

Compilation et traitement des données d'analyse de sol du Canton de Genève dans le cadre du projet OPER.

Dossier de stage - Certificat complémentaire en géomatique, UNIGE, 2023

Stage réalisé dans le groupe de recherche Sols et substrat, filière agronomie, HEPIA

Amandine Fontaine

Sommaire

Sommaire	i
Table des illustrations.....	iii
Figures	iii
Tableau	v
Glossaire	vi
Résumé.....	vii
1. Présentation de l'organisme hôte	1
2. Introduction.....	1
2.1. Le sol, une interface aux multiples fonctions.....	1
2.2. La matière organique, composant majeur de la qualité des sols.....	1
2.3. L'acidité du sol, un facteur qui influence la productivité agricole	2
2.4. Analyses de sol réalisées pour les prestations écologiques, une source de données sur les sols agricoles genevois	2
2.5. Le projet OPER, création d'un outil pour évaluer les stocks de carbone du sol et leur évolution	3
2.6. Un travail de stage dans la continuité du projet OPER	5
3. Données.....	5
4. Méthodologie	6
4.1. Adaptation de la base de données du laboratoire d'analyse des sols	6
4.2. Lien entre la base de données et la carte des parcelles agricoles recensées	8
4.3. Calcul du ratio MO/A.....	8
4.4. Création des rasters pour la MO, le pH et le ratio MO/A.....	9
4.5. Création d'une mosaïque temporelle par pixel pour chaque variable d'intérêt	11
4.6. Création d'un raster binaire pour illustrer la densité d'analyses de la teneur en MO sur le Canton de Genève	13
4.7. Calcul des moyennes par pixel pour la MO, le rapport MO/A et le pH.....	13
4.8. Evolution de l'indice de vulnérabilité MO/A par pixel pour des points précis.....	14
5. Présentation et commentaires des résultats obtenus	16
5.1. Statistiques générales	16
5.2. Profils d'évolution de la teneur en MO	17
5.3. Profils d'évolution du rapport MO/A	19
5.4. Profil d'évolution du pH	24

5.5. Vulnérabilité moyenne des sols agricoles en fonction du type de sol	26
6. Conclusion	27
7. Réflexions sur le déroulement du stage.....	27
Bibliographie.....	28
Annexes	30
Annexe 1 : Métadonnées de la couche <i>EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES</i>	30
Annexe 2 : Métadonnées de la couche <i>EIL_CARTE_PEDO_SOLS_AGRICOLES</i>	33
Annexe 3 : Métadonnées de la couche <i>AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE</i>	36
Annexe 4 : Guide d'utilisation du Formulaire de demande d'analyse des sols.....	39
Annexe 5 : Carte de la densité d'analyse de la teneur en MO sur le Canton de Genève entre 1993 à 2023.....	44
Annexe 6 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications	45
Annexe 7 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro.....	47
Annexe 8 : Valeurs moyenne de MO/A pour chaque type de sol	49
Annexe 9 : Carte des indices de vulnérabilité moyens de la structure des sols agricoles genevois, en fonction du type de sol, sur la période de 1993 à 2023.....	50

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Schéma d'assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du pH du sol (Genot et al., 2009).	2
Figure 2 : Première partie du formulaire de demande d'analyse sur l'interface Anasol (Annexe 1).....	4
Figure 3 : Workflow de la demande d'analyse PER aux résultats archivés (Dubois et al., 2021).....	4
Figure 4 : Liste des parcelles avec un identifiant unique pour les années 2022 et 2023 avant modifications (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).	6
Figure 5 : Liste des parcelles avec un identifiant unique pour les années 2022 et 2023 après modifications (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).	7
Figure 6 : Outil Add Join du logiciel ArcGis Pro utilisé pour lier la base de données du laboratoire (LABO.csv) à la carte des parcelles agricoles recensées (AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE).....	8
Figure 7 : Outil Calculate Field utilisé pour (a) calculer le ratio MO/A pour la période de 1993 à 2019. (b) calculer du ratio MO/A pour 2022 et 2023.....	9
Figure 8 : Model Builder intitulé « Rasters19932019 » utilisé pour la création des rasters pour les données de MO, pH et MO/A pour la période de 1993 à 2023 (hors pH pour l'année 2022).....	10
Figure 9 : Model builder intitulé « Rasters20222023 » utilisé pour la création des rasters pour les données de MO, de pH (à gauche) et pour le ratio MO/A des années 2022 et 2023 (à droite).....	11
Figure 10 : Model builder intitulé « CreateMosaicMO » utilisé pour la création d'une mosaïque comprenant les rasters pour les teneurs en MO obtenues entre 1993 et 2023.	12
Figure 11 : Outil Calculate Field utilisé pour la création des données pour le champ Année de la table attributaire de la mosaïque pour la teneur en MO.....	12
Figure 12 : Outil Plus propriétés utilisé pour additionner successivement les différents rasters binaires et créer une carte de la répartition des analyses qui prenaient en compte la teneur en MO, réalisées dans les 20 dernières années.	13
Figure 13 : Aperçu du Model builder intitulé « MoySol » utilisé pour extraire les valeurs moyenne de MO/A par type de sol et par année (résolution de 2 m par 2 m). L'outil utilisé est Zonal Statistics as Table.....	14
Figure 14 : Outil Create Random Points utilisé pour créer une couche des points aléatoirement sur la carte.....	15
Figure 15 : Carte des points créés aléatoirement sur la carte.	15
Figure 16 : Mosaïque temporelle représentant le taux de matière organique des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m).....	17
Figure 17 : Cartes des teneurs en matière organique des sols des parcelles agricoles genevoises mesurées en 1993, 2003, 2013 et 2023. Exprimées par pixel (résolution de 2 m par 2 m).	18
Figure 18 : Teneurs moyenne, maximale et minimale en matière organique des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.....	19

Figure 19 : Mosaïque de raster temporelle représentant le seuil de vulnérabilité (Johannes et al., 2017) des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m).	20
Figure 20 : Carte des indices de vulnérabilité (Johannes et al., 2017) des sols des parcelles agricoles genevoises analysés en 1993, 2003, 2013 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m).	21
Figure 21 : Valeurs moyenne, maximale et minimale du rapport MO/A des sols agricoles genevois..	22
Figure 22 : Mosaïque temporelle représentant l'acidité des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023. Les valeur seuils proviennent du Référentiel pédologique 2008 (Baize, 2009).	24
Figure 23: Valeurs moyenne, maximale et minimale de pH des sols agricoles genevois.	25
Figure 24 : Valeurs moyennes d'indice de vulnérabilité MO/A exprimées par pixel, par type de sol pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023. Exprimées par pixel (2 m par 2 m).	26
Figure 25: exemple de fichier PDF à signer	43
Figure 26 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 1). Les colonnes A à H ont été remplies à partir de 2003 (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA)....	45
Figure 27: Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 2) (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).	45
Figure 28: Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 3) (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).	46
Figure 29: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro. Les colonnes A à H ont été remplies à partir de 2003 (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).....	47
Figure 30: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).....	47
Figure 31: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).....	48
Figure 32: Carte des indices de vulnérabilité moyens de la structure des sols agricoles genevois, en fonction du type de sol, sur la période de 1993 à 2023 (résolution de 2 m par 2 m).....	50

Tableau

Tableau 1 : Statistiques descriptives des mosaïques temporelles des paramètres d'intérêt (pH, MO et MO/A) avec une résolution de 2 m par 2 m. L'étendue des données est le Canton de Genève, et la temporalité s'étend de 1993 à 2023.	16
Tableau 2 : Teneurs moyenne, maximale et minimale en matière organique des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.	19
Tableau 3 : Valeurs moyenne, maximale et minimale du ratio MO/A des sols agricoles genevois. e..	21
Tableau 4 : Valeurs moyenne de MO/A pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023 extraites grâce à l'outil Extract Multi Values to Points.	23
Tableau 5 : Valeurs moyenne, maximale et minimale de pH des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.	25
Tableau 6 : Valeurs moyenne de MO/A des sols agricoles genevois, par pixel, pour chaque type de sol, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.	49

Glossaire

ANASOL : Administration des demandes d'analyse de sol. Il s'agit d'une plateforme numérique permettant aux agriculteur.ices de rentrer les données relatives aux échantillons pour les analyses de sol de leur parcelles (à réaliser tous les 10 ans dans le cadre des PER). Ces données sont ensuite stockées sous un format qui permettra un géoréférencement automatisé.

MO : Matière organique exprimée en pourcentage.

MO/A : rapport issu de la teneur en matière organique divisé par la teneur en argile. Exprimé en pourcentage. Indice de la vulnérabilité de la structure d'un sol.

OCAN : Office Cantonal de l'Agriculture et de la Nature.

OFAG : Office Fédérale de l'Agriculture.

OPER : Outil de géoréférencement automatisé des analyses de sol agricoles. L'objectif est de produire une interface web permettant d'archiver automatiquement les analyses de sol faites dans le cadre des PER, sans imposer d'acte supplémentaire au laboratoire et à l'agriculteur.ice.

PER : Prestations écologiques requises. Conditions nécessaires à l'obtention des paiements directs en agriculture. Ces conditions comprennent notamment l'analyse des sols des parcelles tous les 10 ans.

pH : potentiel hydrogène. Sans unité.

inTNP : Institut Terre-Nature-Paysage. Institut de recherche de l'HEPIA constitué des filières *Agronomie, Gestion de la nature et Architecture du paysage*.

Résumé

Le sol joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres en remplissant diverses fonctions cruciales. Le carbone organique (Corg), qui représente environ 60 % de la matière organique des sols (Boivin et al., 2021), est un composant majeur qui influence la qualité des sols, en particulier leur fertilité physique et chimique (Dupla et al., 2021 ; Bünemann et al., 2018 ; Kay, 1998 ; King et al., 2020). Le concept de saturation de l'argile par le Corg, traduit par le rapport Corg/argile (ou MO/argile), est considéré comme un paramètre essentiel pour évaluer la qualité du sol (Dexter et al., 2008). L'acidité d'un sol affecte l'activité microbienne, la solubilité des éléments nutritifs, ainsi que la stabilité structurale du sol. Ainsi, la régulation du pH du sol est essentielle pour optimiser la croissance des cultures, améliorer l'utilisation des engrais et maintenir la santé globale des écosystèmes terrestres.

Selon l'Ordonnance sur les paiements directs (OFAG, 2023), les agriculteur.ices du Canton de Genève doivent faire analyser le sol de leurs parcelles cultivées au moins une fois tous les 10 ans auprès du laboratoire de leur choix. Connues sous le nom d'analyses *PER* (prestations écologiques requises), elles comprennent notamment la mesure de la teneur en matière organique (MO) et le pH. Dans le Canton de Genève, les analyses sont automatiquement archivées sur un Système d'Information Géographique (SIG) depuis 1993.

Le projet OPER a été mené par le groupe de recherche *Sols et Substrats* de l'HEPIA, à la demande de l'Office Fédérale de l'Environnement (OFEV). L'objectif était de produire une interface web permettant d'archiver automatiquement les analyses de sol faites dans le cadre des PER, sans imposer d'acte supplémentaire au laboratoire et à l'agriculteur.ice. Le travail présenté dans ce rapport est la suite des travaux de géomatique d'Alice Johannes, Luc Rebetz et Marie Palman (anciennement Fournier). Il s'agit de la création de cartes au format raster qui permettent de visualiser les résultats des analyses de sol réalisées entre 1993 et 2023. L'objectif est également d'analyser l'évolution du taux de MO, le ratio MO/Argile, ainsi que les valeurs de pH des sols agricoles du Canton de Genève sur 30 ans. Le programme utilisé est ArcGis Pro (ArcGIS Pro 3.1.3, Esri, Redlands, CA).

La création de mosaïques temporelles a permis de visualiser l'évolution, entre 1993 et 2023, des résultats des analyses des sols agricoles pour les paramètres d'intérêt. L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence la stabilité du pH sur le long terme, une légère augmentation de la MO, ainsi qu'une diminution de la vulnérabilité des sols, cela indépendamment de leur nature pédologique.

Les résultats d'analyses PER représentent une mine de données pour suivre la qualité des sols qui revêt une importance particulière pour l'agriculture et la résilience locale, tant sur le plan social qu'environnemental. Ces données offrent une formidable base de discussion pour la mise en œuvre de mesures et l'évaluation de l'efficacité des décisions politiques. Dans ce contexte, il est important de gérer et analyser les données de manière fiable afin d'avoir une base de réflexion solide.

Il pourrait être envisagé de créer un cube spatio-temporel pour organiser le stockage, la gestion et l'analyse des données, facilitant ainsi la détection de tendances, de changements environnementaux et de modèles spatiaux, rendant ainsi les données plus accessibles et compréhensibles pour les utilisateurs. Le programme ArcGIS Pro et sa suite de logiciels s'avèrent être des outils adaptés pour cela, offrant un contenu d'aide complet (forums, vidéos, documentation), pour permettre aux utilisateurs de tirer pleinement parti de ces informations dans leurs analyses et leurs représentations.

Mots-clés : cartographie, raster, mosaïque, Model builder, sols, analyses de sol, prestation écologique requise (PER), évolution, matière organique (MO), pH, argile, ArcGIS Pro.

1. Présentation de l'organisme hôte

Le groupe Sols et Substrats fait partie de la filière Agronomie de l'HEPIA. En plus des activités d'enseignement, la filière est membre de l'institut Terre-Nature-Paysage (inTNP). Les principaux axes de recherches du groupe sont les sols urbains et plantations urbaines ; la qualité des sols cultivés ; la caractérisation physique des sols et de la structure ; les technosols épurateurs ; ainsi que les substrats multifonctionnels pour plantations et toitures. Le groupe fournit également des prestations de services, via le laboratoire d'analyse des sols qui propose des analyses de sol pour les agriculteur.ices du Canton.

Le stage a débuté le 1^{er} juin 2023 et s'est achevé le 15 janvier 2024. Soit une durée de 6 mois à un taux d'activité de 30 %.

2. Introduction

2.1. Le sol, une interface aux multiples fonctions

Le sol joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres en remplissant diverses fonctions cruciales. Tout d'abord, il constitue un support vital pour la croissance des plantes en fournissant un ancrage stable et un approvisionnement en nutriments. Ensuite, le sol agit comme un filtre naturel en participant au cycle de l'eau, en régulant les flux d'eau et en filtrant les contaminants, contribuant ainsi à la qualité de l'eau. De plus, il héberge une biodiversité riche, abritant une multitude de micro-organismes, d'insectes, de vers et d'autres organismes vitaux pour le recyclage des nutriments et le maintien de la santé des écosystèmes. Le sol agit également comme un réservoir de carbone, participant ainsi au cycle du carbone et à la régulation du climat. Enfin, il offre des services écosystémiques cruciaux tels que la régulation du climat, la provision de nourriture et de matières premières, et la préservation de la fertilité des terres.

Ces multiples fonctions du sol soulignent son rôle irremplaçable dans la préservation de la vie sur Terre et la soutenabilité des systèmes naturels et agricoles.

2.2. La matière organique, composant majeur de la qualité des sols

La matière organique du sol (MO) désigne le carbone demeurant dans le sol après la décomposition partielle de tout matériau vivant, qu'il soit d'origine végétale ou animale. Cet élément est principalement concentré dans la fine couche superficielle du sol, à une profondeur variant généralement de 0 à 20-30 cm. Le carbone organique (Corg), qui représente environ 60 % de la matière organique des sols (Boivin et al., 2021), est un composant majeur qui influence la qualité des sols, en particulier leur fertilité physique et chimique (Dupla et al., 2021 ; Bünemann et al., 2018 ; Kay, 1998 ; King et al., 2020).

Le concept de saturation de l'argile par le Corg, traduit par le rapport Corg/argile (ou MO/A), est considéré comme un paramètre essentiel pour évaluer la qualité du sol (Dexter et al., 2008). Dans leurs études, Johannes et al. (2017) ainsi que Prout et al. (2021), ont établi la relation linéaire entre la qualité moyenne des sols et le rapport MO/argile. Johannes et al. (2017), ont notamment défini des seuils considérés comme des indices de vulnérabilité de la structure d'un sol. Ces limites permettent de quantifier la vulnérabilité de la structure des sols cultivés. Moins les sols sont vulnérables, plus ils sont capables de résister aux stress climatiques et mécaniques et plus ils se régénèrent facilement en cas d'atteinte (résilience).

Ainsi :

- Un rapport inférieur à 12 % indique des sols très pauvres et une forte probabilité de structure dégradée. Ces sols ne peuvent remplir leurs fonctions à long terme et doivent être réhabilités.
- Entre 12 et 17 %, les teneurs en MO sont insuffisantes pour que les sols remplissent toutes leurs fonctions. La structure est vulnérable. L'amélioration est nécessaire.
- 17% est le seuil de qualité minimal. La structure reste vulnérable.
- 24 % est le seuil de qualité optimal pour la fonctionnalité à long terme. La vulnérabilité de la structure est alors minimale.

Par ailleurs, le concept de saturation des argiles peut être utilisé pour estimer le potentiel de séquestration du carbone dans le sol, comme l'ont mis en évidence les travaux de Chen et al. (2019). En somme, l'augmentation de la teneur en matière organique des sols agricoles suisses reste un sujet de recherche fondamental, crucial pour une gestion durable des ressources agricoles et environnementales.

2.3. L'acidité du sol, un facteur qui influence la productivité agricole

L'acidité d'un sol affecte l'activité microbienne, la solubilité des éléments nutritifs, ainsi que la stabilité structurale du sol. Les cultures ont des exigences spécifiques en potentiel hydrogène (pH) : certaines prospèrent dans des sols légèrement acides, tandis que d'autres préfèrent des sols neutres ou alcalins (Figure 1). Le pH optimal pour l'assimilation des principaux éléments fertilisants peut être fixé entre 6,5 et 7,5 (en sols non calcaires) (Baize, 2018). En dessous d'un pH de 5, la présence d'aluminium échangeable entraîne des risques de toxicité pour certaines plantes comme le blé ou l'orge (Baize, 2018). De plus, à partir de pH 6,5 il y a un risque de dispersion des argiles (Julien et Tessier, 2021).

Ainsi, la régulation du pH du sol est essentielle pour optimiser la croissance des cultures, améliorer l'utilisation des engrais et maintenir la santé globale des écosystèmes terrestres.

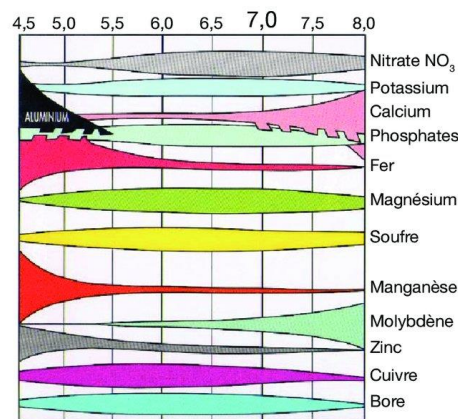


Figure 1 : Schéma d'assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du pH du sol (Genot et al., 2009).

2.4. Analyses de sol réalisées pour les prestations écologiques, une source de données sur les sols agricoles genevois

Selon l'Ordonnance sur les paiements directs (OFAG, 2023), les agriculteur.ices du Canton de Genève doivent faire analyser le sol de leurs parcelles cultivées au moins une fois tous les 10 ans auprès du laboratoire de leur choix. Ces analyses font partie des prestations écologiques requises (PER) pour l'obtention des paiements directs (subventions). Connues sous le nom d'analyses PER, elles comprennent notamment la mesure de la teneur en MO et le pH. Dans le Canton de Genève, les

analyses sont automatiquement archivées sur un Système d'Information Géographique (SIG) depuis 1993.

Depuis 2017, l'Office Cantonal de l'Agriculture et de la Nature (OCAN) a mis en place un nouveau système de numérotation et de référencement géographique des parcelles agricoles genevoises. Ce nouvel identifiant parcellaire unique n'est plus basé sur le numéro de commune et le numéro cadastral (Dubois et al., 2021). La parcelle est désormais délimitée par l'exploitant lui-même.

Chaque année, entre les mois de janvier et d'avril, les agriculteur.ices ont obligation de renseigner leur plan de culture de l'année à venir. Les surfaces agricoles sont saisies par les agriculteur.ices dans le système en ligne GeoACORDA¹, puis validées par le Service de l'agriculture Cantonal, avant d'être transmises au portail inter-Cantonal (geodienst.ch). Cela permet d'obtenir et de distribuer des géodonnées et des géoservices² (Dubois et al., 2021). Ce processus génère un identifiant unique sous la forme d'un numéro comprenant un à six chiffre(s), contenant le préfixe GE ainsi que l'année correspondante. L'identifiant unique permet de renseigner automatiquement le numéro de parcelle et d'exploitant. Par soucis d'homogénéisation et de facilitation de transfert de donnée, le laboratoire des Sols d'HEPIA utilise le même outil de référencement des parcelles depuis 2020.

2.5. Le projet OPER, création d'un outil pour évaluer les stocks de carbone du sol et leur évolution

Le projet OPER a été mené par le groupe de recherche *Sols et Substrats* de l'HEPIA, à la demande de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV). L'objectif était de produire une interface web permettant d'archiver automatiquement les analyses de sol faites dans le cadre des PER, sans imposer d'acte supplémentaire au laboratoire et à l'agriculteur.ice. Les Cantons et la Confédération disposeraient ainsi d'un outil de base très performant et quasi sans coût pour évaluer les stocks de carbone du sol et leur évolution.

Le produit de ce projet est l'interface Web nommée *Anasol*. Cette dernière « comprend un formulaire de demande d'analyse à remplir en ligne qui permet à l'agriculteur.ice de choisir le laboratoire, le type d'analyse souhaité et de choisir, via une interface géographique, la parcelle pour laquelle il [ou elle] réalise une demande (Figure 2). Le principe est d'associer directement au moment de la demande d'analyse de sol, le numéro d'identification de l'exploitant agricole et de la parcelle, permettant en fin de processus de lier les valeurs d'analyses avec la géométrie de la parcelle. » (Dubois et al., 2021)

¹ GeoACORDA est l'outil de saisie de la géoréférence des surfaces agricoles développé par AGRIDEA pour les cantons de Genève, Jura, Neuchâtel et Vaud, <https://www.acorda.ch/>.

² <https://geodienst.ch/>

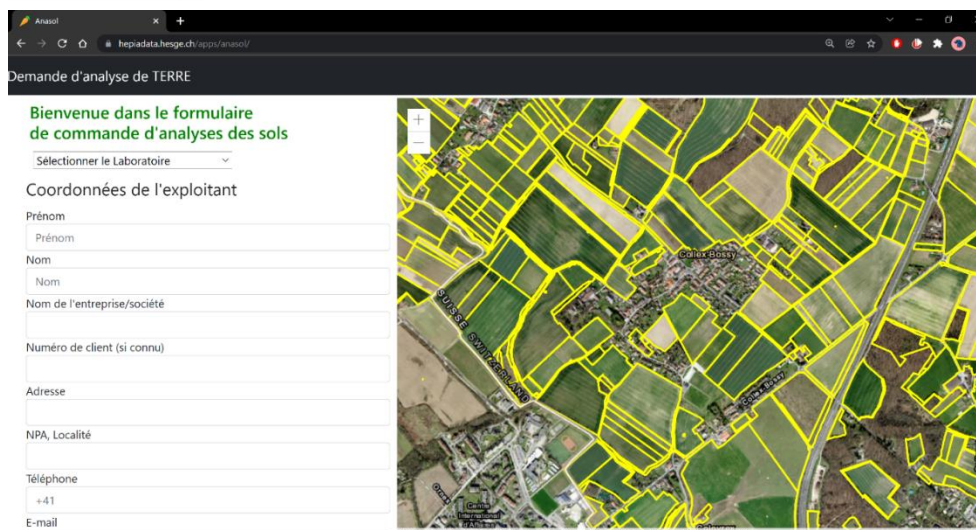


Figure 2 : Première partie du formulaire de demande d'analyse sur l'interface Anasol (Annexe 1).

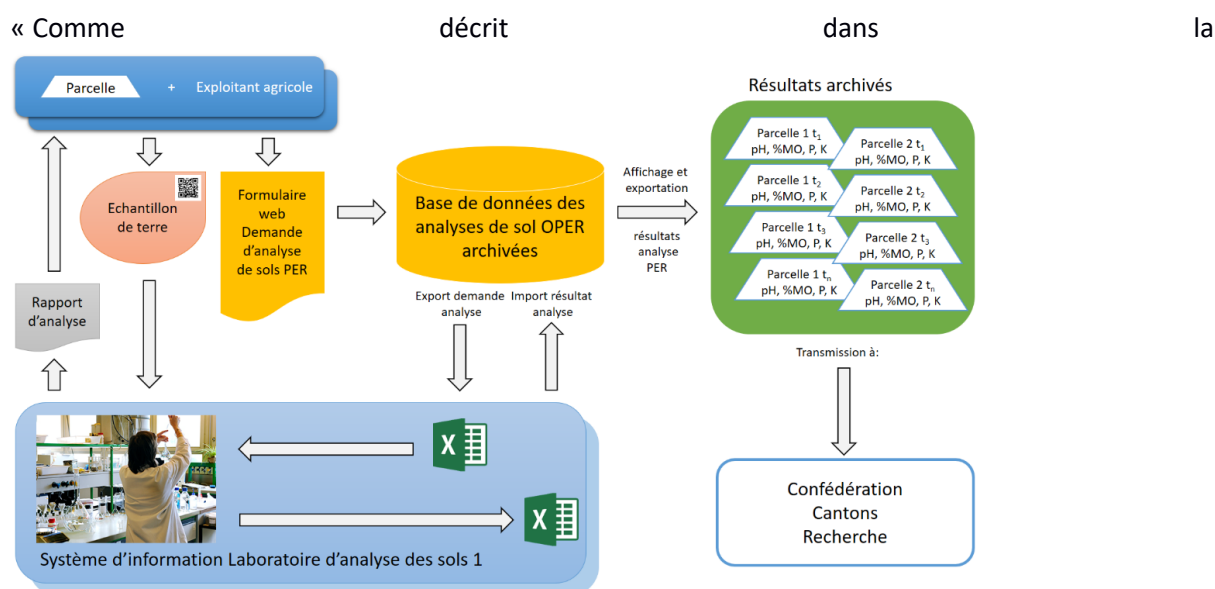


Figure 3, l'exploitant.e se connecte au formulaire web de demande d'analyse de sols PER, choisit le laboratoire, indique son numéro d'exploitant et choisit la parcelle sur le formulaire, ces informations sont stockées dans la base de données. L'échantillon de terre est transmis au laboratoire avec une feuille papier comprenant un code de numéro d'analyse, de numéro de parcelle et d'exploitant. Le laboratoire reçoit le contenu de la demande d'analyse sous forme d'exportation pour Excel, qu'il peut intégrer dans son système actuel de gestion des analyses. Il réalise les analyses demandées et transmet comme le rapport d'analyses et les éventuels conseils de fumure à l'exploitant agricole. Les résultats d'analyses sont également transmis à la base de données à l'aide d'une procédure d'importation qui valide la cohérence des données. » (Dubois et al., 2021)

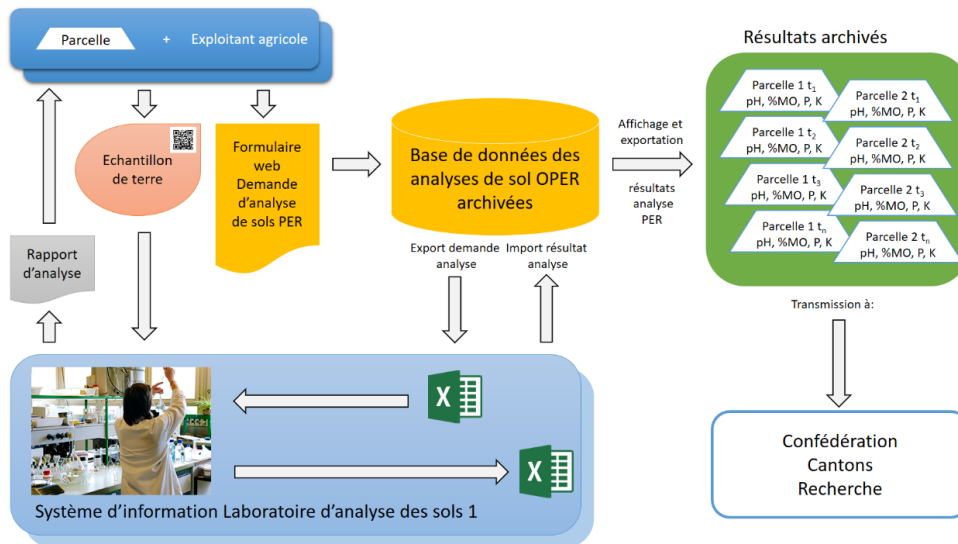


Figure 3 : Workflow de la demande d'analyse PER aux résultats archivés (Dubois et al., 2021)

2.6. Un travail de stage dans la continuité du projet OPER

Le travail présenté dans ce rapport est la suite des travaux de géomatique d'Alice Johannes, Luc Rebetez et Marie Palman (anciennement Fournier). Ces derniers ont travaillé sur la cartographie des analyses de sols en les reliant aux parcelles cadastrales. Ici, il s'agit de créer des cartes au format raster afin de s'affranchir des limites des parcelles agricoles qui ont pu changer en 30 ans. Ces cartes permettent de visualiser les résultats des analyses de sol réalisées entre 1993 et 2023. Elle rend également possible l'analyse de l'évolution du taux de MO, le ratio MO/Argile, ainsi que les valeurs de pH des sols agricoles du Canton de Genève sur 30 ans. Le programme utilisé est ArcGIS Pro (ArcGIS Pro 3.1.3, Esri, Redlands, CA).

3. Données

Les sources des données utilisées dans ce travail sont les suivantes :

La base de données du laboratoire d'analyse des sols de l'hepia (LABO.xls) contient les données d'analyses de sols agricoles de 1993 à 2023. La MO est exprimée en pourcentage et le pH n'a pas d'unité. Depuis 2020, ces analyses sont rattachées à un identifiant unique pour chaque *parcelle* (Annexe 7 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro).

La carte des résultats d'analyses de sols agricoles genevois (EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES) (HEPIA, 2023) contient les résultats des analyses de sols agricoles réalisées dans le cadre des prestations écologiques requises entre 1993 et 2019. La MO est exprimée en pourcentage et le pH n'a pas d'unité. Pour plus de détails voir en annexe 1.

La carte pédologique des sols agricoles genevois (EIL_CARTE_PEDO_SOLS_AGRICOLES) a été réalisée et mise à jour par le Conservatoire et jardin botanique du jardin de Genève (2023). Pour plus de détails voir en annexe 2.

La carte des parcelles agricoles cultivées recensées sur le Canton de Genève (AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE) a été réalisée et mise à jour par l'OCAN (2023). Pour plus de détails voir en annexe 3.

4. Méthodologie

4.1. Adaptation de la base de données du laboratoire d'analyse des sols

La base de données du laboratoire d'analyse des sols est un tableau Excel qui regroupe les résultats des analyses réalisées entre 1993 à 2023. Pour pouvoir utiliser un tableau Excel dans Argis Pro, il faut respecter certaines conditions. Or, plusieurs problèmes ont été identifiés dans le format cette base de données.

Premièrement, les noms des colonnes apparaissaient aux lignes 8 et 9 du tableau Excel (Annexe 6 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications). Cela posait deux problèmes :

- l'information était séparée dans 2 cellules, or un titre de champs doit être dans une cellule ;
- pour être prises en compte comme nom de champs dans ArcGIS Pro, les informations doivent être contenues dans la première ligne d'un tableau et les entêtes ne doivent pas comporter d'espace ou de caractères accentués ou spéciaux (par ex: ", ; - + % »).

Le contenu des lignes 8 et 9 ont donc été fusionnés pour les teneurs en argile, silt et sable, afin de créer un titre complet pour chaque colonne. Puis, les lignes 1 à 8 ont été supprimées afin que la première ligne de la base de données contienne les titres des différents attributs (Annexe 7 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro).

Deuxièmement, par soucis d'homogénéité et de facilitation de transfert de données, l'écriture des identifiants uniques est réalisée suivant un schéma fixe avec l'identifiant du Canton, suivit par l'année année et ensuite l'identifiant de la parcelle (ex : GE_2022_17345). Or, plusieurs coquilles ont été relevées dans le fichier du laboratoire (Figure 4) :

- la présence du signe « - » à la place du « _ » pour les séparations ;
- et l'absence de séparation entre le préfixe indiquant le Canton et l'année. Les erreurs ont donc été corrigées (Figure 5).

Référence client	Class	Hori	Pratique	Année	Prix	X	Y	Commune	Parcelle
Villa	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_5291	-
Puplinge	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_10369	-
Puplinge Noyer	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_179127	-
Botteret	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_174902	-
Brolliets-Botteret 1	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_30120	-
Brolliets-Botteret 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_179027	-
Brolliets-Botteret 3	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_179028	-
Brolliets-Botteret 4	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_179029	-
Brolliets-Botteret 5	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_179112	-
Grange-Bouvier	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_5290	-
Puplinge-Sauvier	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173111	-
Mas de Pesay	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_5288	-
Avenir 1-2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173217	-
Ch. des Heurs 1-2-3	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173205,173219,173222	-
Ch. des Bornes	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173207	-
Grésy 1	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173213	-
Grésy 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_173214	-
Vionnet 16	Pleine Terre	2 - 20 cm	Marâichage	2022	75	-	-	GE_2022_173347	-
Les Combes	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	GE2022-18389	-
Gravière Sèzegnin	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	GE2022-31491	-
Girod	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	GE2022-178538	-
Sous la route	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE2022-176171	-
Sapins	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE2022-4765	-
Sous le hangar	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE2022-4759	-
Sous le mur	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE2022-4766	-
Moraine Vincent	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	GE_2022_175892	-
Drans Chardo	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	GE_2022_13572	6819
Boverie Cimetièrre	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	GE_2022_13572	6438
Garage plant.	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	GE_2022_27862	6058
Fossaz	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	GE_2022_13567	-
La Tallie	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_30559	-
Cortonet	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	GE_2022_176424	-
Jussy	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	GE_2023_3174	-
Chambet	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	GE_2023_18201	-
Les Groubeaux	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	125	-	-	GE_2023_179683	-
La Toutaine	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	GE_2023_180001	-
Villa des Lions	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	GE_2023_3197	-

Figure 4 : Liste des parcelles avec un identifiant unique pour les années 2022 et 2023 avant modifications (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

Référence client	Class	Hori	Pratique	Année	Prix	X	Y	Commune	Parcelle
Villa	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_5291
Puplinge	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_10369
Puplinge Noyer	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179127
Botteret	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_174802
Brollets-Botteret 1	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_30120
Brollets-Botteret 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179027
Brollets-Botteret 3	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179028
Brollets-Botteret 4	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179029
Brollets-Botteret 5	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179112
Grange-Bouvier	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_5290
Puplinge-Sauver	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_179111
Mas de Pesay	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1254	GE_2022_5288
Ramu sol	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11271
Ramu sous-sol	Pleine Terre	20 - 40 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11272
Du Nant sol	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11278
Du Nant sous-sol	Pleine Terre	20 - 40 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11278
Grandes courbes sol	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11256
Grandes courbes sous-sol	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11256
Batardette sol	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11266
Batardette sous-sol	Pleine Terre	20 - 40 cm	Viticulture	2022	140	-	-	1251	GE-202_11266
Avenir 1+2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173217
Ch. des fleurs 1	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173205
Ch. des fleurs 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173219
Ch. des fleurs 3	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173222
Ch. des Bornes	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173207
Grésy 1	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173213
Grésy 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1241	GE_2022_173214
Vionnet 16	Pleine Terre	2 - 20 cm	Maraiçage	2022	75	-	-	1233	GE_2022_179347
Les Combes	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	1286	GE_2022_18389
Gravière Sèzeznin	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	1286	GE_2022_31491
Girod	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75	-	-	1286	GE_2022_178538
Sous la route	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1217	GE_2022_176171
Sapins	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1217	GE_2022_4765
Sous le hangar	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1217	GE_2022_4759
Sous le mur	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1217	GE_2022_4766
Moraine Vincent	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	1242	GE_2022_176892
Drans Chardo	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	1242	GE_2022_13572
Boverie Cimetièrè	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	1242	GE_2022_13572
Garage plant.	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	1242	GE_2022_27862
Fossaz	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90	-	-	1242	GE_2022_13567
La Tallè	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1286	GE_2022_30559
Cortonet	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	125	-	-	1286	GE_2022_176424
Jussy	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	1254	GE_2023_3174
Chambet	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	1254	GE_2023_18201
Les Groupeaux	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	125	-	-	1254	GE_2023_179683
La Toutaine	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	1254	GE_2023_180001
Villa des Lions	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2023	75	-	-	1254	GE_2023_3197

Figure 5 : Liste des parcelles avec un identifiant unique pour les années 2022 et 2023 après modifications (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

Troisièmement, un échantillon composé du sol de trois parcelles (Ch. des fleurs 1-2-3) a été analysé en 2022 (Figure 4). Les résultats d'analyses ont été attribué à trois identifiants uniques consignés dans une même cellule. Les résultats d'analyses ont donc été dupliqués pour créer une ligne de résultats par parcelle (Figure 5).

Enfin, les identifiants uniques initialement stockés dans la colonne *Commune* (Figure 4) ont été également déplacés dans la colonne *Parcelle* car il s'agit d'identifiants uniques parcellaire (Figure 5).

A l'avenir, il pourrait être pertinent de créer une base de données qui ait une structure adaptée pour une utilisation directe dans ArcGis Pro. Les données concernant les parcelles (identifiant unique, adresse, Canton, ...) pourraient être automatiquement consignées dans la base de données lorsque les agriculteur.ices réalisent leur demande d'analyses depuis la plateforme ANASOL. Cela éviterait notamment les fautes de frappe dans l'écriture des identifiants uniques, qui à terme seront la référence pour les informations géographiques des parcelles.

4.2. Lien entre la base de données et la carte des parcelles agricoles recensées

La base de données du laboratoire a été reliée à la carte des parcelles agricoles recensées grâce à l'outil *Add join*. Les champs *ID* de la base de la carte et *Parcelle* de la base de données ont été utilisés pour la jointure. Cette opération a permis de récupérer les données d'analyses de la base de données sur la délimitation des parcelles agricoles recensées pour pouvoir les cartographier. La jointure a été réalisée avec un script Python sous la forme d'un *Model builder* (Figure 6 et Figure 9). La nouvelle table attributaire ainsi créée a ensuite servi à la création des différents rasters pour les années 2022 et 2023.

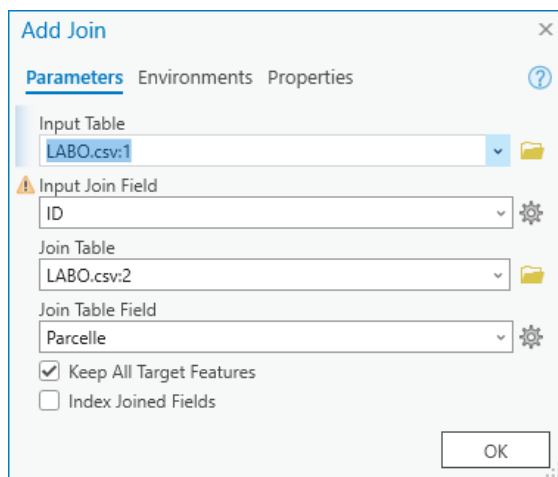


Figure 6 : Outil *Add Join* du logiciel *ArcGis Pro* utilisé pour lier la base de données du laboratoire (*LABO.csv*) à la carte des parcelles agricoles recensées (*AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE*).

4.3. Calcul du ratio MO/A

Pour la période de 1993 à 2019, un nouveau champ nommé *MO/A* a été ajouté à la table attributaire de la couche *EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES*, puis le ratio a été calculé grâce à l'outil *Calculate field* (Figure 7).

Pour la période 2022-2023, une nouvelle couche nommée *Surface_agri_2022_23* a été créée, contenant les parcelles avec un identifiant unique qui ont été analysées en 2022 ou 2023. C'est dans la table attributaire de cette couche qu'il a été ajouté un champ *MO/A*. Le ratio a ensuite été calculé grâce à l'outil *Calculate field* (Figure 7).

Pour la mosaïque de l'indice de vulnérabilité *MO/A*, seuls les résultats d'analyses contenant une valeur pour la teneur *MO* et une valeur pour la proportion d'argile ont pu être représentés.

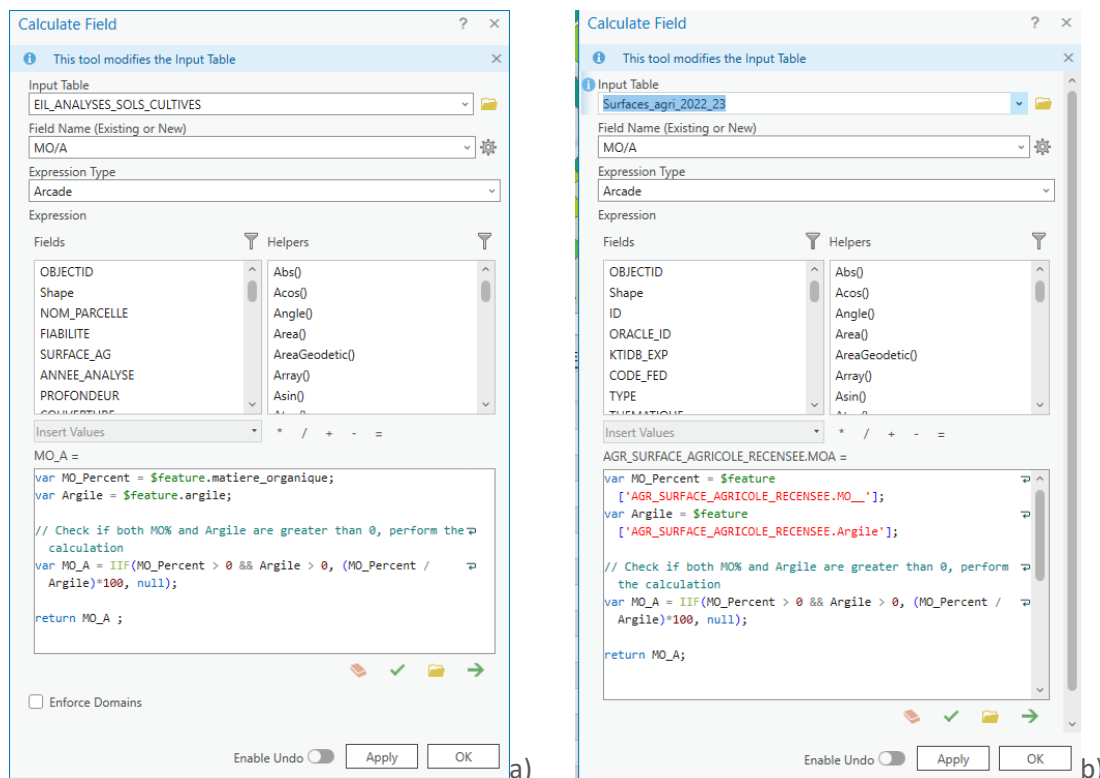


Figure 7 : Outil Calculate Field utilisé pour (a) calculer le ratio MO/A pour la période de 1993 à 2019. (b) calculer du ratio MO/A pour 2022 et 2023. Surface_agri_2022_23 : couche contenant les parcelles avec un identifiant unique qui ont été analysées en 2022 ou 2023.

4.4. Création des rasters pour la MO, le pH et le ratio MO/A

Le passage de la structure de données vecteur vers raster permet d'ouvrir le champ des analyses temporelles en faisant abstraction de la délimitation des parcelles agricoles qui peuvent changer au cours du temps. De plus, les couches raster conviennent mieux aux données continues telles que des couches polygonales, plus adaptées aux données discrètes, comme les limites administratives, les frontières, etc. Les couches raster peuvent également être plus efficaces pour stocker de grandes quantités de données, car elles utilisent moins d'espace de stockage que les données vectorielles pour des phénomènes continus et peuvent être compressées.

L'élaboration des rasters a été réalisée avec un script Python sous la forme de *Model builder* (Figure 8 et Figure 9). Il a été choisi de réaliser des rasters avec une résolution de 2 m par 2 m suivant le modèle des cartes du risque d'érosion suisses (OFAG, 2020). Une résolution de 2 m offre une précision adéquate en maintenant un bon équilibre entre le niveau de détail nécessaire pour l'analyse et la taille du fichier résultant. Des résolutions plus élevées peuvent générer des fichiers de grande taille, ce qui peut poser des défis en termes de stockage, de traitement et de performance du logiciel.

Pour les données de la période de 1993 à 2019, l'outil *Select Layer by attribute* a directement pu être utilisé sur la couche *EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES*. La sélection a été réalisée sur le champ *annee_analyse* de la table des attributs. Une variable *Annee* a été incluse dans le modèle afin de sélectionner l'année souhaitée et de l'indiquer dans le nom de la couche raster créée. L'outil *Polygon to raster* a été utilisé pour créer les rasters en fonction du champ d'intérêt (MO, pH et le ratio MO/A). L'outil *Copy raster* a enfin été utilisé pour transformer les rasters en changeant le codage des valeurs de 64 bit à 32 bit float, un format qui permet d'alléger le fichier tout en supportant les décimales.

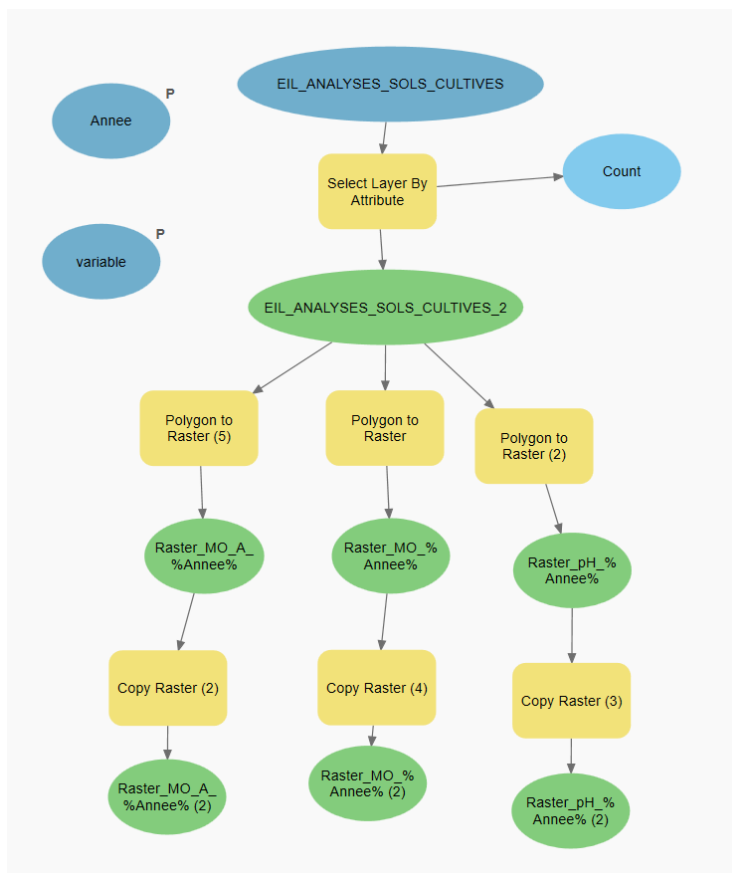


Figure 8 : Model Builder intitulé « Rasters19932019 » utilisé pour la création des rasters pour les données de MO, pH et MO/A pour la période de 1993 à 2023 (hors pH pour l'année 2022).

La couche *AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE* reliée à la base de données du laboratoire a servi de fondement à la création des couches raster, pour la teneur en MO de 2022 et 2023, ainsi que le pH de 2023. Les valeurs de pH de 2022 n'ont pas pu être utilisées.

L'outil *Select by attribute* a été utilisé pour sélectionner les valeurs du champ *parcelle* qui commencent par « GE » (valeur correspondant aux parcelles qui disposent d'un identifiant unique). Le même outil a ensuite été utilisé pour sélectionner les données de l'année souhaitée. Une variable *Annee* a été incluse dans le modèle afin de sélectionner l'année souhaitée et de l'indiquer dans le nom de la couche raster créée. L'outil *Polygon to raster* a été utilisé pour créer les rasters en fonction du champ d'intérêt.

Enfin, l'outil *Clip raster* a été utilisé pour ajuster l'étendu des rasters à celle de la carte des analyses des sols cultivés. Il n'a pas été nécessaire de changer la résolution radiométrique des rasters car elle était déjà en 8 bit.

La couche *Surface_agri_2022_23* a servi pour la création des couches rasters pour le ratio MO/A des années 2022 et 2023 (Figure 9). L'outil *Select layer by attribute* a été utilisé pour sélectionner les données de l'année souhaitée. L'outil *Polygon to raster* a été utilisé pour créer les rasters pour le ratio MO/A (Figure 9). Une variable *Annee* a été incluse dans le modèle afin de sélectionner l'année souhaitée et de l'indiquer dans le nom de la couche raster créée (Figure 9).



Figure 9 : Model builder intitulé « Rasters20222023 » utilisé pour la création des rasters pour les données de MO, de pH (à gauche) et pour le ratio MO/A des années 2022 et 2023 (à droite).

4.5. Création d'une mosaïque temporelle par pixel pour chaque variable d'intérêt

Une mosaïque de raster est une combinaison de plusieurs images, ou couches raster individuelles, pour former une seule image ou carte continue qui couvre une zone géographique plus vaste et continue. L'utilité principale d'une mosaïque de raster réside dans sa capacité à créer une représentation cohérente et continue d'une région géographique, en rassemblant des images individuelles ou des couches raster provenant de différentes sources, ou prises à des moments différents (Prashant, 2024).

En utilisant des données rasters acquises à différentes périodes, une mosaïque temporelle permet de visualiser et d'analyser l'évolution de phénomènes géographiques et environnementaux. L'élaboration des mosaïques a été réalisée avec un script Python sous la forme de *Model builder*.

L'outil *Create a mosaic dataset* a permis de créer les différentes mosaïques de rasters pour chacune des variables MO, pH et MO/A (exemple pour la MO en Figure 10). Ces mosaïques intitulées

CreateMosaicMO, *CreateMosaicMOA* et *CreateMosaicPH* ont été construites avec comme objectif principal l'extraction de statistiques par pixel.

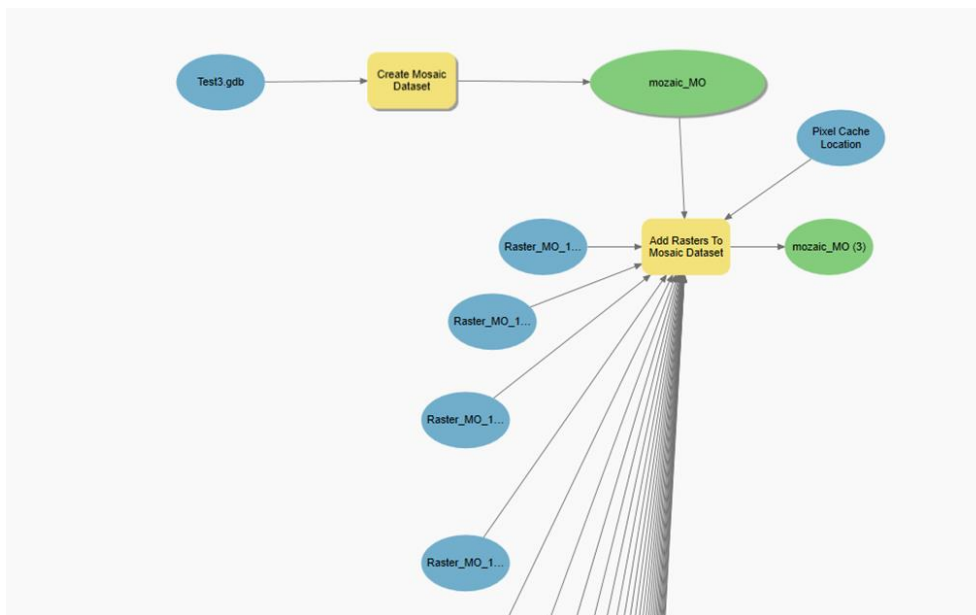


Figure 10 : Model builder intitulé « *CreateMosaicMO* » utilisé pour la création d'une mosaïque comprenant les rasters pour les teneurs en MO obtenues entre 1993 et 2023.

Un champ *Annee* a été ajouté aux tables attributaires des différentes mosaïques. L'outil *Calculate field* a été utilisé pour inscrire dans ce champ les années correspondantes aux différents rasters listés dans les tables attributaires (Figure 11).

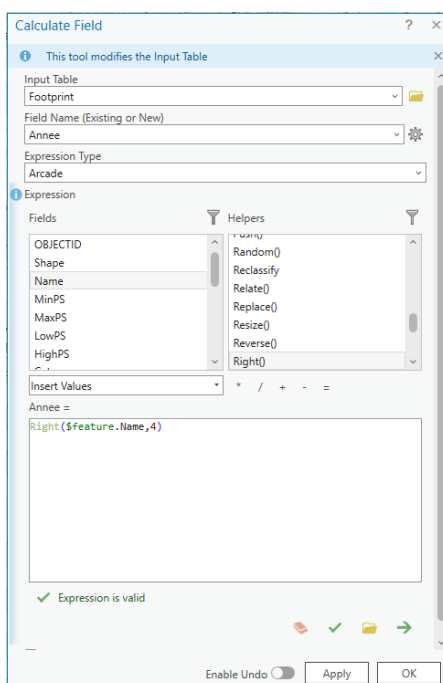


Figure 11 : Outil *Calculate Field* utilisé pour la création des données pour le champ *Annee* de la table attributaire de la mosaïque pour la teneur en MO.

4.6. Création d'un raster binaire pour illustrer la densité d'analyses de la teneur en MO sur le Canton de Genève

L'outil *Raster calculator* a été utilisé pour créer des rasters binaires à partir des couches rasters (exemple pour l'année 2023 en Figure 10). L'addition des rasters binaires a été réalisée par le biais d'un *Raster fonction template*. L'outil *Plus Properties* (Figure 12) a été utilisé pour additionner successivement les différents rasters binaires et créer une carte de la répartition des analyses qui prenaient en compte la teneur en MO, réalisées dans les 20 dernières années (Figure 15).

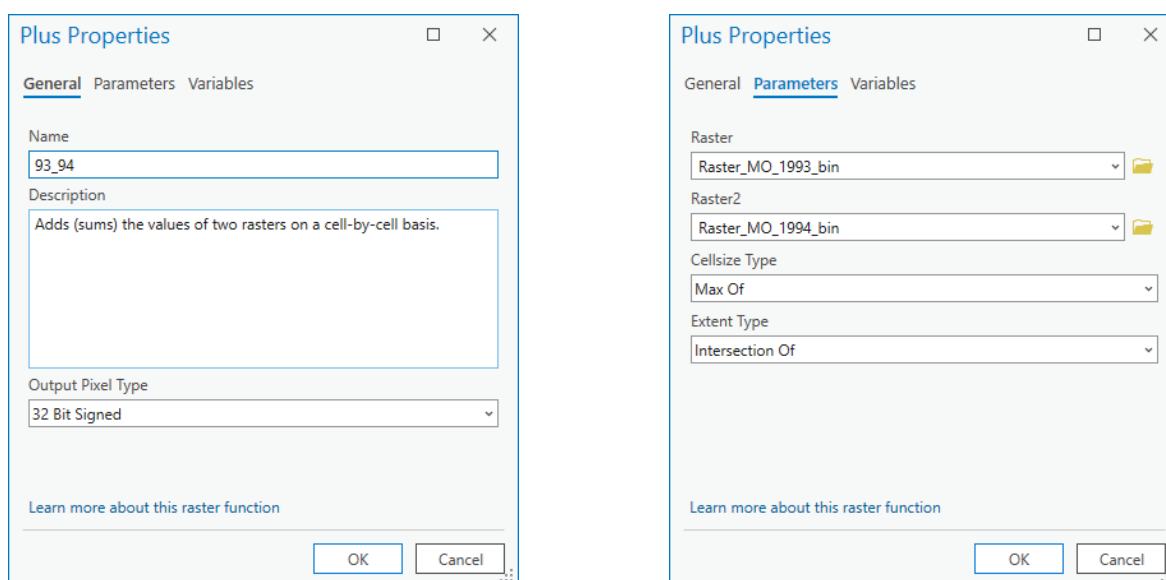


Figure 12 : Outil *Plus propriétés* utilisé pour additionner successivement les différents rasters binaires et créer une carte de la répartition des analyses qui prenaient en compte la teneur en MO, réalisées dans les 20 dernières années.

4.7. Calcul des moyennes par pixel pour la MO, le rapport MO/A et le pH

Les statistiques par pixel ont pu être extraites pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023 grâce aux statistiques issues de chaque raster (Tableau 2, Tableau 3 et Tableau 5). Il a également été possible d'extraire les statistiques des mosaïques de rasters pour les différents paramètres d'intérêt (MO, pH et MO/A), pour la période de 1993 à 2023, grâce aux statistiques comprises dans les propriétés des mosaïques (Tableau 1).

Les valeurs moyennes de MO/A par type de sol et par année ont pu être extraites grâce à l'outil *Zonal Statistics as Table* sur les différentes couches rasters (Figure 13). Un tableau récapitulatif a été réalisé grâce à un transfert par *copier/coller* des données des tables dans un fichier *Excel*, puis l'utilisation d'un tableau croisé dynamique (Annexe 8 :).

Un sol argileux permet de stocker plus de carbone organique qu'un sol contenant moins d'argile. Cependant, plus la proportion d'argile est élevée, plus il faut apporter de matière organique pour atteindre un rapport MO/A convenable. Si le potentiel de stockage du carbone organique dépend en partie de la structure d'un sol, la dynamique de stockage dépend des pratiques culturale (Boivin et al. 2020).

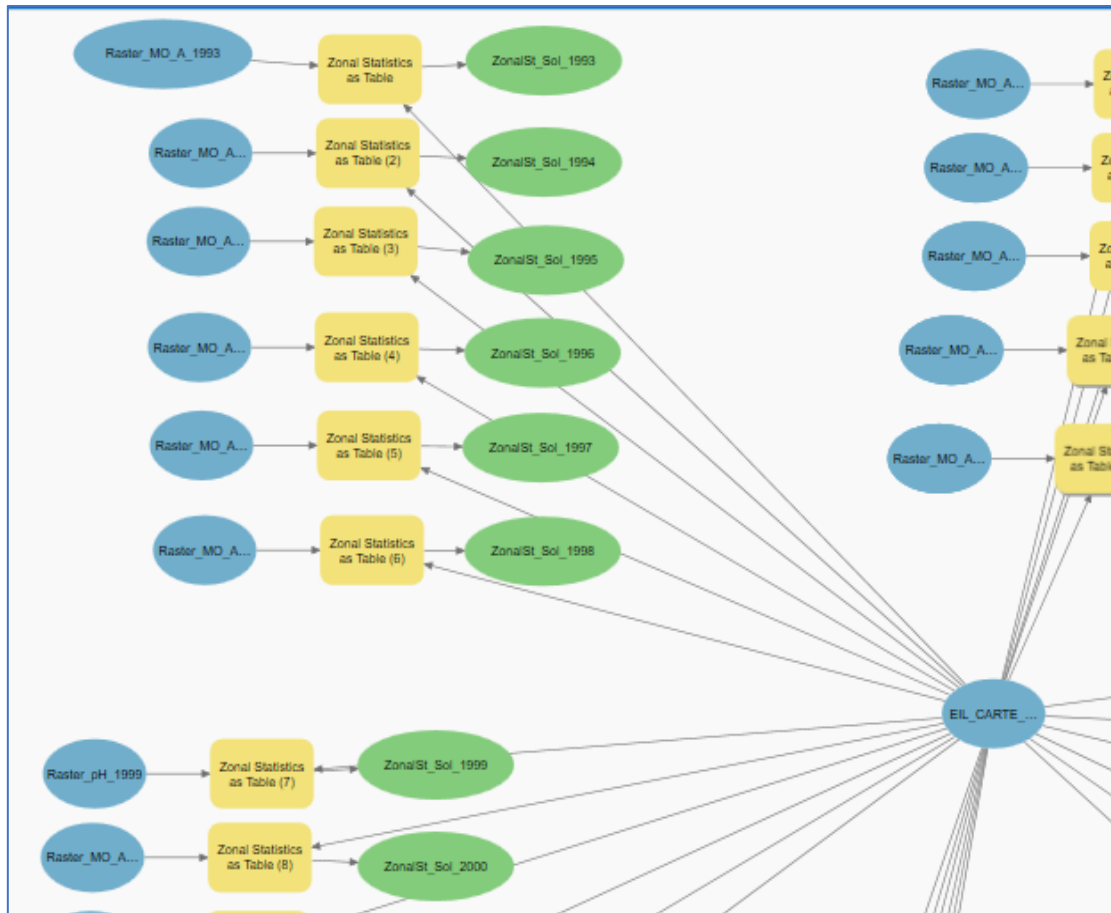


Figure 13 : Aperçu du Model builder intitulé « MoySol » utilisé pour extraire les valeurs moyenne de MO/A par type de sol et par année (résolution de 2 m par 2 m). L’outil utilisé est Zonal Statistics as Table.

4.8. Evolution de l’indice de vulnérabilité MO/A par pixel pour des points précis

Il a été choisi de travailler sur 4 années (1993, 2003, 2013 et 2023) pour une série de points aléatoire. Le pas de temps de 10 ans a été choisi pour coïncider avec la fréquence des analyses de sols réalisées dans le cadre des PER.

Une couche de points a été créée de manière aléatoire grâce à l’outil *Create Random Points* (Figure 14 et Figure 15). La couche de référence était celle des types de sols, réduite à l’étendue de la couche des résultats d’analyses de sol (*EIL_CARTE_PEDO_SOL_S_AGRICOLES_clip*). Les valeurs de MO/A pour les années d’intérêt ont ensuite été extraites grâce à l’outil *Extract Multi Values to Points*. La table attribuaire ainsi créée a ensuite été exportée grâce à l’outil *Table to Excel*. Seuls les points avec des valeurs ont été représentés dans le tableau des résultats (Tableau 4).

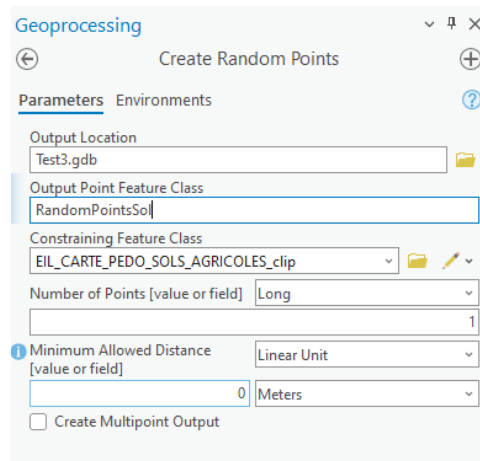


Figure 14 : Outil Create Random Points utilisé pour créer une couche des points aléatoirement sur la carte.

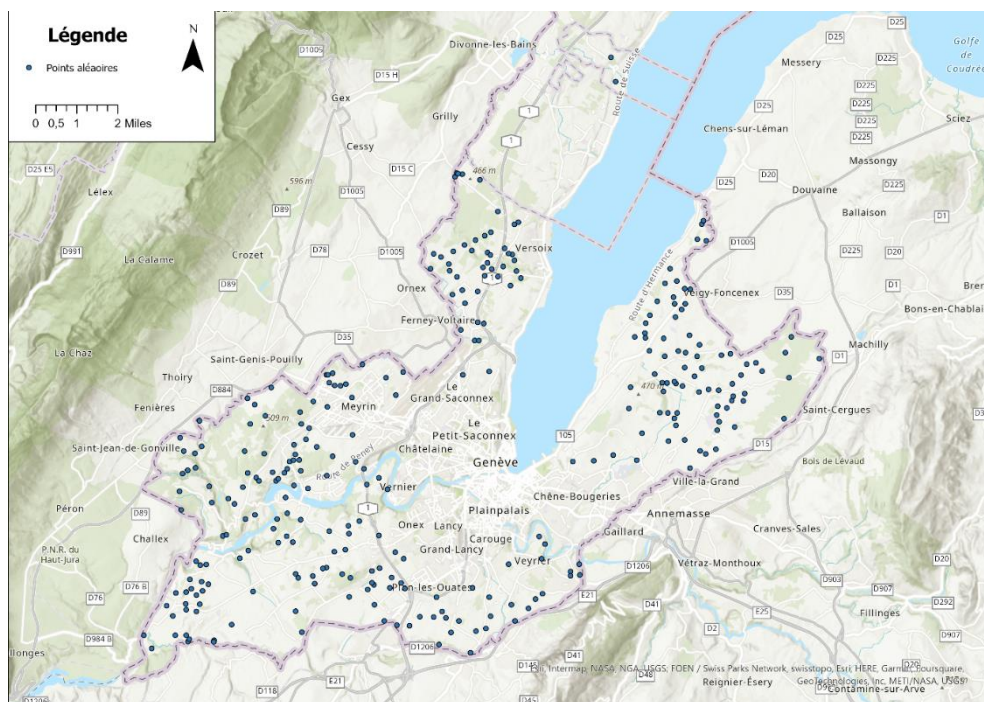


Figure 15 : Carte des points créés aléatoirement sur la carte.

5. Présentation et commentaires des résultats obtenus

5.1. Statistiques générales

Les statistiques descriptives des mosaïques temporelles des paramètres d'intérêt (pH, MO et MO/A) ont une résolution de 2 m par 2 m. L'étendue des données est le Canton de Genève, et la temporalité s'étend de 1993 à 2023 (Tableau 1).

En moyenne, avec une teneur en matière organique de 2,71 % et un rapport MO/A de 10,55 % (Tableau 1), les sols agricoles genevois peuvent être considérés comme très pauvres, ne pouvant pas remplir leurs fonctions à long terme et qui devant être réhabilités (Johannes et al. 2017). S'agissant de moyenne, il faudrait faire une étude au cas par cas pour faire un bilan de l'état des sols agricoles et de leur potentiel de séquestration de carbone organique.

Le pH moyen des sols agricoles genevois est de 7,16 (Tableau 1). Cela correspond à un pH neutre (Baize et al., 2009), optimal pour la croissance de plante (Baize, 2018) et pour la stabilité structurale (Julien et Tessier, 2021). Comme pour la matière organique, il conviendrait de réaliser des études par parcelle pour avoir des données à l'échelle de la ferme.

En conclusion, si, en moyenne, les sols agricoles genevois ont un pH neutre, ils sont pauvres en carbone organique et doivent être réhabilités pour gagner en fertilité et en résilience.

Tableau 1 : Statistiques descriptives des mosaïques temporelles des paramètres d'intérêt (pH, MO et MO/A) avec une résolution de 2 m par 2 m. L'étendue des données est le Canton de Genève, et la temporalité s'étend de 1993 à 2023.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
MO	0.43	32.94	2.71	1.99
MO/A	3.13	68.87	10.55	3.88
pH	4.51	9.69	7.16	0.53

5.2. Profils d'évolution de la teneur en MO

En prenant l'ensemble des données d'analyses de 1993 à 2023 (Figure 16), il est possible de visualiser certaines parcelles avec une teneur en MO plus importante. Il serait intéressant de réaliser une enquête plus approfondie pour voir quelles sont les pratiques des agriculteur.ice.s qui occupent ces parcelles, afin de trouver une explication à ces teneurs plus élevées.

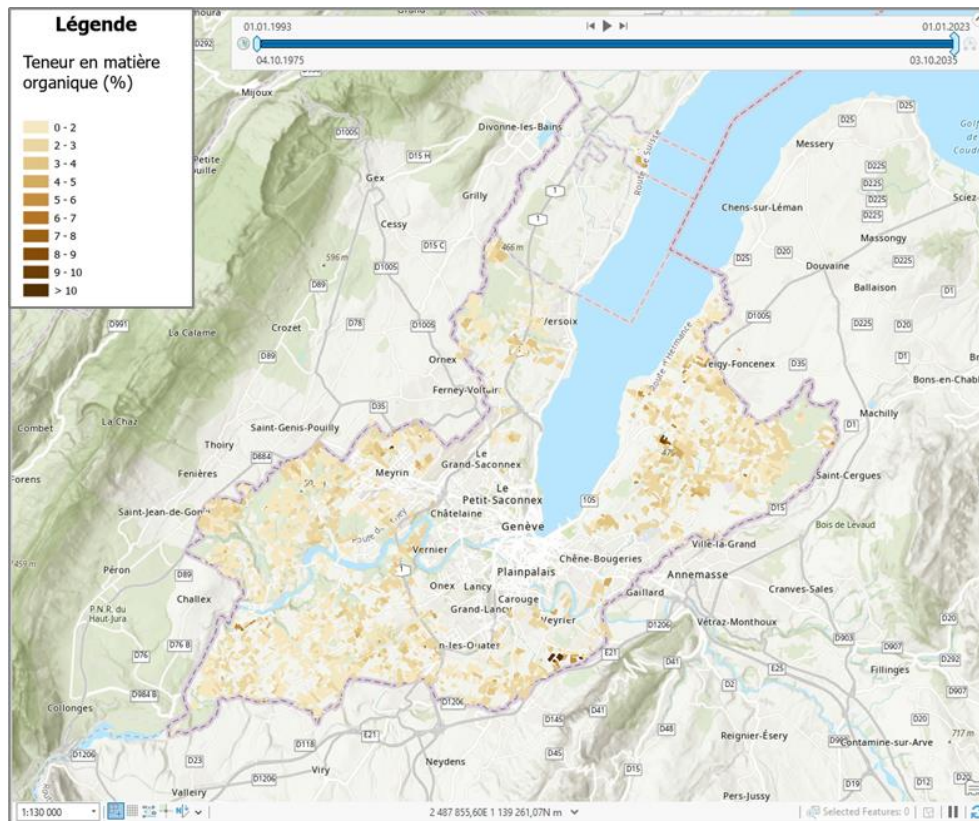


Figure 16 : Mosaïque temporelle représentant le taux de matière organique des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m).

La visualisation de l'évolution de la teneur en MO sur la surface du Canton n'est pas optimale car toutes les parcelles n'ont pas été analysées chaque année. En comparant les cartes des teneurs en MO des sols des parcelles agricoles genevoises mesurées en 1993, 2003, 2013 et 2023 (Figure 20), il est en effet difficile de tirer des conclusions.

Teneur en matière organique des parcelles agricoles genevoises en 1993, 2003, 2013 et 2023

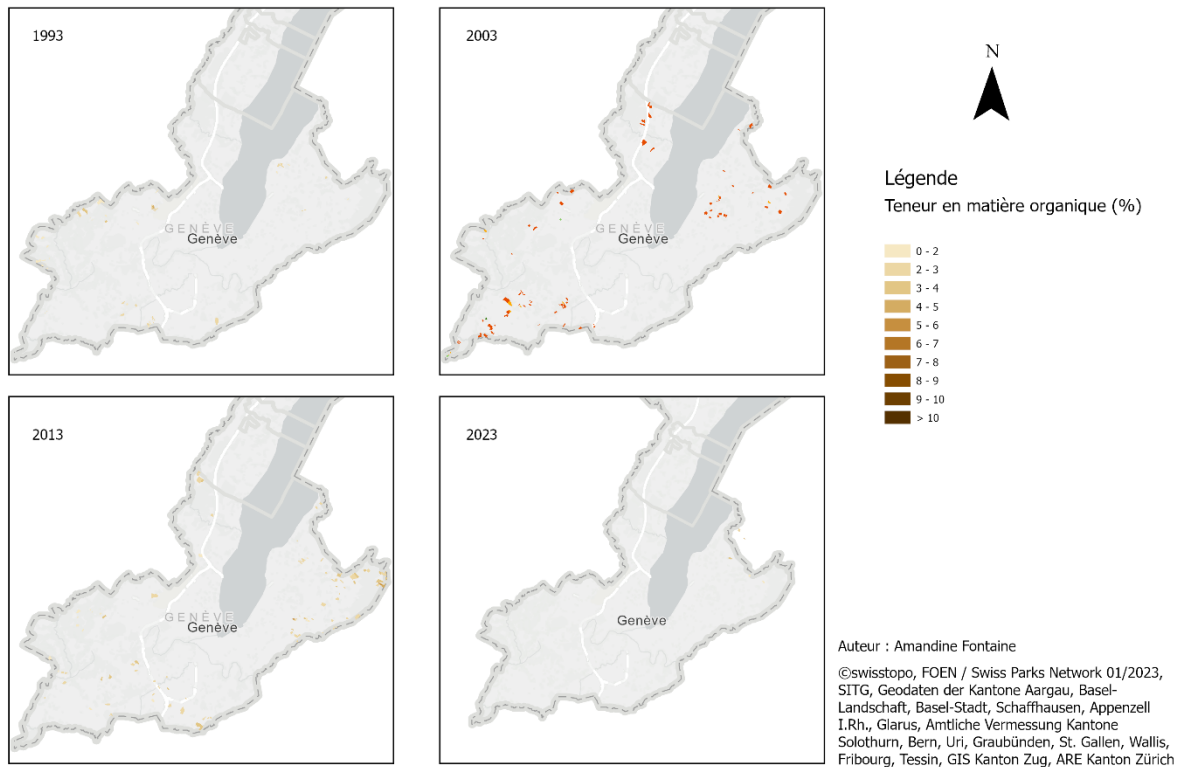


Figure 17 : Cartes des teneurs en matière organique des sols des parcelles agricoles genevoises mesurées en 1993, 2003, 2013 et 2023. Exprimées par pixel (résolution de 2 m par 2 m).

Cela devient plus clair en observant les statistiques issues des couches rasters de ces différentes années (Figure 18). En effet, d'après les résultats, la teneur moyenne en matière organique des sols agricoles genevois a augmenté de 2,41 en 1993 à 2,76 en 2023 (Tableau 2). Il serait intéressant d'analyser le taux d'évolution moyen par pixel afin de savoir si les sols du Canton sont plutôt dans une dynamique de gain ou de perte de MO. En effet, prendre les valeurs moyennes pour tout le Canton pour une année cache la variabilité qui existe au sein des parcelles.

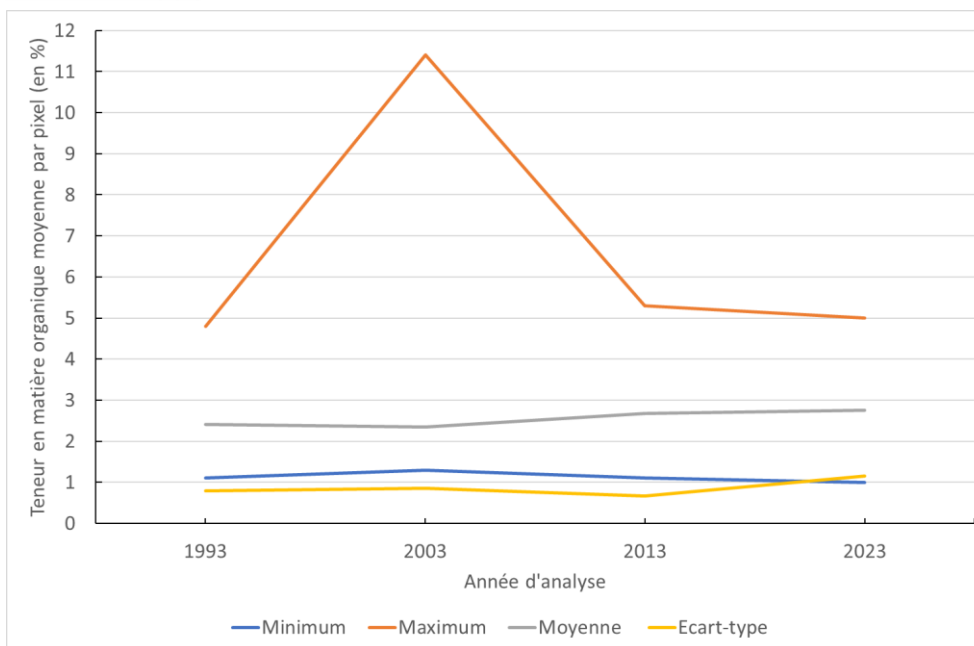


Figure 18 : Teneurs moyenne, maximale et minimale en matière organique des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.

Tableau 2 : Teneurs moyenne, maximale et minimale en matière organique des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.

Année	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
1993	1.1	4.8	2.41	0.8
2003	1.3	11.4	2.34	0.85
2013	1.1	5.3	2.67	0.66
2023	1	5	2.76	1.16

5.3. Profils d'évolution du rapport MO/A

D'après la Figure 19, les sols des parcelles agricoles genevoises sont majoritairement en déficit de carbone organique, avec des structures vulnérables, allant jusqu'au risque de sols dégradés. Cela coïncide avec les valeurs moyennes du Canton qui témoignent de sols très pauvres, ne pouvant pas remplir leurs fonctions à long terme et qui devraient être réhabilités. Cette carte permet également d'identifier certaines parcelles avec des valeurs correspondant à des sols peu vulnérables à non vulnérables. Les parcelles concernées ne correspondent pas toujours avec les parcelles qui ont le plus haut taux de MO. Cela peut s'expliquer par le fait que plus la teneur en argile d'un sol est élevée, plus la teneur en MO doit être élevée pour avoir un ratio MO/A suffisant. Il serait intéressant de déterminer quelle est la proportion d'argile des sols avec un haut taux de MO (Figure 16) et celui des parcelles avec un haut ratio MO/A (Figure 19), afin de vérifier notre hypothèse.

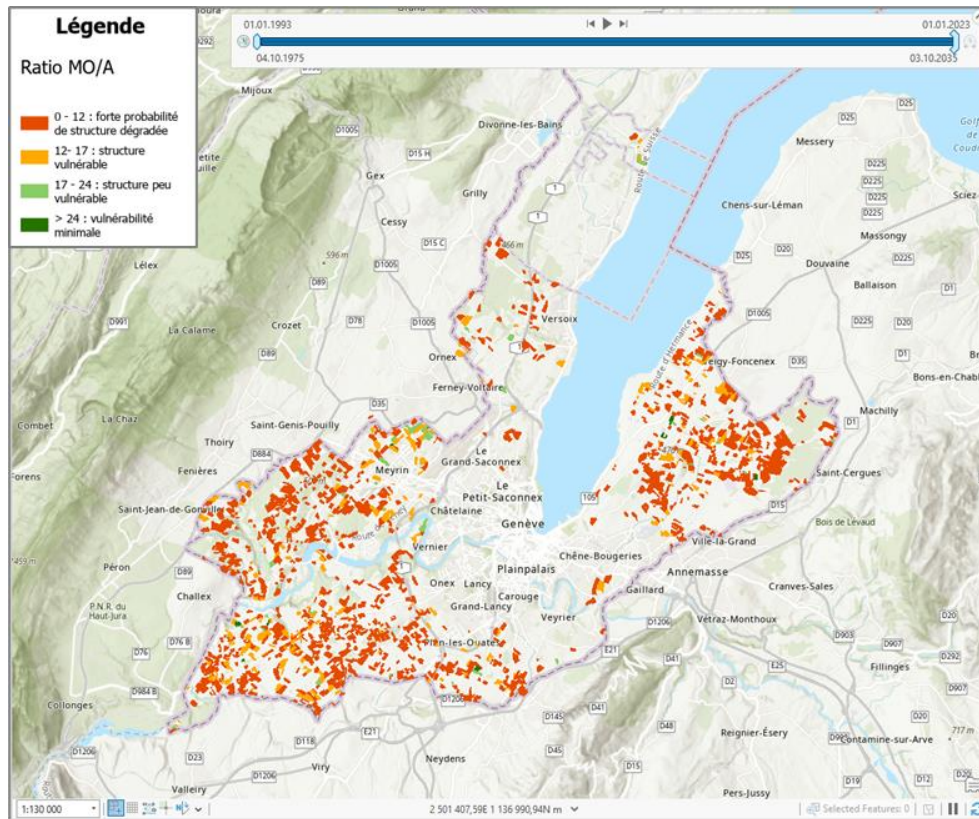


Figure 19 : Mosaïque de raster temporelle représentant le seuil de vulnérabilité (Johannes et al., 2017) des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m). MO/A < à 12% : des sols très pauvres, une forte probabilité de structure dégradée. Ces sols ne peuvent remplir leurs fonctions à long terme et doivent être réhabilités. Entre 12 et 17% : teneurs en MO sont insuffisantes pour que les sols remplissent toutes leurs fonctions. La structure est vulnérable. L'amélioration est nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, mais la structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal en termes de fonctionnalité à long terme. La vulnérabilité de la structure est alors minimale.

La visualisation de l'évolution du rapport MO/A sur la surface du Canton n'est pas optimale car toutes les parcelles n'ont pas été analysées chaque année. En comparant les cartes des teneurs en MO des sols des parcelles agricoles genevoises mesurées en 1993, 2003, 2013 et 2023 (Figure 20), il est en effet difficile de tirer des conclusions.

Indices de vulnérabilité des sols des parcelles agricoles genevoises en 1993, 2003, 2013 et 2023

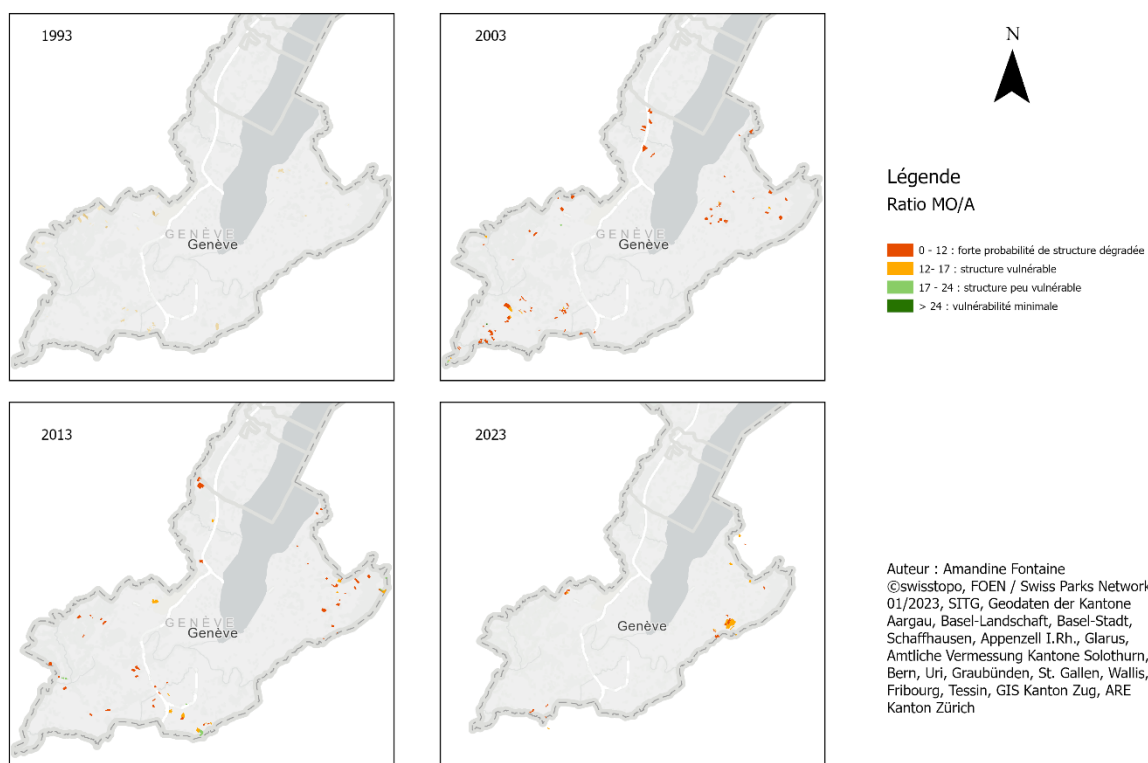


Figure 20 : Carte des indices de vulnérabilité (Johannes et al., 2017) des sols des parcelles agricoles genevoises analysés en 1993, 2003, 2013 et 2023 (résolution de 2 m par 2 m). MO/A < à 12% : sols très pauvres, forte probabilité de structure dégradée, nécessité de réhabilitation. 12 à 17% : teneurs en MO insuffisantes, structure vulnérable, amélioration nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal et vulnérabilité de la structure minimale.

Cela devient plus clair en observant les statistiques issues des couches rasters de ces différentes années (Figure 21). En effet, d’après les résultats, le rapport MO/A des sols agricoles genevois a augmenté de 10.43 en 1996 à 12.7 en 2023 (Tableau 3). Il serait intéressant d’analyser le taux d’évolution moyen par pixel afin de savoir si les sols du Canton sont plutôt dans une dynamique de gain ou de perte de MO.

Tableau 3 : Valeurs moyenne, maximale et minimale du ratio MO/A des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l’ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023. MO/A < à 12% : sols très pauvres, forte probabilité de structure dégradée, nécessité de réhabilitation. 12 à 17% : teneurs en MO insuffisantes, structure vulnérable, amélioration nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal et vulnérabilité de la structure minimale.

Année	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
1993	7	17	10.43	3.05
2003	6	25	9.81	2.48
2013	5	20	11.36	3.53
2023	8	17	12.7	2.08

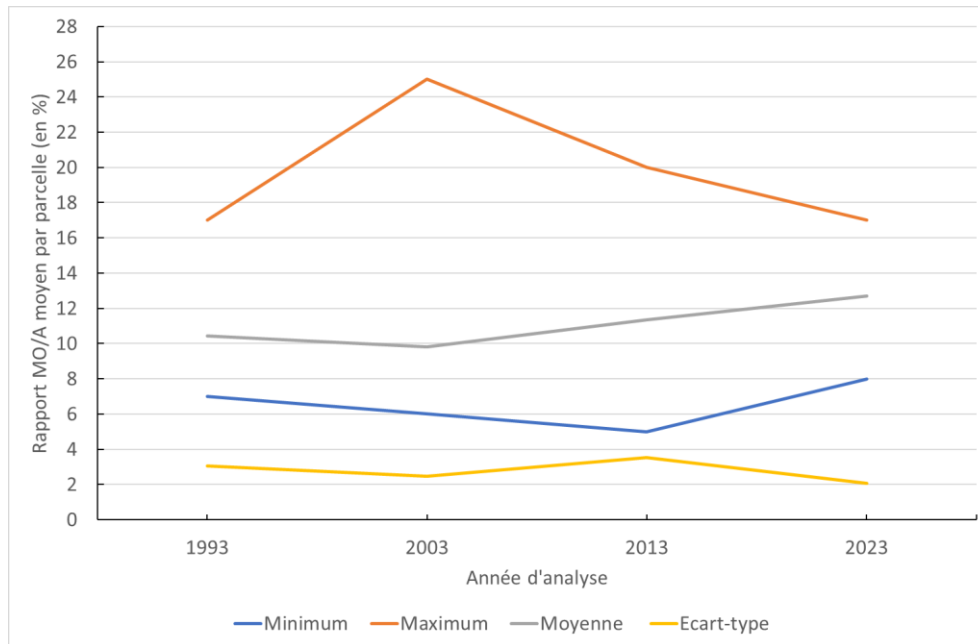


Figure 21 : Valeurs moyenne, maximale et minimale du rapport MO/A des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023. MO/A < à 12% : sols très pauvres, forte probabilité de structure dégradée, nécessité de réhabilitation. 12 à 17% : teneurs en MO insuffisantes, structure vulnérable, amélioration nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal et vulnérabilité de la structure minimale.

Les moyennes de MO/A ont également été extraites pour des points précis, pris aléatoirement sur la carte, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023 (Tableau 4 et Figure 15). La couche de points aléatoires a été créée grâce à l'outil *Create Random Points* (Figure 14 et Figure 15). La couche de référence était celle des types de sols, réduite à l'étendue de la couche des résultats d'analyses de sol (*EIL_CARTE_PEDO_SOL_SOLS_AGRICOLES_clip*).

S'il est intéressant de pouvoir obtenir des informations provenant de plusieurs dates pour un point précis grâce au format raster, les données obtenues sont insuffisantes pour aboutir à une conclusion. En effet, les analyses étant espacées de 10 ans, il faudrait réaliser le profil d'évolution des pixels sur les 20 années afin d'obtenir assez de résultats d'analyses pour réaliser des profils d'évolution pour un maximum de pixels. Il pourrait également être envisagé de calculer la différence entre la plus récente et la plus ancienne valeur de MO/A pour chaque pixel, afin d'avoir un indicateur de l'évolution de la vulnérabilité de la structure du sol sur 30 ans. Ces valeurs pourraient permettre de déterminer si les sols agricoles genevois ont, en moyenne, une évolution positive ou négative.

Tableau 4 : Valeurs moyenne de MO/A pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023 extraites grâce à l'outil Extract Multi Values to Points. Sélection des points affichant des valeurs pour au moins une des années d'intérêt (hors 1993 pour laquelle aucune valeur n'a été extraite) sur un total initial de 295 points. MO/A < à 12% : sols très pauvres, forte probabilité de structure dégradée, nécessité de réhabilitation. 12 à 17% : teneurs en MO insuffisantes, structure vulnérable, amélioration nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal et vulnérabilité de la structure minimale.

OBJECTID	2023	2013	2003	1993
26	10	8	9	
36			7	
52			12	
66			9	
93			9	
96		7		
107		11		
110			9	
111	12			
137		9		
170			11	
174		6		
198		16		
260		12		

5.4. Profil d'évolution du pH

La mosaïque temporelle (Figure 22) permet d'afficher les résultats d'analyses de pH des sols par année (entre 1993 et 2023) sur l'ensemble du Canton de Genève.

D'après la Figure 22, les sols des parcelles agricoles genevoises sont majoritairement basiques. Cette carte permet également d'identifier certaines parcelles avec des valeurs correspondant à un pH neutre, optimal pour l'agriculture. Il serait intéressant de faire le lien avec les types de sols et les pratiques agricoles des agriculteur.ice.s afin de contextualiser les résultats observés.

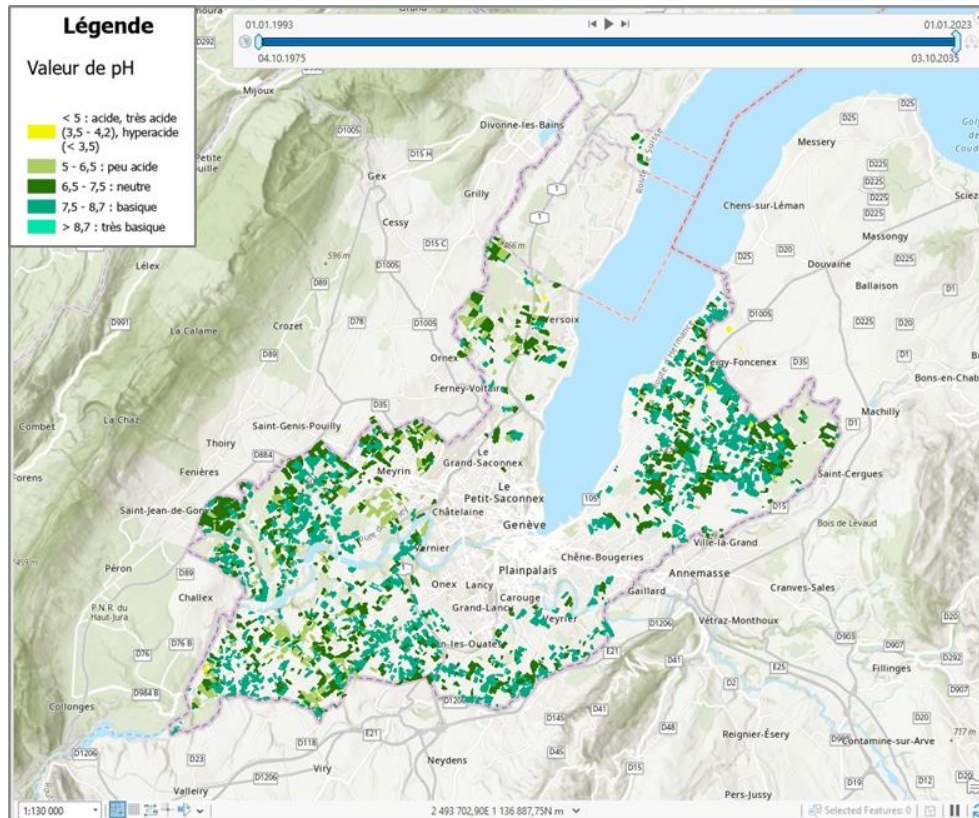


Figure 22 : Mosaïque temporelle représentant l'acidité des sols du Canton de Genève entre 1993 et 2023. Les valeurs seuils proviennent du Référentiel pédologique 2008 (Baize, 2009).

Le pH moyen des sols agricoles genevois a varié entre 7,26 et 7,42 entre 1993 et 2013 (Figure 23 et Tableau 5). Globalement, il y a eu une diminution moyenne du pH entre 1993 et 2013. Les valeurs de 2023 ont été considérées comme atypiques et n'ont pas été prises en compte dans l'interprétation des données. En moyenne, le pH des sols agricoles est donc resté stable. Les valeurs maximum et minimum ayant également peu variées en 20 ans, il peut être considéré que le pH des sols agricoles genevois est resté stable sur cette durée.

Tableau 5 : Valeurs moyenne, maximale et minimale de pH des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023. pH < 3,5 : hyperacide ; 3,5 – 4,2 : très acide ; < 5 : acide ; 5 - 6,5 : peu acide ; 6,5 - 7,5 : neutre (optimal pour l'agriculture) ; 7,5 – 8,7 : basique ; > 8,7 : très basique (Baize, 2009).

Année	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
1993	5.8	8.3	7.42	0.68
2003	5.3	8	7.09	0.64
2013	5.8	8.1	7.26	0.67
2023	1	5	2.76	1.16

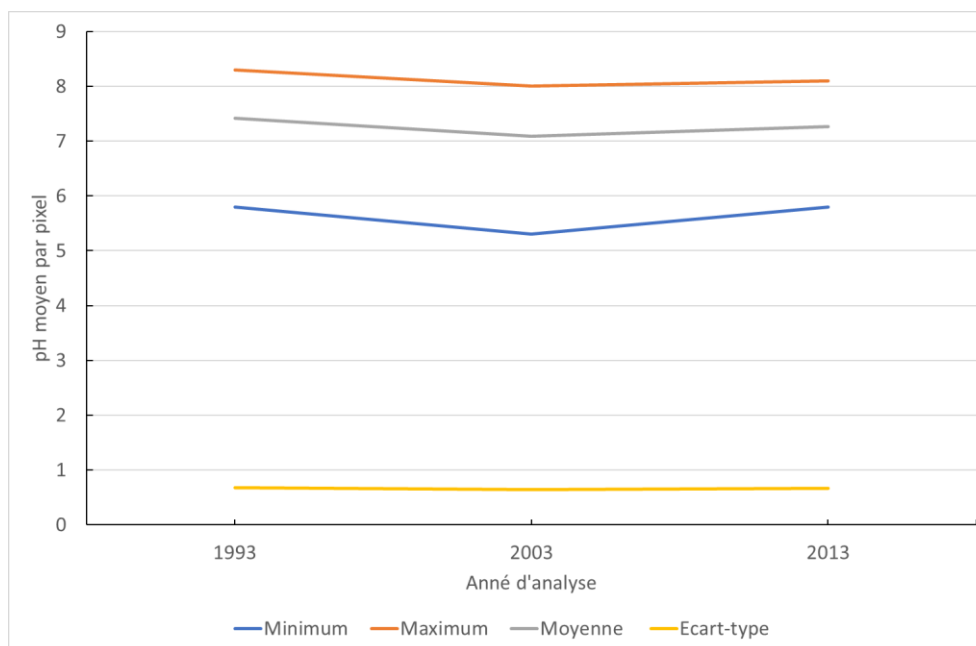


Figure 23: Valeurs moyenne, maximale et minimale de pH des sols agricoles genevois. Exprimées par pixel (2 m par 2 m), pour l'ensemble du Canton, pour les années 1993, 2003, 2013. La valeur de 2023, considérée comme atypique, n'a pas été représentée sur ce graphique. pH < 3,5 : hyperacide ; 3,5 – 4,2 : très acide ; < 5 : acide ; 5 - 6,5 : peu acide ; 6,5 - 7,5 : neutre (optimal pour l'agriculture) ; 7,5 – 8,7 : basique ; > 8,7 : très basique (Baize, 2009).

Il semble que pour les trois paramètres d'intérêt les résultats d'analyses diminuent entre 1993 et 2003, pour ensuite augmenter entre 2003 et 2023. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette évolution. La première est un changement de politique agricole qui aurait entraîné un changement dans les pratiques des agriculteur.ice.s. La seconde est un changement de protocole pour les analyses de sols en laboratoire. Dans les deux cas, il faudrait réaliser une étude avec des valeurs pour chaque années (sur les 30 années) afin de s'assurer de cette tendance. Si cette tendance devait être confirmée, il faudrait encore rechercher des informations qui confirmerait un changement de politique agricole ou de protocole de laboratoire au début des années 2000.

5.5. Vulnérabilité moyenne des sols agricoles en fonction du type de sol

Le format raster a permis de réaliser des cartes représentant la vulnérabilité moyenne de la structure des sols agricoles en fonction du type de sol (Annexe 9).

La Figure 24 présente l'évolution du ratio MO/A pour les différents types de sols d'après les résultats d'analyses de 4 années (1993, 2003, 2013 et 2023). Les types de sols ont été regroupés en 4 catégories : Chaîne de sols bruns, Sols alluviaux, Sols bruns et Sols calcaires (Annexe 8 :).

D'après les résultats obtenus, le ratio MO/A des sols agricoles genevois a augmenté pour tous les types de sol (Figure 24 et Annexe 8 :). Les données nulles de l'année 1993 sont due à l'absence d'analyses de sols agricoles calcaires et alluviaux cette année-là. La valeur moyenne calculée pour les sols alluviaux en 2023 (Figure 24) est peut-être également influencée par le manque de données relevées cette année-là. Il est intéressant de voir que l'amélioration de l'état de vulnérabilité de la structure des sols agricoles genevois semble indépendante du type de sol concerné. Il faudrait obtenir plus de données pour conclure à une amélioration généralisée de la vulnérabilité de la structure des sols, quelle que soit leur nature pédologique. Pour cela, le format raster est bien adapté car il permet d'obtenir des données d'évolution indépendantes des surfaces agricoles changeantes. Ces données pourront donc être plus précises, et plus nombreuses.

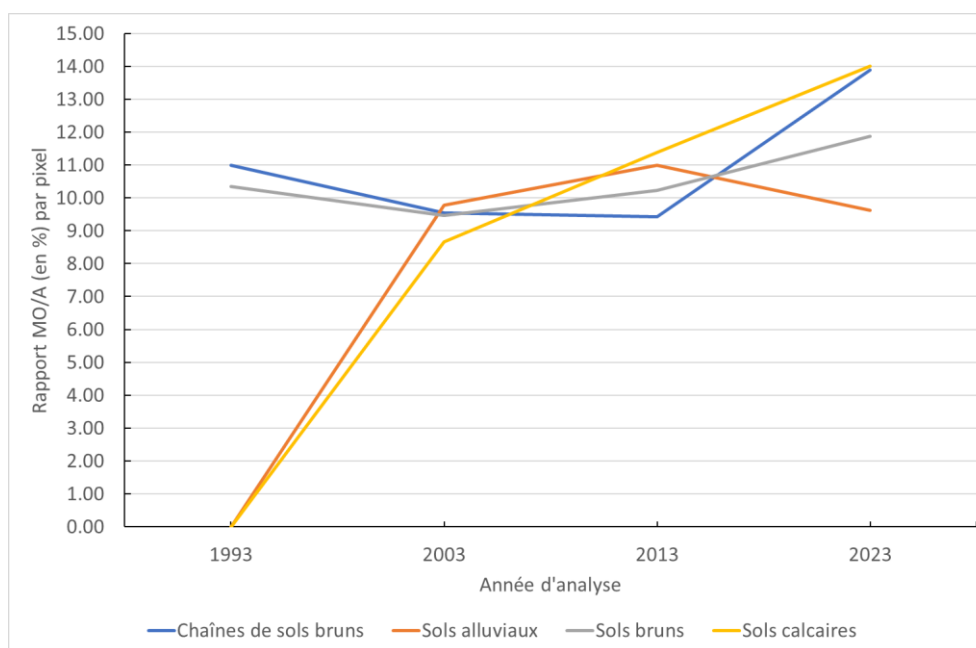


Figure 24 : Valeurs moyennes d'indice de vulnérabilité MO/A exprimées par pixel, par type de sol pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023. Exprimées par pixel (2 m par 2 m).

6. Conclusion

La création de mosaïques temporelles a permis de visualiser l'évolution, entre 1993 et 2023, des résultats des analyses des sols agricoles pour les paramètres d'intérêt. L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence la stabilité du pH sur le long terme, une légère augmentation de la MO, ainsi qu'une diminution de la vulnérabilité de la structure des sols, cela indépendamment de leur nature pédologique.

Pour une analyse plus correcte, il aurait fallu réaliser des profils d'évolution par pixel, notamment pour le rapport MO/A et la teneur en MO. Calculer la différence entre les valeurs de 1993 et 2023, pour chaque pixel, permettrait également de mieux évaluer l'évolution sur 30 ans. Cela permettrait également de déterminer une tendance globale positive ou négative des sols agricoles genevois en termes de vulnérabilité et de stockage de carbone organique.

Les résultats d'analyses PER représentent une mine de données pour suivre la qualité des sols qui revêt une importance particulière pour l'agriculture et la résilience locale, tant sur le plan social qu'environnemental. Ces données offrent une formidable base de discussion pour la mise en œuvre de mesures et l'évaluation de l'efficacité des décisions politiques. Dans ce contexte, il est important de gérer et analyser les données de manière fiable afin d'avoir une base de réflexion solide.

Il pourrait être envisagé de créer un cube spatiotemporel regroupant diverses données, telles que les coordonnées des agriculteur.ice.s, le type de sol, les analyses de laboratoire et les rotations de cultures, etc. Le *Swiss Datacube*³ est un projet particulier qui pourrait être utilisé comme exemple pour organiser le stockage, la gestion et l'analyse des données, facilitant ainsi la détection de tendances, de changements environnementaux et de modèles spatiaux. Ces informations pourraient être présentées sous forme de cartes ou de visualisations géospatiales, rendant ainsi les données plus accessibles et compréhensibles pour les utilisateurs. Le programme ArcGIS Pro et sa suite de logiciels s'avèrent être des outils adaptés pour cela, offrant un contenu d'aide complet (forums, vidéos, documentation), pour permettre aux utilisateurs de tirer pleinement parti de ces informations dans leurs analyses et leurs représentations.

7. Réflexions sur le déroulement du stage

Le stage a été effectué dans le cadre de mon travail d'assistante dans la filière agronomie de l'HEPIA. J'ai pu découvrir de nouveaux outils et l'utilisation de ArcGIS est maintenant plus fluide, me permettant d'en faire usage plus sereinement dans d'autres projets. Durant les cours théoriques à l'université de Genève, beaucoup de notions sont abordées, avec peu de temps pour assimiler les connaissances et mettre en pratique les compétences. Être confrontée à un problème, sans expérience similaire préalable, et limitée par mes propres connaissances, m'a incitée à progresser plus rapidement. Je tiens particulièrement à remercier Alain Dubois et Karine Gondret qui m'ont été d'un précieux soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

³ Le Swiss Data Cube est un projet développé en Suisse qui consiste en une plateforme d'analyse de données géospatiales basée sur l'imagerie satellite. L'objectif principal du Swiss Data Cube est de stocker, gérer et analyser de grandes quantités de données satellitaires afin de mieux comprendre les changements environnementaux, notamment les changements climatiques, l'utilisation des terres, la biodiversité, et d'autres aspects géographiques. Pour plus d'informations : <https://www.swissdatacube.org/> et <https://www.nature.com/articles/s41597-021-01076-6>

Bibliographie

- ArcGIS Pro 3.1.3, 2023. Esri, United States of America.
- Baize, D., Girard, M.C., Beaudou, A., Poss, R., 2009. *Référentiel Pédologique 2008*. Quae, 405 p. ISBN 978-2-7592-0185-3 ISSN 1952-1251
- Baize, D., 2018. *Guide des analyses en pédologie. 3ème édition revue et augmentée*. Quae, 326 p. ISBN 978-2-7592-2836-2 ISSN 1952-1251
- Boivin, P., Dupla, X., Lemaître, T., Gondret, K., Sauzet, O., Verrecchia, É., 2021. *ACS et teneur en matière organique du sol: quelques enseignements tirés de la région lémanique*. Techniques culturales simplifiées (TCS) : agronomie, écologie et innovation.
- Boivin, P., Dupla, X., Sauzet, O., Gondret, K., 2020. *Organic carbon sequestration potential, rate and associated practices, as observed in Swiss arable land*. Presented at the EGU General Assembly.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L., 2018. *Soil quality – A critical review*. Soil Biology and Biochemistry 120, 105–125.
- Chen, S., Arrouays, D., Angers, D.A., Martin, M.P., Walter, C., 2019. *Soil carbon stocks under different land uses and the applicability of the soil carbon saturation concept*. Soil and Tillage Research, Soil Carbon and Climate Change: the 4 per Mille Initiative 188, 53–58.
- Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 2023. Catalogue | SITG. CARTE PEDOLOGIQUE DES SOLS AGRICOLES. URL (accessed 12.15.23).
- Dexter, A.R., Richard, G., Arrouays, D., Czyż, E.A., Jolivet, C., Duval, O., 2008. *Complexed organic matter controls soil physical properties*. Geoderma 144, 620–627.
- Dubois, A., Boivin, P., Gondret, K., & Vallotton, N., 2021. *Projet Archivage automatique des données géo-référencées des analyses PER*. BAFU-436.1-2653/2/1/1. HEPIA.
- Dupla, X., Gondret, K., Sauzet, O., Verrecchia, E., Boivin, P., 2021. *Changes in topsoil organic carbon content in the Swiss leman region cropland from 1993 to present. Insights from large scale on-farm study*. Geoderma 400.
- Etat de Genève, Esri, topomat, 2023. SITG | Carte interactive. URL (consulté le 15.12.23).
- Genot, V., Colinet, G., Brahy, V., & Bock, L., 2009. *L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de « L'État de l'Environnement Wallon 2006–2007 »)*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 13, 121-138.
- HEPIA, 2023. Catalogue | SITG. ANALYSES DES SOLS CULTIVES. URL (consulté le 15.12.23).
- Johannes, A., Boivin, P., Weisskopf, P., 2021. *Soil structure degradation evaluation for environmental legislation (STRUDEL)*. Agroscope, Reckenholz.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P.C., Boivin, P., 2017. *Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?* Geoderma 302, 14–21.
- Johannes, A., Sauzet, O., Matter, A., Boivin, P., 2023. *Soil organic carbon content and soil structure quality of clayey cropland soils: A large-scale study in the Swiss Jura region*. Soil Use and Management 39.

Johannes, A., Weiskopf, P., Schulin, R., Boivin, P., 2019. *Soil structure quality indicators and their limit values*. Ecological Indicators 104, 686–694.

Julien, J.-L., Tessier D., 2021, *Relationship between pH, Effective CEC and soil structure*. Étude et Gestion des Sols, 28, 159-179.

Kay, B.D., 1997. *Soil Structure and Organic Carbon: A Review*, Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, Fla, 169–197.

King, A.E., Ali, G.A., Gillespie, A.W., Wagner-Riddle, C., 2020. *Soil Organic Matter as Catalyst of Crop Resource Capture*. Frontiers in Environmental Science 8.

Lal, R., 1991. *Soil Structure and Sustainability*. Journal of Sustainable Agriculture 1, 67–92.

OCAN, 2023. Catalogue | SITG. SURFACES AGRICOLES RECENSEES. URL (consulté le 15.12.23).

OFAG, 2020. *Les nouvelles cartes du risque d'érosion sont en ligne*. URL (consulté 13.11.23).

OFAG, 2023. *Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture*. Disponible sur

Prashant, M. (2024). Créer et utiliser un jeu de données mosaïque | Learn ArcGIS. (consulté le 03.01.24).

Prout, J.M., Shepherd, K.D., McGrath, S.P., Kirk, G.J.D., Haefele, S.M., 2021. *What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio*. European Journal of Soil Science 72, 2493–2503.

Prout, J.M., Shepherd, K.D., McGrath, S.P., Kirk, G.J.D., Hassall, K.L., Haefele, S.M., 2022. *Changes in organic carbon to clay ratios in different soils and land uses in England and Wales over time*. Sci Rep 12, 5162.

Annexes

Annexe 1 : Métadonnées de la couche *EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES*



FICHE DE MÉTADONNÉE

Nom usuel	ANALYSES DES SOLS CULTIVES
Classe	EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES (ID: 1330)
Thème(s) ISO	Agriculture, Forêt, flore, faune, Géologie, sols, dangers naturels
Type de données	Polygone

Description	<p>L'analyse des sols est essentielle à l'appréciation de la qualité et de l'aptitude culturale. Elle est nécessaire pour le calcul des quantités de fertilisants à apporter.</p> <p>Les agriculteurs suisses font régulièrement une analyse des sols de leurs parcelles, en général tous les 10 ans. Cette pratique est requise par l'ordonnance sur les paiements directs (OPD), conformément aux prestations écologiques requises (PER).</p> <p>Les échantillons moyens, représentatifs de la parcelle agricole, sont prélevés par les agriculteurs. La méthode de prélèvement consiste à échantillonner les 20 premiers centimètres du sol au moyen d'une tarière, en prélevant une quinzaine d'échantillons sur une parcelle homogène et en les mélangeant afin d'obtenir un échantillon composite.</p> <p>Les analyses se font ensuite selon les méthodes des Stations fédérales de recherches agronomiques de Suisse et doivent provenir d'un laboratoire reconnu et agréé par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG), comme l'est le laboratoire du groupe sols et substrats de HEPIA.</p> <p>Le laboratoire effectue donc des analyses agricoles sur le canton de Genève et les répertorie de manière informatique depuis 1993.</p> <p>La couche de données "ANALYSES DES SOLS CULTIVES" géolocalise les résultats d'analyses de sol des parcelles agricoles analysées par le laboratoire d'HEPIA de 1993 à 2019.</p> <p>La localisation des parcelles de 1993 à 2005 a été réalisée à l'aide de plans livrés par les agriculteurs en 1999 au Service de l'agriculture du Canton de Genève.</p> <p>Les parcelles analysées de 2005 à 2016 ont été localisées grâce aux informations délivrées par les agriculteurs au moment de la demande d'analyse auprès du laboratoire.</p> <p>Pour finir, les parcelles analysées de 2017 à 2019 ont été localisées à l'aide des informations données par les agriculteurs et de la couche SITG "Surfaces agricoles recensées".</p> <p>L'organisation de la carte des analyses des sols cultivés comprend une couche de polygones représentant les parcelles agricoles. Celles-ci sont reliées par un identifiant unique à une table de résultats d'analyses.</p> <p>Chaque parcelle agricole peut être reliée à plusieurs analyses, soit à des profondeurs différentes, soit à des années d'analyses différentes.</p> <p>L'intégration sur le serveur de données du SITG a été effectuée par la Direction de l'information du territoire - Service de géomatique (SGeo) du Canton de Genève.</p>
Aperçu	

Partenaire	Laboratoire des sols - Institut Terre-Nature-Environnement, Hepia
Responsable	Haute école spécialisée HES-SO Genève
Contact	Antoine Besson
Téléphone	+4122 546 68 22
Email	antoine.besson@hesge.ch
Site internet	https://www.ge.ch/proteger-sols

Format disponible	DXF, GDB, SHP
Mode de distribution	Accessible en consultation sur SITG.CH et par géoservices
Restrictions d'utilisation	-

Date de mise à jour	01.11.2023
Fréquence de mise à jour	Irrégulière

Méthode d'acquisition	Informations fournies par les agriculteurs, selon les millésimes concernés. Digitalisation ou récupération de données numérisées existantes.
Précision	10 mètres
Echelle d'affichage	1000 à 25000

ATTRIBUTS				
Nom	Type	Taille	Description	Origine
OBJECTID	OID	4	Champ automatique avec l'identifiant de la base de chaque objet (Attention, ne pas l'utiliser comme identifiant unique permanent)	
NOM_PARCELLE	String	100	Nom de la parcelle, fourni par les agriculteurs	
FIABILITE	String	50	F signifie que la localisation sur le plan n'a pas posé de problème. MF signifie qu'un doute subsiste sur la localisation exacte de la parcelle.	
SURFACE_AG	Integer	4	Numéro d'identifiant de surface agricole qui permet de relier la table des analyses à la couche de polygones des surfaces agricoles (clé étrangère)	
ANNEE_ANALYSE	Integer	4	Année à laquelle l'échantillon a été prélevé pour l'analyse.	
PROFONDEUR	String	20	Renseigne sur la profondeur du prélèvement	
COUVERTURE	String	20	Type de culture	
CLASSE	String	20	Indique s'il s'agit d'une culture sous abri ou en plein champ	
MATIERE_ORGANIQUE	Double	8	Teneur en matière organique humifiée (g/100g de terre fine sèche). Méthode de mesure : oxydation avec du dichromate de potassium selon la méthode Walkley	
PH	Double	8	pH de l'horizon analysé. Méthode de mesure : extrait à l'eau 1:2.5 poids/volume, temps d'équilibration	

SERVICES EN LIGNE	
Type	Adresse
Esri ArcGIS Rest	https://vector.sitg.ge.ch/arcgis/rest/services/Hosted/EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES/FeatureServer
WFS	https://app2.ge.ch/tergeoservices/services/Hosted/EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES/MapServer/WFSServer

Référence spatiale	GCS_CH1903+		
Etendue		1134382	
	2485525		2512952
		1109698	

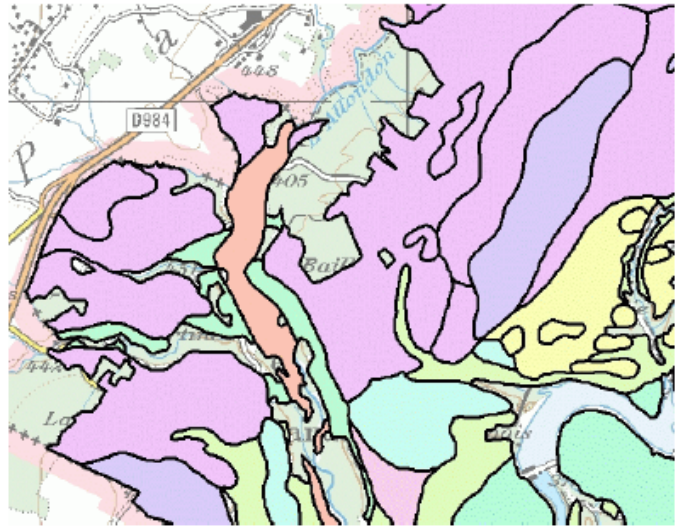
Aspects légaux	Recueil systématique du droit fédéral (lien générique) https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/droit-federal/recueil-officiel.html
	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (Osol) 814.12
	Recueil systématique genevois (RSG) (lien générique) http://www.ge.ch/legislation/
	Règlement d'application transitoire de la loi fédérale sur la protection de l'environnement K 1 70.02
Informations complémentaires	http://hepia.hesge.ch/ https://www.ge.ch/proteger-sols https://ge.ch/sitg/geodata/SITG/CATALOGUE/APERCU/EIL_ANALYSES_SOLS_CULTIVES_TABLEAU.jpg

Date de mise à jour de la métadonnée : 01.11.2023

Annexe 2 : Métadonnées de la couche *EIL_CARTE_PEDO_SOLS_AGRICOLES*



FICHE DE MÉTADONNÉE

Nom usuel	CARTE PEDOLOGIQUE DES SOLS AGRICOLES
Classe	EIL_CARTE_PEDO_SOLS_AGRICOLES (ID: 9186)
Thème(s) ISO	Agriculture, Forêt, flore, faune, Géologie, sols, dangers naturels
Type de données	Polygone
Description	La carte pédologique des sols agricoles du Canton de Genève donne des indications sur les types de sols, les aptitudes à la mise en valeur, les dynamiques et réserves en eau et les textures de surface. Elle a été réalisée en 1985 par une équipe de pédologue sous la conduite de Michel Gratier et Philippe de Pury. Le mandant était le Service de l'agriculture qui a financé sa réalisation. La digitalisation a été effectuée par le Conservatoire du jardin botanique (Nicolas Wyler).
Aperçu	
Partenaire	VDG - Ville de Genève
Responsable	Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève
Contact	Nicolas Wyler
Téléphone	+4122 418 51 00
Email	nicolas.wyler@ville-ge.ch
Site internet	https://www.ge.ch/proteger-sols
Format disponible	CSV, GDB, GML, KML, SHP
Mode de distribution	Accessible en consultation et en extraction pour libre utilisation (Open Data)
Restrictions d'utilisation	-
Date de mise à jour	01.11.2023
Fréquence de mise à jour	Irrégulière

Méthode d'acquisition	Profils pédologiques de référence, profils à la tarière
Précision	50 mètres
Echelle d'affichage	50000

ATTRIBUTS				
Nom	Type	Taille	Description	Origine
SHAPE	Geometry	4	Champ binaire automatique contenant la géométrie des objets	
OBJECTID	OID	4	Champ automatique avec l'identifiant de la base de chaque objet (Attention, ne pas l'utiliser comme identifiant unique permanent)	
SHAPE.AREA	Double	0	Champ automatique donnant la surface de chaque polygone en m2	
SHAPE.LEN	Double	0	Champ automatique donnant la longueur de chaque objet en m	
PAYSAGE_PEDOLOGIQUE	String	250	Genre de relief: - plateaux - pentes ou collines morainiques - pentes fortes ou irrégulières - plaines alluviales - terrasses - bordures ou talus	
TYPE_DE_SOL	String	250	Type de sols selon la classification CPCS	
ROCHE_MERE	String	250	Type de roche mère	
VALEUR_AGRICOLE	String	250	Valeur agricole en fonction de l'ampleur - faibles - moyennes - fortes et du type - profondeur - réserve hydrique - hydromorphie - charge en cailloux - pente de contraintes	
TEXTURE	String	250	Texture des sols - légère - équilibrée - fine - fortement argileuse - hétérogène	
CHARGE_EN_CAILLOUX	String	250	Charge en cailloux - quasi absence - gêne locale - faible gêne (env. 15%) - forte gêne (> 15%)	
RESERVE_HYDRIQUE	String	250	Réserve hydrique - sols sensibles à la sécheresse (< 70 mm) - sols à réserve en eau moyenne (env. 70 mm) - sols à forte réserve en eau (=> 100 mm) - sols alimentés par une nappe	
DYNAMIQUE_EAU	String	250	Dynamique de l'eau du sol - sols à essuyage rapide ou lent - sols influencés par des eaux de pente - sols à alternance de phases humides et sèches	
NAPPE	String	250	Absence ou présence de nappes ainsi que du type de celles-ci - permanente - de pente - perchée - mixte	

Type	Adresse
Esri ArcGIS Rest	https://vector.sitg.ge.ch/arcgis/rest/services/Hosted/EIL_CARTE_PEDO_SOL_S_AGRICOLES/FeatureServer
WFS	https://app2.ge.ch/tergeoservices/services/Hosted/EIL_CARTE_PEDO_SOL_S_AGRICOLES/MapServer/WFSServer

Référence spatiale	CH1903+_LV95		
Etendue		1135565	
	2486140		2512974
		1110177	

Aspects légaux	Recueil systématique du droit fédéral (lien générique) https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/droit-federal/recueil-officiel.html
	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (Osol) 814.12
	Recueil systématique genevois (RSG) (lien générique) http://www.ge.ch/legislation/
	Règlement d'application transitoire de la loi fédérale sur la protection de l'environnement K 1 70.02
	Règlement sur la protection des sols K 1 70.13
Informations complémentaires	http://www.ville-ge.ch/cjb https://www.ge.ch/proteger-sols

Date de mise à jour de la métadonnée : 01.11.2023

Annexe 3 : Métadonnées de la couche *AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE*



FICHE DE MÉTADONNÉE

Nom usuel	SURFACES AGRICOLES RECENSEES
Classe	AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE (ID: 6566)
Thème(s) ISO	Agriculture, Forêt, flore, faune
Type de données	Polygone

Description	<p>Chaque année depuis 2017, les exploitants agricoles au bénéfice des paiements directs géoréférencent leurs parcelles culturales. Cette couche intègre toutes ces géométries sous forme d'une représentation annuelle.</p> <p>Les parcelles sont classées en différentes thématiques selon leur utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - grandes cultures - maraîchage - surfaces herbagères - viticulture - arboriculture - horticulture - surfaces de promotion de la biodiversité sur terres ouvertes (SPB sur TO) - surfaces hors surface agricole utile (SAU) - divers
Aperçu	

Partenaire	DT - Département du territoire
Responsable	Office cantonal de l'agriculture et de la nature
Contact	Jean-Marc Sermet
Téléphone	+4122 388 71 71
Email	jean-marc.sermet@etat.ge.ch
Site internet	https://www.ge.ch/parcourir#territoire_et_environment-agriculture_et_cologie

Format disponible	CSV, GDB, GML, KML, SHP
-------------------	-------------------------

Mode de distribution	Accessible en consultation et en extraction pour libre utilisation (Open Data)
Restrictions d'utilisation	-

Date de mise à jour	01.11.2023
Fréquence de mise à jour	Semestrielle

Méthode d'acquisition	Digitalisation
Précision	2 mètres
Echelle d'affichage	1:200 à 1:100000

ATTRIBUTS				
Nom	Type	Taille	Description	Origine
OBJECTID	OID	4	Champ automatique avec l'identifiant de la base de chaque objet (Attention, ne pas l'utiliser comme identifiant unique permanent)	
ID	String	30	Identifiant unique	
ORACLE_ID	Integer	4	Code identifiant unique de parcelle	
KTIDB_EXP	String	10	Non renseigné	Non disponible en OpenData !
CODE_FED	SmallInteger	2	Code fédéral déterminant une affectation	
TYPE	String	100	Affectation d'une parcelle	
THEMATIQUE	String	50	Thématique liée à l'utilisation de la parcelle	
SAU	String	4	Surface incluse dans la surface agricole utile - oui - non	
SPB	String	4	Surface de promotion de la biodiversité - oui - non	
EXERCICE	SmallInteger	2	Année de recensement	
SHAPE	Geometry	4	Champ binaire automatique contenant la géométrie des objets	
SHAPE.AREA	Double	0	Champ automatique donnant la surface de chaque polygone en m2	
SHAPE.LEN	Double	0	Champ automatique donnant la longueur de chaque objet en m	

SERVICES EN LIGNE	
Type	Adresse
Esri ArcGIS Rest	https://vector.sitg.ge.ch/arcgis/rest/services/Hosted/AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE/FeatureServer
WFS	https://app2.ge.ch/tergeoservices/services/Hosted/AGR_SURFACE_AGRICOLE_RECENSEE/MapServer/WFSServer

Référence spatiale	GCS_CH1903+
--------------------	-------------

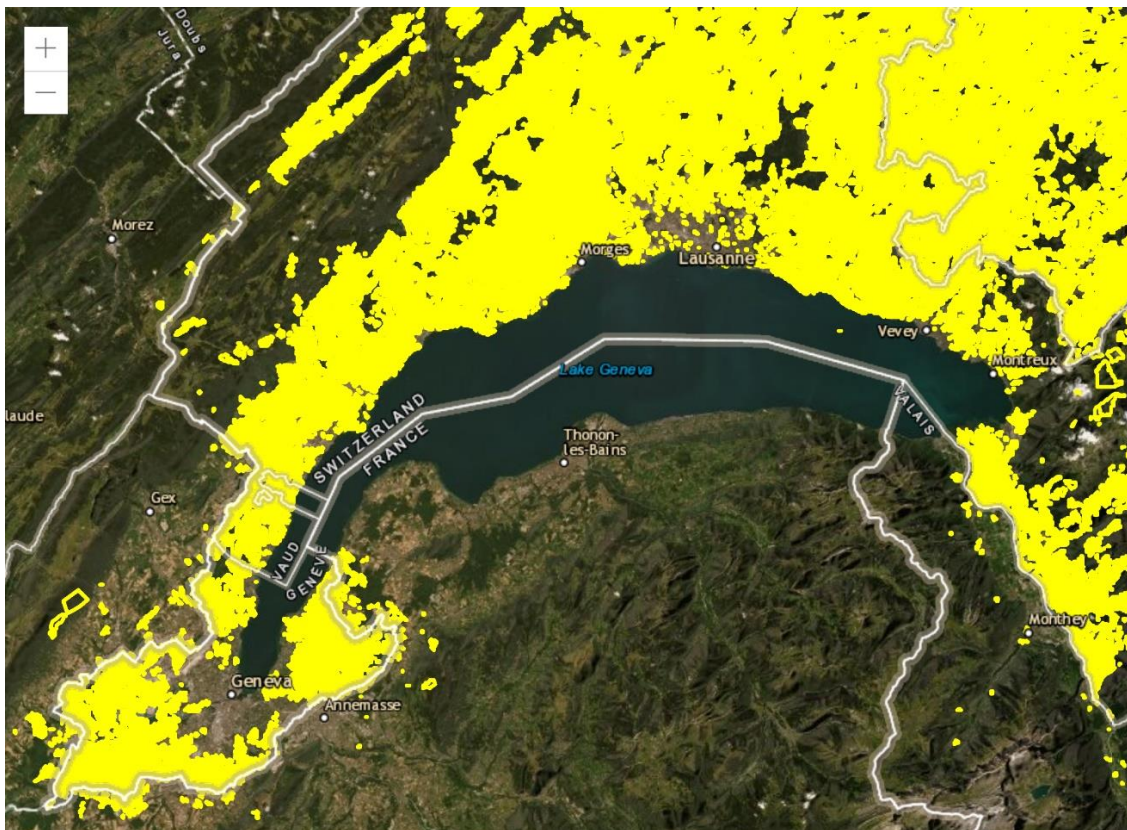
Etendue	1147221	
	2484103	2604079
	1105518	

Aspects légaux	Ordonnance sur les paiements directs (OPD), RS 910.13: https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20130216/index.html
	Loi sur l'agriculture (LAgr),RS 910.1: https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19983407/index.html
Informations complémentaires	Les données annuelles provisoires sont disponibles dès la mi-mai et les données définitives dès le mois de décembre, ceci pour l'exercice en cours. Les données des années précédentes peuvent être téléchargées depuis le catalogue du SITG (dès l'année 2017).

Date de mise à jour de la métadonnée : 01.11.2023

Guide d'utilisation du Formulaire de demande d'analyse des sols

Alain Dubois & Nicolas Vallotton | 16 décembre 2021



MARCHE À SUIVRE DESTINÉE AUX UTILISATEURS DU FORMULAIRE WEB

La page d'accueil du site web de demande d'analyse des sols est composé de :

1. De la partie formulaire déroulant sur la gauche
2. De la partie cartographie interactive fixe sur la droite
 - A. L'utilisateur commence par choisir son laboratoire dans le menu déroulant « Sélectionner le laboratoire »
 - B. Remplir les champs libres liés aux coordonnées de l'exploitant
 - i. Prénom
 - ii. Nom
 - iii. Nom de l'entreprise/société de l'exploitation (facultatif)
 - iv. Numéro de client (uniquement si connu pour le labo Sol Conseil)
 - v. Adresse de l'exploitation
 - vi. Code postal et nom de la localité de l'exploitation
 - vii. Téléphone de contact
 - viii. E-mail de contact

The screenshot shows a web browser window with the URL `hepiadata.hesge.ch/apps/anasol/`. The page title is "Demande d'analyse de TERRE". On the left, there is a form titled "Bienvenue dans le formulaire de commande d'analyses des sols". It includes a dropdown menu for "Sélectionner le Laboratoire" and several input fields for "Coordonnées de l'exploitant": Prénom, Nom, Nom de l'entreprise/société, Numéro de client (si connu), Adresse, NPA, Localité, Téléphone (+41), and E-mail. On the right, there is an interactive map showing a rural area with yellow field boundaries. The map includes labels for "Collex-Bossy" and "SUISSE SWITZERLAND". Red letters "A" and "B" are overlaid on the map to indicate the location of the form's dropdown menu and input fields respectively.

- C. Remplir ensuite la partie « Choix d'analyse ».
- Selon la Sélection du laboratoire du point A, choisir le type d'analyse proposé par le laboratoire
 - Un champ libre permet d'ajouter des analyses supplémentaires ou des commentaires
- D. Chercher ensuite la parcelle d'où provient le 1^{er} échantillon.
- Un clic sur la parcelle agricole en jaune affiche les informations liées. Il existe parfois plusieurs parcelles à des années différentes (« Année de mise à jour 2021 » pour cet exemple).
 - Les flèches en bas à gauche du tableau d'information permet de naviguer entre les parcelles.

Choix d'analyse

- GC** Grandes Cultures & Herbages
pH, MO, P, K, Mg, Ca (H2O, AAE)
Prix HT: CHF 150.00 *Prix rabais PER HT: CHF 75.00*
- MC** Cultures Maraîchères - Plein Champ
pH, MO, P, K, Mg, Ca (H2O, AAE)
Prix HT: CHF 150.00 *Prix rabais PER HT: CHF 75.00*
- MA** Cultures Maraîchères - Sous Abri
pH, MO, P, K, Mg, Ca (H2O, AAE), salinité, NO3test
Prix HT: CHF 160.00 *Prix rabais PER HT: CHF 80.00*
- AV** Arboriculture & Viticulture
pH, MO, P, K, Mg, Ca (H2O, AAE), B(AAE), CaCO3
Prix HT: CHF 180.00 *Prix rabais PER HT: CHF 90.00*

C

Souhaitez-vous des analyses supplémentaires ou avez vous des commentaires ?

- E. Lorsque la parcelle affichée est la parcelle voulue :
- Utiliser le bouton « Récupérer les informations de la parcelle » pour ventiler les données dans les champs : « Numéro de l'exploitant », « Identifiant de la parcelle » et « Canton ». Les champs peuvent dans tous les cas être modifiés par la suite dans le formulaire. Si la parcelle n'existe pas dans sa dernière version dans la carte, une « Marche à suivre Acorda » explique comment retrouver l'identifiant de la parcelle sur Acorda.
 - Remplir le champ « Nom local de la parcelle », qui correspond au nom de référence de la parcelle pour l'exploitant.

Demande d'analyse de TERRE

Échantillon

Récupérer les informations de la parcelle

Numéro de l'exploitant

Identifiant parcelle [Marche à suivre Acorda](#)

Nom local de la parcelle (référence client)

Canton

Horizon
 Sol
 Sous-Sol

Demande de texture
 Oui Non

Taux d'argile (si connu et non issu de test tactile)
-1 %

Taux de silt (si connu et non issu de test tactile)
-1 %

Taux de sable (si connu et non issu de test tactile)
-1 %

Une copie du rapport d'analyse doit-elle être transmise à un organisme/conseiller ?
 Oui Non

Si oui, préciser le(s)quel(s) ?

Valider l'échantillon

- F. La deuxième partie de la rubrique « Echantillon »
- i. Le champ « Horizon » permet d'indiquer s'il s'agit d'un échantillon de sol ou de sous-sol.
 - ii. Si la case « Demande de texture » est positionnée sur « Non », il est possible de renseigner les taux (0 à 100%) d'argile, de silt et de sable des analyses précédentes si celles-ci sont issues d'un test tactile. Si non, laisser les valeurs à -1%.
 - iii. Il est possible d'indiquer une personne de contact pour transmettre le résultat d'analyse et d'indiquer son nom et/ou son adresse dans un champ libre.
- G. Le bouton « Valider l'échantillon » permet d'envoyer les données du formulaire pour l'exploitant et le 1^{er} échantillon.
- H. Le bouton « Valider l'échantillon » envoie sur une nouvelle page où les échantillons de la session sont affichés.
- i. Il est possible d'ajouter un nouvel échantillon avec le bouton « Ajouter un échantillon supplémentaire ». Ce dernier renvoie sur la page d'accueil et l'utilisateur peut remplir les informations concernant un autre échantillon sans devoir réécrire les informations client.
- I. Lorsque tous les échantillons ont été saisis, le bouton « Envoyer et valider la demande » permet de valider et d'envoyer la demande pour tous les échantillons affichés de la page.
- i. Une case permet d'indiquer si les échantillons sont à valider.

Ajouter un échantillon supplémentaire

H

Informations client	Echantillon 1
Prénom : Jean	Choix d'analyse : GC
Nom : Dujardin	Commentaires : Supplément CaCO3
Entreprise : Les Jardins d'en haut	Exploitant : GE66150012
N° client: RF343456	ID parcelle : GE_2021_17689
Adresse : Chemin du Pommier 12	Nom de parcelle : Petit Pré Nord
Localité : 1200, Genève	Canton : GE
Téléphone : +41791234567	Transmettre à : Alfred Jaquet, alfred.jaquet@conseil.ch
E-mail : monadresse@serveur.ch	Horizon : sol
	Texture : non
	Argile : 20.00
	Silt : 36.00
	Sable : 8.00

Voulez-vous valider tous les échantillons ci-dessus ?

Oui Non

Envoyer et valider la demande

I

Liste des échantillons validés

J

Informations client Prénom : Jean Nom : Dujardin Entreprise : Les Jardins d'en haut N° client: RF343456 Adresse : Chemin du Pommier 12 Localité : 1200, Genève Téléphone : +41791234567 E-mail : monadresse@serveur.ch	Echantillon 1 Choix d'analyse : GC Commentaires : Supplément CaCO3 Exploitant : GE66150012 ID parcelle : GE_2021_17689 Nom de parcelle : Petit Pré Nord Canton : GE Transmettre à : Alfred Jaquet, alfred.jaquet@conseil.ch Horizon : sol Texture : non Argile : 20.00 Silt : 36.00 Sable : 8.00	Echantillon 2 Choix d'analyse : GC Commentaires : Supplément CaCO3 Exploitant : GE66150020 ID parcelle : GE_2021_29518 Nom de parcelle : Petit Pré Sud Canton : GE Transmettre à : Alfred Jaquet, alfred.jaquet@conseil.ch Horizon : sol Texture : non Argile : 13.00 Silt : 32.00 Sable : 18.00
---	--	--

Imprimer la page

J

Recommencer

- J. L'utilisateur est renvoyé sur une page de validation
 - i. Les échantillons validés de la session sont affichés.
- K. Le bouton « Imprimer la page » génère un fichier PDF de la page avec une possibilité à l'exploitant de signer sa demande.
 - i. Après impression, l'exploitant signe la liste des échantillons validés et la transmet au laboratoire.
 - ii. Le bouton « Recommencer » permet de supprimer la session active et de revenir vers la page d'accueil pour recommencer une nouvelle commande d'analyse.

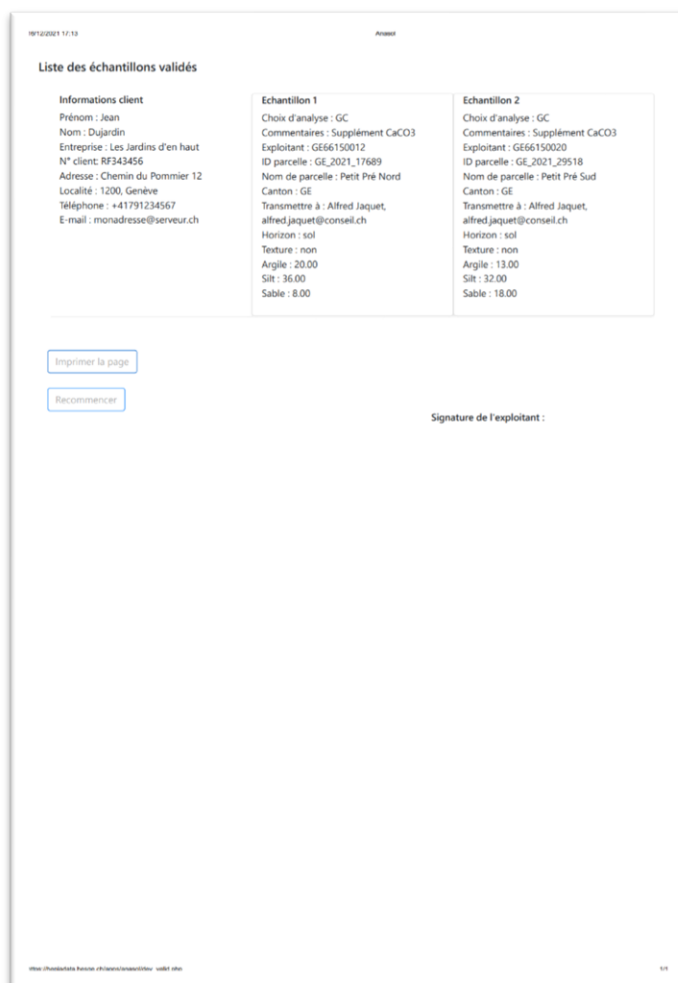
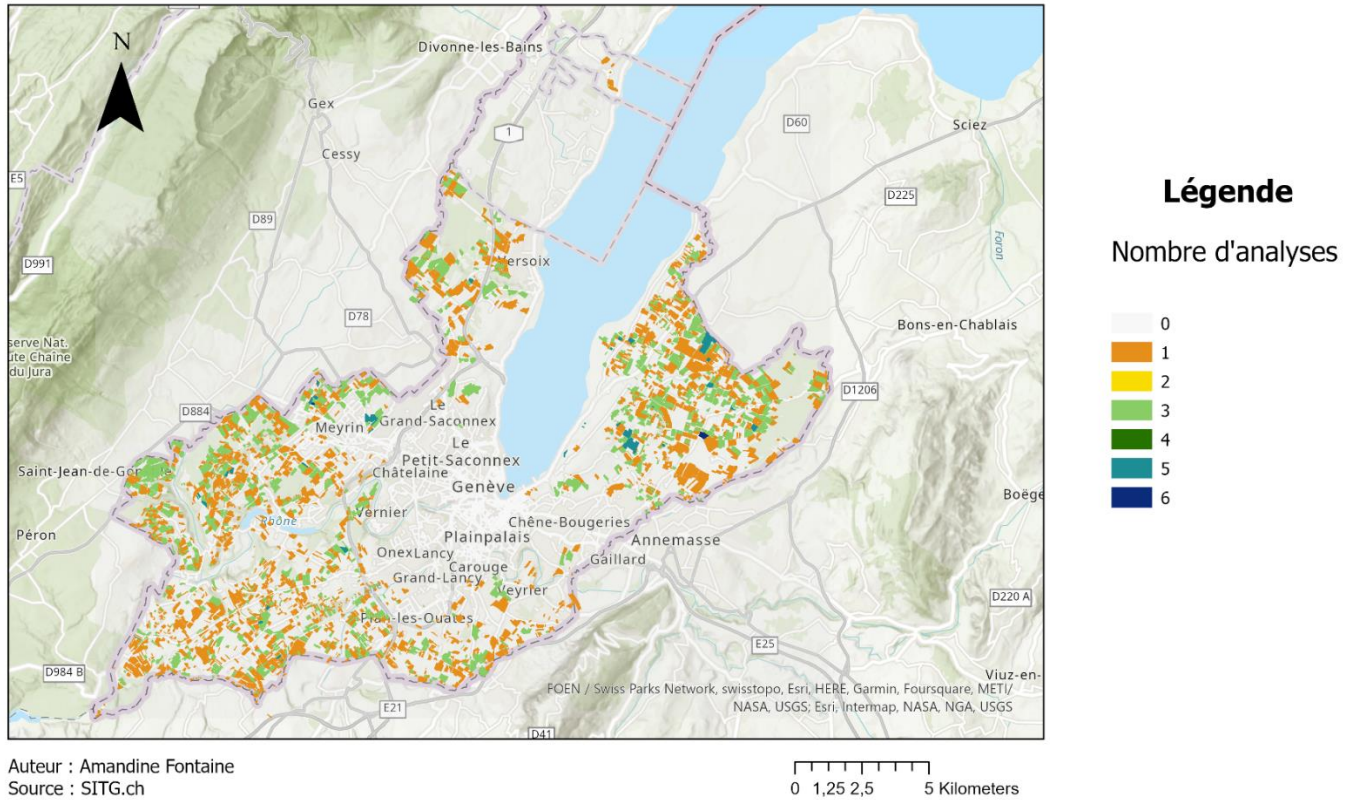


Figure 25: exemple de fichier PDF à signer

Annexe 5 : Carte de la densité d'analyse de la teneur en MO sur le Canton de Genève entre 1993 à 2023

Densité des analyses de matière organique réalisées sur les parcelles agricoles genevoises entre 1993 et 2023



Annexe 6 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications

Base de données depuis 1993											GC = Grandes Cultures MA = Cultures Maraichères AR = Arboriculture VI = Viticulture HO = Horticulture PJ = Parcs et Jardins AM = Amateur				
A = horizon 0-20 cm B = horizon 20-40		PT = Pleine Terre TU = Sacs-Abri													
Ech	Cl.	S/CI	Prat.	Ann	Sem	Série	N°	Nom Client	Référence client	Classe	Horizon	Pratique	Année	Prix	
12702	TER	PT	A	GC	22	03	2201	103	PITTET Nicolas	Avions	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12703	TER	PT	A	GC	22	03	2201	104	PITTET Nicolas	Barlo	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12704	TER	PT	A	GC	22	03	2201	105	PITTET Nicolas	La Trippie	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12705	TER	PT	A	GC	22	03	2201	106	PITTET Nicolas	Longemalle	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12706	TER	PT	A	GC	22	03	2201	107	PITTET Nicolas	Cave à papaye	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12707	TER	PT	A	GC	22	03	2201	108	PITTET Nicolas	André	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12708	TER	PT	A	MA	22	03	2201	109	FELIX R. et B.	Les Pétes	Pleine Terre	2 - 20 cm	Maraichage	2022	75
12709	TER	PT	A	MA	22	03	2201	110	FELIX R. et B.	Pièce Bas	Pleine Terre	2 - 20 cm	Maraichage	2022	75
12710	TER	PT	A	VI	22	03	2201	111	IMBERTI Sandrine	Mule	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12711	TER	PT	A	VI	22	03	2201	112	ROCHAUX Fabian	Bois Gallife Vincent	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12712	TER	PT	A	VI	22	03	2201	113	ROCHAUX Fabian	Bossons FN	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12713	TER	PT	A	VI	22	03	2201	114	ROCHAUX Fabian	Vernale	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12714	TER	PT	A	VI	22	03	2201	115	ROCHAUX Fabian	Maison Auvergne	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12715	TER	PT	A	VI	22	03	2201	116	ROCHAUX Fabian	Cabane (sol)	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12716	TER	PT	B	VI	22	03	2201	117	ROCHAUX Fabian	Cabane (sous-sol)	Pleine Terre	20 - 40 cm	Viticulture	2022	140
12717	TER	PT	A	VI	22	03	2201	118	ROCHAUX Fabian	Bossons arrachage	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	90
12718	TER	PT	A	VI	22	03	2201	119	NOVELLE Jean-Michel	Grand Clos	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140
12719	TER	PT	A	VI	22	03	2201	120	NOVELLE Jean-Michel	Batardelle	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140
12720	TER	PT	A	VI	22	03	2201	121	NOVELLE Jean-Michel	Bourdigny	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140
12721	TER	PT	A	VI	22	03	2201	122	NOVELLE Jean-Michel	Tabouret	Pleine Terre	2 - 20 cm	Viticulture	2022	140
12722	TER	PT	A	AR	22	03	2201	123	HEPIA-Amandine FONTAINE	CFPne PER arbo	Pleine Terre	2 - 20 cm	Arboriculture	2022	260
12723	TER	PT	A	AR	22	03	2201	124	HEPIA-Amandine FONTAINE	CFPne Rang	Pleine Terre	2 - 20 cm	Arboriculture	2022	370
12724	TER	PT	A	AR	22	03	2201	125	HEPIA-Amandine FONTAINE	CFPne inter-rang non-roue	Pleine Terre	2 - 20 cm	Arboriculture	2022	370
12725	TER	PT	A	AR	22	03	2201	126	HEPIA-Amandine FONTAINE	CFPne inter-rang roue	Pleine Terre	2 - 20 cm	Arboriculture	2022	370
12726	TER	PT	A	GC	22	05	2202	103	SORANATURE SA	Ville de Genève-Square Monthoux	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	270
12727	TER	PT	A	GC	22	05	2202	104	Domaine de Miliolan	Hoine Raymond	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12728	TER	PT	A	GC	22	05	2202	105	Domaine de Miliolan	Surget 2	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12729	TER	PT	A	GC	22	05	2202	106	HANSER John Robert	Domont	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12730	TER	PT	A	GC	22	05	2202	107	HANSER John Robert	Chaufour	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12731	TER	PT	A	GC	22	05	2202	108	HANSER John Robert	Sous fosse	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12732	TER	PT	A	GC	22	05	2202	109	HANSER John Robert	Boulaux	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12733	TER	PT	A	GC	22	05	2202	110	HANSER John Robert	Pilat Combatte	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12734	TER	PT	A	GC	22	05	2202	111	HANSER John Robert	Adectro	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12735	TER	PT	A	GC	22	05	2202	112	HANSER John Robert	La Pran	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12736	TER	PT	A	GC	22	05	2202	113	HANSER John Robert	Roth Courtemelon	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12737	TER	PT	A	GC	22	05	2202	114	HANSER John Robert	Cras Fourneaux	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12738	TER	PT	A	GC	22	05	2202	115	HANSER John Robert	Beaulieu	Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75
12739	TER	PT	A	GC	22	05	2201	115	Syndicat Ovin de Pléion - L. Les V. e. Sommet		Pleine Terre	2 - 20 cm	Grandes Cultures	2022	75

Figure 26 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 1). Les colonnes A à H ont été remplies à partir de 2003 (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

										Texture						
Coordonnées				Numéro cadastral						Argile %						
X	Y	Commune	Parcelle	pH	EC	CO ₂ total %	MO %	Test tact	1° pour Sable > 51 % 2° pour Sable < 51 % ou Silt > 28 % ou Argile > 25 %	Fins	Grossier	Totaux	Fins	Grossier	Totaux	
12702	-	-	-	7.94	-	-	2.09	-	-	-	-	-	-	-	-	
12703	-	-	-	7.29	-	-	2.30	-	15.2	-	-	28.6	-	-	56.1	
12704	-	-	-	7.75	-	-	2.17	-	-	-	-	-	-	-	-	
12705	-	-	-	7.65	-	-	2.32	-	-	-	-	-	-	-	-	
12706	-	-	-	7.76	-	-	2.59	-	-	-	-	-	-	-	-	
12707	-	30	38	8.15	-	-	2.22	-	25.9	-	-	40.8	-	-	33.3	
12708	-	1217	10216	5.98	-	-	2.15	-	14.5	-	-	38.4	-	-	47.0	
12709	-	1217	11402	7.32	-	-	3.37	-	16.4	-	-	36.8	-	-	48.8	
12710	-	1283	264	7.82	-	6.3	2.27	-	27	-	-	45.0	-	-	28.0	
12711	-	1242	10009	6.85	-	0.4	2.49	-	23	-	-	45.0	-	-	31.0	
12712	-	1242	10806	7.63	-	1.8	2.08	-	22	-	-	41.0	-	-	36.0	
12713	-	1242	6667	7.81	-	6.5	2.31	-	-	-	-	-	-	-	-	
12714	-	1242	10797	7.69	-	9.4	2.39	-	-	-	-	-	-	-	-	
12715	-	1242	6670	7.75	-	9.8	2.41	-	-	-	-	-	-	-	-	
12716	-	1242	6670	7.96	-	9.4	1.73	-	30.166887	31.036939	14.246464	45.3	15.8	7.9	23.7	
12717	-	1242	6797	7.66	-	5.3	2.01	-	22	-	-	41.0	-	-	36.0	
12718	-	5263 7118	-	7.61	-	2.0	1.83	-	18.992564	20.882143	13.496995	34.4	33.2	12.1	45.3	
12719	-	5265 5648	-	7.39	-	0.0	3.00	-	25.149485	21.779351	13.917526	35.7	29.0	8.0	37.1	
12720	-	246 4338	-	7.52	-	2.9	1.91	-	18.498318	22.04608	15.546947	37.6	29.6	14.1	43.6	
12721	-	4143 7103	-	7.58	-	1.2	1.70	-	16.932859	16.149542	11.571719	27.7	42.1	12.0	54.1	
12722	-	-	-	7.70	-	6.5	2.94	-	24.618792	23.052751	13.780136	36.8	20.2	17.0	37.2	
12723	-	-	-	7.75	-	6.1	3.02	-	24.381316	22.942875	13.920396	36.9	20.3	15.6	36.8	
12724	-	-	-	7.82	-	8.2	2.79	-	24.195042	21.216953	13.758873	35.0	19.2	18.0	37.2	
12725	-	-	-	7.74	-	6.9	2.66	-	23.777481	22.986439	14.382577	37.4	19.5	16.8	36.3	
12726	-	-	-	7.65	-	-	3.47	-	16.72537	18.258572	14.114783	32.4	28.6	22.4	51.0	
12727	-	26C	-	7.66	-	-	3.74	-	29.9	-	-	38.8	-	-	31.3	
12728	-	3	-	7.72	-	-	4.34	-	37.9	-	-	37.1	-	-	25.0	
12729	-	2802	-	7.35	-	-	5.54	-	-	-	-	-	-	-	-	
12730	-	2802	-	7.31	-	-	6.64	-	-	-	-	-	-	-	-	
12731	-	2802	-	7.61	-	-	8.08	-	-	-	-	-	-	-	-	
12732	-	2802	-	7.90	-	-	6.32	-	-	-	-	-	-	-	-	
12733	-	2802	-	7.70	-	-	8.06	-	-	-	-	-	-	-	-	
12734	-	2802	-	7.80	-	-	8.30	-	-	-	-	-	-	-	-	
12735	-	2802	-	7.63	-	-	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	
12736	-	2802	-	7.24	-	-	6.52	-	-	-	-	-	-	-	-	
12737	-	2802	-	7.09	-	-	4.07	-	-	-	-	-	-	-	-	
12738	-	2802	-	6.83	-	-	3.19	-	-	-	-	-	-	-	-	
12739	-	2802	-	6.63	-	-	8.20	-	-	-	-	-	-	-	-	

Figure 27: Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 2) (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
17702	1.0	20.7	8.4	194.0	13.9	141.5	482.0	6268.8	Ca AAED	141.5	482.0	6268.8	Ca AAED	13.9	141.5	482.0	6268.8	Ca AAED	13.9	141.5	482.0	6268.8	Ca AAED	13.9	141.5	482.0	6268.8
17703	2.9	59.2	8.6	148.4	53.7	258.4	71.3	294.5	Mg AAED	258.4	71.3	294.5	Mg AAED	53.7	258.4	71.3	294.5	Mg AAED	53.7	258.4	71.3	294.5	Mg AAED	53.7	258.4	71.3	294.5
17704	2.9	21.7	6.9	229.0	41.7	136.3	284.8	3057.1	K AAED	136.3	284.8	3057.1	K AAED	41.7	136.3	284.8	3057.1	K AAED	41.7	136.3	284.8	3057.1	K AAED	41.7	136.3	284.8	3057.1
17705	4.1	20.2	9.3	213.0	25.8	267.5	489.9	6168.1	P AAED	267.5	489.9	6168.1	P AAED	25.8	267.5	489.9	6168.1	P AAED	25.8	267.5	489.9	6168.1	P AAED	25.8	267.5	489.9	6168.1
17706	1.7	23.0	5.9	158.1	52.8	136.6	149.2	1369.3	K AAED	136.6	149.2	1369.3	K AAED	52.8	136.6	149.2	1369.3	K AAED	52.8	136.6	149.2	1369.3	K AAED	52.8	136.6	149.2	1369.3
17707	1.2	20.2	6.8	20.8	8.8	167.8	157.9	1901	Mg AAED	167.8	157.9	1901	Mg AAED	8.8	167.8	157.9	1901	Mg AAED	8.8	167.8	157.9	1901	Mg AAED	8.8	167.8	157.9	1901
17708	6.5	52.1	9.4	78.4	54.3	195.0	98.0	1224	Ca AAED	195.0	98.0	1224	Ca AAED	54.3	195.0	98.0	1224	Ca AAED	54.3	195.0	98.0	1224	Ca AAED	54.3	195.0	98.0	1224
17709	5.0	40.5	8.0	196.8	165.8	173.5	89.7	8219	Mg AAED	173.5	89.7	8219	Mg AAED	165.8	173.5	89.7	8219	Mg AAED	165.8	173.5	89.7	8219	Mg AAED	165.8	173.5	89.7	8219
17710	5.3	32.3	9.0	178.1	124.7	235.0	331.7	24120	Ca AAED	235.0	331.7	24120	Ca AAED	124.7	235.0	331.7	24120	Ca AAED	124.7	235.0	331.7	24120	Ca AAED	124.7	235.0	331.7	24120
17711	5.3	42.6	22.5	139.7	107.8	235.5	258.0	3275	Mg AAED	235.5	258.0	3275	Mg AAED	107.8	235.5	258.0	3275	Mg AAED	107.8	235.5	258.0	3275	Mg AAED	107.8	235.5	258.0	3275
17712	8.9	34.4	13.1	163.4	128.7	218.3	230.9	7485	K AAED	218.3	230.9	7485	K AAED	128.7	218.3	230.9	7485	K AAED	128.7	218.3	230.9	7485	K AAED	128.7	218.3	230.9	7485
17713	6.2	53.5	12.5	151.3	118.0	374.9	492.7	27046	P AAED	374.9	492.7	27046	P AAED	118.0	374.9	492.7	27046	P AAED	118.0	374.9	492.7	27046	P AAED	118.0	374.9	492.7	27046
17714	6.4	66.1	21.6	159.8	112.2	390.0	2220.4	26683	K AAED	390.0	2220.4	26683	K AAED	112.2	390.0	2220.4	26683	K AAED	112.2	390.0	2220.4	26683	K AAED	112.2	390.0	2220.4	26683
17715	3.7	46.2	15.2	178.0	57.0	312.5	747.2	40925	Mg AAED	312.5	747.2	40925	Mg AAED	15.2	312.5	747.2	40925	Mg AAED	15.2	312.5	747.2	40925	Mg AAED	15.2	312.5	747.2	40925
17716	2.0	27.3	13.1	165.7	50.6	260.8	752.0	35576	Ca AAED	260.8	752.0	35576	Ca AAED	50.6	260.8	752.0	35576	Ca AAED	50.6	260.8	752.0	35576	Ca AAED	50.6	260.8	752.0	35576
17717	3.6	30.2	15.8	198.8	168.2	343.9	22187	1152288	Mg AAED	343.9	22187	1152288	Mg AAED	168.2	343.9	22187	1152288	Mg AAED	168.2	343.9	22187	1152288	Mg AAED	168.2	343.9	22187	1152288
17718	2.9	40.7	10.9	145.3	104.2	195.8	183.5	8974	Ca AAED	195.8	183.5	8974	Ca AAED	104.2	195.8	183.5	8974	Ca AAED	104.2	195.8	183.5	8974	Ca AAED	104.2	195.8	183.5	8974
17719	2.5	45.5	16.2	195.4	71.8	258.2	215.1	7039	Mg AAED	258.2	215.1	7039	Mg AAED	71.8	258.2	215.1	7039	Mg AAED	71.8	258.2	215.1	7039	Mg AAED	71.8	258.2	215.1	7039
17720	5.6	41.2	11.5	162.0	163.1	233.2	244.0	13602	Ca AAED	233.2	244.0	13602	Ca AAED	163.1	233.2	244.0	13602	Ca AAED	163.1	233.2	244.0	13602	Ca AAED	163.1	233.2	244.0	13602
17721	1.8	40.0	11.7	142.6	46.1	207.6	217.6	2976	Mg AAED	207.6	217.6	2976	Mg AAED	46.1	207.6	217.6	2976	Mg AAED	46.1	207.6	217.6	2976	Mg AAED	46.1	207.6	217.6	2976
17722	2.0	51.4	8.6	142.6	65.5	210.3	265.0	28140	K AAED	210.3	265.0	28140	K AAED	65.5	210.3	265.0	28140	K AAED	65.5	210.3	265.0	28140	K AAED	65.5	210.3	265.0	28140
17723	2.0	38.1	8.9	162.2	65.8	253.9	224.8	25109	Mg AAED	253.9	224.8	25109	Mg AAED	65.8	253.9	224.8	25109	Mg AAED	65.8	253.9	224.8	25109	Mg AAED	65.8	253.9	224.8	25109
17724	1.5	38.1	8.1	161.1	55.9	265.0	234.9	26435	Ca AAED	265.0	234.9	26435	Ca AAED	55.9	265.0	234.9	26435	Ca AAED	55.9	265.0	234.9	26435	Ca AAED	55.9	265.0	234.9	26435
17725	1.8	42.0	8.1	164.7	62.3	265.0	201.0	42633	Mg AAED	265.0	201.0	42633	Mg AAED	62.3	265.0	201.0	42633	Mg AAED	62.3	265.0	201.0	42633	Mg AAED	62.3	265.0	201.0	42633
17726	3.1	53.7	10.2	198.4	50.5	201.0	42633	13355724	Ca AAED	201.0	42633	13355724	Ca AAED	10.2	201.0	42633	13355724	Ca AAED	10.2	201.0	42633	13355724	Ca AAED	10.2	201.0	42633	13355724
17727	1.3	17.3	9.2	221.4	25.5	182.0	232.2	18953	Mg AAED	182.0	232.2	18953	Mg AAED	25.5	182.0	232.2	18953	Mg AAED	25.5	182.0	232.2	18953	Mg AAED	25.5	182.0	232.2	18953
17728	1.7	25.0	10.0	211.9	48.5	303.1	282.6	18884	Ca AAED	303.1	282.6	18884	Ca AAED	48.5	303.1	282.6	18884	Ca AAED	48.5	303.1	282.6	18884	Ca AAED	48.5	303.1	282.6	18884
17729	1.7	28.8	7.9	203.7	35.4	265.0	133.8	6596	Mg AAED	265.0	133.8	6596	Mg AAED	35.4	265.0	133.8	6596	Mg AAED	35.4	265.0	133.8	6596	Mg AAED	35.4	265.0	133.8	6596
17730	3.6	60.7	9.6	249.5	80.7	434.6	160.8	8857	Ca AAED	434.6	160.8	8857	Ca AAED	80.7	434.6	160.8	8857	Ca AAED	80.7	434.6	160.8	8857	Ca AAED	80.7	434.6	160.8	8857
17731	4.2	88.5	8.7	294.6	59.4	665.6	245.4	33977	Mg AAED	665.6	245.4	33977	Mg AAED	59.4	665.6	245.4	33977	Mg AAED	59.4	665.6	245.4	33977	Mg AAED	59.4	665.6	245.4	33977
17732	2.6	44.0	6.2	251.5	57.3	410.4	235.4	48674	K AAED	410.4	235.4	48674	K AAED	57.3	410.4	235.4	48674	K AAED	57.3	410.4	235.4	48674	K AAED	57.3	410.4	235.4	48674
17733	2.7	43.8	7.5	287.4	85.4	401.7	216.5	32272	Mg AAED	401.7	216.5	32272	Mg AAED	85.4	401.7	216.5	32272	Mg AAED	85.4	401.7	216.5	32272	Mg AAED	85.4	401.7	216.5	32272
17734	2.0	31.6	8.0	271.0	33.8	288.0	232.8	59205	Ca AAED	288.0	232.8	59205	Ca AAED	33.8	288.0	232.8	59205	Ca AAED	33.8	288.0	232.8	59205	Ca AAED	33.8	288.0	232.8	59205
17735	4.0	21.7	8.3	230.2	131.7	231.8	206.3	15029	Mg AAED	231.8	206.3	15029	Mg AAED	8.3	231.8	206.3	15029	Mg AAED	8.3	231.8	206.3	15029	Mg AAED	8.3	231.8	206.3	15029
17736	4.0	34.1	9.9	162.7	168.8	358.1	293.1	7456	Ca AAED	358.1	293.1	7456	Ca AAED	9.9	358.1	293.1	7456	Ca AAED	9.9	358.1	293.1	7456	Ca AAED	9.9	358.1	293.1	7456
17737	4.1	50.4	6.8	114.0	66.1	236.6	103.8	3868	Mg AAED	236.6	103.8	3868	Mg AAED	66.1	236.6	103.8	3868	Mg AAED	66.1	236.6	103.8	3868	Mg AAED	66.1	236.6	103.8	3868
17738	6.4	58.9	5.3	61.0	49.4	256.3	91.5	2064	Ca AAED	256.3	91.5	2064	Ca AAED	5.3	256.3	91.5	2064	Ca AAED	5.3	256.3	91.5	2064	Ca AAED	5.3	256.3	91.5	2064
17739	1.8	11.1	7.2	407.2	19.4	177.3	2068	5789	Mg AAED	177.3	2068	5789	Mg AAED	19.4	177.3	2068	5789	Mg AAED	19.4	177.3	2068	5789	Mg AAED	19.4	177.3	2068	5789

Bilan délais d'analyses

Date de réception	Date du rapport

Figure 28: Base de données du laboratoire d'analyses des sols avant modifications (partie 3) (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

Annexe 7 : Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Ech.	Cl.	S/Cl.	Prat.	Ann.	Sem.	Série	N°	Nom Client	Référence cl	Classe	Horizon	Pratique	Année	Prix	X	Y	Commune	Parcelle
2								BACIOCCHI T	GRANS	CEJG	Pleine Terre 2 - 20 cm	Maraichage	1993					
3								BAUDET PIER	Arballete 0-3		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
4								BAUDET PIER	Place 35-50		Pleine Terre 20 - 40 cm	Viticulture	1993					
5								BAUDET PIER	Arballete 35		Pleine Terre 20 - 40 cm	Viticulture	1993					
6								BAUDET PIER	Riesling Silv		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
7								BAUDET PIER	Place 0-30		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
8								BAUDET PIER	César 0-30		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
9								BAUDET PIER	Riesling silv		Pleine Terre 20 - 40 cm	Viticulture	1993					
10								BAUDET PIER	Cimetière 0-		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
11								BAUDET PIER	Cimetière 35		Pleine Terre 20 - 40 cm	Viticulture	1993					
12								BAUDET PIER	La Pointe 0-2		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
13								BAUSSAND H			Pleine Terre 2 - 20 cm	Maraichage	1993					
14								BERGUER FR	Grande Plan		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
15								BERGUER FR	Morraine 61		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
16								BERGUER FR	Chouilly 6155		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
17								BERGUER FR	Bourdigny 6		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
18								BERGUER FR	Le Plateau 6		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
19								BERGUER FR	Plateau d'Es		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
20								BERGUER FR	Petite moral		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
21								BERGUER FR	Grande mor		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
22								BERGUER FR	Les Clus 114		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
23								BERGUER FR	La limite Hy		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
24								BERGUER FR	La limite Gar		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
25								BERGUER FR	Les pommier		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
26								BERGUER FR	Talus 6155 F		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
27								BERGUER FR	Grand carré		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
28								BERGUER FR	Plateau d'Es		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
29								BERGUER FR	Levant 6843		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
30								BLANDIN JE	Meylan		Pleine Terre 2 - 20 cm	Grandes Cult	1993					
31								BLOUDIN RE	parcelle de t		Pleine Terre 20 - 40 cm	Grandes Cult	1993		151	120		
32								BOUVIER XA	Quédan		Pleine Terre 2 - 20 cm	Arboricultur	1993					
33								BOUVIER XA	Hangar		Pleine Terre 2 - 20 cm	Arboricultur	1993					
34								BOUVIER XA	1 Quédan 87		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
35								BOUVIER XA	2 La Ravoire		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
36								BOUVIER XA	3 Sur la font		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					
37								BOUVIER XA	4 sur Certou		Pleine Terre 2 - 20 cm	Viticulture	1993					

Figure 29: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro. Les colonnes A à H ont été remplies à partir de 2003 (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
pH	EC	CO3 total %	MO %	Test tactile	Argile	Silt Fins	Silt Grossier	Silt Totaux	Sables Fins	Sables Gross	Sables Totau
2	8	-	-		-						
3	8	6.7	3.2		34.7			37.3			28
4	7.8	4.5	2.1								
5	8	6.7	1.3								
6	7.8	7.1	2.6		30.8			33.9			31.3
7	7.7	2.7	3		28.5			40			31.5
8	8.2	11.1	3.2								
9	7.8	2.2	1.1								
10	7.8	8.5	2.1		34.4			34.5			31.1
11	8	24.1	1.8								
12	8.2	20.5	2.6		35.2			43.1			21.7
13	7.6	-	2.6								
14	8.2	-	1.8								
15	8.2	-	1.4								
16	8.1	-	1.5								
17	8.2	-	2.8								
18	8.1	-	1.5								
19	8.1	-	2								
20	8.2	-	2.1								
21	8.2	-	2								
22	6.9	-	2								
23	7.6	-	2.1								
24	7.8	-	2								
25	8.3	-	1.4								
26	8.2	-	2.1								
27	8.1	-	1.4								
28	8.3	-	1.7								
29	8.2	-	1.5								
30	7.5	-	2.8								
31	12.5	0.5	1		22			23			23
32	5.8	-	2.4								
33	6.9	-	2.9								
34	7.7	-	2.6		25.7			39.2			35.1
35	7.9	-	2.2								
36	8.1	-	2								
37	8	-	2.3								

Figure 30: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	
1	P H2O	K H2O	Mg H2O	Ca H2O	P AAEDTA	K AAEDTA	Mg AAEDTA	Ca AAEDTA	B	N-NO3		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn		P CO2	KCO2	
2	-	-	-	-	97.5	122	420	42300	-												
3	8.4	85	12.4	184	130	590	335	31300	2.8												
4	1.3	31	10.1	108.5	42.4	250	225	22600	1.6												
5	0.2	27	8.3	108.5	22.6	300	290	31600	1.2												
6	10.2	90	10.3	230	176	540	335	35300	1.7												
7	9.1	65	12.5	152	151	420	245	19000	2.6												
8	8.6	75	9.4	212	124	470	425	54400	1.9												
9	-	16	7.8	93	19.4	210	155	12700	1.9												
10	18.2	90	13.5	166.5	98.1	570	475	43200	2												
11	0.2	20	10.5	139.5	19.7	260	730	104000	0												
12	6.6	100	12.9	138	75.2	580	720	98000	0												
13	23.7	96	14	116.5	506	360	190	15000	-												
14	8.2	55	16	144	122	330	370	30200	2.4												
15	14	70	16	118	166	370	310	25900	2.8												
16	9.4	60	12.5	122	103	320	320	29100	2.5												
17	8.6	55	18.5	155	108	390	670	48400	1.7												
18	10.9	65	17	133	87	290	500	34900	1.6												
19	5	45	14.5	180	61.7	260	330	31400	2												
20	13.6	80	17.5	139	116	330	440	46400	1.1												
21	10	60	20	128	69.6	260	730	78800	0.2												
22	11.1	40	12	61	87	240	170	3200	0.8												
23	6	40	25	232	72.6	210	250	10500	1.1												
24	4.2	35	19	218	52.7	210	250	17200	1.1												
25	6.1	40	12.5	139	85	210	240	27800	1												
26	10	60	13.5	137	111	310	430	48000	1.5												
27	9.4	55	15	142	106	320	360	37800	0.2												
28	3.9	20	10	158	53.6	170	250	28400	0.9												
29	8.1	65	15	132	67.6	330	350	34700	1.1												
30	3.4	29.6	8.4	203	59	193	170	21600	-												
31	3	3	5	5	3	4	5	-	-												
32	22.8	55	10	18	92.6	310	165	1265.5	4												
33	16.8	100	21.4	118.5	144	360	250	7700	4.7												
34	12.4	60	17	124.5	197	370	255	13700	2.6												
35	14.7	60	15.5	143.5	232	360	295	21400	2.5												
36	6.9	39	13.4	235	214	250	425	53200	1.3												
37	8.3	49	13	239.5	72.9	280	535	90000	2												

Figure 31: Base de données du laboratoire d'analyses des sols modifiées pour être utilisée dans ArcGIS Pro (source : laboratoire d'analyse des sols, HEPIA).

Annexe 8 : Valeurs moyenne de MO/A pour chaque type de sol

Tableau 6 : Valeurs moyenne de MO/A des sols agricoles genevois, par pixel, pour chaque type de sol, pour les années 1993, 2003, 2013 et 2023.

Type_Sol	1993	2003	2013	2023
Chaîne de sols à gley eutrophe des petites dépressions et thalwegs de la topographie morainique		10.99	8.86	14.00
Chaîne de sols à gley eutrophe des thalwegs d'érosion dans les argiles glacio-lacustres		9.50		
Chaîne de sols bruns calcaire des bosses érodées, hydromorphes ou non suivant les endroits			11.00	
Chaîne de sols bruns calcaire des collines morainiques érodées	11.00	7.67	8.41	13.80
Chaîne de sols bruns calcaire des collines morainiques érodées, hydromorphes ou non suivant les endroits		10.00		
Gleys alluviaux calcaires oxydés à oxydoréduits				9.62
Sols alluviaux calcaires		12.55	11.00	
Sols alluviaux calcaires à gley et gleys alluviaux calcaires oxydés à oxydoréduits			11.00	
Sols alluviaux peu hydromorphes		7.00		
Sols bruns à bruns lessivés sur moraine, fortement caillouteux	17.00	12.00	9.80	
Sols bruns à hydromorphie moyenne ou forte, sur moraine à faciès glaciolacustre		10.00	9.10	
Sols bruns à pseudogley, parfois peu hydromorphes, sur moraine	8.86	8.42	7.41	
Sols bruns calcaires à calciques peu hydromorphes, dans dépôts morainiques avec parfois une part de molasse	8.00	8.30	6.04	
Sols bruns calcaires et bruns, plus ou moins hydromorphes, sur moraine			8.31	
Sols bruns calcaires et calciques, peu hydromorphes	10.36	6.76	13.50	
Sols bruns calcaires plus ou moins hydromorphes, sur moraine	7.43	8.08		
Sols bruns calciques, bruns calcaires et bruns lessivés, peu hydromorphes sur moraine		11.76	10.55	13.61
Sols bruns calciques, parfois peu hydromorphes, sur moraine		9.89		
Sols bruns et bruns lessivés moyennement hydromorphes, parfois peu hydromorphes, sur moraine	12.72	9.04	12.02	13.04
Sols bruns faiblement calcaires, hydromorphes sur moraine à faciès glacio-lacustre		9.00	8.80	
Sols bruns lessivés et bruns à hydromorphie moyenne à forte, sur moraine de fond		10.10	11.19	11.17
Sols bruns lessivés rubéfiés sur dépôt fluvio-glaciaire		11.14	12.00	9.64
Sols bruns lessivés sur terrasse du Rhône		9.00		
Sols bruns lessivés, à hydromorphie modérée, dans dépôt fluvio-glaciaire		10.00		
Sols bruns lessivés, bruns modaux, bruns calcaires à calciques moyennement hydromorphes, parfois peu hydromorphes, sur moraine, localement aussi sur molasse			9.00	
Sols bruns modaux, bruns lessivés et bruns calcaires, faiblement à moyennement hydromorphes sur moraine	8.00	8.53	15.34	
Sols calcaires d'érosion (rendzines) en bordure de terrasse fluvio-glaciaire		8.39		
Sols calcaires d'érosion et d'apport localement hydromorphes, dans dépôts hétérogènes plus ou moins remaniés		8.92	11.39	14.00

Les différents types de sols peuvent être regroupés en 4 catégories :

- Chaîne de sols bruns (Chaîne de sols à gley eutrophe des petites dépressions et thalwegs de la topographie morainique ; Chaîne de sols à gley eutrophe des thalwegs d'érosion dans les argiles glacio-lacustres ; Chaîne de sols bruns calcaire des bosses érodées, hydromorphes ou non suivant les endroits ; Chaîne de sols bruns calcaire des collines morainiques érodées ; Chaîne de sols bruns calcaire des collines morainiques érodées, hydromorphes ou non suivant les endroits),
- Sols alluviaux (Gleys alluviaux calcaires oxydés à oxydoréduits ; Sols alluviaux calcaires ; Sols alluviaux calcaires à gley et gleys alluviaux calcaires oxydés à oxydoréduits ; Sols alluviaux peu hydromorphes),
- Sols bruns (Sols bruns à bruns lessivés sur moraine, fortement caillouteux ; Sols bruns à hydromorphie moyenne ou forte, sur moraine à faciès glaciolacustre ; Sols bruns à pseudogley, parfois peu hydromorphes, sur moraine ; Sols bruns calcaires à calciques peu hydromorphes, dans dépôts morainiques avec parfois une part de molasse ; Sols bruns calcaires et bruns, plus ou moins hydromorphes, sur moraine ; Sols bruns calcaires et calciques, peu hydromorphes ; Sols bruns calcaires plus ou moins hydromorphes, sur moraine ; Sols bruns calciques, bruns calcaires et bruns lessivés, peu hydromorphes sur moraine ; Sols bruns calciques, parfois peu hydromorphes, sur moraine ; Sols bruns et bruns lessivés moyennement hydromorphes, parfois peu hydromorphes, sur moraine ; Sols bruns faiblement calcaires, hydromorphes sur moraine à faciès glacio-lacustre ; Sols bruns lessivés et bruns à hydromorphie moyenne à forte, sur moraine de fond ; Sols bruns lessivés rubéfiés sur dépôt fluvio-glaciaire ; Sols bruns lessivés sur terrasse du Rhône ; Sols bruns lessivés, à hydromorphie modérée, dans dépôt fluvio-glaciaire ; Sols bruns lessivés, bruns modaux, bruns calcaires à calciques moyennement hydromorphes, parfois peu hydromorphes, sur moraine, localement aussi sur molasse ; Sols bruns modaux, bruns lessivés et bruns calcaires, faiblement à moyennement hydromorphes sur moraine)
- et Sols calcaires (Sols calcaires d'érosion (rendzines) en bordure de terrasse fluvio-glaciaire et Sols calcaires d'érosion et d'apport localement hydromorphes, dans dépôts hétérogènes plus ou moins remaniés).

Annexe 9 : Carte des indices de vulnérabilité moyens de la structure des sols agricoles genevois, en fonction du type de sol, sur la période de 1993 à 2023.

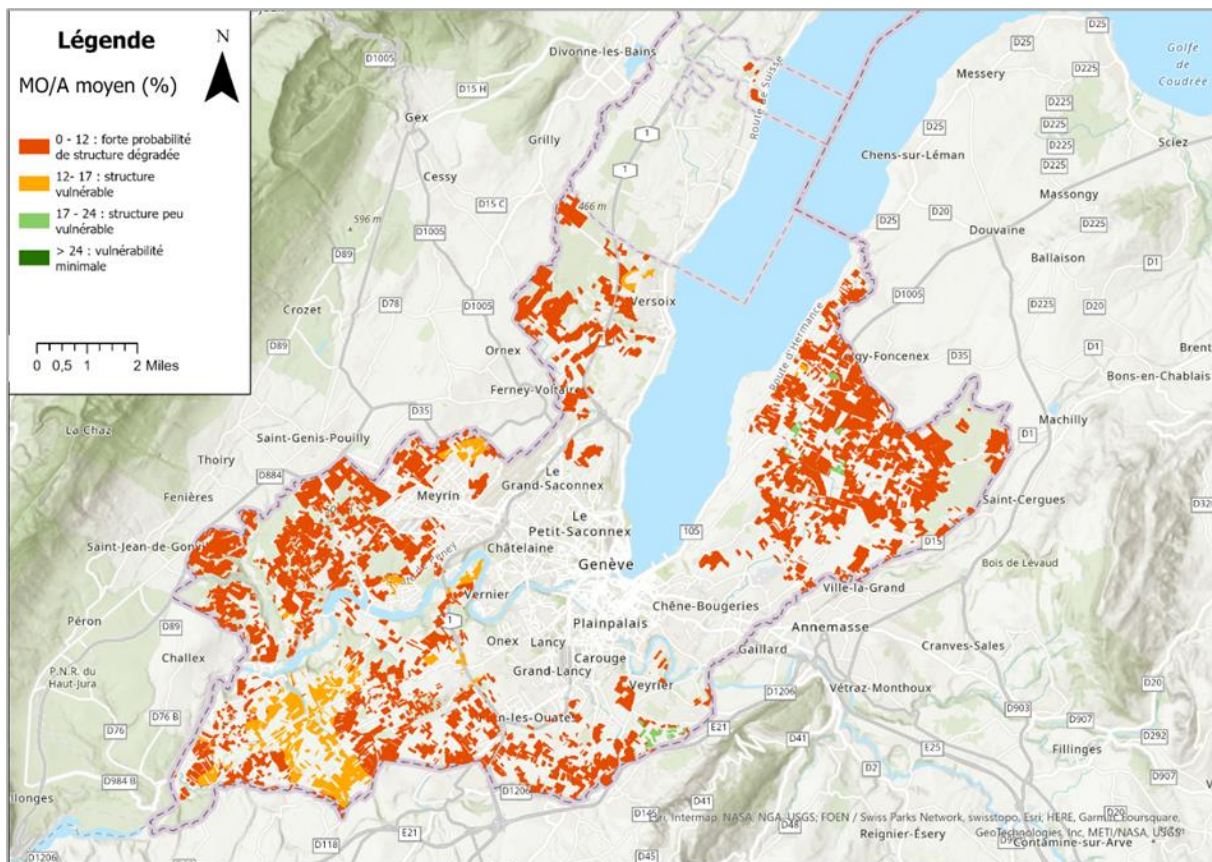


Figure 32: Carte des indices de vulnérabilité moyens de la structure des sols agricoles genevois, en fonction du type de sol, sur la période de 1993 à 2023 (résolution de 2 m par 2 m). MO/A < à 12% : des sols très pauvres, une forte probabilité de structure dégradée. Ces sols ne peuvent remplir leurs fonctions à long terme et doivent être réhabilités. Entre 12 et 17% : teneurs en MO sont insuffisantes pour que les sols remplissent toutes leurs fonctions. La structure est vulnérable. L'amélioration est nécessaire. 17% : seuil de qualité minimal, mais la structure reste vulnérable. 24 % : seuil de qualité optimal en termes de fonctionnalité à long terme. La vulnérabilité de la structure est alors minimale.