

Ligne   
directrice  
du  
**GREC**  
francilien

# Pourquoi avons-nous besoin de la biodiversité ?

Mai 2025



**GREC**  
francilien

Groupement régional d'expertise sur le changement climatique  
et la transition écologique en Île-de-France

# Sommaire

## Résumé

## Introduction

### 1. La biodiversité

Bien définir la biodiversité

La biodiversité est plus ou moins diverse

### 2. Les rôles cruciaux d'une biodiversité diversifiée

### 3. Pour des forêts diversifiées

Comment les écosystèmes stockent-ils du carbone ?

### 4. En agriculture, le nécessaire développement de l'agroécologie

### 5. Rôle de la biodiversité pour l'adaptation en milieu urbain

Biodiversité des plantations et adaptation au changement climatique

### 6. Quelques recommandations pour utiliser au mieux la biodiversité et rendre nos pratiques plus durables

Des forêts stockant plus de carbone

Une agriculture plus durable

Adaptation des zones urbaines

## Bibliographie

## Auteurs

Sébastien Barot, écologue, chercheur IRD, iEES Paris,

Jean-Jacques Perrier, chargé de projets pour le GREC francilien

## Résumé

La biodiversité est la diversité des organismes vivants à toutes les échelles possibles : la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces au sein des écosystèmes, la diversité génétique au sein des espèces, la diversité des interactions écologiques entre les organismes vivants et entre ces organismes et leur milieu physicochimique. Le bon fonctionnement des écosystèmes nécessite l'existence d'organismes jouant des rôles complémentaires (les plantes qui sont les producteurs primaires, des herbivores, des carnivores, des décomposeurs qui recyclent la matière organique morte des plantes, des pollinisateurs...); on parle de biodiversité verticale. Le bon fonctionnement des écosystèmes nécessite aussi une diversité d'organismes (espèces, diversité génétique) au sein de ces grands groupes d'organismes ; on parle de biodiversité horizontale. Cela passe par deux grands types de mécanismes : l'effet de complémentarité entre les espèces, et l'effet d'échantillonnage augmentant les chances d'avoir des espèces adaptées aux conditions locales chaque année et permettant à la biodiversité de servir d'assurance vis-à-vis de la variabilité environnementale.

Les écosystèmes et la biodiversité sont en étroite interaction avec le climat, en particulier dans le cadre de la crise environnementale actuelle : la biodiversité est menacée par le changement climatique et, à l'inverse, des écosystèmes en bonne santé, donc abritant une biodiversité élevée, peuvent atténuer le changement climatique en piégeant plus de carbone dans la biomasse et les sols. Une plus grande biodiversité permet aussi à ces écosystèmes de mieux résister aux aléas, comme les événements météorologiques extrêmes ou des organismes ravageurs ou pathogènes, et de fournir durablement d'autres services écosystémiques (production de nourriture, régulation du cycle de l'eau...).

Pour toutes ces raisons, l'adaptation au changement climatique des forêts, de l'agriculture et des zones urbaines passe par une augmentation de la diversité des plantes et des arbres. Cette augmentation de la biodiversité végétale est aussi favorable au maintien de la biodiversité en général (insectes, vertébrés, microorganismes...).

Augmenter la biodiversité ne suffit pas. Il faut aussi développer de nouvelles pratiques pour accompagner cette augmentation et la rendre efficace : couper les arbres suffisamment vieux et sans coupe rase, protéger les sols agricoles et leur fertilité, maintenir suffisamment d'espaces verts en zone urbaine et péri-urbaine (ce qui peut impliquer de désimperméabiliser les sols) et développer de nouvelles formes de végétalisation, comme les toitures végétalisées. Enfin, la végétation et les sols représentent des stocks de carbone très importants qui, si on arrive à augmenter leur taille, peuvent contribuer à atténuer le changement climatique. Cela est possible, par exemple, en augmentant les surfaces forestières et en gérant convenablement les forêts ou en protégeant les sols agricoles. Dans tous les cas, cette capacité d'atténuation dépend d'une biodiversité végétale élevée.

## Introduction

Les objectifs politiques de la transition écologique reposent aujourd'hui sur trois piliers : l'atténuation du changement climatique par la réduction de 55 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici à 2030 par rapport à 1990, l'adaptation aux composantes du changement climatique (canicules, sécheresses, tempêtes, inondations), et la préservation de la biodiversité et des ressources. Or, lorsque les acteurs de la société s'emparent des défis de la transition écologique, ils tendent souvent à réduire ces enjeux au problème généralement perçu comme le plus urgent : le changement climatique et ses conséquences. La question est alors abordée sous l'angle de la « décarbonation » des activités et celui des « marchés carbone », nécessaires pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre, et par le biais de l'ajustement des activités et des aménagements qui permettront l'adaptation des territoires aux changements de température et de précipitations.

D'autres défis de la transition, notamment ceux liés à la crise de la biodiversité (causée en premier lieu par les changements d'usage des sols, l'artificialisation des écosystèmes et l'exploitation directe de la biodiversité) et aux interactions entre changement climatique et biodiversité (y compris le fonctionnement des écosystèmes), sont traités séparément et le plus souvent d'une manière encore moins prioritaire que le changement climatique. Pourtant, les scientifiques ne cessent de répéter qu'il faut intégrer les politiques du climat et les politiques de la biodiversité à toutes les échelles ([Bush & Doyon 2021](#), [Pettorelli \*et al.\*, 2021](#)). Cela signifie que chaque action, chaque mesure politique doit être évaluée en fonction de ses effets bénéfiques ou néfastes à la fois pour le climat et pour la biodiversité. Par exemple, les effets positifs de la lutte contre la déforestation pour la réduction des émissions et la conservation de la biodiversité sont largement documentés. À l'inverse, développer des sources d'énergie renouvelable comme les éoliennes et des centrales photovoltaïques est indispensable pour atténuer le changement climatique, mais il vaut veiller à minimiser leurs impacts négatifs sur la biodiversité.

Cette « ligne directrice » propose un état des connaissances sur les rôles de la biodiversité pour l'atténuation du dérèglement climatique et pour l'adaptation. Quelques recommandations à destination des décideurs sont présentées.

# 1. La biodiversité

## Bien définir la biodiversité

Dans la lignée de la Convention sur la diversité biologique (CDB) des Nations unies de 1992 et de l'IPBES (la Plateforme Intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) nous définissons la biodiversité comme la diversité des organismes vivants décrite à toutes les échelles d'organisation (*Figure 1*) : la diversité génétique au sein des espèces, la diversité des espèces, la diversité des écosystèmes. La notion de biodiversité inclut aussi la diversité des interactions écologiques entre les espèces et entre les espèces et leurs environnements physiques et chimiques (par exemple, on peut distinguer les interactions de prédation, les symbioses, la compétition pour les ressources...), ainsi que la diversité fonctionnelle. Cette dernière notion désigne la diversité des fonctions écologiques remplies par les organismes d'un écosystème et la manière dont ces fonctions sont réalisées. Par exemple, parmi les plantes terrestres, on distinguera au moins les arbres, les arbustes, les plantes grimpantes, les plantes herbacées, les plantes herbacées fixant l'azote de l'atmosphère (plantes légumineuses) qui remplissent des fonctions en partie différentes dans les écosystèmes.

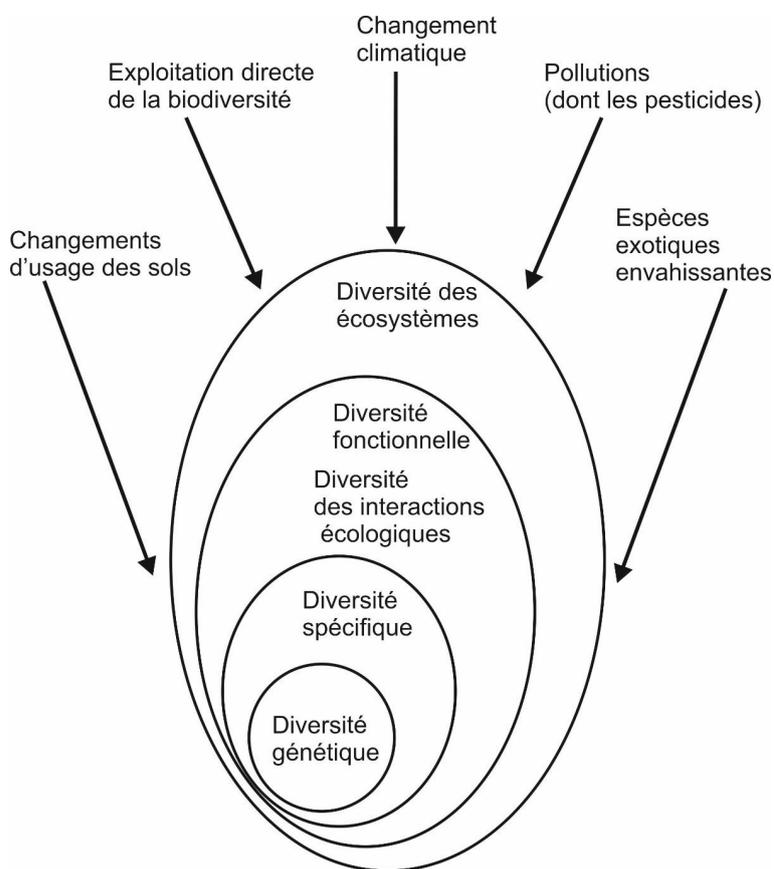
La biodiversité doit être aussi vue comme un objet dynamique : la diversité génétique change au cours du temps, le nombre d'espèces d'un écosystème varie au fil des années, le fonctionnement des écosystèmes n'est pas constant. Par exemple, la production de biomasse par les plantes d'un écosystème varie d'année en année. On distingue souvent : (1) La « biodiversité verticale », c'est-à-dire le fait que les organismes d'un écosystème remplissent une diversité de fonctions complémentaires (par exemple les producteurs primaires, les herbivores, les carnivores et les décomposeurs). (2) La « biodiversité horizontale », c'est-à-dire la diversité des organismes au sein des grands groupes d'organismes décrits par la « biodiversité verticale ». Par exemple, la diversité des plantes ou des microorganismes du sol sont des composantes importantes de la biodiversité horizontale.

## La biodiversité est plus ou moins diverse

Dans un écosystème donné, la biodiversité peut être appauvrie ou très riche. On mesure cette richesse par des indices d'abondance des espèces, des indices de diversité combinant la diversité des espèces et les abondances de chaque espèce, et des indices de diversité génétique de chaque espèce. On peut aussi

décrire le fonctionnement d'un écosystème en quantifiant certaines fonctions écologiques (la production primaire, la décomposition de la matière organique du sol...) ou certaines caractéristiques physicochimiques très fortement liées au fonctionnement écologique (quantité de matière organique dans le sol, quantité d'azote organique dans le sol, quantité d'azote dans la biomasse des plantes...).

Tous ces aspects de la biodiversité sont menacés par les activités humaines (voir la figure 1). Par exemple, (1) tout habitat confondu, les populations d'êtres vivants pourraient perdre plus de la moitié de leur diversité génétique du fait des pressions humaines si rien n'est fait pour contrecarrer cette érosion (Hoban *et al.* 2023) ; (2) l'abondance de nombreuses espèces d'organismes diminue rapidement (Hallmann *et al.* 2017, Burns *et al.* 2021), y compris des espèces communes ; (3) les taux d'extinction d'espèces actuels sont de 100 à 1 000 fois plus élevés que durant tous les temps géologiques (Ceballos *et al.* 2015).



**Fig. 1 - Description des différentes échelles emboîtées auxquelles la biodiversité peut être décrite (depuis la diversité génétique jusqu'à la diversité des écosystèmes) ainsi que des cinq grands types de pressions exercés par les activités humaines sur l'ensemble de ces niveaux de biodiversité.**

L'IPBES met en particulier en avant les pressions anthropiques suivantes (IPBES 2019): les changements d'usage des sols (par exemple la déforestation), l'exploitation directe de la biodiversité (chasse, pêche, exploitation forestière), le changement climatique, les diverses sources de pollutions (pesticides, plastiques,...), et les espèces exotiques envahissantes (transportées volontairement ou non par les activités humaines hors de leur aire de répartition). Ces pressions sont souvent en interaction. Par exemple, les pesticides peuvent amplifier l'impact négatif du changement d'usage des sols (et vice versa) sur les pollinisateurs.

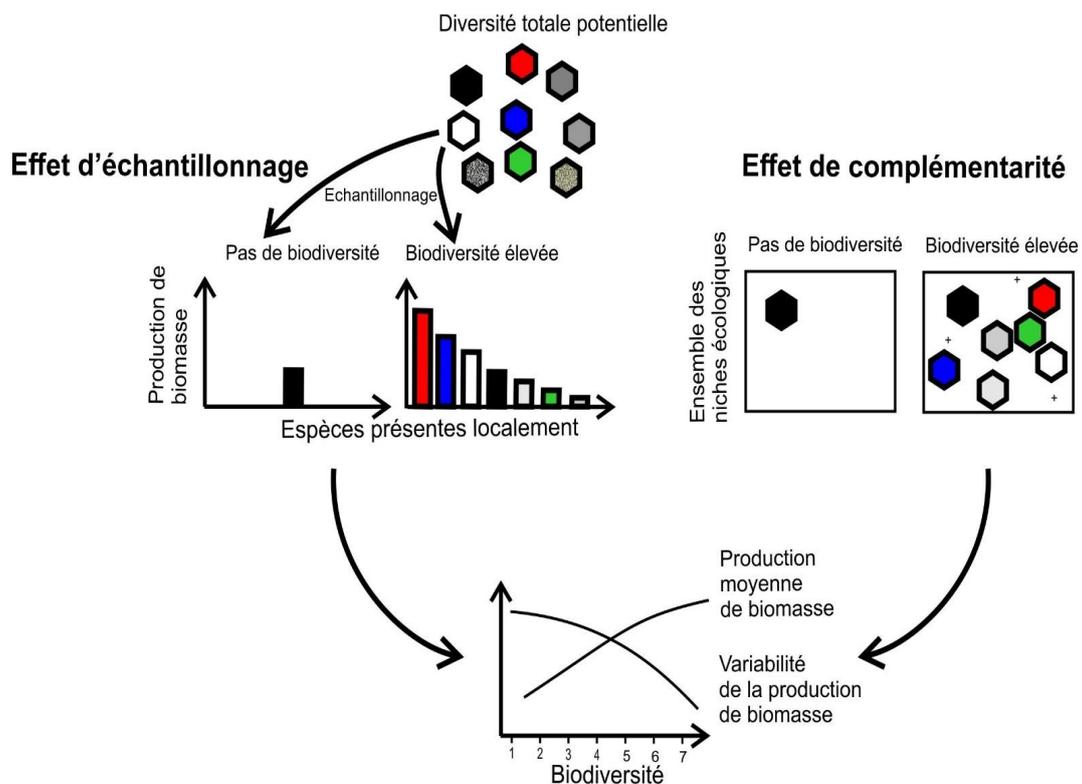
## 2. Les rôles cruciaux d'une biodiversité diversifiée

La littérature scientifique souligne très clairement le rôle décisif de la diversité spécifique dans la productivité des écosystèmes, leur résilience, l'adaptation et la survie des individus et des espèces, les services écosystémiques, en particulier face aux stress environnementaux (perte d'habitats, changement climatique, pathogènes...) (IPBES 2019). Les mécanismes mis en jeu par les relations positives entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (*BEF, Biodiversity-Ecosystem Functioning*) sont complexes, mais reposent toujours sur la diversité fonctionnelle des organismes. La « biodiversité verticale » joue bien sûr un rôle crucial. Ainsi, la présence de prédateurs dans un écosystème est importante pour la régulation des populations d'herbivores qu'ils consomment ; la présence de champignons dans les forêts est indispensable pour la décomposition du bois mort ; la diminution de l'abondance et de la diversité des pollinisateurs diminue la production de graines de nombreuses espèces de plantes.

Cependant, la « biodiversité horizontale » joue aussi un rôle important. On distingue deux mécanismes complémentaires (Loreau *et al.* 2001) qui ont été étudiés en détail chez les plantes. Le premier, l'effet de complémentarité, repose sur le fait que les espèces sont fonctionnellement un peu différentes, même au sein de grands groupes d'organismes remplissant plus ou moins les mêmes fonctions, et que donc, quand elles sont associées au sein du même écosystème, leurs activités sont complémentaires. Cela leur permet par exemple de collectivement mieux exploiter les ressources disponibles. Autrement dit, les espèces d'un écosystème occupent chacune des niches écologiques un peu différentes, si bien que si elles sont nombreuses elles occupent collectivement mieux l'ensemble des niches écologiques disponibles. Ainsi, une prairie ou une forêt abritant beaucoup d'espèces de plantes utilise mieux la lumière, l'eau et les nutriments minéraux du sol. Elle produit ainsi plus

de biomasse et fixe plus de carbone, et cela peut jouer de la même façon sur d'autres fonctions écologiques.

Le second mécanisme, l'effet d'échantillonnage, provient du fait que les conditions environnementales (le sol, le climat, les organismes pathogènes...) varient d'un endroit à l'autre et d'une année à l'autre. Si l'écosystème contient seulement deux ou trois espèces de plantes, il y a statistiquement peu de chances que l'on trouve parmi elles une espèce parfaitement adaptée à ces conditions locales une année donnée. S'il y a plusieurs dizaines d'espèces, la probabilité que des espèces soient bien adaptées aux conditions environnementales sera plus grande. Ces espèces permettent à l'écosystème de bien fonctionner et produisent ensemble plus de biomasse.



**Fig. 2 - Description de deux mécanismes par lesquels accroître la biodiversité végétale (nombre d'espèces ou diversité génétique) augmente la production moyenne de biomasse et diminue la variabilité de cette production.**

L'ensemble de ces deux types de mécanismes permet à la fois d'améliorer le fonctionnement de l'écosystème (d'augmenter par exemple la production de biomasse) et de maintenir ce fonctionnement dans le temps malgré la variabilité environnementale et les perturbations. Cela diminue ainsi la variabilité

interannuelle de la production de biomasse face à la variabilité climatique et à certains événements météorologiques extrêmes. Pour cette raison, la biodiversité constitue une assurance pour le fonctionnement des écosystèmes. Les différents mécanismes sont particulièrement bien documentés pour la biodiversité végétale.

Trois d'entre eux, liés à la complémentarité, ont particulièrement bien été décrits.

(1) Quand parmi les plantes d'un écosystème, des espèces sont des légumineuses (trèfle, acacia ...), fixant l'azote atmosphérique, la fertilité du sol et donc la production de biomasse sont plus élevées.

(2) Plus la diversité de plantes est élevée, plus l'impact des pathogènes est réduit (ils ont moins de chance de s'implanter et ensuite de se répandre dans l'écosystème).

(3) Plus les plantes sont diverses, plus elles utilisent collectivement toutes les ressources disponibles, et plus il est difficile pour une plante exotique d'envahir l'écosystème.

Enfin, même si les différences fonctionnelles entre espèces sont *a priori* plus grandes que les différences fonctionnelles entre génotypes de la même espèce (variétés d'une plante cultivée par exemple), la diversité génétique joue qualitativement le même rôle que la diversité spécifique (le nombre d'espèces) (Hughes & Stachowicz 2004, Cook-Patton *et al.* 2011). Enfin, en augmentant la biodiversité des plantes, on accroît aussi la diversité des services écosystémiques fournis (Hector & Bagchi 2007, Isbell *et al.* 2011). Par exemple, plus une prairie est riche en espèces végétales, plus elle produira en moyenne de biomasse qui pourra nourrir du bétail, elle stockera aussi plus de carbone dans son sol et abritera une plus grande diversité d'invertébrés.

### 3. Pour des forêts diversifiées

Le fonctionnement des forêts, comme celui des autres écosystèmes (*voir en section 2*), est en moyenne amélioré par la diversité des arbres qu'elles abritent. Les forêts et les plantations sont plus résilientes face aux perturbations telles que les incendies, les ravageurs et les extrêmes climatiques lorsqu'elles sont diversifiées et ne sont pas des peuplements monospécifiques (Isbell *et al.* 2015, Jactel *et al.* 2021, Messier *et al.* 2021). De plus, en moyenne, plus une forêt abrite un nombre important d'espèces d'arbres, plus sa production de biomasse est importante (Morin *et al.* 2025). Elles sont aussi plus résistantes au manque d'eau (Liu *et al.* 2022). Elles ont ainsi une plus grande capacité à atténuer

le changement climatique en stockant plus de carbone dans leur biomasse et leurs sols (Ruiz-Benito *et al.* 2013, Chen *et al.* 2023).

À l'échelle globale, les forêts stockent environ 7,6 milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par an (Harris *et al.* 2021). Cela représente environ 20 % des émissions de CO<sub>2</sub> anthropiques (*voir l'encadré ci-dessous*). La forêt est ainsi une composante clé de l'Accord de Paris (Grassi *et al.* 2017).

### **Comment les écosystèmes stockent-ils du carbone ?**

Grâce à la photosynthèse et à l'énergie de la lumière solaire, les plantes des terres émergées transforment le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en matière organique qui leur sert à fabriquer leurs feuilles, leurs racines, leurs tiges. Quand ces parties ou les plantes entières meurent, leur matière organique est progressivement intégrée au sol et transformée par l'ensemble des organismes du sol, en particulier les microorganismes (bactéries, champignons) qui s'en nourrissent. Ce faisant, ils libèrent du CO<sub>2</sub>, qui repart dans l'atmosphère, et des nutriments minéraux (azote, phosphore, etc.), qui sont alors de nouveau utilisables pour les plantes. Ce processus est appelé décomposition.

Une partie de la matière organique morte du sol, comme les feuilles mortes ou les racines fines, se décompose vite. Âgée de quelques mois à quelques dizaines d'années, cette matière organique est présente majoritairement dans les premiers centimètres des sols. Une autre partie de cette matière organique (en particulier celle qui a été transformée par les microorganismes et qui est intégrée à tout le profil de sol) se décompose lentement et peut ainsi représenter un stock de carbone très important et très âgé (de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années).

A l'échelle globale (*voir le tableau ci-dessous*), l'ensemble des sols représente un stock d'environ 1 500 milliards de tonnes (Gt) de carbone alors que l'ensemble de la végétation en contient environ 700 Gt (Grace 2004). Comme l'atmosphère ne contient « que » 750 Gt de carbone (sous forme de CO<sub>2</sub>) et que le réchauffement climatique est dû essentiellement à un flux de CO<sub>2</sub> annuel d'environ 10 Gt de carbone du fait de la combustion des combustibles fossiles, des petits changements dans les flux de carbone entre les écosystèmes (végétation et sols) et l'atmosphère peuvent fortement influencer le réchauffement climatique.

La végétation mondiale (en particulier les forêts) et les sols représentent ainsi des stocks de carbone très importants. Maintenir ces stocks est crucial pour ne pas accélérer le changement climatique. A l'inverse, atténuer le changement climatique implique d'augmenter ces stocks afin que la végétation et les sols deviennent des puits de carbone. Un écosystème « à l'équilibre » (un écosystème ancien qui n'a pas subi de perturbation depuis longtemps) ne représente généralement pas un puits de carbone : la biomasse des plantes et la quantité de matière organique des sols n'augmentent pas, car il y a un équilibre entre le CO<sub>2</sub> fixé par la photosynthèse, le CO<sub>2</sub> libéré par la respiration des plantes, et le CO<sub>2</sub> relâché par la décomposition de la matière organique des sols (Ameray *et al.* 2021).

Types de carbone	Stocks	Flux
Combustibles fossiles	1 500 Gt (charbon, pétrole, gaz naturel, avec une grosse incertitude)	Combustion annuelle -10 Gt
Carbone contenu dans l'atmosphère	750 Gt	
Carbone contenue dans les sols	1 500 Gt	Décomposition - 60 Gt Apports de matière organique morte 60 Gt
Carbone contenu dans la biomasse	700 Gt	Déforestation -2 Gt Photosynthèse 120 Gt Respiration des plantes -60 Gt

**Grands stocks de carbone à l'échelle globale (en gigatonnes Gt de carbone) et principaux flux de carbone entre ces stocks (en Gt de carbone par an).  
Les flux de déstockage sont comptés négativement.**

En revanche, de nombreuses situations peuvent conduire à un « déséquilibre » permettant d'augmenter les stocks de carbone dans les sols et la végétation. C'est le cas des forêts jeunes (par exemple dans le cas d'une reforestation) qui constituent des puits de carbone à partir d'un certain âge : les arbres, en grandissant, stockent de plus en plus de carbone dans leurs troncs, et souvent cela conduit aussi à une augmentation du stock de carbone dans les sols (qui ont perdu de la matière organique durant la phase de déforestation). A l'inverse, une forêt à maturité ne stocke plus de carbone. Si l'on exploite des arbres, sans coupe rase, le bois récolté est en moyenne compensé par la croissance des arbres. Dans un tel cas, si le sol a auparavant perdu de la matière organique (c'est généralement le cas après déforestation), le stock de matière organique du sol peut encore augmenter pendant longtemps (des dizaines voire des centaines d'années) même dans une forêt mûre (Lal 2005), mais cela dépend des pratiques d'exploitation (pas de coupe rase, prélèvements de bois pas trop élevés).

De la même manière, parce que les sols agricoles ont souvent perdu beaucoup de matière organique (Lal 2004), des changements de pratiques agricoles ou la conversion de champ en prairie permanente (Dignac *et al.* 2017) peuvent conduire à une augmentation du stock de carbone des sols pendant de très nombreuses années. C'est ce qui a suscité l'initiative « 4 pour 1000 » visant à augmenter la teneur en matière organique des sols agricoles (Soussana *et al.* 2019).

En résumé, pour que les écosystèmes contribuent plus fortement à atténuer le changement climatique il faut se concentrer sur ceux de leurs compartiments qui reçoivent des flux de stockage de carbone. Il faut en second lieu se préoccuper de la durée de vie des stocks de carbone créés en favorisant des situations où ces derniers ont une longue durée de vie et sont peu menacés par les activités humaines.

Planter des arbres et restaurer des forêts dégradées semblent deux solutions évidentes pour séquestrer une plus grande quantité de carbone dans les écosystèmes forestiers et atténuer le changement climatique. Ces méthodes pourraient en théorie stocker jusqu'à 10 milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par an (Roe *et al.* 2019). À l'inverse, si on ne vise que la productivité à court terme en plantant des espèces à croissance rapide ou des peuplements monospécifiques, la plantation d'arbres peut conduire à une diminution de la biodiversité (Lindenmayer *et al.* 2012). Un autre problème est que le changement climatique réduit le nombre d'espèces d'arbres capables de se maintenir localement, ce qui diminue la capacité des peuplements d'arbres à stocker du carbone (Wessely *et al.* 2024).

La capacité de stockage du carbone des peuplements forestiers, dans la biomasse et dans les sols, sous forme de matière organique morte, varie énormément, en fonction de plusieurs facteurs qui dépendent des pratiques de gestion :

(1) La nature des espèces d'arbres, notamment parce qu'elle détermine la quantité et la qualité de la matière organique du sol (Augusto & Boca 2022).

(2) La diversité des espèces d'arbres, qui augmente la capacité de production de biomasse, et donc aussi les entrées de carbone dans les sols et le stockage à long terme de carbone dans les sols (Chen *et al.* 2023).

(3) La structure des peuplements influence le stock de carbone dans la biomasse des troncs. Ainsi, plus la hauteur et le diamètre des arbres sont diversifiés, plus la biomasse des troncs est élevée (Crockett *et al.* 2023). Cela suggère qu'il vaut mieux éviter les forêts dans lesquelles tous les arbres ont le même âge et donc les coupes à blanc.

(4) Le régime d'exploitation des arbres est aussi très influent. Plus les prélèvements de bois sont importants et plus les arbres sont récoltés

jeunes, plus faible est le stock de carbone dans la végétation (les troncs et les racines) et, avec un décalage temporel, plus faible est le stock de carbone dans le sol (Peng *et al.* 2023). Les pratiques de coupe rase transforment l'écosystème forestier en source de carbone atmosphérique pendant environ vingt ans, avant qu'un nouveau peuplement d'arbres permette un gain net de carbone (Ameray *et al.* 2021). Cela est dû au fait que durant cette durée, les sols déstockent du carbone (par la décomposition de la matière organique qu'ils contiennent) et que cela n'est pas compensé par l'augmentation de la biomasse des arbres (*voir aussi l'encadré p. 9*).

5) Le stockage de carbone par les forêts dépend aussi, bien sûr, des conditions physicochimiques. Par exemple, le type de sol conditionne la quantité de matière organique qu'il peut stocker. Les sols sableux contiennent en moyenne moins de matière organique que des sols limoneux et argileux.

6) Le climat joue aussi un rôle clef. Des conditions favorables de température et de pluviométrie permettent une meilleure croissance des arbres, donc augmentent les entrées de matière organique morte dans les sols, et à terme le stockage de carbone dans le sol. Le changement climatique a ainsi des effets complexes sur la capacité des forêts à stocker du carbone (Vacek *et al.* 2023). D'une part, l'augmentation des températures augmente la durée de végétation dans les pays européens les moins chauds, ce qui favorise la fixation de carbone dans la biomasse forestière. À l'inverse, en zone méditerranéenne, l'augmentation des températures et la sécheresse ont en moyenne l'effet inverse. D'autre part, des perturbations en grande partie liées au changement climatique (sécheresse, feux, tempêtes, attaques par des insectes et des pathogènes) diminuent la capacité des arbres à fixer du carbone, augmentent leur mortalité et menacent le maintien même de la forêt (Anderegg *et al.* 2015). Des forêts riches en espèces et à structure d'âges hétérogène sont mieux à même de résister à ces perturbations (Liu *et al.* 2022, Vacek *et al.* 2023).

## 4. En agriculture, le nécessaire développement de l'agroécologie

D'une manière générale, quelles que soient les pratiques agricoles, le bon fonctionnement de l'agriculture repose sur la biodiversité cultivée (les plantes qui sont semées) et sur une biodiversité non cultivée (Dainese *et al.* 2019), qui peut soit vivre directement dans les champs (microorganismes du sol, toute la faune du sol, des insectes), soit vivre dans l'agroécosystème mais n'y passer qu'une partie de son temps (des pollinisateurs, des oiseaux ...). La production agricole dépend ainsi à la fois de toute la biodiversité du sol (bactéries,

champignons, vers de terre...), qui participe au maintien de la fertilité des sols (recyclage des nutriments minéraux, structuration du sol...), et des pollinisateurs (abeilles domestiques et sauvages, papillons...), très importants pour la production de la plupart des fruits et légumes ou du colza, par exemple. La production agricole découle aussi en partie de la présence dans les parcelles cultivées d'organismes « auxiliaires », qui participent au contrôle des organismes pouvant aggraver les cultures (des oiseaux mangent des chenilles, des coléoptères mangent des limaces...).

De nombreux travaux ont montré que, pour rendre l'agriculture plus durable, une des voies les plus prometteuses, consiste à diversifier les plantes cultivées à toutes les échelles (Kremen 2020) : mélanger des espèces et des variétés, utiliser des rotations longues, des plantes de couverture, implanter des haies et des bandes de prairies, diversifier les espèces et les variétés à l'échelle du territoire. Cette diversification mobilise les mêmes mécanismes écologiques (complémentarité et effet d'échantillonnage), décrits dans la section 2, que le fait de diversifier les espèces de plantes dans une prairie ou une forêt naturelle (Gaba *et al.* 2015, Barot *et al.* 2017). Elle est aussi une bonne solution pour varier et rendre plus robustes les services écosystémiques rendus par les terres agricoles (Tamburini *et al.* 2020). Il est en particulier bien reconnu que la diversification des plantes cultivées est une bonne solution pour diminuer l'impact des organismes qui attaquent les cultures (pathogènes, insectes, nématodes...) tout en diminuant l'usage des pesticides (Tibi *et al.* 2022, Deguine *et al.* 2023).

Quelles que soient les régions et les cultures, les pratiques intensives en agriculture (grandes parcelles, usage important de pesticides et d'engrais minéraux, travail du sol important et fréquent) ont tendance à appauvrir la biodiversité non cultivée (Newbold *et al.* 2015, Beckmann *et al.* 2019, Rigal *et al.* 2023). Elles ont aussi conduit à un appauvrissement de la biodiversité cultivée, de l'échelle de la parcelle aux échelles nationale et internationale (Aguilar *et al.* 2015, Sirami *et al.* 2019, Khoury *et al.* 2022). Il est aussi de plus en plus reconnu que les pratiques agricoles intensives sont mauvaises pour la santé humaine (Horrigan *et al.* 2002). Pour rompre avec cette agriculture nocive pour les écosystèmes, la biodiversité et la santé humaine et animale, l'agroécologie propose un modèle d'agriculture durable, fondé sur la biodiversité et les régulations écologiques (Altieri 1989, Malézieux 2012).

Les recherches ont montré que l'élévation de la concentration de l'air en dioxyde de carbone, favorable à la photosynthèse et à la productivité agricole (effet fertilisant), ne contrebalance pas les effets négatifs du réchauffement et des aléas croissants (sécheresse, inondations) (Challinor *et al.* 2014, Penuelas

2023). En revanche, la stabilité de la production agricole face au changement climatique est favorisée par la diversification des plantes cultivées du fait d'une forme d'effet d'échantillonnage (Renard & Tilman 2019, Kremen 2020) : en diversifiant les cultures on augmente les chances qu'une partie des cultures soient adaptées aux conditions climatiques chaque année. Par exemple, certaines cultures seront plus productives les années sèches, d'autres les années humides. Des mécanismes proches permettent aux cultures de mieux résister aux ravageurs des cultures (Perrot *et al.* 2023), tout en diminuant l'usage des pesticides (Zhu *et al.* 2000), y compris quand leur abondance dépend fortement du climat. Les pratiques protégeant les sols, et leur biodiversité (microorganismes, vers de terre ...) ont aussi des effets favorables sur la durabilité de l'agriculture et le maintien des rendements malgré le changement climatique (Cappelli *et al.* 2022, Jiao *et al.* 2022). On peut penser à la diminution du labour, à la protection des sols par des plantes de couverture, et aux amendements organiques (fumiers, composts ...) qui contribuent à maintenir une teneur élevée en matière organique morte.

L'agriculture conduit mondialement à plus de 20 % des émissions de gaz à effet de serre par l'ensemble de ses pratiques. Il convient donc de la transformer fortement pour réduire ses émissions afin, en particulier, de respecter l'Accord de Paris. Dans ce cadre, l'initiative « 4 pour 1 000 sur les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » (Soussana *et al.* 2019), propose de stocker en plus chaque année 4 ‰ de carbone dans le sol sous forme de matière organique morte. Cela serait possible en utilisant des plantes de couverture (entre les cycles culturaux et entre les rangées de plantes cultivées), en introduisant des prairies temporaires dans les rotations culturales, en développant l'agroforesterie et les haies, et par des apports de matière organique (composts, résidus de culture) (Dignac *et al.* 2017). Cela est en partie dû au fait que l'agriculture intensive tend à réduire la quantité de matière organique des sols (exportation d'une proportion élevée de la production végétale, labour, sol souvent nu une partie de l'année, érosion). En plus de contribuer à l'atténuation du changement climatique, augmenter la teneur du sol en matière organique morte présente aussi l'intérêt d'augmenter la fertilité des sols : la matière organique facilite la rétention de l'eau et des nutriments minéraux, elle maintient la structure du sol en agrégats, et nourrit l'ensemble des organismes décomposeurs du sol qui promeuvent un recyclage efficace des nutriments minéraux.

## 5. Rôle de la biodiversité pour l'adaptation en milieu urbain

En zones urbaines et semi-urbaines, le recours aux solutions fondées sur la nature (SFN) fait consensus parmi les scientifiques comme modalités d'aménagement qui préservent la biodiversité et promeuvent la multifonctionnalité des écosystèmes (Lafortezza *et al.* 2018, Calliari *et al.* 2022). L'idée générale est d'optimiser la végétation existante et d'augmenter la végétalisation par de nouvelles infrastructures vertes qui favorisent la biodiversité, améliorent le cadre de vie, diminuent l'îlot de chaleur urbain et peuvent fournir d'autres services (gestion des eaux de pluie...).

### Le stockage du carbone par les arbres et les sols en zones urbaines

Le stock de carbone représenté par les arbres en zone urbaine pourrait être augmenté de 1,7 Gt de carbone à l'échelle mondiale (Mo *et al.* 2023), alors que ce stock pourrait être accru de 200 Gt dans les forêts existant en dehors des villes. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour mieux évaluer ce stock dans la végétation urbaine, fragmentée dans ce type de milieu (arbres d'alignement, petits parcs...). Une évaluation menée à Helsinki a montré que les jeunes arbres plantés dans un sol existant sont d'abord émetteurs nets de carbone, du fait de la décomposition de la matière organique des sols, et deviennent fixateurs nets de carbone au bout de 12 ans (aulne glutineux) à 14 ans (tilleul) après la plantation (Havu *et al.* 2022). Les outils proposés par le Cerema (<https://sesame.cerema.fr/>) ou le groupement d'entreprises Arbre en ville (<https://www.arbre-en-ville.fr>) proposent d'aider les collectivités territoriales à choisir les espèces à implanter en fonction de différents critères et des services écosystémiques rendus, dont la séquestration du carbone.

Comme l'ensemble des sols, les sols urbains peuvent potentiellement stocker une quantité importante de carbone sous forme de matière organique morte. Ainsi, le stock total de carbone a été estimé dans les sols de la ville de Paris à 3,5 Mt de carbone (Cambou *et al.* 2018) avec des teneurs en carbone par m<sup>2</sup> environ 50 % plus élevées que dans les sols agricoles (parce que les sols urbains sont exploités moins intensément). Même si ces stocks de carbone doivent être relativisés du fait de la faible surface des villes à l'échelle mondiale (moins de 1 % des surfaces continentales), ils peuvent contribuer à compenser les pertes de stock de carbone dues à l'accroissement rapide des surfaces

urbaines, qui devraient tripler entre 2000 et 2030 à l'échelle mondiale (Seto *et al.* 2012, Gao & O'Neill 2020).

Cette croissance urbaine conduit en effet à la destruction de la végétation et à l'émission d'environ 50 millions de tonnes de carbone par an à l'échelle mondiale. Cela suggère que la gestion des sols urbains et, d'une manière plus générale, des substrats permettant la croissance des plantes est un enjeu important. Il faut par exemple optimiser les substrats des toitures végétalisées pour assurer à la fois cette croissance et favoriser des services diversifiés tels que la rétention des eaux pluviales (Lata *et al.* 2018). Il devient aussi de plus en plus important d'être capable de fabriquer des substrats fertiles à partir de déchets urbains (Deeb *et al.* 2020) pour que les villes et les SFN en milieu urbain n'aient plus à importer du sol naturel venant de la campagne. Il est aussi possible de développer des pratiques permettant directement de stocker plus de carbone dans les sols urbains, par exemple en y ajoutant du biochar (Arioluoma *et al.* 2021). Cela rappelle que la désimperméabilisation et la désartificialisation des surfaces urbaines constituent un enjeu clef : désimperméabiliser est la seule façon dans les villes déjà construites d'augmenter la surface de substrats disponibles pour les plantes (au sens large, depuis des sols naturels qui se sont développés *in situ* jusqu'à des substrats artificiels). C'est la première étape vers la généralisation des SFN urbaines.

## **Biodiversité des plantations et adaptation au changement climatique**

Les températures sont plus élevées de plusieurs degrés en milieu urbain et périurbain que dans les campagnes environnantes parce que l'artificialisation des surfaces urbaines diminue la proportion de l'énergie lumineuse renvoyée vers l'atmosphère (albédo), et du fait de la grande capacité des bâtiments et du béton à stocker de la chaleur. Cela conduit à l'îlot de chaleur urbain (ICU) (Nuruzzaman 2015). La végétation urbaine est une des meilleures façons de diminuer l'ICU grâce à l'évapotranspiration. Celle-ci combine deux processus rafraîchissant l'air et qui impliquent l'existence d'un sol (ou d'un substrat plus ou moins artificiel) : (1) Les sols et les substrats perdent de l'eau par évaporation (un processus purement physique). (2) La végétation puise activement de l'eau dans les sols, qui est transpirée au niveau des feuilles.

Les surfaces boisées, les arbres d'alignement et les toitures végétalisées peuvent participer au rafraîchissement (Santamouris 2014, Nuruzzaman 2015). Les surfaces non imperméabilisées et la végétation qu'elles supportent jouent aussi un rôle important pour la gestion des eaux de pluie (Alves *et al.* 2023),

en particulier en cas d'événements extrêmes, dont la fréquence augmente avec le changement climatique. Ces surfaces peuvent en effet absorber une grande quantité d'eau, ce qui peut limiter les risques d'inondation. Cet effet s'accroît avec la présence de végétation, qui augmente l'évaporation de l'eau du sol. Ainsi, l'atténuation de l'îlot de chaleur, la gestion des eaux de pluie et tous les services écosystémiques rendus par les infrastructures vertes dépendent de la bonne santé de la végétation et donc, aussi, de sa biodiversité.

Le stockage de carbone par la végétation et les sols urbains dépend aussi de la biodiversité des plantes qui y poussent. Comme pour d'autres écosystèmes, la biodiversité d'une zone arborée urbaine est l'alliée de sa productivité, donc du puits potentiel de carbone constitué par la biomasse des arbres et les sols (sous forme de matière organique morte). La force de ce puits est en effet plus élevée dans les peuplements plurispécifiques que dans les peuplements monospécifiques, particulièrement en régime de changement climatique (Liu *et al.* 2022, Morin *et al.* 2025). Les peuplements diversifiés sont aussi, avec les forêts âgées, les écosystèmes qui assurent la meilleure conservation de toute la diversité végétale et animale.

C'est également le cas en ville, où la densité des arbres et arbustes est le premier facteur qui favorise l'abondance et la diversité des espèces d'invertébrés et de vertébrés, du fait des préférences que peuvent avoir certains invertébrés et oiseaux pour telle ou telle espèce d'arbre ou d'arbuste (habitat, nourriture). En outre, les espaces arborés composés d'espèces natives semblent plus riches en espèces animales que ceux où dominent les arbres et arbustes non natifs (Helden *et al.* 2012).

Pour différentes raisons, liées à la gestion et à l'esthétique, beaucoup de villes ont privilégié les plantations monospécifiques dans les alignements de rues. À Paris par exemple, le platane commun, le marronnier et le Sophora du Japon dominent les alignements (Ville de Paris). Une diversification des espèces d'arbres, en particulier avec des espèces natives, est souhaitable. Le changement climatique menace cependant la végétation urbaine et périurbaine et en particulier les arbres (Burley *et al.* 2019). Il est donc crucial de choisir les espèces des nouveaux arbres plantés en fonction du climat futur. Une solution peut être de choisir, parmi les espèces natives, des variétés (génotypes) provenant des zones les plus chaudes de leurs aires de répartition (Carcaillet 2024).

## 6. Quelques recommandations pour utiliser au mieux la biodiversité et rendre nos pratiques plus durables

### Des forêts stockant plus de carbone

En France, en 2022, selon l'inventaire forestier national, 47 % de la surface forestière (7,1 millions d'hectares) était monospécifique (51 % en 2017, beaucoup plus en ville). Or la forêt française comporte au total 190 espèces d'arbres, dont 142 de feuillus. Il est donc possible et important de diversifier les forêts françaises. Ainsi, quand on plante de nouvelles forêts, par exemple pour stocker plus de carbone, il est indispensable de planter des peuplements mélangés, plurispécifiques, comptant au moins quatre espèces d'arbres et autant d'arbustes. Il serait contre-productif, pour préserver à la fois le climat et la biodiversité, de créer des forêts monospécifiques même si, à court terme, elles peuvent répondre aux besoins en bois. Pour stocker du carbone, à la fois dans leur biomasse et dans les sols, il faut laisser les arbres pousser suffisamment longtemps et éviter les coupes rases pour favoriser un mélange d'arbres d'âges différents.

### Une agriculture plus durable

L'agriculture intensive n'est pas durable, au moins du fait de ses impacts négatifs sur la biodiversité et de ses émissions de gaz à effet de serre, qu'il faut impérativement diminuer. Il faut ainsi transformer l'agriculture sur les bases de l'agroécologie. Cela passe à la fois par une diversification des plantes cultivées (mélanges d'espèces et de variétés, agroforesterie...) et non cultivées (haies, prairies permanentes...), à toutes les échelles. Cela passe aussi par une gestion plus durable de la fertilité des sols et donc par leur protection en diminuant le travail du sol et en le couvrant au maximum et tout au long de l'année par des plantes « de couverture ». La nature des plantes cultivées (espèces et variétés) est évidemment cruciale pour l'adaptation au changement climatique, même en diversifiant les cultures : il faut petit à petit passer à des espèces et des variétés plus adaptées aux hautes températures et à des extrêmes pluviométriques.

### Adaptation des zones urbaines

Les infrastructures vertes en zone urbaine et périurbaine (les SFN) peuvent jouer un rôle important à la fois pour atténuer le changement climatique (en stockant du carbone) et adapter les villes au changement climatique

en rafraîchissant l'air et en participant à la gestion des eaux de pluie, notamment. Cela passe impérativement par une diversification des plantes, en particulier des arbres, pour les forêts urbaines et périurbaines, les plantations d'alignement, les pelouses ou les toitures végétalisées.

Cette diversification aura des effets positifs pour tous les services écosystémiques rendus par la végétation et contribuera à stabiliser leur fourniture face au changement climatique. Bien sûr, cela demande à la fois de maintenir et, si possible, d'augmenter les surfaces non imperméabilisées pouvant supporter de la végétation. Cela demande aussi de développer les écosystèmes originaux que sont les toitures végétalisées et de systématiser leur développement. Il faut aussi mener une réflexion sur les plantes (espèces et variétés) à privilégier afin de choisir des plantes adaptées au climat futur, notamment pour les arbres à longue durée de vie qui doivent pouvoir continuer à croître dans plusieurs dizaines d'années malgré le réchauffement climatique.

## Bibliographie

- Aguilar J., G. G. Gramig, J. R. Hendrickson, D. W. Archer, F. Forcella, and M. A. Liebig. 2015. Crop species diversity changes in the United States: 1978-2012. *PLoS One* 10:e0136580.
- Altieri M. A. 1989. Agroecology - a new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 27:37-46.
- Alves R. A., A. P. Rudke, L. D. Martins, S. T. de Melo Souza, A. B. Bovo, M. J. Goroski Rambalducci, and J. A. Martins. 2023. Urban stormwater management from the perspective of nature-based solutions: a bibliometric review. *Journal of Ecohydraulics* 9:218-238.
- Ameray A., Y. Bergeron, O. Valeria, M. Montoro Girona, and X. Cavard. 2021. Forest Carbon Management: a Review of Silvicultural Practices and Management Strategies Across Boreal, Temperate and Tropical Forests. *Current Forestry Reports* 7:245-266.
- Anderegg W.R., J. A. Hicke, R. A. Fisher, C. D. Allen, J. Aukema, B. Bentz, S. Hood, J. W. Lichstein, A. K. Macalady, N. McDowell, Y. Pan, K. Raffa, A. Sala, J. D. Shaw, N. L. Stephenson, C. Tague, and M. Zeppel. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist* 208:674-683.
- Ariiluoma M., J. Ottelin, R. Hautamäki, E.-M. Tuhkanen, and M. Mänttari. 2021. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening* 57.
- Augusto L. and A. Boca. 2022. Tree functional traits, forest biomass, and tree species diversity interact with site properties to drive forest soil carbon. *Nature Communications* 13:1097.
- Barot S., V. Allard, A. Cantarel, J. Enjalbert, A. Gauffreteau, I. Goldringer, J.-C. Lata, X. Le Roux, A. Niboyet, and E. Porcher. 2017. Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37:13.
- Beckmann M., K. Gerstner, M. Akin-Fajjiye, S. Ceausu, S. Kambach, N. L. Kinlock, H. R. P. Phillips, W. Verhagen, J. Gurevitch, S. Klotz, T. Newbold, P. H. Verburg, M. Winter, and R. Seppelt. 2019. Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. *Glob Chang Biol* 25:1941-1956.
- Burley H., L. J. Beaumont, A. Ossola, J. B. Baumgartner, R. Gallagher, S. Laffan, M. Esperon-Rodriguez, A. Manea, and M. R. Leishman. 2019. Substantial declines in urban tree habitat predicted under climate change. *Science of the Total Environment* 685:451-462.
- Burns F., M. A. Eaton, I. J. Burfield, A. Klvanova, E. Silarova, A. Staneva, and R. D. Gregory. 2021. Abundance decline in the avifauna of the European Union reveals cross-continental similarities in biodiversity change. *Ecology and Evolution* 11:16647-16660.
- Bush J. & A. Doyon. 2021. Tackling intersecting climate change and biodiversity emergencies: Opportunities for sustainability transitions research. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 41:57-59.
- Calliari E., S. Castellari, M. Davis, J. Linnerooth-Bayer, J. Martin, J. Mysiak, T. Pastor, E. Ramieri, A. Scolobig, M. Sterk, C. Veerkamp, L. Wendling, and M. Zandersen. 2022. Building climate resilience through nature-based solutions in Europe: A review of enabling knowledge, finance and governance frameworks. *Climate Risk Management* 37.
- Cambou A., R. K. Shaw, H. Huot, L. Vidal-Beaudet, G. Hunault, P. Cannavo, F. Nold, and C. Schwartz. 2018. Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science of the Total Environment* 644:452-464.
- Cappelli S. L., L. A. Domeignoz-Horta, V. Loaiza, and A. L. Laine. 2022. Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends in Plant Sciences* 27:674-687.
- Carcaillet C. et al. 2024. [Planter des arbres venus de régions sèches : la « migration assistée », une fausse bonne idée ?](#), *The Conversation*, 25 janvier 2024.
- Ceballos G., P. R. Ehrlich, A. D. Barnosky, A. García, R. M. Pringle, and T. M. Palmer. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1(5):e1400253.
- Challinor A. J., J. Watson, D. B. Lobell, S. M. Howden, D. R. Smith, and N. Chhetri. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change* 4:287-291.
- Chen X., A. R. Taylor, P. B. Reich, M. Hisano, H. Y. H. Chen, and S. X. Chang. 2023. Tree diversity increases decadal forest soil carbon and nitrogen accrual. *Nature* 618:94-101.

- Cook-Patton S. C., S. H. McArt, A. L. Parachnowitsch, J. S. Thaler, and A. A. Agrawal. 2011. A direct comparison of the consequences of plant genotypic and species diversity on communities and ecosystem function. *Ecology* 92:915-923.
- Crockett E. T. H., J. W. Atkins, Q. Guo, G. Sun, K. M. Potter, S. Ollinger, C. A. Silva, H. Tang, C. W. Woodall, J. Holgerson, and J. Xiao. 2023. Structural and species diversity explain aboveground carbon storage in forests across the United States: Evidence from GEDI and forest inventory data. *Remote Sensing of Environment* 295.
- Deeb M., P. M. Groffman, M. Blouin, S. P. Egendorf, A. Vergnes, V. Vasenev, D. L. Cao, D. Walsh, T. Morin, and G. Séré. 2020. Using constructed soils for green infrastructure – challenges and limitations. *Soil* 6:413-434.
- Dainese M. *et al.* 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances* 5:eaax0121.
- Deguine J.-P. *et al.* 2023. Agroecological crop protection for sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, 178 : 1-59.
- Dignac M.-F., D. Derrien, P. Barré, S. S. Barot, L. Cécillon, C. Chenu, T. Chevallier, G. T. Freschet, P. Garnier, B. Guenet, M. Hedde, K. Klumpp, G. Lashermes, P.-A. Maron, N. Nunan, C. Roumet, and I. Basile-Doelsch. 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37:14.
- Gaba S., F. Lescourret, S. Boudsocq, J. Enjalbert, P. Hinsinger, E.-P. Journet, M.-L. Navas, J. Wery, G. Louarn, E. Malézieux, E. Pelzer, M. Prudent, and H. Ozier-Lafontaine. 2015. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development* 35:607-623.
- Gao J. and B. C. O'Neill. 2020. Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways. *Nature Communications* 11:2302.
- Grace J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology* 92:189-202.
- Grassi G., J. House, F. Dentener, S. Federici, M. den Elzen, and J. Penman. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change* 7:220-226.
- Hallmann C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Muller, H. Sumser, T. Horren, D. Goulson, and H. de Kroon. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS one* 12:e0185809.
- Harris N.L., D. A. Gibbs, A. Baccini, R. A. Birdsey, S. de Bruin, M. Farina, L. Fatoyinbo, M. C. Hansen, M. Herold, R. A. Houghton, P. V. Potapov, D. R. Suarez, R. M. Roman-Cuesta, S. S. Saatchi, C. M. Slay, S. A. Turubanova, and A. Tyukavina. 2021. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change* 11:234-240.
- Havu M., L. Kulmala, P. Kolari, T. Vesala, A. Riikonen, and L. Järvi. 2022. Carbon sequestration potential of street tree plantings in Helsinki. *Biogeosciences* 19:2121-2143.
- Hector A. and R. Bagchi. 2007. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature* 448:188-190.
- Helden A. J., G. C. Stamp, and S. R. Leather. 2012. Urban biodiversity: comparison of insect assemblages on native and non-native trees. *Urban Ecosystems* 15:611-624.
- Hoban S. *et al.* 2023. Genetic diversity goals and targets have improved, but remain insufficient for clear implementation of the post-2020 global biodiversity framework. *Conservation Genetics* 24:181-191.
- Horrigan L., R. S. Lawrence, and P. Walker. 2002. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* 110:445-456.
- Hughes A. R. and J. J. Stachowicz. 2004. Genetic diversity enhances the resistance of a seagrass ecosystem to disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:8998-9002.
- IPBES 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany.
- Isbell F., V. Calcagno, A. Hector, J. Connolly, W. S. Harpole, P. B. Reich, M. Scherer-Lorenzen, B. Schmid, D. Tilman, J. van Ruijven, A. Weigelt, B. J. Wilsey, E. S. Zavaleta, and M. Loreau. 2011. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature* 477:199-202.
- Isbell F. *et al.* 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526:574-577.
- Jactel H., X. Moreira, and B. Castagneyrol. 2021. Tree Diversity and Forest Resistance to Insect Pests: Patterns, Mechanisms, and Prospects. *Annual Review of Entomology* 66:277-296.
- Jiao S., Y. Lu, and G. Wei. 2022. Soil multitrophic network complexity enhances the link between biodiversity and multifunctionality in agricultural systems. *Global Change Biology* 28:140-153.

- Khoury C. K., S. Brush, D. E. Costich, H. A. Curry, S. de Haan, J. M. M. Engels, L. Guarino, S. Hoban, K. L. Mercer, A. J. Miller, G. P. Nabhan, H. R. Perales, C. Richards, C. Riggins, and I. Thormann. 2022. Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. *New Phytologist* 233:84-118.
- Kremen C. 2020. Ecological intensification and diversification approaches to maintain biodiversity, ecosystem services and food production in a changing world. *Emerging Topics in Life Sciences* 4:229-240.
- Laforteza R., J. Chen, C. K. van den Bosch, and T. B. Randrup. 2018. Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research* 165:431-441.
- Lal R. 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70:103-116.
- Lal R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220(1-3):242-258
- Lata J.-C., Y. Dusza, L. Abbadie, S. Barot, D. Carmignac, E. Gendreau, Y. Kraepiel, J. Méridet, M. Motard, and X. Raynaud. 2018. Role of substrate properties in the provision of multifunctional green roof ecosystem services. *Applied Soil Ecology* 123:464-468.
- Lindenmayer D.B., K. B. Hulvey, R. J. Hobbs, M. Colyvan, A. Felton, H. Possingham, W. Steffen, K. Wilson, K. Youngentob, and P. Gibbons. 2012. Avoiding bio-perversity from carbon sequestration solutions. *Conservation Letters* 5:28-36.
- Liu D., T. Wang, J. Peñuelas, and S. Piao. 2022. Drought resistance enhanced by tree species diversity in global forests. *Nature Geoscience* 15:800-804.
- Loreau M., S. Naeem, P. Inchausti, J. Bengtsson, J. P. Grime, A. Hector, D. U. Hooper, M. A. Huston, D. Raffaelli, B. Schmid, D. Tilman, and D. A. Wardle. 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294:804-808.
- Malézieux E. 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development* 32:15-29.
- Messier C. *et al.* 2021. For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests! *Conservation Letters* 15 (1).
- Mo L. *et al.* 2023. Integrated global assessment of the natural forest carbon potential. *Nature* 624:92-101.
- Morin X., M. Toigo, L. Fahse, J. Guillemot, M. Cailleret, R. Bertrand, E. Cateau, F. de Coligny, R. García-Valdés, S. Ratcliffe, L. Riotte-Lambert, M. A. Zavala, and P. Vallet. 2025. More species, more trees: The role of tree packing in promoting forest productivity. *Journal of Ecology* 113(2): 371-386.
- Newbold T. *et al.* 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520:45-50.
- Nuruzzaman M. 2015. Urban heat island: causes, effects and mitigation measures - A review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis* 3 (2) :67-73
- Peng L., T. D. Searchinger, J. Zions, and R. Waite. 2023. The carbon costs of global wood harvests. *Nature* 620:110-115.
- Peñuelas J. 2023. Decreasing efficiency and slowdown of the increase in terrestrial carbon-sink activity. *One Earth* 6:591-594.
- Perrot T., A. Rusch, S. Gaba, and V. Bretagnolle. 2023. Both long-term grasslands and crop diversity are needed to limit pest and weed infestations in agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 120:e2300861120.
- Pettorelli, N., N.A.J. Graham, N. Seddon, M. Maria da Cunha Bustamante, M. J. Lowton, W. J. Sutherland, H. J. Koldewey, H. C. Prentice, and J. Barlow. 2021. Time to integrate global climate change and biodiversity science-policy agendas. *J. Applied Ecology* 58(11):2384-2393.
- Renard D., D. Tilman. 2019. National food production stabilized by crop diversity. *Nature* 571:257-260.
- Rigal, S. *et al.*, 2023. Farmland practices are driving bird population decline across Europe. *Proceedings National Academy of Sciences USA* 120:e2216573120.
- Roe S., C. Streck, M. Obersteiner, S. Frank, B. Griscom, L. Drouet, O. Fricko, M. Gusti, N. Harris, T. Hasegawa, Z. Hausfather, P. Havlík, J. House, G.-J. Nabuurs, A. Popp, M. J. S. Sánchez, J. Sanderman, P. Smith, E. Stehfest, and D. Lawrence. 2019. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change* 9:817-828.
- Ruiz-Benito P., L. Gómez-Aparicio, A. Paquette, C. Messier, J. Kattge, and M. A. Zavala. 2013. Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests. *Global Ecology and Biogeography* 23:311-322.
- Santamouris M. 2014. Cooling the cities - a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* 103:682-703.
- Seto K. C., B. Guneralp, and L. R. Hutya. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings National Academy of Sciences USA* 109:16083-16088.

Sirami C. *et al.* 2019. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings National Academy of Sciences USA* 116:16442-16447.

Soussana J.-F., S. Lutfalla, F. Ehrhardt, T. Rosenstock, C. Lamanna, P. Havlík, M. Richards, E. Wollenberg, J.-L. Chotte, E. Torquebiau, P. Ciais, P. Smith, and R. Lal. 2019. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative. *Soil and Tillage Research* 188:3-15.

Tamburini G., R. Bommarco, T. C. Wanger, C. Kremen, M. G. A. van der Heijden, M. Liebman, and S. Hallin. 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances* 6:eaba1715.

Tibi A., V. Martinet, A. Vialatte, A. Alignier, V. Angeon, D. A. Bohan, D. Bougherara, S. Cordeau, P. Courtois, J.-P. Deguine, J. Enjalbert, F. Fabre, H. Fréville, R. Grateau, B. Grimonprez, N. Gross, Hannachi, Launay, V. Lelièvre, S. Lemarié, G. Martel, M. Navarrete, M. Plantegenest, V. Ravigné, A. Rusch, F. Suffert, and S. Thoyer. 2022. Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Rapport scientifique de l'Expertise scientifique collective.

Vacek Z., S. Vacek, and J. Cukor. 2023. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environment Management* 332:117353.

Wessely J., F. Essl, K. Fiedler, A. Gattringer, B. Hülber, O. Ignateva, D. Moser, W. Rammer, S. Dullinger, and R. Seidl. 2024. A climate-induced tree species bottleneck for forest management in Europe. *Nature Ecology & Evolution* 8:1109-1117.

Zhu Y., H. Chen, J. Fan, Y. Wang, Y. Li, J. Chen, J. Fan, S. Yang, L. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. Wang, and C. C. Mundt. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.

Ligne   
directrice  
du  
  
**GREC**  
francilien

## Pourquoi avons-nous besoin de la biodiversité ?

Avec le soutien financier de



Groupement régional d'expertise sur le changement climatique  
et la transition écologique en Île-de-France

