



HAL
open science

Etude de la stabilité structurale des sols par l'application “ Slakes ”

Paul Mousset

► **To cite this version:**

Paul Mousset. Etude de la stabilité structurale des sols par l'application “ Slakes ”. Science des sols. 2021. hal-04223415

HAL Id: hal-04223415

<https://hal.inrae.fr/hal-04223415v1>

Submitted on 29 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IUT de la Roche-Sur-Yon

**DUT Génie Biologique Option Génie
de l'Environnement**

Stage de deuxième année

MOUSSET Paul

2020-2021

Etude de la stabilité structurale des sols par l'application « Slakes »



INRAE Val de Loire - Orléans

INRAE

Maîtres de stage : Nicolas SABY et
Marine LACOSTE

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement mes maîtres de stage Nicolas SABY et Marine LACOSTE pour leur disponibilité, leur accueil, leurs nombreux conseils et leurs enseignements. Par leur encadrement pédagogique, j'ai beaucoup appris sur les méthodes et les thématiques scientifiques étudiés durant ce stage.

J'adresse aussi mes remerciements à Hervé GUAILLARD, Olivier JOSIERE et toute l'équipe professionnelle de l'INRAE pour leur soutien, leur accompagnement et leur accueil. Ils m'ont permis de découvrir l'unité INFOSOL, ses différents travaux techniques et innovations.

Enfin je remercie tout particulièrement Antonio et Isabelle BISPO pour leur grande aide dans ma recherche de stage, leur véritable soutien, nos nombreux échanges et leur chaleureux accueil à Orléans. Un grand merci Antonio pour ses conseils et sa disponibilité durant ce stage.

Ce stage a confirmé mon souhait de poursuivre mon cursus étudiant et professionnel dans les domaines de l'agronomie et de l'environnement. Je remercie aussi les enseignants de l'IUT Génie Biologique à la Roche-Sur-Yon qui m'ont aidé et soutenu pour ces choix. Je garderais un excellent souvenir de mes années passées à l'IUT.

Table des matières

Remerciements	
Lexique :	
I. Introduction.....	1
A. Organisme d'accueil	1
1. Présentation d'INRAE	1
2. L'Unité de Service INFOSOL.....	2
B. Contexte du stage.....	2
C. Objectifs et déroulement du stage.....	3
II. Matériels et méthodes	4
A. Sols analysés.....	4
B. Protocole de mesure de la stabilité structurale via la méthode Slakes	5
C. Mesure de la stabilité d'agrégats de sols soumis à l'action de l'eau (Méthode de Le Bissonais)	11
III. Résultats et discussion	13
1. Répétabilité des mesures de stabilité structurale réalisée par la méthode Slakes.....	13
2. Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'application Slakes.....	16
3. Résultats de stabilité structurale obtenus à partir de la méthode Le Bissonais	19
IV. Conclusion	23
Liste des figures et tableaux :	25
Bibliographie :.....	26
Résumé.....	27
Abstract	27
Annexe.....	28

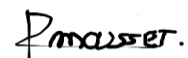
ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) MOUSSET Paul

Déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signé par l'étudiant(e) le : 20/06/21

P. Mousset.

Lexique :

Agrégats : Assemblage élémentaire entre les particules minérales du sol et les formes colloïdales (argile, matières humiques...) caractérisant à l'échelle macroscopique, la structure du sol. *Source : Larousse*

Boxplot : Aussi appelé « Boite à moustache », c'est une représentation graphique permettant d'illustrer plusieurs valeurs statistiques (médiane, quartiles...) (voir p14)

ISO: International Organization for Standardization. Les certifications ISO garantissent la conformité d'un processus, service, organisation...

Désagrégation : Processus de fragmentation du sol ou d'un substrat.

Ecart-type : Mesure de la dispersion d'un ensemble de valeurs autour de leur moyenne. *Source : INSEE*

Humectation rapide : C'est le fait de rentrer mouiller rapidement les agrégats.

MWD : Diamètre Moyen Pondéral après désagrégation

Répétabilité : La répétabilité se définit par « l'étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure. Les conditions de répétabilité comprennent le même mode opératoire (i.e. le même observateur, le même instrument de mesure utilisé dans les mêmes conditions même lieu et des répétitions durant une courte période de temps) ». *Source : Perrin33.com*

Ici, le terme répétabilité définit l'importance de réaliser l'expérience x fois pour mesurer la variation des résultats pour une même expérience.

Stabilité structurale : Capacité du sol à résister à la dégradation de sa structure sous l'action de contraintes mécaniques.

I. Introduction

A. Organisme d'accueil

1. Présentation d'INRAE

J'ai eu la chance de réaliser mon stage de fin de DUT Génie Biologique à INRAE, site d'Orléans. INRAE est l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. Cet institut provient de la récente fusion entre l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et l'IRSTEA (Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture).

Il est qualifié comme un EPST (Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique).

En tant qu'institut public, INRAE est en lien direct avec de nombreux établissements publics de son domaine comme notamment les Ministères (le Ministère de l'agriculture et le Ministère de la Recherche), l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), les chambres d'agriculture... INRAE est aussi un acteur majeur à l'international. Il se positionne comme l'un des premiers organismes mondiaux de recherche publique spécialisé sur les thématiques de l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. Actuellement, 166 projets européens sont en partie développés par INRAE.

En quelques chiffres, cet institut regroupe 18 sites de recherche partout en France et emploie plus de 8 000 agents titulaires ainsi que plus de 3 000 salariés contractuels (CDD, doctorants, etc.). INRAE gère un budget s'élevant à 1 027 millions d'euros. 77% de cette ressource financière provient des subventions des services publics (Ministères, ADEME...). Les ressources propres à INRAE (comme notamment les contrats de recherche) atteignent 232,2 millions d'euros soit 23% du budget.

Dans le monde de la recherche, trouver des financements est une étape clé qui peut s'avérer parfois complexe et délicate. Il faut notamment que l'organisme à l'origine des potentiels financements (public comme privé) soit convaincu, porte un certain intérêt au projet, qu'il propose un budget à la hauteur des besoins du projet...

Tous les 10 ans, INRAE publie ses ambitions et objectifs à suivre sur les 10 prochaines années. En 2020, INRAE a choisi de suivre jusqu'à l'horizon 2030, 5 orientations scientifiques et 3 orientations de politique générale. (Voir annexe II).

Ces orientations sont alors déclinées dans chaque Département de l'Institut. En effet, INRAE est constitué de 14 départements traitants chacun de thématiques spécifiques (par exemple : Département Génétique, AgroEcoSystem, Santé des animaux d'élevage...) (Voir annexe II). Ils sont composés de plusieurs Unités de Recherche, à l'origine des travaux scientifiques concrets. Une Unité de Recherche peut dépendre d'un ou plusieurs Départements selon ses domaines d'étude.

2. L'Unité de Service INFOSOL

Pour ce stage de DUT, j'ai donc intégré l'US INFOSOL, localisée à Orléans et dépendant du Département AgroEcoSystem¹. Cette unité est en charge notamment des programmes nationaux de cartographie et de surveillance des sols. Elle est responsable du système d'information national des sols, et constitue un appui à la recherche et aux politiques publiques agricoles et environnementales.

Les activités d'INFOSOL dépendent du Groupement d'Intérêt Scientifique des Sols (GISSOL²). Ce groupement permet de faciliter les échanges sur la qualité des sols entre les différents acteurs du territoire comme l'ADEME, l'OFB (Office Française de la Biodiversité), les ministères, le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière)...

B. Contexte du stage

Les sols sont essentiels à la vie sur Terre, et contribuent à de nombreux services écosystémiques (Gis Sol, 2011) : ils captent le carbone et régulent le climat, contiennent un gigantesque réservoir de biodiversité, sont à l'origine de toutes les productions alimentaires...

Les sols constituent une ressource non renouvelable à l'échelle humaine, mais sont cependant soumis à de nombreuses dégradations (Gis Sol, 2011). 20 000 à 30 000 hectares d'espaces naturels agricoles sont artificialisés chaque année (Ministère de la transition écologique). L'érosion hydrique touche aujourd'hui 18% de la surface des sols en France (Gis Sol, 2011). En 2018, 6 800 sites et sols pollués étaient encore recensés sur le territoire (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019).

De par la nécessité absolue de préserver et mieux connaître la ressource sol, INRAE soutient et développe de nombreux programmes de recherche scientifique sur ce sujet.

L'érosion est reconnue comme un des processus majeurs de dégradation des sols (Gis Sol, 2011). Ce phénomène se traduit par la perte de particules solides, généralement à la surface des sols (Figure 1). Les principaux facteurs d'érosion des surfaces terrestres sont le vent et les précipitations. L'action anthropique peut favoriser ou limiter ce processus. Par exemple, l'artificialisation des sols, le labour excessif, ou encore la perte de végétation accentuent les risques d'érosion. C'est une véritable problématique pour le monde agricole, qui voit ses sols se dégrader et perdre en qualités agronomiques (Gis Sol, 2011). Par ailleurs, on constate aussi les phénomènes des coulées boueuses augmenter sur le territoire à cause de l'érosion.

¹ <https://www.inrae.fr/departements/agroecosystem>

² <https://www.gissol.fr/>



Figure 1. Illustration des effets de l'érosion sur une parcelle agricole. Source : www.agrosup.fr

Il est donc aujourd'hui nécessaire d'adapter les pratiques agricoles pour réduire les risques d'érosion, en développant notamment les techniques de l'agroécologie et en ayant une meilleure connaissance du risque d'érosion des sols.

L'érosion hydrique des sols cultivés résulte essentiellement de la désagrégation des mottes de terre et du détachement de fragments sous l'action des pluies. Pour estimer la sensibilité des sols à l'érosion, il est courant de caractériser leur **stabilité structurale**, qui permet d'estimer le comportement physique d'un sol soumis à l'action de l'eau (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). De nombreuses méthodes de mesure de la stabilité structurale ont été développées, et l'une d'elle a été normalisée après des travaux menés à l'INRA (Le Bissonnais, 1996 ; certification **ISO**). Cette méthode est cependant longue à mettre en œuvre. Une nouvelle méthode de mesure de la stabilité structurale (Slakes) a récemment été développée par l'Université de Sydney (Fajardo et al., 2016).

Pour mon stage de fin de DUT, j'ai participé à un projet de recherche visant à évaluer la méthode Slakes dans le contexte agro-pédologique français (projet Eclat). Cette méthode est mise en œuvre via une application pour téléphones portables³ et est destinée aux exploitants agricoles, aux travaux de laboratoire sur les sols et même au grand public pour leur permettre d'analyser rapidement et eux-mêmes la stabilité de leurs sols.

La méthode Slakes consiste à évaluer la stabilité des sols à l'**humectation rapide**, qui simule l'action d'une forte précipitation pouvant aller jusqu'à une submersion totale du sol. Elle a pour objectif de proposer une évaluation rapide, simple et réaliste de la stabilité structurale d'un sol en donnant une notation allant de 0 à 20. Plus la note est haute, plus sa stabilité structurale sous l'action d'une humectation rapide est faible.

C. Objectifs et déroulement du stage

La méthode Slakes a été calibrée sur des sols australiens, et son application à des sols français peut nécessiter des adaptations.

³ <https://play.google.com/store/apps/details?id=slaker.sydneyuni.au.com.slaker&hl=fr&gl=US>

Dans cet objectif, mon rôle sur ce projet est d'effectuer un nombre important de mesures sur l'application Slakes sur un même sol. Le but à plus long terme étant de connaître combien de mesures il faut effectuer pour avoir une cohérence des résultats. La notion de **répétabilité** des mesures est donc primordiale pour le bon développement de cette application.

Dans le cadre de mon stage, mes objectifs étaient donc les suivants :

- 1) Evaluer la répétabilité de la méthodes Slakes et déterminer le nombre de mesures nécessaires pour obtenir des résultats stables (présentant un faible **écart type**).
- 2) Comparer les résultats de la méthodes Slakes à ceux de la méthode Le Bissonnais afin de contribuer à l'évaluation de la méthode Slakes pour des sols français.

Pour répondre à ces problématiques, mon stage s'est divisé en trois grandes parties :

- La première et principale phase de mon stage a été dédiée à l'acquisition de nombreuses mesures de la stabilité structurale en utilisant la méthode Slakes.
- La deuxième consiste à mettre en œuvre la méthode le Bissonnais, mieux maîtrisée pour les sols français, pour pouvoir comparer ses résultats à ceux de la méthode Slakes.
- La troisième a été consacré aux analyses statistiques des résultats obtenus et discutés lors d'une réunion avec les partenaires du projet.

II. Matériels et méthodes

A. Sols analysés

Les mesures de stabilités structurales ont été réalisés pour trois sites différents :

- « Château Blé » : sol issu du site OS² (Observatoire spatialisé orléanais des sols⁴) et prélevé après un semis de blé.
- « Chaume Maïs » : sol issu du site OS² et prélevé après une culture de maïs.
- « Villamblain Colza » : sol issu d'une parcelle étudiée par l'UR SOLS (INRAE Orléans, située à Villamblain).

⁴ <https://www.n-escapade.fr/Sites/Site-OS2>

« Villamblain Colza »



27% argile

« Chaume Mais »



12-13% argile

« Château Blé »



14% argile

Localisation : Villamblain (28)

Cernay (28)

Les corvées les Yys (28)

Figure 2. Sols utilisés pour les mesures de stabilité structurales

Ces trois sols différents permettront de comparer les résultats en fonction des aspects physico-chimiques des **agrégats**.

B. Protocole de mesure de la stabilité structurale via la méthode Slakes

a) Principe général

La méthode Slakes se met en œuvre de la manière suivante :

On place des agrégats préalablement séchés dans l'eau pendant 10 minutes. On suit ensuite l'évolution de la surface de ces agrégats en fonction du temps. Celle-ci a tendance à augmenter sous l'effet de la désagrégation lors de l'humectation à cause de la compression de l'air présent dans la porosité des agrégats.

La méthode Slakes consiste à mesurer l'évolution de cette **désagrégation** en prenant des photos régulièrement au cours des dix minutes. L'application calcule alors un pourcentage de désagrégation en faisant le rapport entre la surface initiale des agrégats et la surface au moment où la photo est prise. Elle prend au début des photos toutes les secondes puis la fréquence des clichés diminue au cours du temps. Ce choix s'appuie sur l'hypothèse que la désagrégation des agrégats est plus rapide au début de l'immersion.

Par exemple :

Plus les agrégats se désagrègent dans l'eau



Plus leur surface augmente



Plus le rapport avec leur surface initiale est important



Plus l'indice de stabilité calculé par Slakes sera fort et plus le sol sera instable.

La méthode prend aussi en compte la vitesse de désagrégation. Exemple : le résultat sera différent entre un agrégat gagnant très rapidement en surface pendant les premières secondes puis se stabilisant et un agrégat se désagrégant à un rythme régulier sur les 10 minutes.

b) Préparation des échantillons de sol

Pour créer des agrégats, il faut émottes (c'est-à-dire briser) au-dessus d'un tamis des mottes de sol préalablement prélevées. Pour obtenir des agrégats le plus naturels possible, il ne faut pas trop compresser les mottes avec ses mains ni faire intervenir d'autres matériels.

L'objectif est de récupérer des agrégats d'une taille de 3 à 5 mm. On utilise donc un tamis adapté constitué d'un premier maillage de 5 mm, d'un deuxième de 3 mm et d'un réceptacle. On récupère alors les agrégats stockés sur le deuxième maillage.

Ensuite, il faut sécher les agrégats dans une étuve à 40 °C pendant 48h.

La préparation de ces agrégats nécessite donc une organisation de l'emploi du temps pour que les agrégats soient prêts lorsque l'on en a besoin.

c) Mise en place du plan de travail et mise en œuvre de la méthode Slakes

Cette expérience utilise l'appareil photo des téléphones portables. Les différentes sources de lumière semblent compromettre la reconnaissance des agrégats lors du traitement d'image et donc influencer les résultats. Pour limiter cet effet, les fenêtres du laboratoire sont toutes obturées avec des cartons (Figure 3). L'expérience est réalisée avec seulement 2 lampes. Ce sont toujours les mêmes et elles sont toujours inclinées de la même façon pour avoir une source lumineuse identique et diffuse.

Sept téléphones sont utilisés. Ils sont maintenus par une pince (soutenue par une potence) à 20 cm en hauteur par rapport à la zone où les agrégats seront disposés (Figure 3). Le plan de travail est préalablement organisé dans le laboratoire de manière à enchaîner les analyses à la suite sur les différents téléphones.

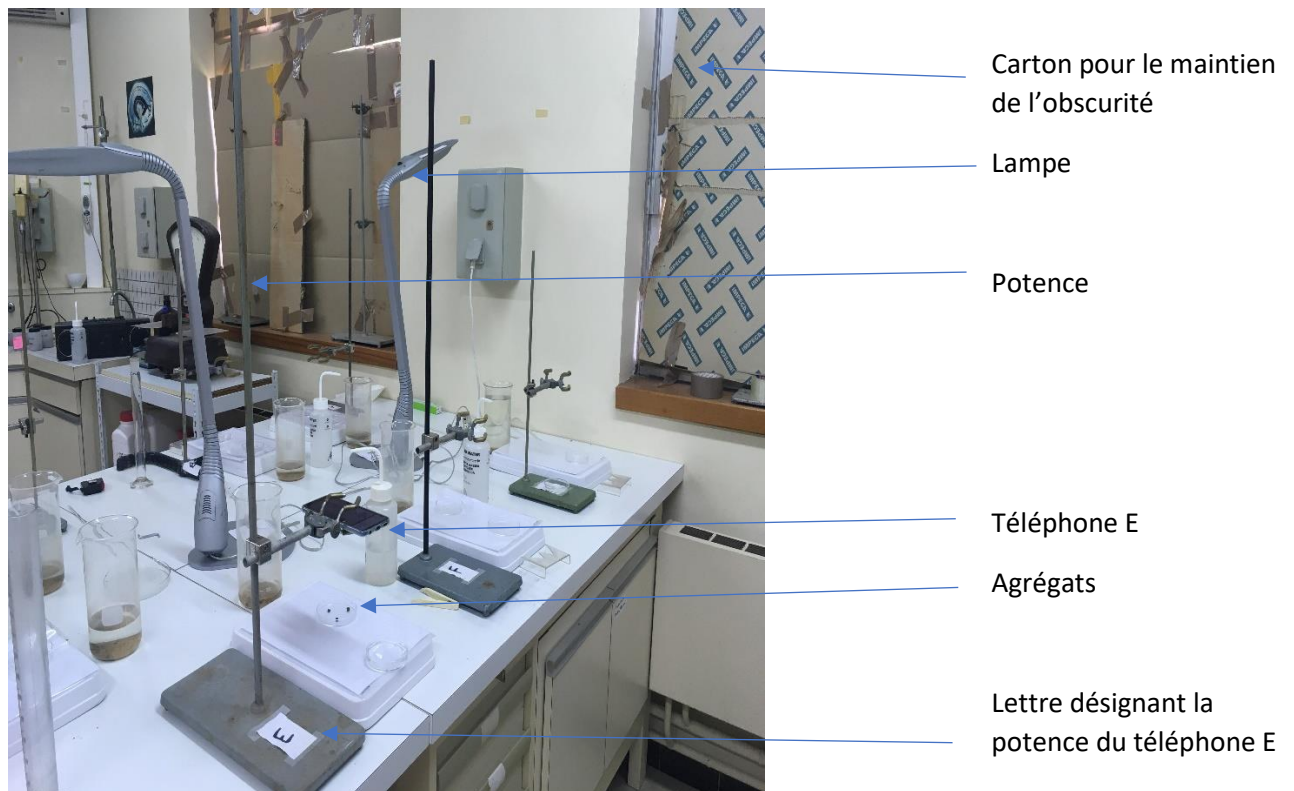


Figure 3. Organisation du plan de travail dans le laboratoire

Une fois le plan de travail aménagé et les téléphones disposés sur les pinces à la bonne hauteur, trois agrégats sont préparés aléatoirement et disposés dans une coupelle en verre (boîte de Pétri) que l'on place en dessous du téléphone.

Il faut ensuite lancer l'application Slakes. On décide alors de la nomenclature de la future analyse. Cette étape est essentielle pour permettre de retrouver les données de l'expérience lorsqu'elles seront ensuite exportées sur un ordinateur afin de traiter les résultats.

Pour ce stage, j'ai réalisé une cinquantaine de passage par téléphone et par sol (soit plus de 800 fichiers). Le nommage des fichiers est une étape importante car le nom du fichier est utilisé dans le traitement informatique des données brutes. Il est donc indispensable pour s'y retrouver plus tard que la nomenclature de l'expérience soit correcte.

Pour nommer chaque expérimentation, nous avons choisi de placer dans l'ordre :

- Le nom de l'échantillon (« VillamblainColza », « ChaumeMaïs » et « ChateauBlé »).
- La désignation du téléphone utilisée par une lettre. Les téléphones ont été identifiés par une lettre permettant la simplification de la nomenclature. Il y a sept téléphones, donc les lettres vont de A à G.
- Le numéro de la mesure
- Il est possible que l'application dysfonctionne ou affiche une valeur finale supérieur à 20. Dans ces cas-là, nous refaisons la mesure et ajoutons le suffixe Bis.

Exemple de la nomenclature : Pour la 16^{ème} analyse « Slakes » sur le téléphone F (téléphone de marque Redmi) sur le site Chaume Maïs, on la nommera : **ChaumeMaïs_F_16**

Dès que la saisie du nom de l'analyse est faite, l'application démarre la caméra du téléphone.

d) Mise au point et délimitation spatiale des agrégats par l'application

On dispose les agrégats au centre de la caméra. Il faut veiller à ce qu'ils ne soient pas trop près du bord de la coupelle en verre, pas trop proches entre eux et que la mise au point de la caméra a bien été faite sur les agrégats. Slakes propose alors un contour rouge des agrégats (Figure 4).

Cette étape est cruciale car c'est cette première délimitation qui sera à l'origine des résultats de l'expérience. Si la délimitation est faussée, toute l'expérience est remise en cause.

Une fois que le contour est correct, nous appuyons sur « *Reference image* ». A cet instant, l'application a enregistré la surface initiale délimitée des agrégats.



Figure 4. Délimitation des agrégats par Slakes

e) Mise en route de l'expérimentation

Une fois que tous les réglages précédents ont été effectués, une deuxième coupelle en verre contenant 30 ml d'eau déminéralisée est placée sous la caméra. Cette coupelle doit se trouver au centre de la caméra.

On utilise alors un dépose-agrégat (Figure 5), permettant de placer dans l'eau, en même temps, les 3 agrégats à analyser.

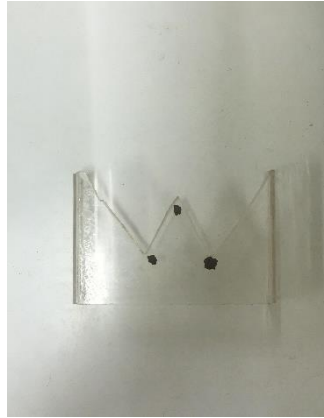


Figure 5. Le dépose-agrégat

On place les trois agrégats sur les bords du dépose-agrégat, et d'un rapide mouvement nous faisons tomber ces agrégats dans la coupelle en verre contenant l'eau déminéralisée. Juste après et le plus rapidement possible, il faut cliquer sur « START ». A cet instant, l'application débute la mesure pour 10 minutes. Pendant ce temps, il faut veiller à ne pas entrer dans le champ de la caméra et à ne pas influencer par son ombre le taux d'éclairage.

Résultats de l'expérience :

Après les 10 minutes, l'application propose une évaluation reposant sur la dynamique de désagrégation des trois agrégats immergés dans l'eau. Un référentiel d'interprétation est proposé basé sur des résultats australiens (Tableau 1) :

Tableau 1. Référentiel d'interprétation des résultats de Slakes

Résultat Stabilité Structurale	>7 : Stabilité Faible	3-7 : Stabilité Moyenne	<3 : Stabilité élevée
Exemple	10	5.5	2.1

Un résultat >7 témoigne d'une faible stabilité structurale sur les 3 agrégats analysés. De 3 à 7, la stabilité est définie comme moyenne et enfin < 3 elle est élevée.

Les résultats peuvent être exprimés en fonction de deux indicateurs : Asym et SI600.

Le paramètre Asym ou a est le paramètre de l'asymptote de l'équation de Gompertz (figure 6) donnée ci-dessus et ajustée sur les mesures des surfaces. Il correspond à l'étalement théorique pour un temps infini.

Le paramètre SI600 (Surface Index) représente l'étalement maximal de l'agrégat à 600 secondes c'est-à-dire 10 minutes.

Ces deux paramètres sont assez similaires et complémentaires.

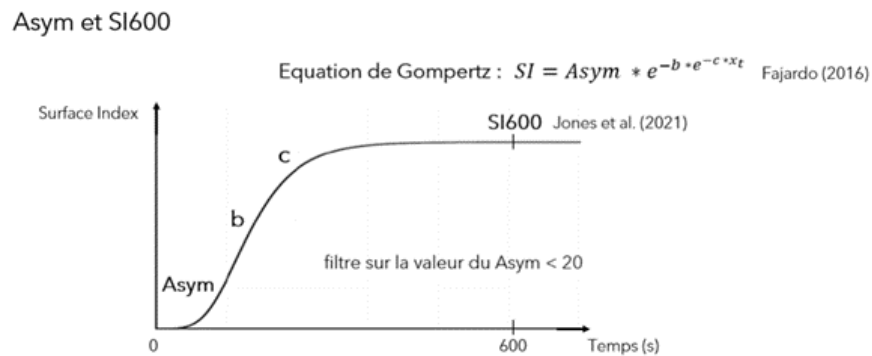


Figure 6 : Schéma de l'équation de la Gompertz

f) Mise en œuvre de la méthode Slakes : plan expérimental

L'objectif était de réaliser des mesures sur 200 agrégats par téléphone pour un même sol. Ceci a été décidé en se référant à la méthode Le Bissonais, qui se base sur une mesure utilisant 15 à 30 g de sol (5 à 10 g de sol par mesure et trois répétitions). J'ai estimé le nombre d'agrégats contenu dans 15g de sol en mettant en place une technique de calcul par quartage.

L'expérience Le Bissonais nécessite 15 grammes d'agrégats. Pour connaître, combien il y a d'agrégats dans 15 grammes, on réalise un simple calcul de produit en croix à partir d'un nombre d'agrégats connus.

Afin d'obtenir une estimation fiable, on verse un tas d'agrégat que l'on sépare équitablement en 4 quarts. On compte alors tous les agrégats dans un des quarts et on pèse l'ensemble des agrégats du quart choisi. Une fois le nombre connu pour x gramme, il suffit de réaliser un produit en croix pour connaître combien il y a d'agrégats dans 15 grammes.

Par cette méthode, on a estimé que 15 grammes contenaient environ 200 à 250 agrégats d'où le choix de passer 200 agrégats par téléphone et par sol sur la méthode Slakes permettant ainsi une bonne comparaison avec l'expérience Le Bissonais.

Les analyses Slakes ont été mises en œuvre sur sept téléphones de 3 marques différentes (Samsung, Honor, Redmi). L'application Slakes analyse la désagrégation des agrégats dans l'eau en utilisant la caméra des smartphones. Or, chaque téléphone possède une qualité d'image très différente pouvant ainsi avoir un impact non négligeable sur les résultats. L'analyse des résultats permettra de comparer la variabilité des mesures en fonction des téléphones.

C. Mesure de la stabilité d'agrégats de sols soumis à l'action de l'eau (Méthode de Le Bissonnais)

Les résultats de la méthode Slakes ont été comparés avec la méthode Le Bissonnais homologuée **ISO 10930**, mise en place par des chercheurs de l'UR SOLS (Le Bissonnais, 1996). Cette mesure normée propose 3 traitements spécifiques permettant de prédire le comportement du sol pour différentes **humectations** des agrégats par l'eau :

- Traitement 1 : « Désagrégation mécanique par agitation après réhumectation dans l'éthanol »
- Traitement 2 : « Humectation lente par capillarité »
- Traitement 3 : « Humectation rapide par immersion dans l'eau »

Seul le protocole et les résultats du traitement 3 seront détaillés. En effet, la méthode Slakes est inspirée de ce dernier traitement. Les deux autres traitements étant différents, il ne sera ici pas nécessaire de détailler leurs protocoles.

L'humectation rapide et brutale réalisée par le traitement 3 vise à tester le comportement des agrégats pour une météo de type pluies intenses ou/et submersion du sol. Il est cependant important de noter que le choc des gouttes n'est pas pris en compte dans cette expérience.

a) Protocole du traitement 3 : « Humectation rapide par immersion dans l'eau »

1) Préparation des agrégats de taille 3-5mm :

La formation des agrégats suit exactement le même procédé expliqué dans le protocole de la méthode Slakes (voir p6).

2) Immersion des agrégats dans l'eau et récupération des particules :

On pèse 5 à 10 grammes d'agrégats pour une mesure. Les agrégats sont versés délicatement dans un bécher préalablement rempli de 50 ml d'eau déminéralisée et y repose pendant 10 minutes.

On constate ici la similitude de cette expérience avec la méthode Slakes .

Après ces 10 minutes, l'excès d'eau est évacué à l'aide d'une pipette. Ensuite, on transfère les agrégats sur un tamis de 50 μm grâce à de l'éthanol. Le tamis est en partie immergé dans l'éthanol (gure 7).

L'éthanol permet de limiter la désagrégation des particules de sol lors du transfert sur le tamis. Par ses propriétés, cette solution « protège » d'une désagrégation non volontaire qui influencerait alors les résultats de l'expérience.

Enfin, la fraction $> 50 \mu\text{m}$ est récupérée dans une coupelle en verre que l'on passe à l'étuve à 40 °C pendant 48h.



Figure 7 : Tamis de 50 μm immergé dans l'éthanol

3) Tamisage des particules :

Après le passage à l'étuve, on passe la fraction $> 50 \mu\text{m}$ dans une colonne de 6 tamis : 2 000, 1 000, 500, 200, 100 et 50 μm .



Figure 8 : Colonne de six tamis

Les particules sont versées sur le tamis de 2 000 μm qui se situe en haut de la colonne. On agite ensuite tranquillement la colonne de tamis. Il est important de ne pas trop agiter afin d'éviter une désagrégation supplémentaire.

Ensuite, on effectue une pesée des particules retenues sur chaque tamis. Par soustraction au poids initial, le poids de la fraction des particules $< 50 \mu\text{m}$ est déduit.

Selon le protocole, ce traitement est à réaliser 3 fois sur le même sol pour permettre une meilleure précision et éliminer les potentielles valeurs incohérentes dues à une erreur de manipulation.

III. Résultats et discussion

1. Répétabilité des mesures de stabilité structurale réalisée par la méthode Slakes

a) Nombre d'agrégats analysés

Tableau 2. Nombre d'agrégats analysés par site

Sol	Château Blé	Chaume Maïs	Villamblain Colza
Nombre d'agrégats mesurés	840	840	840
Nombre d'agrégats analysables	513	797	735

Les résultats suivants proviennent d'un total de 120 agrégats passés par téléphone et par sol. Une mesure Slakes analysant trois agrégats en même temps, on compte donc 40 mesures sur les 3 sites et sur les 7 téléphones, ce qui équivaut à l'analyse de 840 agrégats par type de sol (; nombre théorique = 3 agrégats par mesure * 7 téléphones * 40 mesures = 840).

Une fois les paramètres Asym et SI600 estimés sur les données expérimentales, on constate dans le tableau ci-dessus, que le nombre d'agrégats dont le résultat est exploitable est inférieur à celui théorique. Ceci s'explique du fait que l'application Slakes propose pour certaines analyses des résultats totalement incohérents, qui sont alors supprimés du jeu de données.

Par exemple, les résultats supérieurs à 20 sont considérés comme non utilisables. La suppression de ces valeurs explique l'écart par rapport au nombre théorique attendu.

La première constatation est la différence du nombre de résultats entre le site « Château Blé » et les deux autres. Sur « Château Blé », l'application présente bien plus de résultats non exploitables, ce qui peut être lié aux paramètres physico-chimiques des agrégats.

Ces différences physico-chimiques se traduisent par une couleur des agrégats plus claire, qui rend difficile la détection des agrégats par l'algorithme de traitement d'image de l'application (Figure 9). La présence de petites brindilles et/ou racines traversant les agrégats pourrait aussi compliquer l'analyse des images permettant l'estimation de l'évolution de la surface des agrégats au cours du temps.



Figure 9 : Agrégats du site Château Blé

b) Analyse des résultats

Pour comparer ces 3 sites, des **boxplots** (boite à moustache) ont été réalisées par rapport aux paramètres Asym et SI600 (voir p9-10). Ces boxplots permettent d'avoir une idée de la répartition des résultats obtenus sur les 3 sites en fonction des paramètres Asym et SI600. Ils sont réalisés sur les données des 40 mesures (total des agrégats).

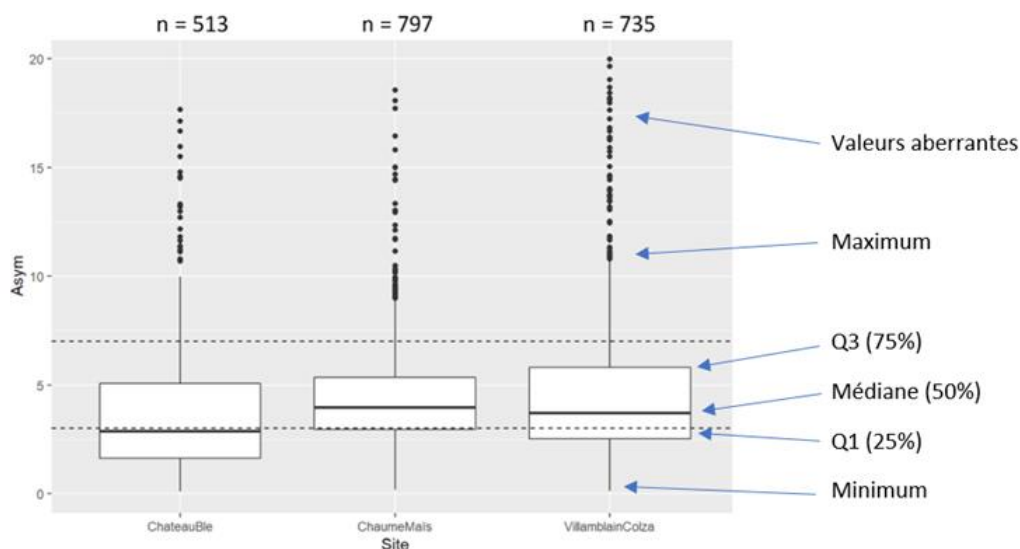


Figure 10 : Boxplots pour les 40 passages sur le paramètre Asym (Thomas CHALAUX)

Pour le paramètre Asym (Figure 10), on constate une similitude des médianes pour « Villamblain Colza » et « Chaume Mais » par rapport à « Château Blé », présentant une médiane un petit peu plus faible.

On observe aussi un plus faible écart-interquartile pour « Chaume Mais » que pour les deux autres sites.

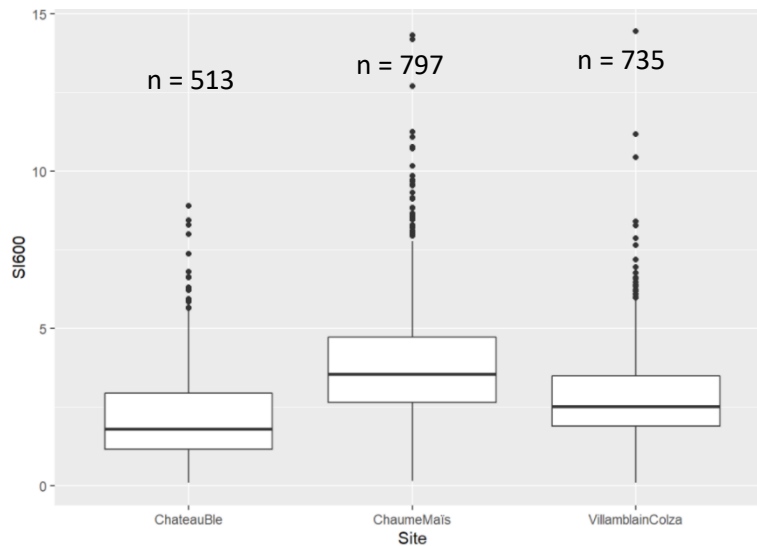


Figure 11 : Boxplots pour les 40 passages sur le paramètre SI600 (Thomas CHALAUX)

Pour le paramètre SI600 (Figure 11), la tendance des médianes observée sur Asym se confirme. On observe une médiane des résultats plus haute pour « Chaume Maïs » suivi de « Villamblain Colza » et enfin de « Château Blé ». Ici, les écarts-interquartiles sont assez similaires.

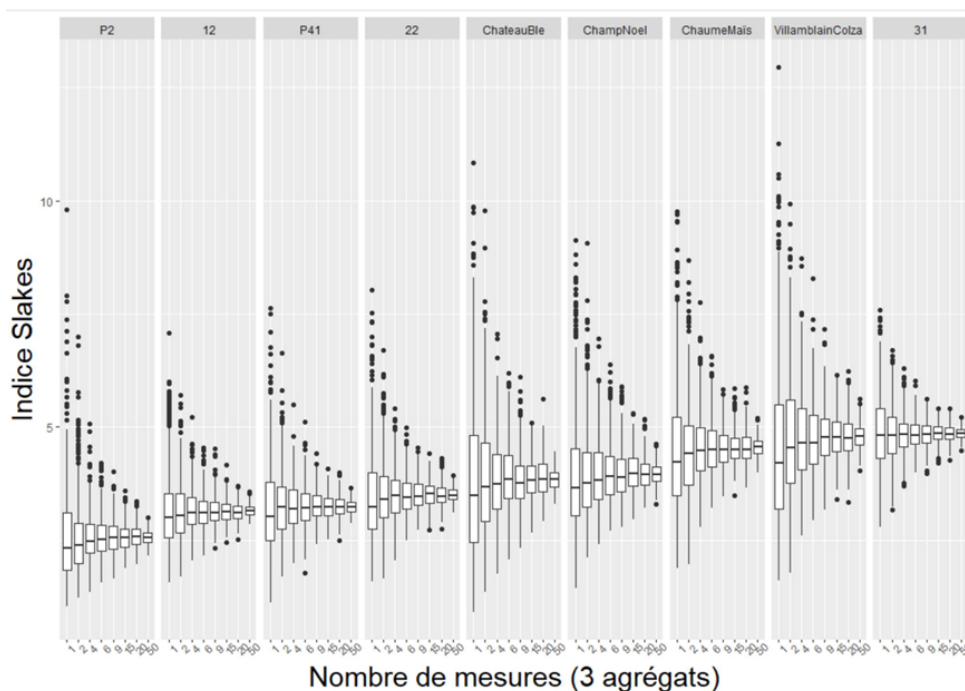


Figure 12. Boxplots représentant la distribution statistique de moyennes du paramètre Asym calculées sur n mesures (comportant 3 agrégats par mesure), n variant de 1 à 50. Pour chaque moyenne, les $3 \times n$ agrégats sont tirés au hasard dans l'ensemble des mesures faites. (Nicolas SABY, US INFOSOL)

La figure 12 présente la variabilité des moyennes obtenues avec un ensemble 3 fois n d'agrégats tirés au hasard dans les valeurs totales produites lors de mon stage, avec n valant 1, 2, 4, ..., 50. Chaque mesure capte en effet la désagrégation de 3 agrégats. Pour chaque groupe de n agrégats, la moyenne des indices Slakes (suivant le paramètre Asym ici) est

calculée et la distribution de cette dernière est représentée. On répète l'opération de tirage 1000 fois. Par exemple, pour n valant 20, 60 résultats Slakes (3 x 20) ont été tirés au hasard pour calculer une moyenne et répéter 1000 fois afin de réaliser le boxplot.

On constate clairement une grande variabilité des mesures pour les 3 sites étudiés. Les écarts interquartiles sont très importants lorsque n est faible (1,2...) mais diminuent progressivement. Quand on compare les médianes, on constate en général un indice Slakes inférieur pour le site « Château Blé ». Entre « Chaume Maïs » et « Villamblain Colza », si on observe la médiane pour n= 50 (ici la mesure la plus précise), l'indice Slakes de « Villamblain Colza » serait légèrement supérieur à celui de « Chaume Maïs ».

A partir de ce graphique, on peut en déduire qu'un passage minimum de 20 mesures soit 60 agrégats (une mesure analysant 3 agrégats en même temps) est nécessaire. Une répétition de 20 mesures par la méthode Slakes peut sembler excessive, mais au vu de la variation des résultats illustrés par les écarts-types, elle est nécessaire.

2. Problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'application Slakes

Pour analyser précisément l'évolution des agrégats dans l'eau durant les 10 minutes, il est possible sur Excel de tracer les courbes d'évolution. On retrouve en abscisse le temps et en ordonnée le pourcentage d'accroissement.

Chaque point sur le graphique correspond à une photo prise par le téléphone.

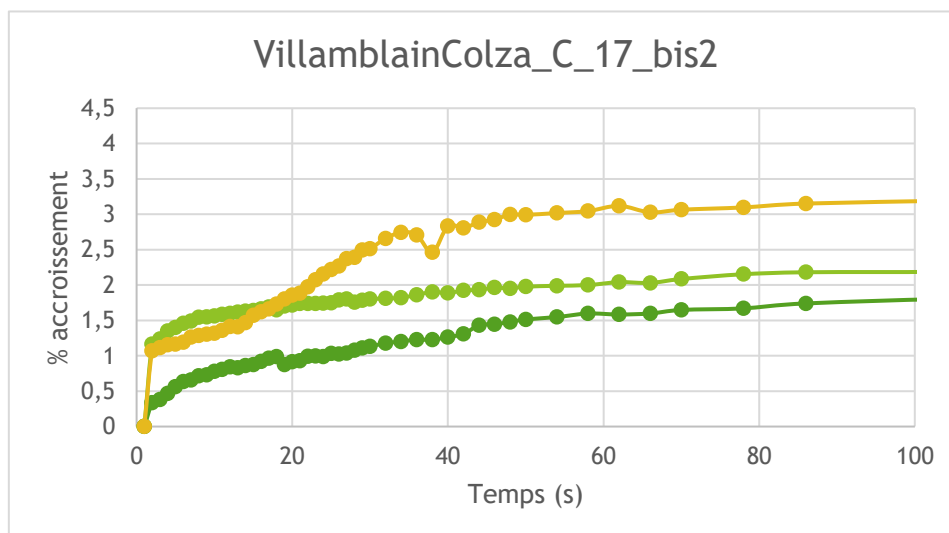


Figure 13 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_C_17_bis2

Voici, un graphique d'accroissement normal des agrégats au cours du temps. On constate une importante croissance lors des premières secondes puis une augmentation qui se stabilise au cours du temps. Ce graphique représente l'évolution sur seulement 100 secondes pour avoir un meilleur visuel du début de l'expérience.

Ces 3 courbes illustrent le déroulement d'une expérience réussie et le résultat de la stabilité structurale sera de **3,4**

Il est possible aussi d'analyser les dynamiques des courbes des désagrégations lorsque le post traitement (résultat donné par l'ajustement de la Gompertz) fournit un résultat inexploitable (Asym = + l'infini). Cette analyse permet notamment de proposer certaines hypothèses à l'origine du problème.

Exemple 1 :

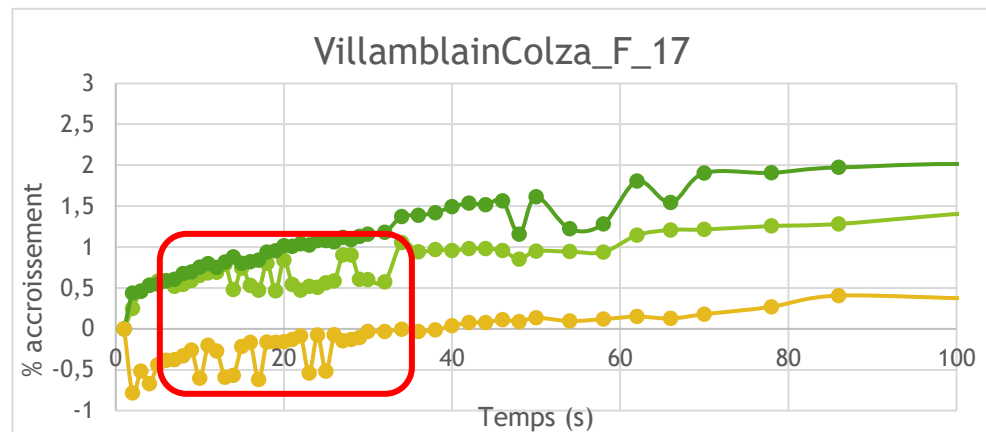


Figure 14 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamBlainColza_F_17

Pour cet exemple, on observe sur la courbe jaune et verte claire des oscillations des valeurs pendant les 30 premières secondes. On retrouve la même chose sur la courbe vert foncé entre les 40 à 60 secondes.

On peut émettre l'hypothèse que ces variations du taux d'accroissement proviennent d'une grande instabilité du processus de reconnaissance d'image conduisant à la délimitation rouge de la surface des agrégats lors des photos. L'application détecterait à certains moments moins bien les agrégats ce qui serait à l'origine des oscillations observés.

Ce problème que l'on observe sur la courbe est à l'origine d'un résultat inexploitable en fin d'expérience. « Slakes » proposait une note exponentielle bien trop grande.

Ici, les courbes sont réalisées sur le site « Villamblain Colza » qui présente au total un nombre de valeurs échecs bien moins important que le site « Château Blé » (513 agrégats sont analysables pour « Château Blé » contre 735 pour « Villamblain Colza »). Le phénomène de variation de la détection des agrégats pourrait être plus important pour « Château Blé » qui est plus clair et constitué de détritux végétaux (voir p14). Ces paramètres étant généralement plus difficile à capter pour l'application.

Exemple 2 :

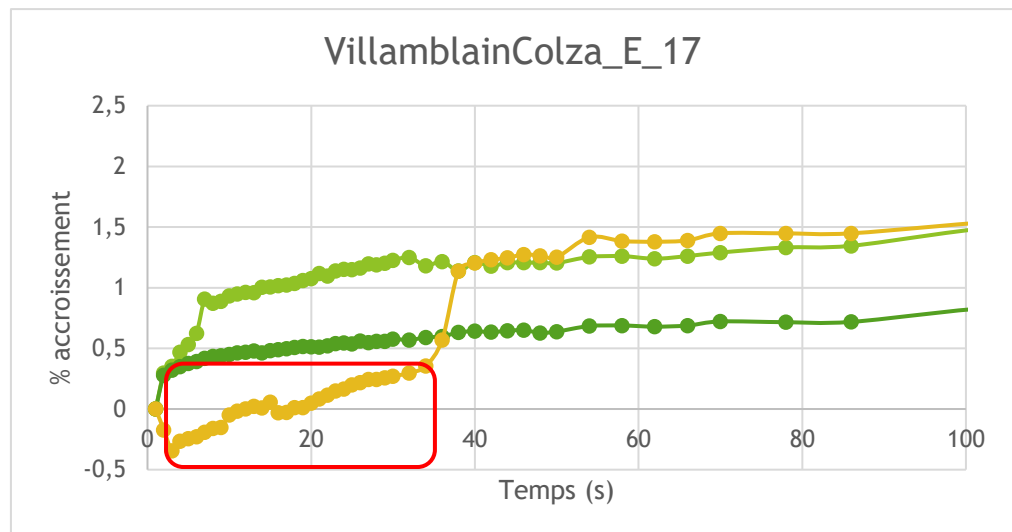


Figure 15 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_E_17

Sur ce deuxième exemple, on constate sur la courbe jaune pendant les 30 premières secondes, une très lente augmentation de la taille de l'agrégat puis une brusque élévation.

Cette allure sur la courbe peut être liée à la formation d'une bulle sur l'agrégat faussant ainsi la délimitation. En effet, surtout en début d'expérience, certaines bulles formées par l'immersion des agrégats dans l'eau peuvent rester quelques instants sur la partie externe de l'agrégat avant de se décrocher.

Parfois l'application ne capte donc plus la bonne surface de l'agrégat en présence d'une bulle comme le montre cette photo ci-dessous :

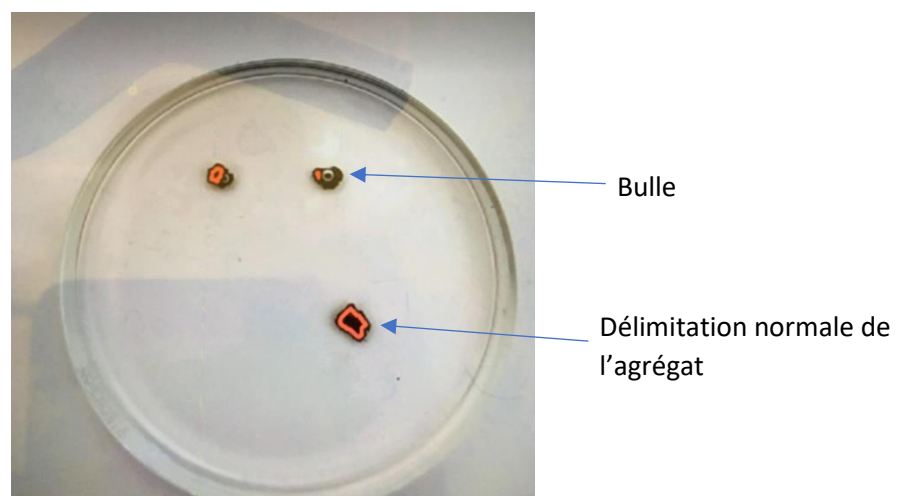


Figure 16 : Photo de l'écran d'un téléphone lors du de l'analyse Slakes

Tout comme l'exemple 1, ce problème sur la courbe donnera un résultat d'expérience biaisé.

Exemple 3 :

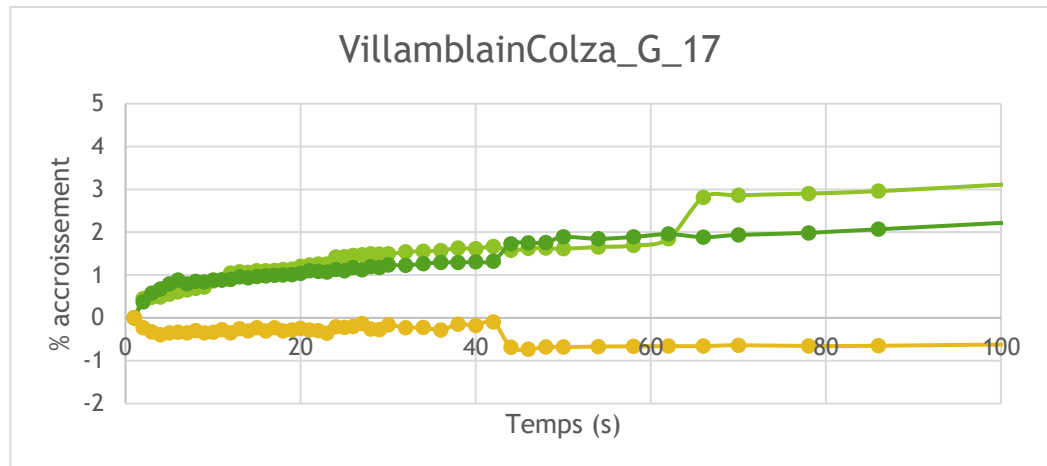


Figure 17 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_G_17

Sur ce dernier exemple, la courbe jaune présente un pourcentage d'accroissement négatif dès le début et continue même de diminuer à 40 secondes pour ensuite se stabiliser. On ne sait pas encore quel facteur serait à l'origine de l'allure de cette courbe. Le résultat de l'expérience est là aussi inexploitable.

De ces analyses, on peut souligner que certains paramètres ci-dessous sont à prendre en compte car ils peuvent perturber le bon déroulement de l'expérience Slakes :

- L'éclairage/Ombrage
- La couleur trop claire des agrégats, les petits débris végétaux
- Les bulles
- La qualité d'image des téléphones

3. Résultats de stabilité structurale obtenus à partir de la méthode Le Bissonnais

Après la pesée des particules récupérés à chaque tamis pour cette expérience, les résultats sont retranscrits dans le Tableau 3. Comme énoncé dans le protocole, on ne s'intéressera ici qu'au traitement 3 : humectation rapide qui est très similaire à la mesure Slakes.

Les valeurs des pesées à chaque tamis pour les 3 répétitions sont très similaires. Il n'y a donc pas eu d'incidents techniques majeurs pendant la manipulation. Les écart-types calculés prouvent bien la faible dispersion des valeurs entre chaque répétition (plus l'écart-type étant faible moins les mesures étant dispersées).

Tableau 3 : Tableau des écarts-type obtenus pour chaque fraction et pour les 3 sites

	> 2mm	1-2mm	0,5-1mm	0,2-0,5mm	0,1-0,2mm	0,05-0,1mm	0-0,05mm
Chaume Maïs							
Ecart-type	0,81	0,06	0,30	0,61	0,72	0,93	0,21
Villamblain Colza							
Ecart-type	1,47	0,81	0,87	1,23	0,84	0,23	0,40
Château Blé							
Ecart-type	0,61	0,54	0,67	1,99	0,28	0,57	3,13

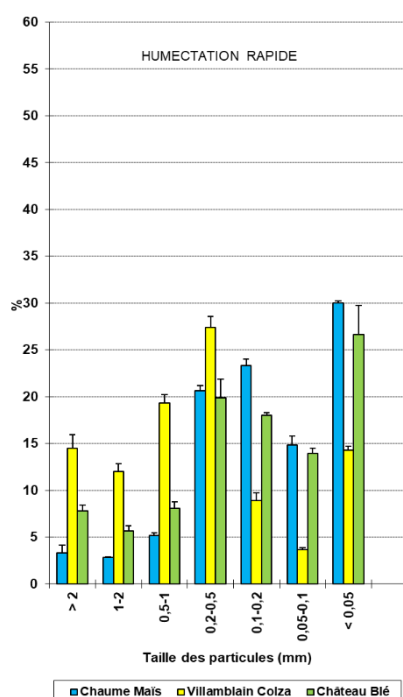


Figure 18 : Pourcentage en fonction de la taille des particules (mm) par fraction

Les moyennes des pesées pour chaque fraction sur les 3 sites ont été calculé et retranscrite dans la Figure 18. Les valeurs pour « Chaume Maïs » et « Château Blé » sont toujours similaires.

Pour chaque fraction >2mm, 1-2mm, 0,5-1mm, ces deux sites stagnent à environ 5-10% des particules totales avec un taux légèrement supérieur pour « Château Blé ». Puis, on constate une véritable augmentation du taux de particules à partir de la fraction 0,5-0,2mm (20%) qui diminue ensuite jusqu'à 15% et remonte à 25% pour les particules <0,05mm.

Pour « Villamblain Colza », le taux de particules pour les premiers tamis est nettement supérieur 15 à 20% jusqu'à atteindre plus de 25% pour la fraction 0,5-0,2mm. On a ensuite une baisse bien inférieure aux 2 autres sites (moins de 10%) pour les 3 dernières fractions 0,2-0,1mm, 0,1-0,05mm et <0,05mm.

Les agrégats de « Villamblain Colza » n'ont donc pas du tout réagit de la manière au traitement 3 que « Chaume Maïs » et « Château Blé ». La proportion des particules sur les premiers tamis

étant bien plus importante pour « Villamblain Colza », on peut donc en déduire que ce site à mieux résisté à l'humectation rapide que pour « Chaume Maïs » et « Château Blé » qui présentent plutôt des taux supérieurs sur les derniers tamis.

Ces tendances observées sont confirmées par le calcul du **MWD** (diamètre moyen pondéral, Figure 19). Le MWD permet de comparer la distribution des tailles des particules obtenues. Il est calculé automatiquement sur un tableur Excel.

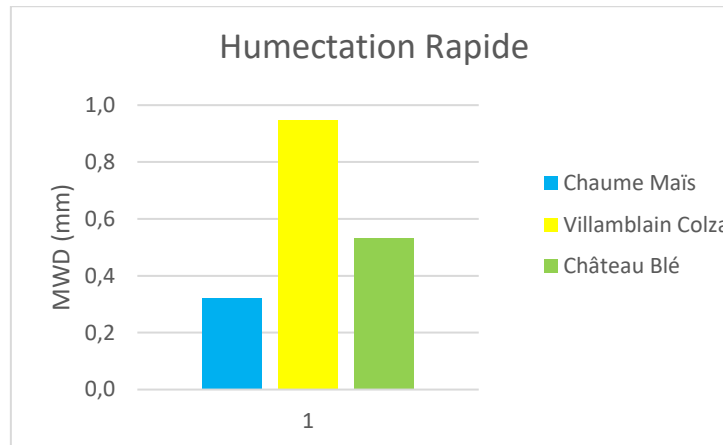


Figure 19 : Moyenne MWD (mm) sur les 3 essais pour chaque site

Tableau 1 : Classes de stabilité, battance et érosion en fonction de valeurs du diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD)

MWD	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
<0,4 mm	Très instable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4-0,8 mm	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toute situation
0,8-1,3 mm	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3-2,0 mm	Stable	Occasionnelle	Risque limité
>2,0 mm	Très stable	Très rare	Risque très faible

Figure 20 : Mode opératoire « Mesure de la stabilité des agrégats de sols » INRAE

Pour analyser cet histogramme, il est nécessaire d'utiliser le tableau d'interprétation proposé pour la méthode Le Bissonnais (figure 20). A partir de ce tableau et du graphique, on en déduit que :

- « Villamblain Colza » est un sol moyennement stable et le risque de ruissellement et d'érosion est « variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques ».
- « Chaume Maïs » et « Château Blé » sont des sols instables et dont le risque d'érosion/ruissellement est fréquent.

On s'est concentré ici sur le traitement 3 : Humectation rapide. Cependant, il est intéressant aussi de donner l'histogramme de la moyenne des MWD obtenues pour les 3 traitements. Il montre la similitude des résultats obtenues pour les 3 traitements en comparaison avec seulement le traitement 3 (Figure 21 : 1).

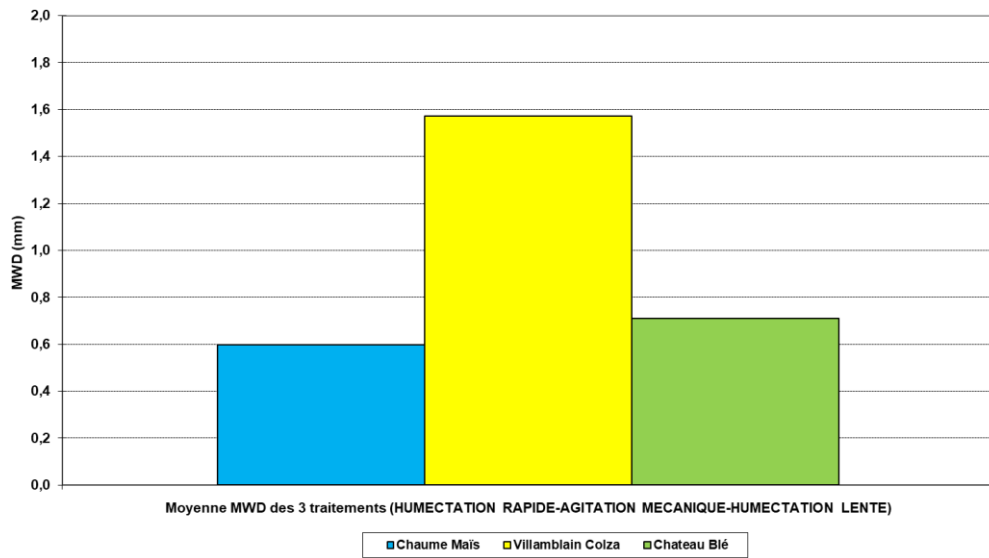


Figure 21 : Histogramme des moyennes MWD pour les 3 traitements

On retrouve ici les mêmes constatations que pour le traitement 3 (Figure 21) avec cependant un écart moins important du MWD entre « Chaume Maïs » et « Château Blé ».

IV. Conclusion

L'application Slakes donne des perspectives intéressantes pour des analyses rapides de l'état structural des sols. Pour qu'elle soit opérationnelle pour les sols français, il est nécessaire de définir sa fiabilité selon les types de sol. Ainsi la notion de répétabilité de l'expérience est actuellement au cœur du projet Slakes. Il s'agit en particulier de définir le nombre minimum de répétitions afin d'obtenir une évaluation fiable et cohérente.

Cet apport massif de données sur l'application est nécessaire pour le bon développement de celle-ci. L'un des objectifs du groupe de recherche est d'amasser un important jeu de données sur des situations différentes et contrastées. Pour ma part, j'ai donc analysé au total 2045 agrégats répartis sur les 3 sites (513 pour « Château blé », 797 pour « Chaume Maïs », 735 pour « Villamblain Colza »).

L'analyse des résultats permet de dégager des enseignements importants. On observe une sensibilité des résultats à différents paramètres du protocole. L'analyse de l'évolution des agrégats montre l'importance des facteurs suivants : la lumière et le risque accidentel d'ombrer ; la stabilité de structure (paillasse et installation) ; la couleur des agrégats ; la présence de bulles ; la présence de débris végétaux... L'identification de ces paramètres rappellent l'importance de mettre en place et de suivre un protocole expérimental rigoureux. Si ce type de protocole peut être suivi dans un cadre expérimental, la sensibilité des résultats à ses paramètres pose pour l'instant une difficulté pour une utilisation à grande échelle de l'application Slakes.

Les graphiques des moyennes mettent en évidence une grande variabilité des résultats lorsque l'on réalise peu de mesures. On constate clairement que l'augmentation du nombre de mesures permet de réduire la variabilité des résultats et donc d'améliorer leur fiabilité. On estime d'après le graphique (Figure 12) qu'une répétition supérieure à 20 passages permettrait de réduire suffisamment la variabilité et ainsi comparer la stabilité structurale de différents sols avec une précision des résultats suffisante. A titre d'exemple, sur les 3 sols analysés, on observe donc une meilleure stabilité structurale pour « Château Blé », puis « Villamblain Colza » et une stabilité légèrement plus faible pour « Chaume Maïs ».

Malgré ces résultats encourageants, il reste une incertitude forte sur les résultats proposés par l'application Slakes. Pour une utilisation à grande échelle, il sera encore nécessaire de la réduire.

La comparaison de la méthode Slakes avec l'expérience normée Le Bissonnais montre une cohérence globale des résultats mais une classification différente des 3 sites selon les deux méthodes. Cette différence peut s'expliquer par le niveau élevé d'incertitude des résultats et par la sensibilité de certains paramètres (lumière, couleur...) du protocole. Par ailleurs, pour une bonne comparabilité il serait nécessaire d'utiliser la même quantité de sol. La méthode Le Bissonnais utilise 15g de sol soit environ 200 à 250 agrégats alors que pour les premiers

résultats de la méthode Slakes nous en avons analysé 120 (3 agrégats * 40 passages) par téléphone et par sol.

La durée du stage ne m'a pas permis de comparer les résultats par type de téléphone. Cette comparaison est néanmoins nécessaire pour évaluer l'effet de la caméra et plus globalement de la qualité du téléphone sur les résultats. Le groupe du projet a fait par ailleurs ce type de comparaison.

La méthode Slakes présente cependant plusieurs avantages importants par rapport à l'expérience Le Bissonnais. Elle semble plus opérationnelle et diffusable largement en raison du temps nécessaire pour sa mise en œuvre, de son coût d'utilisation, et de l'utilisation de matériels classiques (téléphone et lampe). Des améliorations rapides semblent envisageables pour étalonner l'application et améliorer les algorithmes.

Le sol est une ressource non renouvelable essentielle et fragile qu'il faut préserver. Ce type d'application donnerait des indicateurs facilement accessibles aux utilisateurs des sols (agriculteurs, jardiniers, collectivités...) et permettrait ainsi de faciliter le suivi et l'évolution de l'état des sols. Ce projet répond parfaitement aux enjeux environnementaux actuels en apportant une réponse scientifique potentiellement opérationnelle dans les prochaines années.

Liste des figures et tableaux :

Liste des Figures

Figure 8 : Illustration des effets de l'érosion sur une parcelle agricole. Source : www.agrosup.fr

Figure 9 : Sols utilisés pour les mesures de stabilité structurales

Figure 10 : Organisation du plan de travail dans le laboratoire

Figure 4 : Délimitation des agrégats par Slakes

Figure 5 : Le dépose-agrégat

Figure 6 : Schéma de l'équation de la Gompertz

Figure 7 : Tamis de 50 um immergé dans l'éthanol

Figure 8 : Colonne de six tamis

Figure 9 : Agrégats du site Château Blé

Figure 10 : Boxplots pour les 40 passages sur le paramètre Asym (Thomas CHALAUX)

Figure 11 : Boxplots pour les 40 passages sur le paramètre SI600 (Thomas CHALAUX)

Figure 12 : Boxplots représentant les résultats Slakes en fonction de la moyenne à n valeurs aléatoires (Nicolas SABY, US INFOSOL)

Figure 13 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_C_17_bis2

Figure 14 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamBlainColza_F_17

Figure 15 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_E_17

Figure 16 : Photo de l'écran d'un téléphone lors du de l'analyse Slakes

Figure 17 : Graphique des courbes d'évolution des 3 agrégats pour l'expérience VillamblainColza_G_17

Figure 18 : Pourcentage en fonction de la taille des particules (mm) par fraction

Figure 19 : Moyenne MWD (mm) sur les 3 essais pour chaque site

Figure 20 : Mode opératoire « Mesure de la stabilité des agrégats de sols » INRAE

Figure 21 : Histogramme des moyennes MWD pour les 3 traitements

Liste des Tableaux

Tableau 1. Référentiel d'interprétation des résultats de Slakes

Tableau 2. Nombre d'agrégats analysé par site

Tableau 3. Tableau des écarts-type obtenus pour chaque fraction et pour les 3 sites

Bibliographie :

Commissariat général au développement durable. *Rapport de synthèse, L'environnement en France*, La Documentation Française (ed.), 2019.

FAJARDO, MCBRATNEY, MINASNY et al. *Soil slaking assessment using image recognition*. Soil and Tillage Research 163, 119-129p.

L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols. Gis Sol, 2011 188 p.

LE BISSONNAIS Y, *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility .1. Theory and methodology*. Eur. J. Soil Sci. 47(4), 1996, 425-437 p.

LE BISSONNAIS Y, LE SOUDER C, *Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion*. Etude et Gestion des Sols, Association Française pour l'Etude des Sols, 2 (1),1995, pp.43-56. (hal-02708115)

« *Les sites et sols pollués. L'environnement en France, Rapport sur l'état de l'environnement* ». Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019. Disponible sur : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/risques-nuisances-pollutions/pollution-des-sols/sites-et-sols-pollues/article/les-sites-et-sols-pollues> (consulté le 18/06/2021)

THORETTE J, LE BISSONNAIS Y, « *L'érosion des sols, un phénomène à surveiller* » in IFEN septembre 2005, n°106.

« *Quel est le pouvoir des sols* ». Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017. Disponible sur : [Quels sont les pouvoirs des sols ? | Ministère de la Transition écologique \(ecologie.gouv.fr\)](https://ecologie.gouv.fr) (consulté le 10/06/2021)

Résumé

L'application smartphone Slakes est une véritable innovation dans le domaine des sciences du sol. Elle permet l'analyse de la stabilité structurale d'un sol en mettant en place un protocole simple, accessible et rapide. Elle propose une évaluation en calculant le taux de désagrégation par humectation rapide (les agrégats sont plongés 10 minutes dans l'eau).

Pour proposer cette application au grand public, il est encore nécessaire de réaliser des mesures en laboratoire de recherche pour notamment déterminer le niveau de fiabilité des résultats. La répétabilité de l'expérience est nécessaire pour permettre d'analyser précisément ces résultats. Pour ce stage, Slakes a été expérimenté sur 3 sols différents et 7 téléphones différents. Pour l'étude des résultats, 40 passages sur l'application ont été mises en place sur chaque sol et téléphone. On observera une tendance donnée d'un sol plus stable pour « Château Blé », puis « Villamblain Colza » et enfin « Chaume Maïs »

Les expérimentations montrent qu'une quinzaine de passages sur Slakes sembleraient nécessaires pour obtenir une moyenne des résultats vraisemblable et précise. Néanmoins, une importante variabilité des notes proposées par Slakes persiste. Dans l'objectif de connaître la fiabilité de l'application Slakes, la méthode normée Le Bissonnais a aussi été mise en place sur les 3 sols pour comparer les résultats.

Même si aujourd'hui, on note une part importante d'incertitude des résultats, ce projet a un fort potentiel. Des améliorations de l'algorithme Slakes pourraient permettre de mieux délimiter les agrégats, et des modifications du protocole contribueraient à affiner la précision des résultats.

Abstract

The Slakes smartphone application is a real innovation in the field of soil science. It allows the analysis of the structural stability of a soil by setting up a simple, accessible and fast protocol. It proposes an evaluation by calculating the rate of disintegration by rapid irrigation (the aggregates are immersed 10 minutes in water).

To propose this application to the general public, it is still necessary to carry out measurements in a research laboratory to determine the level of reliability of the results. The repeatability of the experiment is necessary to analyze precisely these results. For this internship, Slakes was tested on 3 different soils and 7 different phones. For the study of the results, 40 runs on the application were set up on each floor and phone. We can observe a given tendency of a more stable soil for " Château Blé ", then " Villamblain Colza " and finally " Chaume Maïs ".

The experiments show that about fifteen runs on Slakes would seem to be necessary to obtain a plausible and precise average of the results. Nevertheless, an important variability of the scores proposed by Slakes persists. In order to know the reliability of the Slakes application, the standardized Le Bissonnais method was also implemented on the 3 soils to compare the results.

Even if today there is a significant amount of uncertainty in the results, this project has a strong potential. Improvements to the Slakes algorithm could allow for better delineation of aggregates, and modifications to the protocol would help refine the accuracy of the results.

Annexe

Annexe I : Visite du CEES

J'ai eu la chance de visiter le Conservatoire Européen des Echantillons de Sols qui se trouve sur le site de l'INRAE d'Orléans. Ce bâtiment unique en France conserve tous les échantillons de sol français prélevés pour les campagnes RMQS. Les prélèvements de sol RMQS ont pour but d'établir une carte française précise sur de nombreuses caractéristiques liées à la qualité de nos sols. La campagne RMQS permet de cartographier les propriétés physico-chimiques des sols et de suivre leurs évolutions. Une campagne RMQS dure 15 ans. La première a commencé en 2000. Aujourd'hui une deuxième campagne est en cours jusqu'à 2030. Les échantillons arrivent donc au fur et à mesure dans le CNESS.



Source : Olivier Bertel (INRAE Orléans)

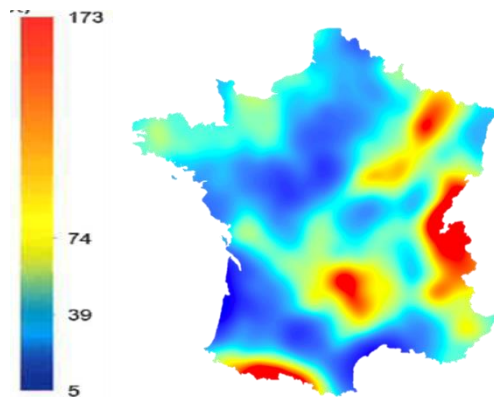
Les prélèvements des sites RMQS nécessitent le suivi d'un protocole précis :

Pour avoir une réelle représentation des sols français, un grillage cartographié de 16km sur 16km quadrille le territoire. A chaque carré, il existe un point de prélèvement RMQS. Il existe donc 2240 sites RMQS répartis partout en France.

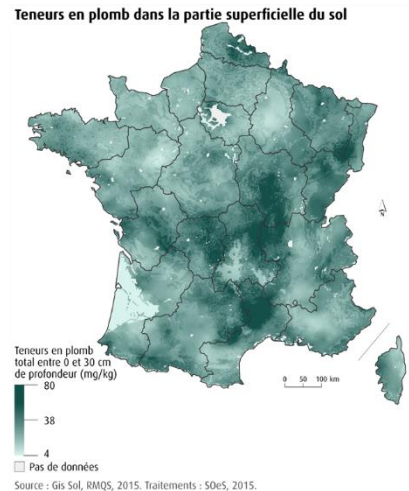
On prélève sur une zone de 40m² (là aussi quadrillée), plusieurs échantillons à différentes profondeurs par système de carottage : l'horizon 0, la couche de surface (0-30cm), la couche de subsurface (30-50cm) et deux couches de profondeur (50-75cm et 75-100cm).

Ces sites RMQS sont ensuite stockés au conservatoire où ils sont utilisés pour de nombreuses analyses/expériences. On étudie les paramètres pédologiques (Ph, granulométrie, C/N/P...), les contaminants présents (micropolluants, microorganismes pathogènes...), le stockage du carbone, l'activité enzymatique, la faune du sol... Le programme RMQS permet donc l'évaluation et le suivi à long terme de la qualité des sols sur le territoire français et c'est une vraie chance d'avoir pu visiter le conservatoire qui y est associé. J'ai de plus, eu l'occasion de mettre en place la manipulation technique principale de mon stage sur certains échantillons RMQS2.

Exemple de résultats issus du RMQS :



Biomasse bactérienne (µg ADN/g sol) Source :
Unité INFOSOL INRAE



Source : Unité INFOSOL INRAE

Annexe II : Départements et Orientations de l'INRAE

Les départements

Les recherches d'INRAE sont conduites au sein de 14 départements scientifiques qui animent des communautés de recherche disciplinaires, et encouragent l'interdisciplinarité.

AGROENV
Conception et évaluation des agroécosystèmes ; compréhension de leur fonctionnement et de leur évolution à différentes échelles d'organisation
Chef de département : Philippe Hinsinger

ALIM. H
Relations alimentation, santé, environnement et société ; sécurité nutritionnelle et toxicologique des aliments
Chef de département : Jean Dallongeville

AQUA
Fonctionnement et évolution des écosystèmes aquatiques, du cycle de l'eau et des cycles biogéochimiques
Chef de département : Mohamed Naaim

BAP
Compréhension des grandes fonctions du végétal ; gestion et valorisation de la diversité génétique
Cheffe de département : Isabelle Litrico-Chiarelli

ECOFA
Structure, fonctionnement et évolution des écosystèmes continentaux faiblement anthropisés
Cheffe de département : Catherine Bastien

ECOSOCIO
Fonctionnement et évolutions économiques et sociales de l'agriculture, des industries agroalimentaires, de l'alimentation et de l'environnement
Chef de département : Alban Thomas

G.A.
Dynamique évolutive et fonctionnement des génomes animaux ; architecture génétique des caractères ; gestion et valorisation de la variabilité génétique
Cheffe de département : Edwige Quillet

NUMM
Mathématique, informatique et intelligence artificielle ; sciences et technologies des données et du numérique ; modélisation et systèmes complexes
Chef de département : Hervé Monod

S.A.
Santé des animaux d'élevage en lien avec la santé humaine : prévenir, détecter et lutter contre les maladies dues aux agents infectieux et chimiques
Cheffe de département : Muriel Vayssier-Taussat

TERRA
Transformations de l'agriculture, des systèmes socio-écologiques et des systèmes alimentaires, du point de vue des acteurs et de leurs actions
Chef de département : Benoît Dedieu

MICA
Fonctionnement, gestion et valorisation des microorganismes et des écosystèmes microbiens (alimentation, santé, biotechnologies)
Cheffe de département : Sylvie Dequin

PHASE
Conception de systèmes d'élevage durables favorisant le bien-être animal ; mécanismes d'élaboration des phénotypes, des comportements et des produits
Cheffe de département : Françoise Médale

S.P.E.
Protection et santé des cultures dans le respect de l'environnement, de la plante au paysage
Chef de département : Christian Lannou

TRANSFORM
Processus de transformation des matières organiques en aliments et produits bio-sourcés ; valorisation des résidus de l'activité humaine
Chef de département : Michael O'Donohue

Figure 11 : Présentation des départements de l'INRAE

Source : Plaquette présentation de l'INRAE, 2020

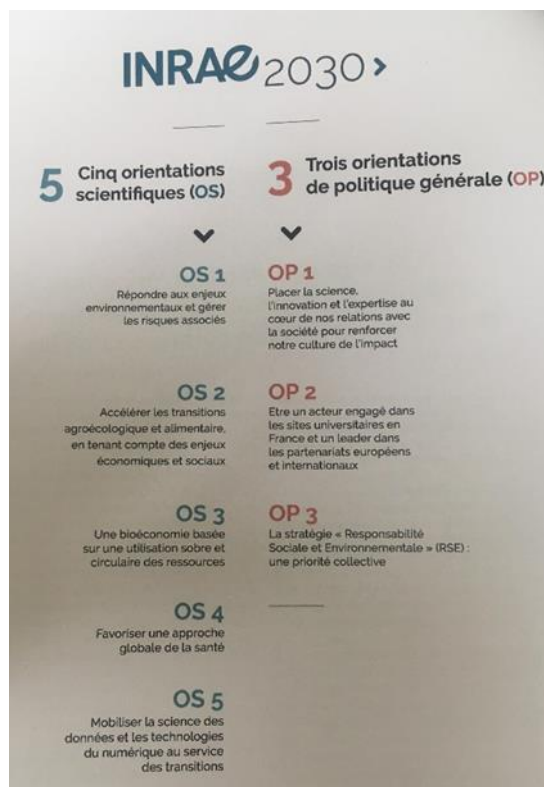


Figure 12 : Les orientations politiques et scientifiques pour 2030

Source : INRAE 2030 « Partageons la science et l'innovation pour un avenir durable »

Annexe III : Résultats des pesées pour la méthode Le Bissonnais

Villamblain Colza :

Répétition	Total	> 2mm	1-2mm	0,5-1mm	0,2-0,5mm	0,1-0,2mm	0,05-0,1mm	0-0,05mm
1	5,523	0,71	0,658	1,049	1,562	0,533	0,210	0,801
2	5,459	0,856	0,613	1,019	1,52	0,493	0,202	0,756
3	5,156	0,771	0,662	1,047	1,339	0,412	0,173	0,752

Chaume Mais :

Répétition	Total	> 2mm	1-2mm	0,5-1mm	0,2-0,5mm	0,1-0,2mm	0,05-0,1mm	0-0,05mm
1	5,265	0,146	0,151	0,286	1,111	1,253	0,744	1,574
2	5,329	0,226	0,147	0,258	1,062	1,197	0,847	1,592
3	5,582	0,163	0,156	0,287	1,16	1,318	0,810	1,688

Château Blé :

Répétition	Total	> 2mm	1-2mm	0,5-1mm	0,2-0,5mm	0,1-0,2mm	0,05-0,1mm	0-0,05mm
1	5,17	0,44	0,32	0,446	1,145	0,939	0,69	1,19
2	5,178	0,385	0,295	0,38	0,954	0,938	0,75	1,476
3	5,347	0,4	0,273	0,445	1,02	0,944	0,748	1,517