ANALYSE DE THÈSE

EXPLORATION DU POTENTIEL DE DONNÉES D'OBSERVATIONS DE TERRAIN POUR CARACTÉRISER OU CARTOGRAPHIER DES PROPRIÉTÉS OU DES COMPORTEMENTS DES SOLS

Thèse d'Anne **RICHER de FORGES**[1]

Analysée par Marc **VOLTZ**[2]

Directeurs de thèse :
Hocine **BOURENNANE**, Ingénieur de Recherche, INRAE, unité Info&Sols, Orléans
Dominique **ARROUAYS**, Ingénieur de Recherche, INRAE, unité Info&Sols, Orléans

La connaissance des sols de notre planète est un enjeu majeur, tant les rôles du sol dans le fonctionnement des écosystèmes et les services écosystémiques qu'il rend à l'homme sont nombreux et essentiels. L'acquisition et la capitalisation de données sur les sols est donc primordial à cet égard. Pourtant, malgré les efforts très conséquents réalisés au plan international pour la création de bases de données pédologiques, l'information disponible reste fragmentaire par rapport aux besoins. Elle est de surcroît insuffisamment exploitée. En effet, comme l'indique Anne Richer de Forges dans ce mémoire de thèse, les données de nature qualitative acquises sur le terrain lors de prospections pédologiques sont bien moins utilisées que les données issues de mesures quantitatives alors qu'elles constituent les données collectées les plus abondantes. C'est à partir de ce constat que l'objectif, très innovant, du travail de doctorat d'Anne Richer de Forges a été d'analyser le potentiel des données pédologiques de terrain pour la connaissance spatialisée des propriétés du sol.

Le mémoire de thèse comprend 11 chapitres, dont 7 décrivent les résultats publiés dans pas moins de 8 articles en langue anglaise dans des revues internationales. L'auteure a fait l'effort rare, de retraduire en français l'ensemble des textes déjà publiés et de les enrichir afin de bien dégager leur logique d'ensemble et faciliter la lecture au-delà du seul cercle académique.

De manière usuelle, le premier chapitre présente le contexte général de la thèse, les enjeux de connaissance des sols, les efforts en cours de capitalisation des données « sols », ainsi que les questions de recherche génériques traitées par la thèse. Le second chapitre complète utilement le précédent en faisant un bilan très complet et pédagogique de la littérature internationale sur l'usage des variables qualitatives de terrain en science du sol et des méthodologies récentes de cartographie des sols par modélisation statistique, aussi appelées en anglais Digital soil mapping (DSM). Ces deux chapitres sont fondés sur une impressionnante revue bibliographique et démontrent, de la part de l'auteure, une analyse très fine et critique des acquis et méthodes en cartographie des sols. Leur lecture est à conseiller à toute personne voulant rapidement se familiariser avec ce domaine.

Pour démontrer le potentiel des données d'observation de terrain, l'auteure a choisi de focaliser son travail sur deux types de données : i) la texture du sol, qui représente l'abondance relative des différentes tailles de particules du sol et est estimée sur le terrain par classes d'abondances relatives, à l'aide d'observations tactiles et visuelles et ii) la compacité du sol

[1] Thèse de doctorat soutenue le 10 décembre 2024 pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de l'Univers à l'Université d'Orléans / Ecole doctorale 552 Energie – Matériaux – Sciences de la Terre et de l'Univers / Unité Info&Sols, INRAE, Orléans

[2] Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 5 « Interactions milieux - êtres vivants »

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.

qui est un indicateur de l'état structural du sol et est estimée sur le terrain selon 4 degrés de pénétrabilité du sol au couteau. Ce choix semble pertinent par la profusion des deux données dans le système d'information sur les sols et, dans le cas spécifique de la texture, par son influence reconnue sur de nombreuses autres propriétés des sols.

Les chapitres 3 à 9 sont ainsi consacrés au potentiel d'usage de la classe de texture de terrain. Le chapitre 3 fait un point bibliographique spécifique et bienvenu sur la notion, la mesure, la représentation et l'usage de la texture du sol. Il introduit également les questions de recherche spécifiques abordées dans les chapitres suivants.

Dans le chapitre 4 est étudié en quoi l'observation de la classe de texture du sol sur le terrain est un indicateur de la distribution granulométrique en trois fractions (argile, limons, sables) mesurée au laboratoire. A cette fin, est exploitée la base de données pédologiques de la Région Centre Val de Loire, qui intègre de très grandes quantités de données qualitatives et quantitatives sur les sols et qui sera également utilisée dans les chapitres suivants. L'auteure montre que les observations de terrain sont en bonne concordance avec les mesures quantitatives, tout en soulignant que les observations ont été obtenues par des pédologues très expérimentés. Un résultat novateur est l'analyse approfondie des causes d'incohérence entre ces observations. Parmi ces causes, l'auteure indique que l'observation tactile de la texture intègre *de facto* le comportement rhéologique du sol lié à la distribution des tailles de particules et fournit donc une information en partie différente, mais complémentaire, de celle de la mesure granulométrique quantitative. Un autre résultat majeur, très utile pour l'utilisation ultérieure des textures mesurées sur le terrain, est l'établissement pour chaque classe de texture de sa variabilité en termes de distributions granulométriques observées au laboratoire. Cela permet d'établir l'incertitude granulométrique de chaque classe texturale identifiée sur le terrain par voie tactile.

Dès le chapitre 4, mais surtout dans le chapitre 5, est envisagée l'utilisation des classes texturales de terrain pour suppléer les mesures granulométriques de laboratoire lors de l'établissement de fonctions de pédotransfert, c'est-à-dire de fonctions permettant de prédire une propriété du sol difficile à mesurer à partir d'une propriété de base comme la texture. L'exemple choisi est celui de la capacité au champ, qui peut être prédite par régression linéaire à partir des pourcentages d'argile et de sable. Si les pourcentages sont estimés à partir des classes texturales de terrain, l'auteure montre, par une approche stochastique, que l'équation de régression linéaire est proche de l'équation initiale, mais que l'incertitude de prédiction de l'équation est naturellement augmentée du fait des risques d'erreur sur la classe texturale de terrain et de la variabilité granulométrique intrinsèque à chaque classe.

Les chapitres 6 à 9 abordent ensuite les questions de l'amélioration et de la validation de la cartographie statistique de la texture du sol par utilisation des observations de terrain des classes texturales. Les tests réalisés par l'auteur aboutissent à plusieurs enseignements importants. En premier, ils confirment que le biais et la précision de la cartographie de l'argile sont effectivement améliorés quand sont apportés des données de terrain en sus des mesures granulométriques de laboratoire. Ces améliorations supposent toutefois que les données de terrain soient affectées d'un poids inversement proportionnel à leur incertitude et qu'elles soient introduites de manière parcimonieuse pour densifier l'échantillonnage sur les zones les plus incertaines. En effet, les observations de terrain étant marquées d'une forte incertitude, leur utilisation en trop grand nombre peut introduire plus de bruit que d'information complémentaire aux mesures granulométriques. En second, les tests montrent que si les textures de terrain ne sont pas utilisées directement pour la cartographie, elles peuvent être mises à profit pour évaluer de manière indépendante et bon marché les cartes produites à partir de différentes bases de données. C'est une possibilité très intéressante, car avec l'avènement des méthodologies de cartographie statistique de type DSM, différents produits

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.

cartographiques sur les sols sont déjà, ou seront mis, à disposition des utilisateurs, sans que ceux-ci n'aient aisément les moyens d'en juger les pertinences relatives. En troisième, l'auteure a examiné l'apport d'observations texturales de terrain d'origines différentes en comparant l'apport des données texturales précédentes, issues des cartographies pédologiques menées sur la région Centre, à celui de données texturales observées dans la même région sur sols forestiers dans le cadre de l'inventaire forestier national (IFN). La comparaison montre des différences de rendu cartographique avec un biais partiel pour les données IFN, biais qui n'oblitère toutefois pas la complémentarité des deux types de données pour détecter des paysages pédologiques particuliers. *In fine* une synthèse des principaux résultats obtenus sur le cas de la texture est présentée dans le chapitre 9.

Le chapitre 10 rend compte de l'analyse du potentiel d'utilisation de l'autre variable de terrain choisie comme sujet d'étude de la thèse, à savoir l'observation de la compacité du sol. Les travaux décrits par l'auteure sont à un stade moins avancé que ceux sur la texture, mais sont très originaux. En effet, si le développement d'indicateurs de la sensibilité des sols au compactage fait l'objet de nombreux travaux, l'idée d'exploiter dans cet objectif les observations qualitatives de compacité, disponibles dans les bases de données pédologiques, apparaît innovante. L'étude est menée sur la France entière en exploitant les 14 572 horizons de sols, dont la compacité a été caractérisée dans la base nationale DoneSol. Elle montre des relations entre la compacité de terrain et certains indicateurs de sensibilité au compactage dérivés de mesure analytiques. Elle montre aussi une variabilité des fréquences d'occurrence des classes de compacité selon la texture du sol. L'auteure en déduit par classification hiérarchique six groupes texturaux qui ont chacun une répartition spécifique des fréquences d'occurrence de compacité, et qui sont interprétés par l'auteure comme des groupes de sensibilité différente au compactage. Une cartographie des groupes à l'échelle de la France permet de voir une correspondance avec les contextes pédologiques régionaux. Pour mieux comprendre la signification des groupes, l'auteure envisage la collecte dans le futur d'autres informations spatialisées dont on connaît l'influence sur le compactage des sols, notamment les historiques culturales et les états d'humidité du sol.

Le dernier chapitre reprend les questions de recherches posées en introduction et y répond à la lumière des résultats acquis. Il propose aussi des perspectives qui visent soit à généraliser la démarche analytique de la thèse à d'autres données pédologiques qualitatives de terrain et aux horizons profonds, soit à mener une démarche plus synthétique examinant, par approches de fouilles de données, l'apport de l'ensemble de données qualitatives disponibles sur un territoire à des fins de cartographie pédologique.

Au total, le mémoire d'Anne Richer de Forges correspond parfaitement au concept de thèse dans la mesure où il propose une démonstration scientifique réussie d'une hypothèse préalable, à savoir le potentiel des données d'observation de terrain pour mieux caractériser ou cartographier des propriétés ou des comportements des sols. Le mémoire est d'une grande richesse dont il n'est que très partiellement rendu compte ici. Il présente des résultats réellement novateurs, mais propose aussi, ce faisant, un panorama complet et pédagogique des concepts, démarches et méthodes les plus récentes en matière de traitement et de cartographie des données pédologiques. Les travaux rapportés ont été effectués sur une durée standard de trois ans, mais leurs qualité et maturité remarquables doivent beaucoup à l'expérience initiale de l'auteure, qui exerce comme ingénieur pédologue depuis de nombreuses années au sein de l'unité INRAE Info&Sols, gestionnaire du système français d'information sur les sols. Pour toutes ces raisons, il est amplement justifié que ce document soit présenté à un large public sur le site web et dans le Mensuel de l'Académie d'agriculture de France.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.