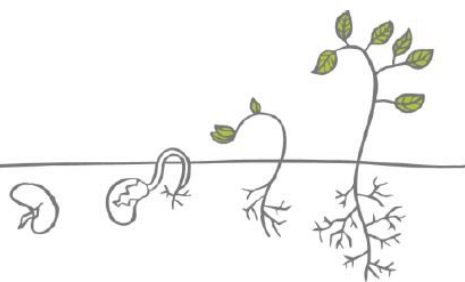


NOVEMBRE 2023

« MICRO-FORÊTS » : CONCEPTS ET PANORAMA DES PUBLICATIONS

[Recueil bibliographique]



TITRE

« Micro-forêts » : concepts et panorama des publications.

AUTEUR-ES

Maxime DEPINOY, Chargé de mission Ecologie & Biodiversité, Plante & Cité.

RELECTEUR-ICES

Pauline LAILLE, Chargé de mission Economie et Management, Plante & Cité.

THÉMATIQUES

Ecologie et biodiversité

Economie et management

Choix des végétaux

MOTS-CLES

« Micro-forêt », plantation dense, milieu urbain, forêt urbaine, boisement, typologie, méthode Miyawaki, services écosystémiques, fonctions écologiques.

OBJECTIFS

Ce document fournit un recueil de données issues de la bibliographie relative aux « micro-forêts ».

RÉSUMÉ

Les « micro-forêts » n'ont **pas de définition arrêtée** partagée. Les questionnements autour des termes « forêts urbaines », « foresteries urbaines », « forêts », « bosquets » et des concepts et les messages clés associés aux « micro-forêts » permettent de mieux comprendre les **limites et points de vigilance** associés aujourd'hui aux « micro-forêts » du point de vue de la **sémantique**.

La « micro-forêt » apparaît comme un **concept créé dans les années 2010-2011 par un entrepreneur**, un concept adapté au contexte socio-politique actuel où la végétalisation citoyenne est perçue comme une solution pour enrayer le dérèglement climatique et la perte de la biodiversité. A travers les articles de la littérature grise, on note des **composantes récurrentes** à cet aménagement à savoir : « une **formation végétale de destination** » (la forêt, forêt mixte), un contexte « **urbain ou périurbain** », une **méthode opérationnelle** faisant référence (avec des nuances) au principe de restauration de milieux boisés énoncé par le botaniste Akira Miyawaki, une « **emprise surfacique** » relativement limitée bien que ce dernier critère ne soit pas toujours vérifié ; l'ensemble étant systématiquement **justifié** au regard de **fonctions écologiques** et de **services écosystémiques** attendus (pour l'essentiel de régulation).

En Europe, on observe que ce sujet **intéresse** et **mobilise** de nombreux acteurs de manière accrue depuis les années 2015-2018.

Parmi les 115 publications et documents abordant le sujet identifiés par **l'équipe de Plante & Cité**, **11 études scientifiques** publiées **ont été retenues**. Les éléments disponibles à travers ces travaux fournissent des pistes sans pour autant permettre de corréler les caractéristiques des « micro-forêts » (caractéristiques biologiques, écologiques, techniques, économiques) avec les services écosystémiques et fonctions écologiques. Ce constat fait écho aux **points de vigilance** soulignés par des scientifiques notamment vis-à-vis d'une **communication** portant sur de potentiels **services écosystémiques de régulation** et **fonctions écologiques** rendus par les « micro-forêts » (et ce malgré le manque d'éléments factuels documentés).

Il s'agit d'une forme d'aménagement qui procure des **services culturels attendus** des parties-prenantes associées à ces projets, aspect moins valorisé lors de la promotion des « micro-forêts ».

Les micro-forêts constituent aujourd'hui un aménagement d'intérêt dont le rôle et l'efficacité aux regards des enjeux climatiques et de biodiversité restent à qualifier.

CITATION

Dépinoy M., Laille P. (2023). « Micro-forêts » : concepts et panorama des publications. Plante & Cité, Angers, 31 p.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	5
2	MATÉRIEL ET MÉTHODES	5
3	CONCEPTS ASSOCIÉS À LA « MICRO-FORÊT ».....	6
3.1	FORÊT	6
3.2	FORESTERIE URBAINE	6
3.3	FORÊT URBAINE	7
3.4	FORÊTS MIYAWAKI	7
3.5	« MICRO-FORÊTS »	9
4	DYNAMIQUE DES PUBLICATIONS.....	12
4.1	LITTÉRATURE GRISE	12
4.2	LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE	13
5	CONNAISSANCES ET ASSOCIATION D'IDÉES LIÉES AUX « MICRO-FORÊTS » .	16
5.1	ARTICLES RELATIFS À LA RESTAURATION DE MILIEUX FORESTIERS SUR LE PRINCIPE DU POTENTIEL NATUREL DE VÉGÉTATION PUBLIÉS PAR A. MIYAWAKI - M. AMZAD	16
5.2	ARTICLE RELATIF À L'APPLICATION DU CONCEPT DE CRÉATION DE BOISEMENTS SELON LA MÉTHODE DE A. MIYAWAKI - PUBLIÉ PAR SCHIRONE	18
5.3	ARTICLES RELATIFS À LA CORRESPONDANCE ENTRE LES ARGUMENTS ASSOCIÉS AUX « MICRO-FORÊTS » ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES PROCURÉS	19
6	ANNEXE : SYNTHÈSE DES ARTICLES SÉLECTIONNÉS	26
7	RÉFÉRENCES	29

1 INTRODUCTION

La surface des villes correspond à 2% de la surface du globe mais ceux qui les habitent, utilisent 75% des ressources naturelles de la Terre. Et la tendance laisse à penser que d'ici 2050, 70% de la population mondiale vivra dans les villes et les agglomérations (Salbitano et al., 2017).

Les gestionnaires des milieux urbains sont confrontés quotidiennement à des obstacles dans la gestion de ces milieux complexes associés à la santé, à l'énergie, à l'alimentation, à l'eau, au logement, aux espaces verts tant sur les aspects de la qualité que de l'accessibilité pour tous. En sus de ces composantes, les enjeux liés au changement climatique et à l'érosion de la biodiversité intimement liés, accélèrent la conception et la mise en œuvre de politiques publiques et d'aménagements des villes.

Or les stratégies adoptées par les gouvernements et territoires soulèvent certaines questions de responsabilités ('individuelles ou collectives ?') et la nature des actions à mettre en place ('citoyennes ou politiques ?'). En France, une partie de la société civile non convaincue de la capacité du gouvernement à respecter ses engagements relatifs au climat et à la biodiversité, s'exprime notamment à travers des initiatives de végétalisation citoyenne telle que les « micro-forêts » (Lacombe, 2022). Ces initiatives, peu à peu institutionnalisées en raison de politiques publiques favorables à une participation des citoyens à l'aménagement de la ville, constituent aujourd'hui des aménagements d'intérêt en milieux urbains (Douay & Prévot, 2016).

Ce présent rapport propose de parcourir les concepts associés aux « micro-forêts » avant de s'intéresser à la dynamique de ce sujet. Il se clôturera par une section dédiée aux articles scientifiques retenus par Plante & Cité.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Afin de construire cet article sous forme de revue de synthèse, les bases bibliographiques suivantes ont été explorées : Google Scholar, Springer Link, Science Direct et Research Gate.

A ces sources d'informations, s'ajoutent une approche complémentaire destinée à identifier les articles « non scientifiques » abordant également les « micro-forêts », nommés, dans le présent rapport, littérature grise.

Un tri a ensuite été réalisé à partir de 115 documents afin de ne recenser dans cette synthèse que les articles mettant en avant une production de jeux de données exploitables. Au total, 11 publications scientifiques et de la littérature grise ont été retenues. Ces articles ont été exploités grâce à l'outil Zotero.

En complément de ce traitement, une comptabilisation du nombre d'articles de la presse quotidienne régionale est également fournie dans le présent article afin de situer dans le temps l'intérêt pour le sujet des « micro-forêts » sur le territoire métropolitain. Pour ce faire, l'outil Tagaday a été utilisé afin d'accéder aux articles référencés.

3 CONCEPTS ASSOCIÉS À LA « MICRO-FORÊT »

Le concept de « **micro-forêt** » (nommée aussi « *tiny forest* » ou encore « *Tiny urban forest* » en anglais) n'a pas encore reçu de définition arrêtée et un glissement de propriétés issues des forêts urbaines vers la « micro-forêts » s'opère. Afin de comprendre ce concept, il convient de revenir sur les termes : forêt, foresterie urbaine et forêt urbaine.

3.1 FORÊT

Il n'y a **pas de définition simple** pour qualifier la forêt ; cette dernière pouvant correspondre à une **multiplicité de points de vue** (biologiste, écologue, anthropologue, économiste, juriste, gestionnaire forestier), tous recevables. Pour les écologues, la forêt est un ensemble de communautés végétales et animales dominé visuellement par des arbres, fonctionnant et se reproduisant selon des règles qui lui sont propres. (Michon & Carrière, 2018)

Tandis que pour des acteurs et organismes (privés, publics, nationaux ou internationaux) dont la responsabilité est de planifier (inventaires, suivis et aménagements des surfaces forestières) ou de légiférer (protection de boisements), les définitions qui font consensus sont le plus souvent **basées sur des critères morphologiques** : surface, densité et hauteur des arbres, taux de recouvrement du sol par la couverture foliaire. Mais les définitions ne concordent pas sur les seuils, et des positions différentes, jamais neutres, ont été adoptées selon les pays quant à par exemple l'intégration ou non des plantations forestières dans la catégorie « forêt » (Michon & Carrière, 2018). Pour des besoins d'évaluation globalisée des ressources forestières au niveau mondial, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a proposé une définition unique de la forêt qui repose sur la structure de la formation (10 pour cent minimum de couvert forestier, espèces ligneuses supérieures à 5 m) et sa surface (minimum de 0,5 ha). Cette définition est reprise à l'inventaire forestier national (IGN) à savoir « un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares (5000 m²) avec des arbres pouvant atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité in situ, un couvert boisé de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres. Elle n'inclut pas les terrains boisés dont l'utilisation prédominante du sol est agricole ou urbaine » (IGN, 2022). En plus de donner une **surface minimale**, elle pose comme condition à l'existence d'une forêt, de **ne pas se situer là où l'usage principal du sol est urbain**. On comprend pourquoi en ville, on parle de « bois » (même dans le cas de surfaces de plusieurs centaines d'hectares comme le bois de Vincennes).

En Europe occidentale, dans l'**opinion publique** la plus large, le terme de forêt renvoie à une étendue boisée plus ou moins vaste faite d'essences variées où les citadins vont se promener le dimanche en famille ou bien où l'on va chercher des champignons. Et dans l'**imaginaire commun occidental**, la forêt est évoquée comme étant la principale et primitive occupation du sol dans l'histoire. Le mot « forêt » étymologiquement parlant, est associé à ce qui est en dehors (*foris*), au sauvage (*silva*), quelque chose d'antérieur à l'homme, et pouvant être exploité à des fins de production. Le « bois » est en quelque sorte plus architecturé, perçu comme un ornement, un espace récréatif plutôt que comme une ressource potentielle (Luginbühl, 2020).

3.2 FORESTERIE URBAINE

La **foresterie urbaine** ou « **urban forestry** » est un concept anglo-saxon (mentionné pour la première fois en 1894) théorisé dans les années 50 aux Etats-Unis (Konijnendijk et al., 2006). Il désigne « l'art, la science et la technique de la gestion des arbres et des ressources forestières dans et autour des écosystèmes des communautés urbaines pour les avantages physiologiques, sociologiques, économiques et esthétiques que les arbres procurent à la société » (Escobedo et al., 2019). Cela comprend **toute la végétation ligneuse et celle qui y est associée en situation urbaine**. Ce concept englobe à l'intérieur ou en périphérie des villes, les arbres isolés, les arbres d'alignements, les bosquets, les parcs, bois et forêts. Le concept de foresterie urbaine propose une approche transdisciplinaire qui peut s'adapter à tous les types de plantations urbaines en s'appuyant sur une logique de gestion différenciée des arbres (Segur, 2022).

3.3 FORÊT URBAINE

On retrouve le sens de cette définition dans les Directives sur la foresterie urbaine et périurbaine de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Directives qui proposent que les **forêts urbaines** soient définies comme « des **réseaux ou des systèmes** incluant **toutes les surfaces boisées, les groupes d'arbres et les arbres individuels** se trouvant en **zone urbaine et périurbaine**, y compris, donc, les forêts, les arbres des rues, les arbres des parcs et des jardins, et les arbres d'endroits abandonnés. Les forêts urbaines sont les piliers des infrastructures vertes, reliant les zones rurales aux zones urbaines et améliorant l'empreinte environnementale des villes » (Salbitano et al., 2017).

A l'échelon national, d'autres auteurs préfèrent les qualifier comme étant des surfaces boisées (pouvant atteindre plusieurs centaines d'hectares), reliquats de massifs anciens qui se sont vues 'placées' en périphérie ou en cœur de ville à l'issue du développement urbain (tel que le Bois de Boulogne) (Segur, 2022). Ces forêts urbaines font l'objet de plans de gestion qui peuvent, selon le contexte, faire passer l'exploitation du bois au second plan, au bénéfice d'objectifs récréatifs ou de préservation de la biodiversité. On rejoint par cette définition les **forêts urbaines** dont parle l'actualité française, faisant référence à de petites surfaces (d'une centaine à quelques milliers de mètres carrés) situées dans un contexte urbain et périurbain, ou parfois même rural.

Ces surfaces s'apparent davantage à la définition de **bosquet** donnée à l'inventaire forestier. Ce dernier qualifie le bosquet de « territoire occupant une superficie supérieure ou égale à 5 ares et inférieure à 50 ares, comportant au moins 4 arbres non alignés capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité in situ, un couvert arboré de plus de 40 % et une largeur d'au moins 20 mètres. Les bosquets ne font pas partie de la surface forestière » (IGN, 2022).

Si une définition des forêts urbaines n'est pas aujourd'hui clairement arrêtée en France, il convient d'indiquer que certains auteurs parlent de « forêt urbaine » comme une locution (comme chemin de fer), son sens n'équivalent pas à la somme des sens des termes (Drillon, 2022), préférant que chaque objet d'étude soit qualifié afin de correspondre à une réalité.

3.4 FORÊTS MIYAWAKI

Cette expression que l'on retrouve dans la littérature grise, est associée au botaniste Akira Miyawaki.

Il s'agit d'un botaniste japonais né en 1928 et mort en 2021 qui a travaillé sur l'écologie végétale au Japon et notamment sur la cartographie des habitats à partir de relevés phytosociologiques. Ces travaux l'ont amené à se pencher sur la restauration de milieux boisés sur des sols dégradés, industriels, urbains et péri-urbains.



Akira Miyawaki a obtenu son doctorat de sciences en 1961 après avoir été invité de 1958 à 1960, en tant que chercheur, à l'institut allemand pour la cartographie de la végétation. Période à laquelle il côtoiera le phytosociologue allemand Reinhold Tüxen (1899-1980) à l'origine du concept de végétation naturelle potentielle (c'est-à-dire la végétation qui prendrait théoriquement forme hors de tout impact humain).

Il occupera ensuite des postes d'enseignant, de professeur puis de directeur de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement de Yokohama avant d'occuper, de 1993 à 2016, le poste de directeur du Centre Japonais des Études Internationales en Écologie.

Ces travaux vont l'amener, en s'inspirant du concept de végétation naturelle potentielle, à proposer une méthode de restauration de végétation forestière (via des plantations) reposant sur le principe de processus de succession écologique guidé comme illustré sur le schéma ci-après.

Sur la Figure 1 (traduite d'une des publications de l'auteur), on trouve à droite la nouvelle théorie de succession obtenue à l'issue d'opérations dirigées avec comme effet : l'atteinte, dans un pas de temps plus court, d'une communauté végétale de destination (ici une forêt d'arbres persistants sciaphiles) et ceci en comparaison (à gauche sur le schéma) avec les communautés écologiques qui évoluent naturellement dans une biorégion (ici, au Japon).

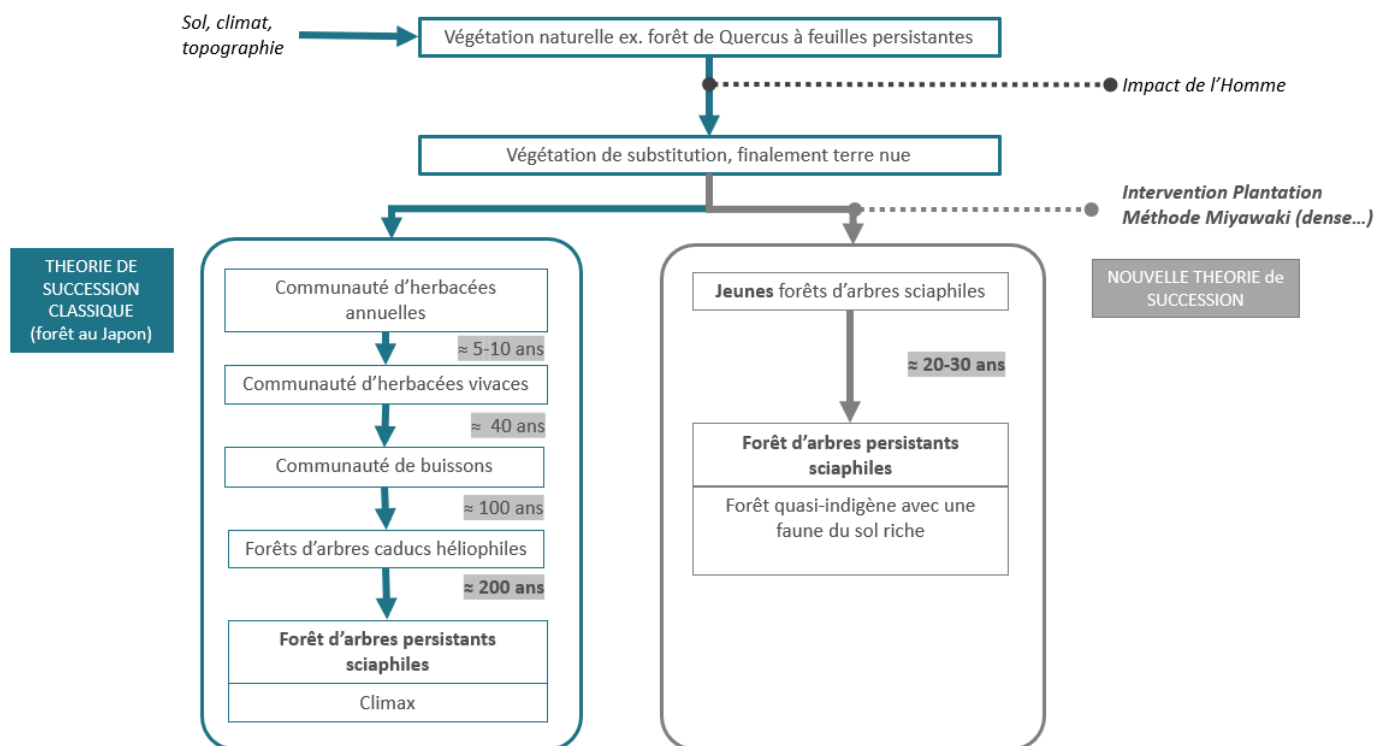


Figure 1. Schéma de principe (Miyawaki, 1999)

Akira Miyawaki va proposer une méthode de restauration de milieux boisés sur des sols dégradés basée sur :

- Une **étude phytosociologique** initiale du site et de la végétation naturelle potentielle lui correspondant ;
- Un repérage et une **collecte** localement ou à proximité et dans un contexte géoclimatique comparable d'un grand nombre de **graines d'essences natives diversifiées** et adaptées au contexte édaphique (sol/climat) ;
- Une **germination en pépinière** incluant une technicité adaptée pour certaines essences qui germent sous des conditions spécifiques (comme une phase de dormance au froid, un champignon symbiote, etc.) ;
- Une **préparation du substrat** selon le type de sol en place avec un apport de matière organique/paillage et, dans les régions à forte pluviométrie, un modelage du sol (pour former des buttes et ainsi créer des conditions d'installation adaptées aux espèces cibles) ;
- Une **plantation dense** (2 à 3 plants par m²), de **plants jeunes** à système racinaire formé ; par exemple des chênes de 30 cm issus de glands, et ayant grandi en pépinière durant deux ans ;
- Des plantations réparties dans l'espace en cherchant à **imiter une répartition spontanée** des plants dans une clairière ou en lisière de forêt.

Il va collaborer à plusieurs centaines de plantations dans le monde (dans des zones climatiques tropicales et subtropicales) en réponse à des problématiques d'érosion du sol, de risques naturels et de nuisances (bruit, aspect visuel).

Ces travaux seront décrits plus en détail à travers le panorama des publications scientifiques ; indiquons ici que l'auteur fait la promotion dans ses publications de la participation à la fois des entreprises, des collectivités et des citoyens dans les programmes de plantations.

3.5 « MICRO-FORÊTS »

Quant au terme « **micro-forêts** », « miniforêts » urbaines et périurbaines ou encore « Tiny urban forests », il s'agit d'une contraction du mot « micro » qui signifie « petit », « mini » et du mot « forêt » dont la définition a été abordée plus haut.

La plupart des sources qui utilisent ce terme, qu'elles soient issues de la littérature grise ou scientifique, l'associent à un certain nombre de composantes à savoir :

- Une **formation végétale de destination** (la forêt),
- Un **contexte urbain ou périurbain**,
- Une **méthode opérationnelle** faisant référence plus ou moins au principe de restauration de milieux boisés énoncé par le botaniste Japonais Akira Miyawaki,
- Une **surface relativement limitée** bien que ce dernier critère ne soit pas toujours vérifié.

A cela sont associés un **certain nombre de services écosystémiques attendus**, notamment des services de régulation, des fonctions écologiques et des services culturels.

En croisant les sources publiées, on constate que le terme « Tiny Forest » dont est issue la « micro-forêt » n'est pas un principe décrit par le botaniste Akira Miyawaki mais un concept qui a été développé par Shubhendu Sharma (Mählmann, 2019), un ingénieur d'origine indienne. Basé sur son retour d'expérience et les connaissances acquises lors d'un chantier bénévole de plantations coordonné par l'équipe de Akira Miyawaki, il crée en 2011 une entreprise pour le développement et l'installation de « micro-forêts ». Après 4 années d'existence, l'entreprise lance en 2015 son premier projet de plantation selon la méthode Miyawaki en Europe. Cette « micro-forêt » a été implantée aux Pays-Bas en associant l'Institut pour l'éducation à la Nature et à la Durabilité (l'IVN).

Cette « offre » semble répondre à une certaine attente alimentée par une prise de conscience écologique, et une médiatisation des enjeux des changements globaux (Lacombe, 2022).

Cette prise de conscience est alimentée par différents facteurs :

- La **communication d'une recherche scientifique sur l'évolution du climat et de la biodiversité** (comme le Rapport l'évolution du climat du GIEC en 1990, les résultats de la Cop21 en 2015 ou encore le Rapport d'évaluation mondiale de la biodiversité en 2019) ;
- La **mise en place d'outils juridiques internationaux et nationaux** pour limiter le **dérèglement climatique et protéger la biodiversité** (comme l'accord de Paris signé en 2015 par 195 pays, dont l'objectif est de maintenir l'augmentation de la température mondiale en-dessous de 2 degrés Celsius, en France par la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (2016), la création en 2019 du Haut Conseil pour le climat ou encore la loi climat et résilience (2021) issue de la convention citoyenne pour le climat) ;
- Les **manifestations de mouvements sociaux** interpellant les gouvernements sur la manière de mener les actions en s'interrogeant sur la place citoyenne en France, cela s'exprime par l'augmentation de la diffusion d'articles, de tribunes via les médias et par des **mouvements citoyens** (faisant écho à ceux menés à l'échelon mondial) tels que "Citoyens pour le climat" "Fridays for future". Mouvements fusionnant occasionnellement avec le mouvement social des "gilets jaunes", amplifiant le poids du citoyen dans les politiques publiques. Ces manifestations ont été stoppées en mars 2020 par la crise sanitaire mondiale due à la Covid-19 et le premier confinement en France.

Cette prise de conscience de la crise environnementale amène une partie des citoyens à s'interroger sur des actions concrètes à mettre en place pour enrayer le dérèglement climatique et la perte de la biodiversité. Dans le contexte socio-politique actuel, la végétalisation citoyenne est perçue comme une de ces solutions, car d'une part les végétaux ont la capacité d'absorber le dioxyde de carbone, et d'autre part d'être des supports de biodiversité, et fournisseurs de services écosystémiques.

Enfin, certains auteurs émettent l'hypothèse que dans ce contexte, proposer une **méthode de formation de milieux semi-naturels s'appliquant aussi bien à de très petites surfaces (adaptées aux milieux urbains) que de très grandes, permet d'élargir le panel de projets et de commandes potentielles**. Ainsi le concept de « micro-forêt » s'apparente pour certains auteurs à une « offre » conçue pour être adaptée au contexte socio-politique actuel dans la mesure où la végétalisation citoyenne est perçue comme une solution pour enrayer le dérèglement climatique et la perte de la biodiversité. (Lacombe, 2022).

Indiquons ici qu'aux Pays-Bas, le centre de recherche environnemental Wageningen (WENR), qui travaille depuis 2015 sur les « micro-forêts », les qualifie comme étant de « small city forests of the size of a tennis court, in which 600 trees consisting of approximately 40 tree species are planted » (Ottburg et al., 2018) qui se traduit comme : « de petites forêts urbaines de la taille d'un court de tennis, dans lesquelles sont plantés 600 arbres composés d'environ 40 espèces ». Cette définition est également associée à deux objectifs : enrayer la perte de biodiversité dans les zones urbaines et permettre aux gens d'en faire l'expérience, afin qu'ils continuent à en percevoir la valeur (Ottburg et al., 2022).

L'Institut pour l'éducation à la Nature et à la durabilité (IVN) des Pays-Bas, à l'initiative des premiers programmes de « micro-forêts » en Europe, fournit aujourd'hui aux municipalités et aux preneurs d'initiatives, une liste de critères à respecter (donnés au tableau 1 ci-dessous) tant sur le plan de l'aménagement que des usages et de l'animation de cet espace.

Tableau 1. Critères du programme Tiny forest de l'Institut IVN, Pays-Bas (IVN nature educatie, 2022)

Les caractéristiques « aménagement »		Les caractéristiques « usages »
Réaliser une étude (travail de terrain ou de recherche documentaire) sur les espèces indigènes les plus courantes dans la région	Former une largeur d'au moins 4 mètres partout, sans interruption (comme un chemin)	Disposer sur place d'un espace pour une classe en plein air de 30 enfants
Avoir préparé le sol selon la méthode de plantation Tiny Forest	Être recouvert d'une couche de paillis (paille, par exemple) d'une épaisseur minimale de 15 cm	Avoir un initiateur local (bénévole)
Planter uniquement des arbres et des arbustes indigènes	Être entourée d'une clôture pendant les 2 premières années pour protéger les jeunes plants	Avoir été planté par des résidents locaux et des écoliers
Planter au moins 25 espèces différentes d'arbres, d'arbustes et d'arbrisseaux	Permettre aux arbres de pousser sans être dérangés pendant au moins 10 ans	Être adopté par une école primaire ou une crèche du quartier
Planter 3 à 5 arbres par mètre carré	Laisser les branches, les feuilles et les arbres morts	Être utilisé par l'école ou la garderie tous les mois (ou plus souvent) pour des cours en plein air
		Être utilisé par les habitants du quartier comme lieu de rencontre
		Disposer d'un calendrier de gestion et d'expérience avec des activités pour le quartier et l'école

Les données accessibles à travers notamment la littérature grise dont sont extraits les exemples ci-dessus ne fournissent pas de caractéristiques établies tant sur le plan géographique, que physique ou encore sur le plan écologique.

Le passage d'une méthode de reforestation développée par le botaniste Akira Miyawaki dans un contexte donné et destinée à assurer certains services écosystémiques au concept de « micro-forêt » tel qu'il est revendiqué aujourd'hui n'est pas documenté.

L'offre de « micro-forêts » telle qu'elle a été, d'une certaine manière, définie ne fait pas consensus. En Europe et particulièrement en France, la création de « micro-forêts » urbaines et péri-urbaines, la multiplication de ces projets sur le territoire est aujourd'hui sujet à un certain nombre de critiques (Segur, 2022) notamment d'acteurs de la recherche (Porté et al., s. d.). **Ces points de vigilance sont émis ci-dessous :**

- Une **micro-forêt**, étant donné sa **taille** et sa **jeunesse**, **ne peut pas être considérée comme une forêt** au sens écosystémique du terme. L'expression de **micro-écosystème**, **îlot boisé**, **bosquet** voir de **mini-bosquet** serait pour certains plus approprié ;
- Les programmes de « micro-forêts » annoncent des services rendus par ces plantations **sans que soient établis des éléments factuels** obtenus à partir de **méthodes reproductibles et comparées à des parcelles de référence** ;
- La méthode via notamment une forte densité de plantation peut être associée à une mortalité de jeunes plants non négligeable et donc à une **réduction des plants disponibles** à une échelle plus large mais également des **coûts** à une époque où les enjeux climatiques et de biodiversité nécessitent la mise en œuvre d'actions efficaces ;
- L'installation de plantations sur des milieux semi-naturels existants sans que soient évalués les services rendus par ces milieux semi-naturels en place est susceptible d'impacter certaines espèces et d'autres milieux associés à ces derniers.

Cet intérêt pour les « micro-forêts » qui se traduit à travers les éléments de définition et leurs limites s'observe également à travers la dynamique des publications d'articles sur ce sujet.

4 DYNAMIQUE DES PUBLICATIONS

4.1 LITTÉRATURE GRISE

Les articles de 15 quotidiens régionaux français traitant du thème des « micro-forêts » ont été comptabilisés sur les 10 dernières années à l'aide de l'outil de veille média Tagaday. Cette recherche a consisté à identifier les articles mentionnant les mots suivants : « micro-forêt », « Miyawaki », « mini-forêt », « boisement urbain » (ou des contractions de ces expressions comme « microforêt »).

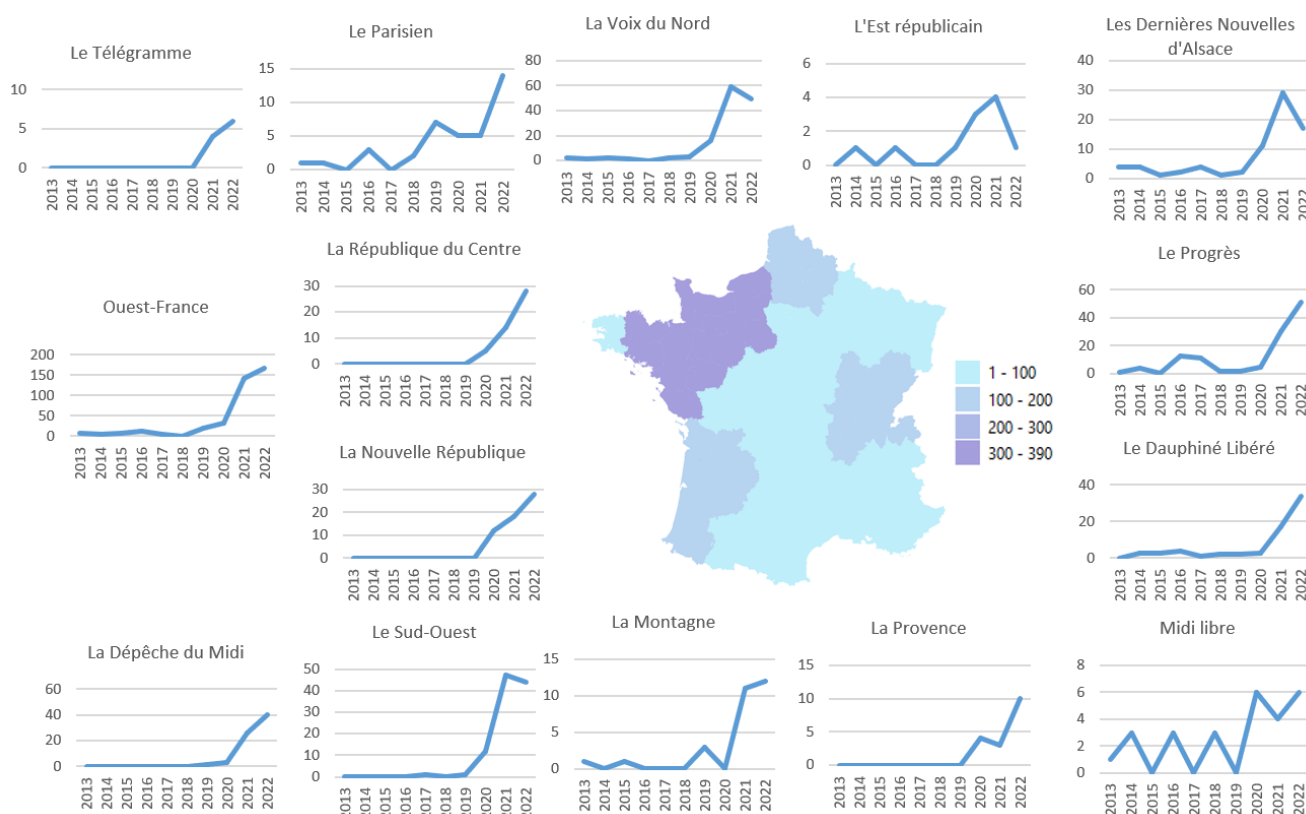


Figure 2. Nombre d'articles publiés contenant les mots « micro-forêt », « Miyawaki », « mini-forêt », « boisement urbain » dans une sélection de 15 journaux de la presse quotidienne régionale, par année (2013 à 2022).

Dans l'ensemble, cette médiatisation constitue un phénomène récent ; les premiers articles dans les journaux de la presse quotidienne régionale apparaissent en France dans les années 2018-2019 et augmentent significativement en 2020, 2021. On observe une légèrement inflexion en 2022 sur les territoires sur lesquels la médiatisation a été la plus active à savoir dans la partie **nord/nord-ouest du territoire métropolitain, au sud-ouest et centre-est** (les secteurs en violet et bleu foncé sur la figure 2 ci-dessus).

Cette tendance rejoint celle observée dans la presse quotidienne nationale et les autres médias de communication (presse, médias en ligne, réseaux sociaux). Notons ici qu'il convient de porter une attention à la courbe de tendance bien plus qu'au nombre total de publications, ces dernières étant susceptibles d'être relayées dans plusieurs médias et constituant à ce titre des doublons d'articles.

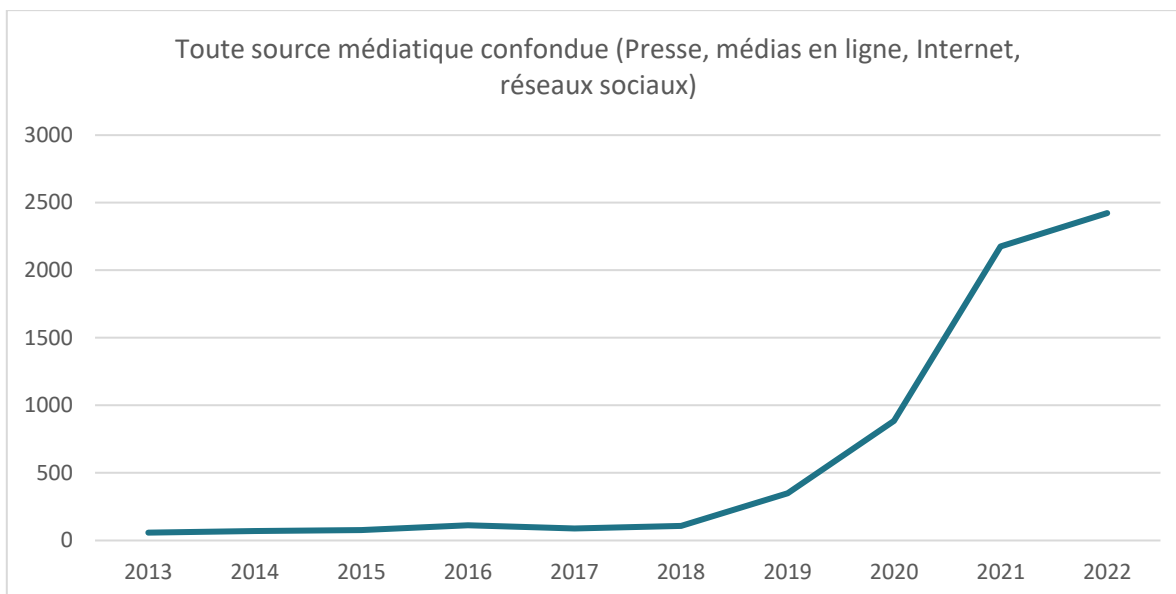


Figure 3. Nombre d'articles publiés contenant les mots « micro-forêt », « Miyawaki », « mini-forêt », « boisement urbain » dans la presse, les médias en ligne, sites internet et réseaux sociaux référencés sous Tagaday par année de 2013 à 2022

Au-delà de la médiatisation faite autour des « micro-forêts », l'étude d'autres indicateurs (comme la date de création, le nombre ou la taille des structures dédiées aux « micro-forêts » ou encore les politiques publiques consacrant une place aux plantations denses) permettrait d'identifier l'intérêt du sujet pour les territoires (notamment les collectivités) et le monde socio-économique (tel que les entreprises ou associations) pour les forêts urbaines de manière large ou plus particulièrement pour les « micro-forêts ». Cet aspect justifierait un approfondissement.

La prise en considération des « micro-forêts » en France est un phénomène récent qui émerge autour de 2018 au moment de la création des premières « micro-forêts » en France. C'est d'ailleurs à cette période que l'on observe des études et documents formalisant ce concept. Quant aux publications scientifiques disponibles, il convient d'étendre les recherches à l'international.

4.2 LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Une recherche a été menée afin d'identifier les articles scientifiques produits en Asie, aux Etats-Unis et en Europe parlant spécifiquement des « micro-forêts » ou d'un des termes revendiqués comme étant associés, à savoir : mini-forêt, tiny forest ou Miyawaki. A noter que nous avons ajouté les publications d'Akira Miyawaki auxquelles font référence les auteurs bien que ces dernières ne traitent pas à proprement parler de « micro-forêts » urbaines.

11 publications ont été ici retenues par nos soins mais il convient d'indiquer qu'il existe de nombreuses publications relatives aux forêts urbaines susceptibles d'alimenter le travail sur les « micro-forêts ».

Tableau 2. Dynamique des articles scientifiques relatifs aux « micro-forêts » et articles cités d'A. Miyawaki



A cette première liste, **peuvent également s'ajouter les études relatives aux forêts urbaines**. Ces études dont la liste ci-dessous n'est qu'une simple illustration non exhaustive ont l'intérêt d'apporter des éléments sur des services rendus par les forêts urbaines et a fortiori d'alimenter la réflexion quant à la définition même des « micro-forêts » ainsi qu'aux services rendus par ces dernières.

Tableau 3. Exemple d'études relatives aux forêts urbaines susceptibles d'alimenter la réflexion sur les « micro-forêts »

2004	Nowak, D. J., Kuroda, M., & Crane, D. E. (2004). Tree mortality rates and tree population projections in Baltimore, Maryland, USA. <i>Urban Forestry & Urban Greening</i> , 2(3), 139-147.	Une étude sur les facteurs (la taille, l'état de l'espèce et l'utilisation des terres) affectant la mortalité des arbres urbains sont examinés en prenant le cas des arbres dans la ville de Baltimore (Etats-Unis)
2006	Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A., & Randrup, T. B. (2006). Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. <i>Urban Forestry & Urban Greening</i> , 4(3), 93-103.	Une analyse comparative de la terminologie de la foresterie urbaine en Amérique du Nord et en Europe mettant en avant un consensus sur le caractère multifonctionnel et multidisciplinaire de la foresterie urbaine.
2010	Muñoz, I., Campa, P., & Fernández-Alba, A. (2010). Including CO2-emission equivalence of changes in land surface albedo in life cycle assessment. Methodology and case study on greenhouse agriculture. <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i> , 15, 672-681.	L'étude présente une méthodologie permettant d'inclure dans l'ACV, les impacts climatiques des modifications de la surface du sol (et de l'albédo associé), mesurés sous forme d'émissions d'équivalent CO ₂ ou de compensations d'émissions.
2019	Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Laforteza, R. (2019). Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? <i>Urban Forestry & Urban Greening</i> , 37, 3-12.	L'étude propose une analyse de la recherche et de la promotion des forêts urbaines et de leurs multiples fonctions associées et ce afin d'aborder les problèmes affectant les zones urbaines dans le monde entier. L'étude présente une série de critères qui pourraient être adoptés pour guider l'utilisation d'expressions associées.
2020	Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. <i>Building and Environment</i>	L'étude détaille les avantages thermiques et microclimatiques de différentes espèces d'arbres urbains selon leur taille, leur couverture de la surface du sol, l'essence ou encore la teinte des feuilles.

5 CONNAISSANCES ET ASSOCIATION D'IDÉES LIÉES AUX « MICRO-FORÊTS »

5.1 ARTICLES RELATIFS À LA RESTAURATION DE MILIEUX FORESTIERS SUR LE PRINCIPE DU POTENTIEL NATUREL DE VÉGÉTATION PUBLIÉS PAR A. MIYAWAKI - M. AMZAD

Dans l'article publié en 1993 (Miyawaki, 1993), l'auteur Akira Miyawaki reprend le processus de succession écologique (formulé par Clément en 1916), qu'il s'agisse d'une restauration naturelle ou dirigée ; à savoir la dissémination des espèces, la germination des plants, la croissance et les interactions avec d'autres espèces (compétition, prédation) et avec le milieu (susceptible d'intervenir dans le stockage d'eau ou l'érosion). Il fournit une définition de l'écologie de la restauration destinée à concevoir avec la nature pour tirer bénéfice des processus écologiques. Ceci passe par des opérations dirigées pour obtenir des communautés écologiques similaires à celles qui évoluent naturellement dans une biorégion donnée et selon des processus d'évolution, d'adaptation et de développement. Cet article fait état ensuite de la méthode mise en place sur 285 sites au Japon dans l'optique de réduire l'érosion, la pollution et les nuisances auditives et visuelles de sites industriels. L'auteur présente les étapes suivies, à savoir :

- 1) la connaissance de la végétation naturelle potentielle, qui correspond à la végétation qui prendrait forme hors de tout impact humain, concept établi à l'origine par R. Tüxen en 1956 ;
- 2) la compréhension de la germination et de l'établissement des espèces dominantes de la végétation naturelle potentielle ;
- 3) les méthodes de plantation d'un grand nombre de semis dans des lits de semences préparés sur le site.

Ces trois étapes seront reprises et précisées à un article publié en 1999. Elles ne sont pas détaillées ici. L'auteur parle dans l'article d'un taux de survie de 90% à 99% parlant des projets montés au Japon et d'une croissance des végétaux qui double la 1^{ère} année pour ensuite former une canopée fermée au bout de 5 ans. L'article ne fournit pas davantage de données chiffrées.

L'article publié en 1998 par l'auteur Akira Miyawaki fait état d'un certain nombre de travaux de restauration de milieux boisés, basés sur le concept de végétation naturelle potentielle. Il s'agit de 600 sites environ répartis au Japon, en Asie-du Sud-est (comme en Malaisie) et en Amérique latine (au Brésil et au Chili) sur lesquels l'auteur fait le constat d'un développement rapide de la végétation. Il mentionne par exemple que sur des secteurs où un pas de temps de 300 ans est nécessaire pour obtenir une végétation indigène multistrates et arborée, la méthode de plantation proposée permet d'obtenir en 25 ans de tels milieux, avec une strate arborée de 20 m de haut. L'auteur ne fournit pas ici de comparatif ni de précision quant aux expérimentations menées. (Miyawaki, 1998)

L'article publié en 1998 par Mohd Zaki Hamzah (Hamzah et al., 1998) décrit des travaux menés sur 5 ans comprenant la mise en place d'une plantation selon le protocole défini par Akira Miyawaki. Ces travaux ont eu lieu à Sarawak en Malaisie en 1993. Ils ont porté sur 3 types d'habitats : un milieu ouvert, un milieu de jachère et un talus aménagé. L'article décrit l'état initial établi à partir d'une étude phytosociologique, les étapes de plantations et les résultats issus du suivi effectué sur 5 ans. L'auteur indique qu'on observe une croissance plus importante des espèces héliophiles et précise le comportement de certaines espèces afin d'émettre des recommandations en matière de plantation basées sur les performances de croissances (diamètre, hauteur et taux de survie).

L'article publié par Akira Miyawaki en 1999 (Miyawaki, 1999) reprend certains des éléments de la publication précédente et précise la méthode lors de travaux afin d'obtenir des boisements multistrates indigènes dans des pas de temps inférieurs à ceux obtenus lors de plantations dites conventionnelles.

- › Le concept de « **végétation naturelle potentielle** » structure la méthode décrite dans l'article. Il s'agit, comme indiqué plus haut, de la végétation qui prendrait forme hors de tout impact humain, concept théorique établi à l'origine par R. Tüxen (Tüxen, 1956) et réinterrogé depuis par certains auteurs (Biondi, 2011), (Géhu, 2010). Pour déterminer cette végétation théorique, une étude comparative entre le site en question et les anciens massifs boisés dits « naturels » les plus proches est à mener. Il s'agit d'études consistant à qualifier les communautés végétales en place d'un point de vue floristique, écologique, dynamique, chorologique et historique, nommées aussi études phytosociologiques. L'étude sur des espaces dits « naturels » permet d'identifier les cortèges d'espèces indigènes ; rappelons ici que ces espèces représentent « le cortège floristique originel du territoire dans la période bioclimatique actuelle » (Toussaint et al., 2007) et de qualifier les dynamiques végétales. De cette évaluation, en découle la qualification des espèces à planter.
- › L'étape suivante consiste à collecter les graines et à assurer leur germination en godets jusqu'à obtenir des individus de 50 cm de haut.
- › Le sol du site de plantation fait l'objet d'une attention particulière. La présence d'une couche de terre végétale de 20 à 30 cm est visée et peut justifier l'apport de compost, de matières organiques (feuilles mortes, produits de fauche). Les semis en pots sont ensuite plantés sous forme de trame dense de 2 à 3 plants au mètre carré et privilégiant le mélange. Un paillage à partir de produits locaux disponibles est appliqué afin de réduire les pertes d'humidité.
- › Une coupe et un arrachage des herbacées sont également prescrits jusqu'à l'obtention de couverts arbustif et arboré de 2 à 3 m de haut, couvert qui limitera l'accès à la lumière aux espèces herbacées.

L'article fournit peu d'éléments chiffrés quant au développement des plants.

Deux figures (ci-après) illustrent l'évolution de la végétation sur une parcelle de 220 m² en Malaisie sur laquelle 480 individus ont été plantés en décembre 1992 (soit une densité de 2,65 arbres/m²). Après 5 ans, la hauteur des arbres et arbustes varie entre 1 m et 11 m avec une moyenne établie à 6 m tandis que le taux de mortalité est de 46%.

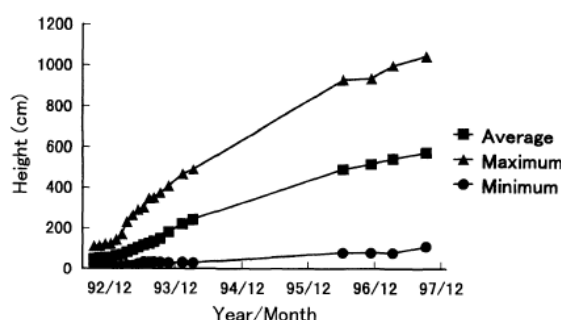


Fig. 3 Growth curve in height on PQ 203 in Bintulu, Sarawak, Malaysia.

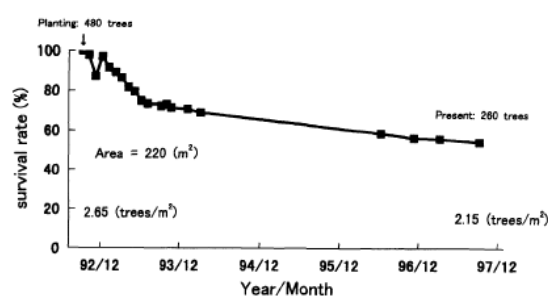


Fig. 4 Survival rate with passage time on PQ 203 in Bintulu, Sarawak, Malaysia.

Figure 4. Croissance et Taux de survie des plants, Sarawak, en Malaisie de 1993 à 1997 - Extrait d'article (Miyawaki, 1999)

L'article décrit les successions de végétation naturelles et les pas de temps associés à ces successions mettant en avant des particularités associées aux conditions pédoclimatiques des sites d'implantation. Ainsi, la succession végétale obtenue à travers une plantation dense mixte d'essences indigènes peut aboutir à une forêt semi-naturelle multistrate en 20 à 30 ans au Japon et en 40 à 50 ans en Malaisie au lieu de 100 ans à 200-300 ans dans la théorie classique de la succession.

L'article énonce également des services rendus par l'implantation de forêts denses d'espèces indigènes à savoir la réduction du risque d'incendie, du risque de chutes d'éléments constructifs lors des tremblements de terre ou encore d'impact avec des éléments constructifs lors de vents violents.

5.2 ARTICLE RELATIF À L'APPLICATION DU CONCEPT DE CRÉATION DE BOISEMENTS SELON LA MÉTHODE DE A. MIYAWAKI - PUBLIÉ PAR SCHIRONE

L'article publié en 2011 par Bartolomeo Schirone (Schirone et al., 2011) constitue une référence en matière d'évaluation du fonctionnement de restauration de forêts selon la méthodologie indiquée par A. Miyawaki. Il s'agit d'un travail réalisé par une équipe du département des technologies, de l'ingénierie et des sciences de l'environnement et de la foresterie à Université de la Tuscia (Università degli Studi della Tuscia) en Italie.

L'expérience s'est déroulée de 1997 à 2009 et a consisté en mettre en œuvre la méthode énoncée par A. Miyawaki sur 2 parcelles de 4500 m² et 1000 m² dans un contexte méditerranéen (en Sardaigne) caractérisé par l'aridité estivale et le risque de désertification.

Un travail, en amont de la plantation à proprement parler, a été entrepris pour encadrer cette dernière.

L'auteur précise les écarts faits à la méthode du botaniste A. Miyawaki, à savoir qu'un travail des 20-30 premiers centimètres du sol en place a été réalisé sans apport de sol extérieur ; sur l'une des deux parcelles, des bandes sans travail du sol ont également été maintenues. Les relevés effectués à l'année n+1, n+2 et n+12 ont été exploités. Ces relevés ont consisté à faire état des plants en place (hauteur, diamètre à hauteur de poitrine, taux de mortalité) et de la couverture végétale de l'ensemble des strates. Ces mêmes relevés ont été effectués sur deux parcelles reboisées selon des techniques couramment appliquées dans les pays méditerranéens. Les taux de mortalité des deux parcelles plantées (à une densité de 8600 plants/ha sur 4500 m² et 21 000 plants/ha sur 1000 m²) selon cette dernière méthode sont respectivement à l'année n+1 de 16% et 10%, à l'année n+2, de 23% et 23% et à l'année n+12 de 61% et 84%.

L'étude de l'évolution de la diversité en espèces montre une diminution de cette dernière sur les deux sites, passant respectivement de 22 et 23 espèces initialement à 20 et 9 espèces à l'année n+12. Les principales espèces forestières (de fin de succession) ont survécu à savoir le groupe de Chênes (Chênes vert, pubescent et liège) et le Pin maritime permettant d'atteindre des stades de végétation intermédiaires et terminaux (compte-tenu de la communauté végétale potentielle). Le suivi du nombre et de la hauteur des individus par espèce couplé à leur position au sein des parcelles a mis en évidence les phénomènes connus de compétition interspécifique et d'évolution naturelle de la végétation.

Les résultats ont été comparés à deux sites où des pratiques traditionnelles de reboisement ont été appliquées. Ces deux parcelles présentent les espèces plantées, le Chêne vert pour l'essentiel (354 et 200 plants/ha), des espèces arbustives spontanées accompagnées du Pin maritime qui constitue la couche supérieure. A l'exception du Pin maritime, la comparaison des sites montre que la hauteur moyenne des espèces communes aux sites, ne diffère pas de manière significative avec une prédominance du Pin maritime. Quant à la densité des plants sur les sites d'expérimentation, cette dernière est plus importante que sur les parcelles plantées à l'aide de techniques dites traditionnelles. À l'année n+12, elles sont respectivement de 1040 et 800 plants/ha sur les sites expérimentaux contre 242 plants/ha et 175 plants/ha sur les sites à plantations dites traditionnelles. Ce qui correspond à un rapport de 4 à 5 fois toutes espèces confondues et de 3 à 4,5 fois pour le Pin maritime.

Les résultats amènent l'auteur à indiquer que la méthode dite 'Miyawaki' appliquée dans un environnement méditerranéen aboutit à un développement plus rapide des arbres et notamment des espèces de début de succession ; résultats comparables à ceux obtenus en Asie et en Amérique du Sud par A. Miyawaki. Il apparaît que la faible densité des plants appliquée dans les techniques traditionnelles pour éviter la compétition pour les nutriments et l'eau ne permet pas de tirer bénéfice d'autres processus qui ont lieu au sein de plantations denses, à savoir les processus de coopération comme l'ombrage mutuel et de réduction de certains impacts comme la prédation de glands de Chênes, groupe qui constitue les espèces forestières de fin de succession. L'auteur met également en avant la nécessité d'étudier le coût de telles plantations (qui nécessite plus de main-d'œuvre et de plants).

5.3 ARTICLES RELATIFS À LA CORRESPONDANCE ENTRE LES ARGUMENTS ASSOCIÉS AUX « MICRO-FORÊTS » ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES PROCURÉS

L'Évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques (EFESE) et le Millenium Ecosystem Assessment (MEA) considèrent la ville comme un écosystème et ce, malgré sa forte dépendance avec les autres écosystèmes, l'impact de l'homme et son contrôle intensif. Un cadre a été posé définissant les services écosystémiques effectivement rendus par cet **écosystème urbain** (EFESE, 2018), à savoir : des **services de régulation, des fonctions écologiques et des services culturels**.

Un travail de **correspondance entre les arguments donnés en faveur des plantations nommées « micro-forêts » et les services écosystémiques procurés** par la végétation urbaine selon l'EFESE a été mené dans le cadre d'un mémoire de Master d'architecte paysagiste (Drillon, 2022). Il convient d'indiquer que cette correspondance ne signifie pas que ces services soient procurés par une « micro-forêt » ; elle permet d'organiser les attentes selon les services et fonctions qualifiés par l'EFESE. C'est à cet effet, que nous avons adopté dans la suite de cette note cette organisation.

Associés aux **services de régulation** et aux biens issus des écosystèmes, on trouve les arguments suivants :

- la régulation du climat global avec la fixation et le stockage du CO₂* ;
- la régulation du climat local avec diminution de la température de l'air autour d'une plantation pendant les jours de forte chaleur* ;
- la régulation des inondations via la rétention en eau* ;
- la réduction des nuisances sonores ;
- l'amélioration de la qualité de l'air ;
- la production de biens alimentaires.

Associés aux **fonctions écologiques** de l'écosystème urbain, on trouve les arguments suivants :

- l'augmentation de la biodiversité locale* ;
- la recréation d'un écosystème forestier ;
- la recréation d'une forêt primaire ou naturelle ;
- la rapidité de croissance*, l'autonomie, la résilience de la forêt.

Associés aux **services culturels** et au **patrimoine naturel**, on trouvera les arguments suivants :

- la création d'un lieu de rencontre, de socialisation lors de la plantation ou de l'entretien* ;
- la création d'un lieu d'apprentissage, de sensibilisation à la nature et à l'environnement* ;
- l'amélioration du cadre de vie d'un point de vue plus "emblématique", la reconnexion à la nature.

Nous présenterons ci-après des éléments issus d'articles scientifiques publiés spécifiquement sur les « micro-forêts » urbaines en les organisant selon les services et fonctions indiqués ci-dessus. A noter que ces articles ne permettent d'illustrer que certains services et fonctions listés ci-dessus ; il s'agit de ceux annotés d'un astérisque (*).

Enfin, il convient d'indiquer que les services écosystémiques des habitats semi-naturels des milieux urbains et des milieux forestiers font l'objet de nombreux travaux et articles qui pourraient alimenter la réflexion sur les « micro-forêts ». Toutefois ces derniers ne sont pas repris ici ; l'objet de cette note étant de dresser un panorama des articles scientifiques publiés sur le sujet des « micro-forêts » à proprement parler. Au besoin, pour la compréhension des services écosystémiques abordés, quelques références sont toutefois précisées.

5.3.1 SERVICE DE RÉGULATION DU CLIMAT GLOBAL

Par leur **capacité de séquestration du carbone**, la végétation urbaine ainsi que les sols peuvent participer à l'atténuation du réchauffement climatique global. Au sein de ce service de régulation du climat global joué par les écosystèmes urbains, il convient de distinguer deux sous-catégories : le **stockage de carbone** et la **fixation du carbone**. Précisons aussi que les écosystèmes urbains (au même titre que les autres écosystèmes) sont aussi une source de gaz à effet de serre (respiration de la végétation, décomposition de la matière organique).

Le **stockage de carbone** correspond à la masse de carbone qui se retrouve stocké dans les compartiments aérien et souterrain de l'écosystème au fil des années. Le stockage n'est jamais permanent et du CO₂ peut être restitué pendant la phase de sénescence des végétaux ou lors de la minéralisation du sol. Bien que le stockage ne soit pas permanent, il contribue à retarder l'effet de serre et à réguler les températures.

La **fixation de carbone** représente, quant à elle, le **flux de carbone présent dans un écosystème pendant un temps donné**, par exemple une année. Le flux **résulte** de processus écologiques tels que la **photosynthèse**, la **respiration** ou la **décomposition** de la matière organique **dans les sols**.

L'étude menée **en 2017 aux Pays-Bas par le Centre de recherche environnemental de Wageningen** (Ottburg et al., 2017) sur deux « micro-forêts » implantées en 2015 et 2016 a, entre autres, portée sur l'étude de la **séquestration du carbone dans le sol**. La méthode est explicitée mais les données chiffrées ne sont pas détaillées ; les données ont été croisées avec l'étude de la faune du sol afin de qualifier la nature de sol en place.

Des modèles (Tang et al., 2014) permettent d'évaluer la capacité de **séquestration du carbone** pour tenir compte de la variation du taux de séquestration du carbone en fonction de l'âge de la forêt (Köhl et al., 2017) et des valeurs autour de 6 tonnes par hectare de forêt par an, avec une variation de deux à trois tonnes sont mentionnées par certains auteurs (Boosten et al., 2020). Toutefois, les **données expérimentales sur les taux de séquestration du carbone en fonction de l'âge spécifique d'une forêt sont limitées**. Tyrrell (Tyrrell et al., 2012) souligne que les jeunes forêts ont des taux de séquestration du carbone plus élevés que les forêts d'âge moyen ou avancé et que les taux atteignent leur maximum à un âge compris entre 11 et 30 ans. Ceci n'est sans compter le taux de mortalité des espèces, la régénération spontanée mise en avant par certains auteurs (Nowak et al., 2004) ou encore le type de croissance des arbres (hauteur vs. diamètre).

Directement centrée sur les « micro-forêts », une étude menée au Pays-Bas par le **centre de recherche environnemental Wageningen (WENR)** sur **11 « micro-forêts »** au cours de la période 2018-2021 (Ottburg et al., 2022) fait **état d'une séquestration moyenne de CO₂ de 127,5 kg CO₂-eq par an pour les « micro-forêts » âgées de 1 à 5 ans**. Selon l'auteur, il s'agit de la séquestration moyenne de CO₂ d'une forêt néerlandaise. Les méthodes d'évaluation de cette séquestration sont indiquées dans l'article en se référant à la méthode de calcul de Jansen (Jansen et al., 1996) (volume sur pied de bois) avec une approche estimative en raison de la diversité des espèces d'arbres. Ce calcul s'effectue à partir de la mesure du diamètre à hauteur de poitrine (1,30 m ; dbh) et de la hauteur des arbres sur des placettes positionnées sur 2 transects. Un facteur d'expansion (de 0,908) (Arets et al., 2023) correspondant à des bois durs, est affecté afin d'obtenir la masse totale de biomasse ligneuse aérienne et souterraine. La masse de carbone séquestrée a ensuite été calculée en utilisant la teneur en carbone de la biomasse. La plupart des « micro-forêts » sont constituées d'arbres à feuilles caduques, et c'est donc la teneur en carbone du bois de feuillus qui a été utilisée (48 %) (Arets et al., 2023). Pour convertir la masse de carbone en équivalent CO₂ (CO₂eq), elle a été multipliée par la masse moléculaire du dioxyde de carbone (CO₂) divisée par la masse de carbone (C). Pour obtenir une séquestration annuelle moyenne de CO₂ dans la biomasse, la masse de CO₂eq séquestrée a été divisée par l'âge au moment de la mesure de chaque Tiny Forest.

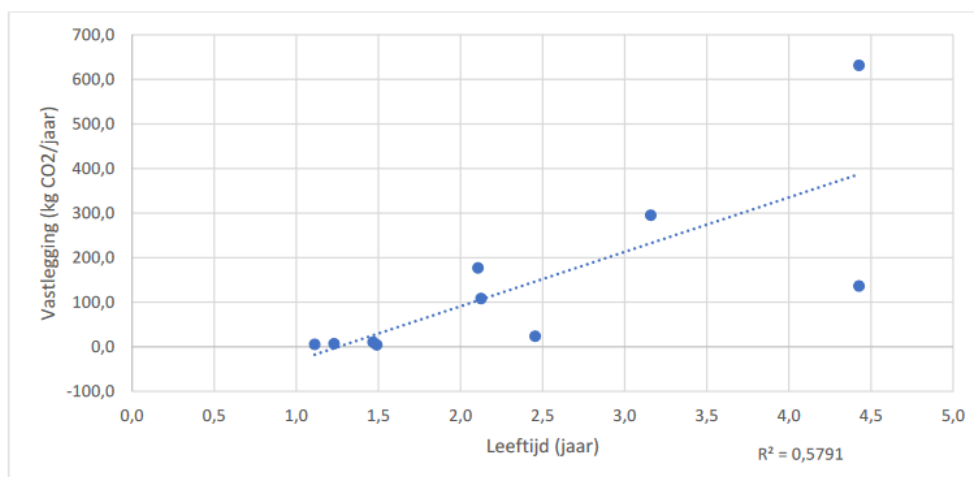


Figure 5. Séquestration du CO₂ – selon l'âge (année) (en abscisse) des « micro-forêts » - Extrait d'article (Ottburg et al., 2022)

L'étude conclut sur le fait que les « micro-forêts » contribuent faiblement à la réduction des concentrations de CO₂ dans l'air. Aucune comparaison à des parcelles de référence n'a été ici effectuée. L'auteur cite comme référence les émissions moyennes d'un être humain sur terre d'environ 4,4 tonnes de CO₂ par an, sans compter les émissions liées à l'utilisation des sols et les gaz à effet de serre autres que le CO₂.

Une **étude a été produite en 2021** en Hongrie (Szabo, 2021) portant, entre autres, sur l'analyse d'effet d'une « micro-forêt » implantée sur 40 m² à travers une mesure de l'activité photosynthétique des plants après 1 année ; sans que celle-ci ne soit traduite en termes de captation du carbone.

A ce stade, les études publiées relatives aux services de régulation globale des « micro-forêts » ne démontrent pas que ces dernières remplissent des services notables en la matière. Le sujet est particulièrement complexe et dépasse le simple cadre des « micro-forêts » comme l'illustrent par exemple les échanges sur un article publié dans Sciences qui a fait l'objet d'un erratum correctif (Bastin et al., 2020) et portant sur le potentiel de restauration des milieux forestiers à l'échelle mondiale dans l'optique de contribuer à capturer le carbone atmosphérique et à atténuer le changement climatique.

5.3.2 SERVICE DE RÉGULATION DU CLIMAT LOCAL

Les milieux végétalisés et notamment arborés participent à **réguler la température locale** grâce à plusieurs phénomènes.

Le **rayonnement solaire** entrant est **en partie réfléchi par les surfaces, selon leur nature**. La **quantité de rayonnement non réfléchi est absorbée** pendant la journée et **transformée en chaleur** (ou rayonnement à ondes longues : infrarouges) ; chaleur qui est libérée pendant la nuit et qui empêche l'air de se refroidir. Cette capacité qui est propre à chaque surface s'exprime à travers une valeur - **l'albédo** – allant de 0 pour un corps qui absorbe toute lumière à 1 pour les réflecteurs parfaits. Les **valeurs d'albédo pour les zones urbaines se situent entre 0,10 et 0,27** avec par exemple les routes goudronnées noires présentant un albédo de 0,10 tandis que **l'albédo d'une « micro-forêt » se situe dans une fourchette similaire de 0,10 à 0,20**. Ainsi, en remplaçant une surface en brique rouge (avec un albédo de 0,3) par une petite forêt, l'albédo passe de 0,30 à 0,15. Or ces changements d'albédo (issus des modifications de la couverture terrestre) contribuent à modifier le bilan énergétique de la Terre. Aucune étude relative au phénomène de réverbération des surfaces spécifique aux « micro-forêts » n'a été identifiée, toutefois des études sur la modélisation de l'albédo des forêts sur le territoire français métropolitain existent (Planque, 2019) et d'autres permettant de convertir les changements d'albédo par forçage radiatif en émissions ou compensations d'équivalent CO₂ (Muñoz et al., 2010).

Les deux autres phénomènes rentrant en jeu dans la régulation du climat local, sont **l'évapotranspiration** (avec le passage de l'eau de l'état liquide à gazeux qui consomme de l'énergie) et la **modification des mouvements de l'air** par la présence d'arbres qui augmente localement la rugosité et limite la force de pénétration du vent dans les bâtiments, selon la proximité des milieux végétalisés avec le tissu urbain.

Ces phénomènes sont relativement bien connus, notamment par le biais d'une méta-analyse des travaux portant sur les traits des arbres urbains responsables de leur contribution au climat local (Rahman et al., 2020). Dans ce cadre, des mesures de température de surface sous la canopée (ST) et de refroidissement par évapotranspiration (AT) issues de différentes études ont été assemblées et analysées pour en déduire des enseignements généraux. La **densité du couvert végétal** a été clairement identifiée comme le **facteur** le plus **influent** sur les différents **mécanismes de refroidissement**. Deuxièmement, le **climat des villes où les arbres ont été cultivés a eu un impact significatif sur le potentiel de refroidissement** : les arbres cultivés dans les climats océaniques et continentaux ont montré un potentiel de refroidissement plus élevé que les arbres cultivés dans les climats méditerranéens pour l'AT et les climats subtropicaux pour la ST. Troisièmement, la croissance des arbres en termes de **taille et de couverture de la surface du sol a un impact significatif**. La ST diminue presque linéairement avec l'augmentation de la densité de la canopée ; cependant, le taux est significativement plus bas sur les surfaces herbeuses transpirantes. La **transpiration des arbres plantés sur de l'herbe** était dix fois plus élevée ($4,15 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$) que **celle d'un arbre planté dans des fosses pavées** ($0,44 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$). En outre, **l'anatomie du bois** poreux diffus et les arbres originaires de **forêts tempérées** et riches en ressources ont montré un meilleur potentiel de refroidissement. Parmi les caractéristiques des feuilles, les **feuilles vert foncé**, d'une **épaisseur inférieure à 0,15 mm**, présentaient des **avantages** plus importants **en termes d'AT et de ST**.

Concernant les « **micro-forêts** », citons **deux études** qui se sont penchées sur la régulation du climat local.

Une **étude** (Szabo, 2021) **a été produite en 2021** portant sur l'analyse des effets d'une « micro-forêt » implantée sur 40 m^2 en matière de fraîcheur (par évapotranspiration) et de captation du carbone. Le nombre de feuilles, la moyenne de la surface foliaire totale ont été comptés et la hauteur totale et la surface foliaire individuelle ont été mesurées sur toutes les espèces. L'activité photosynthétique et l'émission de vapeur d'eau ont été mesurées sur les arbres lors de deux journées différentes de chaleur estivale (juillet) et un mois plus tard (septembre) avec le LCI (analyseur de gaz infrarouge IRGA). Les données ont été enregistrées entre 11 et 15 heures. L'analyseur compte automatiquement l'activité photosynthétique en $\text{mol/m}^2 \cdot \text{sec}$ et l'évaporation en $\text{mmol/m}^2 \cdot \text{sec}$ qui sont calculées en g/m^2 et l/m^2 sur une période de deux heures. Les données montrent des différences entre les espèces et les jours.

L'étude menée de 2018-2021 aux Pays-Bas par le Centre de recherche environnemental Wageningen (WENR) sur 11 « micro-forêts » (Ottburg et al., 2022) a permis d'évaluer la contribution des « micro-forêts » à lutter contre le stress thermique dans les zones urbaines. Pour ce faire, la température du sol et de l'air a été mesurée mensuellement au cours de la période 2020-2021 à l'intérieur et à l'extérieur des « micro-forêts ». La méthode utilisée est explicitée et les résultats montrent que tout au long de l'année au sein de la micro-forêt, la température du sol est inférieure de $6,1 \pm 7,7^\circ\text{C}$ par rapport à la rue et de $2,6 \pm 4,1^\circ\text{C}$ par rapport aux milieux herbacés. En été, la température du sol est inférieure de $13,1 \pm 6,9^\circ\text{C}$ dans la « micro-forêt » par rapport à la rue et de $6,0 \pm 4,0^\circ\text{C}$ par rapport à l'herbe. **La température de l'air, tout au long de l'année, dans les « micro-forêts » est en moyenne inférieure de $0,29 \pm 0,09^\circ\text{C}$ par rapport à la température de la rue**. En été, cette différence était de $0,09 \pm 0,43^\circ\text{C}$. Des variations s'observent entre les « micro-forêts ».

5.3.3 LA RÉGULATION DES INONDATIONS VIA LA RÉTENTION EN EAU

Dans la ville, les surfaces imperméabilisées combinées à de fortes précipitations accentuent les difficultés d'évacuation d'eau. Les éléments verts tels que les toits végétalisés, les noues, les accotements enherbés et les massifs arbustifs ou arborés contribuent à la collecte de l'eau et à l'infiltration dans le sol de la ville. Il a été calculé que **plus de 8 millions de litres d'eau ont été captés par les 11 parcelles forestières étudiées dans l'étude menée de 2018-2021 au Pays-Bas par le centre de recherche environnemental Wageningen (WENR) (Ottburg et al., 2022)**. Aucune comparaison à des parcelles de référence n'a été ici effectuée.

5.3.4 FONCTIONS ÉCOLOGIQUES – AUGMENTATION DE LA BIODIVERSITÉ LOCALE

Aux Pays-Bas, des inventaires ont été coordonnés par le Centre de recherche environnemental de Wageningen en 2017. Les méthodes et résultats ont été publiés (Ottburg et al., 2017). Ces inventaires ont porté sur deux « micro-forêts » implantées en 2015 et 2016 sur la commune de Zaandam (en périphérie de Amsterdam, dans un parc) ainsi que sur deux parcelles boisées de référence (situées à proximité). L'une des « micro-forêts » a été implantée sur le principe de Shubhendu Sharma (Bleichrodt et al., 2019) qui découle du concept d'Akira Miyawaki tandis que sur la seconde parcelle, des arbustes à fruits ont été privilégiés.

Plusieurs groupes de la faune et de la flore ont été étudiés.

La **faune du sol** a été étudiée à partir de 3 campagnes d'analyses pédologiques.

Des relevés (au niveau de 15 plaques de relevés posées au sol) et des points d'observation ont été effectués afin d'inventorier **l'entomofaune (jusqu'au genre)**, **l'herpétofaune**, les **amphibiens** et les **mammifères** avec une pression d'échantillonnage allant de 1 passage minimum par mois (pouvant monter à 6 passages en raison de 6 groupes d'observateurs bénévoles) entre le mois de janvier et décembre. Des points d'observations de 15 min et des transects ont été réalisés afin d'identifier **l'avifaune**. Les prospections ont été menées de manière mutualisée avec l'étude des autres groupes.

Le nombre d'espèces et d'individus ont été notés.

La flore (non plantée) a été également étudiée à travers un relevé réalisé lors de 4 passages par an (réparties sur la saison de croissance) et ce, sur 3 placettes de relevés (suivies d'année en année).

Ces relevés montrent que la biomasse des champignons et des bactéries, exprimée en microgrammes de carbone (C) par gramme de sol, est, en quantité, assez similaire. **La biomasse des champignons mesurée sur les 2 « micro-forêts » est respectivement de 113 et 94 microgrammes de carbone/g de sol ce qui est relativement proche de celle mesurée (à 119) dans les forêts mixtes sur sols sablonneux du Réseau national de surveillance de la qualité des sols.** Le constat est similaire pour la biomasse en bactéries qui s'élève à 26 et 24 µg C/g au sein des « micro-forêts » tandis que celle mesurée dans les forêts mixtes sur sols sablonneux est de 28 µg C/g.

L'auteur indique que le sol observé sur les « micro-forêts » présente des quantités de champignons et de bactéries correspondant en proportion à celles de forêts mixtes sur sols sablonneux. La comparaison des résultats entre les 2 « micro-forêts », amène l'auteur à émettre l'hypothèse que ceci s'explique par l'application généreuse de copeaux de bois et de paille qui stimule la croissance des champignons (ratio champignons-bactéries élevé), ce qui est bénéfique à la séquestration du carbone. **Les résultats varient au cours de l'année ; d'autres paramètres** tel que la teneur en eau du sol et/ou à l'évolution de la faune du sol (non mesurée) étant **susceptibles d'intervenir.**

176 espèces de la faune ont été observées et une liste d'espèces a été dressée. Les espèces floristiques ont été comptabilisées également. **Le nombre de groupes d'espèces et le nombre d'individus sont généralement plus élevés au sein des « micro-forêts » que dans les forêts de**

référence en raison d'une structure plus ouverte, moins dense et d'une gamme de plantes à fleurs plus étendue. Aucun détail n'est fourni quant à la forêt de référence (surface, localité, composition).

L'auteur indique que les « micro-forêts » ont été implantées dans un parc et non dans un milieu urbain dense à proprement parler, expliquant la diversité biologique observée tant dans le sol qu'en surface ; à cet effet, des études complémentaires sur des « micro-forêts » dans des contextes urbains denses méritent d'être menées selon l'auteur.

Une publication faite en 2022 par le même Centre de recherche environnemental Wageningen (WENR) fait état de la biodiversité au sein de 11 « micro-forêts » au cours de la période 2018-2021. (Ottburg et al., 2022). La méthode d'inventaires est précisée et est proche de celle décrite dans l'article publié en 2017 et décrit précédemment. Des relevés (au niveau de 15 plaques posées au sol) et des points d'observation ont été effectués afin d'inventorier l'entomofaune (jusqu'au genre), l'herpétofaune, les amphibiens et les mammifères avec une pression d'échantillonnage de 1 passage minimum par mois par un écologue. Des points d'observations de 15 min et transects ont également été réalisées afin d'identifier l'avifaune. Les prospections ont été menées de manière simultanée avec l'étude des autres groupes. Tout comme la publication précédente, le nombre d'espèces et d'individus ont été notés.

Pour l'étude de la flore, un passage par mois a été réalisé en 2020 par des bénévoles ainsi qu'un passage réalisé par un botaniste formé au mois de mai 2020. L'inventaire a consisté à relever les espèces et leur abondance selon l'échelle de Tansley (Tansley, 1946) (d=dominant, c=co-dominant,...).

Au global, les inventaires ont été réalisés par des naturalistes compétents (pour 40%) et par des bénévoles et étudiants (pour 60%).

En moyenne, par micro-forêt, ont été observées 271 (+/- 101) espèces de plantes, d'animaux, de lichens et de champignons avec un minimum à 121 espèces et un maximum à 425 espèces. Cette étude ne mentionne pas le nombre d'espèces notées par les mêmes méthodes de prospection dans les parcelles de références.

L'étude s'intéresse également à l'évolution des populations dans le temps tout en indiquant une limite à cette interprétation liée à la durée des suivis. Sur les 11 « micro-forêts » : 2 forêts sont suivies depuis 5 ans, 3 forêts sont suivies depuis 4 ans tandis que les autres « micro-forêts » sont suivies depuis 3 ans.

Sur la période 2018-2021, est observé au sein des « micro-forêts », un changement dans les groupes et le nombre d'espèces. Par exemple, les espèces (groupes) qui affectionnent les zones ensoleillées, comme les araignées-loups, diminuent à mesure que la forêt se densifie, et inversement, les espèces (groupes) qui bénéficient de l'évolution du milieu sont celles qui affectionnent les milieux ombragés comme les cloportes et les escargots. Il s'agit d'espèces telles que le cloporte commun (*Armadillidium vulgare*), le cloporte rugueux (*Porcellio scaber*), le *lithobius forficatus*, le grand grimpeur (*Haplophilus subterraneusen*) et le mille-pattes noir (*Tachypodoiulus niger*).

En ce qui concerne la faune du sol, le nombre de vers de terre semble augmenter avec le temps et le développement de la plantation. Au cours de la cinquième année, l'article indique une légère diminution potentiellement dû à un l'été chaud et sec en 2021. Ce sont principalement des vers à tête bleue (*Lumbricus rubellus*) qui ont été trouvés.

Le suivi montre également que les situations d'implantation des « micro-forêts » et leur fréquentation jouent un rôle visible sur la biodiversité. Les indices de présence de la faune du sol les plus faibles sont obtenus pour une « micro-forêt » accessible aux enfants depuis la cour d'école tandis que les indices les plus élevés sont notés pour notamment une « micro-forêt » inaccessible située dans un parc.

A noter que des inventaires naturalistes sont réalisés (Larquier, 2023) au sein de « micro-forêts » en France sans que les résultats soit à ce stade publiés dans leur ensemble.

5.3.5 SERVICES CULTURELS - CRÉATION D'UN LIEU DE RENCONTRE ET AMÉLIORATION DU CADRE DE VIE

On voit également apparaître en France plus récemment des études s'interrogeant sur la place réservée au paysage et sur le lien entre paysage et végétalisation citoyenne lors de l'aménagement de « micro-forêts ». Les actions d'un collectif sur l'agglomération de Toulouse ont notamment été analysées (Lacombe, 2022) mettant en avant une **approche avant tout d'ordres technique et écologique** des « micro-forêts » bien que la notion de paysage soit utilisée lors de la création de supports écrits ou par des professionnels du paysage associés à ces actions.

Une étude a été réalisée en 2022 (Drillon, 2022) comprenant un **questionnaire diffusé aux membres de réseaux ayant participé à la création de 3 « micro-forêts » en France et en Belgique**. 40 personnes ont répondu à ce questionnaire.

L'attente d'un service exprimé par les répondants du questionnaire est systématiquement supérieure (de quelques pourcents à plus de 40) à la perception du service en question.

Les justifications de création de « micro-forêts » ne correspondent pas aux attentes réelles de ceux côtoyant les projets au quotidien, sauf sur le sujet des fonctions écologiques.

Concernant l'attente des services culturels de ceux côtoyant les projets au quotidien, l'auteur observe une différence de 41% entre la fréquence avec laquelle ces arguments dans la communication officielle sont mentionnés et le score moyen obtenu. Les services culturels sont nettement plus attendus que ce que ne laisse penser la communication officielle faisant la promotion des « micro-forêts ».

Au contraire, les services de régulation sont bien moins attendus : la différence est cette fois de 34%, ce qui reste significatif.

L'auteur conclut en indiquant que « **les services culturels fournis par les plantations Miyawaki sont bien plus perçus que ne le sont les services de régulation. Ils sont aussi plus attendus.** Ces atouts sont pourtant nettement moins mis en avant dans la communication officielle, peut-être à cause « du caractère moins objectivable de telles affirmations ou du fait qu'elles soient moins durables. Les fonctions écologiques évoquées relèvent plus du fantasme que de la réalité. »

5.3.6 SERVICES CULTURELS - CRÉATION D'UN LIEU D'APPRENTISSAGE, DE SENSIBILISATION À LA NATURE ET À L'ENVIRONNEMENT

La **publication faite en 2022** (Ottburg et al., 2022) par le **centre de recherche environnemental Wageningen (WENR)** s'interroge sur la place de la science participative citoyenne dans l'évaluation et la gestion des « micro-forêts » urbaines.

La mise en place des « micro-forêts » par l'Institut pour l'éducation à la Nature et à la durabilité (l'IVN Pays Bas) prévoit une implication du citoyen pour l'implantation et le suivi de ces espaces. Le suivi du nombre de passages effectués par des bénévoles dans le cadre des inventaires est un indicateur de l'intérêt de cet espace en tant que lieu d'apprentissage.

L'étude fournit un tableau des fréquences de passage entre 2017 et 2021 et indique que si les inventaires avaient reposé uniquement sur les observations des volontaires, certaines données seraient manquantes. L'auteur indique que les actions de communication et de mobilisation de l'Institut pour l'éducation à la Nature et à la durabilité a eu un effet sur la fréquence du suivi ainsi que l'épidémie de Covid-19 dans une certaine mesure.

6 ANNEXE : SYNTHÈSE DES ARTICLES SÉLECTIONNÉS

Ces articles retenus dans le cadre de cette note sont ici listés accompagnés d'une synthèse.

Année	Titre de la publication	Éléments clés identifiés
1993	Miyawaki A (1993) Forest reconstruction as ecological engineer	L'article fournit une définition de l'écologie de la restauration de milieux boisés basée sur un processus de succession écologique guidé. L'auteur indique que la méthode a été appliquée sur 285 sites au Japon. Aucune description méthodologique ou de résultats chiffré n'est fourni dans cet article.
1998	Miyawaki, A. (1998) Restoration of Urban green environments based on the theories of végétation ecology	Cet article cite les travaux de restauration de milieux boisés sur 600 sites répartis au Japon , en Asie du Sud-est (comme en Malaisie) et en Amérique latine (au Brésil et au Chili) basée sur le concept de végétation naturelle potentielle . L'auteur mentionne comme résultat : l'obtention, en 25 ans, de milieux arborés multistrates indigènes de 20 m de haut dans les zones d'implantation des projets (en zone tropicale et sub-tropicale). La méthode de mesure n'est pas indiquée.
1998	Hamzah, M. Z., Alias, M. A., & Fujiwara, K. (1998). Rehabilitation of tropical rainforests Based on Potentiel Natural Vegetation Species of Degraded Areas in Sarawak, Malaysia	L'article décrit les travaux de plantations à Sarawak en Malaisie en 1993 selon le protocole défini par Akira MIYAWAKI. Ces travaux ont porté sur 3 sites : un milieu ouvert, un milieu de jachère et un talus aménagé. Un suivi sur 5 ans a été réalisé. L'article décrit l'état initial mené à partir d'une étude phytosociologique, les étapes de plantations et les résultats issus du suivi sur 5 ans. L'auteur indique qu'on observe une croissance plus importante des espèces héliophiles et précise le comportement de certaines espèces avant d'émettre des recommandations en matière de plantation basées sur les performances de croissances (diamètre, hauteur et taux de survie).
1999	Miyawaki, A. (1999). Creative Ecology : Restoration of Native Forests by Native Trees.	L'article reprend certains des éléments de la publication de 1998 et précise la méthode de restauration appliquée afin d'obtenir des boisements multistrates indigènes dans des pas de temps inférieurs à ceux obtenus lors de plantations dites conventionnelles. La méthode de mesure des résultats n'est pas indiquée.
2011	Schirone, B., Salis, A., & Vessella, F. (2011). Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs. Landscape and Ecological Engineering, 7(1), 81-92.	L'article décrit la méthode et les résultats obtenus à l'issue d'une expérimentation d'une plantation selon la méthodologie indiquée par A. Miyawaki accompagnée d'un suivi à n+1, n+2 et n+12 dans un contexte méditerranéen, en Sicile. Les éléments partagés permettent de reproduire le test. Sur les deux parcelles plantées , l'étude montre que la diversité diminue , que le taux de mortalité augmente avec un taux à l'année n+1 de 10 à 16%, à l'année n+2, de 23 à 35% et à l'année n+12 de 61% et 84% avec toutefois les principales espèces forestières (de fin de succession) qui ont survécu . La comparaison avec des parcelles plantées de manière conventionnelle amène les auteurs à noter que la méthode indiquée par A. Miyawaki permet de tirer bénéfice de certains processus de coopération comme l'ombrage mutuel et de réduction de l'impact de la prédation de glands de Chênes, groupe qui constitue les espèces forestières de fin de succession. L'auteur met également en avant la nécessité d'étudier le coût de telles plantations (qui nécessite plus de main-d'œuvre et de plants).
2017*	Ottburg, F., PE&RC, Alterra - Animal ecology, Alterra - Biodiversity and policy, Lammertsma, D., Bloem, J., Dimmers, W., Jansman, H., & Wegman, R. (2017). Tiny Forest Zaanstad : Citizen science en het bepalen van biodiversiteit in Tiny Forest Zaanstad. Wageningen Environmental Research.	Cette étude a été menée au Pays-Bas par le centre de recherche environnemental Wageningen (WENR) sur 2 « micro-forêts » implantées en 2015 et 2016 ainsi que sur deux parcelles boisées de référence (situées à proximité). En ce qui concerne la séquestration du carbone dans le sol , la méthode est explicitée mais les données chiffrées ne sont pas détaillées ; les données ont été croisées avec l'étude de la faune du sol afin de qualifier la nature de sol en place. Plusieurs groupes de la faune et la flore ont été étudiés. La faune du sol a été étudiée à partir de 3 campagnes d'analyse pédologique. Des relevés (au niveau de 15 plaques de relevé posées au sol) et des points d'observation ont été effectués afin d'inventorier l'entomofaune (jusqu'au genre), l'herpétofaune, les amphibiens et les mammifères avec une pression d'échantillonnage allant de 1 passage minimum par mois (pouvant monter à 6 passages en raison de 6 groupes d'observateurs bénévoles) entre le mois de janvier et décembre. Des points d'observations (de 15 min) et des transects ont été réalisés afin d'identifier l'avifaune. Les prospections ont été menées de manière mutualisée avec l'étude des autres groupes.
	(en 2018* la publication sera éditée en langue anglaise : Tiny Forest Zaanstad : citizen science	

Année	Titre de la publication	Éléments clés identifiés
	and determining biodiversity in Tiny Forest Zaanstad	Le nombre d'espèces et d'individus ont été notés. La flore (non plantée) a été également étudiée à travers un relevé réalisé lors de 4 passages par an (réparties sur la saison de croissance) et ce, sur 3 placettes de relevés (suivies d'année en année). Ces relevés montrent que la biomasse des champignons et des bactéries, exprimée en microgrammes de carbone (C) par gramme de sol, est assez similaire aux quantités. La biomasse des champignons mesurée sur les 2 « micro-forêts » est respectivement de 113 et 94 microgrammes de carbone/g de sol ce qui est relativement proche de celle mesurée (à 119) dans les forêts mixtes sur sols sablonneux du Réseau national de surveillance de la qualité des sols. Le constat est similaire pour la biomasse en bactéries qui s'élève à 26 et 24 µg C/g au sein des « micro-forêts » tandis que celle mesurée dans les forêts mixtes sur sols sablonneux est de 28 µg C/g. L'auteur indique que le sol observé sur les « micro-forêts » présentent des quantités de champignons et de bactéries correspondant en proportion à celles de forêts mixtes sur sols sablonneux. La comparaison des résultats entre les 2 « micro-forêts », amène l'auteur à émettre l'hypothèse que ceci s'explique par l'application génèreuse de copeaux de bois et de paille qui stimule la croissance des champignons (ratio champignons-bactéries élevé), ce qui est bénéfique à la séquestration du carbone. Les résultats varient au cours de l'année ; d'autres paramètres tel que la teneur en eau du sol et/ou à l'évolution de la faune du sol étant susceptibles d'intervenir. 176 espèces de la faune ont été observées et une liste d'espèces a été dressée. Les espèces floristiques ont été comptabilisées également. Le nombre de groupes d'espèces et le nombre d'individus sont généralement plus élevés au sein des « micro-forêts » que dans les forêts de référence en raison d'une structure plus ouverte, moins dense et d'une gamme de plantes à fleurs plus étendue. Aucun détail n'est fourni quant à la forêt de référence (surface, localité, composition). L'auteur indique que les « micro-forêts » ont été implantées dans un parc et non dans un milieu urbain dense à proprement parlé, expliquant la diversité biologique observée tant dans le sol qu'en surface ; à cet effet, des études complémentaires sur des « micro-forêts » dans des contextes urbains denses méritent d'être menées selon l'auteur.
2019	Mählmann, J. C. (2019). The bricks of nature.	Il s'agit d'un mémoire produit dans le cadre de formation d'architecte paysagiste aux Pays-Bas. L'auteur questionne l'interprétation du concept de verdissement des villes dans les politiques de planification urbaine et interroge la portée des programmes de « micro-forêts » mis en œuvre par 12 municipalités en revenant sur les fondements scientifiques et sociétaux de la nature en ville aux Pays-Bas. Dans le cadre de ces travaux 6 interviews ont été réalisés.
2021	Szabo, V. (2021). Preliminary data on the first year of first hungarian Miyawaki-forest in Tabán, Budapest.	L'étude menée par un laboratoire de recherche associé à l'Université d'Agriculture et des Sciences de la vie de Hongrie et qui porte sur l'analyse de l'effet à l'année n+1 d'une « micro-forêt » implantée sur 40 m² (150 individus ; 9 espèces) en 2021 à Budapest dans le quartier de Tabán. Le service visé par l'étude est la régulation du climat local Des mesures ont été réalisées pour qualifier le développement foliaire (nombre de feuilles et la surface) ainsi que l'activité photosynthétique et l'émission de vapeur d'eau des plantations lors de deux journées en juillet et en septembre (à plus faible température ambiante) avec un analyseur de gaz infrarouge. Les données montrent des différences entre les espèces et les jours.
2022	Ottburg, F., Alterra - Animal ecology, Alterra - Vegetation, forest and landscape ecology, PE&RC, Lammertsma, D., Dimmers, W., Lerink, B., Schelhaas, M.-J., & Janssen, J. (2022). Tiny Forests : Groene mini-oases in de stad : Monitoring van biodiversiteit en bijdragen aan CO2-opslag, wateropvang en tegengaan hittestress in	L'étude décrit les méthodes et résultats obtenus à l'issu d'un suivi effectué sur 11 « micro-forêts » au Pays-Bas entre 2018 et 2021. Sur les 11 parcelles, 2 parcelles ont été suivies sur 5 ans, 3 parcelles sur 4 ans et 6 parcelles pendant 3 ans. Le suivi a porté sur le sol (champignons et bactérie, séquestration du carbone), la faune (avifaune, entomofaune, mammifères, reptiles, amphibiens) et la flore, la séquestration de CO2 du bois et sur des mesures de température sur et à proximité des « micro-forêts ». L'objectif de l'étude étant d'étudier l'effet sur la biodiversité de tels aménagements et de s'interroger sur les services culturels rendus en tant que lieu d'apprentissage et de sensibilisation. En ce qui concerne la séquestration du carbone, cette dernière a été calculée à partir de relevés de la croissance des plantations ; selon l'auteur les « micro-forêts » contribuent que très peu à la réduction des concentrations de CO2

Année	Titre de la publication	Éléments clés identifiés
	elf Tiny Forest. Wageningen Environmental Research.	dans l'atmosphère. La méthode de calcul dont les coefficients utilisés sont explicités permettant une certaine comparaison. La fonction écologique des « micro-forêts » a été étudiée à travers des inventaires et des analyses de sol. L'étude indique que le sol observé sur les « micro-forêts » présentent des quantités de champignons et de bactéries correspondant en proportion à celles de forêts mixtes sur sols sablonneux. Les résultats varient au cours de l'année ; d'autres paramètres tel que la teneur en eau du sol et/ou la paillage et/ou encore l'évolution de la faune du sol étant susceptibles d'intervenir. Concernant la faune, le nombre de groupes d'espèces et le nombre d'individus sont généralement plus élevés au sein des « micro-forêts » que dans les boisements de référence en raison d'une structure plus ouverte, moins dense et d'une gamme de plantes à fleurs plus étendue. L'étude mentionne en toute logique que le cortège d'espèces évolue avec l'évolution du milieu : Les groupes d'espèces qui préfèrent l'humidité et l'obscurité augmentent au fur et à mesure que la succession évolue vers un bosquet plus fermé. Aucun détail n'est toutefois fourni quant à la forêt de référence (surface, localité, composition). L'étude montre que la température de l'air, tout au long de l'année, dans les « micro-forêts » est en moyenne inférieure de 0,3 °C par rapport à la température de la rue. Des variations s'observent entre les « micro-forêts ». L'étude a mobilisé des écologues du laboratoire de recherche ainsi que des volontaires bénévoles. L'étude indique que sans dispositif d'accompagnement et si les inventaires avaient reposé uniquement sur les observations des volontaires, certaines données seraient manquantes.
2022	Drillon, M. (2022). Plantation d'arbres en ville selon la méthode Miyawaki : « urban forestry » et « forêt urbaine », service écosystémique et vision idéalisée d'une forme de nature.	Cette étude (mémoire de Master d'architecte paysagiste) présente les fondements des « micro-forêts », les attentes et l'accord de ces attentes avec les connaissances scientifiques actuelles. Dans le cadre de cette étude une enquête a été menée auprès de membres de réseaux ayant participé à la création de 3 « micro-forêts » en France et en Belgique. 40 personnes ont répondu à ce questionnaire pour évaluer le niveau et l'intensité de la perception des services écosystémiques rendu par les plantations. L'attente d'un service exprimé est systématiquement supérieure (de quelques % à plus de 40) à la perception du service en question. L'auteur observe une différence allant jusqu'à 41% entre l'attente des services culturels et la fréquence avec laquelle ces arguments sont mentionnés. Les services culturels sont nettement plus attendus que ce que ne laisse penser la communication officielle faisant la promotion des « micro-forêts ». Les justifications de création de « micro-forêts » ne correspondent pas aux attentes réelles de ceux côtoyant les projets au quotidien, sauf sur le sujet des fonctions écologiques.
2022	Lacombe, E. (2022). Paysage, pratiques paysagères et médiation au sein des initiatives de végétalisation citoyenne : Recherche-action au sein du Collectif « Micro-Forêt Toulouse ».	Cette étude menée dans le cadre d'une formation de Paysagiste interroge la place de la végétalisation citoyenne en étudiant le Collectif « Micro-forêt Toulouse » notamment à travers la visite de terrain et la réalisation de 10 entretiens avec des bénévoles et des porteurs de projets. La notion de médiation paysagère est interrogée en tant que pourvoyeur d'une possible vision dynamique prenant en compte les enjeux environnementaux, sociaux et politiques susceptibles de dépasser le cadre de projets isolés pour aller vers un projet de paysage plus global.

7 RÉFÉRENCES

- Arets, E. J. M. M., Baren, S. A. van, Hendriks, C. M. J., Kramer, H., Lesschen, J. P., & Schelhaas, M. J. (2023). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands : Methodological background, update 2023*. <https://doi.org/10.18174/588942>
- Bastin, J.-F., Finegold, Y., Mollicone, D., Rezende, M., & Garcia, C. (2020). Erratum for the Report : “The global tree restoration potential” by J.-F. Bastin, Y. Finegold, C. Garcia, D. Mollicone, M. Rezende, D. Routh, C. M. Zohner, T. W. Crowther and for the Technical Response “Response to Comments on ‘The global tree restoration potential’” by J.-F. Bastin, Y. Finegold, C. Garcia, N. Gellie, A. Lowe, D. Mollicone, M. Rezende, D. Routh, M. Sacande, B. Sparrow, C. M. Zohner, T. W. Crowther. *Science*, 368(6494), eabc8905. <https://doi.org/10.1126/science.abc8905>
- Biondi, E. (2011). Phytosociology today : Methodological and conceptual evolution. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145(sup1), 19-29. <https://doi.org/10.1080/11263504.2011.602748>
- Bleichrodt, D., IVN nature educatie, Bruns, M., Teunissen, W., & Laine, E. (2019). *Handbook : Tiny Forest Planting Method*.
- Boosten, M., van den Brie, J., Lerink, B., Lokin, V., & Schelhaas, M.-J. (2020). *Factsheets : Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en Natuur*. <https://www.vbne.nl/klimaatlimbosennatuurbeheer/uploads/factsheets-final-16jan.691bb2.pdf>
- Douay, N., & Prévot, M. (2016). Circulation d’un modèle urbain « alternatif » ? *EchoGéo*, 36, Art. 36. <https://doi.org/10.4000/echogeo.14617>
- Drillon, M. (2022). *Plantation d’arbres en ville selon la méthode Miyawaki : «urban forestry» et «forêt urbaine», service écosystémique et vision idéalisée d’une forme de nature*.
- EFESE. (2018). *Evaluation française des écosystèmes urbains et de leurs services écosystémiques*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/efese_ecosystemes_urbains.pdf
- Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Laforteza, R. (2019). Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions : Nexus or evolving metaphors? *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011>
- Géhu, J.-M. (2010). Problématique de l’étude phytosociologique des forêts. *Revue Forestière Française*, 3-4. <https://doi.org/10.4267/2042/38936>
- Hamzah, M. Z., Alias, M. A., & Fujiwara, K. (1998). *Rehabilitation of tropical rainforests Based on Potentiel Natural Vegetation Species of Degraded Areas in Sarawak, Malaysia*.
- IGN. (2022). *Inventaire forestier—Memento 2022*. https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/memento_2021.pdf
- IVN nature educatie. (2022). *Liste de contrôle : Ma forêt est-elle une Tiny Forest® ?* https://www.ivn.nl/app/uploads/2022/11/checklist_is_mijn_bos_een_tiny_forest_2.pdf
- Jansen, J. J., Sevenster, J., & Faber, J. (1996). *Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland*. <https://research.wur.nl/en/publications/opbrengsttabellen-voor-belangrijke-boomsoorten-in-nederland>
- Köhl, M., Neupane, P., & Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity : A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. *PLoS ONE*, 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181187>
- Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A., & Randrup, T. B. (2006). Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3), 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.11.003>
- Lacombe, E. (2022). *Paysage, pratiques paysagères et médiation au sein des initiatives de végétalisation citoyenne : Recherche-action au sein du Collectif Micro-Forêt Toulouse*. 91.
- Larquier, C. (2023). *Première observation de Coranus kerzhneri (Putshkov, 1982) (Heteroptera, Reduviidae) en Haute-Garonne (France) et deuxième de Coranus pericarti (Putshkov, 1994) dans l’Aude (France)*. 10.
- Luginbühl, Y. (2020). La forêt et son imaginaire social : Quels enjeux pour l’avenir ? *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l’aménagement de l’espace*, 22, Art. 22. <https://doi.org/10.4000/paysage.7822>
- Mählmann, J. C. (2019). *The bricks of nature*.
- Michon, G., & Carrière, S. (2018). *Partie 1 chapitre 1 - Qu’est-ce qu’une forêt ? Les réponses des sciences humaines*. (p. 29-43).
- Miyawaki, A. (1993). *Forest reconstruction as ecological engineer*.

- Miyawaki, A. (1998). *Restoration of Urban green environments based on the theories of végétation ecology*. https://wiki.crapaud-fou.org/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=194
- Miyawaki, A. (1999). *Creative Ecology : Restoration of Native Forests by Native Trees*. *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/author/A.-Miyawaki/32461635>
- Muñoz, I., Campra, P., & Fernández-Alba, A. (2010). Including CO₂-emission equivalence of changes in land surface albedo in life cycle assessment. Methodology and case study on greenhouse agriculture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 672-681. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0202-5>
- Nowak, D. J., Kuroda, M., & Crane, D. E. (2004). Tree mortality rates and tree population projections in Baltimore, Maryland, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(3), 139-147. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00030>
- Ottburg, F., Alterra - Animal ecology, Alterra - Biodiversity and policy, PE&RC, Lammertsma, D., Bloem, J., Dimmers, W., Jansman, H., & Wegman, R. M. A. (2018). *Tiny Forest Zaanstad : Citizen science and determining biodiversity in Tiny Forest Zaanstad*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/446911>
- Ottburg, F., Alterra - Animal ecology, Alterra - Vegetation, forest and landscape ecology, PE&RC, Lammertsma, D., Dimmers, W., Lerink, B., Schelhaas, M.-J., & Janssen, J. (2022). *Tiny Forests : Groene mini-oases in de stad : Monitoring van biodiversiteit en bijdragen aan CO₂-opslag, wateropvang en tegengaan hittestress in elf Tiny Forest*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/571147>
- Ottburg, F., PE&RC, Alterra - Animal ecology, Alterra - Biodiversity and policy, Lammertsma, D., Bloem, J., Dimmers, W., Jansman, H., & Wegman, R. (2017). *Tiny Forest Zaanstad : Citizen science en het bepalen van biodiversiteit in Tiny Forest Zaanstad*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/442150>
- Planque, C. (2019). *Observation satellitaire et modélisation de l'albédo des forêts sur le territoire français métropolitain : Dynamiques temporelles et impacts radiatifs*.
- Porté, A., Castagneyrol, B., & Plomion, C. (s. d.). *Méthode Miyawaki : Pourquoi les « microforêts » ne sont pas vraiment des forêts*. The Conversation. Consulté 13 juillet 2022, à l'adresse <http://theconversation.com/methode-miyawaki-pourquoi-les-microforets-ne-sont-pas-vraiment-des-forets-155091>
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands : A meta-analysis. *Building and Environment*, 170, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2017). *Directives sur la foresterie urbaine et périurbaine. Études FAO: Forêts no. 178*. Rome, FAO. (Études FAO: Forêts no. 178 78-92-5-130074-9). <https://www.fao.org/3/i6210fr/i6210fr.pdf>
- Schirone, B., Salis, A., & Vessella, F. (2011). Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 81-92. <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0117-0>
- Segur, F. (2022). *A quoi correspond vraiment la notion de « forêt urbaine » ? Petit lexique à l'usage des nouveaux reboiseurs de villes...* <https://plantecite.kentikaas.com/Record.htm?idlist=516&record=19162996124919801789>
- Szabo, V. (2021). *Preliminary data on the first year of first hungarian Miyawaki-forest in Tabán, Budapest*. <https://www.proquest.com/openview/c0fd327169e0db3da45c9d753ad5a1c7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1536338>
- Tang, J., Luyssaert, S., Richardson, A. D., Kutsch, W., & Janssens, I. A. (2014). Steeper declines in forest photosynthesis than respiration explain age-driven decreases in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8856-8860. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320761111>
- Tansley, A. G. (1946). *Introduction to Plant Ecology ; a guide for beginners in the study of plant communities*. <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/b/6974/files/2016/07/Tansley-1946-Introduction-to-Plant-Ecology-214l5gy.pdf>
- Toussaint, B., Lambinon, J., Dupont, F., Verloove, F., Petit, D., Hendoux, F., Mercier, D., Housset, P., Truant, F., & Decocq, G. (2007). Réflexions et définitions relatives aux statuts d'indigénat ou d'introduction des plantes; application à la flore du nord—Ouest de la France. *Acta Botanica Gallica*, 154(4), 511-522. <https://doi.org/10.1080/12538078.2007.10516077>
- Tüxen, R. (1956). *Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung*. Zentralstelle für Vegetationskartierung.

Tyrrell, M. L., Ross, J., & Kelty, M. (2012). Carbon Dynamics in the Temperate Forest. In M. S. Ashton, M. L. Tyrrell, D. Spalding, & B. Gentry (Éds.), *Managing Forest Carbon in a Changing Climate* (p. 77-107). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2232-3_5