

Projet *Tous en sol*

Atelier participatif par l'évaluation sensorielle et la définition des enjeux citoyens autour de la qualité des sols urbains dans trois métropoles du Grand Est

Q. Vincent^(1*), A. Blanchart⁽¹⁾, F. Maunoury-Danger⁽²⁾, T. Beguiristain⁽²⁾,
F. Franck-Neumann⁽³⁾, S. Glatron^(3, 4), E. Héberlé⁽⁵⁾, M. Godfroy⁽⁶⁾, C. Jondreville⁽⁶⁾
et P. Frey-Klett⁽⁶⁾

- 1) EODD ingénieurs conseils - 3 allée d'Auteuil, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France
- 2) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnement Continentaux (UMR 7360 – Université de Lorraine/CNRS), France
- 3) Programme Solenville - Zone Atelier Environnementale Urbaine - 3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France
- 4) Laboratoire Interdisciplinaire des Etudes Culturel LinCS (UMR 7069 – Université de Strasbourg), France
- 5) Médiatrice scientifique indépendante, Strasbourg, France
- 6) Laboratoire Tous Chercheurs, INRAE, UL, UMR IAM, route d'Amance, 54280 Champenoux, France

* Auteur correspondant : q.vincent@eodd.fr

RÉSUMÉ

Cette étude, menée dans le cadre du projet "Tous en sol" dans trois métropoles du Grand Est (Nancy, Metz et Strasbourg), étudie les approches sensorielles et participatives comme critère d'évaluation de la qualité des sols urbains. Trois ateliers citoyens ont permis d'associer habitants et chercheurs dans la co-construction de questions de recherche autour des sols, en combinant observations sensorielles et échanges collectifs. Chaque atelier, organisé sur une demi-journée, a conduit les participants d'une phase de contextualisation sensorielle des sols (observations individuelles, échanges en binômes et construction collective d'une représentation du sol) vers une phase de problématisation, au cours de laquelle leurs étonnements ont été transformés en questions de recherche sur la qualité des sols urbains.

L'analyse des descriptions sensorielles montre que les participants mobilisent un lexique organisé autour de gradients perceptifs cohérents (sec/frais, compact/friable, clair/noir), révélant un noyau commun de descripteurs transposables dans des protocoles standardisés. Les étonnements et les questions formulés par les citoyens mettent en lumière la pluralité des enjeux attribués aux sols urbains : écologiques, productifs, sanitaires, sensibles et culturels. Ces représentations varient selon les contextes sociaux et territoriaux, montrant que les perceptions citoyennes sont situées et pluridimensionnelles. Des différences entre les trois métropoles sont notables avec des enjeux d'avantage liés à la pollution des sols sur Strasbourg, à une approche sensible des sols sur Metz et à la compatibilité de la qualité des sols avec les usages sur Nancy. La démarche de l'atelier participatif "Tous en sol" démontre ainsi son potentiel pour mettre

Comment citer cet article :

Vincent Q., Blanchart A., Maunoury-Danger F., Beguiristain T., Franck-Neumann F., Glatron S., Héberlé E., Godfroy M., Jondreville C. et Frey-Klett P., 2026 - *Projet Tous en Sol : atelier participatif par l'évaluation sensorielle et la définition des enjeux citoyens autour de la qualité des sols urbains dans trois métropoles du Grand Est - Étude et Gestion des Sols*, 33, 133-145

en évidence des questions de recherche autour de la qualité des sols urbains, basé sur des approches sensorielles et des réflexions collectives. À terme, ce type de démarche pourrait favoriser la production de pré-diagnostic partagés et renforcer la médiation entre langage scientifique et vécu citoyen. Elle constitue un outil complémentaire pour articuler indicateurs agro-pédo-biologiques, enjeux socio-écologiques et appropriation collective de la qualité des sols. Bien que la démarche de l'atelier ait permis d'identifier des questions de recherches citoyennes, l'analyse des résultats issu de cet atelier reste limitée. Le fait que les participants ont été recrutés via des réseaux déjà sensibilisés aux enjeux environnementaux peut influencer les perceptions exprimées. Le travail collectif en atelier a également pu favoriser des convergences dans les réponses. Enfin, le nombre limité de participants dans certaines villes et le caractère participatif et volontaire de la démarche invitent à considérer les résultats comme exploratoires plutôt que généralisables.

Mots-clés

Qualité des sols urbains, citoyens, sciences participatives, perceptions sensorielles, étonnement, diagnostic participatif

SUMMARY

TOUS EN SOL PROJECT: Participatory workshop based on sensory assessment and the definition of citizen issues around urban soil quality in three metropolitan areas of the Grand Est region

This study, conducted within the "Tous en sol" project in three cities of northeastern France (Nancy, Metz and Strasbourg), explores sensory and participatory approaches as criteria for assessing urban soil quality. Through citizen workshops, residents and researchers collaboratively explored both sensory soil descriptions and collective questioning processes. Each half-day workshop guided participants from a phase of sensory contextualization (individual observations, pair discussions, and the collective construction of a shared representation of soil) to a problematization phase, during which their initial points of curiosity were transformed into research questions addressing urban soil quality.

The analysis of sensory descriptions shows that participants mobilized a vocabulary structured around coherent perceptual gradients (dry/fresh, compact/friable, light/dark), revealing a common core of descriptors that could be adapted to standardized protocols. The citizens' questions and expressions of concern highlight the plurality of issues attributed to urban soils, encompassing ecological, productive, sanitary, sensory, and cultural dimensions. These representations vary according to social and territorial contexts, demonstrating that citizen perceptions are situated and multidimensional. Notable differences were observed among the three metropolitan areas: concerns in Strasbourg were more strongly related to soil pollution, in Metz to a sensory and experiential approach to soils, and in Nancy to the compatibility between soil quality and land uses. The participatory "Tous en sol" workshop approach thus demonstrates its potential to identify research questions on urban soil quality grounded in sensory experiences and collective reflection. In the long term, such an approach could support the development of shared pre-diagnostic tools and strengthen mediation between scientific language and everyday experience. It provides a complementary framework for articulating agro-pedo-biological indicators, socio-ecological issues, and collective appropriation of soil quality. Although the workshop process enabled the identification of citizen-driven research questions, the analysis of the results remains limited. Recruiting participants through networks already sensitized to environmental issues may have influenced the perceptions expressed. The collective workshop setting may also have encouraged convergence in responses. Finally, the limited number of participants in some cities and the voluntary, participatory nature of the approach suggest that the findings should be considered exploratory rather than generalizable.

Key-words

Urban soil quality, citizen, citizen science, sensory perception, wonderment, participatory diagnosis

RESUMEN

PROYECTO TOUS EN SOL: Taller participativo basado en la evaluación sensorial y la definición de los retos ciudadanos en torno a la calidad de los suelos urbanos en tres metrópolis del Gran Este

Este estudio, realizado en el marco del proyecto "Tous en sol" en tres metrópolis del Grand Est (Nancy, Metz y Estrasburgo), analiza los enfoques sensoriales y participativos como criterio de evaluación de la calidad de los suelos urbanos. Tres talleres ciudadanos permitieron asociar a habitantes e investigadores en la co-construcción de preguntas de investigación en torno a los suelos, combinando observaciones sensoriales e intercambios colectivos. Cada taller, organizado en media jornada, condujo a los participantes desde una fase de contextualización sensorial de los suelos (observaciones individuales, intercambios en parejas y construcción colectiva de una representación del suelo) hacia una fase de problematización, durante la cual sus asombros se transformaron en preguntas de investigación sobre la calidad de los suelos urbanos.

El análisis de las descripciones sensoriales muestra que los participantes movilizan un léxico organizado en torno a gradientes perceptivos coherentes (seco/fresco, compacto/friable, claro/oscuro), revelando un núcleo común de descriptores transferibles a

protocoles estandarizados. Los asombros y las preguntas formuladas por los ciudadanos ponen de manifiesto la pluralidad de los desafíos atribuidos a los suelos urbanos: ecológicos, productivos, sanitarios, sensibles y culturales. Estas representaciones varían según los contextos sociales y territoriales, lo que demuestra que las percepciones ciudadanas son situadas y multidimensionales. Se observan diferencias notables entre las tres metrópolis, con problemáticas más vinculadas a la contaminación de los suelos en Estrasburgo, a un enfoque sensible del suelo en Metz y a la compatibilidad de la calidad del suelo con los usos en Nancy. El enfoque del taller participativo "Tous en sol" demuestra así su potencial para poner de relieve preguntas de investigación en torno a la calidad de los suelos urbanos, basándose en enfoques sensoriales y reflexiones colectivas. A largo plazo, este tipo de metodología podría favorecer la producción de prediagnósticos compartidos y reforzar la mediación entre el lenguaje científico y la experiencia ciudadana. Constituye una herramienta complementaria para articular indicadores agro-pedo-biológicos, desafíos socioecológicos y apropiación colectiva de la calidad del suelo.

Aunque la metodología del taller permitió identificar preguntas de investigación ciudadanas, el análisis de los resultados derivados de este taller sigue siendo limitado. El hecho de que los participantes fueran reclutados a través de redes ya sensibilizadas a las problemáticas ambientales puede haber influido en las percepciones expresadas. El trabajo colectivo en el taller también pudo favorecer convergencias en las respuestas. Por último, el número limitado de participantes en algunas ciudades y el carácter participativo y voluntario del enfoque invitan a considerar los resultados como exploratorios más que generalizables.

Palabras clave

Calidad del suelo urbano, ciudadano, ciencia ciudadana, percepción sensorial, asombro, diagnóstico participativo

1. INTRODUCTION

Longtemps négligés, les sols urbains suscitent aujourd'hui un intérêt croissant en raison de leurs rôles clés dans l'adaptation des villes au changement climatique et la fourniture de services écosystémiques essentiels : régulation hydrique, atténuation des îlots de chaleur, stockage du carbone, support de la biodiversité et espaces de production ou de loisirs (Blanchart *et al.*, 2017 ; O'Riordan *et al.*, 2021 ; Pavao-Zuckerman, 2008). Cette capacité du sol à assurer durablement leurs fonctions biologiques, physiques et chimiques définit ainsi la qualité des sols (Doran et Zeiss, 2000). Or, l'artificialisation, la compaction, les pollutions, l'appauvrissement en matières organiques des sols altèrent ces fonctions (faible fertilité, diminution de l'infiltration en eau, de la capacité d'accueil des organismes *etc.*) et compromettent leur résilience (Joimel *et al.*, 2016 ; Morel *et al.*, 2015).

Face à ces enjeux, les politiques publiques intègrent progressivement la question de la qualité des sols. En France, la loi Climat et Résilience (2021) introduit l'objectif de "Zéro Artificialisation Nette" (ZAN), tandis qu'à l'échelle européenne, la "Stratégie pour les sols" (European Commission, 2021) et la "Soil Monitoring Law" (Directive Européenne sur la Surveillance des Sols, 2025) visent à instaurer un suivi harmonisé des sols. Ces dispositifs s'appuient sur la construction de référentiels communs d'indicateurs de santé des sols (Baritz *et al.*, 2021 ; Cousin *et al.*, 2024). Malgré ces avancées, les sols urbains demeurent souvent mal connus et sous-évalués, bien que les enjeux d'aménagement touchent directement les sols. Les difficultés d'accès aux espaces privés, l'hétérogénéité des contextes pédogénétiques et des usages, ainsi que le coût des analyses limitent la production d'indicateurs représentatifs

(INRAE, 2020). Surtout, les outils experts peinent à dialoguer avec les représentations sociales des sols, freinant leur appropriation par les citoyens non experts des sols et la prise en compte des enjeux portés par les citoyens dans les décisions locales (Price *et al.*, 2024).

Les sciences participatives offrent une voie prometteuse pour renouveler la connaissance, la gestion et les pratiques liées aux sols, en associant les citoyens à la formulation des problématiques, à la collecte et à l'interprétation des données (Bonney *et al.*, 2009). Elles permettent d'élargir la couverture spatiale des observations, de renforcer la culture scientifique et de relier les enjeux locaux aux démarches de recherche (Mason *et al.*, 2024 ; Paltseva, 2025). Plusieurs initiatives internationales, comme *SoilWatch* (projet suisse visant à développer une application mobile participative permettant aux agriculteurs et citoyens de surveiller la santé des sols) ou *GROW Observatory* (projet européen de science participative qui mobilise agriculteurs et citoyens pour collecter et partager des données sur les sols), ont démontré leur capacité à créer un dialogue entre savoirs scientifiques et savoirs profanes (Charvát *et al.*, 2025).

Parmi ces approches, les perceptions sensorielles des sols, fondées sur la couleur, la texture, l'humidité ou l'odeur, constituent un outil original pour relier expérience quotidienne et indicateurs pédologiques (Price *et al.*, 2024). Ces perceptions, souvent mobilisées pour orienter les usages domestiques, reflètent des propriétés clés telles que la structure ou la teneur en matières organiques (Čepić *et al.*, 2024). En valorisant cette dimension sensible, ces démarches rapprochent expertise technique et vécu du sol (Glatron *et al.*, 2023 ; Kohlbrenner et Casabella, 2025). Dans cet objectif de co-construction, l'association entre

chercheurs et citoyens permet de transformer ces perceptions en questionnements scientifiques partagés (Shirk *et al.*, 2012). Il s'agit d'un enjeu majeur dans les métropoles où les espaces verts privés, dont les surfaces varient beaucoup selon les villes, représentent jusqu'à un tiers de la surface urbaine (Cameron *et al.*, 2012 ; Teerlinck *et al.*, 2024).

Le projet "Tous en Sol", subventionné par l'ADEME dans le cadre des Appels à commun, s'inscrit dans cette dynamique (https://wiki.resilience-territoire.ademe.fr/wiki/Tous_en_Sol). Mené dans trois métropoles du Grand Est (Nancy, Metz et Strasbourg), il vise à rapprocher les chercheurs et les citoyens des métropoles autour de la co-construction de connaissances sur la qualité des sols urbains. Le premier atelier, présenté ici, avait pour objectif de formuler collectivement des questions de recherche à partir des perceptions et des préoccupations des participants. Les prochaines étapes du projet consisteront à mettre en place des stages expérimentaux, durant lesquels les citoyens mèneront eux-mêmes des analyses de sols afin d'apporter des réponses scientifiques aux questions issues de cette première phase.

La question centrale qui guide cet atelier est donc : comment les citoyens de trois métropoles du Grand Est décrivent la qualité des sols urbains à travers une approche sensorielle et à quels enjeux cette approche les amène-t-elle à se confronter ?

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de répondre à la question, un atelier a été organisé dans les villes de Strasbourg (décembre 2024), puis Metz (janvier 2025) et enfin Nancy (avril 2025). Les différences de période entre les trois villes sont liées au recrutement des participants qui a été plus facile sur Strasbourg (grâce au réseau Solenville) et plus difficile sur Metz et encore plus sur Nancy. Chaque session a réuni un groupe d'habitants (respectivement 17, 10 et 4 habitants), deux animateurs chargés de la régulation des échanges, des chercheurs (respectivement 4, 3 et 1 chercheurs), ainsi qu'un observateur dédié au suivi méthodologique (prise de notes, enregistrements audio, documentation photographique). Afin d'ancrer la discussion dans une expérience sensible et concrète, les participants ont été invités à apporter un échantillon de sol provenant de leur jardin privés ou partagés (≈ 1 kg prélevé dans l'horizon superficiel, sur 20 x 20 x 20 cm). Les échantillons ont été disposés sur des tables de manière à être facilement accessibles par tous.

Déroulement des ateliers

Chaque atelier s'est déroulé sur une demi-journée, selon une trame commune aux trois villes, structurée selon plusieurs séquences successives. La structure est calquée sur la

pédagogie "Tous Chercheurs"¹, qui permet d'identifier les grandes étapes d'une démarche de recherche (Thimonier *et al.*, 2020) et d'en éprouver les premières étapes : contextualisation, problématisation puis élaboration de questions de recherche.

Après une phase d'accueil qui a permis de préciser les objectifs du projet "Tous en Sol", de situer l'atelier dans le déroulé global de la recherche participative et de favoriser la mise en relation entre les participants, les participants ont été invités à élaborer collectivement le profil d'une démarche de recherche au moyen du jeu pédagogique Expli'CIT (www.touschercheurs.fr/education-a-la-recherche/jeu-explicit/ ; créé par le laboratoire Tous Chercheurs). Expli'CIT est une méthode collaborative d'éducation à la recherche qui utilise des cartes-mots manipulées collectivement pour expliciter et structurer, par des échanges libres autour des cartes-mots les étapes de la démarche de recherche. Cette figure sert de fil rouge tout au long de la démarche participative (dont font partie les ateliers qui suivront). La séquence de contextualisation a permis d'aborder la perception des sols par les citoyens. Elle s'est déroulée en trois sous-étapes :

- Un tour sensoriel des sols, durant lequel chaque participant a circulé individuellement d'un échantillon de sol à l'autre pour consigner ses impressions sensorielles (toucher, odeur, couleur, texture *etc.*) de manière anonyme (*Figure 1.A*). Pour cela, la méthode du « cadavre exquis » a été employée et consiste à ce que chaque participant écrive des mots sur une feuille correspondant à l'échantillon, sans connaître ce qui a été écrit par les précédents participants.
 - Un inventaire des éléments qui caractérisent un sol réalisé en binômes en répondant à la question : « D'après vous, quels sont les éléments qui caractérisent les sols ? » (*Figure 1.B*). Pour cela, il a été accordé 10 minutes d'échange en binôme pour proposer des éléments qui caractérisent les sols de manière générale, avant de les présenter aux autres binômes.
 - La construction d'un schéma collectif, où chaque binôme a présenté sa vision du sol, permettant d'élaborer progressivement une représentation commune des caractéristiques et du fonctionnement du sol (*Figure 1.C*).
- Les participants ont ensuite été invités à construire progressivement les problématiques puis les questions de recherche en suivant plusieurs phases :
- Formulation individuelle d'étonnements : chaque participant note un à trois points d'étonnement relatifs à son sol et/ou ses pratiques (ou au sujet du sol de manière générale) puis le(s) partage avec les autres. Ces étonnements sont alors classés collectivement en grandes catégories (*Figure 1.C*).
 - Transformation des groupes d'étonnements en

¹ Les laboratoires ouverts « Tous Chercheurs » ont pour objectif d'éduquer et de faire participer à la recherche scientifique différents publics (scolaires, associations de malades, professionnels, grand public) afin de faire comprendre comment la science se construit dans les laboratoires de recherche.

Figure 1 : Photographies de différentes étapes clé de l'atelier [A]. 21/01/25, Metz, © F.Maunoury-Danger ; B et D) 9/04/25, Nancy, © Q.Vincent ; C) 7/12/24, Strasbourg, © E.Herberle]

Figure 1: Photographies de différentes étapes clé de l'atelier [A]. 21/01/25, Metz, © F.Maunoury-Danger ; B et D) 9/04/25, Nancy, © Q.Vincent ; C) 7/12/24, Strasbourg, © E.Herberle]



questionnements : en binôme, les participants reformulent les catégories d'étonnements sous forme de questions (Figure 1.D).

- Sélection collective d'une liste de questions : les questions sont sélectionnées grâce à un système de vote où chaque participant dispose de trois voix.

Les questions sélectionnées sont confrontées aux contraintes scientifiques et techniques, et leur faisabilité dans le cadre d'un stage citoyen² est évaluée grâce à une discussion

avec les chercheurs présents. Les contraintes scientifiques et techniques évoquées sont par exemple la nécessité d'appareils très spécifiques et coûteux pour certaines analyses dans ce contexte (e.g. metabarcoding) ou nécessite un effort d'étude surdimensionné par rapport au projet (e.g. variabilité pédo-climatique, création de référentiels robustes). Cette séquence aboutit à la formulation partagée d'une ou plusieurs questions de recherche. Ces questions serviront de base à la suite du dispositif participatif, notamment pour la mise en place d'un stage expérimental à laquelle les citoyens seront invités à contribuer.

² Un stage citoyen "Tous Chercheurs" est une immersion courte dans un vrai laboratoire, ouverte au public, où les participants découvrent concrètement la démarche scientifique en réalisant eux-mêmes des expérimentations encadrées par des chercheurs. Dans le cadre de programmes comme CITIQUE, les citoyens peuvent par exemple contribuer à l'identification de tiques ou à l'analyse de données utiles à la recherche participative et à la prévention sanitaire. <https://factuel.univ-lorraine.fr/evnement/stages-citoyens-tous-chercheurs-citique-au-laboratoire-tous-chercheurs-de-nancy/>

À l'issue des ateliers, l'ensemble des matériaux produits (post-its, schémas, listes de questions) ainsi que les enregistrements et photographies ont été collectés. Le matériau issu de trois étapes de l'atelier seront analysés dans cette étude : (i) le tour sensoriel et (ii) les étonnements et (iii) les questionnements autour des sols. Aucune information sur le

profil socio-culturel des participants n'a été récoltée lors de ces ateliers.

Analyses de données et statistiques

Le tour sensoriel

Pour l'étape « tour sensoriel », les réponses textuelles ont été filtrées afin de conserver uniquement les termes employés comme descripteurs sensoriels des sols. Pour diminuer le nombre de mots inclus dans l'analyse, seuls les mots cités au moins cinq fois ont été retenus. Une matrice de co-occurrence a été construite en comptant le nombre d'échantillons partageant au moins deux mots. L'intensité de l'association entre mots a été quantifiée par l'indice de Jaccard (Jaccard, 1908). L'indice de Jaccard est une mesure de similarité entre deux éléments binaires, définie comme le rapport entre le nombre de co-présences et le nombre total de cas où au moins l'un des deux éléments est présent, en excluant les co-absences pour éviter une inflation artificielle des similarités liée aux termes très fréquents. Le réseau a été simplifié en conservant uniquement les liens de co-occurrence supérieurs ou égaux à 2 et présentant un indice de Jaccard $\geq 0,2$. Pour chaque mot, seuls les trois liens les plus forts ont été retenus afin de constituer un réseau plus lisible (Serrano et al., 2009). La disposition spatiale des mots a été obtenue par l'algorithme de Kamada-Kawai. L'algorithme de Kamada-Kawai est une méthode de disposition de graphes fondée sur un modèle dans lequel les nœuds sont positionnés de manière à avoir des distances spatiales entre nœuds proportionnelles aux distances topologiques dans le réseau, de sorte que les nœuds fortement connectés apparaissent proches les uns des autres, tandis que les nœuds faiblement liés sont plus éloignés (Kamada et Kawai, 1989).

Les descripteurs ont ensuite été regroupés en catégories sensorielles (Vue, Toucher et Odorat) et en sous-catégories thématiques (par exemple : Couleurs, Végétal, Granulométrie et Consistance).

Les étonnements et questions associées

L'analyse des étonnements repose sur 43 étonnements exprimés (10 pour Nancy, 11 pour Metz et 22 pour Strasbourg). Chaque étonnement a été codé dans une ou plusieurs thématiques (pratiques de jardinage, écologie, pollution, production alimentaire, perceptions et sensibilité, manque de connaissance, physique des sols). Lorsque l'étonnement relevait de plusieurs thématiques, un partage pondéré a été appliqué (par exemple 50 % – 50 % si deux thématiques étaient concernées de manière équivalente). Un réseau de co-occurrence a été élaboré pour visualiser les liens entre les étonnements des citoyens, par le même procédé que la matrice de co-occurrence des données du tour sensoriel.

Les questions issues des ateliers citoyens ont été recueillies séparément pour chaque ville (Nancy, Metz et Strasbourg). Afin de structurer l'analyse, chaque question a été classée dans une ou plusieurs thématiques définies (pratiques de jardinage, écologie, pollution, production alimentaire, perceptions et sensibilité, connaissance/manque de connaissance, physique des sols). Lorsque la question relevait de plusieurs thématiques, un partage pondéré a été appliqué.

À partir de ce codage, les données ont ensuite été (i) comptées par thématique, puis par ville, (ii) normalisées en pourcentages pour comparer la place relative des thèmes dans chaque ville et (iii) représentées sous forme de graphique en barres empilées afin de visualiser la répartition des préoccupations. Cette démarche s'inscrit dans une logique d'analyse de contenu qualitative (Bardin, 2007), permettant de mettre en évidence les différences entre villes et les axes dominants de questionnement. Enfin, un test du χ^2 d'indépendance a été appliqué pour tester l'hypothèse d'une indépendance entre la ville et la thématique des questions. Les résidus ajustés ont été examinés pour affiner l'interprétation. Ces résidus correspondent à l'écart entre les valeurs observées et attendues, rapporté à l'écart-type, et indiquent quelles combinaisons Ville $\times$ Thématique sont sur-représentées (résidus positifs) ou sous-représentées (résidus négatifs) par rapport à une distribution théorique uniforme.

Les analyses de données ont été réalisées par le logiciel R (version 2025.01.0, © 2009-2026 Posit Software, PBC) et les sorties graphiques ont été réalisées grâce aux bibliothèques « ggplot2 » et « igraph ».

3. RÉSULTATS

Les productions issues des ateliers sont analysées séparément pour (i) la description sensorielle des échantillons afin d'identifier les principaux descripteurs sensoriels que les citoyens utilisent dans la description de terre puis (ii) les étonnements et questions afin d'identifier les enjeux autour des sols urbains.

Les descriptions sensorielles des échantillons

Les descripteurs sensoriels sont étudiés par leurs fréquence et répartition, puis par les redondances entre les descripteurs à travers des corrélations et pour finir, par une analyse intra et inter-échantillon du lexique employé.

Odeurs et couleurs dominant dans la description sensorielle des sols

L'analyse des fréquences relatives des descripteurs sensoriels (toutes villes confondues, 235 mots ont été écrits) montre que plus de 45 % des occurrences totales se concentrent sur une dizaine de termes seulement, organisés autour de trois dimensions dominantes : olfactive, visuelle et tactile. Elle révèle un usage préférentiel de certains termes, principalement associés à l'odorat et à la vue, et dans une moindre mesure, au toucher. Le qualificatif odeur apparaît comme le plus mobilisé (6,9 %), indiquant que la dimension olfactive, bien que souvent considérée secondaire, joue ici un rôle central dans la perception sensorielle des sols.

Les descripteurs visuels occupent également une place importante, notamment ceux liés aux couleurs. Les termes noir (5,8 %) et brun (4,6 %) comptent parmi les plus fréquemment employés, traduisant la sensibilité des observateurs aux contrastes chromatiques associés à la teneur en matière organique notamment. Les dimensions tactiles restent très représentées. Les termes argileux (4,4 %), collant (3,7 %), humide (3,5 %), sec (3,0 %) et friable (2,9 %) témoignent d'une attention particulière portée aux propriétés structurales du sol (plasticité, cohésion, degré d'humidité et friabilité). Enfin, les références à des éléments biologiques visibles, tels que racine (3,2 %) et mousse (2,7 %), soulignent l'importance accordée à la composante vivante du sol dans son évaluation sensorielle, même si cette dernière est la moins représentée dans cette analyse (Tableau 1).

Co-occurrence et corrélation entre les descripteurs sensoriels

Le réseau de co-occurrence des descripteurs sensoriels (Figure 2) met en évidence une organisation structurée du lexique mobilisé par les participants lors du tour sensoriel. Trois pôles principaux émergent, correspondant à des dimensions perceptives distinctes.

En premier lieu, le pôle structure/texture (descripteurs tactiles) regroupe les termes *friable*, *compact*, *sec*, *collant*, *grumeleux*, *mottes*, *sableux*, *argileux*. Les liens forts entre *friable*–*humide*, *sec*–*compact* ou *collant*–*argileux* traduisent la capacité des participants à caractériser directement l'état structural et hydrique du sol par le toucher.

Puis, le pôle couleur/matière organique (descripteurs visuels) rassemble les qualificatifs *noir*, *brun*, *clair*, *foncé*, souvent associés à *odeur*, *racine*, *humifère*, *riche*. Cette configuration suggère que la couleur est spontanément interprétée comme un proxy de fertilité, en lien avec la teneur en matière organique. La corrélation entre les termes *noir* et *racine* ou *riche* illustre clairement un rapprochement sémantique.

Deux termes apparaissent comme des nœuds centraux : *odeur*, qui relie la dimension organique et hydrique aux

Tableau 1 : Fréquence relative moyenne des mots écrits lors du tour sensoriel (toutes villes confondues – n = 235 mots utilisés par les participants).

Table 1: Average relative frequency of words written during the sensory tour (all cities combined – n = 235 words used by participants).

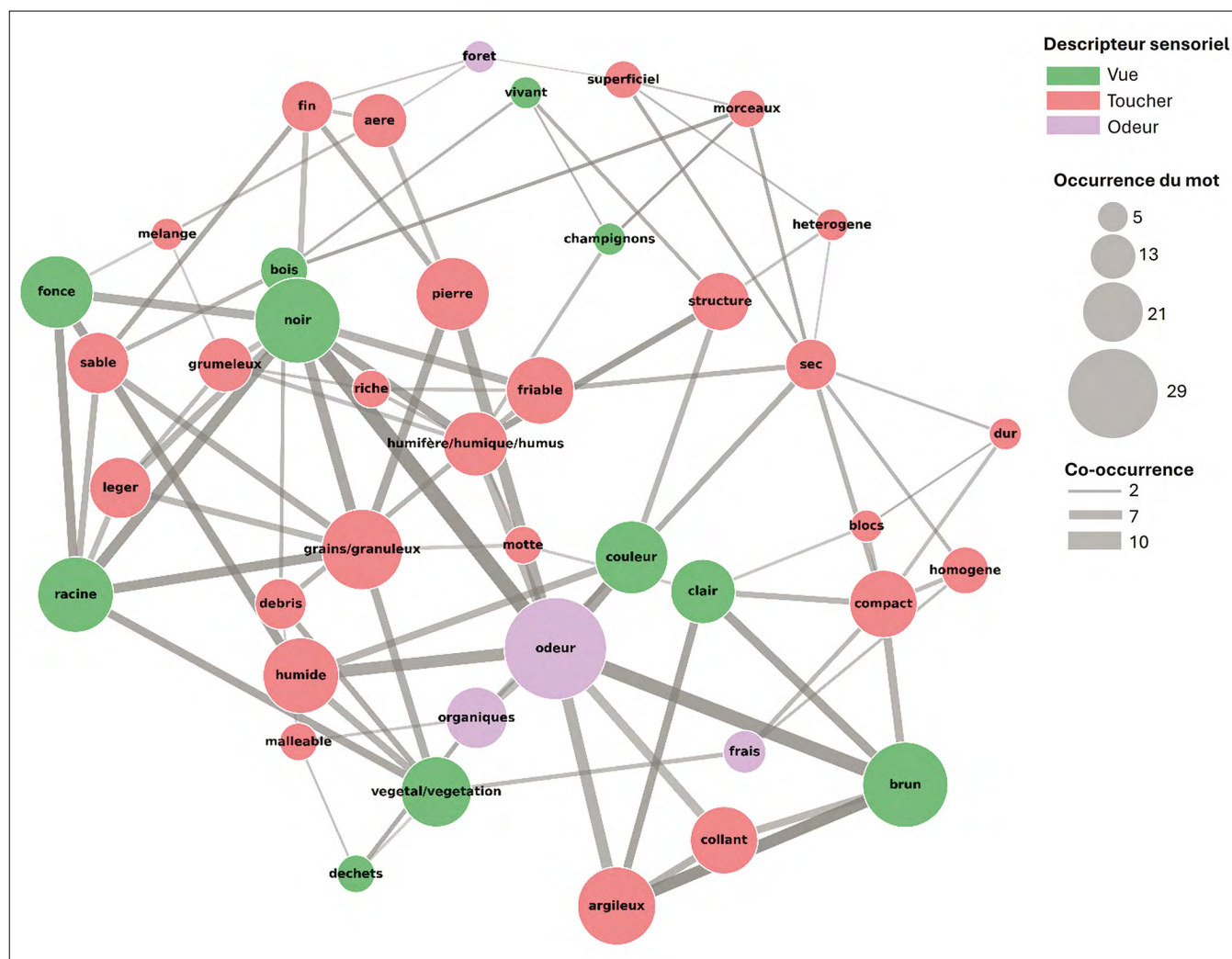
Rang	Mot	Fréquence relative moyenne (%)
1	odeur	6,9
2	noir	5,8
3	brun	4,6
4	argileux	4,4
5	collant	3,7
6	humide	3,5
7	racine	3,2
8	sec	3
9	friable	2,9
10	mousse	2,7

perceptions tactiles, et *noir* ou *brun*, qui constitue un point de passage entre les pôles visuel et structurel. Ces nœuds jouent un rôle pivot dans la structuration du lexique, confirmant que certains attributs sensoriels assurent la cohérence des perceptions citoyennes.

La construction d'une matrice de corrélation, réordonnée par classification hiérarchique, révèle plusieurs associations significatives entre termes. Certaines corrélations positives témoignent de la cohérence des perceptions partagées par les observateurs. Ainsi, les couleurs *brun* et *noir* sont très corrélées ($r = 0,72$), tout comme *brun* et *clair* ($r = 0,61$), traduisant une convergence des descriptions visuelles liées à la teinte du sol. Du côté tactile, *friable* est positivement associé à *humide* ($r = 0,58$) et à *organique* ($r = 0,54$), indiquant que ces descripteurs apparaissent fréquemment ensemble pour caractériser des sols potentiellement riches en matières organiques présentant des agrégats plutôt friables. À l'inverse, plusieurs corrélations négatives marquées reflètent l'opposition sémantique et perceptive de certains descripteurs. Par exemple, *sec* et *humide* présentent une corrélation négative élevée ($r = -0,63$), traduisant l'exclusivité de ces états hydriques dans la perception sensorielle. De même, *compact* est négativement corrélé à *friable* ($r = -0,57$), confirmant leur antagonisme tactile, tandis que *dur* s'oppose également à *friable* ($r = -0,52$).

Figure 2 : Réseau de co-occurrence des descripteurs sensoriels mobilisés lors du tour sensoriel (toutes villes confondues – n=235 mots). La taille des nœuds est proportionnelle à la fréquence d'utilisation du mot, l'épaisseur des arêtes au nombre de co-occurrences. Les couleurs distinguent les modalités perceptives : vue (vert), toucher (rouge), odeur (violet).

Figure 2: Co-occurrence network of sensory descriptors used during the sensory tour (all cities combined – n = 235 words). Node size is proportional to the frequency of use of each word, and edge thickness to the number of co-occurrences. Colors distinguish perceptual modalities: sight (green), touch (red), and smell (purple).



Les étonnements et les questions

Les étonnements

L'analyse des thématiques d'étonnement (Figure 3) met en évidence une forte préoccupation liée à l'écologie (36 %), illustrée par des étonnements comme « *Conscience que le sol est vivant* ». La production alimentaire arrive ensuite (18 %), avec des étonnements du type « *surpris des liens possibles entre la biodiversité et mes plantes potagères* ». Les enjeux liés à la physique des sols représentent 13 % des étonnements, par

exemple « *Mon sol se craquelle en été* ». La thématique pollution (11 %) est bien représentée, avec des étonnements comme « *La pollution est un sujet complexe* ». Le manque de connaissance (8 %) transparaît dans des phrases comme « *Difficulté de connaître l'histoire de son sol* ». Les pratiques de gestion (8 %) apparaissent également, à travers « *Je peux arriver à soigner mon sol* ». Enfin, les perceptions et sensibilités (6 %) révèlent la dimension sensible des sols, illustrée par « *Importance de l'approche sensible* ».

L'analyse comparée des trois villes montre des profils très distincts :

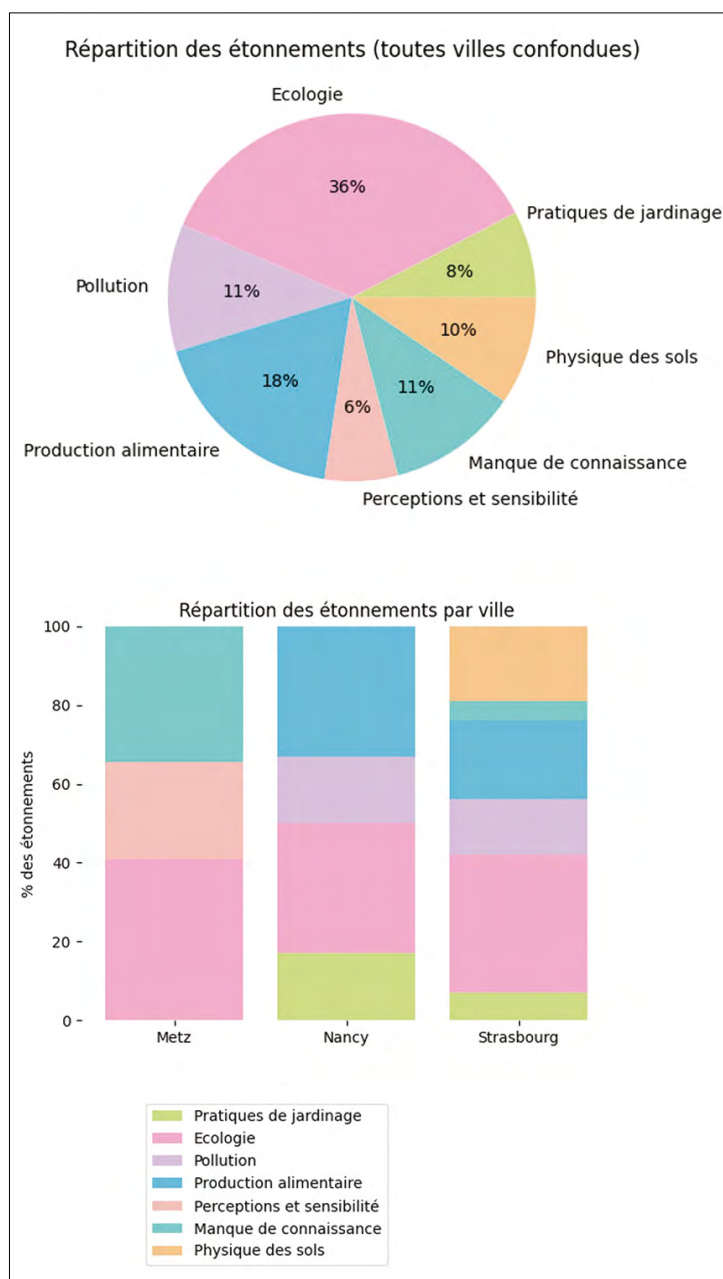
- Nancy concentre ses étonnements autour de l'écologie (33 %) et de la production alimentaire (33 %). Les habitants se questionnent beaucoup sur la capacité de leur sol à produire des aliments, tout en s'inquiétant de sa qualité écologique et de la présence possible de pollutions. Les pratiques de jardinage et la pollution restent présentes mais plus secondaires (17 % chacune).
- Metz présente un profil singulier avec une très forte présence de la thématique écologie (41 %), complétée par des étonnements sur le manque de connaissance (30 %) et les perceptions et sensibilités (25 %). Cela traduit une relation plus réflexive et sensible au sol, où les participants s'interrogent sur leur langage, leurs perceptions et leurs lacunes de compréhension.
- Strasbourg se distingue par une plus grande diversité : la thématique écologie (35 %) reste dominante, mais accompagnée de la production alimentaire (20 %), de la physique des sols (24 %) et de la pollution (14 %). Les participants strasbourgeois se projettent à la fois dans les enjeux concrets de production, dans la qualité physique et chimique des sols, et dans les risques de pollution.

Des questions qui corroborent les étonnements

Les questionnements exprimés dans les trois villes révèlent des profils différenciés de préoccupations vis-à-vis des sols urbains. À Strasbourg, les interrogations portent majoritairement sur la pollution et la production alimentaire, comme en témoignent des formulations telles que « Comment dépolluer un sol pour le rendre fertile ? », « Quels sont les indicateurs de pollution ? » ou encore « Comment faire évoluer un jardin pollué en jardin nourricier ? », ainsi que des questions plus agronomiques comme « Pourquoi je n'arrive pas à avoir des légumes racines ? » ou « Humidité : quelles modifications apporter pour de meilleures récoltes ? ». À Nancy, les questions se concentrent davantage sur l'amélioration et la caractérisation du sol du jardin domestique, à travers des interrogations telles que « Que puis-je faire pour "soigner", "améliorer" mon sol ? », « Quel type d'écosystème est dans mon jardin/sol ? », « Mon sol est-il sain d'un point de vue écologique ? » ou encore « Quelles sont les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol de mon jardin en fonction des usages ? ». À Metz, les questionnements adoptent une dimension plus systémique et réflexive, comme l'illustrent des formulations telles que « Qu'est-ce qu'un sol en bonne santé ? », « Le couvert végétal reflète-t-il l'activité du sol ? », « Comment caractériser la diversité des sols urbains ? » ou « L'approche sensible peut-elle être une mesure de la qualité des sols ? », traduisant une attention plus marquée au fonctionnement global et à la complexité du système sol.

Figure 3 : Répartition des étonnements exprimés par les citoyens (toutes villes confondues à gauche et par ville à droite) par thématiques.

Figure 3: Distribution of the observations expressed by citizens by theme (all cities combined on the left and by city on the right).



4. DISCUSSION

La démarche de l'atelier "Tous en sol" permet de définir une question de recherche

L'atelier constitue une étape méthodologique centrale pour atteindre l'objectif du projet, à savoir la formulation collective d'une question de recherche ancrée dans les préoccupations citoyennes tout en demeurant scientifiquement et techniquement opérationnelle (i.e. possible d'être mise en œuvre par une démarche expérimentale citoyenne).

En partant des perceptions sensorielles et des étonnements individuels, la démarche permet de transformer des expériences individuelles et des discussions collectives (toucher un sol, observer sa couleur, s'interroger sur sa fertilité ou sa pollution) en problématiques structurées puis en questions explicitement formulées. Ce passage progressif de l'expérience sensible à la problématisation scientifique correspond aux principes des recherches participatives, dans lesquelles la co-définition des questions constitue un levier majeur de production de connaissances pertinentes et socialement robustes (Shirk *et al.*, 2012 ; Bonney *et al.*, 2009). Il favorise l'appropriation des enjeux par les participants et rend explicites les hypothèses implicites qu'ils mobilisent, rejoignant les travaux sur les savoirs situés et l'importance des cadres expérientiels dans la construction des objets scientifiques (Leino et Peltomaa, 2012 ; Kimura et Kinchy, 2016). La confrontation collective des étonnements aux contraintes techniques et méthodologiques apportées par les chercheurs permet ensuite de sélectionner des questions à la fois légitimes du point de vue citoyen et faisables dans un cadre expérimental, ce qui correspond aux recommandations méthodologiques en sciences citoyennes visant à articuler pertinence sociale et rigueur scientifique (Kobori *et al.*, 2016 ; Price *et al.*, 2024). Ainsi, l'atelier ne se limite pas à recueillir des représentations : il fonctionne comme un dispositif de traduction entre savoirs profanes et cadres académiques, transformant des préoccupations diffuses en objets de recherche partageables et investigables, étape reconnue comme structurante dans la conception de protocoles participatifs robustes (Shirk *et al.*, 2012 ; Charvát *et al.*, 2025).

L'approche sensorielle : des indicateurs de la qualité des sols intéressants mais perfectibles

L'évaluation sensorielle des échantillons capte une perception intégrée du sol, reflétant des propriétés clés de la qualité des sols (e.g. texture, matière organique, humidité). Par exemple, les résultats de co-occurrence montrent que les participants organisent spontanément leurs perceptions selon des gradients écologiques structurants (sec/frais, compact/friable, clair/noir).

La corrélation positive entre descripteurs visuels tels que brun et noir, ainsi que leurs associations avec des termes comme humifère, riche ou racine, suggère que la couleur est interprétée comme un indicateur implicite de matière organique. De même, l'association entre friable, humide et organique renvoie à des sols perçus comme biologiquement actifs et structurés, tandis que les oppositions sec/humide ou compact/friable traduisent des axes perceptifs stabilisés. Ces observations font écho aux travaux de Barrios et Trejo (2003) sur les typologies paysannes, où les contrastes sensoriels structurent la classification des sols. Ainsi, la récurrence de certains descripteurs (e.g. friable, compact, noir, brun, odeur) suggère un noyau commun utile à la formalisation de protocoles standardisés pour les citoyens. De tels outils existent déjà, comme "l'Indice de la Qualité des Sols Bruxellois" ou les outils du projet "Clés de sol", qui propose des tests simples de couleur et de texture (test du boudin) pour harmoniser le vocabulaire et renforcer la comparabilité des observations (Jondreville *et al.*, 2018).

Pour améliorer la robustesse scientifique de l'approche, plusieurs leviers sont envisageables : standardisation du lexique, ancrage des catégories sensorielles dans des mesures de référence (résistance à la pénétration, teneur en matière organique), ou calibration des observateurs, comme en analyse sensorielle des aliments. Ces principes sont déjà appliqués en agronomie avec les méthodes participatives d'évaluation de la fertilité des sols (Andrews *et al.*, 2004 ; Barrios *et al.*, 2012) et, plus largement, dans les programmes de sciences citoyennes où la standardisation (e.g. clé d'identification et vocabulaire simplifiés) renforce la fiabilité des données (Auclerc *et al.*, 2019 ; Bonney *et al.*, 2009). De plus, l'absence d'une approche sociologique des participants manque pour aller plus loin dans l'étude en mettant en avant les profils recrutés et les potentiels biais de cet atelier participatif. Le but des ateliers n'était pas de faire une étude scientifique mais d'avantage de collecter les perceptions et enjeux des citoyens participants pour définir une ou des questions de recherche pour ces groupes de non-experts mobilisés.

Variations des préoccupations selon les villes

Les citoyens articulent simultanément des enjeux pratiques (produire, jardiner, dépolluer), des enjeux techniques (physique, chimie du sol) et des enjeux subjectifs (perceptions, connaissances, langage). Cette pluralité rejoint les constats de la littérature sur les dispositifs participatifs (Price *et al.*, 2024). Les profils différenciés entre villes s'accordent avec des observations sur les pratiques de jardinage urbain : selon les contextes d'usage et les controverses locales, les objectifs citoyens se réorientent vers la production, la connaissance, ou la gestion des pollutions (Säumel *et al.*, 2012).

Comme cette étude l'a montré également, les préoccupations citoyennes relatives à la qualité des sols apparaissent

rarement confinées à une seule dimension : elles mobilisent simultanément des enjeux écologiques (biodiversité du sol, cycles de nutriments), agronomiques (fertilité, productivité potagère), sanitaires (pollution, risques pour la santé) et sociaux (usages récréatifs, esthétique, attachement sensible). Cette transversalité, déjà observée dans d'autres démarches participatives sur l'environnement urbain (Leino et Peltomaa, 2012 ; Čepić *et al.*, 2024), souligne la nécessité de mobiliser des équipes pluridisciplinaires, associant pédologues, agronomes, écologues, mais aussi sociologues et anthropologues, afin d'apporter des réponses scientifiquement solides et socialement pertinentes (Kobori *et al.*, 2016 ; Barrios *et al.*, 2012).

Il convient toutefois de souligner que la différenciation observée entre les villes ne s'explique pas uniquement par les spécificités territoriales, mais est également fortement influencée par les profils des citoyens mobilisés. À Strasbourg, le recrutement *via* les actions du programme « Solenville » a conduit à une forte représentation d'acteurs issus des réseaux d'agriculture urbaine. À Metz, en revanche, la présence de deux participants exerçant des professions artistiques a orienté une partie des discussions vers les liens entre perception sensible et qualité des sols. De fait, les approches de ce type en sciences et recherches participatives montrent que les perceptions des citoyens sont toujours « situées » et les propriétés individuelles (bagages culturels, profession, intérêts) des participants jouent un rôle déterminant (Čepić *et al.*, 2024 ; Kimura et Kinchy, 2016).

Limites, biais et perspectives méthodologiques

Plusieurs limites et biais doivent être soulignés afin de nuancer l'interprétation des résultats. Tout d'abord, le recrutement des participants s'est appuyé sur des réseaux déjà constitués (associations de jardins, collectifs citoyens) et sur leurs intérêts pour la question des sols puisqu'ils sont bénévoles et amateurs ce qui induit une sur-représentation de profils sensibilisés aux enjeux environnementaux et aux questions de durabilité. Ce biais de sélection est fréquemment relevé dans les démarches de sciences participatives, où la mobilisation repose souvent sur des publics déjà engagés, réduisant la diversité sociologique et limitant la représentativité des perceptions recueillies (Bonney *et al.*, 2009 ; Kobori *et al.*, 2016).

Ensuite, l'importance inhabituelle accordée à l'odeur dans les descriptions sensorielles pourrait être en partie liée à un effet de consigne. Le fait d'avoir explicitement invité les participants à « sentir » les échantillons a probablement contribué à sur-mobiliser cette modalité sensorielle, par rapport à une situation spontanée. Ce type de biais d'induction est bien connu en analyse sensorielle alimentaire, où la formulation des consignes influence la hiérarchisation des descripteurs (Lawless et Heymann, 2010). De plus, même si les résultats des inventaires des éléments qui caractérisent un sol réalisé en

binômes n'ont pas été étudiés, ici, il est évident que le format en binôme influence les résultats. C'est une des raisons qui amène à l'absence d'exploitation de résultats proposés. Ce travail en binôme permet d'avantage une mise en condition pour les étapes suivantes, à savoir la représentation du sol pour les étonnements et la question de recherche, qu'une véritable étude sémantique. Pour finir, l'apport et le transport d'un petit bloc de sol engendre probablement la fuite d'organisme du sol, limitant ainsi la perception du vivant lors de cet atelier.

Enfin, la validation externe des perceptions citoyennes reste, à ce stade, partielle. Les descripteurs sensoriels (par exemple *friable*, *collant*, *noir*, *odeur*) n'ont pas encore été systématiquement comparés à des mesures physico-chimiques et biologiques issues du laboratoire. L'articulation entre langage profane et indicateurs agro-pédologiques et biologiques représente un enjeu central pour conférer une robustesse scientifique à l'approche d'évaluation de la qualité des sols par la perception d'un non-expert. Des travaux antérieurs en agronomie participative ont montré que les jugements paysans sur la texture, la couleur ou la friabilité des sols pouvaient être fortement corrélés à des mesures objectives comme la teneur en matière organique, la capacité de rétention en eau ou la compacité (Barrios et Trejo, 2003 ; Jondreville *et al.*, 2018). Le projet « *Tous en Sol* » prévoit d'engager cette comparaison « description citoyenne » vs « analyses de laboratoire », ce qui constituera une étape cruciale pour juger de la valeur prédictive et opérationnelle des perceptions citoyennes.

Implications des citoyens dans l'évaluation de la qualité des sols urbains

Au regard des cadres actuels comme l'expertise collective INDIQUASOLS (Cousin *et al.*, 2024), la stratégie européenne pour les sols (European Commission, 2021) et la « *Soil Monitoring Law* », notre étude montre que des indicateurs participatifs peuvent compléter utilement des référentiels experts. Ils ouvrent la voie à des pré-diagnostics comme l'ont montré des programmes tels que *GROW Observatory* (Peiró *et al.*, 2024) sur la structure, l'humidité ou la matière organique, reconnus comme sensibles aux changements d'usage (Doran et Zeiss, 2000 ; Bünemann *et al.*, 2018). Ils apportent également une méthodologie de médiation entre expertise et usages concrets (jardinage, renaturation, végétalisation), en tentant de créer un langage commun entre chercheurs et citoyens (Price *et al.*, 2024). En phase de chantier, les acteurs opérationnels mobilisent eux aussi des approches sensorielles, en particulier tactiles et visuelles, afin de trier et conserver certaines terres jugées plus fertiles ou plus adaptées à un usage futur, confirmant que l'évaluation sensorielle et les enjeux profanes de la qualité des sols ne relèvent pas uniquement des démarches citoyennes mais s'inscrivent également dans les pratiques professionnelles de gestion des sols (Cousin *et al.*, 2024).

Ces apports rejoignent les appels à constituer un portefeuille d'indicateurs intégrés, mêlant dimensions biophysiques et socio-écologiques (Bünemann *et al.*, 2018), et répondent aux exigences européennes en matière de suivi et de sensibilisation de la qualité des sols (Charvát *et al.*, 2025).

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude, menée dans le cadre du projet «Tous en Sol», visait à évaluer la pertinence de l'approche sensorielle et participative pour caractériser les sols urbains. Les résultats montrent que, malgré une forte variabilité intra-échantillon limitant l'usage normatif individuel, la discrimination inter-échantillons demeure robuste, révélant l'existence de descripteurs sensoriels cohérents liés à la structure, l'humidité et la biologie du sol. Bien que la cohérence de certaines discriminations inter-échantillons soit plutôt triviale (humide vs sec, friable vs compact *etc.*), il met en évidence que ces perceptions sont moins sujettes à la variabilité par rapport à d'autres critères comme la texture par exemple.

Les étonnements et questions des participants confirment que les sols urbains sont perçus non seulement sous l'angle écologique ou productif, mais aussi à travers des enjeux sensibles, sanitaires et culturels. Ces représentations, différenciées selon les villes, reflètent la composition sociale des groupes et leurs réseaux de mobilisation, soulignant la nécessité d'un ancrage territorial, pluri-thématique et pluridisciplinaire des démarches participatives.

Sur le plan méthodologique, l'approche sensorielle présente un fort potentiel, mais nécessite des améliorations : élargissement des publics, calibration multi-sites, standardisation du lexique, confrontation des perceptions avec des analyses pédologiques de référence et orientation des pratiques selon ces analyses simplifiées.

Cette étape est essentielle pour évaluer la valeur prédictive des descripteurs sensoriels et renforcer la robustesse scientifique de la méthode. Cette recherche confirme que les indicateurs participatifs peuvent compléter utilement les référentiels experts (Bünemann *et al.*, 2018) en apportant une capacité de pré-diagnostic à large échelle, des signaux précoces de qualité ou de dégradation, et une médiation entre langage scientifique et vécu citoyen. Ces apports répondent aux orientations françaises et européennes sur le suivi et la restauration des sols (Charvát *et al.*, 2025). L'approche sensorielle participative, sans remplacer les analyses physico-chimiques, constitue un outil complémentaire pour relier enjeux biophysiques et socio-écologiques, tout en favorisant l'appropriation collective et la co-construction des savoirs sur la qualité des sols urbains vers une meilleure protection et prise en compte dans les politiques publiques.

Le dispositif d'atelier développé dans le cadre du projet «Tous en Sol» a vocation à être approprié et adapté par d'autres collectifs

ou institutions (laboratoires de recherche, bureaux d'études, acteurs du secteur public, collectivités territoriales, associations *etc.*) souhaitant engager une réflexion participative autour de la qualité des sols dans des contextes similaires. En explicitant les différentes étapes du processus, les choix méthodologiques et les limites rencontrées, un cadre opérationnel reproductible est proposé dans cet article, susceptible d'être ajusté selon les contextes territoriaux, les publics mobilisés et les objectifs poursuivis.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ADEME pour le financement du projet (Appels à Communs), notamment Cécile Grand pour le suivi, et Arthur Nunez-Vandamme pour l'extraction de l'ensemble des données issues des différents ateliers.

Nous remercions également l'ensemble des citoyens participants ainsi que des chercheurs impliqués dans la démarche, pour leur disponibilité et leur motivation. Merci à Pierre, Jean-Claude, Alexis, Camilla, Guillaume, Apolline, Sandrine, Marine, Morgane, Alain, Pierre, Laurent, Corinne, Emmanuelle, Jade, Julio, Claire, Sophie, Jean-Yves, Alice, Pascale, Marie-Hélène, Nicole, Éric, Barbara, Gaby, Antoine, Dominique, Sophie, Dominique, Irène, Grégoire, Lisa, Olivier, Bertrand, Cécile, Jenny, Dominique, Pierre, Sheila, Jonathan, Laurence, Laurent, Adeline, Françoise, Gwenaél, Isabelle, Pierre, Damien, Sandrine, Éla, Christine, Théo, Éléonore, Iris, Daniel, Lucile... pour votre participation au projet.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrews S.S., Karlen D.L., Cambardella C.A. (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945–1962.
- Auclerc A., Blanchart A., Vincent Q. (2019). Jardibiodiv, un outil de sciences participatives sur la biodiversité des sols urbains. *Étude et Gestion des Sols*, 26, 121–134.
- Bardin L. (2007). *L'analyse de contenu*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Baritz R., Amelung W., Antoni V., Boardman J., Horn R., Prokop G., Römbke J., Romkens P., Steinhoff-Knopp B., Swartjes F., Trombetti M., de Vries W. (2021). Soil monitoring in Europe. Indicators and Thresholds for Soil Quality Assessments. EEA ETC/ULS Report. 137 pages. European Topic Centre on Urban Land and Soil Systems (ETC/ULS).
- Barrios E., Delve R.J., Bekunda M., Mowo J., Agunda J., Ramisch J., Trejo M.T., Thomas R.J. (2012). Making the most of local soil knowledge for guiding soil management interventions. *Agriculture and Human Values*, 29(3), 333–348.
- Barrios E., Trejo M.T. (2003). Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. *Geoderma*, 111(3–4), 217–231. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00265-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00265-3)
- Blanchart A., Séré G., Chérel J., Warot G., Stas M., Consales J.N., Schwartz C. (2017). Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue. *Environnement urbain*, 11.

- Bonney R., Cooper C.B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V., Shirk J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977–984.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G.B., De Goede R., Flessens L., Geissen V., Kuypers 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. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cameron R.W.F., Blauša T., Taylor J.E., Salisbury A., Halstead A.J., Henricot B., Thompson K. (2012). The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry et Urban Greening*, 11(2), 129–137.
- Čepić D., Jurenka D., Bock B. (2024). Social composition and experiential knowledge in urban community gardens: How background and interests shape environmental observations. *Agriculture and Human Values*, 41(2), 345–360.
- Charvát K., Šmejkal J., Horák P., Kollerová M., Horáková Š., Renault P. (2025). Citizen Science for Soil Monitoring and Protection in Europe: Insights from the PREPSOIL Project Under the European Soil Mission. *Sustainability*, 17(11), 5042.
- Cousin I. (coord.), Desrousseaux M. (coord.), Angers D., Augusto L., Ay J.-S., Baysse-Lainé A., Branchu P., Brauman A., Chemidlin Prévost-Bouré N., Compagnone C., Gros R., Hermon C., Keller C., Laroche B., Meulemans G., Montagne D., Pérès G., Saby N., Vaudour E., Villerd J., Violle C., Lelièvre V., de Mareschal S., Brichler M.-C., Froger C., Itey J., Leenhardt S. (coord.) (2024). Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Rapport d'étude, INRAE (France). 780 pages - DOI 10.17180/qnpx-x742.
- Directive Européenne sur la Surveillance des Sols (2025). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202502360
- Doran J.W., Zeiss M.R. (2000). Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- European Commission (2021). Communication de la commission au parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions. Stratégie de l'UE pour la protection des sols à l'horizon 2030. Récolter les fruits de sols en bonne santé pour les êtres humains, l'alimentation, la nature et le climat. 17 novembre 2021. COM(2021) 699 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
- Glatron S., Philippot V., Frank-Neumann F. (2023). À la découverte des sols urbains vivants : un programme de recherche participative. CNRS, Paris.
- INRAE (2020). Les sciences participatives au service des sols. Note de synthèse, Paris.
- Jaccard P. (1908) Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull Soc Vaudoise Sci Nat* 44: 223–270
- Joimel S., Cortet J., Jolivet C.C., Saby N.P.A., Chenot E.D., Branchu P., Consalès J.N., Lefort C., Morel J.L., Schwartz C. (2016). Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *Science of the Total Environment*, 545, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035>
- Jondreville C., Lemerrier B., Joigneau-Guesnon C., Louiset R., Gascuel C., Roturier C. (2018). Clés de sol : un projet de sciences participatives pour caractériser les sols et leurs fonctions. 42 pages. Rapport. https://ist.blogs.inrae.fr/sciencesparticipatives/wp-content/uploads/sites/22/2018/09/18_06_22_projet_cl%C3%A9s_de_sol.pdf
- Kamada T., Kawai S. (1989). An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters*, 31(1), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0020-0190\(89\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0020-0190(89)90102-6)
- Kimura A.H., Kinchy A. (2016). Citizen science: Probing the virtues and contexts of participatory research. *Engaging Science, Technology, and Society*, 2, 331–361. <https://doi.org/10.17351/ests2016.99>
- Kobori H., Dickinson J.L., Washitani I., Sakurai R., Amano T., Komatsu N., Kitamura W., Takagawa S., Koyama K., Ogawara T., Miller-Rushing A.J. (2016). Citizen science: A new approach to advance ecology, education, and conservation. *Ecological Research*, 31, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11284-015-1314-y>
- Kohlbrener A., Casabella N. (2025). Figurer l'invisible. Les expériences sensibles comme moyen de repolitiser le devenir des sols urbains. *Revue française des méthodes visuelles*, 8.
- Lawless H.T., Heymann H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (2nd ed.). Springer.
- Leino H., Peltomaa J. (2012). Situated knowledge – situated legitimacy: Consequences of citizen participation in local environmental governance. *Policy and Society*, 31(2), 159–168.
- loi Climat et Résilience (2021). <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2021/8/22/TREX2100379L/jo/texte>
- Mason E., Gascuel-Oudoux C., Aldrian U., Sun H., Miloczki J., Götzinger S., Burton V.J., Rienks F., Di Lonardo S., Sandén T. (2024). Participatory soil citizen science: An unexploited resource for European soil research. *European Journal of Soil Science*, 2024, vol. 75, no 2, p. e13470. <https://doi.org/10.1111/ejss.13470>
- Morel J.L., Chenu C., Lorenz K. (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments*, 15(8), 1659–1666. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0>
- O'Riordan R., Davies J., Stevens C., Quinton J.N., Boyko C. (2021). The ecosystem services of urban soils: A review. *Geoderma*, 395, 115076. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115076>
- Paltseva A.A. (2025). Participatory science in urban soil research: A framework for overcoming challenges and expanding public engagement. *iScience*, 28(5). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112361>
- Pavao-Zuckerman M.A. (2008). The nature of urban soils and their role in ecological restoration in cities. *Restoration Ecology*, 20(4), 427–439. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2008ResEc..16..642P/doi:10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x
- Peiro A., Mimmo T., Sanz F., Panagos P., Jones A., Breure T. (2024). A review of existing tools for citizen science research on soil health, Publications Office of the European Union, Luxembourg, https://data.europa.eu/doi/10.2760/170858_JRC136889.
- Price C., Gobby J., Davies G. (2024). Soil publics: Regenerating relations with urban soils through citizen science. *Science, Technology et Human Values*, 49(2), 285–310.
- Säumel I., Kotsyuk I., Hölscher M., Lenkerei C., Weber F., Kowarik I. (2012). How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution*, 165, 124–132.
- Serrano M.Á., Boguñá M., Vespignani A. (2009). Extracting the multiscale backbone of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(16), 6483–6488.
- Shirk J.L., Ballard H.L., Wilderman C.C., Phillips T., Wiggins A., Jordan R., McCallie E., Minarchek M., Lewenstein B.V., Krasny M.E., Bonney R. (2012). Public participation in scientific research: A framework for deliberate design. *Ecology and Society*, 17(2): 29. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Teerlinck J., Van Der Straeten J., Hermey M., Van Hecke E. (2024). Quantifying the contribution of private gardens to urban green infrastructure in Flanders. *Urban Forestry et Urban Greening*, 93, 128155.
- Thimonier J., Brun-Jacob A., Mathieu M., Durand J., Frey-Klett P., Hammond C. (2020). Les laboratoires ouverts Tous Chercheurs. *médecine/sciences*, 36 : 271-3

