des résidus de culture morts (ou paillage)



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

Figure 2 : Pourcentage de recouvrement du sol par la végétation - Voir fiche en annexe 1

## 2.2.2 - La pierrosité

Temps nécessaire : 10 min	Facilité : +++++	Précision : +++++
---------------------------	------------------	-------------------

### Objectif :

Estimer la proportion de sol recouvert par des cailloux ou pierres (mulch, paillage) au moment de l'observation.

### Pourquoi estimer la pierrosité de la surface du sol ?

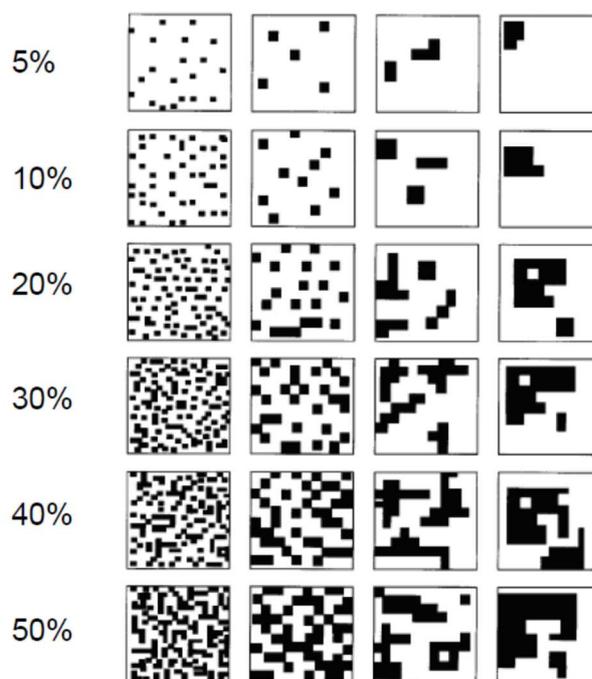
La pierrosité de surface d'un sol est caractérisée par l'abondance relative, en surface, d'éléments dont le diamètre est supérieur à 2 mm (éléments grossiers). Cet indicateur apporte des informations au sujet de l'aptitude du sol à infiltrer l'eau ou encore à être pénétré par des racines. Par ailleurs, lorsqu'ils sont abondants, les éléments grossiers sont une gêne pour le travail du sol et limitent le volume de terre.

### Matériel nécessaire :

- Schéma de pourcentage de recouvrement fourni en annexe.

### Protocole :

- Si la surface du sol est recouverte partiellement de végétation ou de résidus de culture, ôter les délicatement, avec vos mains
- A l'aide de la Figure 3, déterminez le pourcentage de la surface du quadrat recouvert par des éléments grossiers.



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

Figure 3 : Pourcentage de recouvrement du sol par des éléments grossiers Voir fiche en annexe 1

## 2.2.3 - La couleur

Temps nécessaire : 10 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Objectif :

Caractériser la couleur du sol en surface

### Pourquoi déterminer la couleur de la surface du sol ?

La couleur d'un sol donne une information sur de multiples éléments, tels que la teneur en matière organique ou l'engorgement prolongé du sol par l'eau. C'est aussi un critère d'identification fréquent de la roche à partir de laquelle le sol se forme.

### Matériel nécessaire :

- Un pulvérisateur d'eau
- Un smartphone avec l'application Munsell color chart (pour Android) ou Color comparator (pour IOS)

### Protocole :

- Au niveau du quadrat, si la surface du sol est recouverte partiellement de végétation, résidus de culture, ou éléments grossiers, ôtez-les avec vos mains.
- Si le sol est sec, humectez la surface du sol à l'aide du pulvérisateur d'eau, et attendez quelques secondes que l'eau s'infilte. La terre ne doit pas être luisante.  
*Réhumectez petit à petit*
- La couleur doit être déterminée à l'ombre ou avec le soleil dans le dos.
- Déterminez la couleur en utilisant l'application adaptée à votre smartphone (*voir les conditions d'utilisation des applications de comparateur de couleur détaillées dans la fiche 4*)
- Si vous possédez une charte Munsell, utilisez là de préférence à une application !
- Notez le code couleur obtenu dans *le formulaire de restitution des résultats*.

## 2.2.4 - La battance

Temps nécessaire : 5 min

Facilité : ++++

Précision : ++++

### Pourquoi identifier la battance à la surface du sol ?

Sous l'action de la pluie, les mottes de terre se désagrègent à la surface du sol. Les éléments fins libérés par l'éclatement des mottes s'accumulent à la surface du sol, comblant ses interstices. Une fois le sol séché, on observe une croûte dite « de battance » : la surface est lisse et toute la porosité du sol a disparue (Figure 4). Cette croûte diminue considérablement l'infiltration de l'eau dans le sol, s'oppose à une bonne circulation de l'air dans le sol et par conséquent réduit la croissance des plantes cultivées. En diminuant l'infiltration de l'eau dans le sol, la croûte de battance favorise le ruissellement et l'érosion hydrique. Les sols à tendance limoneuse et relativement pauvres en matière organique sont sensibles à la battance. La sensibilité naturelle des sols à la battance est exacerbée par un travail du sol fin (qui ne laisse que de petits agrégats de terre) et l'absence de végétation à la surface du sol.



Figure 4 : Exemples de croûte de battance

### Protocole :

*La présence d'une croûte de battance étant plus facilement repérable sur sols secs, il est préférable de réaliser ce protocole après plusieurs jours sans pluie. Mais si nécessaire, ce protocole peut tout à fait être réalisé sur sol humide.*

- Dans un périmètre de 15 mètres autour du point d'étude que vous avez sélectionné, identifier la présence de battance à la surface du sol en comparant ce que vous observez aux images ci-dessus (Figure 4) et recensez vos observations dans le *formulaire de restitution des résultats*.

## 2.2.5 Les fentes

Temps nécessaire : 5 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
--------------------------	-----------------	------------------

### Pourquoi identifier la présence de fentes à la surface du sol ?

Des fentes peuvent se former dans les sols qui contiennent une proportion importante d'argiles dites « gonflantes ». Ces fentes peuvent faire quelques centimètres de large et quelques décimètres de profondeur. Elles jouent un rôle important dans l'aération du sol, mais les propriétés de retrait-gonflement à l'origine des fentes peuvent également créer des dommages aux infrastructures (routes, habitations).

### Protocole :

- Arpentez la station d'observation en observant la surface du sol à la recherche de fentes (ayant une profondeur d'au moins 5 cm).



Figure 5 : Exemple de fentes

### Précautions :

- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 3a- Épaisseur du sol et prélèvement des échantillons

**MATERIEL DISPONIBLE : Tige (100 cm) + bêche**

### Remarque :

Ce protocole permet de déterminer la profondeur moyenne d'un sol à un endroit donné. Mais avec ce type de matériel, vous ne pouvez pas identifier les différents horizons.

### !!! point de vigilance !!!

Vous utiliserez le quadrat installé lors de la mise en œuvre de la « fiche 2 : environnement du point d'étude » pour positionner le point où vous allez mesurer la profondeur et faire les prélèvements.

## 3.1 – Détermination de l'épaisseur du sol à l'aide de la tige

### Objectif :

Déterminer l'épaisseur d'un sol (en cm)

### Pourquoi mesurer l'épaisseur d'un sol ?

L'intérêt de ce test est de quantifier l'épaisseur de terre meuble, apportant des informations sur le volume de terre que les plantes peuvent coloniser avec leurs racines pour s'ancrer, se nourrir, ou chercher de l'eau.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Matériel nécessaire :

- Une tige de 100 cm (type fer à béton)
- Un maillet
- Un mètre gradué
- Un marqueur (ou un élastique à cheveux)
- Des gants

**Protocole :**

- Positionner la tige au centre du quadrat (que vous avez utilisé pour les observations de l'état de surface du sol), vous allez déterminer l'épaisseur du sol en ce point.
- Enfoncez la tige le plus possible dans le sol (laisser ressortir la tige de 30 cm hors du sol pour pouvoir la ressortir plus aisément) en vous aidant du maillet. *Veillez à garder la tige bien verticale*
- Arrêtez-vous dès que vous ne pouvez plus enfoncer cette tige et faites un trait au marqueur sur la tige, ou placez un élastique à cheveux préalablement enfilé sur la tige, à hauteur de la surface du sol
- Retirez la tige et mesurez la distance avec le mètre gradué entre le bout de la tige et le trait fait au marqueur : c'est l'épaisseur du sol
- Reportez l'épaisseur du sol dans le *formulaire de restitution des résultats*. *Attention à bien noter l'épaisseur en cm*

Si vous êtes dans un contexte de sols caillouteux ou que tout simplement la profondeur du sol avec cette première mesure vous paraît trop faible, vous réaliserez deux autres points de mesure (en vous positionnant aux angles du quadrat) en procédant de la même manière que pour le premier point.

- Notez l'épaisseur de chaque point de mesure supplémentaire La profondeur du sol qui sera reportée dans le *formulaire de restitution des résultats* doit être la profondeur maximale relevée après les 3 points d'échantillonnage.

**Précautions :**

- Faites attention à ne pas blesser les personnes se trouvant à côté de vous en manipulant la tige et le maillet, notamment si vous tenez la tige à l'horizontale et que vous vous tournez.
- Retirez la tige en pliant les genoux pour éviter des problèmes de dos.
- Le port de gants est fortement conseillé.
- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## 3.2 – Prélèvement des échantillons de terre

**Objectif :** Afin de mettre en pratique les protocoles des fiches 4 à 8 (et des fiches optionnelles A1 à A3) et de déterminer les principales caractéristiques d'intérêt du sol (pH, couleur, texture, etc.), il vous faudra prélever des échantillons de terre et les conditionner si vous réalisez les expériences à la maison. Voici, ci-après, le descriptif des différentes étapes à suivre pour y parvenir.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Matériel nécessaire :

- Seau ou bassine
- Bêche
- Marqueur indélébile
- Feuille de papier (à glisser dans le sac) et crayon à papier (en cas de pluie)
- Bâche plastique
- Sac poubelle (moyen à grand format) pour y déposer l'échantillon prélevé

### 3.2.1 – Deux profondeurs de prélèvement au niveau du point d'étude : 0-20 cm et 30-50 cm

Pour chaque point d'étude, les échantillons de sol devront être prélevés à deux profondeurs distinctes : P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>. Vous prélèverez selon des profondeurs standards :

A l'aide de la bêche graduée et selon les protocoles explicités ci-dessous (3.2.2. Méthodes de prélèvement), prélevez un premier échantillon entre la surface du sol et la profondeur 20 cm : il s'agit du P<sub>1</sub> (profondeur 1 du point d'étude).

Ensuite, prélevez un deuxième échantillon entre les profondeurs 30 et 50 cm : il s'agit du P<sub>2</sub> (profondeur 2 du point d'étude).

### 3.2.2 - Méthodes de prélèvement

*Durant tout le protocole, veillez à ne pas piétiner le sol du point d'étude d'où sera extrait le bloc et à ne pas exercer une pression avec la lame de la bêche dans la partie prélevée.*

Pour extraire du sol à la bêche, il vous faudra suivre les étapes suivantes :

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

3. Creuser à l'aide de la bêche ce cube de sol, dont la profondeur devra être légèrement supérieure à celle de la profondeur souhaitée (0-20 cm) du bloc à extraire (schéma ci-contre). Attention à couper le sol d'une manière franche : plantez la bêche verticalement et enfoncez-la verticalement dans le sol d'un seul mouvement en vous aidant du poids de votre corps voire d'un maillet ou d'une massette ;
4. Extraire avec soin ce bloc de sol (Figure 1) ;
5. Passer à la seconde profondeur (30-50 cm) : creuser une surface correspondant à 4 blocs de terre accolés de façon à créer une surface plane dont la profondeur correspond à la borne supérieure de votre second prélèvement (par exemple 30 cm) (voir 3<sup>ème</sup> photo de la figure 1). Déposez la terre excédentaire sur la bêche pour reboucher le trou plus facilement ensuite ;
6. Faire un nouveau prélèvement à la bêche au centre de la zone dégagée en renouvelant les étapes 2 à 4 (Figure 1).

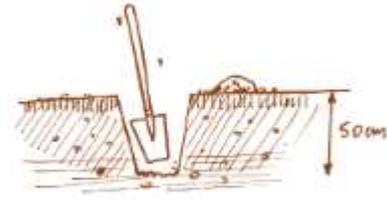


Figure 1 : Étapes d'extraction du bloc de sol à l'aide d'une bêche

### **3.3.3 - Échantillonnage et conditionnement**

Après avoir extrait les échantillons de terre, vous aurez besoin, selon les protocoles décrits dans les fiches 4 à 8, d'effectuer des expérimentations directement sur le terrain à partir des échantillons sortis du sol, ou bien de les conditionner pour les ramener à la maison. Ci-dessous voici les différentes étapes à suivre pour ce faire.

#### **a. Prise d'un échantillon**

Pour chaque profondeur étudiée (P1 et P2), réservez le bloc de sol prélevé dans un seau ou une bassine. Avant de mélanger le contenu du seau (ou de la bassine), vous réaliserez le protocole de la fiche 4 : Couleur. Ensuite, mélangez le contenu du seau à la main ou à la pelle à main afin d'homogénéiser l'échantillon.

- Si vous réalisez les protocoles des fiches 5 à 8 sur le terrain, vous pouvez étaler cet échantillon P1 sur un grand sac poubelle pour réaliser vos observations. Vous répèterez l'opération avec l'échantillon P2, en ayant pris soin de nettoyer au préalable le sac poubelle.
- Si vous réalisez les protocoles à la maison, conditionnez vos échantillons de la manière présentée ci-dessous

### **b. Conditionnement d'un échantillon de sol**

Pour conditionner vos échantillons, placez chaque échantillon dans un sachet de type sac de congélation. (modèle moyen – 2 à 3 L).

Il est nécessaire, pour reconnaître quel prélèvement correspond à quel sol, d'identifier vos échantillons sur le sac de prélèvement en les nommant de cette façon :

*Nom\_Prenom\_Date\_Commune\_code postal\_CodeStation\_CodePointd'etude : profondeur supérieure-profondeur inférieure*

*Petites astuces : écrire sur le sac avant de le remplir ; fermer le sac en le nouant (le plus haut possible, vous pourrez ainsi couper le nœud facilement tout en conservant un volume de sac suffisant pour ne pas perdre d'échantillon), identifier les échantillons en notant la référence sur la partie basse du sac : la référence reste lisible même quand le sac est fermé.*

*Les limites des profondeurs devront être écrites en cm.*

*En cas de pluie, le marqueur ne fonctionnera pas. Vous pouvez identifier l'échantillon en glissant un papier à l'intérieur avec les références notées dessus.*

### **c. Liste des échantillons prélevés**

Au fur et à mesure de vos prélèvements et de vos identifications des sacs de prélèvement, il vous faudra tenir une liste des échantillons prélevés, afin d'avoir un récapitulatif du nombre d'échantillons prélevés, de leur localisation, de leur profondeur ainsi que de la date de leur prélèvement.

N'oubliez pas de vous référer au *formulaire de restitution des résultats*, pour y reporter le nombre et les identifiants des échantillons de sol prélevés.

### **d. Remise en l'état de la station d'intervention**

En fin de séance, pour limiter l'impact de votre intervention sur le milieu, veillez à bien reboucher les trous autant que faire se peut, en respectant au mieux l'ordre des différents horizons.

**Précaution :**

- Faire attention en manipulant la bêche ou la tarière, au risque de blesser une personne se trouvant à côté de vous *notamment si vous tenez la bêche à l'horizontale et que vous vous tournez*
- Retirer la tarière ou la bêche en pliant les genoux pour éviter des problèmes de dos
- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 3b- Epaisseur du sol et prélèvement des échantillons

**MATERIEL DISPONIBLE : Tarière (1,20 m) + bêche (optionnel)**

### Remarque :

Ce protocole permet de déterminer la profondeur moyenne d'un sol à un endroit donné. Vous pourrez, en plus, déterminer l'épaisseur des premiers horizons de sol. Ce protocole permet ainsi en général de déterminer la profondeur du premier horizon souvent plus riche en matière organique.

### !!! point de vigilance !!!

Pour positionner le point où mesurer la profondeur et faire les prélèvements, vous utiliserez le quadrat installé lors de la mise en œuvre de la fiche 2 : environnement du point d'étude

### 3.1 – Détermination de l'épaisseur du sol à l'aide de la tarière

#### Objectif :

Déterminer l'épaisseur d'un sol et distinguer l'épaisseur de différentes couches de sol (horizons).

#### Pourquoi mesurer l'épaisseur d'un sol :

L'intérêt de ce test est de quantifier l'épaisseur de terre disponible, apportant ainsi des informations sur le volume de sol prospectable par les racines, ou encore sur la quantité d'eau que le sol peut retenir.

Temps nécessaire : 45 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

#### Matériel nécessaire :

- Une tarière graduée tous les 10 cm avec du ruban adhésif de couleur (photo 1)
- Une gouttière graduée (marquée tous les 10 cm) (photo 1)
- Un mètre gradué
- Des gants
- Un couteau



Photo 1 : tarière et gouttière graduées

### Protocole :

- Positionner la tarière au centre du quadrat que vous avez utilisé pour les observations de l'état de surface du sol : vous allez déterminer l'épaisseur du sol en ce point.
- Enfoncez la tarière sur les points d'étude en faisant des mouvements circulaires afin de « creuser » le sol jusqu'à ce que la partie large de la tarière (la tête permettant le prélèvement) soit à la limite de la surface du sol *veillez à garder la tarière bien verticale*
- Ressortez la tarière du sol verticalement (attention en particulier dans les sols sec et sableux, le contenu peut facilement être perdu).
- A l'aide d'un couteau, araser les deux côtés de la tête de la tarière, en prenant appui sur les deux bords de la tête et éliminer le petit morceau de sol qui peut se trouver dans la pointe.
- Placez ensuite la tarière juste au-dessus de la gouttière, afin de venir déposer délicatement la terre qu'elle contient dans la gouttière *l'extrémité de la gouttière où vous venez placer l'échantillon de sol correspond à la surface du sol*
- Si vous pouvez encore enfoncer la tarière dans le sol à l'endroit de premier prélèvement, enfoncez-la à nouveau et réitérez l'opération : ressortez la tarière et venez déposer la terre prélevée dans la gouttière, sous le premier échantillon déposé précédemment. Attention au sens dans lequel vous déposez le nouvel échantillon ! Le haut de la tarière doit toujours être du même côté de la gouttière. *Ne déposez dans la gouttière que les 10 cm situés dans la partie inférieure de la tête de la tarière, le reste correspondant à du matériau retombé dans le trou et donc remanié (cf. Figure 1 – cas 2)*

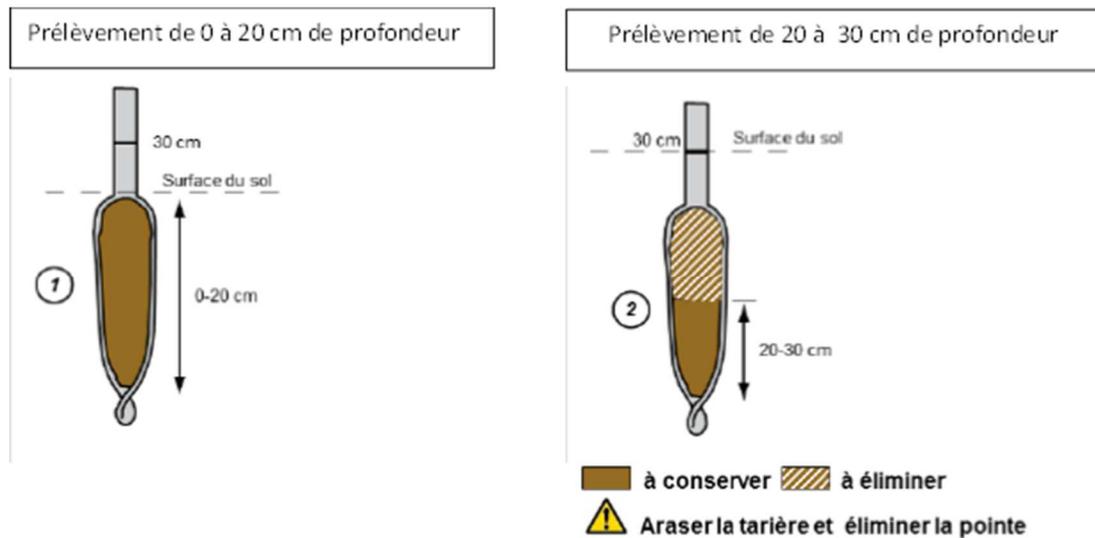


Figure 1 : Modalité de prélèvement des échantillons de sol à la tarière (d'après Jolivet et al., 2018)<sup>1</sup>

- Répétez l'opération jusqu'à 120 cm ou jusqu'à ce que vous ne puissiez plus enfoncer la tarière dans le sol *n'oubliez pas de ne conserver que les 10 cm situés dans la partie inférieure de la tête de la tarière*
- Lorsque le prélèvement est terminé pour une des deux précédentes raisons, observez à quelle graduation s'arrête le remplissage de la gouttière : c'est l'épaisseur du sol que vous devez rapporter dans la *fiche de synthèse des données* attention à noter l'épaisseur en cm
- Vous pouvez vérifier la profondeur du sol que vous aurez reconstituée dans la gouttière, en plaçant la tarière à côté, en ayant préalablement repéré la profondeur du sondage (pour cela, enfoncez, sans tourner, la tarière dans le trou et placez votre main sur la tige de la tarière, à la hauteur du sol – remontez la tarière sans déplacer votre main – vous repérez ainsi la profondeur réelle du sol) – Si, la profondeur vous paraît plus importante dans la gouttière, c'est que vous avez « espacé » les échantillons de sol en les déposant. Réajustez alors tous vos échantillons déposés dans la gouttière. La position de votre main sur la tige de la tarière fait foi.
- Repérez les changements de couleur le long de la gouttière : ils marquent les changements d'horizons. Mesurez l'épaisseur de chacun des deux premiers horizons P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> (ou plus si vous le souhaitez) et rapportez ces limites dans la *le formulaire de restitution des données*. attention à noter l'épaisseur en cm  
*Si vous ne percevez pas de changement de couleur, assurez-vous que les autres propriétés que vous allez mesurer (texture, éléments grossiers,...) ne changent pas entre la partie supérieure et la partie inférieure du prélèvement. Si vous observez*

<sup>1</sup> Jolivet C., Almeida-Falcon J.-L., Berché P., Boulonne L., Fontaine M., Gouny L., Lehmann S., Maître B., Ratié C., Schellenberger E. & Soler-Dominguez N., 2018. Manuel du Réseau de mesures de la qualité des sols. RMQS2: deuxième campagne métropolitaine, 2016 –2027, Version 3, INRA, US 1106 InfoSol, Orléans, France  
Document téléchargeable sur le site du Gis Sol : <http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/rmq-s-34>

*un changement, tentez d'identifier la profondeur à laquelle ce changement s'opère, qui constituera alors le changement d'horizon. S'il n'y a pas de profondeur bien définie, considérez alors un seul horizon.*

-  Faites une photo de la gouttière, avec le mètre placé à côté et téléchargez cette photo dans le dossier « *Photographies\_Nom\_Prenom* » en la nommant *Nom\_Prenom\_Date\_Commune\_code postal\_CodeStation\_CodePoint d'etude\_Photo\_sondage jpeg*

Attention, si vous êtes dans un contexte de sols caillouteux ou que tout simplement la profondeur du sol avec cette première mesure vous paraît trop faible, vous réaliserez deux autres points de mesure (en vous positionnant aux angles du quadrat) en procédant de la même manière que pour le premier point.

- Mesurez et notez l'épaisseur du sol de chaque point de mesure supplémentaire *attention à noter l'épaisseur en cm*
- La profondeur du sol qui sera reportée dans la *fiche de synthèse des données* doit être la profondeur maximale relevée après les 3 points d'échantillonnage.
- L'épaisseur de chacun des deux premiers horizons P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> (ou plus si vous le souhaitez) qui sera rapportée dans le formulaire de restitution des données, sera celle du point de mesure le plus profond *attention à noter l'épaisseur en cm*

#### **Précautions :**

- Faire attention en manipulant la tarière, au risque de blesser une personne se trouvant à côté de vous *notamment si vous tenez la tarière à l'horizontale et que vous vous tournez*
- Retirer la tarière en pliant les genoux pour éviter des problèmes de dos.
- Le port de gants est conseillé

## 3.2 – Prélèvement des échantillons de sol

**Objectif :** Afin de mettre en pratique les protocoles des fiches 4 à 8 (et des fiches optionnelles A1 à A3) et de déterminer les principales caractéristiques d'intérêt du sol (pH, couleur, texture, *etc.*), il vous faudra prélever des échantillons de sol et les conditionner si vous souhaitez les emporter pour réaliser les protocoles à la maison. Voici, ci-après le descriptif des différentes étapes à suivre pour y parvenir.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Matériel nécessaire :

- Bâche
- Sac poubelle (blanc de préférence pour y déposer l'échantillon prélevé)
- Seau ou bassine
- Pelle à main de jardinier
- Tarière graduée tous les 10 cm avec du ruban adhésif de couleur (et/ou bêche graduée)
- Gouttière graduée
- Couteau
- Mètre ruban, enrouleur ou pliant
- Sacs (type congélation)
- Marqueur indélébile
- Feuille de papier (à glisser dans le sac) et crayon à papier (en cas de pluie)

Pour prélever les échantillons de sols du point d'étude, vous pouvez choisir librement l'une des deux méthodes présentées ci-dessous, avec la tarière ou avec une bêche.

Il vous faudra tout d'abord définir les profondeurs de prélèvement de vos échantillons. En effet, pour chaque point d'étude, les échantillons de sol devront être prélevés à deux profondeurs distinctes : P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>.

### 3.2.1 - Identification des deux profondeurs de prélèvement du sol au niveau du point d'étude

Deux possibilités s'offrent à vous :

- a. **Choix 1 : prélèvement des échantillons sur les deux premiers horizons de sol**

Si dans l'étape précédente (3.1 - épaisseur du sol) vous avez pu différencier clairement les horizons pédologiques, vous pourrez prélever chaque horizon : P1 correspond au premier horizon (en partant de la surface du sol) et P2 à l'horizon situé juste en dessous.

Un horizon de sol est une couche de sol plus ou moins épaisse, qui se distingue visuellement d'un autre par sa différence de couleur, de texture ou encore de teneurs en éléments grossiers (> 2 mm) (Photo 2).



Photo 2 : Exemple de profils de sol constitués de 4 horizons (gauche) et 3 horizons (droite)

A noter que le premier horizon est la couche de sol qui fait le lien entre le sol et la surface (noté O sur la photo 4 à gauche). Le deuxième horizon est celui situé sous ce premier horizon (noté A sur la photo 2 à gauche).

Lors de vos échantillonnages réalisés à la tarière (ou à la bêche), distinguez les limites inférieures (profondeur la plus élevée) du premier et du deuxième horizon. Pour ce faire, un moyen simple est de prélever du sol à des profondeurs croissantes et de placer les échantillons de sol dans une gouttière, permettant de reconstituer finalement le profil de sol et donc la superposition des différents horizons. En plaçant un mètre à côté de cette gouttière, il vous est alors possible de déterminer les limites supérieure et inférieure de ces différents horizons (Photo 3).



Photo 3 : Exemple de sondage réalisé à la tarière permettant de délimiter 5 horizons

### **b. Choix 2 : prélèvement des échantillons aux profondeurs standards : 0 à 20 cm et 30 à 50 cm**

Si au contraire vous n'avez pas pu différencier les deux premiers horizons sur les 40 premiers cm de sol ou si vous hésitez, vous pouvez effectuer votre prélèvement en utilisant les profondeurs standards à savoir P1 de 0 à 20 cm et P2 de 30 à 50 cm de profondeur.

A l'aide de la tarière graduée (ou de la bêche graduée si le sol est caillouteux) et selon les protocoles explicités ci-dessous (3.2.2. Méthodes de prélèvement), prélevez un premier

échantillon entre la surface du sol et la profondeur 20 cm : il s'agit du P<sub>1</sub> (profondeur 1 du point d'étude).

Ensuite, prélevez un deuxième échantillon entre les profondeurs 30 et 50 cm : il s'agit du P<sub>2</sub> (profondeur 2 du point d'étude).

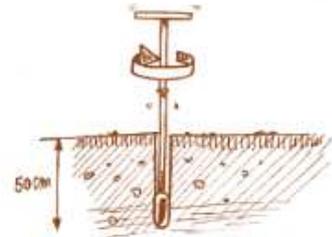
### **3.2.2 - Méthodes de prélèvement**

#### **a. Prélèvement à la tarière**

*Durant tout le protocole, veillez à ne pas piétiner la surface du sol d'où sera extrait le sol.*

Pour extraire du sol à la tarière il vous faudra suivre les étapes suivantes :

1. Mesurer la hauteur de la tête de la tarière (20 cm en général)
2. Dégager à la main ou au couteau la surface du sol (végétation, résidus de culture, *etc.*) ;
3. Enfoncer la tarière dans le sol jusqu'à ce que la tête de la tarière soit entièrement dans le sol, en effectuant des mouvements de rotation ;
4. Ressortir puis araser les bords de la carotte avec la lame du couteau, en prenant appui sur les bords de la tarière. La terre à prélever se trouve dans la tête de la tarière ;
5. Prélever un échantillon plus en profondeur : réitérez l'opération en enfonçant la tarière plus encore dans le sol. En dehors de la première carotte qui fait 20 cm, n'enfoncez jamais la tarière de plus de 10 cm à la fois. Cela compacterait le sol et les profondeurs de l'échantillon ne seraient pas fiables.
6. Sortir à nouveau la tarière du sol : la terre à prélever se trouve dans la tête de la tarière, mais ne conservez que les 10 centimètres situés dans la partie inférieure de la tête de la tarière (le reste correspond à du matériau remanié lors du sondage).



La figure 2 ci-après illustre les différentes étapes pour prélever les échantillons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> situés respectivement à 0 à 20 cm et 30 à 50 cm de profondeur.

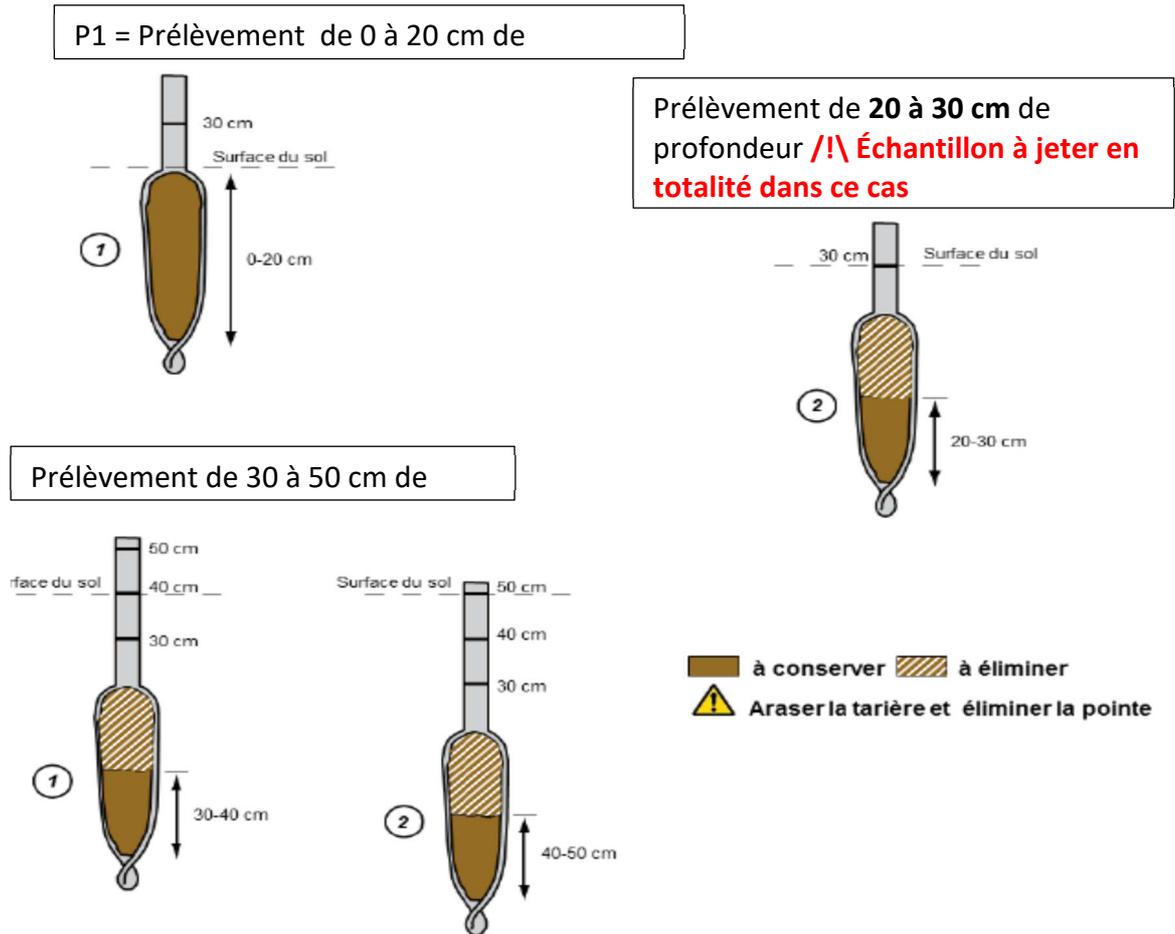


Figure 2 : Étapes successives pour prélever les échantillons de sol situés à 0 – 20 cm et 30 – 50 cm de profondeur (d'après Jolivet et al., 2018)<sup>2</sup>

### b. Prélèvement à la bêche (nécessaire dans le cas des sols caillouteux)

*Durant tout le protocole, veillez à ne pas piétiner le sol du point d'étude d'où sera extrait le bloc et à ne pas exercer une pression avec la lame de la bêche dans la partie prélevée.*

Pour extraire du sol à la bêche, il vous faudra suivre les étapes suivantes :

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

<sup>2</sup> Jolivet C., Almeida-Falcon J.-L., Berché P., Boulonne L., Fontaine M., Gouny L., Lehmann S., Maître B., Ratié C., Schellenberger E. & Soler-Dominguez N., 2018. Manuel du Réseau de mesures de la qualité des sols. RMQS2: deuxième campagne métropolitaine, 2016 –2027, Version 3, INRA, US 1106 InfoSol, Orléans, France  
Document téléchargeable sur le site du Gis Sol : <http://www.gissol.fr/le-gis/programmes/rmq-s-34>

3. Creuser à l'aide de la bêche ce cube de sol, dont la profondeur devra être légèrement supérieure à celle de la profondeur souhaitée (0-20 cm) du bloc à extraire (schéma ci-contre). Attention à couper le sol d'une manière franche : plantez la bêche verticalement et enfoncez-la verticalement dans le sol d'un seul mouvement en vous aidant du poids de votre corps voire d'un maillet ou d'une massette ;
4. Extraire avec soin ce bloc de sol (Figure 3) ;
5. Passer à la seconde profondeur (30-50 cm) : creuser une surface correspondant à 4 blocs de terre accolés de façon à créer une surface plane dont la profondeur correspond à la borne supérieure de votre second prélèvement (par exemple 30 cm) (voir 3<sup>ème</sup> photo de la Figure 3). Déposez la terre excédentaire sur la bêche pour reboucher le trou plus facilement ensuite ;
6. Faire un nouveau prélèvement à la bêche au centre de la zone dégagée en renouvelant les étapes 2 à 4 (Figure 3).

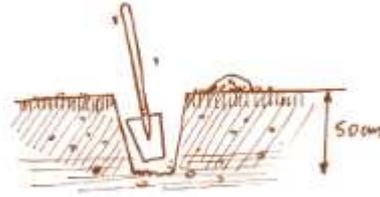


Figure 3 : Étapes d'extraction du bloc de sol à l'aide d'une bêche

### **3.3-3 - Echantillonnage et conditionnement**

Après avoir extrait les échantillons de terre, vous aurez besoin, selon les protocoles décrits dans les fiches 4 à 9, d'effectuer des expérimentations directement sur le terrain à partir des échantillons sortis du sol, ou bien de les conditionner pour les ramener à la maison. Ci-dessous voici les différentes étapes à suivre pour ce faire.

#### **a. Prise d'un échantillon**

Pour chaque profondeur étudiée (P1 et P2), réservez le bloc de sol prélevé dans un seau ou une bassine. Avant de mélanger le contenu du seau (ou de la bassine), vous réaliserez le protocole de la fiche 4 : Couleur. Ensuite, mélangez le contenu du seau à la main ou à la pelle à main afin d'homogénéiser l'échantillon.

- Si vous réalisez les protocoles des fiches 5 à 8 sur le terrain, vous pouvez étaler cet échantillon P1 sur un grand sac poubelle pour réaliser vos observations. Vous répèterez l'opération avec l'échantillon P2, en ayant pris soin de nettoyer au préalable le sac poubelle.
- Si vous réalisez les protocoles à la maison, conditionnez vos échantillons de la manière présentée ci-dessous

### **b. Conditionnement d'un échantillon de sol**

Pour conditionner vos échantillons, placez chaque échantillon dans un sachet de type sac de congélation. (modèle moyen – 2 à 3 L).

Il est nécessaire, pour reconnaître quel prélèvement correspond à quel sol, d'identifier vos échantillons sur le sac de prélèvement en les nommant de cette façon :

*Nom\_Prenom\_Date\_Commune\_code postal\_CodeStation\_CodePointd'etude : profondeur supérieure-profondeur inférieure*

*Petites astuces : écrire sur le sac avant de le remplir ; fermer le sac en le nouant (le plus haut possible, vous pourrez ainsi couper le nœud facilement tout en conservant un volume de sac suffisant pour ne pas perdre d'échantillon), identifier les échantillons en notant la référence sur la partie basse du sac : la référence reste lisible même quand le sac est fermé. Les limites des profondeurs devront être écrites en cm.*

*En cas de pluie, le marqueur ne fonctionnera pas. Vous pouvez identifier l'échantillon en glissant un papier à l'intérieur avec les références notées dessus.*

### **c. Liste des échantillons prélevés**

Au fur et à mesure de vos prélèvements et de vos identifications des sacs de prélèvement, il vous faudra tenir une liste des échantillons prélevés, afin d'avoir un récapitulatif du nombre d'échantillons prélevés, de leur localisation, de leur profondeur ainsi que de la date de leur prélèvement.

N'oubliez pas de vous référer au formulaire de restitution des données, pour y écrire également le nombre et les identifiants des échantillons de sol prélevés.

### **d. Remise en l'état de la station d'intervention**

En fin de séance, pour limiter l'impact de votre intervention sur le milieu et sa biodiversité, veillez à bien reboucher les trous au tant que faire se peut, en respectant au plus possible l'ordre des différents horizons.

**Précautions :**

- Faire attention en manipulant la bêche ou la tarière, au risque de blesser une personne se trouvant à côté de vous *notamment si vous tenez la bêche à l'horizontale et que vous vous tournez*
- Retirer la tarière ou la bêche en pliant les genoux pour éviter des problèmes de dos, surtout dans les sols gorgés d'eau
- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 4 -Protocole de détermination de la couleur d'un sol

### Objectif :

Déterminer la couleur d'un sol

### Pourquoi connaître la couleur d'un sol :

La couleur du sol est un témoin de la formation et du fonctionnement du sol. Elle renseigne sur les conditions climatiques au moment de sa formation (« sols rouges méditerranéens ») et 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 aussi un élément essentiel pour différencier le sol en couches homogènes appelées horizons.

Temps nécessaire : 10 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Matériel nécessaire :

- Un vaporisateur d'eau
- Un smartphone ou tablette avec une application adaptée pour déterminer la couleur. Selon votre appareil, vous avez deux possibilités :
  - L'application « ColorComparator » disponible sur IOS (application gratuite, sauf pour la fonction « ajustement manuel » uniquement disponible sur la version payante : 2,29€, ce qui n'est ici pas nécessaire)
  - L'application « Munsell color chart » disponible sur Android. (application gratuite, en anglais)

*Quelques explications sur la manière d'utiliser ces deux applications vous sont données ci-après.*

### Protocole :

#### **Vous utiliserez ce protocole pour :**

- **Déterminer la couleur de la surface du sol (cf. Fiche 2 – 2.2 : Observation de la surface du sol au niveau du point d'étude)**
- **Déterminer la couleur des deux premiers horizons de sols (ou plus) prélevés sur site (cf. Fiche 3 : prélèvement d'échantillon)**

**Dans ce deuxième cas, veillez à répéter les étapes ci-dessous deux fois : une première fois pour déterminer la couleur de l'horizon supérieur (0-20 cm ou premier horizon, appelé P<sub>1</sub>) et une deuxième fois pour déterminer celle de**

**l'horizon plus profond (30 à 50 cm ou deuxième horizon, appelé P<sub>2</sub>). Procéder de même si vous choisissez de prélever des horizons supplémentaires.**

- Dans votre main, recueillez un morceau de l'échantillon de sol que vous avez au préalable prélevé en veillant à ne pas prélever de racines ou éléments grossiers (cailloux, fragments de briques, etc.). Déchirer ce morceau de façon à obtenir une surface de quelques cm<sup>2</sup> non perturbée par les outils de prélèvement ou vos doigts, qui pourraient avoir lissé le sol ou mélangé les couleurs. On cherchera, autant que possible à observer une couleur homogène. Si plusieurs couleurs sont présentes, indiquez la couleur dominante, et indiquer si la couleur du sol est homogène ou bariolée.
- Si l'échantillon est sec (ne laisse pas de trace d'humidité sur les doigts quand on le touche), vaporisez un peu d'eau dessus et attendre quelques secondes avant d'estimer la couleur, pour laisser le temps à l'échantillon de s'imbiber.
- Faites le test de préférence à l'ombre ou avec le soleil dans le dos.
- Utilisez la luminosité maximale de votre appareil pour déterminer la couleur.
- Suivez les indications ci-après en fonction de l'application que vous avez retenue : a) ou b).

#### a) APPLICATION « ColorComparator »

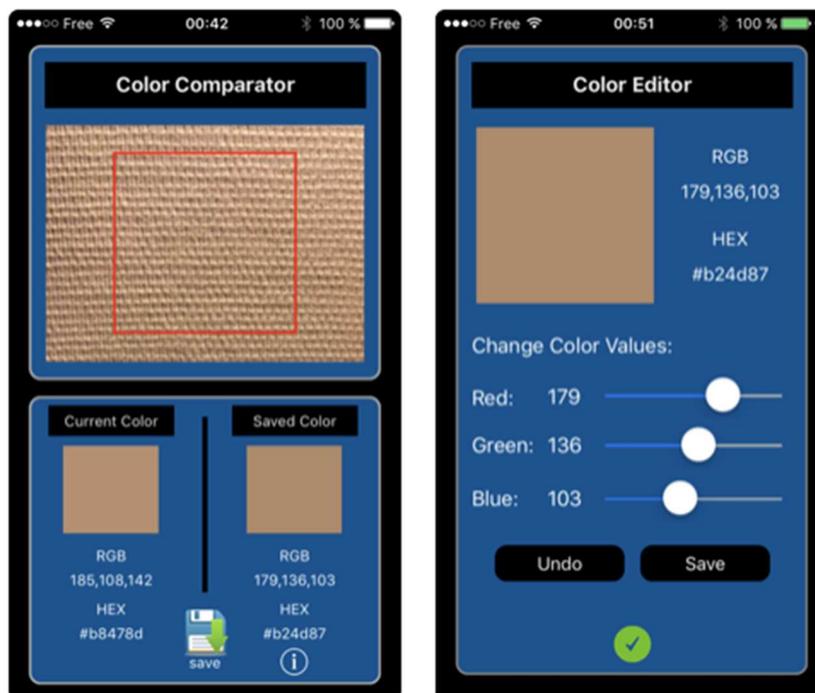


Figure 1 : Les deux écrans de l'application « Color Comparator »

- Ajustez la surface sur laquelle se fera la mesure (carré rouge sur la figure 1 de gauche). Celle-ci doit être la plus petite possible pour pouvoir isoler au mieux une couleur homogène, tout en permettant une mesure. *L'ajustement se fait en faisant varier la distance entre le smartphone et l'échantillon.*
- Mesurez la couleur. Trouver 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 ».
- Ajustez manuellement la couleur. Accédez à l'éditeur de couleur en cliquant sur le bouton « i » (en bas à droite de l'écran). Bougez les curseurs des trois couleurs (Figure 1 de droite) jusqu'à se rapprocher au maximum de l'échantillon mesuré. Le bouton « undo » permet de revenir à la couleur initialement mesurée. Le bouton « save » remplace celle-ci par la couleur ajustée. **NB: cette opération d'ajustement manuel n'est possible qu'en achetant la version payante de l'application (2.29 €).**
- Notez le résultat obtenu pour chacun des horizons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> dans *le formulaire de restitution des résultats.*

#### **b) APPLICATION « Munsell color chart »**

- Choisissez une plage homogène sur votre échantillon de terre et comparez-le ensuite aux couleurs qui s'affichent sur votre écran de smartphone.
- 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 du sol observé.
- Sélectionnez un rectangle de couleur qui se rapproche le plus de la couleur de l'échantillon de terre. La couleur apparaît alors en plein écran sur le smartphone. Le code couleur Munsell correspondant à la couleur sélectionnée s'affiche alors en bas de la page (ex : 7,5YR4/5).
- Notez le résultat obtenu pour chacun des horizons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> et le caractère homogène ou bariolé du sol dans *le formulaire de restitution des résultats.*

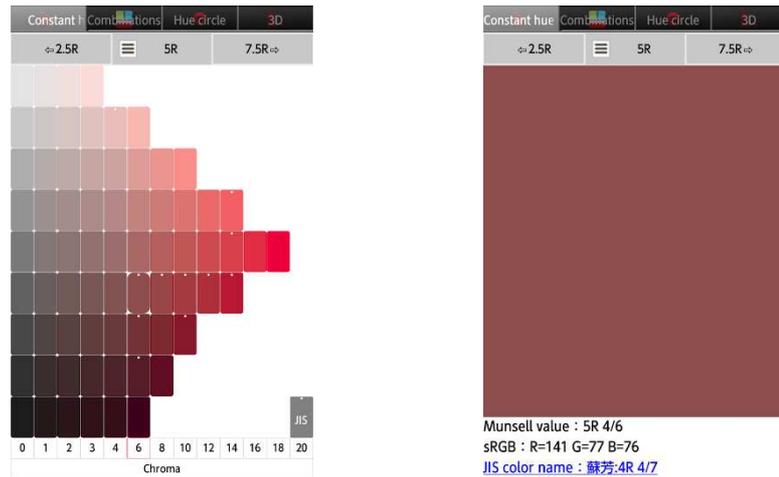


Figure 2 : Ecrans de l'application « Munsell color chart » : page « 5R » et zoom sur la couleur 5R4/6



Figure 3 : Echantillons de terre de couleur homogène à gauche (7,5YR2/3) et bariolée à droite (couleur dominante 7,5YR6/8)

#### Précautions :

- Notons que les différentes couleurs des horizons bariolés (juxtaposition de couleurs différentes : rouille, noires...) peuvent être distinguées mais il vous est proposé de noter la couleur dominante.
- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 5 - Protocole d'estimation de la teneur en éléments grossiers dans un sol

### Objectif :

Déterminer la teneur en éléments grossiers d'un échantillon de sol

### Pourquoi déterminer le pourcentage d'éléments grossiers dans un sol :

L'intérêt de ce test réside essentiellement dans l'apport d'information au sujet de l'abondance relative, dans le sol, de constituants de diamètre supérieur à 2mm, pouvant jouer un rôle sur l'infiltration de l'eau dans le sol, sa rétention dans le sol et la pénétration des racines. Les cailloux ne jouent pas toujours un rôle négatif : dans certains sols ils représentent une réserve d'eau.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Matériel nécessaire :

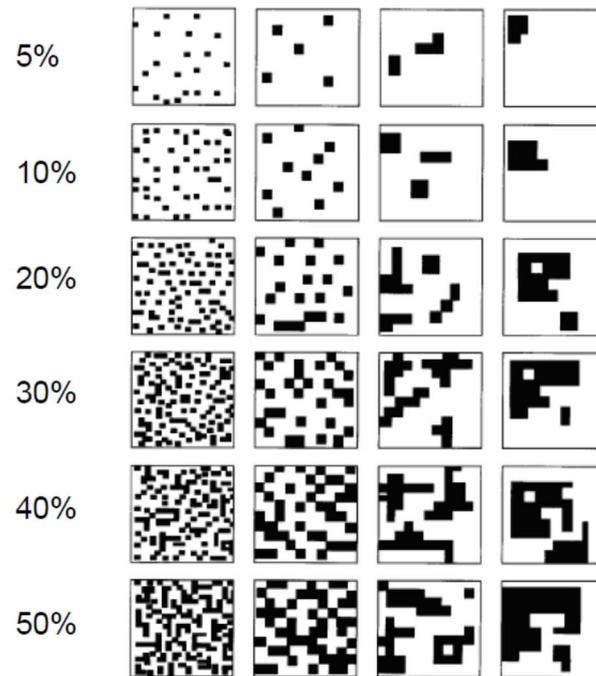
- Schéma de pourcentage de recouvrement en annexe 1
- Sac poubelle (blanc de préférence, pour mieux observer les contrastes) (pour étaler l'échantillon)

### Protocole :

**Ce protocole est à réaliser après avoir prélevé sur le terrain les échantillons de sols. Veillez à répéter les étapes ci-dessous deux fois : une première fois pour déterminer la teneur en éléments grossiers de l'horizon supérieur P1 et une deuxième fois pour déterminer celle de l'horizon plus profond P2 (cf. Fiche 3a et Fiche 3b – prélèvement d'échantillons).**

**Procéder de même si vous choisissez de prélever des horizons supplémentaires.**

- Étalez de manière homogène sur le sac plastique votre échantillon de sol de manière à pouvoir observer les éléments grossiers.
- A l'aide de la Figure 1, déterminez le pourcentage de la surface observée occupée par des éléments grossiers.
- Pensez à bien nettoyer le sac entre chaque échantillon étudié.
- Notez ce résultat dans *le formulaire de restitution des résultats* pour chaque horizon P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>



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

Figure 1 : Pourcentage d'éléments grossiers sur l'échantillon de sol étalé - Voir fiche en annexe 1

**Précautions :**

- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 6 - Protocole de détermination de la texture du sol à réaliser sur le terrain

### *Test du boudin*

**Objectif :**

Déterminer la classe texturale d'un sol

**Pourquoi connaître la texture d'un sol :**

La texture du sol indique l'abondance relative de particules de dimensions de différentes tailles : sable (2 mm – 20 µm), limon (20 µm – 2 µm) et argile (< 2 µm). Déterminer la texture d'un sol permet d'avoir des informations sur la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, sur son aptitude à infiltrer ou retenir l'eau, sur sa capacité à retenir les nutriments et les pesticides ou sur le risque de dégradation des bâtiments et infrastructures qui seront construits dessus.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

**Remarque :**

Cette méthode ne permet pas de caractériser de façon précise les proportions exactes de sable, argile et limons, mais donne une idée de la classe texturale du sol étudié. Une analyse granulométrique par un laboratoire agréé est nécessaire pour déterminer ces proportions de façon plus précise.

**Matériel nécessaire :**

- Une pissette d'eau

**Protocole :**

**Ce protocole est à réaliser après avoir prélevé sur le terrain les échantillons de sols**

**Veillez à répéter les étapes ci-dessous deux fois : une première fois pour déterminer la texture de l'horizon supérieur P1 et une deuxième fois pour déterminer celle de l'horizon plus profond P2 (cf. Fiche 3a et Fiche 3b – prélèvement d'échantillons).**

**Procéder de même si vous choisissez de prélever des horizons supplémentaires.**

- Dans votre main, récoltez une dizaine de cm<sup>3</sup> (un morceau de sucre) d'un des échantillons de sol que vous avez au préalable prélevé, en veillant à ne pas intégrer dans le prélèvement de racines et, autant que faire se peut, d'éléments grossiers (cailloux, graviers, fragments de briques, etc.)

- Amenez l'échantillon à un état d'humidité optimal pour son pétrissage. Si l'échantillon est trop humide (il « brille »), l'assécher en le malaxant ; s'il est trop sec, l'humidifier progressivement en versant quelques gouttes à l'aide de la pissette d'eau tout en le pétrissant
- Ecrasez le pàton de terre 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
- A l'aide de vos deux mains roulez l'échantillon de terre afin de faire de former une « boule » d'environ 3 cm de diamètre *référez-vous pour les étapes suivantes à la fiche annexe fournie avec ce protocole, qui synthétise sous la forme d'un arbre de décision la clé de détermination de la classe texturale d'un sol*
  - Si vous ne parvenez pas à faire la boule, c'est que la terre est pauvre en argile et limon : le sol a une texture à **tendance sableuse**.
  - Si vous parvenez à réaliser une boule, essayez de continuer à rouler la terre entre vos mains afin de former un boudin de 6 à 7 cm de long.
  - Si nous ne parvenez pas à réaliser le boudin ou s'il se désagrège, le sol a une teneur en argile inférieure à 15%, et une texture à tendance **sablo-limoneuse**.
  - Si le boudin résiste, continuez à le malaxer afin de former un boudin long de 10 à 12 cm.
  - Si le boudin se désagrège, le sol a une texture à tendance **limono-sableuse**.
  - Le boudin sera plus ou moins flexible grâce à la plasticité des argiles. Tentez de former un demi-cercle avec ce boudin de 10 à 12 cm de long.
  - Si vous ne parvenez pas à réaliser ce demi-cercle, le sol a une texture à tendance équilibrée (limoneuse, limono-sablo-argileuse, limono-argilo-sableuse) **et contient entre 15 et 30% d'argile**.
  - Si vous parvenez à réaliser un cercle parfaitement formé et sans fissure, alors le sol a une texture à tendance **argileuse et contient plus de 30% d'argile**.
- Notez la texture identifiée des deux horizons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> sur *le formulaire de restitution des données*.

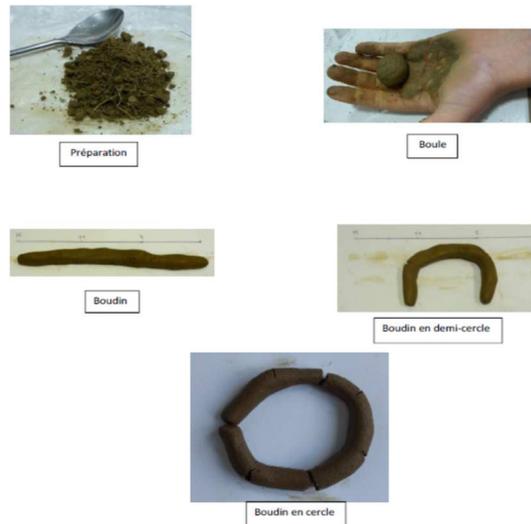


Figure 1 : Gestes pour déterminer la texture d'un sol  
Source : Lycée agricole de Metz Courcelles-Chaussy

**Précautions :**

- Ne pas oublier de bien laver le matériel entre chaque expérimentation
- Il est recommandé de se laver les mains après avoir manipulé le sol.

## Fiche 7 : Protocole de détermination du pH d'un sol

### Test bande pH

**Objectif :**

Déterminer le pH d'un sol

**Pourquoi mesurer le pH dans un sol :**

Le pH est fortement lié aux conditions de nutrition des végétaux. Des valeurs extrêmes de pH sont à l'origine de toxicités (excès d'aluminium libre en pH très bas). Plus généralement, certaines plantes cultivées et sauvages ont des gammes restreintes de pH pour lesquelles leur développement est optimal (exemple : végétation acidophile, plante calcifuge).

Temps nécessaire : 10 min	Facilité : +++++	Précision : ++++
---------------------------	------------------	------------------

**Remarque :**

Cette méthode ne permet pas de caractériser de façon précise le taux de calcaire et le pH du sol étudié. La détermination du pH et du taux de calcaire en laboratoire sont souhaitables si l'on souhaite obtenir un résultat précis.

**Matériel nécessaire :**

- Des gants
- De l'eau déminéralisée
- Des bandelettes pH
- Un flacon de 120 mL avec bouchon
- Une petite spatule *ou cuillère qui ne sert plus et que vous aurez au préalable bien lavée*

**Protocole :**

**Ce protocole est à réaliser après avoir prélevé sur le terrain les échantillons de sols. Ce protocole peut être réalisé sur le terrain ou à la maison.**

**Veillez à répéter les étapes ci-dessous deux fois : une première fois pour déterminer le pH de l'horizon supérieur P1 et une deuxième fois pour déterminer celui de l'horizon plus profond P2 (cf. Fiche 3a et Fiche 3b - prélèvement d'échantillons).**

**Procéder de même si vous choisissez de prélever des horizons supplémentaires. Veillez à bien laver le matériel entre les deux réalisations.**

- Enfilez les gants
- Récoltez dans votre main une partie (une dizaine de cm<sup>3</sup>) une poignée ? de l'échantillon de sol que vous avez au préalable prélevé, en veillant à éviter autant

que faire se peut, d'intégrer des éléments grossiers (cailloux et graviers) et placez-le dans un flacon de 120 ml *de façon à obtenir un volume de sol de 30 mL*

- Remplissez le flacon avec de l'eau déminéralisée du même volume que le volume de terre *soit 30 mL de volume d'eau*
- Votre flacon doit maintenant être rempli à moitié environ avec 30 mL de terre et 30 mL d'eau
- Fermez le flacon et homogénéisez son contenu par des mouvements de rotation, idéalement sur une surface dure et plane, comme une table *cette étape est importante et il ne faut pas hésiter à multiplier les mouvements de rotation (au moins 25), sans pour autant souiller le bouchon du flacon*
- Laissez reposer une minute puis débouchez le flacon et versez doucement quelques mL de la solution obtenue dans le bouchon
- Laissez reposer encore 3 minutes
- Plongez la bandelette de papier pH dans la solution sur une longueur d'environ 2,5 cm
- Laissez le papier s'imprégner jusqu'à 0,6 à 1,2 cm au-dessus de la partie immergée (Figure 1)
- Comparez la couleur obtenue au tiers supérieur de la bande de papier pH avec le nuancier présent sur la boîte des bandelettes pH (Figure 2)
- *Si le pH de vos échantillons se situe entre des valeurs rapprochées (par exemple entre 6,8 et 7,5), il est possible de réaliser à nouveau ce protocole avec des bandelettes pH spécifique à la fenêtre de valeurs [6-8] par exemple*



Figure 1 : Détermination du pH d'un échantillon de terre grâce à l'utilisation d'une bandelette pH

- Notez le pH mesuré pour chacun des horizons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> dans *le formulaire de restitution des résultats*



Figure 2 : Signification de la couleur de la bandelette pH

### Précautions :

- Ne pas oublier de bien laver le matériel entre chaque expérimentation

## Fiche 8 : Protocole de détermination du taux de calcaire d'un sol

---

### *Test HCl*

**Objectif :**

Déterminer la teneur en calcaire d'un sol

**Pourquoi mesurer le pH et la présence de calcaire dans un sol :**

La teneur en calcaire d'un sol conditionne fortement la bonne nutrition des végétaux. Des teneurs extrêmes en calcaire sont à l'origine de carences (immobilisation du fer avec taux de calcaire trop élevé). Plus généralement, certaines plantes cultivées et sauvages ont des gammes restreintes de teneur en calcaire pour lesquelles leur développement est optimal (exemple : plante calcifuge).

Temps nécessaire : 10 min	Facilité : +++++	Précision : +++++
---------------------------	------------------	-------------------

**Remarque :**

Cette méthode ne permet pas de caractériser de façon précise le taux de calcaire du sol étudié. La détermination du taux de calcaire en laboratoire est nécessaire si l'on désire obtenir un résultat précis.

- Préalablement au terrain, vous devrez préparer votre solution d'acide chlorhydrique dilué à la maison. Utilisez l'acide chlorhydrique HCl du commerce (fréquemment à 30 à 33%) : prenez un volume de HCl pour 2 volumes d'eau déminéralisée (dilution au 1/3). ATTENTION : **versez toujours l'acide dans l'eau** et non l'inverse pour éviter les éclaboussures d'acide. Utilisez des gants.

**Matériel nécessaire :**

- Une pissette d'HCl dilué (*acide chlorhydrique dilué du commerce, à 30% environ*)
- Une petite coupelle
- Des gants

**Protocole :**

**Ce protocole est à réaliser après avoir prélevé sur le terrain les échantillons de sols. Ce protocole peut être réalisé sur le terrain ou à la maison.**

**Veillez à répéter les étapes ci-dessous deux fois : une première fois pour déterminer la teneur en calcaire de l'horizon supérieur P1 et une deuxième fois**

**pour déterminer celle de l'horizon plus profond P2 (cf. Fiche 3a et Fiche 3b – prélèvement d'échantillons).**

**Procéder de même si vous choisissez de prélever des horizons supplémentaires.**

- Enfilez les gants
- Récoltez à la main une partie de l'échantillon de sol que vous avez au préalable prélevé (quelques cm<sup>3</sup> - l'équivalent d'une petite poignée), en veillant à éviter autant que possible d'intégrer des éléments grossiers (cailloux et graviers), et placez-le dans une petite coupelle.
- Déposez quelques gouttes de HCl sur l'échantillon de terre à l'aide d'une pipette et 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).
- L'apparition des bulles sur l'échantillon de terre suite au versement de l'HCl permet de déterminer la présence de calcaire dans le sol, ce qui donne aussi une indication grossière sur la tendance du pH du sol. Il est possible, pour se faire, de se référer au tableau ci-dessous, issu du diagnostic Humus (Figure 1)
- Attention, il est courant de confondre l'effervescence produite par la terre fine et celle produites par de petits graviers ou concrétions calcaires inclus dans cette terre fine : prendre soin de bien observer la répartition des bulles sur l'échantillon *elle doit être homogène et non localisée près des éléments grossiers*
- Notez les résultats obtenus pour les deux horizons P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> dans le formulaire de restitution des données.

Réaction à l'HCL	Signification	Code
Absence de bulles et de crépitement	Pas de calcaire	0
Crépitement perceptible à l'oreille et quelques bulles	Faible teneur en calcaire	1
Une couche continue et simple de bulles	Moyennement calcaire	2
Formation de plusieurs couches superposées de bulles (parfois salies par des éléments de terre fine)	Fortement calcaire	3
Réaction très vive et instantanée	Très fortement calcaire	4

Figure 1 : Signification de la réaction à l'HCl pour déterminer la teneur en calcaire d'un sol

#### Précautions :

- La pissette d'HCl doit être impérativement transportée dans un récipient hermétique. Des risques de brûlures et de dégradations des vêtements sont à signaler, notamment si l'on met cette pissette directement dans sa poche
- Ne pas oublier de porter les gants pour éviter les brûlures liées à l'acide
- Ne pas oublier de bien nettoyer le matériel entre chaque expérimentation

## Mise en œuvre des fiches protocoles (hors fiches optionnelles) : étapes simplifiées, pas à pas

Remplir le formulaire de restitution des résultats (Document 4) au fur et à mesure de l'avancement des fiches

### Fiche 1 : choix de la station d'observation et du point d'étude

- Choisissez la station d'observation (ex : une parcelle agricole de votre choix)
- Choisissez le point d'étude (en fonction de vos critères de représentativité de ce point)

### Fiche 2 : Environnement du point d'étude

- Positionnez le quadra de 1m<sup>2</sup> au droit du point d'étude (ATTENTION : choisir une zone que vous n'avez pas piétinée : l'intérieur du quadrat ne doit pas être perturbé)
-  Prenez un peu de recul pour prendre une photo du quadrat dans son environnement (permet de présenter le paysage de la station d'observation)
-  Prenez une photo à la verticale du quadrat pour illustrer la surface du sol au droit du point d'étude (attention de ne pas projeter votre ombre sur le quadrat)
- Réalisez les observations de la surface du sol pour les critères suivants :
  - Recouvrement par la végétation
  - La pierrosité
  - La couleur
  - La battance
  - Les fentes
  - Les turricules de vers de terre (optionnel : oblige à laisser le quadrat pendant 1 mois sur la parcelle)

### Fiche 3 : Epaisseur du sol et prélèvement des échantillons

puis enchaînement des fiches 4 à 8 pour mettre en œuvre les protocoles de détermination sur les échantillons prélevés

En fonction du matériel dont vous disposez, **vous choisirez l'un des deux scénarios suivants**. Dans tous les cas, vous pourrez choisir de mener vos déterminations directement sur le terrain ou bien de les faire à la maison en ayant pris soin de conditionner les échantillons de sols prélevés dans des sacs fermés hermétiquement pour pouvoir les transporter.

**La profondeur du sol se mesure au centre du quadrat.**

**Matériel : tige + bêche (fiche 3a)**

- a) Mesurez la profondeur du sol en enfonçant la tige graduée dans le sol à l'aide d'un maillet
- b) Au centre du quadrat, prélevez avec la bêche l'échantillon P1 → de 0 à 20 cm,
  1. Si vous voulez réaliser les protocoles à la maison, déposez l'échantillon prélevé dans un sac plastique (type congélation 2 à 3 litres ou moyen modèle) et fermez le hermétiquement (*n'oubliez pas de noter la référence de l'échantillon sur le sac pour pouvoir l'identifier*). Vous réaliserez les étapes c) à h) chez vous.
  2. Si vous voulez réaliser les protocoles des fiches 4 à 8 directement sur le terrain, appliquez la démarche qui suit :
- c) Déposez votre échantillon de sol sur un sac plastique (type sac poubelle – 30 l) posé à plat et étalez-le légèrement.
- d) **Fiche 4** : Déterminez la couleur sur un « morceau » de sol cassé en deux. Observez les faces fraîchement coupées (distinguez la couleur dominante et les taches éventuelles de couleur différente)
- e) **Fiche 5** : estimez le pourcentage d'éléments grossiers en observant l'échantillon étalé (utilisation de l'abaque – annexe 1)
- f) **Fiche 6** : test du boudin pour définir la texture
- g) **Fiche 7** : test pH (utilisation des bandelettes)
- h) **Fiche 8** : test HCl pour identifier la présence ou non de calcaire

- i) **Si vous avez réalisés tous les protocoles que vous voulez appliquer sur l'échantillon P1, vous pouvez nettoyer le sac plastique pour pouvoir ensuite l'utiliser de la même manière pour l'échantillon P2.**
- j) Sur le même trou, prélevez avec la bêche le sol entre 30 et 50 cm de profondeur → **échantillon P2**
1. Si vous voulez réaliser les protocoles à la maison, déposez l'échantillon prélevé dans un sac plastique (type congélation 2 à 3 litres ou moyen modèle) et fermez le hermétiquement (*n'oubliez pas de noter la référence de l'échantillon sur le sac pour pouvoir l'identifier*). Vous réaliserez les étapes c) à h) chez vous.
  2. Si vous voulez réaliser les protocoles des fiches 4 à 8 directement sur le terrain, suivez la même démarche décrite pour l'échantillon P1.

**Matériel : tarière (fiche 3b)**

- a) Mesurez l'épaisseur du sol avec la tarière en prélevant un échantillon tous les 10 cm en profondeur. Déposez, à chaque étape, le matériau prélevé dans la gouttière (attention à ne conserver, à chaque fois, que les 10 cm situés vers la pointe de la tarière)
- b) Lorsque vous avez terminé, observez le contenu de la gouttière pour identifier, si possible, les différents horizons du sol qui se succèdent du sommet vers la profondeur (changement de couleur par exemple).
- c)  Prenez une photo de la gouttière ainsi remplie.
- d) Pour sélectionner les échantillons P1 et P2, choisissez parmi ces 2 possibilités en fonction de votre capacité à différencier les horizons du sol :

**Vous pouvez identifier les horizons.**

- Echantillon P1 = horizon 1
- Echantillon P2 = horizon 2
- Etc.

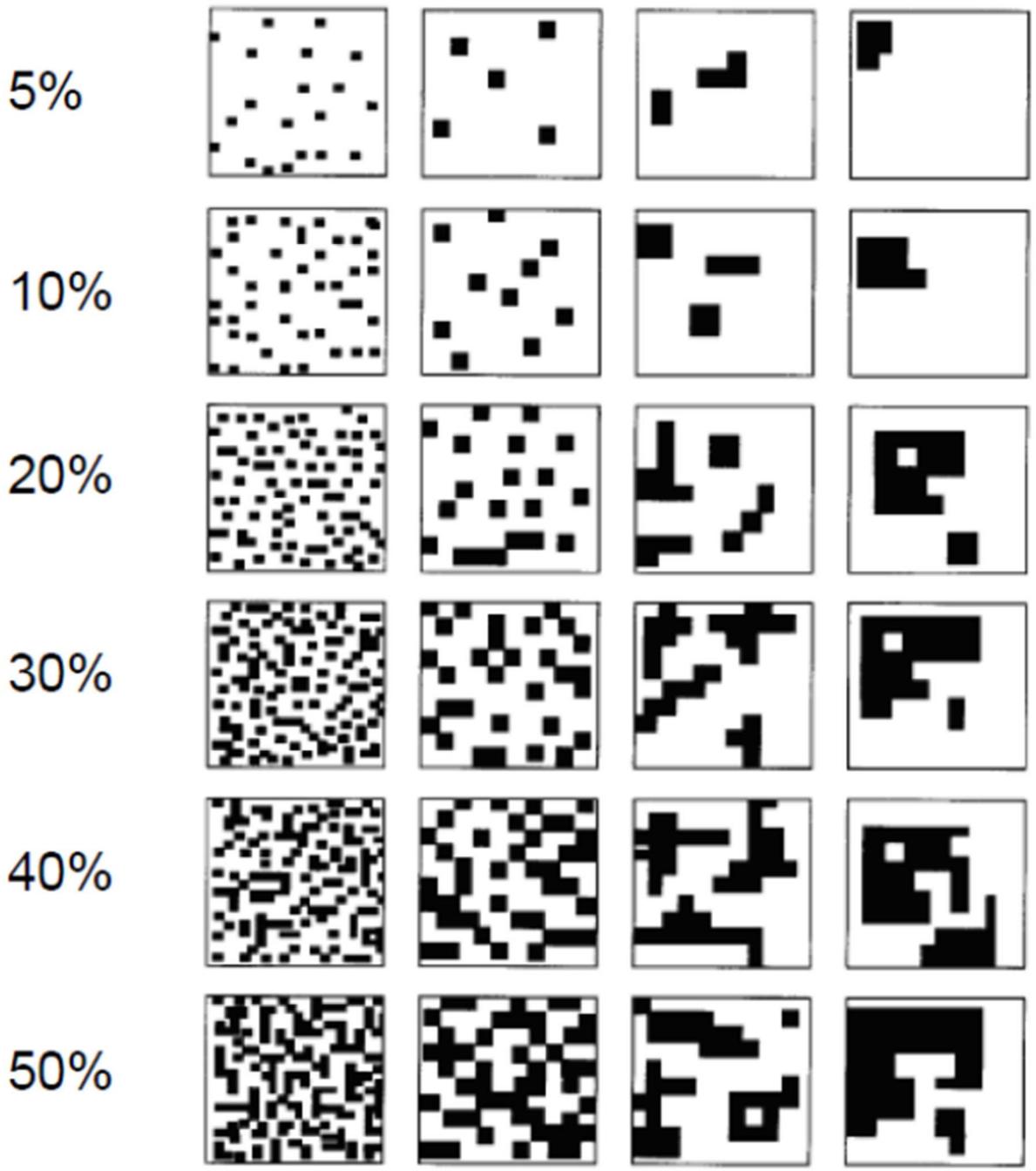
**Vous ne pouvez pas différencier les horizons.**

- Echantillon P1 = de 0 à 20 cm de profondeur
- Echantillon P2 = de 30 à 50 cm de profondeur

- e) En fonction de votre choix, prélevez dans la gouttière **l'échantillon P1**
  - a. Si vous voulez réaliser les protocoles à la maison, déposez l'échantillon prélevé dans un sac plastique (type congélation 2 à 3 litres ou moyen modèle) et fermez le hermétiquement (*n'oubliez pas de noter la référence de l'échantillon sur le sac pour pouvoir l'identifier*). Vous réaliserez les étapes e) à j) chez vous.
  - b. Si vous voulez réaliser les protocoles des fiches 4 à 8 directement sur le terrain, appliquez la démarche qui suit :
- f) Déposez votre échantillon de sol sur un sac plastique posé à plat pour l'observer (type grand sac poubelle – 30 l) et étalez l'échantillon de sol légèrement.
- g) **Fiche 4** : Déterminez la couleur sur un « morceau » de sol de sol cassé en deux. Observez les faces fraîchement coupées (distinguez la couleur dominante et les taches éventuelles de couleur différente)
- h) **Fiche 5** : Estimez le pourcentage d'éléments grossiers en observant l'échantillon (utilisation de l'abaque – annexe 1)
- i) **Fiche 6** : test du boudin pour définir la texture
- j) **Fiche 7** : test pH (utilisation des bandelettes)
- k) **Fiche 8** : test HCl pour identifier la présence ou non de calcaire
- l) **Si vous avez réalisés tous les protocoles que vous voulez appliquer sur l'échantillon P1, vous pouvez nettoyer le sac plastique pour pouvoir ensuite l'utiliser de la même manière pour l'échantillon P2.**
- m) Dans un deuxième temps, prélevez dans la gouttière **l'échantillon P2**
  1. Si vous voulez réaliser les protocoles à la maison, déposez l'échantillon prélevé dans un sac plastique (type congélation 2 à 3 litres ou moyen modèle) et fermez le hermétiquement (*n'oubliez pas de noter la référence de l'échantillon sur le sac pour pouvoir l'identifier*). Vous réaliserez les étapes e) à j) chez vous.
  2. Si vous voulez réaliser les protocoles des fiches 4 à 8 directement sur le terrain, suivez la même démarche décrite pour l'échantillon P1.

**Si vous avez décidé de réaliser les protocoles à la maison, vous pouvez appliquer la même démarche sur les échantillons sur vos échantillons (fiche 3a ou fiche 3b).**

Annexe 1 : ABBAQUE



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

## Fiche A1 : Abondance des turricules de vers de terre

Cette fiche s'inscrit dans la continuité de la *fiche 2 : Environnement du point d'étude*. Elle permet de compléter les observations de surface et de renseigner sur l'activité biologique du sol.

### !!! point de vigilance !!!

Ce protocole est **optionnel** car il nécessite de pouvoir laisser le quadrat en place pendant un **délai d'un mois** entre les deux observations.

Temps nécessaire : 10 min (+1 mois d'attente)	Facilité : ++++	Précision : ++++
---	-----------------	------------------

Les vers de terre font partie de la mégafaune (> à 2 cm) du sol. De par leur taille et leur activité fouisseuse (création de galeries et de turricules) (Figure 1), ils ont une importance particulière pour le fonctionnement du sol : dégradation de la matière organique, structuration du sol et circulation de l'eau. Ils exercent une influence importante sur certains phénomènes physiques (transfert d'eau, de gaz et de solutés), chimiques (cycles du carbone, augmentation de la biodisponibilité en éléments minéraux) et biologiques (interactions avec les autres composants de l'écosystème du sol). Les vers de terre sont souvent considérés comme des indicateurs de bonne santé des sols ou de l'impact de pratiques culturales sur les sols, étant très sensibles aux modifications de leur environnement immédiat.

### Matériel nécessaire :

- Un quadrat de 1 m de côté *ou* 4 jalons et une corde de 4 mètres
- Une ardoise blanche et un stylo effaçable

### Protocole :

- Si la surface du sol à l'intérieur du quadrat est recouverte partiellement de végétation, résidus de culture ou d'éléments grossiers, ôter les avec vos mains de façon à observer facilement les turricules
- Si des turricules sont présents, supprimez-les et laissez le dispositif en place pendant un mois.
- Au bout d'un mois, revenez observer le quadrat et à l'intérieur du carré, comptez le nombre de turricules de vers de terre (quelle que soit leur dimension). Ces derniers se seront formés depuis votre dernier passage.  
Vous pouvez également utiliser l'abaque pour déterminer le pourcentage de

recouvrement du quadrat par les turricules, si ces derniers sont nombreux (voir annexe).

- Reportez ce chiffre (ou le pourcentage de recouvrement à la surface du sol) dans le *formulaire de restitution des résultats*.



*Figure 1 : Turricules de vers de terre*

## Fiche A2 - Protocole de détermination de la teneur en éléments grossiers dans un sol – Test du tamis (à réaliser à la maison)

**Objectif :**

Déterminer la teneur en éléments grossiers d'un échantillon de sol

**Pourquoi déterminer le pourcentage d'éléments grossiers dans un sol :**

L'intérêt de ce test réside essentiellement dans l'apport d'information au sujet de l'abondance relative, dans le sol, de constituants de diamètre supérieur à 2mm, pouvant jouer un rôle sur l'infiltration de l'eau dans le sol, sa rétention dans le sol et la pénétration des racines. Les cailloux ne jouent pas tjrs un rôle négatif : dans certains sols ils représentent une réserve d'eau.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

**Matériel nécessaire :**

- Un tamis de 2 mm
- Des gants
- Une bassine
- Une balance
- Un point d'eau *notamment en cas de sol argileux*

**Protocole :**

**Ce protocole est à réaliser à la maison, après avoir prélevé sur le terrain deux échantillons de sol : l'un correspondant à l'horizon supérieur (0-20 cm ou premier horizon, appelé P<sub>1</sub>) et le deuxième à l'horizon plus profond (30-50 cm ou deuxième horizon, appelé P<sub>2</sub>) (cf. Fiche 3 : prélèvement d'échantillon)**

**Comme indiqué dans la Fiche 3 : prélèvement d'échantillons, il est nécessaire, pour ce protocole, de connaître le poids de terre prélevé à l'aide de la bêche graduée.**

**Veillez à réaliser les étapes ci-dessous en deux fois distinctes, de façon à déterminer la teneur en éléments grossiers des deux échantillons de sol prélevés sur le terrain. Veillez à bien laver le matériel entre les deux réalisations**

- Allumez la balance et faites la tare de la bassine. *Attention à ne pas éteindre la balance, ainsi tous les résultats des pesées que vous ferez ensuite correspondront au véritable « poids » des échantillons de sol, et ne prendront pas en compte le poids de la bassine qui sera déjà soustrait lors de la pesée*

- Munissez-vous de votre sac de prélèvement dans lequel se trouve votre échantillon de terre
- Videz ce sac dans la bassine et mélangez la terre afin d'obtenir un échantillon homogène et casser les agrégats de sol *le but ici est de casser les « mottes » de terre et d'avoir le plus possible un échantillon de terre « fine »*
- Pesez l'échantillon de sol - Notez le poids de cette pesée *Echantillon 1\_Total = ... g*
- Placez ensuite l'échantillon de sol dans le tamis de 2 mm (Figure 1)
- Tamisez la terre de façon à séparer la fraction fine (éléments < 2 mm) de la fraction grossière (éléments > 2mm comme cailloux, fragments de briques, etc.)
- Si votre échantillon est très argileux, vous pouvez après cette étape continuer à tamiser sous l'eau, afin d'être sûr·e de ne recueillir que les éléments grossiers et non des agrégats de sol argileux
- Dans la bassine, placez la fraction grossière de l'échantillon
- Notez le poids de la fraction grossière *Echantillon 1\_Fraction grossière = ... g*
- Par soustraction (poids total – poids de la fraction grossière = poids de la fraction fine), vous retrouvez le poids de la fraction fine. *Echantillon 1\_Fraction fine = ... g*
- Notez ces résultats dans *le formulaire de restitution des résultats* pour chaque horizon P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>
- Grâce à un produit en croix, déterminez le pourcentage d'éléments grossiers (> 2 mm) présents dans l'échantillon de sol

Exemple :

- Echantillon 1 = 2 500,3 g
- Echantillon 1\_Fraction grossière = 375,1 g
- Echantillon 1\_Fraction fine = 2 125,2 g

⇒ Proportion massique d'éléments grossiers de l'échantillon =  $375,1 \times 100 / 2500,3$   
= 15 %

- Notez ce résultat dans *le formulaire de restitution des résultats* pour chaque horizon P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>



Figure 1 : Séparation de la fraction fine (gauche) et grossière (droite) d'un échantillon de sol

**Remarques :**

- La taille du tamis peut être adaptée. Pour information, une valeur de 2 cm a été utilisée en routine pour mesurer les cailloux sur 100 fosses du PRN du Haut Languedoc.

**Précautions :**

- Ne pas oublier de bien laver le matériel entre chaque expérimentation

## Fiche A3 - Protocole de détermination de la texture du sol – test de la bouteille (à réaliser à la maison)

---

### Objectif :

Déterminer la classe texturale d'un sol

### Pourquoi connaître la texture d'un sol :

La texture du sol indique l'abondance relative dans un échantillon de sol de particules de dimensions de différentes tailles : sable (2 mm – 20 µm), limon ([20 µm – 2 µm]) et argile (< 2 µm). Déterminer la texture d'un sol permet d'avoir des informations sur la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, sur son aptitude à infiltrer ou retenir l'eau, sur sa capacité à retenir les nutriments et les pesticides ou sur le risque de dégradation des bâtiments et/ou infrastructures qui seront construits dessus.

Temps nécessaire : 30 min	Facilité : ++++	Précision : ++++
---------------------------	-----------------	------------------

### Remarque :

Cette méthode ne permet pas de caractériser de façon précise les proportions exactes de sable, argile et limons, mais donne une idée de la classe texturale du sol étudié. Une analyse granulométrique par un laboratoire agréé est nécessaire pour déterminer ces proportions de façon plus précise.

### Matériel nécessaire :

- Un tamis de 2 mm
- Un bocal en verre *ou du moins transparent*
- Un point d'accès à de l'eau ou une pissette d'eau
- Une bassine
- Une règle graduée

### Protocole :

**Ce protocole est à réaliser à la maison, après avoir prélevé sur le terrain deux échantillons de sol : l'un correspondant à l'horizon supérieur (0-20 cm ou premier horizon, appelé P<sub>1</sub>) et le deuxième à l'horizon plus profond (30-50 cm ou deuxième horizon, appelé P<sub>2</sub>) (cf. Fiche 3 : prélèvement d'échantillon)**

**Veillez à réaliser les étapes ci-dessous en deux fois distinctes, de façon à déterminer la classe texturale des deux échantillons de sol prélevés sur le terrain. Veillez à bien laver le matériel entre les deux réalisations**

- Munissez-vous de votre sac de prélèvement dans lequel se trouve votre échantillon de terre
- Disposez ce sac dans une bassine et mélangez la terre afin d'obtenir un échantillon homogène et casser les agrégats de sol *le but ici est de casser les « mottes » de terre et d'avoir le plus possible un échantillon de terre « fine »*
- Placez cet échantillon de sol dans le tamis de 2 mm
- Tamisez la terre de façon à séparer la fraction fine (éléments < 2 mm) de la fraction grossière (éléments > 2mm comme cailloux, fragments de briques, etc.) (cf. Fiche A2 : éléments grossiers)
- Si des agrégats de sol résistent, vous pouvez utiliser un point d'eau pour les casser en mouillant ces agrégats *conservez cette « eau de rinçage » que vous utiliserez pour remplir le bocal (cf. ci-dessous)*
- Prélevez une partie de la fraction fine obtenue après tamisage et placez-la dans le bocal, jusqu'à obtenir une hauteur de 5 cm (Figure 1)
- Dans ce même bocal, ajoutez de l'eau de façon à remplir le bocal *utilisez l'« eau de rinçage » dans le cas où vous vous êtes servi d'un point d'eau pour aider au tamisage*
- Remuez vigoureusement le bocal (mélange terre et eau) pendant une dizaine de secondes
- Laissez reposer le bocal sur une surface plane pendant une heure
- Au bout d'une heure, l'eau doit s'être clarifiée et les particules de terre seront déposées au fond du bocal en fonction de leur poids (et donc taille)
- Au fond de la bouteille se trouve la couche de sable, au milieu, la couche de limon et au sommet, la couche d'argile *si l'eau n'est pas encore claire c'est qu'elle contient encore des particules d'argiles très fines en suspension – laissez encore reposer quelques minutes*
- Munissez-vous de votre règle graduée et mesurez la hauteur de chacune de ces couches *attention à ne plus bouger le bocal afin de ne pas remuer l'eau et le sol à nouveau*
- Déterminez la proportion de ces différentes particules dans l'échantillon de terre  
Exemple :
  - couche sables dans bocal : 3 cm → proportion sables dans sol :  $3 \times 100 / 5 = 60 \%$
  - couche limons dans bocal : 1 cm → proportion limons dans sol :  $1 \times 100 / 5 = 20 \%$
  - couche argiles dans bocal : 1 cm → proportion argiles dans sol :  $1 \times 100 / 5 = 20 \%$*car couche de terre initialement (sans eau) = 5 cm*  
 ⇒ la texture du sol est à tendance **sableuse**
- Notez la texture identifiée pour P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> sur le *formulaire de restitution des résultats*.

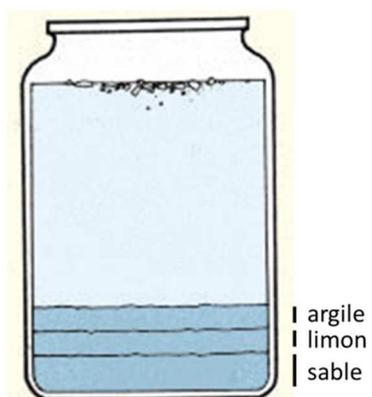


Figure 1 : Superposition des différentes couches des particules de sol de poids et taille différentes  
Source : FAO

**Hygiène et sécurité :**

- Ne pas oublier de bien laver le matériel entre chaque expérimentation

## DOCUMENT 4

### Formulaire de restitution des résultats

---

Ce formulaire est le document qui synthétise les observations de terrain et les propriétés des sols que vous aurez pu mettre en évidence lors de vos échantillonnages. Il est à déposer sur la plateforme d'échange suivante :

Lien : « Clés de sol – utilisateurs » : <https://aobox.agrocampus-ouest.fr/s/jW0rnJOnlfffanp>  
Code d'accès : clesdesol

Vous y déposerez également le dossier « Photographies » regroupant les photographies que vous aurez pu prendre sur le terrain. (*repérez l'icône * )

#### Informations générales

0.1. Nom et prénom de l'observateur :

0.2. A quel groupe d'observateur il appartient ?

- Agriculteur
- Association
- Scolaire *veuillez indiquer le niveau s'il-vous-plait :*
- Autre *veuillez préciser s'il-vous-plait :*

0.2. Commune/ code postal/ lieu-dit du point d'étude :

0.3. Date d'échantillonnage :

0.4. Période d'échantillonnage :

- Matin
- Après-midi

0.5. Météo des jours précédents l'échantillonnage : *plusieurs possibilités possibles*

- Pluvieuse
- Neigeuse

- Humide
- Ensoleillée
- Sèche
- Sécheresse
- Gel
- Venteux
- Variable

## Fiche 1. Choix de la station d'observation et du point d'étude

1.1. Dans quelle zone géographique se situe votre station d'observation ?

*Possibilité de remettre le nom de la commune*

1.2. Dans quel type de milieu se situe votre station d'observation ?

- Sol parcs et jardins, remanié
- Sol agricole
- Sol de forêts ou milieux semi-naturels
- Sol de zones humides (marais ou tourbières)

1.3. Parmi les propositions ci-dessous, merci de bien vouloir renseigner la raison pour laquelle vous avez choisi cette station d'observation :

- Représentativité de la station par rapport au paysage
- Singularité de la station
- Simplicité d'accessibilité (connaissance de l'exploitant et/ou du propriétaire, à proximité, etc.)
- Bonne connaissance préalable de la station
- Volonté d'acquérir des informations sur les sols de cette station
- Hasard
- Autre *veuillez préciser s'il-vous-plait :*

1.4. Avez-vous des remarques spécifiques sur la station d'observation étudiée ?

1.5. Parmi les propositions suivantes, comment avez-vous sélectionné le(s) point(s) d'étude au sein de la station d'observation (plusieurs choix possibles)

- Représentativité de la station (par rapport à la topographie, au recouvrement par la végétation)
- Zone contrastée de la station
- Volonté d'acquérir des informations sur les sols de ce point
- Manque d'informations sur les sols de ce point
- Hasard
- Autre *veuillez préciser s'il-vous-plait :*

1.6. Identifier la représentativité du point d'étude, en termes de superficie, par rapport à la station d'observation :

- 0-25%
- 25-50%
- 50-75%
- 75-99%
- 100% (surface homogène)

1.7. Merci de compléter les informations ci-dessous concernant votre point d'étude : indiquer les coordonnées telles que présentées dans l'application choisie

- Coordonnées X :
- Coordonnées Y :
- Altitude :

Précisez le référentiel utilisé :

- Lambert 93 (*de préférence*)
- WGS 84

1.8. Avez-vous des remarques spécifiques sur votre point d'étude ?

## Fiche 2. Environnement du point d'étude

### 2.1 Description du paysage de la station d'observation

- Photographie de l'environnement du point d'étude



#### 2.1.2. L'occupation du sol

Parmi les propositions suivantes, indiquez comment se caractérise l'occupation du sol de la station :

- Si le milieu est de type artificialisé (*cf. question 1.2.*) :
  - Sol urbanisé ;
  - Sol industriel ;
  - Sol de mines, décharges et chantiers.
- Sol d'espaces verts artificialisés non agricoles (parc, jardin, potager, *etc.*) ;
- Si le milieu est de type agricole (*cf. question 1.2.*) :
  - Sol de terres cultivées annuellement ; Sol de cultures permanentes (vergers, vignes, houblonnières, *etc.*) ;

- Maraîchage et horticulture ;
- Sol de prairies permanentes (surface toujours en herbe) ;
- Sol de prairies non permanentes.
- Sol agricole non cultivé (jachère, sol nu, friche).
- Si le milieu est de type forêt ou milieu semi-naturel (*cf. question 1.2.*) :
  - Sol boisé ou de forêt
  - Sol de milieux à végétation arbustive
  - Sol de milieux à végétation herbacée
  - Sol d'espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
- Si le milieu est de type zone humide (*cf. question 1.2.*) :
  - Sol de zones humides intérieures (tourbières, marais d'eau douce)
  - Sol de zones humides maritimes (marais salés)

### **2.1.2. La végétation**

Le sol de votre station d'observation est-il recouvert par de la végétation :

- Oui
- Non

Si oui quelle est la hauteur de cette végétation

- Inférieur à 20 cm
- De 20 cm à 50 cm
- De 50 cm à 2 m
- Supérieur à 2m
- Hauteurs basses et hautes mêlées

Si oui, quelle est cette végétation ?

### **2.1.3. Les affleurements rocheux**

Sur votre station d'observation, y a-t-il existence d'un ou plusieurs affleurements ?

- Oui
- Non

### **2.1.4. Les autres éléments du paysage**

Avez-vous des remarques spécifiques à indiquer concernant la lecture du paysage de la station d'intervention et du point d'étude ou des informations sur l'occupation du sol passée de cette station, si elles présentent des particularités :

## 2.2 Observation de la surface du sol au niveau du point d'étude

- Installation du quadrat de 1 m<sup>2</sup>
- Photographie de la surface du quadrat (avec la référence précisée sur l'ardoise).



### 2.2.1. Le recouvrement par la végétation

Le sol de votre point d'étude est-il entièrement recouvert par la végétation ?

- Si oui : les rubriques suivantes ne sont pas à renseigner
- Si non : renseigner les rubriques suivantes

Quel est le pourcentage de recouvrement par la végétation, en fonction du protocole que vous avez utilisé ?

Protocoles	Observation locale avec un quadra de 1m <sup>2</sup> situé au point d'étude
Végétaux vivants	.....%
Débris végétaux morts (résidus de culture,...)	.....%

### 2.2.2. La pierrosité

Quel est le pourcentage de recouvrement par les éléments grossiers (pierrosité, éléments >2mm) à la surface du sol du quadra de 1m<sup>2</sup> ?

.....%

### 2.2.3. La couleur

Quelle est la couleur de surface du sol de votre site d'étude ?

*La couleur doit être déterminée à l'ombre ou avec le soleil dans le dos (pour l'utilisation des applications, suivre les recommandations présentées dans la fiche 4)*

Référence choisie	Application Color comparator (IOS) (code RVB)	Application Munsell color chart (Android) (code Munsell) (ex : 7,5 YR 5/8)	charte Munsel (code Munsell) (ex : 7,5 YR 5/8)
Code couleur	R : V : B :		

### 2.2.4 La battance

Avez-vous pu observer des signes de battance sur le sol de votre point d'étude ?

- Oui
- Non

### 2.2.5 Les fentes

Avez-vous pu observer des fentes (supérieures à 5 cm de profondeur) sur votre site d'étude ?

- Non
- Oui, 1 ou 2
- Oui, 2 à 10
- Oui, plus de 10

### 2.2.6. Abondance de turricules de vers de terre - OPTIONNEL

Quel est le nombre de turricules de vers de terre à la surface du sol du quadra de 1m<sup>2</sup> ?

- De 0 à 5 turricules
- De 6 à 10 turricules
- De 10 à 20 turricules :
- Plus de 20 turricules :

ou pourcentage de recouvrement par les turricules :

## 3.1. Epaisseur du sol (Fiche 3a ou fiche 3b)

3.1.1. Avec quelle méthode avez-vous mesuré l'épaisseur du sol ?

- Tige
- Tarière

3.1.2. Quelle est, **en cm**, la profondeur du sol ?

P :                      cm

Si vous avez utilisé une tarière, observez la gouttière avec les échantillons de sols prélevés et inscrivez l'épaisseur des différents horizons. Ces derniers se caractérisent par un changement de couleur, en partant de la surface?

- P1 : de 0 à        cm (profondeur du 1<sup>er</sup> horizon
- P2 : de        à        cm (profondeur du 2<sup>eme</sup> horizon)
- P...



3.1.3. Parmi les propositions ci-dessous, quelle est la raison pour laquelle vous n'avez pas pu creuser plus profondément le sol ?

- Sol trop compact
- Sol trop sec
- Sol ennoyé
- Roche dure atteinte
- Présence de cailloux au fond
- Présence de racines
- Sol profond, outil de mesure pas assez grand
- Autre *explicitiez* :

3.1.4. Quelle est la couleur de l'horizon de sol situé le plus en profondeur ?

## 3.2. Prélèvement des échantillons de sol à différentes profondeurs

3.2.1. Avec quel modèle de prélèvement avez-vous échantillonné les sols du site d'étude ?

- Bêche
- Tarière
- Autre *veuillez préciser s'il-vous-plait* :

3.2.2. Avec quelle méthode avez-vous échantillonné les deux profondeurs d'horizons ?

- Les deux profondeurs : 0-20 cm et 30-50 cm
- Les deux premiers horizons distingués visuellement

3.2.3. Veuillez indiquer ci-dessous les différents horizons prélevés ainsi que leurs limites supérieure et inférieure

- Horizon 1 : épaisseur de 0 cm à ... cm (profondeur du 1<sup>er</sup> horizon)
- Horizon 2 : épaisseur de ... cm à ... cm (profondeur du 2<sup>eme</sup> horizon)
- Horizon 3 (optionnel) : épaisseur de ... cm à ... cm (profondeur du 3<sup>eme</sup> horizon)
- Etc.

3.2.4 Notez les références des échantillons que vous avez prélevés :

<b>6. Mesures - Fiches 4 à 8</b>
----------------------------------

<b>Horizon 1</b>	
<b>Couleur dominante - Fiche 4</b>	
Résultat :	
<b>Éléments grossiers - Fiche 5</b>	
Résultat :	
<b>Texture - Fiche 6</b>	
<input type="checkbox"/> Test du boudin	Résultat :
<b>pH- Fiche 7</b>	
<input type="checkbox"/> Papier pH	Valeur : <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9
<b>Calcaire - Fiche 8</b>	
<input type="checkbox"/> Test HCl	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
<b>Horizon 2</b>	
<b>Couleur dominante - Fiche 4</b>	
Résultat :	
<b>Éléments grossiers - Fiche 5</b>	
Résultat :	
<b>Texture - Fiche 6</b>	
<input type="checkbox"/> Test du boudin	Résultat :
<b>pH- Fiche 7</b>	
<input type="checkbox"/> Papier pH	Valeur : <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9
<b>Calcaire - Fiche 8</b>	
<input type="checkbox"/> Test HCl	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
<b>Horizon 3 (optionnel)</b>	
<b>Couleur dominante - Fiche 4</b>	
Résultat :	
<b>Éléments grossiers - Fiche 5</b>	
Résultat :	
<b>Texture - Fiche 6</b>	
<input type="checkbox"/> Test du boudin	Résultat :
<b>pH- Fiche 7</b>	
<input type="checkbox"/> Papier pH	Valeur : <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9
<b>Calcaire - Fiche 8</b>	
<input type="checkbox"/> Test HCl	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
<b>Horizon 4 (optionnel)</b>	
<b>Couleur dominante - Fiche 4</b>	
Résultat :	
<b>Éléments grossiers - Fiche 5</b>	
Résultat :	
<b>Texture - Fiche 6</b>	
<input type="checkbox"/> Test du boudin	Résultat :
<b>pH- Fiche 7</b>	
<input type="checkbox"/> Papier pH	Valeur : <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9

Calcaire - Fiche 8					
<input type="checkbox"/> Test HCl	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

## 7. Protocoles optionnels - Annexe 2

### 7.1. Fiche A1 - Abondance des turricules de vers de terre (Fiche A1)

Quel est le nombre de turricules de vers de terre à la surface du sol du quadra de 1m<sup>2</sup> ?

- De 0 à 5 turricules
- De 6 à 10 turricules
- De 10 à 20 turricules :
- Plus de 20 turricules :

ou pourcentage de recouvrement par les turricules :

### 7.2. Autres déterminations sur échantillon : Fiche A2 et Fiche A3

Les éléments sont à renseigner dans le tableau ci-avant (§ 6 - Mesures : fiches 4 à 8)

Horizon 1			
Eléments grossiers - Fiche A2 (optionnel)			
Poids total échantillon : g	Poids fraction fine : g	Poids fraction grossière : g	
PVc :	% fraction fine : %	% fraction grossière : %	
Texture - Fiche A3 (optionnel)			
<input type="checkbox"/> Test de la bouteille	Résultat :		
Horizon 2			
Eléments grossiers - Fiche A2 (optionnel)			
Poids total échantillon : g	Poids fraction fine : g	Poids fraction grossière : g	
PVc :	% fraction fine : %	% fraction grossière : %	
Texture - Fiche A3 (optionnel)			
<input type="checkbox"/> Test de la bouteille	Résultat :		

Horizon 3 (optionnel)		
<b>Éléments grossiers - Fiche A2 (optionnel)</b>		
Poids total échantillon : g	Poids fraction fine : g	Poids fraction grossière : g
PVc :	% fraction fine : %	% fraction grossière : %
<b>Texture - Fiche A3 (optionnel)</b>		
<input type="checkbox"/> Test de la bouteille	Résultat :	
<b>Horizon 4 (optionnel)</b>		
<b>Éléments grossiers - Fiche A2 (optionnel)</b>		
Poids total échantillon : g	Poids fraction fine : g	Poids fraction grossière : g
PVc :	% fraction fine : %	% fraction grossière : %
<b>Texture - Fiche A3 (optionnel)</b>		
<input type="checkbox"/> Test de la bouteille	Résultat :	

### 7.3. Autres protocoles de sciences participatives liés au sol

Si vous avez réalisé le protocole de Jardibiodiv, merci de saisir vos résultats directement sur le site internet : <http://ephytia.inra.fr/fr/P/165/jardibiodiv>.

Pour toute question, vous pouvez contacter Anne Blanchart à l'adresse suivante : [anne.blanchart@univ-lorraine.fr](mailto:anne.blanchart@univ-lorraine.fr)

Si vous avez réalisé le protocole du test moutarde de l'OPVT, vous pouvez saisir vos résultats directement sur le site internet : [https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT\\_accueil.php](https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php).

## Annexe 3. Le flyer

# CONNAÎTRE LES SOLS POUR MIEUX LES PRÉSERVER



## CLÉS DE SOL

### **PARTICIPEZ !**

*Améliorez vos connaissances  
en aidant la recherche*

### **EXPÉRIMENTEZ !**

*Recueillez des propriétés  
du sol*

## **EN SUIVANT LES PROTOCOLES DE LA MALLETTE CLÉS DE SOL**

[www.inrae.fr/clesdesol](http://www.inrae.fr/clesdesol)

Clés de sol est un projet porté pour l'intérêt général par la recherche publique, des associations d'environnement et acteurs du développement agricole.



**INRAE**



**FRANCE NATURE  
ENVIRONNEMENT**



**AGRICULTURES  
& TERRITOIRES**  
CHAMBRE D'AGRICULTURE  
GRAND EST



**L'INSTITUT  
agro**  
Rennes  
Angers



**TOUS  
CHERCHEURS**



**SOL & CO**  
SOL ET BIODIVERSITÉ



Projet  
soutenu par  
**Fondation  
de  
France**

# LA MALLETTE CLÉS DE SOL

## Les étapes de réalisation

1

**Choix de la station d'observation  
et du point d'étude**

2

**Environnement du point d'étude**

*Lecture du paysage & description de la surface du sol*

3

**Épaisseur du sol et prélèvement des échantillons**

*En fonction du matériel dont vous disposez*

4

**Mesures à réaliser sur l'échantillon de sol prélevé**

**Couleur**

**Éléments  
grossiers**

**Texture**

**pH**

**Calcaire**

*Ces cinq protocoles sont à réaliser directement  
sur le terrain ou, pour certains, à la maison*

**Un formulaire de restitution des résultats vous  
accompagne tout au long de votre démarche.**