

POST- DOCTORAT



FOCUS PROJET

ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ GÉNÉRÉE PAR LES TOITURES VÉGÉTALISÉES EN MILIEU URBAIN

SEKOU COULIBALY

2024



Mots-clés : Milieu urbain, toitures végétalisées, agriculture urbaine, biodiversité, faune, flore

"L'installation des toits verts pourrait notamment être un outil pour accroître la biodiversité urbaine (Oberndorfer et al., 2007)."

AVANT PROPOS

Préserver la biodiversité est l'un des enjeux majeurs de ce XXI^{ème} siècle. Cependant, aujourd'hui, la biodiversité reste le parent pauvre lors de la mise en place d'indicateurs et la recherche de services écosystémiques associés. Il est pourtant urgent de l'évaluer dans sa globalité, pour être capable de la protéger et de mettre en place des infrastructures adaptées notamment en utilisant les toitures à des fins productives.

Un groupe de travail constitué par la Chaire (entre scientifiques enseignants et l'ADIVET) a constaté que l'évaluation des performances environnementales de ces infrastructures vertes en ville souffre d'une forte carence, et d'autant plus concernant l'évaluation de la biodiversité lors de la mise en place d'indicateurs des services écosystémiques associés à ces installations. **Qu'apporte donc la végétalisation des toitures (productives ou non productives) pour la biodiversité urbaine ?**

Le projet lancé vise à combler cette lacune, à outiller les acteurs et à les sensibiliser sur ces enjeux de préservation.

Cette étude a été menée dans le cadre d'un projet de recherche porté par la Chaire Agricultures Urbaines d'AgroParisTech et financé par la Fondation d'entreprise des solidarités urbaines : le laboratoire des bailleurs sociaux de la ville de Paris (ex Fondation Paris Habitat). Le projet proposé, regroupe aujourd'hui différents partenaires associés aux scientifiques de la Chaire Agricultures Urbaines : Adivet (Association des toitures et façades végétales), UMR 1402 ECOSYS INRAE - AgroParisTech et SADAPT.

Il a impliqué scientifiquement Christine Aubry, Clémentine Decroix, Sophie Joimel, Nolwen Levailant, Fanny Provent et Sophie Rousset-Rouvière que nous remercions tout particulièrement.

Cette note de synthèse permet de retranscrire les principaux résultats de cette étude et d'identifier plusieurs pistes de recherche pour la suite de ce projet.

CONTEXTE

Les zones urbaines se développent rapidement dans le monde, entraînant des effets négatifs sur le climat, les ressources naturelles et la biodiversité (McDonald and al 2008). Les communautés biologiques urbaines sont souvent moins diversifiées et plus homogènes que les milieux naturels tels que les forêts ou les prairies.

Alors que la population urbaine augmente, la conservation de la biodiversité en ville devient essentielle pour renforcer la résilience des écosystèmes urbains. Afin de pourvoir en surfaces végétalisées supplémentaires, les bâtiments apparaissent comme une solution pour « reverdir le gris » (Francis et Lorimer 2011 ; Jim, 2004). L'installation des toits verts pourrait notamment être un outil pour accroître la biodiversité urbaine (Oberndorfer et al., 2007).

OBJECTIFS

- Faire un **état des connaissances exhaustives** en termes de recherches et d'indicateurs utilisés pour évaluer la biodiversité des toits verts.
- **Identifier les lacunes** à combler en termes de recherche (e.g. taxons* peu étudiés, indicateurs manquants) pour dégager les futures pistes de recherche.
- **Proposer une étude expérimentale** fondée sur une des pistes de recherche.

*Un taxon correspond à un ensemble d'êtres vivants regroupés parce qu'ils possèdent des caractères en communs du fait de leur parenté, et permet ainsi de classer le vivant. Quelques exemples de taxons : les insectes, les plantes, les amphibiens, etc.

MISE EN OEUVRE

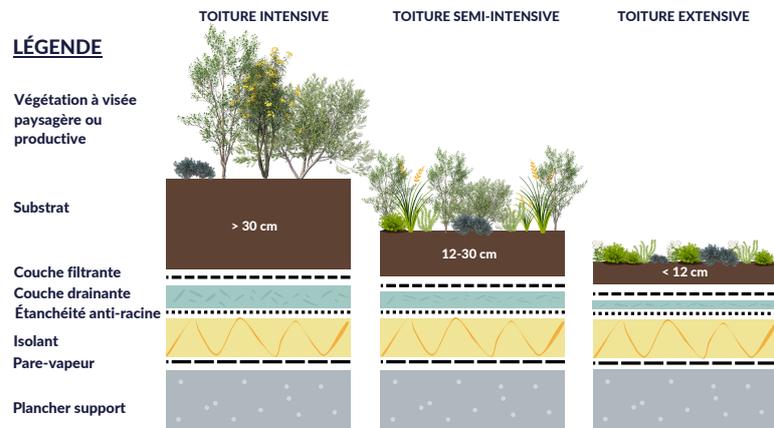
Action 1 : Recherche bibliographique sur la biodiversité des toitures végétalisés

Action 2 : Enquêtes et rencontres avec des décideurs (bailleurs, collectivités) pour identifier leur prise en compte de la biodiversité

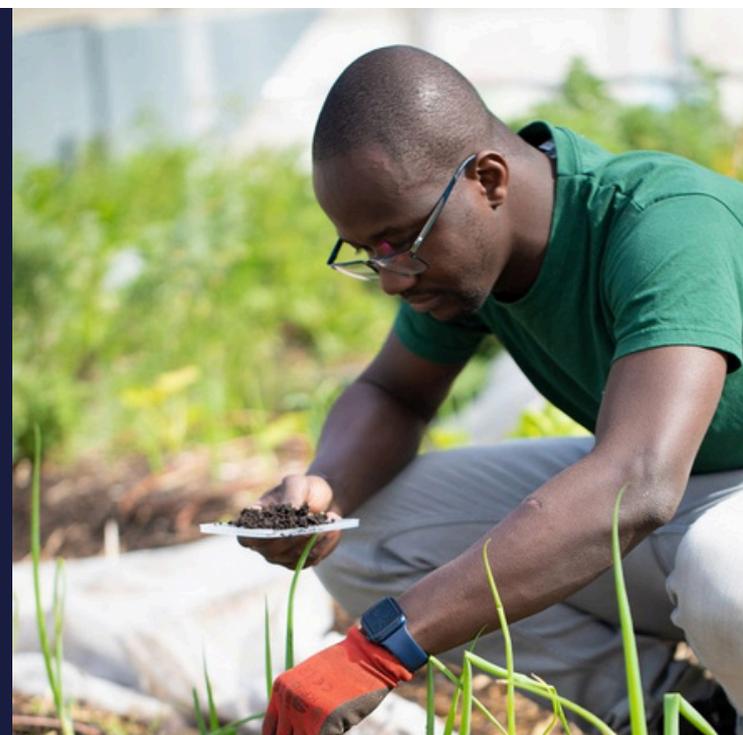
Action 3 : Mise en place d'une expérimentation sur le terrain

QU'ENTEND-ON PAR TOIT VERT ?

Les toits verts sont des toitures disposant d'une végétation à vocation productive ou non, construits sur des toits plats ou en pente.



Plusieurs études récentes se sont penchées sur la biodiversité des toits végétalisés en considérant une multitude d'organismes allant des micro-organismes aux vertébrés en passant par les arthropodes (e.g. Braaker et al., 2014 ; Colla et al., 2009 ; Brenneisen, 2006). Leur rôle en tant qu'habitat, leur intégration dans la matrice paysagère ou encore la conception sont autant de sujets abordés (Mayrand and Clergeau 2018, Partridge et al. 2020).



Action 1 : Recherche bibliographique sur la biodiversité des toits végétalisés



Méthode

La recherche portant sur la biodiversité des toits verts a été menée à partir de novembre 2021 dans Web of Sciences (WoS). Les mots-clés choisis sont les suivants : (« green roof* » or rooftop* or greenroof*) and (biodiversity or plant* or fauna or wildlife). Notre recherche a couvert toutes les années depuis 1965 jusqu'à la date de la recherche. Au total, ce sont 2392 articles qui sont sortis comme résultats de recherche.

Une première sélection a été effectuée sur la base des titres et résumés, voire de l'article en entier, afin d'identifier les articles tombant réellement dans le sujet (étude de la biodiversité au sein des toits verts). En outre, nous avons pris en compte dix articles non inclus dans WoS que nous avons trouvés à l'aide de Google Scholar sur le même sujet. **Au total, ce sont donc 154 articles qui ont été jugés pertinents pour notre étude.**

Résultats à retenir

LA BIODIVERSITÉ DES TOITS VERTS EST UN SUJET RÉCENT

99 % des publications sur ce sujet ne sont apparues qu'après 1995, avec une nette progression dans les années 2010. Représentant moins d'1% des publications sur la biodiversité urbaine, les études sur les toitures se sont surtout développées après 2013.

LA MAJORITÉ DE CES ÉTUDES (72%) A ÉTÉ MENÉE DANS LES PAYS DE L'HÉMISPHERE NORD

Soit en Europe et en Amérique du Nord

LA BIODIVERSITÉ SOUTERRAINE EST PEU ÉTUDIÉE

Le compartiment aérien est le plus étudié avec pour majorité les plantes (55%), suivi des invertébrés (11% - papillons, abeilles, guêpes, mouches) et des vertébrés (4% - oiseaux et chauve-souris). La biodiversité du sol est quant à elle étudiée dans seulement 7% des études (e.g. arthropodes, micro-organismes, microarthropodes du sol).



Ressource

Cette revue bibliographique a fait l'objet d'une parution scientifique en anglais : Sekou Coulibaly et al., 2023. The role of green roofs as urban habitats for biodiversity modulated by their design: a review. Environment Research Letters. 18 pages.

IL EXISTE 3 AXES DE RECHERCHE SUR LA BIODIVERSITÉ DES TOITS VERTS

L'examen de ces différentes publications sur la biodiversité des toits verts a relevé 17,5% des articles scientifiques sur la caractérisation, 17% sur les modes d'usages et 52,5% sur les différents aspects liés à la conception. Certains articles se sont retrouvés dans deux catégories simultanément soit 4,5% pour usage/caractérisation ainsi que pour usage/conception et environ 4% pour caractérisation/conception.

LES COMMUNAUTÉS D'ORGANISMES (DIVERSITÉ) SONT PLUS ÉLEVÉES DANS LES ESPACES URBAINS AU SOL QUE SUR LES TOITS VERTS

Cette donnée est issue d'une analyse en cours des données présente dans les articles. Nos premiers résultats semblent indiquer que les toits verts accueillent moins de biodiversité que les autres espaces urbains au sol. Plus précisément, le nombre total des espèces (oiseaux, abeilles, araignées, arthropodes) est plus faible sur les toits que les autres espaces urbains au sol. **A ce jour, 45% des données ont été récoltées auprès des auteurs.**

Action 2 : Enquête sur la perception de la biodiversité urbaine auprès des bailleurs et collectivités



Méthode

Cette action a été réalisée grâce au stage de fin d'étude de Clémentine Decroix qui a mené des enquêtes et rencontres avec des décideurs (bailleurs, collectivités) pour identifier de quelle manière ils prennent en compte la biodiversité urbaine mais aussi étudier les indicateurs utilisés et/ou à créer pour les épauler dans leur démarche de préservation de la biodiversité sur leurs territoires.

Au total 40 entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de 24 communes (ex- Arcueil, Genevilliers, Issy-les-Moulineaux, Montreuil) et 16 autres acteurs de l'AU : 3 associations (AFAUP, LPO, Veni Verdi), 4 bailleurs (USH, I3F, Paris Habitat, RIVP), 4 acteurs publics parisiens (14eme, 13eme, 20eme et DEVE Parisculteurs, 3 Etablissements publics territoriaux (Cergy-Pontoise, GPSO et MGP) et 2 entreprises d'agriculture urbaine (Cultures en ville, Topager).

Résultats à retenir

L'AGRICULTURE URBAINE (AU) EST PERÇUE COMME UNE SOLUTION À METTRE EN PLACE POUR FAVORISER LA BIODIVERSITÉ EN VILLE

Selon 63% des personnes interrogées.

IL Y A UN MANQUE DE CONNAISSANCES SUR LA BIODIVERSITÉ SOUTERRAINE

Le compartiment aérien (i.e. plantes, abeilles, oiseaux) étant le plus connu des acteurs tandis qu'il y a un manque de connaissances sur la biodiversité souterraine (i.e. vers de terre, collemboles, nématodes), bien qu'elle soit de plus en plus prise en compte par les décideurs. La biodiversité du sol est assimilée à des notions floues (e.g. "vie du sol", "préservation du sol")

LES VISIONS POLITIQUES INFLUENCENT FORTEMENT LA MISE EN PLACE DES PROJETS D'AU EN ÎLE-DE-FRANCE.

En effet, les communes communistes présentent en moyenne plus de projets d'AU (une dizaine) que les autres communes (4). C'est le cas par exemple de Montreuil (42 projets), Genevilliers (14 projets), Saint-Denis (18). Au-delà de la couleur politique actuelle qui a perduré ou non, ces communes sont historiquement marquées par leur histoire ouvrière et urbaine (Darly 2013). Les parcelles aujourd'hui cultivées sont un héritage et la résistance d'une nature jardinée.



Ressources

Le rapport de stage de Clémentine Decroix est disponible [ici](#).

un article scientifique a été soumis le 18 avril 2024 pour publication dans le journal Urban Ecosystems.

Action 3 : Prélèvements lors d'expérimentations de terrain



Méthode

Nous avons mis en place une expérimentation de terrain en mars 2023 sur 17 toitures végétalisées et cultivées en Île-de-France (14 dans Paris intra-muros, 1 dans le 92 et 2 dans le 94) afin d'acquérir une meilleure connaissance sur la biodiversité souterraine des toitures végétalisées et cultivées. Spécifiquement nous cherchons à étudier dans les conditions réelles l'effet des différents types de toits verts sur la biodiversité fonctionnelle des sols urbains.

Trois grands types de toits verts les plus répandus de la région ont été retenus : les types de toit intensifs (profondeur de substrat >30 cm), semi-intensifs (profondeur de substrat entre 12 et 30 cm) et extensifs (profondeur de substrat <12 cm). Pour les toits verts semi-intensifs, nous nous sommes intéressés à leur fonction principale : vocation productive et ornementale, et les toits verts intensifs uniquement ceux à vocation ornementale par manque de toits intensifs productifs. Ces toitures ont été sélectionnées en fonction de leur âge. Les jeunes toitures c'est-à-dire celles inférieures à 2 ans (date de pose et de végétalisation) ont été exclues de notre sélection. Les sites ont été fournis grâce aux différentes collaborations avec les bailleurs (Paris Habitat), associations (Pepin production) et entreprises (TOPAGER, Cultures en ville, Le Prieuré, ECOVEGETAL) possédant ou gérant des toits verts, et qui nous ont autorisé à y effectuer des prélèvements.

Les données de ces différents sites (17 toitures) sont ensuite analysées au laboratoire à travers des déterminations des groupes d'organismes prélevés (nématodes, collemboles, acariens, vers de terre, isopodes, gastéropodes, myriapodes, diplopodes, larves d'insectes). D'autres analyses ont été effectuées afin de quantifier les paramètres physico-chimiques (Carbone total, azote total, pH, humidité, masse volumique, capacité d'échange cationique, éléments traces métalliques) et microbiologiques des sols (boiomasse micobienne, PLFA pour qualifier les composantes bactériennes et fongiques). Ces données permettront de faire le lien entre la biodiversité des sols et fonctionnement des toitures vertes.

Nous avons recruté une stagiaire pour nous épauler dans la réalisation de cette étude (préparation de terrain, prélèvements, analyse laboratoire, rédaction de rapport de stage) – stage Master 2 de fin d'études de Nolwen Levallant (mi-février – mi-Août 2023).

Dans cette étude, nous avons cherché à répondre à 3 grandes questions, à savoir :

- **Quel est l'impact de la végétalisation des toits verts sur la biodiversité des sols ?**
- **Observe-t-on une réponse similaire de différents groupes taxonomiques (micro-organismes, nématodes, collemboles, vers de terre, isopodes, coléoptères etc.) aux types de toits verts ?**
- **Quel(s) type(s) de toit vert accueille(nt) plus de biodiversité des sols ?**

Action 3 : Prélèvements lors d'expérimentations de terrain



Résultats à retenir

LES TOITS VERTS SONT DES HABITATS POUR LA BIODIVERSITÉ DU SOL

LA PROFONDEUR DE SUBSTRAT EST CORRÉLÉE AVEC LA TAILLE DES ORGANISMES (ABONDANCE)

Les organismes de petites tailles (<100 μm , tels que micro-organismes, nématodes) semblent être plus présents dans les faibles profondeurs de substrats (toits extensifs) tandis que les organismes de grandes tailles (>2 mm, e.g. vers de terre, isopodes, coléoptères) sont plus nombreux quand la profondeur de substrat est élevée (toits intensifs et semi-intensifs).

LES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES INFLUENCENT LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

Cette répartition des organismes selon les types de toit (ou profondeur de substrat) peut s'expliquer également par la disponibilité des nutriments indispensables à la croissance des plantes tels que l'azote, le phosphore, l'humidité qui sont plus élevés dans les toits à profondeur de substrat importante (intensifs, > à 30 centimètres et semi-intensifs, 12-30 centimètres) qu'au niveau des toits extensifs (profondeur de substrat faible, 4-12 centimètres).

IL EXISTE DES LIENS ENTRE LES FONCTIONS BIOTIQUES (LIÉES AUX ÊTRES VIVANTS) ET ABIOTIQUES (DÉPENDANT DU MILIEU) DU SOL :

Ainsi, dans cette étude, nous avons montré des liens forts entre les organismes de la microflore/microfaune (microorganismes, nématodes) et les éléments nutritifs (carbone, azote) ; la mésofaune (collembolles et acariens) était très associée aux valeurs plus élevées d'humidité et de pH neutre ; tandis que les organismes de la macrofaune (e.g. vers de terre, isopodes, myriapodes) montraient de liens avec la structure physique du sol (masse volumique) et l'ensemble des processus de décomposition de la matière organique.



Ressources

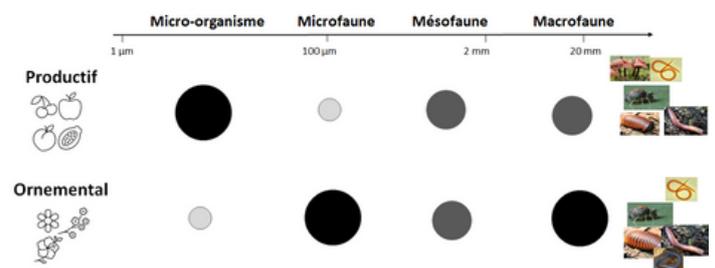
[Le rapport de stage de Nolwenn Levallant est disponible ici.](#)

Deux articles scientifiques sont en cours de rédaction.

UNE RÉPARTITION DIFFÉRENTE DES ORGANISMES EN FONCTION DES USAGES DE LA TOITURE

Les micro-organismes semblent préférer les toitures à vocation productives et moins celles ornementales qui présentent un nombre d'individus de type micro et macrofaune plus important.

Abondance moyenne de chaque type d'organisme du sol en fonction de leur taille et du type d'usage de la toiture



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ce projet mené pendant 2 ans dans le cadre d'un post-doctorat a permis de mettre en évidence plusieurs points essentiels telle que **la mise en avant du manque de données concernant la biodiversité des sols** dans la littérature scientifique, corrélée à l'étude de la perception de la biodiversité urbaine qui montre que **la biodiversité aérienne est beaucoup plus connue des décideurs que son pendant sous-terrain.**

Aussi nous l'avons vu **la biodiversité du sol**, indéniablement présente sur les toits verts, **varie notamment en fonction des types de toitures et de leurs fonctions.**

Nos premiers constats pourraient être poussés autour de plusieurs pistes dans le but de créer des outils concrets d'aide à la conception des toitures, ou encore d'aide à l'évaluation de la biodiversité générée dans un quartier, d'étendre l'étude à d'autres échelles afin de travailler sur une continuité via la trame brune, ou encore d'assurer un suivi dans le temps de la biodiversité présente sur les toits verts.

VERS UN OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION DES TOITURES

Une première piste consisterait à créer un outil qui permettrait de voir quel paramètre est le plus adapté pour favoriser une augmentation de la biodiversité. Certains paramètres ont été pris en compte dans notre étude (profondeur de toit notamment) mais une perspective consisterait à prendre en compte plus de paramètres (type de substrat, âge, taille, isolement, hauteur...) pour mieux définir la toiture la plus adaptée.



ETENDRE L'ÉTUDE DES TOITS VERTS À LA TRAME BRUNE

L'étude pourrait également être étendue à d'autres échelles afin de voir quelle est la connectivité des espaces (toits verts mais aussi espaces au sol cultivés et/ou végétalisés, espaces en façade..) et de travailler ainsi sur une continuité écologique via une trame brune.

EVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ À L'ÉCHELLE D'UN QUARTIER

Un autre aspect consisterait à travailler à l'échelle d'un quartier en permettant de travailler sur un outil d'évaluation de la biodiversité générée sur un territoire précis en ville.

SUIVI DANS LE TEMPS DES PARCELLES

Enfin, suivre l'évolution dans le temps des terrains d'expérimentations de l'étude via un suivi dynamique des parcelles permettrait de voir comment la biodiversité présente à l'instant t évolue dans le temps et dans l'espace.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Braaker S., Ghazoul J., Obrist M. K. and Moretti M. 2014** : Habitat connectivity shapes urban arthropod communities: the key role of green roofs *Ecology* 95 1010-21
- Brenneisen S. 2006** : Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland *Urban Habitats* 4 27-36 (available at: www.eaglehill.us/urban-habitats/Vol%204/wildlife_pdf.pdf)
- Colla S. R., Willis E. and Packer L. 2009** : Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: Apidae)? *Cities Environ.* 2 4
- Francis R. A. and Lorimer J. 2011** : Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls *J. Environ. Manage.* 92 1429-37
- Jim C. Y. 2004** : Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities *Cities* 21 311-20
- Mayrand F. and Clergeau P. 2018** : Green roofs and green walls for biodiversity conservation: a contribution to urban connectivity? *Sustainability* 10 985
- McDonald R. I., Kareiva P. and Forman R. T. T. 2008** : The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation *Biol. Conserv.* 141 1695-703
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R. R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler M., Liu K. K. Y. and Rowe B. 2007** : Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services *Bioscience* 57 823-33
- Partridge D. R., Parkins K. L., Elbin S. B. and Clark J. A. 2020** : Bat activity correlates with moth abundance on an urban green roof Northeast. *Nat.* 27 77-89