

Étude sur la biodiversité des toitures végétalisées en Île-de-France

*Suivi et écologie des communautés d'arthropodes dans le cadre de la première année
d'expérimentation de l'étude GROOVES ((Green ROOfs Verified Ecosystem Services)
Stagiaire : Hemminki JOHAN ; Encadrement : Marc BARRA et Maxime ZUCCA*



Table des matières

Structures d'accueil	3
I. Avant-propos	4
La biodiversité : l'ère de l'Anthropocène	4
Ville et biodiversité : de la « nature en ville » à l'écologie urbaine.....	5
Problématique : les toitures végétalisées sont-elles un atout pour la biodiversité ?	7
Choix de conception et de gestion	8
II. Matériels et Méthodes.....	11
1) Plan d'échantillonnage	11
Choix de l'échantillon	11
Organisation du terrain	12
2) Définition des protocoles	13
Protocole de suivi de la flore	13
Protocole d'analyse du sol.....	15
Protocole d'analyse des invertébrés	18
3) Questionnaire sur les pratiques	22
Réalisation du terrain	23
III. Résultats et interprétations.....	23
Résultats des inventaires botaniques.....	23
Résultats des inventaires d'invertébrés	25
Relations entre richesse en plantes et richesse en invertébrés.....	27
Relations entre type de systèmes de végétalisation et biodiversité.....	29
Relations entre ancienneté des toitures et biodiversité	29
Données Spipoll.....	30
Sols	30
IV. Critiques de l'année 1.....	31
Points négatifs	31
Points positifs	32
V. Conclusion	32
VI. Bibliographie	35

Structures d'accueil

Natureparif a été créée en 2008 à l'initiative de la Région Île-de-France. Agence régionale pour la nature et la biodiversité en Île-de-France, elle a pour mission de collecter des connaissances sur la biodiversité francilienne, les mettre en réseau, d'évaluer l'état de la biodiversité et suivre son évolution, d'identifier et diffuser les « bonnes pratiques » qui contribuent au respect de la nature et à son développement, favoriser les échanges entre les acteurs régionaux et sensibiliser le public aux enjeux liés à la préservation de la biodiversité. L'Agence est organisée en 3 pôles :

- **Le pôle observatoire** : en charge du suivi de la biodiversité en Île-de-France et de la production d'indicateurs d'état de santé de la biodiversité.
- **Le pôle forum des acteurs** : à vocation de mettre en réseau les acteurs du territoire, de faire changer les pratiques des acteurs franciliens publics et privés en faveur de la biodiversité.
- **Le pôle communication** : agit sur la sensibilisation et l'apport d'information à tout public francilien via une palette large d'outils (expositions, conférences, guides).

Salariés et mission de l'association ont été transférés au 1^{er} août 2017 à l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Île-de-France, sous la forme d'un département Biodiversité. www.natureparif.fr

L'association ADIVET (association française des toitures et façades végétales) regroupe les acteurs essentiels de la filière végétalisation de toitures : fabricants de composants et de systèmes, entrepreneurs du bâtiment et du paysage, groupements professionnels, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, organismes de formation et recherche, bureau d'études.

www.adivet.net

I. Avant-propos

La biodiversité : l'ère de l'Anthropocène

Le terme de biodiversité, employé pour la première fois par Walter G. Rosen en 1986, a été largement repris depuis le sommet de la Terre à Rio (1992). Ce concept caractérise l'ensemble des êtres vivants, de leurs relations entre eux et avec leur environnement (B_{CEUF}, 2014). C'est en quelque sorte la fraction vivante de la nature. L'Homme fait partie intégrante de cette biodiversité, mais son cortège d'activités pèse de plus en plus lourd sur cette dernière, si bien que les scientifiques s'accordent à dire que nous vivons actuellement l'ère de l'anthropocène (P_{ALUMBI} 2001 ; S_{TEFFEN ET AL.} 2011), autrement dit celle d'une emprise de plus en plus prononcée des humains sur le tissu vivant de la planète.

Pourquoi préserver la biodiversité ? La biodiversité est le moteur du fonctionnement des écosystèmes, de leur résilience et de façon plus large elle permet l'expression et le maintien de la vie (B_{CEUF}, 2014). De fait, il n'y a pas de vie sans diversité : c'est une caractéristique intrinsèque du vivant (B_{ARBAULT}, 2009). Aussi, la préservation de la biodiversité revêt d'abord un enjeu éthique et moral : il s'agit de sauvegarder la biodiversité pour elle-même, pour sa valeur qui lui est propre, et cela indépendamment de l'utilité qu'elle peut avoir pour l'homme. Une autre raison totalement anthropocentrée, est que la biodiversité est essentielle au bien-être et à la survie de l'espèce humaine via les nombreux services écosystémiques définis par le Millennium Ecosystem Assessment en 2005. Cet argument a depuis été largement repris dans les programmes de conservation ou de restauration de la biodiversité.

Suite aux alertes des scientifiques, la prise de conscience de la crise écologique actuelle est manifeste. Elle se traduit de façon croissante à l'échelle citoyenne, mais aussi au niveau des collectivités territoriales ou des entreprises qui se mobilisent peu à peu pour faire de la biodiversité un élément des politiques publiques ou privées. Bien qu'un travail à l'échelle mondiale soit nécessaire pour enrayer la perte de biodiversité, l'action à échelle locale trouve

sa légitimité dans le besoin de trouver et mettre en place des solutions adaptées sur un territoire. « Penser global, Agir local » a toujours été un concept propre à la protection de l'environnement (DUBO, 1972).

Ville et biodiversité : de la « nature en ville » à l'écologie urbaine

Les villes rassemblent aujourd'hui plus de la moitié de l'humanité - déjà 3,4 milliards d'êtres humains en 2007 (VERON, 2007). En France, selon une étude de l'Insee de 2010, 77,5% de la population française vivait en zone urbaine (47,9 millions d'habitants). Les villes occupent désormais 22% du territoire national, ce qui correspond à une progression de 19% en dix ans (CLANCHÉ AND RASCOL 2011). L'urbanisation a de fortes répercussions sur la dynamique du vivant. Elle a pour conséquence une modification profonde des écosystèmes, conduisant à la perte de leur fonctionnalité écologique ou à leur disparition (ELMQVIST ET AL. 2013). L'artificialisation des sols, la fragmentation de l'espace, les pollutions diffuses... sont autant de paramètres qui caractérisent le milieu urbain. Ces caractéristiques inédites de l'écosystème urbain menacent grandement la dynamique des espèces et viennent intensifier la crise de la biodiversité (KAUFFMAN 2014 ; LIBERTI ET AL. 2006 ; TROMBULAK AND FRISSEL 2000) (À titre d'exemple, les états de santé de la biodiversité en Île-de-France publiés par Natureparif en mai 2016 annoncent la perte de 20% des espèces d'oiseaux et de papillons en milieu urbain).

La ville abrite une biodiversité majoritairement « ordinaire », loin des espèces emblématiques ou dites « patrimoniales ». Néanmoins, quelques espèces menacées ou à forte valeur patrimoniale résistent à l'urbanisation, quand d'autres plus exotiques ou représentatives des milieux bouleversés fortement marqués par l'homme, y trouvent leur compte, car plus adaptatives. On parle généralement d'espèces anthropophiles ou commensales de l'homme et de ses activités, ou d'espèces opportunistes s'adaptant facilement aux contraintes du milieu urbain. Cependant, on compte aussi parmi elles des espèces spécialistes de certains habitats existant majoritairement en ville : les éléments minéraux, qui peuvent être constitués tant par

les murs, que les toits ou les pavés, par exemple. La biodiversité urbaine, c'est aussi celle que l'on ne voit pas ! C'est le cas des organismes du sol certes moins « attractifs » mais qui n'en restent pas moins indispensables. Longtemps les collectivités n'ont pas prêté attention à cette nature ordinaire. Mais les regards changent et certains outils, comme les programmes de sciences participatives (LEGRAND 2013), ont notamment contribué à améliorer la connaissance de la biodiversité ordinaire en milieu urbain.

De plus en plus de collectivités se rendent compte que la nature en ville ne joue pas seulement un rôle esthétique mais aussi un rôle fonctionnel notamment dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Longtemps acteurs de démarches essentiellement paysagères avec une perception esthétique de la nature, les municipalités intègrent depuis peu une vision plus systémique, comme en témoigne la création de services dédiés à l'écologie urbaine au sein des municipalités. À l'échelle européenne, les concepts de « solutions fondées sur la nature » (UICN 2016) ou encore d'infrastructure verte (EUROPEAN COMMISSION 2010), viennent renforcer le rôle joué par la nature en ville dans les stratégies des collectivités. En région Ile-de-France et plus généralement à l'échelle métropolitaine, malgré une tendance forte de l'urbanisation, on assiste aujourd'hui à une prise de conscience et une mobilisation des acteurs sur le thème de la biodiversité. Cependant, il conviendra de rester prudent face à l'émergence des actions mises en place au titre de la protection de la biodiversité. Si certaines ont un véritable sens scientifique, d'autres relèvent parfois d'une démarche « marketing » ou politique visant d'abord à se donner une image écologique.

L'écologie scientifique et technique apporte des réponses. Parmi les solutions opérationnelles pour aménager, bâtir ou rénover en favorisant la biodiversité, la végétalisation des bâtiments connaît un succès grandissant, notamment celle des murs et des toitures. Un marché s'est ainsi

développé pour les toitures végétalisées et les entreprises proposant des solutions de ce type mettent en avant les mérites de leurs produits notamment sur le plan écologique. Cependant, la diversité des procédés et des matériaux laisse penser que l'efficacité des services attendus varie selon les choix réalisés par les concepteurs.

Problématique : les toitures végétalisées sont-elles un atout pour la biodiversité ?

La végétalisation des toitures s'est d'abord appuyée sur les arguments de protection de l'étanchéité, d'esthétisme, puis les préoccupations environnementales sont progressivement apparues, essentiellement dans la fin de la première décennie du XXI^e siècle, et ont contribué au développement de cette technique.

En France, des industriels de l'étanchéité et des fournisseurs spécialisés ont développé depuis plus de 30 ans un marché qui représente actuellement un volume annuel de 1 million de m² de végétalisation pour 25 million de m² de toitures terrasses nouvellement étanchées en neuf et en réfection (soit 4%). Cette évolution devait atteindre 1,5 million en 2015 (LASSALLE, 2012) alors que le marché allemand est lui déjà mature avec environ 14 millions de m² posés chaque année depuis une décennie, sur une base d'environ 80 millions de m² nouvellement étanchés.

Surfaces (en m²)

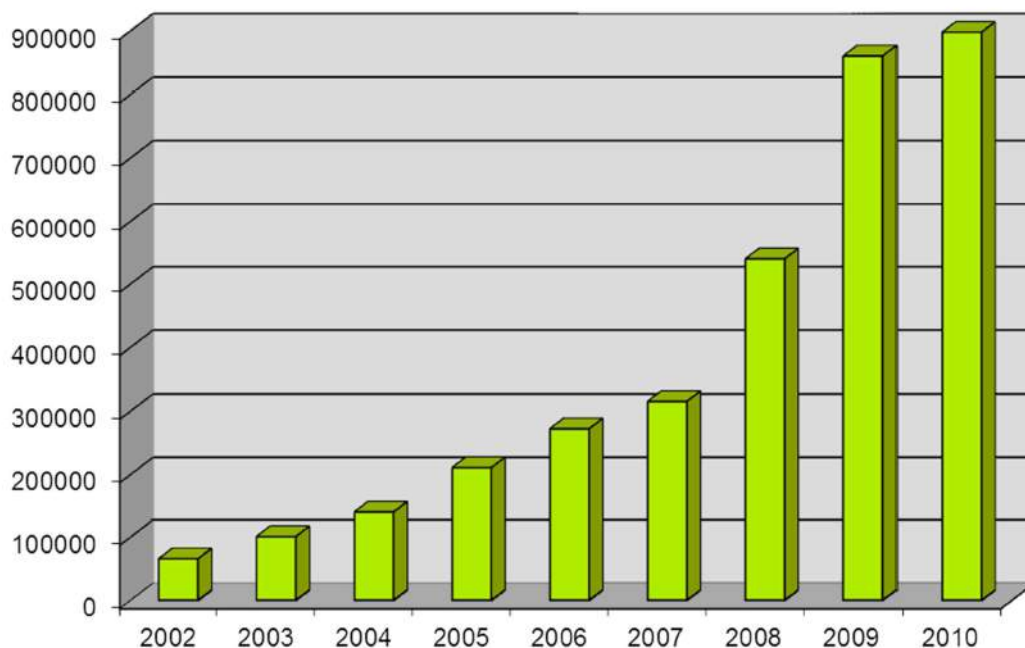


Figure 1 : Estimation de l'évolution des surfaces de toitures végétalisées extensives et semi-extensives en France entre 2002 et 2010 (ADIVET)

Choix de conception et de gestion

L'approche industrielle et à grande échelle des bâtiments végétalisés a conduit à une classification des « concepts » proposés aux architectes et aux constructeurs en fonction de la charge possible, de la palette végétale souhaitée, des usages et de l'entretien nécessaire de ces espaces, pierre d'achoppement de leur mise en œuvre car impliquant des budgets de fonctionnement en plus du surcoût lié à l'investissement, les deux étant très variable en fonction des concepts. Ces concepts se déclinent en 3 catégories : les végétalisations de toitures intensives, semi-intensives et extensives. Les limites entre ces 3 catégories sont définies par les Règles Professionnelles pour les Toitures et Terrasses végétalisées ("RP TTV")¹. Cependant, on peut aussi distinguer ces trois catégories par le paramètre de hauteur de substrat. Dans le cas des toitures dites « extensives » le substrat d'une hauteur comprise entre 4 à 15 centimètres selon les RP TTV est généralement composé d'environ 6 à 8% de matière organique (tourbes

¹ <http://www.adivet.net/realisation/regles-professionnelles.html>

et/ou composts verts) complétée de granulats d'origine minérale (pouzzolane, pierre ponce), industrielle (billes d'argiles, schistes expansés) ou issu du recyclage des bâtiments eux-mêmes (tuiles, briques ou béton concassé). Il est fortement drainant et très léger, évitant ainsi les surcharges importantes liées à la végétalisation traditionnelle sur terre végétale. Des systèmes techniques de drainage sont généralement disposés entre la membrane et le substrat. Ils peuvent être ou non hydro-rétenteurs.

La végétation introduite sur ces complexes est principalement composée de xérophytes, parmi lesquelles le genre *Sedum* occupe une place prépondérante. Ces plantes résistent aux sécheresses estivales, réduisant les coûts d'entretien.

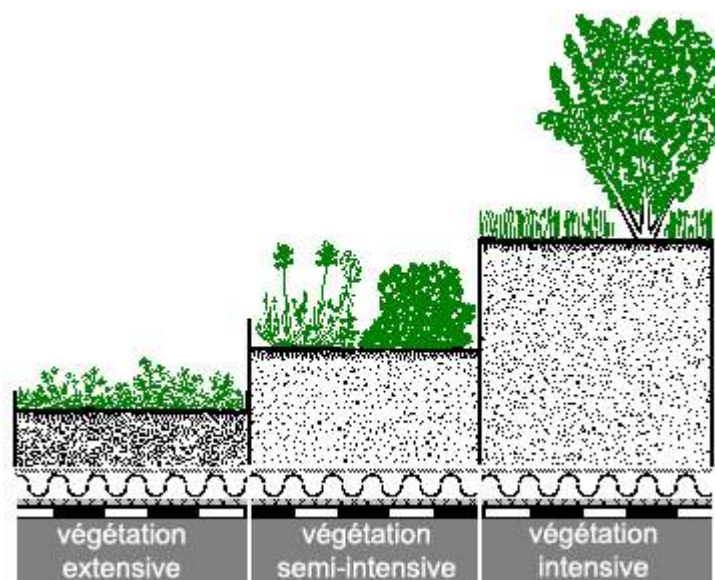


Figure 2 : Représentation des différents systèmes de végétalisation de toitures

Pour les concepts dits semi-intensifs et intensifs, la hauteur de substrat varie entre 15 et 30 centimètres pour le premier et de 30 centimètres à 1 mètre pour le second (avec des exceptions jusqu'à 2 mètres, rares). L'apport de terre végétale est réservé dans ce dernier cas aux structures très portantes étudiées pour la surcharge occasionnée. On retrouve sur ces cas une végétation variée allant des herbacées aux petits arbustes pour les conceptions semi-intensives aux grands

ligneux pour les types intensifs. La présence d'une hauteur de substrat plus importante modifie aussi la capacité de rétention d'eau du sol et permet l'intégration d'un cortège floristique plus proche des autres espaces verts urbains (squares, jardins...).

Selon les entreprises réalisant des toitures végétalisées, ces dernières présentent de nombreux avantages environnementaux : gains thermiques, réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, gestion des eaux pluviales, filtration et fixation des polluants atmosphériques (CO₂, particules, métaux lourds) et isolation acoustique (OBERNDORFER, 2007), ainsi que des aménités culturelles et sociales (attrait esthétique, reconnexion des citoyens avec la nature... (FRANCIS & LORIMER, 2011)). Une partie de ces bénéfices ont été confirmés par plusieurs travaux de recherche (Madre, 2014 ; Dusza, 2017) confirmant que ces aménagements étaient porteurs de bénéfices tout en montrant qu'il existe des différences entre les systèmes, en fonction des choix de conception (type de substrat, complexité des communautés végétales, strates, etc.) ou de gestion qui sont faits.

Pour aller plus loin dans la connaissance de l'intérêt des toitures végétalisées pour la biodiversité et leur capacité à délivrer un cortège de services écosystémiques (stockage de carbone, rétention de l'eau de pluie...), Natureparif a souhaité réaliser une étude qui comprend une campagne d'inventaires taxonomiques (flore, arthropodes, mollusques) et de prélèvements de sols sur un échantillon de 30 toitures végétalisées à Paris et en petite couronne d'Île de France. Ce travail est couplé à un relevé d'informations générales sur les toitures, à une description des systèmes de conception et des pratiques de gestion de ces toitures.

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la première année d'étude et vise à mettre en œuvre le protocole d'observation et d'analyse des communautés d'arthropodes sur cet échantillon de toitures.

II. Matériels et Méthodes

1) Plan d'échantillonnage

Mon stage s'inscrit dans la première phase d'un projet plus large d'une durée de 3 ans:

- 1) En 2017 : mise en place du protocole d'étude, 1ère phase de terrain avec test de la méthodologie d'inventaire basée sur divers protocoles existants et de prélèvements de sols, premières analyses des données.
- 2) En 2018 : élargissement (ou non) de l'échantillon et optimisation des suivis et protocoles, poursuite de l'analyse des données.
- 3) En 2019 : poursuite des suivis sur le même échantillon de toitures et finalisation des analyses avec restitution des résultats et des préconisations au cours d'un colloque scientifique et technique, édition d'un guide-pratique à destination des concepteurs, constructeurs et gestionnaires.

Cette plage de temps a été choisie afin de permettre un suivi temporel des toitures. La redondance des protocoles appliqués sur les toitures permettra d'acquérir un jeu de données permettant de faire apparaître d'éventuelles évolutions de la biodiversité dans le temps. Pendant 3 années, les sites feront l'objet de protocoles similaires et reproductibles dans le temps. Concernant la taille de l'échantillon, en tenant compte des moyens humains et du temps moyen passé par toitures, pour la première année, un échantillon de 30 sites a été arrêté. Ce nombre permet par ailleurs d'atteindre une fiabilité des statistiques qui sont ultérieurement réalisées. Au sein de l'échantillon situé dans Paris/Petite couronne, 4 catégories ont été définies. En effet, au vu du sujet de l'étude et des variétés de systèmes de végétalisation, il était pertinent d'atteindre une certaine hétérogénéité dans la sélection. Ainsi, sur 30 toitures on dénombre : 10 systèmes extensifs, 12 semi-intensifs et 6 intensifs (1 toiture a fait l'objet d'un suivi distinct pour chaque milieu boisement-prairie, ce qui porte l'échantillon à 31). Un autre site considéré

comme de type « wildroof » a été intégré. Cette dernière conception, peu répandue, consiste à la pose d'une épaisseur de substrat d'une dizaine de cm, proche de ce qui est utilisé habituellement pour les végétalisation extensive, puis à laisser la flore coloniser spontanément la toiture. Ce choix permet d'intégrer à l'échantillon un site « témoin », qui apportera des informations sur la dynamique naturelle de cet écosystème particulier et ce, en l'absence d'intervention. Pour des questions de temps et de transport, tous les sites ont été choisis dans le périmètre Paris/Petite couronne.

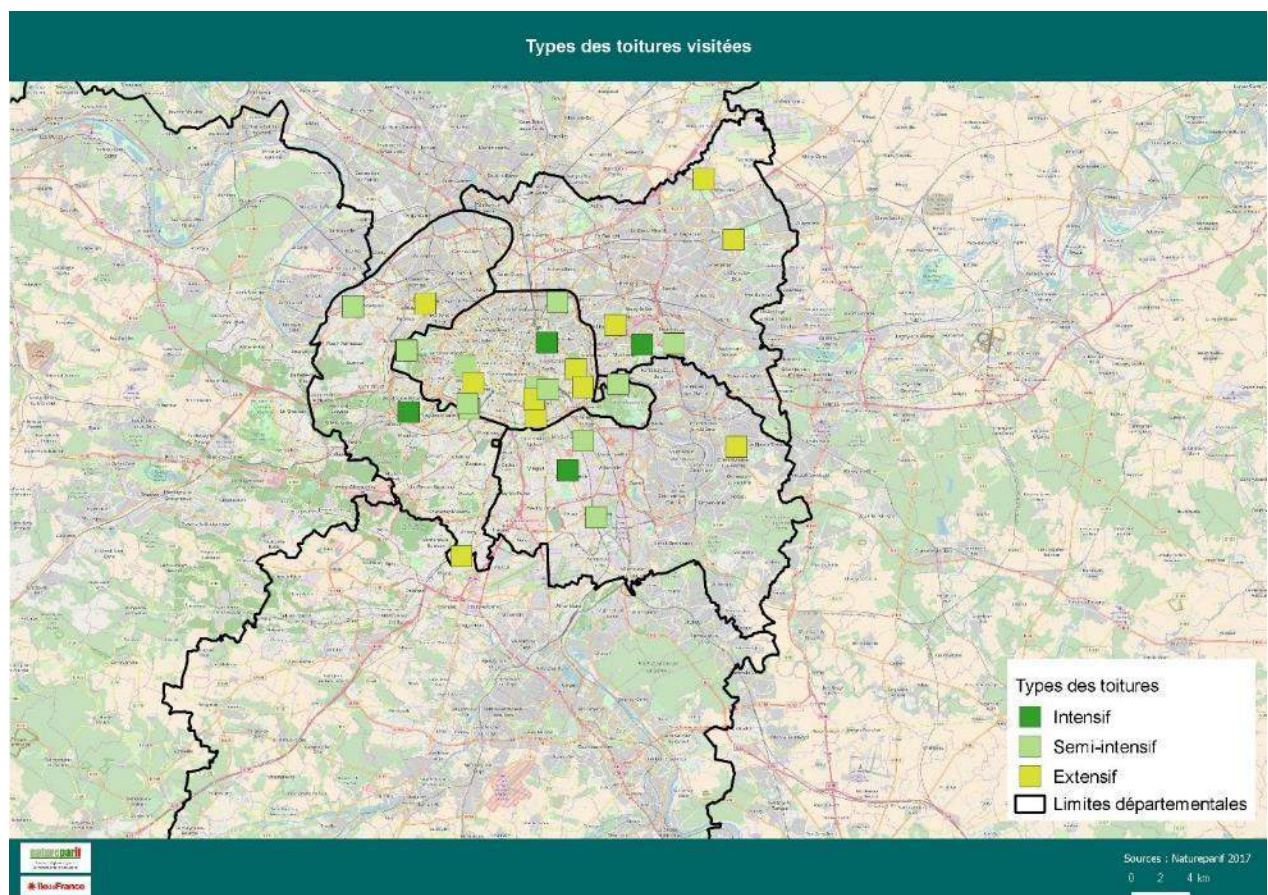


Figure 3 : Localisation des toitures de l'échantillon et classification par type

Pour sélectionner cet échantillon, plusieurs axes de recherche de site ont été utilisés. En premier lieu, certaines toitures furent recommandées par des partenaires ou adhérents de Natureparif. Une seconde partie des toitures a été localisée via l'utilisation de vues satellites (Geoportail, Google Earth), suivie d'une prise de contact avec les gestionnaires/propriétaires des sites. Enfin,

pour un tiers de l'échantillon, le bailleur social Paris Habitat, qui possède des toitures végétalisées dans son patrimoine bâti, a proposé ses toitures pour la réalisation de l'étude. L'échantillon défini, une base de données regroupant les sites et diverses informations a été créée.

Préalablement à la phase de terrain et une fois l'échantillon arrêté, les gestionnaires ou responsables compétents furent contactés pour la demande d'autorisation de visites sur les infrastructures ainsi que pour la réalisation du calendrier de la première session de passage.

2) Définition des protocoles

L'étude s'inscrit dans la continuité de travaux de recherche, en particulier la thèse « Biodiversité et bâtiments végétalisés: une approche multi-taxons en paysage urbain » (F. MADRE, 2014). Elle a pour objectif de réaliser une étude complète et multi-taxonomique de l'écosystème particulier que sont les toitures végétalisées.

Dans cette optique, trois grands champs d'études ont été traités : les populations végétales, les populations d'invertébrés et des analyses du substrat. Aussi, pour que les données récupérées soient exploitables et comparables, les protocoles choisis ont été inspirés de protocoles utilisés dans des programmes de sciences participatives et éventuellement adaptés aux contraintes particulières des toitures. Les protocoles visant à prospecter le vivant sont également comparables à ceux utilisés dans la thèse citée précédemment. Les contraintes rencontrées nécessitant une adaptation des protocoles étaient principalement liées à des problèmes de superficie et de nombre de passages.

Protocole de suivi de la Flore

Les végétaux constituent la première chaîne du réseau trophique d'un écosystème. Pour cette

raison ils influencent grandement le cortège d'espèces qui les utilisent comme habitat ou ressource alimentaire. Aussi, leurs exigences écologiques étant bien documentées, il est possible d'avoir une bonne idée des caractéristiques d'un milieu à partir de l'observation de sa flore. Dans le cas des toitures végétalisées, les types de systèmes étant étroitement associés au choix de végétation, il semblait évident d'inclure une étude botanique poussée. Pour réaliser un inventaire suffisamment exhaustif de la richesse spécifique des toitures et comparable à d'autres données, le protocole Vigie-flore a été retenu. Ce programme mis en place en 2005 par l'équipe Vigie-Nature du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) vise à permettre un suivi des changements d'abondance des espèces végétales les plus communes en France. Réalisé par des botanistes volontaires, il fait partie d'un ensemble de programmes nommé Vigie-nature qui propose le suivi de différents taxons en suivant la même logique de volontariat.

La réalisation du protocole original nécessite la mise en place d'une placette de 10 quadrats de 1 m² sur le site. Dans le cadre de Vigie-flore les quadrats sont tous regroupés. Cependant, pour couvrir les différences notables de végétation sur certaines toitures, dues à des paramètres comme l'ensoleillement, il a été décidé de séparer la placette en deux rangées de 5 quadrats placés en deux lieux différents de la toiture et espacés des murs d'au minimum 2 mètres. Lors de l'expertise, toutes les espèces présentes dans chaque quadrat sont identifiées. Ce protocole permet d'avoir une vision globale de la diversité botanique de la toiture tout en estimant des quotients d'abondance à partir de la fréquence d'apparition des espèces dans les quadrats. Les données sont ensuite saisies dans Cettia, qui est un portail de saisie des données naturaliste à l'échelle de l'Île-de-France.



Figure 4 : Réalisation du protocole par Audrey Muratet

Ce protocole fait l'objet d'un seul passage par an et par toiture. Il est effectué au cours du mois de Juin ce qui favorise la rencontre de certaines espèces moins présentes plus tard dans la saison. L'absence de réalisation d'un second passage est quant à elle justifiée par la faible évolution des communautés végétales entre le mois de juin et de juillet. Concernant le matériel utilisé, il était composé d'un jeu de 20 piquets pour la délimitation des quadrats, d'un mètre pour la mesure de ceux-ci, ainsi que du matériel de détermination et d'un carnet de terrain.

Protocole d'analyse du sol

Le protocole testé cette année vise à obtenir des informations générales sur la qualité des sols (chimique, physique, biologique, pollutions), à évaluer la biodiversité microbienne, et à mettre en évidence certains services écosystémiques (en l'occurrence le stockage de carbone en cette année 1). Le protocole n'est pas issu d'un programme existant, il s'agit donc d'un protocole expérimental. La capacité de rétention en eau a également été traitée même si les quantités prélevées sur les toitures se sont avérées insuffisantes pour analyser correctement ce paramètre. En plus de cela,

une analyse des éléments traces métalliques a permis de mettre en évidence les concentrations présentes dans les substrats, ce qui pourra caractériser d'éventuelles pollutions, et explorer les corrélations existantes avec les données relatives à la biodiversité.



Figure 5: Réalisation du protocole par Marc Barra et Laurent Palka (MNHN)

Deux autres projets d'analyses complémentaires pourraient être intégrés à l'étude les prochaines années. Le premier concernerait la mésofaune du sol et notamment les populations de collemboles. Ces petits arthropodes, qui représentent environ 2200 espèces à l'échelle européenne, comptent pour la majorité de la microfaune de l'humus et de la litière. Ils jouent un rôle prédominant dans la décomposition de la matière organique morte et assurent l'équilibre de cet écosystème très riche. Cette analyse serait réalisée avec le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris et deux spécialistes de ce groupe taxonomique, Louis Deharveng et Céline Houssin. La deuxième analyse supplémentaire serait une étude de la biomasse microbienne et des activités hydrolytiques. Le microbiote est un écosystème complémentaire

de la mésofaune et cette complémentarité des résultats permettra de tirer des informations capitales sur le fonctionnement du sol dans sa globalité. D'autant que les activités hydrolytiques fourniraient un aperçu de l'état des échanges de carbone dans le milieu. Enfin, certains échantillons seront envoyés à l'INRA Dijon pour effectuer une cartographie de l'ADN des échantillons (diversité taxonomique des procaryotes et champignons), analyses réalisées par Lionel Ranjard et Pierre-Alain MARON.



Figure 6 : Matériel de collecte des échantillons de sol

La méthode de collecte des échantillons consiste à choisir 10 emplacements aléatoires sur la toiture. Sur chaque site est ensuite prélevé un échantillon de substrat, dont 10ml sont retirés et transférés dans un tube *Falcon* numéroté. Le reste du prélèvement est trié, les racines des plantes présentes sont conservées pour l'analyse des mycorhizes et le reste de la matière

organique est ajouté dans une bassine. L'opération est répétée pour les 9 autres points, puis, la matière organique restante est mélangée : 500g en sont prélevés. Cet échantillon par toiture sera utilisé pour la réalisation des études de fertilité et de rétention d'eau. Sur les toitures de type extensives, il était fréquent de rencontrer des proportions de pouzzolane trop élevées pour obtenir la quantité de matière organique nécessaire. Pour augmenter la fiabilité des protocoles, lors des passages sur les toitures, l'ensemble de l'équipe était équipé de sur-chaussures stériles et la personne effectuant les prélèvements était équipée d'une paire de gants latex. Les échantillons de sol sont prélevés une seule et unique fois par an lors du premier passage en juin et sans épisode pluvieux récent.

Protocole d'analyse des invertébrés

Dans tous les milieux les invertébrés représentent l'écrasante majorité de la richesse faunistique. Ceci est particulièrement vrai pour les toitures végétalisées, qui ne comportent généralement aucun abri ou milieu susceptible d'accueillir des vertébrés, nettement plus exigeants en termes de surface et d'habitats. Cependant, la diversité des comportements et des modes de vie rend les inventaires souvent complexes. C'est pourquoi il a été décidé de multiplier les protocoles réalisés afin d'échantillonner un maximum de taxons présents sur les toitures. De par leurs exigences, les invertébrés font partie des meilleurs indicateurs de qualité et de spécificité du milieu et ce malgré de profondes lacunes que la science observe sur certaines familles. L'étude des invertébrés est donc divisée en trois protocoles distincts :

1. Réalisation d'un suivi photographique des insectes pollinisateurs

Le programme de sciences participatives Suivi photographique des insectes pollinisateurs (SPIPOLL) vise à accumuler des photographies de relations entre pollinisateurs et plantes. Ce

programme, créé par le MNHN et l'OPIE en 2008, est caractérisé par son accessibilité pour un observateur non spécialiste, et par la méthode de suivi qui permet d'avoir des informations importantes sur ce mutualisme indispensable. La méthodologie consiste à poster un observateur, muni d'un appareil photo, à côté d'une fleur ou d'un groupe de fleurs de la même espèce. Pendant 20 minutes l'observateur prend en photo toutes les interactions réalisées entre les différentes espèces d'arthropodes présents et les fleurs. En 20 minutes une base photographique est réalisée ; les différents taxons d'arthropodes sont ensuite identifiées du mieux possible à l'aide d'une clef d'identification dédiée et saisis dans la base de données SPIPOLL. Lors de la saisie, des données annexes sont également rentrées (météo, température, vent...). Pour augmenter l'exhaustivité et avoir des informations sur les préférences des pollinisateurs, trois SPIPOLL ont été effectués sur chaque toiture lors du premier passage, chaque SPIPOLL devant être réalisé sur une espèce différente lorsque cela était possible. Lors du deuxième passage en juillet, un seul SPIPOLL supplémentaire a été effectué, afin de compléter la première session avec des espèces présentes plus tardivement en saison. Ce changement de forme entre le premier et le deuxième passage a principalement été justifié par une forte contrainte de temps, l'analyse de trois sessions SPIPOLL par toiture s'étant révélée très chronophage.



Figure 7 : Réalisation d'un SPIPOLL par Hemminki Johan

Les taxons contactés par l'intermédiaire de ce protocole d'observation sont nombreux. On peut citer les syrphes, les abeilles sauvages ou encore les lépidoptères. Ces taxons sont de très bons indicateurs du rôle que joue la toiture végétalisée dans l'écosystème urbain, source de nourriture et d'habitats pour des espèces qui voient leurs sites naturels régresser irrémédiablement et jouant probablement un rôle de corridors écologiques pour des espèces à faible rayon d'action. Là encore, les différences entre les types de systèmes de végétalisation de toitures provoquent une forte variation des communautés végétales présentes, ce qui implique une variation tout aussi forte des populations de pollinisateurs.

2. Protocole de suivi des invertébrés terrestres

Originellement réalisé dans le cadre de Vigie-nature ce protocole permet, via l'installation d'un abri artificiel, un recensement de la biodiversité des arthropodes et mollusques terrestres. Dans la méthodologie originale, des plaques de hêtre de 30x50 cm sont disposées au sol et laissées sur place pendant un temps. L'observateur effectue par la suite des relevés réguliers en retournant la plaque et en prenant en photo les individus présents. Dans le cadre de l'étude, de simples photos des taxons sous la plaque n'auraient pas suffi pour obtenir des identifications précises. C'est pourquoi les spécimens étaient collectés et conservés en alcool à 70°. Les plaques furent disposées lors du premier passage en juin et relevées en juillet. Les invertébrés collectés sont majoritairement des espèces strictement terrestres et parfois aptères.



Figure 8 : Plaque à invertébrés positionnée

On retrouve comme principaux groupes les Isopodes, les Mollusques, les Carabiques, les Staphylins ou encore les Araignées. Ces espèces, souvent à tendance nocturne, sont discrètes et peu faciles à contacter sans l'installation de ce type d'abri. Les échantillons prélevés sont ensuite analysés et identifiés en laboratoire. La disposition des plaques sur les toitures n'était pas effectuée au hasard mais favorisait les milieux d'intérêts avec une faible exposition au soleil. Malheureusement, un tiers des plaques avaient été déplacées ou jetées par les équipes d'entretien entre nos deux passages, malgré la mention « Etude biodiversité en cours », message vraisemblablement moins percutant que « Ne pas déplacer ».

3. Transect de prospection des invertébrés

Afin d'échantillonner les invertébrés présents au niveau du sol et sur la végétation, des transects de récolte ont été mis en place. Pendant une durée de 10 minutes, l'observateur parcourt la toiture en collectant tous les invertébrés rencontrés au sol à l'aide d'un aspirateur à insectes. Le parcours réalisé est défini selon les choix de l'observateur et une fois les 10 minutes écoulées la collecte est transférée dans des flacons d'alcool à 70°.



Figure 9 : Réalisation du transect par Hemminki Johan

En complément de ce protocole une minute supplémentaire est allouée à la réalisation d'un transect équipé d'un filet fauchoir. L'observateur parcourt la toiture en fauchant la végétation et en essayant de contacter un maximum de micro-milieus. Ces échantillons sont par la suite ajoutés à la collecte du transect principal. Cette méthodologie permet d'une part de contacter un nombre important d'individus et d'autre part d'augmenter considérablement l'effort de prospection mis en œuvre. Ces deux transects sont réalisés lors des deux passages sur les toitures.

On comptabilise donc un total de 60 échantillons d'arthropodes conservés dans l'alcool, auxquels viennent s'ajouter ceux issus des plaques invertébrés ayant été laissées en place.

3) Questionnaire sur les pratiques

Au-delà des typologies de systèmes et des caractéristiques biotiques ou abiotiques des toitures, l'entretien a aussi un impact significatif sur l'évolution de l'écosystème. C'est pourquoi, après les prospections, un questionnaire sur les pratiques, dont une partie était remplie sur le site, est envoyé aux gestionnaires afin d'obtenir des informations détaillées sur ce domaine. Dans ce questionnaire apparaissent des champs sur les caractéristiques du bâtiment comme l'ancienneté ou la hauteur par rapport à la rue. Ces informations permettent d'affiner les caractères propres à chaque toiture afin de pouvoir obtenir, via l'utilisation de données statistiques, la mise en évidence des paramètres pouvant influencer sur la biodiversité observée. La gestion de la couverture végétale est également renseignée, celle-ci indique la pression que subit le milieu à travers la réalisation de fauche, arrachage et potentiels traitements phytosanitaires. Un relevé de l'environnement limitrophe est également effectué, son influence sur la biodiversité des toits étant évidemment à prendre en compte. Enfin, la majorité des toitures végétalisées sont conçues accompagnées d'un cortège floristique planté ou semé. Le questionnaire permet d'avoir des informations cruciales sur ce cortège initial et donc sur la capacité des végétaux

spontanés à coloniser ce type de milieu.

Réalisation du terrain

L'organisation du terrain fut un des défis majeurs auquel il a fallu répondre en début d'étude. Les sites étant espacés spatialement, parfois de manière importante, il était indispensable d'organiser des journées de visites en regroupant les sites proches. Avec une équipe d'entre 3 et 5 personnes le temps moyen de prospection par toiture s'élève à 1h45 pour le premier passage ; ce temps était ramené à 45 minutes à deux personnes pour le second passage. Chaque référent s'occupe alors du protocole qui lui a été confié. À ce temps passé sur le terrain il est nécessaire d'ajouter le temps de trajet, le temps de saisie de données et d'identification des échantillons. Au total une toiture correspond à une demi-journée de travail pour la flore, une demi-journée pour le sol et trois journées pour les invertébrés (estimations). En plus de la charge de travail conséquente pour une fenêtre de prospection réduite, les conditions météorologiques sont un facteur décisif dans le planning. En effet, les protocoles de relevé de sols et d'invertébrés sont irréalisables par temps pluvieux.

III. Résultats et interprétations

La période de prospection des sites a été terminée au début du mois d'août. Pendant le reste du mois, les échantillons d'invertébrés du premier passage ont été identifiés à la loupe binoculaire et un début de traitement des données a eu lieu. À partir de ces données, les premières analyses statistiques (encore très incomplètes) fournissent un premier aperçu de la biodiversité générale des toitures végétalisées prospectées.

Résultats des inventaires botaniques

Ce sont 195 espèces de plantes qui ont été comptabilisées pour la flore sur un total de 310

placettes. Un relevé plus exhaustif ayant également été réalisé en parallèle sur l'ensemble de la toiture, 268 espèces de plantes ont été trouvées en tout sur l'échantillon, soit 17% de la flore d'Île-de-France. Sur ce total 71% des espèces sont supposées être spontanées – nous ne disposons pas encore de toutes les listes d'espèces semées à ce jour. On constate donc qu'au-delà des plants ou semis intégrés lors de la conception de la toiture, un nombre important de végétaux colonisent le milieu via des mécanismes d'anémochorie ou de zoochorie. Le nombre d'espèces moyen est de 17 espèces par toiture. Ce chiffre, comparé avec les mêmes protocoles normés réalisés dans le cadre de Vigie-flore et *Florilèges – prairie urbaine*, montre que la diversité botanique des toitures végétalisées est similaire à la diversité présente dans une prairie urbaine (moyenne de 16 espèces pour le protocole *Florilèges-prairies urbaines*) et supérieure à la diversité moyenne de Vigie-flore (7 espèces) qui comptabilise les données de placettes disposées aléatoirement dans tous types d'habitats (y compris agriculture intensive, par exemple). Dans cet ensemble on retrouve certaines espèces contactées très fréquemment dans les quadrats. Ainsi, *Sedum album*, *Sedum hispanicum*, *Sedum kamtschaticum* et *Vulpia myuros* sont les 4 espèces qui ont été observées dans plus de 100 quadrats et qui dominent donc la diversité botanique présente sur les toitures. Plusieurs espèces considérées comme rares à très rares en Ile-de-France ont été observées. Par exemple, *Pilosella piloselloides bauhinii* dont seulement deux stations sont connues dans la région, ou encore *Ornithopus compressus* qui constitue une nouveauté pour l'IDF. D'autres sont encore dépourvues de statut, leur provenance étant inconnue : c'est le cas de *Petrorhagia saxifraga*, trouvée sur deux toitures en bord de Seine et auparavant connue de très rares stations en Île-de-France. En comparant les écologies des espèces botaniques on constate un trait général en commun : de nombreuses espèces sont xérophiiles ou mésoxérophiiles et affiliées à des milieux pionniers, secs, sableux, voire calcaires. On note également une grande hétérogénéité dans la richesse spécifique des toitures, celle-ci évoluant entre 5 espèces pour la toiture la plus pauvre et 53 pour la plus riche.

Résultats des inventaires d'invertébrés

Concernant la diversité des communautés d'invertébrés, tous les relevés ne sont pas encore traités. Dans les résultats suivants sont uniquement traités les invertébrés collectés lors du transect de la première session de passage au mois de juin. Pour ce premier passage, les relevés de 30 toitures concernant 31 transects ont été analysés (une des toitures étant particulièrement grande et présentant deux milieux clairement distincts, deux protocoles ont été effectués, l'un dans la zone « forêt » l'autre dans la zone « prairie »). Les diptères nématocères n'ont jamais fait l'objet d'identification, ce groupe ayant été jugé trop complexe. Certains coléoptères (notamment les petits charançons) n'ont pas non plus été déterminés. Au total, 152 taxons d'insectes ont été identifiés, 31 taxons d'araignées, 15 taxons de mollusques et un taxon de collembole. La toiture la plus pauvre de l'échantillon compte seulement trois taxons et la plus riche 40, ce qui traduit la encore une grande hétérogénéité entre les différentes toitures. Parmi ce cortège d'invertébrés on retrouve comme ordre dominant les hémiptères avec 58 taxons rencontrés.

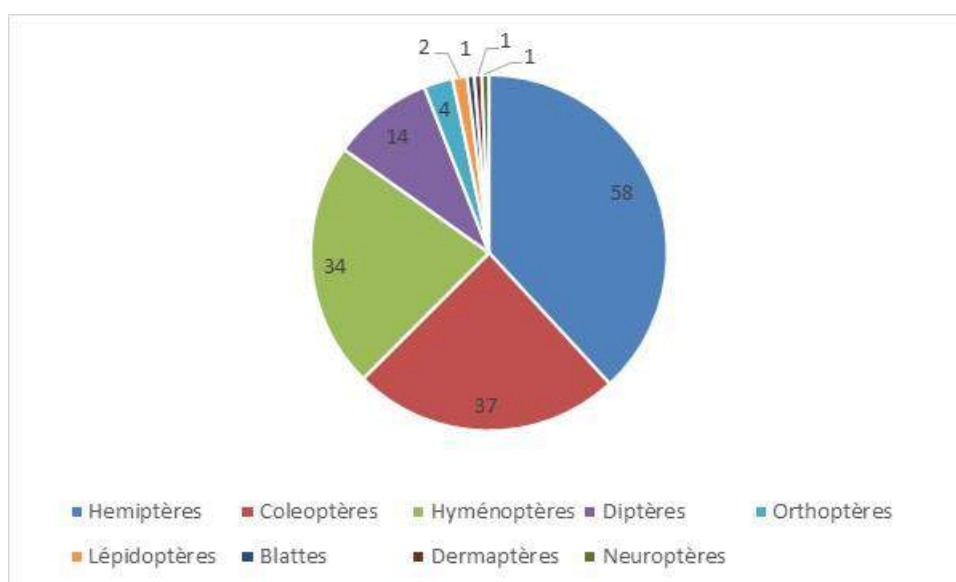


Figure 10 : nombre de taxons des différents ordres d'insectes identifiés sur les toitures

Autre fait intéressant, la présence de taxons clairement dominants sur la majorité des toitures : les punaises du genre *Nysius* (*N. graminicola*, *N. helveticus* et *N. senecionis*), qui composent parfois l'écrasante majorité des individus rencontrés. Il est arrivé que lors du passage du filet fauchoir ce dernier soit rempli de plusieurs centaines de *Nysius* à différents stades de développement. Ces punaises se nourrissent de sèves végétales et sont généralement inféodées à une plante hôte. Or, vu la domination des *Sedums* dans les communautés végétales on peut penser à un lien étroit entre les deux genres dans leur développement. Malheureusement les seules informations concernant l'écologie du genre *Nysius* remontent à la publication de la Faune de France n°84 « Hémiptères Lygaeidae euro-méditerranéens » par J. PERICART en 1998. On retrouve chez ce genre une affinité pour les milieux secs ce qui concorde avec les observations réalisées sur les autres taxons. De plus, 3 espèces d'origine méditerranéenne ont été contactées : L'Hyménoptère *Passaloecus pictus* dont la présence n'est pas mentionnée dans les données disponibles en Île-de-France ; la fourmi *Tapinoma nigerrimum* qui est en pleine migration vers le Nord et dont les dernières données faisaient état d'une présence au niveau du Massif central, alors que des individus ont été retrouvés sur une toiture dans le 15^{ème} arrondissement ; le Coléoptère *Dasytes croceipes*, originaire du bassin méditerranéen et trouvé pour la première fois en Île-de-France en 2016 dans les Hauts de Seine.

Certaines autres espèces font l'objet de statut UICN, comme *Lasioglossum quadrinotatum*, petite abeille solitaire de la famille des Halictidae qui est classée quasi menacée au niveau européen ou font parties des listes de déterminants ZNEIFF pour d'autres régions. En ce qui concerne les araignées, l'espèce la plus répandue est *Rincinia graminica*, trouvée sur 7 toitures. Cette espèce ne faisait pourtant encore l'objet d'aucune mention dans Cettia, qui comporte tout de même 7200 données d'araignées en Île-de-France, et ne compte que 3 données franciliennes dans l'INPN. Elle semble s'être spécialisée dans les milieux urbains, bien qu'originaire de milieux prairiaux. Dans l'ensemble, les espèces collectées sont souvent affiliées à des milieux

secs, pionniers et sableux ce qui corrèle avec les résultats obtenus sur les plantes. Les toitures végétalisées seraient donc des écosystèmes proches des pelouses sèches de par leur biodiversité (Krupka 1990).

Suite à l'analyse statistique des données et leur mise en relation avec les paramètres des toitures on voit apparaître certaines relations intéressantes.

Relations entre richesse en plantes et richesse en invertébrés

Dans les écosystèmes naturels une bonne richesse spécifique en plantes est généralement synonyme de richesse en invertébrés. Cette constatation est justifiée par les fortes relations entretenues entre ces deux taxons. Dans le cas des toitures végétalisées une comparaison des résultats des inventaires montre la même logique générale mis à part quelques exceptions (Fig. 11).

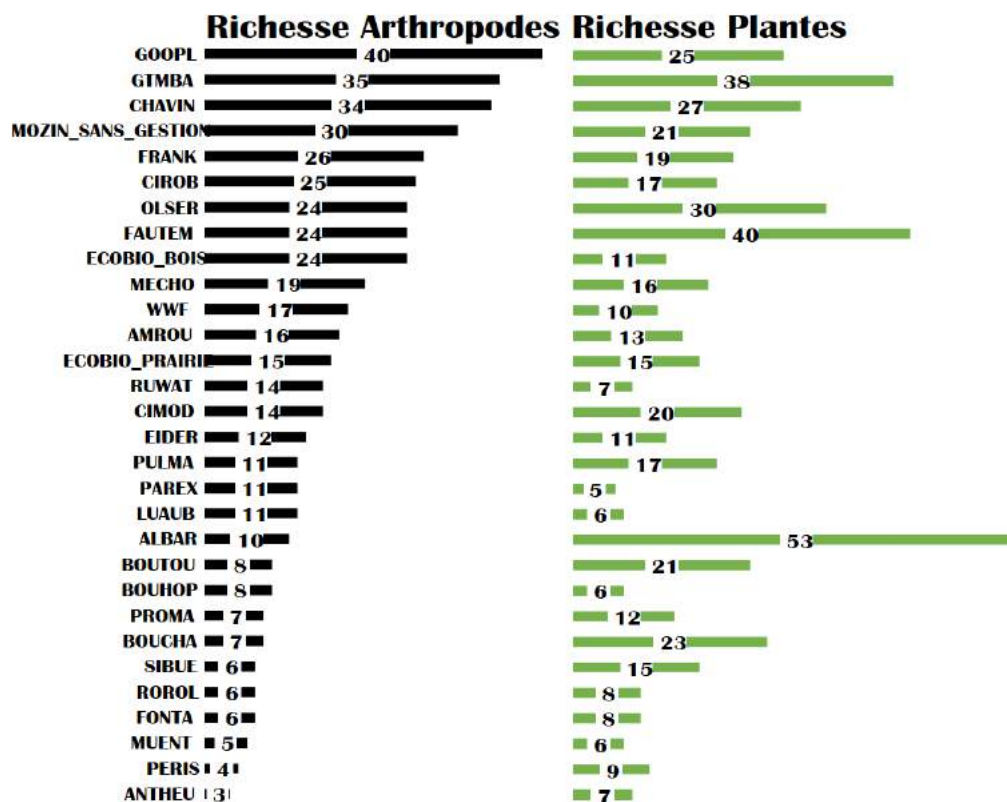


Figure 11 : Richesse d'arthropodes et de plantes par toitures (classé en fonction des arthropodes)

Les noms inscrits à gauche dans la Figure 11 correspondent aux différentes toitures de l'échantillon et les graphiques/nombres, à la diversité correspondante. La figure 12, confirme la relation positive générale entre la richesse floristique et la présence d'arthropodes (les mollusques n'ont pas été inclus dans cette analyse).

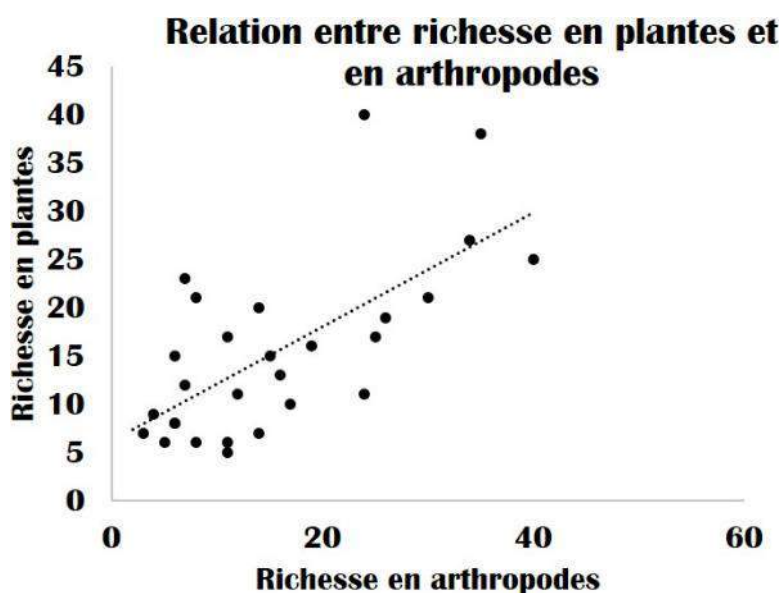


Figure 12 : Relation entre richesse en plantes et en arthropodes

Sur ce graphique on constate bien que la droite de régression indique une bonne corrélation entre les deux richesses taxonomiques. Il est donc clair qu'en favorisant une bonne diversité des communautés végétales présentes sur les toitures, la richesse des autres taxons s'en trouvera également améliorée. La hauteur peut cependant contraindre la colonisation des invertébrés (cas de la toiture « Albar »), alors que le contexte peut au contraire la favoriser (ex. bois de Boulogne autour de la toiture « Goopl »).

Relations entre type de système de végétalisation et biodiversité

Au niveau de la relation entre type de système et biodiversité on observe une nette différence de richesse entre les toitures extensives et les semi-intensives/intensives :

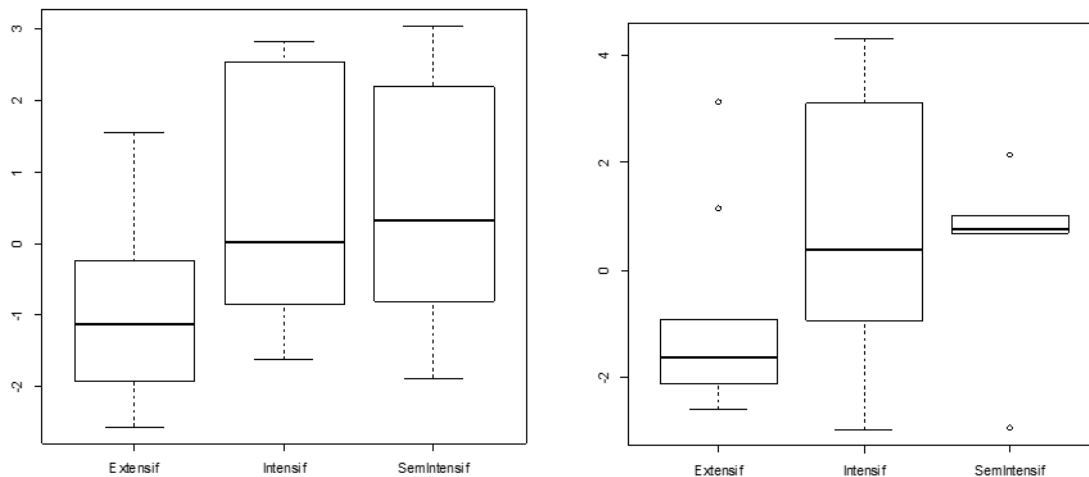


Figure 13 : Relation entre système de végétalisation et richesse en arthropodes (gauche) et en plantes (droite)

Sur ces graphiques chaque rectangle représente un système caractérisé par la quantité d'espèces trouvées lors de l'étude. Les bandes noires dans les « boîtes » représentent la médiane des richesses de chaque système, les limites verticales des boîtes représentent les quartiles et les extensions, les déciles (les points isolés représentent des toitures aux résultats aberrants par rapport à la norme). À partir de ces graphiques on peut déduire que les conceptions intensives et semi-intensives sont relativement égales en termes de biodiversité observée. Mais on distingue nettement la plus faible richesse spécifique des systèmes extensifs, ce qui semble démontrer une relation entre système de végétalisation et biodiversité, et souligner l'importance du choix lors de la commande par le maître d'ouvrage.

Relations entre ancienneté des toitures et biodiversité

En écologie, les communautés végétales et animales suivent généralement une évolution en

croissance à mesure que l'âge d'un milieu avance, puis redescendent pour se stabiliser à un plateau à « maturité », sorte d'équilibre en permanence instable. Les relations avec l'âge des toitures apparaissent pour l'instant difficiles à établir dans le cas des plantes et des arthropodes même si une tendance générale à l'augmentation de la richesse taxonomique en fonction de l'âge se dégage (Figure 14). Cette relation est un peu plus nette pour les arthropodes que pour les plantes.

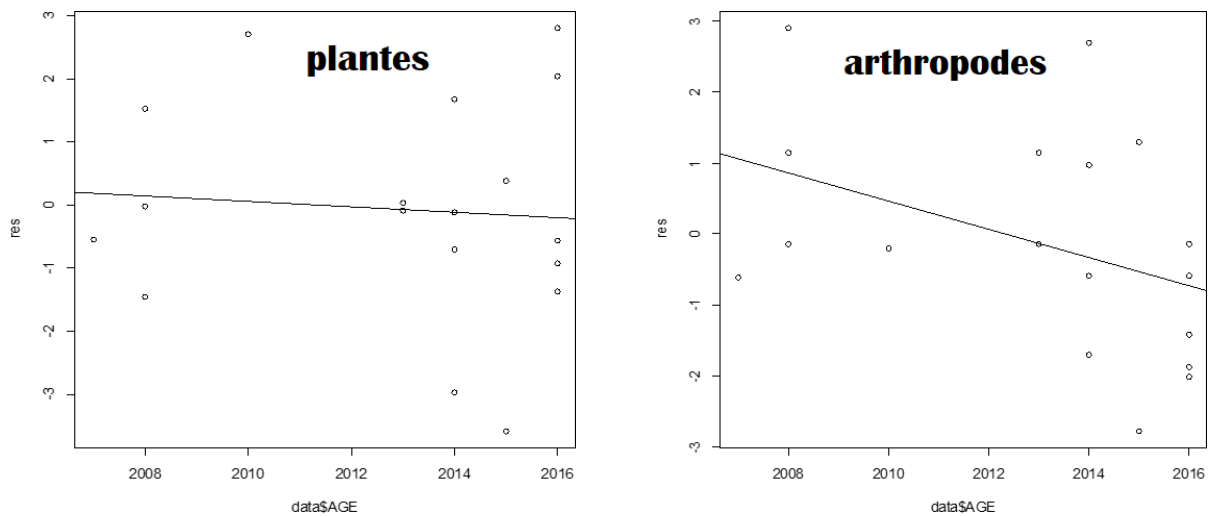


Figure 14 : Relation entre âge et richesse en arthropodes

Données Spipoll

La réalisation de quatre SPIPOLL sur chaque toiture a permis la constitution d'une base de données photographique conséquente. C'est pourquoi les données relatives ne sont pas encore traitées.

L'intégralité des données saisies sur le site du SPIPOLL seront ultérieurement extraites et analysées, et comparées aux données réalisées dans les milieux urbains adjacents par les autres participants à ce protocole de sciences participatives.

Sols

Cette année les analyses auraient dû répondre aux questions de fertilité, de pollution aux éléments traces métalliques (ETM) et de rétention d'eau. Mais seules 20 toitures ont pu être

prélevées sur 30 d'une part, et la quantité prélevée s'est avérée trop faible pour permettre les analyses liées à la mesure de la rétention d'eau. Sur 13 analyses effectuées dans le domaine des ETM, on constate des niveaux de concentrations dépassant les seuils tolérés pour le support de cultures sur certains sites. Les principaux métaux incriminés sont le zinc et le plomb, qu'on retrouve parfois en concentration supérieure de 30% aux normes. Les statistiques viseront à mettre en évidence la relation entre pollution aux métaux et biodiversité observée.

N. Critiques de l'année 1

Points négatifs

- Pour renforcer les protocoles mis en place dans le cadre de cette étude, l'intégration de toitures témoins en simple gravillons aurait été pertinente. Ces toitures pouvant aussi accueillir une biodiversité uniquement spontanée. L'intégration de toits plats témoins en bitume aurait été un plus.
- Allongement de la période d'étude, les nombreux trajets en transports et la difficulté d'accès à certains bâtiments ont causé du retard.
- Supprimer les deuxièmes transects arthropodes est une option. Les analyses comparant les deux transects permettront de prendre une décision en la matière.
- Les plaques invertébrées n'étaient pas restées assez longtemps sur les sites pour vraiment être colonisées.
- Point négatif en rapport avec le précédent : le manque de temps pour analyser la deuxième session des transects arthropodes : 50 échantillons (plaques + transect) supplémentaires seront donc analysés l'année prochaine
- Limite de mes compétences en entomologie sur certains groupes particulièrement compliqués comme certains petits coléoptères ou les diptères. Il est souhaitable qu'en année 2

tous les coléoptères soient analysés par un spécialiste.

- De nombreux petits arthropodes sont méconnus de la science. Pour certains il est très difficile de trouver quelques informations autres que le nom.

Points positifs

- Une approche multi-taxonomique plus complète que la plupart des études à ce sujet. C'était un des objectifs de l'étude, rendre l'étude sur les arthropodes la plus exhaustive possible en peu de temps.

- La réalisation d'une phase de filet fauchoir compte pour environ 60% des échantillons, elle est donc indispensable.

- Pour confirmer la pertinence de nos protocoles nous pouvons nous appuyer sur les quantités d'arthropodes collectés. On constate que pour le premier passage on compte 476 entrées dans la base de données ce qui est amplement suffisant pour une exploitation statistique.

- L'identification des centaines de spécimens capturés m'a permis d'accroître grandement mes compétences en entomologie notamment sur des groupes encore peu connus pour moi.

- A travers l'utilisation de protocoles comparables et via la saisie des données sur les plateformes naturalistes, l'étude participe activement aux données récoltées par les observatoires de science participative et pour l'inventaire national du patrimoine naturel.

- Des partenariats avec des équipes travaillant sur le sujet des toitures végétales dans d'autres pays européens sont engagés et renforcés par nos premiers résultats.

V. Conclusion

Les premiers résultats obtenus pendant cette phase 1 de l'étude sont encourageants et les protocoles sont maintenant maîtrisés par les équipes. Certains nécessitent cependant une adaptation pour les années suivantes (cf. protocole sol). Les gestionnaires sont contactés et informés pour l'année suivante et les données récoltées permettent déjà de mettre en évidence

des informations importantes sur le fonctionnement écologique des toitures végétalisées. Un retour personnalisé par toiture s'avère nécessaire pour maintenir la relation avec ceux-là. Nous retiendrons la première conclusion concernant les différences de biodiversité liées à la conception des toitures : des différences notables sont constatées entre les systèmes de végétalisation intensifs/semi-intensifs et les extensifs. Il s'agit maintenant d'arriver à mieux distinguer les deux systèmes afin de pouvoir les caractériser par leurs populations.

Au-delà des résultats bruts on peut affirmer que les toitures sont des lieux de biodiversité surprenants, la présence de près de 270 espèces de plantes et 200 invertébrés (identifiés !) témoigne de cette richesse. Par ailleurs, la diversité floristique des toits est en moyenne similaire à celle observée dans les prairies urbaines des jardins et squares, résultat inattendu !

Cette première phase terminée, l'année prochaine devrait avoir lieu un élargissement de l'échantillon avec l'ajout de 5 toitures supplémentaires. Ces toitures supplémentaires permettraient de mieux équilibrer le poids des différents systèmes de végétalisation dans l'échantillon. Les plaques à invertébrés seront relevées après 1 an passé sur les toitures. En 2019, la phase trois commencera avec la mise en place des protocoles habituels, puis le traitement de l'ensemble des données de l'étude. S'en suivra la rédaction de publications à destination de revues spécialisées. Natureparif réalisera aussi des préconisations à destination des concepteurs, constructeurs et gestionnaires afin de les orienter vers le choix d'une toiture végétalisée adaptée au contexte écologique local et répondant à leurs attentes en matière de préservation de la biodiversité. Au vu des résultats préliminaires de l'étude, on constate bien le manque de connaissances générales concernant la biodiversité des toitures végétalisées et il est probable que la réalisation de cette étude ne permettra pas de répondre à toutes les questions soulevées par ces infrastructures.

C'est pourquoi plusieurs autres pistes de recherches devront être traitées afin de combler ces lacunes. Dans un premier temps, un approfondissement des connaissances sur les capacités de

dispersion des végétaux sur les toitures serait nécessaire. Une étude de la migration des pollens permettrait d'avoir des informations sur les mécaniques de colonisation des plantes spontanées et sur les paramètres les influençant. Aussi, les communautés inventoriées laissent supposer la présence d'espèces généralement liées à des milieux proches des pelouses sèches. L'objectif serait de comparer les espèces retrouvées sur les toitures avec celles présentes dans les autres environnements naturels urbains, afin de mettre en évidence les particularités de cet écosystème et ses caractères uniques.

Une autre piste de réflexion concerne le statut des toitures végétalisées en tant qu'habitat naturel : est-il nécessaire de leur appliquer un statut juridique de milieu naturel, sont-elles réellement un atout pour les espèces à écologie xérophile ? Et si oui, serait-il pertinent d'appliquer une protection législative à ces milieux de substitution qui, potentiellement, peuvent servir de zone refuge à un cortège d'espèces qui voit ses habitats naturels diminuer ? Enfin, l'étude de l'impact de l'environnement limitrophe sur la composition des toitures est peu approfondie dans cette étude. Il serait pourtant intéressant de mettre en évidence l'influence de zones comme les parcs et espaces boisés proches sur les communautés des toitures. Les toitures végétalisées, milieu naturel anthropique, sont une des expressions de la prise de conscience de l'importance de la biodiversité au sein des espaces urbains. Elles constituent aussi une source de découverte scientifique comme de nouveaux lieux d'observation de la nature en ville, et participeront à ce titre aux enjeux plus larges de préservation, de restauration voire reconquête de la biodiversité.

VI. Bibliographie

ADIVET, 2007. Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées. Édition 2. <http://www.adivet.net/realisation/regles-professionnelles.html>

Barbault, R. 2009. “Biodiversité.” *Encyclopedia Universalis*.

Barbault, R, and J Weber. 2012. “Biodiversité et Climat : Le Janus du changement global.” *La Jaune et La Rouge* 679 : 26–28.

Barra, M. 2012. *Bâtir en favorisant la Biodiversité*. Victoire E. Paris. ISBN : 978-2351130872

Beketov, M.A, B.J Kefford, R.B Schäfer, and M Liess. 2013. “Pesticides reduce regional Biodiversity of Stream Invertebrates.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (27): 11039–43.

Blanc, N., 2004. Ethnologues et géographes : De l'écologie dans la ville. *Ethnologie française*, 34, 7.

Boeuf, G. 2014. *La Biodiversité del'océan à la cité*. Fayard. ISBN : 978-2-213-68148-1

Dubos, R. 1972. *Nous N'avons Qu'une Terre*. Conférence des Nations unies sur l'environnement, Stockholm. http://www.persee.fr/doc/ahess_0395_2649_1974_num_29_3_293499_t1_0664_0000_008.

Clanché, François, and Odile Rascol. 2011. “Le découpage en unités urbaines de 2010.” *Insee Première* 13 (64) : 15–38.

Elmqvist, T, M Fragkias, J Goodness, B Guneralp, P.J Marcotullio, R.I McDonald, S Parnell, et al. 2013. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. A Global Assessment*. ISBN 978-94-007-7087-4

European Commission. 2010. “Green Infrastructure.” *Nature Environment*, 37: 4–7.

Houssin, E. et al. 2012. « Les toitures végétalisées », Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Kauffman, H.J. 2014. *Urbanization: Global Trends, Role of Climate Change and Effects on Biodiversity*. Nova Science Publishers. ISBN : 978-16-311-7063-8

Lassalle, F. 2008. « Végétalisation extensive des terrasses et toitures ». Guide technique. Le moniteur, 244 p.

Legrand, M. 2013. “Vigie-Nature : sciences participatives et biodiversité à grande échelle.” *Cahiers des Amériques Latines* 72: 65–84.

Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., & Clergeau, P 2014. “Biodiversité et bâtiment végétalisés : une approche multi-taxons en paysage urbain“

Palumbi, S.H. 2001. “Humans as the world’s greatest evolutionary force.” *Science* 1786.

UICN. 2016. “Des solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements Climatiques.” www.uicn.fr/solutions-fondees-sur-la-nature.html.

Véron, Jacques. 2007. “La moitié de La population mondiale vit en ville.” *Population Et Sociétés* N°435: 3–6.