

# Intégrer la biodiversité dans les projets de construction et de rénovation

La prise en compte de la biodiversité dans les projets de construction et de rénovation exige des connaissances scientifiques et techniques ainsi qu'un accompagnement par des écologues. Au-delà des solutions standardisées et des effets de mode, une multitude de solutions permettent d'intégrer la faune, la flore, la fonge et la fonctionnalité écologique au sein des projets. À travers des exemples en France et à l'étranger, cet article propose des éléments théoriques et pratiques pour penser la ville et les bâtiments avec le vivant.

## SOMMAIRE

- 1 • Introduction
- 2 • Intégrer la biodiversité dans la construction : une question de méthode
- 3 • Conclusion
- 4 • Références

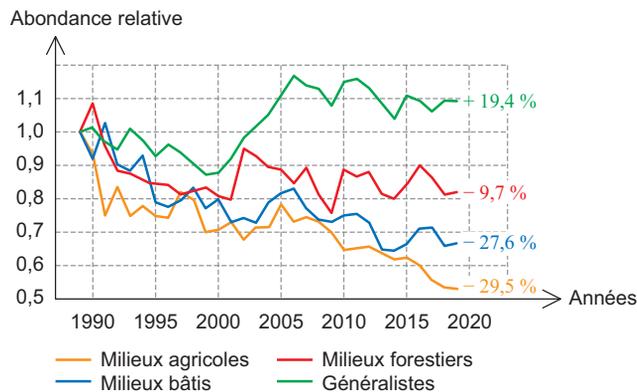
## Marc Barra

Écologue à l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (ARB ÎdF département de l'Institut Paris Région), rattachée à l'Institut Paris Région. Spécialisé en écologie urbaine, il est l'auteur de plusieurs articles sur les solutions pour réconcilier les villes avec la nature. Marc Barra enseigne dans plusieurs universités. Il est membre du comité scientifique du Conseil international biodiversité et immobilier (Cibi) et expert associé à l'Institut Veblen pour les réformes économiques.

## 1 Introduction

### 1.1 L'artificialisation des sols : un fléau pour la biodiversité

La France est le pays européen qui artificialise le plus ses sols, à un rythme quatre fois supérieur à celui de l'augmentation de la population. Entre 2009 et 2019, environ 27 000 hectares de terres ont été artificialisés chaque année [1]. L'extension urbaine entraîne la disparition des espaces naturels, leur fragmentation, et réduit l'espace disponible pour les espèces dont l'abondance a fortement diminué dans les territoires [2]. Les modes de conception de la ville, tournés vers la minéralité, participent aussi à l'homogénéisation de la biodiversité, en favorisant les espèces généralistes (Pigeon ramier, Pie bavarde), au détriment des espèces spécialistes du bâti (Hirondelle de fenêtre, Martinet noir) qui déclinent plus fortement (fig. 1). Limiter l'extension urbaine et favoriser la nature en ville sont deux défis indissociables pour les acteurs de l'aménagement et de la construction.

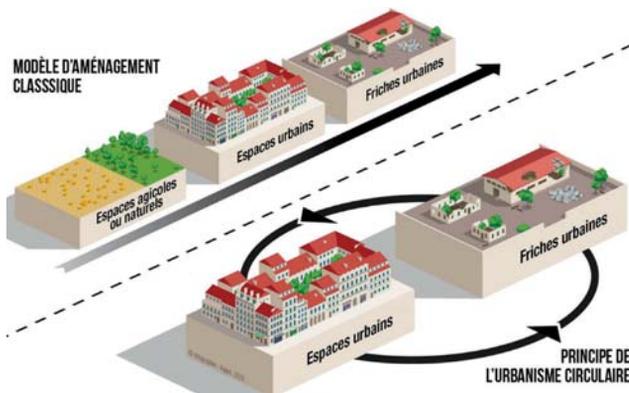


▲ Fig. 1. Évolution de l'abondance relative des oiseaux communs métropolitains par groupe de spécialisation (source : Cescio – PatriNat [OFB-CNRS-MNHN]).

## 1.2 De l'objectif ZAN à un urbanisme écologique

En réponse au phénomène d'artificialisation, le gouvernement français a mis en place un objectif de « zéro artificialisation nette » (ZAN) des sols (plan biodiversité du 4 juillet 2018). Ce principe, repris dans la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets [3], fixe l'obligation de définir un objectif de réduction de la consommation d'espace à l'horizon 2031 et une trajectoire permettant d'atteindre l'objectif ZAN à l'horizon 2050. Cet objectif doit être traduit dans les documents de planification au niveau régional – schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Srdet), schéma directeur de la région Île-de-France (Sdrif) –, avant d'être décliné aux niveaux intercommunal et communal – schémas de cohérence territoriale (Scot), plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUi). La mise en œuvre du ZAN requiert une stratégie complexe qui vise d'une part à réduire l'étalement en encourageant le renouvellement urbain et la densification, et d'autre part à restituer les surfaces consommées par l'urbanisation à l'aide de stratégies de désartificialisation-renaturation.

L'atteinte de l'objectif ZAN est indissociable d'une trajectoire de sobriété, tant dans l'usage des sols que des ressources, en évitant toute nouvelle artificialisation supplémentaire et en composant uniquement avec l'existant. Les acteurs de la construction et de l'aménagement (promoteurs, aménageurs, architectes, entreprises de BTP) sont invités à privilégier le recyclage urbain (fig. 2) sans empiéter sur de nouveaux terrains (rénovation, conversion de bureaux en logements, surélévation, friches artificialisées, etc.) [4]. Au-delà de l'objectif ZAN, une nouvelle approche de l'urbanisme inspirée de l'écologie du paysage et de l'écologie urbaine est nécessaire pour enrayer le déclin de la biodiversité [5].



▲ Fig. 2. Comparaison entre un modèle d'aménagement classique et un modèle circulaire (source : Agam).

### REMARQUE

#### Les friches : une simple réserve foncière ?

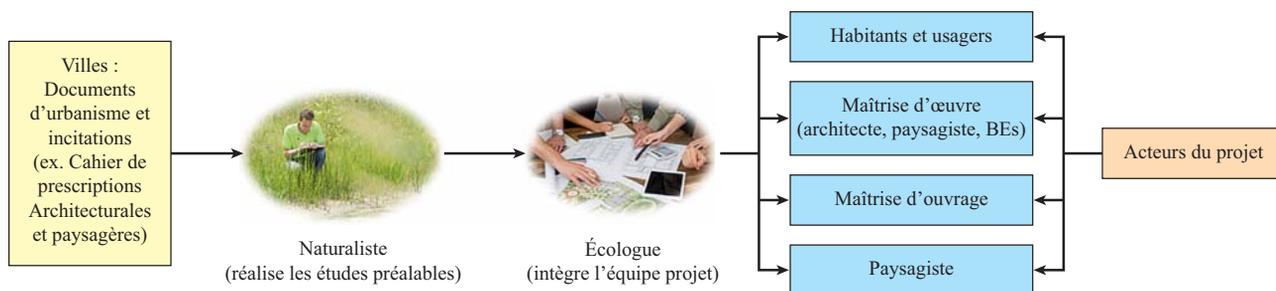
Afin d'accélérer le recyclage urbain, plusieurs dispositifs de recensement ou d'évaluation des friches ont vu le jour, à l'instar de l'outil Cartofriches du Cerema [6] et du guide Bénéfriches de l'Agence de la transition écologique (Ademe) [7]. Or, bien que certaines friches constituent un gisement opportun pour la densification, d'autres sont devenues des espaces de nature à part entière et participent à la conservation de la biodiversité en milieu urbain [8]. En région parisienne, la diversité des plantes, des oiseaux et des papillons dans les friches est plus élevée que dans les espaces verts entretenus [9]. Leur conservation ou leur renaturation sont parfois les derniers espoirs de recréer des espaces végétalisés dans des secteurs où la densification pourrait renforcer la carence en espaces de nature [10]. Les friches étant encore trop facilement considérées comme des « espaces en attente d'être aménagés », une meilleure connaissance de celles-ci à travers des inventaires écologiques et des études de paysage est un préalable indispensable à tout aménagement<sup>(1)</sup>.

## 2 Intégrer la biodiversité dans son projet : une question de méthode

Intégrer la biodiversité dans un projet de construction ou de rénovation se prépare très en amont et suppose d'associer dès le départ des écologues et des naturalistes. Le naturaliste [13] intervient lors des études préalables en réalisant un diagnostic écologique, tandis que l'écologue (qui est parfois la même personne) assure quant à lui le lien avec l'équipe-projet. Son apport ne se limite pas au lot « Espaces verts ». Au contraire, il est consulté sur les choix de programmation, de conception et d'architecture afin d'intégrer le vivant dans toutes les composantes du projet. Il aide à contextualiser et propose des aménagements sur mesure, en évitant les solutions gadget (fig. 3).

L'écologue intervient en complémentarité avec le paysagiste, dont le métier a fortement évolué ces dernières années. On lui confère parfois le rôle d'un écologue « par défaut », bien que ses compétences soient différentes et complémentaires. Alors que l'écologue formule des préconisations au regard des enjeux de biodiversité identifiés, le paysagiste les met en œuvre, apporte des garanties sur la faisabilité technique et insère ces recommandations dans une approche paysagère et esthétique. D'autres acteurs sont susceptibles d'intervenir et d'enrichir le projet pour intégrer des besoins de plus en plus nombreux. C'est le cas des sociologues, indispensables pour mieux prendre en compte les attentes des habitants vis-à-vis de la nature et travailler sur l'acceptation du vivant au sein du projet.

(1) Cf. le guide à l'attention des collectivités, des aménageurs et des promoteurs, Biodiversité et reconversion des friches urbaines polluées [11]. La renaturation d'anciennes friches peut s'effectuer en conservant l'esprit du site industriel, souvent cher à la population [12].



▲ Fig. 3. Présence essentielle du naturaliste et de l'écologue dans le projet, en complément du paysagiste.

## 2.1 Intégrer la biodiversité dans les projets de construction

### 2.1.1 Le diagnostic écologique préalable

Pour tout projet, quelle que soit sa taille ou sa localisation, une phase de diagnostic écologique est nécessaire (fig. 4). Elle correspond à une étude de terrain permettant de mieux connaître le site d'implantation et de maximiser la prise en compte des paramètres environnementaux, dont la biodiversité. En fonction du type de projet, cette étape peut s'inscrire dans un cadre réglementaire (voir *infra*, point important « Biodiversité et aménagement : que dit la réglementation ? ») ou volontaire. Elle est réalisée par un bureau d'études, une association ou des naturalistes en groupement ou indépendants. Le diagnostic écologique contient généralement plusieurs étapes, détaillées ci-après.

#### Collecter la connaissance existante

En premier lieu, il est nécessaire de passer en revue l'ensemble des études existantes sur son territoire (études d'impact, inventaires naturalistes déjà réalisés), de prendre en compte les documents stratégiques (chartes locales, cahiers de prescriptions) et de consulter les bases de données et acteurs locaux spécialistes des enjeux de biodiversité (agences régionales de la biodiversité, associations naturalistes).

#### Réaliser des inventaires complémentaires

En fonction des informations recueillies, des inventaires complémentaires seront probablement nécessaires. Ces derniers doivent porter sur les principaux groupes d'espèces (mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens, insectes, flore), au-delà des espèces protégées. Les prospections couvrent généralement toutes les saisons actives, de février à octobre, et doivent s'appuyer sur des protocoles standardisés [14]<sup>(2)</sup>. Le versement

des données acquises lors de la réalisation d'études d'impact à l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) est désormais obligatoire pour les maîtres d'ouvrage publics ou privés [15]. Au-delà des espèces, les habitats doivent être cartographiés (milieux remarquables, formations végétales, niches écologiques). Le périmètre d'analyse ne se limite pas aux contours stricts du projet et pourra être élargi en suivant l'avis des écologues et naturalistes en charge du diagnostic, afin de prendre en compte l'insertion du site dans son environnement et son contexte local. Plusieurs guides détaillent les méthodologies d'inventaires à mettre en œuvre pour chaque groupe d'espèces.

#### Étudier les sols et les différentes trames

Au-delà des relevés de présence, il est également nécessaire de caractériser les déplacements de certains groupes d'espèces (oiseaux, batraciens, mammifères notamment) afin de décliner les futures trames écologiques (verte, bleue, brune et noire) au sein du projet [16]. Si les composantes des trames vertes et bleues sont matérialisées dans chaque région à travers les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) et les Sraddet, ces documents sont réalisés à une échelle régionale et s'avèrent peu adaptés à l'échelle d'un projet. Il est nécessaire de s'appuyer sur des schémas plus locaux quand ils sont disponibles auprès de la commune ou de réaliser une étude spécifique des réservoirs et corridors potentiels sur la zone du projet. Certaines collectivités, à l'image de l'Eurométropole de Strasbourg, ont décliné ces enjeux des trames vertes et bleues dans toutes les pièces du plan local d'urbanisme – projets d'aménagement et de développement durable (Padd), règlements, orientations d'aménagement et de programmation (OAP), etc. – et proposent des recommandations aux aménageurs [17]. En ce qui concerne la trame bleue, il peut s'avérer nécessaire d'étudier le fonctionnement hydrologique du site et ses alentours (topographie, fonctionnement de la nappe alluviale, niveau hydrique et caractère inondable des terrains, en lien avec les sols) afin de maximiser l'infiltration des eaux pluviales et protéger les milieux humides existants (mares, cours d'eau, bassins). Enfin, une étude des sols permettra de compléter l'analyse, à travers des prélèvements sur l'ensemble

(2) Protocoles définis dans un document de référence et applicables par différents opérateurs. La standardisation permet des suivis à long terme en gommant les différences liées à l'observateur.

du site et l'étude des principales caractéristiques bio-physico-chimiques des sols [18]. Ces analyses peuvent être effectuées par un laboratoire indépendant et aident à cartographier l'état des sols afin de préserver les sols de bonne qualité (qui seront réservés aux espaces verts, aux jardins, à l'agriculture) des sols dégradés ou pollués à privilégier pour l'artificialisation. Cette étape permet également d'anticiper la mise en place d'une trame brune au sein du projet. Enfin, une étude photométrique peut s'avérer nécessaire afin de minimiser les impacts de l'éclairage sur les espèces nocturnes (les chauves-souris, notamment) et proposer des actions pour préserver une trame noire au sein du projet.

### Analyser le contexte et l'environnement

Au-delà de la biodiversité *stricto sensu*, de nombreux paramètres sont utiles à prendre en considération pour insérer le projet dans le contexte local, comme la direction et la force des vents, la pluviométrie, l'ensoleillement ou les températures. La connaissance de ces données peut aider à déterminer l'orientation et la morphologie optimale du bâti afin de limiter les déperditions d'énergie, mais aussi d'optimiser les choix de la végétalisation et intégrer le projet au paysage environnant.

### Intégrer la dimension humaine

Parce que les rapports entre humains et non humains peuvent être complexes, il est légitime d'impliquer les riverains ou futurs utilisateurs à l'élaboration des projets qui les concernent. Les concertations locales et les débats aideront à faire émerger les besoins, en termes de nature, d'espace et de cadre de vie, et à y répondre en phase de réalisation. Les équipes projet pourront au préalable conduire des sondages et enquêtes d'opinion parmi les habitants et organiser des concertations régulières

en présence d'un écologue et d'un sociologue, de manière à informer et dialoguer sur les besoins en espaces verts, jardins partagés, lieux de loisirs, espaces à préserver, etc. Plusieurs méthodes existent, dont celle des sociotopes [19], créée en Suède à la fin des années 1990 par l'urbaniste Alexander Stahle, qui consiste à évaluer les besoins exprimés par la population en matière d'espaces et d'usages.

### Établir un rapport de synthèse

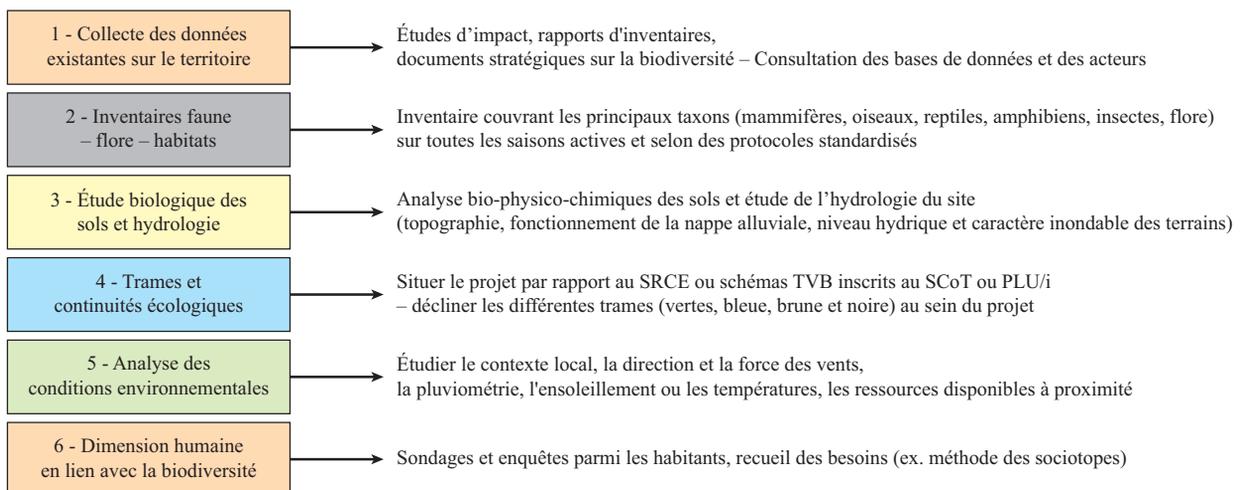
L'étape finale du diagnostic écologique est la remise d'un rapport présentant les enjeux cartographiés, hiérarchisés et accompagnés de préconisations adressées à la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage. Il servira de fil rouge à la prise en compte de la biodiversité dans le projet. Parce qu'il n'existe pas de réponse universelle sur la façon d'aménager et de construire en faveur de la biodiversité, le diagnostic écologique est là pour éclairer les opérateurs au cas par cas et éviter les fausses bonnes idées ou la *greenwashing*<sup>(3)</sup>.

#### IMPORTANT

##### Biodiversité et aménagement : que dit la réglementation ?

La réglementation en matière de biodiversité est principalement dictée par la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature [20], la loi n° 2009-967 du 3 août 2009, dite « Grenelle 1 » [21], la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010, dite « Grenelle 2 » [22] et la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages [23]. Différents textes législatifs et réglementaires viennent par ailleurs définir le statut juridique des espèces de faune et de flore sauvages protégées, par arrêté ministériel ou régional [24]. Les projets d'aménagement doivent être menés à bien sans porter atteinte

(3) *Le greenwashing est une méthode de marketing consistant à communiquer auprès du public en utilisant l'argument écologique de manière trompeuse en vue d'améliorer son image.*



▲ Fig. 4. Étapes recommandées pour la réalisation d'un diagnostic écologique préalable à une opération d'aménagement ou de construction.

directement aux espèces ainsi qu'à leurs habitats (article L. 411-1 du Code de l'environnement). Les porteurs de projet doivent par ailleurs se référer aux divers outils d'aménagement permettant de préserver les espaces naturels, tels que les SRCE, et, bien sûr, les espaces protégés, les sites Natura 2000, et les documents de planification tels que le Scot ou le plan local d'urbanisme (PLU) [25].

L'évaluation environnementale est un processus réglementaire visant à évaluer les projets qui peuvent avoir des incidences sur l'environnement. Cette démarche est retranscrite par le maître d'ouvrage dans un rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement dénommé « étude d'impact ». Cette étude traite de l'ensemble des thèmes environnementaux, dont l'état initial des milieux naturels, de la faune et de la flore [26]. La liste des catégories de projets entrant dans le champ de l'évaluation environnementale figure au tableau annexé à l'article R. 122-2 du Code de l'environnement [27]. Les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements peuvent être soumis de façon systématique à évaluation environnementale ou après examen au cas par cas. Dans cette dernière situation, seuls les projets identifiés par l'autorité environnementale comme étant susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement doivent être soumis à évaluation environnementale.

En cas d'atteinte à l'environnement, des variantes au projet initial, des mesures d'évitement ou des mesures compensatoires devront être trouvées en respectant la séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC), inscrite dans le corpus législatif et réglementaire depuis la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature [20]. Cette séquence se met en œuvre lors de la réalisation de projets ou de plans-programmes et s'applique à l'ensemble des composantes de l'environnement (article L. 122-3 du Code de l'environnement). Ce principe implique « d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées. Ce principe doit viser un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité » [28]. Il ne concerne pas uniquement les espèces protégées, mais l'ensemble des espèces sauvages et des habitats impactés par le projet. Si l'étude d'impact révèle une incidence sur des espèces protégées, le maître d'ouvrage doit établir une demande de dérogation pour pouvoir détruire leur habitat, ou détruire ou perturber des spécimens. Cette destruction ne peut être autorisée que selon trois conditions cumulatives (l'absence de solutions alternatives satisfaisantes, la démonstration d'une raison impérative d'intérêt public majeur et la volonté de ne pas nuire au maintien dans un état de conservation favorable des populations des espèces concernées dans leur aire naturelle) qu'il revient au maître d'ouvrage de démontrer, la troisième étant établie par la mise en œuvre de la séquence ERC.

Bien que la réglementation se soit renforcée au fil des années, les dispositions restent à ce jour insuffisantes pour limiter le déclin de la biodiversité occasionnée par les projets d'aménagement et de construction. Après plusieurs décennies, l'application de la séquence ERC présente toujours de nombreuses faiblesses et, dans la majorité des cas, ne remplit pas son objectif d'absence de perte nette de biodiversité [29]. La compensation écologique se fait encore aujourd'hui principalement sur des espaces à faible capacité de gain écologique (espaces déjà semi-naturels), au détriment des espaces fortement artificialisés dont la renaturation apporterait un bénéfice réel. Par ailleurs, de nombreuses constructions échappent encore à l'évaluation systématique ou « au cas par cas », bien que la récente « clause filet » puisse permettre d'imposer une évaluation pour les projets qui sont en deçà des seuils ou critères réglementaires<sup>(4)</sup>. Plusieurs scientifiques regrettent également la faible

qualité de certaines études d'impact, souvent vues comme une « formalité » sur le volet de la faune et la flore, notamment en ce qui concerne certains groupes d'espèces comme les arthropodes, dont les enjeux sont largement sous-évalués [31]. L'analyse de solutions alternatives, des impacts cumulés, des espèces ordinaires et des fonctionnalités écologiques souffre de nombreuses lacunes. Les milieux agricoles sont aussi peu considérés en tant qu'espaces de biodiversité et ont tendance à être urbanisés facilement, leur potentiel d'amélioration par des changements de pratiques agricoles n'étant pas pris en compte. Enfin, le suivi et l'évaluation de ces mesures par les services instructeurs ou la police de l'environnement ne sont pas suffisamment réguliers pour inciter les maîtres d'ouvrage à mettre en œuvre correctement les mesures nécessaires.

Les projets souhaitant être exemplaires devront aller au-delà de la réglementation par des mesures volontaires plus ambitieuses, dictées par les préconisations des scientifiques et un objectif de sobriété. Les collectivités doivent enfin utiliser tous les moyens nécessaires pour inciter les opérateurs à prendre en compte la biodiversité, *via* les documents d'urbanisme et les cahiers de prescriptions environnementales notamment.

### 2.1.2 | Limiter les impacts du chantier et préserver l'existant

Le chantier est une étape cruciale qui peut nuire aux espèces présentes sur le site, à leurs habitats ou endommager les sols de manière irréversible. Dans la majorité des cas, les opérations d'aménagement se contentent de faire table rase de l'existant en éliminant la biodiversité déjà installée. Il est nécessaire d'inverser la logique en s'appuyant sur les recommandations du diagnostic écologique. L'organisation du chantier doit être planifiée dans le temps et dans l'espace, en prévoyant des mesures de protection ainsi qu'un calendrier adapté pour protéger ou éviter le dérangement de la faune et de la flore (périodes de nidification, de migration ou de floraison).

Cela concerne en premier lieu les vieux arbres implantés sur la parcelle (photo 1). Pour rappel, les grands et vieux arbres remplissent un rôle essentiel pour la conservation de la biodiversité en milieu urbain [32] : ils accueillent davantage d'espèces que les arbres de taille réduite et offrent des habitats plus diversifiés du fait de leur âge (cavités, bois mort). Ils sont parfois les seuls habitats d'espèces très spécialisées comme les insectes et champignons saproxyliques. En milieu urbain, l'espérance de vie d'un arbre est courte, généralement située entre 40 et 60 ans [33].

Des panneaux peuvent permettre de signaler les zones sensibles, en précisant les dispositions ou interdictions à respecter (passage des engins limité, accès interdit, zones de silence). Des préconisations spécifiques à certains types d'habitats peuvent être envisagées, comme pour les zones humides (prélèvement d'eau ou stockage de produits interdits) ou les zones boisées (déboisement et feux interdits).

Des dispositions peuvent également encadrer la détérioration des sols, en particulier le tassement, la pollution ou la déstructuration des couches du sol. Un plan de déplacement des engins de chantier est nécessaire pour éviter de limiter le tassement des futurs espaces végétalisés, en particulier ceux

(4) Le décret n° 2022-422 du 25 mars 2022 relatif à l'évaluation environnementale des projets [30] permet de soumettre à évaluation environnementale des projets situés en deçà des seuils de la nomenclature annexée à l'article R. 122-2 du Code de l'environnement.



▲ Photo 1. Écoquartier de La Courrouze à Rennes (35) conçu en préservant la majorité des arbres existants (source : Gilles Lecuir).



▲ Photo 2. Noue destinée à l'infiltration des eaux pluviales, tassée par les engins de chantiers à Nanterre (92) (source : Marc Barra).

dont la perméabilité sera essentielle à la gestion des eaux pluviales (photo 2). Des emprises dédiées au stockage du matériel sont également à prévoir. En fonction de l'état initial des sols, le stockage de la terre de chantier peut s'avérer nécessaire pour un réemploi dans les futurs espaces végétalisés. En effet, l'apport de « terre végétale » issue du décapage des terres agricoles est une pratique encore très courante. Ce procédé contribue toutefois à artificialiser les milieux agricoles en engendrant des émissions de CO<sub>2</sub> pour le transport jusqu'au site. En 2008, l'association Plante & Cité a estimé à 3 millions de m<sup>3</sup> le volume de terres végétales utilisé en France pour des besoins urbains [34]. Plusieurs ressources proposent des recommandations pour préserver la biodiversité lors de la phase chantier, dont le guide *Biodiversité et chantier* de l'association Nord Nature Chico Mendès et la Ligue de protection des oiseaux (LPO) [35] ainsi que les fiches de sensibilisation de la Fédération nationale des travaux publics (FNTTP) [36].

### 2.1.3 | Préserver les sols et la pleine terre dans les opérations

#### Les sols, socles du vivant

Alors qu'ils abritent plus de 25 % de la biodiversité terrestre mondiale [37], les sols restent largement méconnus et négligés par les acteurs de l'aménagement, qui les considèrent comme un simple support physique. Ils hébergent pourtant de nombreux organismes vivants (microfaune, mésofaune, macrofaune et mégafaune) et constituent le support de vie des végétaux et le siège de processus écologiques fondamentaux, comme les cycles biogéochimiques ou le cycle de l'eau. Hormis dans le cas d'une rénovation du bâti existant, un projet d'aménagement consommera nécessairement du foncier, entraînant une perte pour la biodiversité. Tout l'enjeu pour les aménageurs réside dans leur capacité à limiter l'imperméabilisation des sols et à favoriser la pleine terre dans les projets.

#### REMARQUE

##### La pleine terre : de quoi parle-t-on ?

La notion de « pleine terre » ne fait pas l'objet d'une définition partagée ni d'un consensus scientifique. Définir cette notion nécessite au préalable une bonne connaissance des sols, dont l'état est très variable en ville. Plusieurs critères peuvent être pris en compte, comme le revêtement en surface, la continuité verticale et la profondeur, la continuité horizontale (ou « trame brune »), la qualité physico-chimique et biologique et la perméabilité.

Au-delà d'une approche binaire, il paraît judicieux d'aborder cette notion sous la forme d'un « gradient de pleine terre » permettant de distinguer :

- la pleine terre stricte (sols urbains à caractère naturel) ;
- la pleine terre dégradée (sols tassés, déstructurés ou pollués) nécessitant des travaux de restauration ;
- l'absence de pleine terre (espaces totalement revêtus par des infrastructures).

Dans certains secteurs de centres-villes denses déjà encombrés par des réseaux souterrains, où la continuité du sol en profondeur n'existe plus, l'application d'un coefficient de biotope par surface (CBS), indicateur composite utilisé depuis 1998 par la Ville de Berlin dans ses projets de construction, peut permettre de « compenser » l'absence de pleine terre au sol par la végétalisation des toitures et façades [38]. Ce type d'approche doit néanmoins se limiter aux secteurs denses quand il n'est plus possible de limiter la densité bâtie.

#### Densité et coefficient de pleine terre

La prise en compte des sols pose inévitablement la question de la densité bâtie du projet. Il est généralement admis que plus le couvert végétalisé d'une zone urbaine est développé, plus cette dernière présentera de bonnes capacités d'accueil pour la biodiversité [39]. Dans une étude réalisée sur 18 quartiers résidentiels en Pologne [40], des chercheurs suggèrent qu'un minimum de 45 % de zones couvertes par de la végétation en pleine terre est nécessaire pour assurer une stabilité environnementale à cette échelle (fig. 5)<sup>(5)</sup>. Une

(5) L'étude s'appuie sur l'indice Ratio of Biologically Vital Areas (RBVA), correspondant au pourcentage d'espaces couverts par la végétation à l'échelle d'un quartier. Différents niveaux de RBVA ont été comparés, sur la base d'inventaires d'espèces et de calcul de paramètres climatiques.

étude américaine [41] précise de son côté qu'un minimum de 30 % de zones couvertes par de la végétation ou par l'eau, dans un rayon de 250 m autour des habitations, permet d'améliorer la santé des habitants et de limiter le déclin de la biodiversité. Ces indices, à prendre à titre indicatif, peuvent toutefois servir de cadre pour intégrer la nature dans les opérations et se décliner *via* un coefficient de pleine terre afin d'encourager les aménageurs à conserver volontairement un ratio bâti/non bâti favorable aux espaces de nature. En effet, si les toitures et façades végétalisées sont utiles et bénéfiques à bien des égards, elles ne remplaceront jamais les espaces de pleine terre.

Au-delà de la densité bâtie, la morphologie, la disposition, les hauteurs et l'orientation des bâtiments doivent également être réfléchies en fonction des exigences des espèces et s'adapter au contexte local (paysage, géologie, hydrologie, ensoleillement, pluviométrie) (photo 3). Une même densité peut renvoyer à différentes morphologies et formes urbaines (grands ensembles, maisons individuelles, formes intermédiaires) dont l'influence peut s'avérer positive ou négative en fonction des espèces ciblées (oiseaux, mammifères, insectes) [42]. Bien que l'impact des formes urbaines sur la biodiversité soit encore mal connu, faire varier les formes



▲ Photo 3. Aménagement du quartier des Rives du Bohrie à Strasbourg (67) réalisé en tenant compte de l'hydrologie et du risque d'inondabilité tout en préservant l'habitat du Crapaud vert (*Bufo viridis*) grâce à l'aménagement de nouvelles mares (source : Eurométropole de Strasbourg).

HOZA VOISINAGE	KAMINSKIEGO VOISINAGE	BERNARDYNSKA VOISINAGE
Superficie totale : 7,38 ha Ratio biologique des zones vitales : 16,4 %	Superficie totale : 5,96 ha Ratio biologique des zones vitales : 44,5 %	Superficie totale : 6,82 ha Ratio biologique des zones vitales : 67,4 %
		
		

■ Arbres ■ Buissons ■ Pelouse □ Bâtiments et autres zones construites

▲ Fig. 5. Plus le couvert végétalisé d'un quartier est développé, plus il présentera de bonnes capacités d'accueil pour la biodiversité (source : B. Szulczewska *et al.*, 2014 [40]).

urbaines au sein d'un même quartier (hauteur des bâtiments, disposition, orientation) semble un compromis intéressant pour créer des conditions variables pour le vivant. Afin de déterminer les formes urbaines « idéales » du projet, des études complémentaires peuvent s'avérer nécessaires, sous la supervision de l'écologue.

Au-delà de la pleine terre, l'aménageur pourra également chercher à préserver une « trame brune » au sein de l'opération. En effet, les espèces présentes dans le sol (vers de terre, carabes, collemboles, fourmis ou taupes) ont elles aussi besoin de se déplacer pour accomplir leur cycle de vie, se reproduire, échapper à des changements ponctuels dans leur environnement, ou recoloniser un milieu après un épisode de mortalité. Le respect de la trame brune peut passer par un agencement judicieux des bâtiments et des espaces verts, mais aussi en limitant les réseaux souterrains et les éléments artificiels dans le sol (cuves bétonnées, tuyaux, servitudes). Le choix de fosses contiguës pour les arbres d'alignement est également une solution afin qu'ils partagent un volume de sol commun, en évitant les fosses individualisées dont le volume dépasse rarement 4 à 9 m<sup>3</sup> [43].

### Principes architecturaux minimisant l'impact sur les sols

À l'échelle du bâti, le terrassement et les fondations lourdes affectent durablement les sols, et de manière irréversible. Une alternative consiste à construire sur pieux ou pilotis afin de limiter l'emprise au sol. Des techniques de pieux vissés en acier ont l'avantage d'être totalement réversibles lors de la déconstruction. Si le tassement est évité, l'espace libéré entre le sol et le bâti peut devenir une surface supplémentaire pour permettre l'infiltration des eaux pluviales et servir de refuge à certaines espèces (plantes ombrophiles, insectes et petits mammifères). Les opérateurs peuvent également utiliser cette technique pour des bâtiments à plusieurs étages, comme dans l'exemple de l'écoquartier du Séqué à Bayonne.

#### EXEMPLE

##### L'écoquartier du Séqué à Bayonne

Conçu par l'architecte Patrick Arotcharen, le quartier du Séqué est un écoquartier de 14 hectares (dont 6,8 sont urbanisés) situé à Bayonne et structuré autour du paysage et de la biodiversité. Un espace boisé classé et un lac, utilisé comme bassin de rétention des eaux pluviales, s'intègrent pleinement dans l'aménagement. La concertation des acteurs a permis de garantir la cohérence architecturale et paysagère des projets immobiliers en contrôlant le respect du cahier de prescriptions. Le choix des formes urbaines a été fait en référence aux spécificités paysagères et l'habitat collectif a été privilégié. La majorité des bâtiments sont construits sur pieux, permettant ainsi au sol d'assurer ses fonctions de filtration et de rétention d'eau ; les pilotis permettent quant à eux de dégager des couloirs pour le passage de la microfaune et des mammifères sous les bâtiments (photo 4). Enfin, ce système est moins impactant pour les arbres existants et plus réversible que les fondations en radier. L'utilisation d'essences indigènes adaptées a été privilégiée, mais la majorité de la végétation existante a été préservée, dont les haies et les arbres remarquables.



▲ Photo 4. Bâtiments sur pilotis dans l'écoquartier du Séqué à Bayonne (64) (source : Patrick Arotcharen).

### 2.1.4 | La végétalisation du bâti

Les toitures végétalisées sont devenues courantes dans les projets de construction. Il en existe ainsi de nombreux systèmes, généralement classés selon la profondeur du substrat ou la végétation installée :

- les toitures extensives (entre 0 et 15 cm de profondeur) ;
- les toitures semi-intensives (entre 15 et 30 cm) ;
- les toitures intensives (au-delà de 30 cm) ;
- les toitures non plantées, enfin, dites « *Wildroofs* » [44] et dans lesquelles pousse une flore spontanée, constituant une quatrième catégorie.

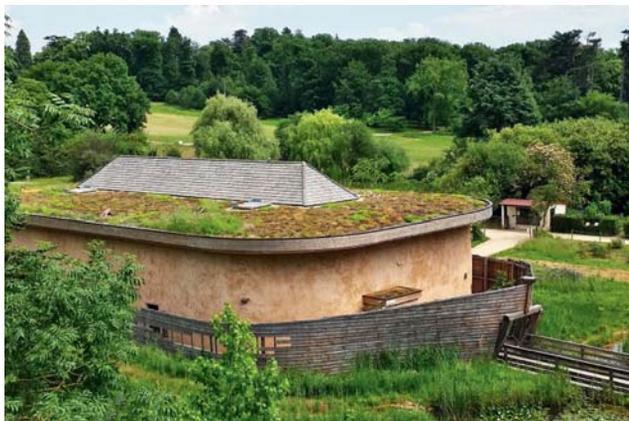
En France, les toitures extensives sont les plus répandues en raison de leur légèreté, leur facilité d'installation, leur faible coût et le peu d'entretien requis.

Plusieurs travaux de recherche ont confirmé l'intérêt des toitures végétalisées pour la biodiversité et leur capacité à fournir des services écosystémiques [45, 46]. En 2019, l'étude *Green Roofs Verified Ecosystem Services* (GROOVES) menée par l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (ARB ÎdF) et ses partenaires confirme que ces milieux originaux peuvent servir d'habitats de substitution ou de refuges complémentaires aux autres espaces verts urbains [47]. Ces propriétés sont néanmoins variables selon les systèmes : les toitures extensives abritent une biodiversité moins riche en plantes et en invertébrés que les toitures semi-intensives et intensives, qui bénéficient d'un substrat plus profond. Bien que moins diverses en espèces, les toitures extensives et les toitures *wildroof*, uniquement colonisées par la végétation spontanée, n'en demeurent pas moins intéressantes : elles présentent une composition particulière d'espèces de pelouses sèches sableuses et de plantes d'origine méditerranéenne. Certains paramètres de conception peuvent faire varier la biodiversité, comme la qualité du substrat et sa profondeur ainsi que la hauteur du bâtiment.

## EXEMPLE

### L'Arche des petites bêtes du Zoo de Thoiry

Conçue en 2013 par l'architecte Pascal Bas et végétalisée par le paysagiste Philippe Peiger, l'Arche des petites bêtes à Thoiry est un « vaisseau » de bois et de chanvre de 500 m<sup>2</sup> partiellement immergé et recouvert d'un toit végétalisé (photo 5). La végétalisation du toit s'est inspirée des prairies en contrebas : des plaques de sol ont été prélevées et incorporées à la toiture en complément de végétaux plantés en micro-mottes. Ce type d'approche permet de conserver une identité paysagère locale et de limiter l'achat de matériel végétal. Du bois mort et une mare ont également été aménagés sur la toiture, qui ne nécessite que très peu d'entretien. Enfin, des câbles tendus permettent aux plantes grimpances d'assurer une liaison entre la toiture et la prairie au sol. L'espace de 6 000 m<sup>2</sup> autour de l'arche a été aménagé avec une prairie de plantes mellifères et une zone humide créée pour permettre l'accueil d'espèces locales d'amphibiens et d'invertébrés. Une étude de 5 ans en partenariat avec l'université de Zurich a été engagée pour évaluer la biodiversité sur l'ensemble du site et sur la toiture végétalisée. Décédé en 2021, Philippe Peiger était président de l'association « Nature en toit », partisan d'une végétalisation favorable à la biodiversité. Il a réalisé plusieurs toitures remarquables et est l'auteur, avec l'écologue Nathalie Baumann, de l'ouvrage *Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures* [48].



▲ Photo 5. Arche des petites bêtes à Thoiry (78)  
(source : Philippe Peiger).

Qu'il s'agisse de construction neuve ou de rénovation, chaque toiture végétalisée est unique et peut être pensée de manière à reproduire un habitat spécifique ou s'inspirer de l'environnement local. Quelques principes peuvent néanmoins être respectés pour favoriser la biodiversité. Tout d'abord, il est intéressant de diversifier les strates de végétation et faire varier les profondeurs de substrat : de 8 à 10 cm minimum pour favoriser la rétention de l'eau<sup>(6)</sup> et jusqu'à 30 cm pour accroître la richesse floristique. Afin d'éviter l'utilisation de terres agricoles importées, il est possible d'utiliser des substrats de récupération (mélanges de matériaux concassés avec du compost ou de la terre de récupération).

(6) Les aides de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) sont conditionnées à cette profondeur minimale, correspondant à la rétention d'une pluie courante.

Afin de maîtriser tous les paramètres de conception, il est recommandé de limiter le recours aux systèmes conditionnés à l'avance (caissettes ou tapis pré-cultivés), souvent copiés-collés dans différentes régions et pouvant contenir plusieurs composants artificiels (bacs plastiques, géotextiles, filets). La plantation en micro-mottes ou en semis est préférable, en privilégiant des variétés locales, disponibles auprès de quelques fournisseurs<sup>(7)</sup> (par exemple la démarche Végétal Local portée par Plante & Cité). Dans certains cas, il est possible de collecter des plantes ou des graines sauvages prélevées à proximité du site pour les implanter sur la toiture. À Nantes, la toiture végétalisée de l'école Aimé Césaire réalisée par l'entreprise de paysage Phytolab est inspirée des milieux dunaires et littoraux [50] (photo 6). Construite en 2014 par les architectes ChartierDalix, la toiture végétalisée de l'école des Sciences et de la Biodiversité à Boulogne-Billancourt (92) (voir *infra*, exemple « L'enveloppe vivante du groupe scolaire de la ZAC Seguin à Boulogne-Billancourt ») a quant à elle été rénovée afin d'accroître son potentiel pour la biodiversité. Des semences et du foin issu de plantes vivaces, florifères et locales ont été collectés dans des prairies sèches appartenant au domaine national de Marly-le-Roi (78) et épanchés sur la toiture. Un an après les travaux, les indices d'évolution de la flore montrent l'apparition de onze espèces provenant de la prairie donneuse, ainsi que l'apparition de plusieurs espèces nouvelles d'insectes [51]. Ces méthodes, inspirées du génie écologique, s'avèrent adaptées à une diversification du mode de végétalisation des toits en fonction des régions et bassins climatiques.

Sur les toits, certains aménagements peuvent être favorables à plusieurs espèces, comme les enrochements, le bois mort ou



▲ Photo 6. La toiture végétalisée de l'école Aimé Césaire à Nantes (44), réalisée par l'entreprise de paysage Phytolab, inspirée des milieux dunaires et littoraux (source : Phytolab).

(7) En Île-de-France, le groupement d'intérêt économique (GIE) Pépinières franciliennes [49] participe à la démarche Végétal Local.

éventuellement un point d'eau (mare). L'entretien doit rester minimaliste, une à deux fois par an, pour contrôler l'étanchéité et l'installation éventuelle de ligneux non désirés. Si la toiture n'est pas cultivée, il n'est pas nécessaire d'arroser (même si la toiture change avec les saisons).

### 2.1.5 | La végétalisation des murs

Les murs et façades représentent également des surfaces supplémentaires à végétaliser ou à concevoir comme des habitats pour la faune. À l'image des toitures, un grand nombre de systèmes sont proposés sur le marché, généralement classés en fonction des types de croissance des végétaux (plantes grimpantes ou retombantes), des supports (absent, câbles, systèmes complexes) et des dispositifs d'approvisionnement en ressources (eau, milieu de croissance) (tab. 1). On distingue généralement les végétalisations simples (plantes grimpantes) des

murs plus complexes et hors-sol, qui nécessitent néanmoins plusieurs composants (bardage métallique, système d'irrigation intégré, substrat artificiel) et des quantités de ressources importantes (eau, intrants, renouvellement des végétaux). Une étude néerlandaise a montré que l'empreinte écologique des murs de plantes grimpantes était cinq fois inférieure à celle des murs par bardage rapporté [52].

Les plantes grimpantes ou retombantes, en plus de leur facilité d'installation, sont également un refuge et une source de nourriture pour de nombreuses espèces, notamment les pollinisateurs sauvages. Elles ont également un rôle rafraîchissant en créant un microclimat près des murs qui régule la température et l'humidité relative, réduisant ainsi les effets d'îlot de chaleur en période estivale. Ces plantes empêchent par ailleurs les rayons ultraviolets, la pluie et les polluants atmosphériques d'atteindre directement le mur, ce qui protège les matériaux de l'érosion physique et chimique. Leur grande diversité (glycines,

▲ Tab. 1. Comparaison des types de murs et façades végétalisés (source : P. Clergeau et al., 2018 [53]).

	Plantes grimpantes ou retombantes			Plantes non grimpantes, ligneuses ou herbacées		
	Système sur paroi <sup>(1)</sup>	Système à distance <sup>(2)</sup>	Murs de soutènement	Murs bâtis hors soutènement	Système sur nappe continue	Systèmes modulaires <sup>(3)</sup>
Élément de soutien	Bâti	Bâti ou aucun (4)	Remblai	Bâti	Bâti	Bâti ou aucun (4)
Support ou système d'encrage	Directement sur le parement	Treillis, filets ou câbles		Bardage rapporté rugueux (nouveaux systèmes)	Bardage rapporté sous forme d'une nappe unique et absorbante	Bardage rapporté sous forme de contenants de tailles réduites (5)
Localisation du sol ou du substrat	Au pied du mur	Jardinières en pied ou à différentes hauteurs du mur	Derrière le mur	En surface, ou en profondeur dans le mur		Dans des contenants de formes variables (6) sur toute la hauteur du mur à ou grandes (7)
Composition du substrat	Sol en place, substrat organo-minéral rapporté dans jardinières	Sol en place, substrat organo-minéral rapporté, substrat léger pour jardinières en hauteur	Organo-minéral	Substrat organo-minéral rapporté, dépôts atmosphériques et résidus de mortiers	Laine minérale, géotextile	Substrat organo-minéral léger, organique fibreux (8)
Orientation des conteneurs				Verticale (nouveaux systèmes)	Verticale	Verticale, légèrement incliné ( $\leq 20^\circ$ ), incliné ( $> 20^\circ$ ), horizontale
Intervalle bâti-plantes	Aucun	Étroit ( $< 15$ cm) à large ( $> 30$ cm)	Aucun	Aucun	Aucun	Étroit ( $< 15$ cm) à large ( $> 30$ cm)

(1) sans support, ou direct

(2) avec support ou indirect

(3) à substrat vertical et systèmes hors sol à substrat horizontal)

(4) système autoportant

(5) pots, panneaux

(6) gouttières, gabions

(7) pots, jardinières, sacs poreux, gouttières, panneaux, rails, cages métalliques

(8) sphaignes, fibre de coco

clématite, chèvrefeuille, lierre, vigne, kiwi, etc.) leur permet de s'adapter à tout type de climat et de supports (photos 7). En ce qui concerne les coûts d'installation, une étude récente estime qu'ils s'élèvent en moyenne à 34,8 €/m<sup>2</sup> pour les plantes grimpantes, contre 415,6 €/m<sup>2</sup> en moyenne pour les murs modulaires [54].

Plante aux mille vertus, le Lierre grimpant est souvent décrié par les architectes qui lui associent une image de dégradation des façades [55]. Une étude de l'université d'Oxford portant sur des bâtiments couverts de lierre dans cinq régions différentes d'Angleterre estime toutefois qu'il ne pose aucun problème de dégradation sur des bâtiments intacts, mais s'avère problématique seulement si les murs sont déjà endommagés et présentent des fissures [56, 57]. Il agit par ailleurs comme une couverture thermique, réchauffant les murs de 15 % en moyenne par temps froid et refroidissant la température de surface du mur par temps chaud de 36 % en moyenne. En amont du projet, il est nécessaire de conserver des espaces en pleine terre au pied des constructions, où sera plantée la végétation.

D'autres systèmes de végétalisation peuvent être imaginés, en s'inspirant de la colonisation des murs ou façades rugueuses par la flore spontanée. La création de murs « habitats », en utilisant des matériaux poreux ou en prévoyant des cavités dans la structure même du mur, représente une piste d'innovation majeure. Delphine Lewandowski, doctorante au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), travaille actuellement sur des murs « biodiversitaires » expérimentaux visant à accueillir plantes, insectes et oiseaux en surface et au sein de la structure du mur (cavités, substrat intégré, réserves d'eau et de nutriment), en continuité avec la couche structurelle et isolante (photo 8) [58].

Au-delà des façades, l'enveloppe tout entière du bâtiment peut être pensée différemment dans sa structure et sa conception dans une approche biomimétique. Dans le cadre de sa thèse, Estelle Cruz, cheffe de projet Habitat bio-inspiré au Centre d'études et d'expertises en biomimétisme (Ceebios), a étudié différentes typologies d'enveloppes naturelles (peau, poils, plumes, écailles, surfaces végétales) et leurs propriétés de régulation (air, eau, lumière, chaleur, acoustique et contraintes mécaniques) [59]. Sur le long terme, ces recherches pourraient permettre d'imaginer de nouveaux matériaux réactifs qui s'adaptent au contexte et au climat local, régulant ainsi la température du bâtiment. Le Ceebios a recueilli de nom-



▲ Photo 8. Parois « biodiversitaires » développées par l'agence ChartierDalix et le MNHN, dont les trois prototypes sont visibles au 43 rue Buffon à Paris (source : Marc Barra).



▲ Photos 7. Plantes grimpantes diverses sur des façades du XIX<sup>e</sup> arrondissement de Paris et à Aubervilliers (93) (source : Marc Barra).

breux exemples de bâtiments bio-inspirés qui se réfèrent à plusieurs approches comme l'architecture vernaculaire, japonaise, solaire, organique ou encore biomorphique [59]. Au Zimbabwe, le centre d'affaires Eastgate Center réalisé par l'architecte Mike Pearce s'est inspiré des termitières, conférant au bâtiment des propriétés de régulation thermique et réduisant la consommation d'énergie de 35 % par rapport aux autres immeubles du pays [60].

## EXEMPLE

### Le bâtiment-arbre 25 Verde à Turin

Le bâtiment 25 Verde a été construit par l'architecte Luciano Pia dans le centre-ville de Turin et accueille environ 150 arbres sur ses façades (photo 9). Les structures qui soutiennent les terrasses sont des « arbres » d'acier qui servent aussi à la récupération des eaux pluviales, utilisées pour arroser les arbres placés partout dans le bâtiment. L'épaisseur de terre atteint un mètre et demi afin que les arbres puissent se développer. L'architecture a été travaillée afin de favoriser la vue sur la végétation et sur les structures dans un secteur urbain très minéral. Le bâtiment en forme de U comporte un jardin intérieur visible des appartements, composé essentiellement des plantes locales ainsi d'une cinquantaine de grands arbres. Le projet a visé à construire un bâtiment vivant qui vieillit et évolue avec le temps et qui ne soit pas figé. Tous les appartements sont différents afin que chaque résident définisse sa façon d'habiter.



▲ Photo 9. Façade arborée du bâtiment 25 Verde à Turin (Italie) (source : Creative Commons).

## 2.1.6 | Dispositifs d'accueil de la faune sur les bâtiments

### Des structures adaptées aux besoins des espèces

Il existe une grande variété de nichoirs, d'abris ou de gîtes à intégrer au bâtiment dès sa conception. Avant même d'envisager leur installation, le premier réflexe est d'éviter que l'architecture elle-même ne nuise à la faune. Alors que la réglementation thermique incite à concevoir des surfaces lisses et homogènes, les enveloppes des bâtiments seront d'autant plus attractives pour la faune qu'elles seront pourvues d'anfractuosités ou de supports variés pour permettre aux espèces de s'y installer (voir *supra*, § 2.1.5 « La végétalisation des murs »). Il

est important de limiter les surfaces vitrées ou réfléchissantes qui peuvent occasionner des collisions<sup>(8)</sup>. Ce risque peut être atténué en appliquant un marquage (bandes, silhouettes) sur les vitres ou en prévoyant de végétaliser les façades vitrées à l'aide de plantes grimpantes sur câbles tendus [61]. Ce système permet par ailleurs d'offrir de l'ombrage en période estivale et de laisser la lumière pénétrer en hiver lorsque les végétaux perdent leurs feuilles.

Les nichoirs et abris à faune se sont multipliés ces dernières années, souvent par mimétisme entre aménageurs ou par effet de mode. Si ces aménagements ont indéniablement une fonction pédagogique, ils peuvent s'avérer sans rapport avec les besoins des espèces ciblées. Dans tous les cas, c'est le diagnostic écologique, l'expertise naturaliste et le suivi qui doivent guider ce type d'aménagements, en fonction des espèces à favoriser (oiseaux, chauves-souris, insectes) et de leurs exigences (fig. 6). Plusieurs modèles ont été spécialement conçus pour les oiseaux et les chauves-souris, dont la plupart des espèces sont protégées en Europe [62]. Ces derniers peuvent être installés directement dans la structure du bâtiment, sur les structures annexes (avancées de toit, pylônes, charpentes) ou posés en excroissance sur le bâti. Il est nécessaire de privilégier des matériaux non traités et naturellement résistants. Les architectes pourront se référer à de nombreux guides ou fiches pratiques réalisés par des associations de protection de la nature, qui offrent des détails techniques sur le choix du modèle (morphologie, dimension, type de matériaux) comme sur les modalités d'installation (hauteur, ensoleillement, etc.) et d'entretien [63, 64]. Dans le cadre d'une démarche participative impliquant les populations locales, il est possible de concevoir les nichoirs et abris soi-même à partir de modèles types [65].

La logique de l'*animal-aided design* [66], développée par plusieurs scientifiques, s'appuie sur cette connaissance préalable des espèces afin de concevoir des aménagements urbains et architecturaux adaptés à leurs besoins. En France, l'école des Sciences et de la Biodiversité à Boulogne-Billancourt (voir *infra*, exemple « L'enveloppe vivante du groupe scolaire de la ZAC Seguin à Boulogne-Billancourt »), dont les parois sont conçues de façon à intégrer des nichoirs (mésanges, martinets) et accueillir la végétation spontanée en est un bon exemple, de même que la rénovation du collège Paul Arène à Sisteron (voir *infra*, exemple « Rénovation de la cité mixte Paul Arène à Sisteron (04) abritant une colonie de Molosses de Ceston »), dont la façade a été isolée et rénovée en tenant compte et en préservant une population importante de Molosses de Cestoni [67], espèce protégée et repérée sur le site avant les travaux. Ces exemples ouvrent la voie à de nouvelles formes de coopération entre architectes et écologues afin d'éviter une installation aléatoire de nichoirs ou d'abris.

(8) En France, 7 % des accueils en centres de sauvegarde LPO le sont à la suite de collisions contre des objets fixes, et notamment des vitres.



Espèce	Accès (mm)	Dimension (mm)	Hauteur (m)
Bergeronnettes	150 × 70	150 × 120 × 200	2
Gobemouche gris	32	160 × 120 × 200	2
Grimpereau	25 × 60	120 × 120 × 180	2
Mésange bleue	28	120 × 120 × 200	2 à 5
Mésange charbonnière	32	120 × 120 × 250	2 à 5
Moineau domestique	35 à 40	120 × 120 × 250	2 à 5
Moineau friquet	33 à 35	120 × 120 × 220	2 à 4
Rouge-gorge	150 × 70	150 × 120 × 200	1 à 2
Rouge-queue noir	150 × 70	150 × 120 × 200	1 à 4
Sittelle toche-pot	30 à 45	120 × 120 × 250	3 à 5

Ce tableau vous donne les dimensions théoriques des nichoirs selon les espèces, les animaux ne se privent pas de contredire nos chiffres !

▲ Fig. 6. Dimensions théoriques des nichoirs selon les espèces et illustrations de nichoirs à martinets, mésanges et rapaces.

Dans la même logique, l'installation de ruches en ville doit faire l'objet d'une vigilance accrue. En effet, la présence d'une forte densité d'Abeilles domestiques (*Apis mellifera*) peut entrer en concurrence avec les populations d'insectes pollinisateurs sauvages pour l'accès à la ressource florale [68]. La nécessité de sauvegarder les abeilles implique avant tout de protéger ou restaurer une diversité d'habitats favorables aux pollinisateurs (prairies urbaines, haies, milieux terrioles, etc.) dans les espaces attenants au bâti.

### EXEMPLE

#### Le centre de loisirs de Mignaloux-Beauvoir

En 2005, la LPO Vienne a accompagné la conception du centre de loisirs de Mignaloux-Beauvoir par l'agence d'architecture Duclos Architectes Associés, avec la collaboration d'entreprises de maçonnerie et de charpente, afin d'intégrer des nichoirs à passereaux sur la façade du bâtiment (photo 10). Une partie des aménagements a été réalisée sur la façade et ceux-ci sont à peine perceptibles : de simples trous dans le bardage en douglas non traité donnent en effet accès à des nichoirs fabriqués par les adolescents du centre de loisirs, puis encastrés dans les creux moulés lors du coffrage en béton. Le diamètre des accès a été pensé pour plusieurs passereaux : Mésange bleue ou Mésange charbonnière, Moineau friquet ou Moineau domestique. Sous le préau, des entrées pour martinets ont été percées dans les panneaux de bois. À l'ouest, neuf nichoirs réalisés par un bénévole LPO ont été installés. Ornementaux, ces gîtes se veulent aussi opérationnels avec des formes et des entrées variées pour diversifier leur occupation : outre des mésanges et des moineaux, sont attendues des espèces telles que



▲ Photo 10. Nichoirs à martinets intégrés dans l'avancée de toit à Mignaloux-Beauvoir (86) (source : LPO Vienne).

Le Rougequeue noir ou le Rougequeue à front blanc, la Bergeronnette grise, voire la Huppe fasciée. Des abris à chauves-souris ont également été aménagés. Entre 2007 et 2021, la LPO Vienne a effectué un suivi de l'occupation de ces aménagements : le taux d'occupation des nichoirs s'est avéré très satisfaisant, bien que le succès soit aléatoire.

## EXEMPLE

### L'enveloppe vivante du groupe scolaire de la ZAC Seguin à Boulogne-Billancourt

Construit en 2014 par les architectes ChartierDalix, le groupe scolaire de l'école des Sciences et de la Biodiversité de Boulogne-Billancourt (92) abrite une façade unique constituée de micro-anfractuosités (photo 11). Fruit d'un partenariat entre les architectes et l'écologue Aurélien Huguet, les murs extérieurs ont été conçus en référence aux murs de pierres et aux falaises où s'installent spontanément des espèces végétales. Ils présentent des anfractuosités et des lignes de rupture multiples pour permettre l'installation d'espèces animales (dont des chiroptères), ainsi que l'écoulement de l'eau. Leur enveloppe est constituée de 1 350 blocs de béton préfabriqué de 40 à 80 cm de hauteur et de 3 m de long. Seize familles de blocs ont été conçues. Certaines accueillent des hôtels à insectes ou des nichoirs, et d'autres de petites vasques ou de la terre. Sur la toiture, la profondeur de substrats varie entre 30 cm et 1 m, permettant de créer une diversité d'habitats allant de la prairie à la « micro-forêt » urbaine. Un premier inventaire réalisé récemment par Audrey Muratet a recensé la présence de 70 espèces, dont une trentaine sur la toiture [69]. Le bâtiment a ainsi été conçu comme un outil pouvant servir à plusieurs générations d'enfants, en proposant un lien intime avec le vivant.



▲ Photo 11. Façade et toiture végétalisées de l'école des Sciences et de la Biodiversité à Boulogne-Billancourt (92) (source : ChartierDalix).

## EXEMPLE

### La Bourdonnerie à Dijon

Inauguré en 2016, le bâtiment de La Bourdonnerie est situé au cœur de l'écoquartier Heudelet 26 à quelques pas du centre-ville de Dijon. Il se distingue par l'une de ses façades conçue comme un « hôtel à insectes » géant de 60 m<sup>2</sup> (photo 12). Réalisé par l'atelier d'architectes Calc et deux associations environnementales, Alterre Bourgogne-Franche-Comté et Réserves naturelles de France, la façade est composée d'une soixantaine de casiers amovibles remplis de sable, tuiles ou bûches percées de trous. Associés à des plantes à fleurs, ces casiers reconstituent des micro-écosystèmes pour attirer de nombreuses espèces d'insectes (guêpes, coccinelles, abeilles sauvages, papillons, coléoptères...). L'association a prévu une analyse génétique des résidus laissés par les insectes sur les casiers afin de suivre la colonisation avec le temps.



▲ Photo 12. Bourdonnerie à Dijon (21) et sa façade constituée d'hôtels à insectes pollinisateurs (source : Laurent Boiteux).

## 2.1.7 | Trames vertes, bleues et noires : perméabiliser les espaces ouverts au vivant

### Conception des espaces ouverts

Au-delà du bâti, la quantité et la qualité des espaces ouverts attenants jouent un rôle essentiel pour la biodiversité. Il ne s'agit pas de créer un *arboretum* ou une collection horticole, mais de prévoir des espaces végétalisés diversifiés, multistratifiés, peu gérés et connectés entre eux (trames écologiques) en s'appuyant sur les recommandations du diagnostic écologique. Selon la configuration du projet, le paysagiste et l'écologue pourront prévoir une variété de milieux (prairies, bosquets, haies, mares, etc.) afin d'offrir aux espèces différentes conditions d'adaptation (photo 13). Si des habitats spécifiques ont été signalés lors du diagnostic écologique, ils devront être conservés et valorisés au sein du projet. Pour favoriser la faune locale et l'adaptation au changement climatique, il est important de privilégier les espèces végétales locales. En France, la marque Végétal Local [70] a été créée pour permettre aux maîtres d'ouvrage de s'approvisionner en plantes sauvages collectées dans leur région. Elle permet de garantir la provenance locale d'espèces de fleurs sauvages, d'arbres ou d'arbustes dans l'une des onze biorégions définies en France métropolitaine, avec une diversité génétique locale et un renouvellement régulier des semences. Dans certains cas, il est également possible de sélectionner ses propres semences en récoltant des graines sauvages ou du foin directement dans leur milieu naturel, à proximité du site à aménager. La gestion future de ces espaces, qui dépend en grande partie de la façon dont ils ont été conçus, doit rester minimaliste, en s'appuyant sur les principes de la gestion écologique et différenciée [71], qui consiste à faire un compromis entre la gestion relativement stricte et contrainte des espaces urbains et la gestion de conser-

vation des espaces protégés. La tonte doit être la plus limitée possible, en privilégiant la fauche tardive et une hauteur de coupe au-delà de 7 cm. En dehors des espaces récréatifs (sport, détente, jardinage), des zones plus sauvages peuvent évoluer librement, en acceptant la flore spontanée [72]. Créé en 2012 par Plante & Cité pour répondre à la demande croissante des collectivités publiques et des entreprises d'évoluer vers une gestion écologique de leurs espaces verts, le label EcoJardin permet de valoriser les pratiques de gestion écologique des espaces végétalisés [73].

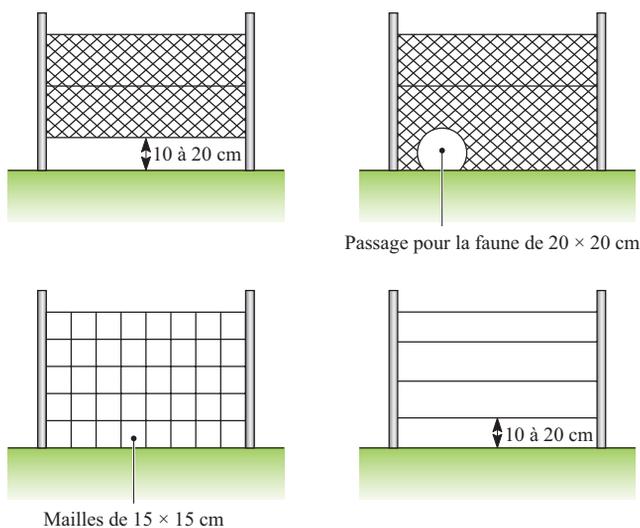


▲ Photo 13. Diversifier les milieux (prairies, bosquets, haies, mares, etc.) et les strates de végétation permettant d'offrir aux espèces différentes conditions d'adaptation (source : Marc Barra).

### Trames vertes

Les projets de construction occasionnent des ruptures de continuités écologiques qui affectent le déplacement des espèces, pourtant essentiel afin qu'elles se reproduisent, se nourrissent ou s'adaptent au changement climatique. Il est primordial d'éviter la construction sur des espaces définis comme composante des continuités écologiques (réservoir ou corridor). Le diagnostic écologique est censé replacer et situer le projet par rapport aux corridors écologiques définis à une échelle supérieure, régionale ou (inter)communale dans le SRCE ou les schémas « trame verte et bleue » (TVB) inscrits au Scot ou PLUi. Cette étape d'évitement effectuée, les différentes trames devront être déclinées au sein du projet en jouant sur l'agencement des bâtiments afin de connecter les espaces ouverts entre eux et conserver une perméabilité maximale aux espèces. À l'heure actuelle, la déclinaison des différentes trames est bien souvent limitée à un « coup de crayon » paysager et esthétique sans véritable lien avec la biologie des espèces et leurs modes de déplacement. Des espèces cibles pourront être identifiées par l'écologue afin d'intégrer des réservoirs et des corridors effectifs au sein de l'opération.

Aux abords des bâtiments, il est nécessaire d'éviter au maximum les clôtures ou barrières infranchissables pour la faune et de les remplacer par des clôtures « vivantes » comme les haies champêtres d'essences locales ou les haies plessées (fig. 7). Par ailleurs, il est facile d'adapter les clôtures existantes en conservant des ouvertures de 10 à 20 cm tous les 15 m pour le passage de la petite faune. Les murets en pierres sèches, en bois (photo de la fig. 7) ou en briques qui présentent des anfractuosités peuvent se révéler favorables à certaines espèces (oiseaux, lézards, insectes, etc.). Dans les secteurs fragmentés par des infrastructures (routes, dalles, murs), il peut s'avérer nécessaire de créer des passages à faune spécifiques. Il en existe plusieurs modèles, adaptés à chaque groupe d'espèces (amphibiens, chiroptères, petits mammifères) [74]. Enfin, la largeur des voies de circulation peut être réduite pour permettre aux espèces de les franchir.



▲ Fig. 7. Préconisations pour conserver des passages à faune sous les clôtures – Exemple d'une haie plessée à Strasbourg (67) (source : ARB îdF, Gwendoline Grandin).

**EXEMPLE****Les Docks de Ris à Ris-Orangis (Essonne)**

Le quartier des « Docks de Ris » est une opération de reconversion d'un secteur de friches industrielles de 18 hectares situé au nord de la commune de Ris-Orangis et à proximité d'une gare RER (ligne D). Bien que les études datent des années 2000, ce quartier a été pionnier dans l'attention portée à la biodiversité et fait figure d'exemple en Île-de-France sur la prise en compte des trames vertes et de la biodiversité ordinaire (photo 14). Situés en bordure de Seine, les Docks de Ris s'intègrent idéalement dans le paysage, avec un parc de 8 hectares classé « espace naturel sensible » (ENS) et comprenant un plan d'eau. Sous l'impulsion de l'Agence Laverne Paysagistes, l'équipe projet a travaillé sur la perméabilité du quartier au vivant. L'absence de grillages et de barrières infranchissables pour la faune en fait un projet exemplaire du point de vue des trames vertes à l'échelle locale. Lors de la conception, les espèces locales ont été privilégiées et la végétalisation du quartier est présente jusqu'au pied des constructions. Perçue initialement de manière négative par des habitants se plaignant d'allergies ou de la présence de « petites bêtes », cette densité végétale constitue aujourd'hui un atout grâce à un accompagnement et une communication efficace. Au total, les espaces publics représentent 72 % des 18 hectares (avec environ 10 hectares végétalisés, dont 8 hectares d'ENS). Les milieux créés sont variés : prairies libres gérées extensivement et prairies fleuries, jardins en creux à fonction d'infiltration des eaux pluviales. La gestion différenciée est privilégiée sur l'ensemble du quartier.



▲ Photo 14. Trames vertes dans l'écoquartier des Docks de Ris à Ris-Orangis (91) (source : Marc Barra).

**Trames bleues**

Les milieux humides sont généralement considérés comme de hauts lieux de biodiversité, abritant une grande diversité d'espèces. Ils remplissent par ailleurs plusieurs fonctions (stockage de l'eau et du carbone, rafraîchissement). En zone urbaine dense, le ruissellement est amplifié du fait de l'artificialisation croissante des sols et de l'absence de ces milieux humides. De nombreux réseaux sont saturés lors d'épisodes pluvieux. Le recours aux espaces végétalisés comme alternative à la gestion des eaux pluviales permet de limiter ces risques tout en maximisant la pleine terre et les espaces végétalisés au sein des quartiers. Ces techniques s'appuient sur des dispositifs variés comme les noues végétalisées, les mares, les jardins de pluie, les bassins végétalisés ou les espaces verts inondables (photos 15).



▲ Photos 15. Mares, noues végétalisées, bassins d'orage et jardins de pluie permettant de gérer les eaux pluviales et de préserver la trame bleue au sein des opérations d'aménagement (source : Jonathan Flandin, Gilles Lecuir, Marc Barra, Wikimedia Commons).

Dans les opérations de construction et d'aménagement, ces espaces peuvent remplacer des infrastructures dites « grises » (cuves enterrées, bassins artificiels) en s'appuyant sur l'infiltration directe dans les sols.

En amont, la qualité des sols doit être étudiée, de même que la topographie et l'hydrologie (hauteur de la nappe phréatique, parcours de l'eau) afin d'anticiper le positionnement et le dimensionnement de ces futurs espaces humides et végétalisés. Certains sols présentent des comportements mécaniques pouvant limiter voire interdire l'infiltration directe des eaux pluviales (risque de dissolution et d'effondrements des sols gypseux [75], « retrait-gonflement » des sols argileux [76], zones karstiques ou fissurées). Les revêtements perméables comme les pavés drainants ou les dalles enherbées devront être privilégiés sur la voirie et les places de stationnement. Il est nécessaire de laisser l'eau s'évacuer vers les espaces végétalisés en limitant les obstacles.

De nombreux guides techniques sont disponibles pour concevoir une mare, un jardin de pluie ou une zone humide urbaine d'une manière favorable à la biodiversité [76, 78]. Pour que ces ouvrages soient efficaces, il est important qu'ils restent végétalisés (éviter les fauches rases) et que les sols ne soient pas tassés en amont. De même que pour tous les espaces végétalisés, la gestion de ces dispositifs doit rester minimale (réduction de la tonte, piétinement) pour garantir un impact positif sur la biodiversité.

Si le foncier s'y prête, il est possible de prévoir un espace dédié au traitement des eaux usées rejetées par les bâtiments, dans des bassins de lagunage ou de phytoépuration (bassins plantés de roseaux, phragmites, joncs, massettes, iris) [79] (photo 16). Ces systèmes ont fait leurs preuves pour éliminer efficacement la pollution microbiologique des eaux usées grises (vaisselle, douches) et noires (toilettes). Ces zones humides pourront s'intégrer au projet en anticipant dès le départ la surface nécessaire, la morphologie et la végétation adaptée en fonction de



▲ Photo 16. Phytoépuration permettant un traitement écologique des eaux usées grâce aux plantes et aux bactéries (source : Creative Commons).

la pollution à traiter. À Culembourg (Pays-Bas), dans l'écoquartier EVA-Lanxmeer, toutes les eaux grises sont collectées et traitées dans des lagunages naturels, avant d'être renvoyées vers la nappe phréatique. Les différents espaces verts du quartier sont par ailleurs connectés entre eux, sans aucune barrière infranchissable pour la faune [80]. Des systèmes de filtres plantés à petite échelle existent également pour des habitations individuelles. Au préalable, les usagers doivent être sensibilisés à l'utilisation des produits biodégradables et éviter les rejets de substances nocives pour la biodiversité (phosphates, perturbateurs endocriniens, eau de Javel, etc.) dans les eaux usées.

La présence de milieux humides près des habitations peut soulever plusieurs interrogations auprès des habitants, notamment au regard de la présence de moustiques. Une communication adaptée sur les bénéfices de ces milieux permettra de lever certaines appréhensions. Généralement, le temps de rétention de l'eau dans les ouvrages végétalisés est limité (24 à 48 h), les moustiques préférant les ouvrages bétonnés où l'eau est stagnante [81]. Par ailleurs, une conception adéquate favorisant l'accueil des prédateurs (chauves-souris, oiseaux et libellules) peut permettre de mieux réguler ces insectes indésirés.

## EXEMPLE

### L'écoquartier de La Courrouze à Rennes

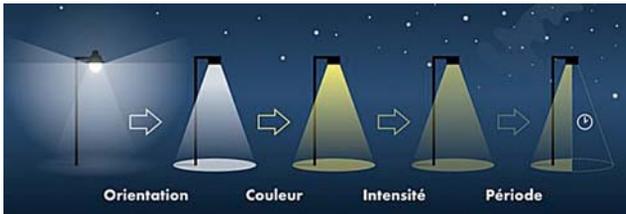
À Rennes Métropole, la ZAC La Courrouze a pris le parti de gérer l'intégralité des eaux pluviales et de ruissellement à la parcelle grâce aux espaces verts et aménagements dédiés. Un travail de reconnaissance et de nivellement de la friche industrialo-militaire existante a permis de préparer le terrain tout en préservant et en mettant en valeur la végétation existante (photo 17). Pour la gestion des eaux, plusieurs principes ont été retenus : plantations en fosses continues systématiques, absence d'arrosage, palette végétale indigène et rustique, présence de toutes les strates végétales implantées suivant le gradient d'humidité du milieu. Le projet est surtout un projet de sol qui mise sur la reconstitution progressive d'humus en renonçant à une introduction massive de terre végétale. La gestion des eaux pluviales dans les espaces verts permet de développer la multifonctionnalité des lieux : bassins à sec, terrain de jeux, parc public, limites public-privé aménagées confortablement.



▲ Photo 17. Conservation des arbres existants dans la ZAC de La Courrouze à Rennes (35) (source : Gilles Lecuir).

## Trames noires

Selon l'Association nationale pour la protection de la nuit (Anpcen), environ 85 % du territoire métropolitain français subit des pressions dues à la pollution lumineuse [82]. Outre les effets sur la santé humaine, l'éclairage artificiel modifie le cycle biologique, les interactions et le comportement de nombreuses espèces (déplacement, prédation, pollinisation, recherche de nourriture). Le concept de trame noire s'ajoute à celui des trames verte et bleue et correspond au maintien de zones pas ou peu éclairées afin de préserver les espèces nocturnes (oiseaux, chauves-souris, insectes) [83]. Dans le cadre des projets d'aménagement et de construction, les préconisations consistent à limiter au maximum l'éclairage futur et, si possible, de maintenir des zones dans l'obscurité totale. Dans les zones éclairées, il convient par ailleurs d'orienter le flux lumineux vers le bas et non vers le ciel. Il est généralement conseillé de privilégier l'utilisation de sources de lumière de couleur ambrée plutôt que de couleur blanche-bleue, davantage nocive pour la faune nocturne. Enfin, il est nécessaire de réduire l'intensité lumineuse quand cela est possible. Dans l'espace habité ou les voies de déplacement douces, des systèmes de détection de présence peuvent permettre de déclencher l'éclairage sur un temps court et régler automatiquement l'intensité lumineuse (fig. 8). En amont, une étude d'incidence de la pollution lumineuse tenant compte des déplacements de la faune nocturne est nécessaire pour déterminer les solutions optimales [84]. Un suivi dans le temps peut s'avérer nécessaire afin d'adapter les aménagements au fur et à mesure.



▲ Fig. 8. Représentation des quatre critères à prendre en compte pour l'éclairage nocturne (source : Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic).

### 2.1.8 | Les matériaux et la biodiversité grise

Le secteur du bâtiment génère une demande considérable en matériaux de construction, eux-mêmes conçus à partir de matières premières (granulats, acier, sable, bois, etc.) [85]. Si le lien avec la biodiversité peut sembler lointain, il s'exerce pourtant sur l'ensemble du cycle de vie des matériaux : de l'exploitation des matières premières dans leurs milieux naturels, à leur transformation, leur transport jusqu'à leur fin de vie. Par analogie avec l'« énergie grise », le concept de *biodiversité grise* traduit ces différents impacts, variables en fonction du type de matériau et des matières premières mobilisées (minérales, biosourcées ou recyclées) [86].

Pour l'aménageur, le choix d'un matériau « vertueux » peut s'avérer particulièrement complexe, par manque de transparence et de traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de production. Bien que les matériaux biosourcés (paille, lin, bois, chanvre, miscanthus, etc.) représentent une alternative pertinente aux matériaux traditionnels énergivores (béton, acier), leur mode de production peut aussi avoir des impacts sur les écosystèmes (le bois issu d'une coupe rase en forêt peut par exemple s'avérer particulièrement néfaste pour la biodiversité locale [87]). Peu importe le matériau, le principe premier consiste à privilégier, quand c'est possible, des modes de production plus écologiques (cultures biologiques ou agro-écologiques quand il s'agit de matières agricoles, forêts dont la gestion est certifiée pour le bois, carrières dont l'exploitation est encadrée en ce qui concerne les granulats). D'autres principes, examinés ci-après, peuvent être également respectés ; leur intérêt sera encore plus grand s'ils sont combinés dans une approche multicritère.

#### Principe de localisme

Ce principe vise à privilégier des matériaux produits à proximité, ce qui offre davantage de visibilité sur les conditions de production et d'extraction de ressources et permet de limiter les distances de transport. À Lausanne, le bâtiment public administratif *Eco46*, construit en 2011, a fait le pari d'un approvisionnement exclusivement local, à moins de 100 km du site du projet. La conception s'appuie sur une structure en bottes de paille porteuses issues d'une ferme de la Ville de Lausanne, de murs en pisé dont la terre provient de l'excavation du chantier et d'une gravière avoisinante, et en bois exploité dans les forêts lausannoises [88].

#### Principe de « mix matériautique » [89]

Afin de limiter le recours à un seul type de ressource, il est intéressant de s'appuyer sur une logique de diversification des matériaux, à l'échelle d'un projet, d'une ville ou d'une région entière, en privilégiant à la fois :

- les filières de réemploi (granulats recyclés, acier, verre, etc.) lorsque cela est possible ;
- les filières de matériaux biosourcés issus de l'agriculture biologique ou agroécologique ;
- les filières de matériaux géosourcés (terre, pierre) si elles sont disponibles localement.

#### Principe de sobriété ou de frugalité

Ce principe cherche à éviter l'usage de matériaux trop complexes (matériaux composites difficilement recyclables) en privilégiant les matériaux naturels peu transformés et éco-conçus, qui seront valorisables ou compostables en fin de vie. Cela concerne aussi bien les matériaux à base végétale nécessaires au gros œuvre que ceux utilisés pour le second œuvre et la finition (peintures, crépis, mobilier, etc.). D'une

manière générale, un objectif de sobriété architecturale doit être recherché en minimisant les quantités utilisées. Le réemploi de matériaux issus de la déconstruction sur le site ou de plateformes de recyclage à proximité permet également d'éviter l'extraction de nouvelles ressources. Le *Manifeste pour une frugalité heureuse et créative* [90], rédigé conjointement par Dominique Gauzin-Müller (architecte-chercheur), Alain Bornarel (ingénieur) et Philippe Madec (architecte et urbaniste), réunit de nombreux acteurs séduits par des approches frugales et *low-tech* de l'architecture et travaille au développement de filières et de savoir-faire locaux sobres à l'échelle des territoires.

### Principe de biocompatibilité

Il peut s'avérer intéressant d'opter pour des matériaux biocompatibles comme la pierre, le bois et les fibres végétales creuses, dont les propriétés permettent ou facilitent l'installation du vivant. Ils peuvent, selon leur emplacement dans le bâtiment, servir de point d'ancrage pour les végétaux (façades et crépis), de refuges pour la microfaune (abris, nichoirs), ou favoriser la perméabilité des sols (revêtements extérieurs). À La Roche-sur-Yon, le Centre Beautour réalisé par l'agence Guinée\*Potin (photo 18) constitue un exemple d'architecture « organique » et frugale conçue en ossature bois et recouverte d'une toiture en chaume de 35 000 bottes de roseaux [91]. Ces derniers offrent des habitats inattendus pour les pollinisateurs sauvages et jouent ce rôle de matériau biocompatible en permettant l'installation des espèces. Des aménagements extérieurs (mares, bassins filtrants, vallon expérimental, clos des insectes, etc.) ont également été réalisés.



▲ Photo 18. Centre d'exposition et centre de recherche sur la biodiversité Beautour, Guinée\*Potin, La Roche-sur-Yon (85) (source : Sergio Grazia).

### Principe de réversibilité

Enfin, il est nécessaire d'anticiper la déconstruction et la fin de vie des bâtiments afin de limiter la quantité et les

impacts des déchets du BTP, dans une démarche d'économie circulaire.

### EXEMPLE

#### L'école maternelle des Boutours : un bâtiment organique et une approche globale

L'école maternelle des Boutours, à Rosny-sous-Bois, a été conçue dans une démarche systémique, à la fois radicale et réaliste. Installée à la place d'un ancien parking, cette école passive a fait le pari du *low-tech* et du recours à des technologies de basse complexité ne nécessitant pas l'utilisation de terres rares. Hormis l'ascenseur et une poutre d'acier, tous les matériaux (bois, paille, terre, linoléum, peinture naturelle à base de colza biologique local, fibres de bois compressées, etc.) sont biosourcés (photos 19). Autour du bâtiment, l'aménagement paysager conserve au maximum les arbres présents et intègre de nouveaux arbres fruitiers. Une grande terrasse végétalisée d'une trentaine de centimètres de profondeur a été créée avec des espaces sauvages, d'autres espaces accueillant un potager cultivé par les enfants. L'eau de pluie est gérée sur place, infiltrée dans la cour et les surfaces végétalisées. L'immeuble a été pensé en fonction des enfants qui allaient y vivre et y grandir, et sa conception s'est appuyée sur la participation citoyenne (réalisation de mosaïques et de plantations, suivi du potager, conception de nichoirs avec l'aide de la LPO). Une mare pédagogique se trouve au pied de l'école et a accueilli une nichée de canards sauvages. Après l'école maternelle, une seconde école élémentaire ainsi que le nouveau centre de loisirs Félix Éboué ont été conçus sur le même principe, sous l'impulsion d'Emmanuel Pezrès, architecte de la Ville de Rosny-sous-Bois. L'école a par ailleurs reçu en octobre 2017 le niveau Or de la démarche « Bâtiment durable francilien » par l'association Ekopolis pour sa phase conception, avec une note de 91/100.

## 2.2 Intégrer la biodiversité dans les projets de rénovation

La plupart des recommandations formulées pour la construction neuve sont également applicables aux projets de rénovation (diagnostic écologique préalable, chantier, végétalisation des toits et façades, matériaux). Rénover, c'est économiser du foncier en ciblant les infrastructures et bâtiments existants. C'est aussi l'occasion de rendre ces derniers plus attractifs pour la faune et la flore, en les végétalisant ou en installant de nouveaux dispositifs d'accueil pour les espèces, voire de nouveaux matériaux plus écologiques.

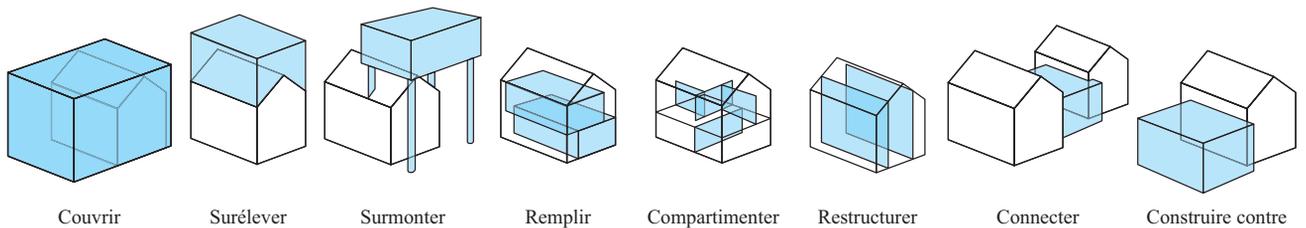
### REMARQUE

#### Refaire la ville sur elle-même

La rénovation, parce qu'elle limite la consommation de nouveaux sols naturels ou agricoles, est par essence plus vertueuse que la construction neuve en extension. Elle constitue une opportunité de valoriser le patrimoine bâti existant et de revitaliser des centres-villes et centres-bourg qui se vident ou se dégradent au profit des zones périurbaines [92]. Pour les urbanistes et les architectes, la rénovation offre la possibilité de recycler, densifier, transformer et intensifier la ville existante, dans une démarche d'urbanisme circulaire [93]. Les opérations de transformation de bureaux en logements, de surélévation d'immeubles existants, de compartimentation, de reconversion de friches artificialisées ou de déconstruction suivie d'une reconstruction avec réemploi des matériaux constituent autant de pistes permettant d'éviter la consommation de sols supplémentaires (fig. 9).



▲ Photos 19. Bottes de paille porteuse pour la construction de l'école des Boutours à Rosny-sous-Bois (93) (source : Marc Barra).



▲ Fig. 9. Rénovation et renouvellement urbain permettant de réduire la consommation de sols (source : Auran).

### 2.2.1 | Rénovation thermique et biodiversité

En France, le plan France Relance de 2021 consacre 6,2 milliards d'euros sur 2 ans à la rénovation thermique des logements. Dispositif indispensable du point de vue de la lutte contre le changement climatique, il peut néanmoins avoir des conséquences négatives sur la biodiversité en l'absence de précautions. En effet, une opération de rénovation s'accompagne souvent de la découverte d'une couvée, d'une nichée ou de la présence de diverses espèces qui se sont installées dans les bâtiments vétustes (oiseaux, chauves-souris, araignées, insectes). Par exemple, les martinets et les moineaux domestiques utilisent souvent les espaces sous les avant-toits des bâtiments et les chauves-souris dépendent de l'accès aux combles et des espaces étroits entre les briques. D'une manière générale, la durabilité d'un bâtiment ne se résume pas au carbone. La modernisation des bâtiments et la recherche de solutions hermétiques pour l'isolation ne peuvent se faire sans tenir compte du vivant. Dans tous les cas, les politiques publiques doivent intégrer sur un pied d'égalité les enjeux du climat et de la biodiversité.

De même que pour le neuf, un diagnostic écologique, même rapide, doit précéder les travaux d'isolation ou de rénovation de l'enveloppe du bâtiment afin de déterminer les solutions adéquates. De nombreuses ressources et guides pratiques ont été rédigés pour préserver les espèces d'oiseaux [94] et de chauves-souris [95, 96] lors des projets de rénovation et leur offrir une possibilité de retour sur la structure du bâtiment une fois la rénovation achevée. Il conviendra de tenir compte du « calendrier des espèces<sup>(9)</sup> », en évitant les périodes de ponte ou d'hibernation (pour la plupart des espèces de chauves-souris, un démarrage des travaux début avril et une réalisation avant fin septembre n'entraîneront que peu de gêne). Lors des travaux de façade, il est possible de conserver le potentiel d'accueil en préservant des pseudo-fissures ou

(9) En automne, les chauves-souris s'accouplent et font le plein de réserves de graisse pour leur potentielle migration. En hiver, elles hibernent dans des sites frais et humides pour économiser leur énergie car il n'y a plus d'insectes à manger. Au printemps, elles réintègrent petit à petit leur gîte estival et les femelles débutent leur gestation. Enfin, en été, les femelles mettent bas leur unique petit et l'élèvent jusqu'à ce qu'il sache voler et chasser seul, en septembre.

espaces compris entre 2 et 4 cm sur une largeur d'une dizaine de centimètres et une profondeur de plusieurs dizaines de centimètres ou plus. Des perçages dans les voûtes peuvent aussi se révéler favorables à l'accueil de chauves-souris. Pour les oiseaux, des nichoirs peuvent également être intégrés lors des travaux, en respectant les recommandations formulées au § 2.1.6 « Dispositifs d'accueil de la faune sur les bâtiments ». Ces recommandations restent générales et ne remplacent pas une expertise naturaliste au cas par cas.

Il est conseillé d'éviter les façades trop lisses ou vitrées qui peuvent avoir un effet repoussoir sur le vivant. Pour rappel, la plupart des espèces font l'objet d'une protection à l'échelle européenne ou sont protégées par la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 [20].

## EXEMPLE

### Rénovation de la cité mixte Paul Arène à Sisteron (04) abritant une colonie de Molosses de Cestoni [96]

Une colonie de 200 à 300 Molosses de Cestoni (l'une des plus grandes espèces de chauves-souris européennes) s'est installée depuis plusieurs décennies dans les joints de dilatation sous les structures béton des façades de ce bâtiment de la cité scolaire Paul Arène à Sisteron (photo 20). Alors qu'un projet de rénovation thermique était nécessaire, la région a missionné le bureau d'études Asellia Écologie pour la réalisation d'une étude écologique sur l'occupation du site par les chiroptères et leur prise en compte dans le cadre de cette rénovation en 2014. Un important travail d'étude a été mis en place afin d'étudier le positionnement des chauves-souris dans le bâtiment et de comprendre le calendrier de l'espèce. Les résultats ont montré la présence de l'espèce toute l'année dans le bâtiment, avec un pic entre mai et octobre, excepté en juillet où une baisse de fréquentation a été observée. En accord avec les maîtres d'œuvre, il a été décidé d'intégrer des gîtes de substitution lors de la rénovation en remplaçant le pare-pluie par un matériau moins fragile vis-à-vis des griffes et de l'urine probable des chiroptères : l'Hydropanel. Cette structure de gîte (constituée par un vide d'air entre le nouveau bardage en bois d'Acacia non traité et des plaques d'Hydropanel rainurées pour faciliter l'accrochage des molosses) ressemblait ainsi à ce qui était utilisé par l'espèce avant la rénovation. Les suivis post-chantier réalisés en 2018 et 2019 sont un succès et montrent l'occupation des gîtes de substitution par des individus de Molosses de Cestoni de mai à octobre. Ces premiers résultats semblent toutefois montrer une diminution des effectifs, ou du moins une utilisation des gîtes sur une plus courte période de l'année. Ce travail est le produit d'une étroite concertation entre le maître d'ouvrage (région PACA), l'architecte en charge du projet (Atelier Quadra) et Raphaël Colombo (écologue à Asellia Écologie). Il démontre la faisabilité d'une rénovation thermique tenant compte de la biodiversité présente sur le site.



▲ Photo 20. Un Molosse de Cestoni trouvant refuge dans la façade rénovée du collège Paul Arène à Sisteron (04) (source : Raphaël Colombo).

Dans le cadre d'un plan de restauration des clochers, la Ville de Lille a engagé une réflexion pour permettre l'accueil des oiseaux (martinets, rapaces) et des chiroptères tout en évitant l'accès au Pigeon biset [97]. Ce travail, mené en collaboration entre le service du Patrimoine bâti de la ville, l'architecte des Bâtiments de France, le service des Parcs et Jardins et son écologue consiste à poser des filets et grillages, mais surtout à accueillir les oiseaux et chiroptères en installant des aménagements variés et adaptés aux différentes espèces. Ces aménagements étant réalisés en bois brut, leur coût est dérisoire au regard de celui de l'ensemble des travaux, notamment parce qu'il est intégré pleinement au planning des travaux de restauration.

Les projets de rénovation peuvent également permettre de végétaliser les surfaces du bâtiment (toitures et façades). Les mêmes préconisations que pour les constructions neuves s'appliquent. Il conviendra d'être vigilant concernant la végétation déjà installée et, si possible, de la valoriser, par exemple par la conservation des plantes grimpantes et des espèces ayant poussé spontanément sur les toits. Les mousses et les lichens installés sur les façades ou toitures peuvent être conservés. Généralement éliminés sur le crépi par des traitements antifongiques, ces organismes vivants sont de véritables indicateurs de la qualité de l'air. Ils sont sensibles à la pollution atmosphérique et participent à son épuration en accumulant les polluants [98].

## 2.2.2 | Rénovation et matériaux

Les travaux de rénovation de façade sont également l'occasion de remplacer certains matériaux (couche isolante, crépis, étanchéité). À ce titre, les préconisations sont les mêmes que pour la construction neuve. Elles visent à substituer des alternatives écologiques à des matériaux traditionnels en créant davantage de conditions d'accueil de la biodiversité. Aujourd'hui, y compris dans le respect de la réglementation thermique, la plupart des isolants utilisés sont fabriqués à partir du pétrole (polystyrènes et polyuréthanes, laine de verre).

## EXEMPLE

### Rénovation à base de paille de logements sociaux à Paris

Paris Habitat, bailleur social de la Ville de Paris, a utilisé de la paille pour isoler par l'extérieur une résidence de 14 logements sociaux située dans le XV<sup>e</sup> arrondissement de la capitale (photo 21). Excellent isolant, la paille permet de réguler l'humidité, aide à diminuer la consommation de chauffage en hiver et garde la fraîcheur en été. Par ailleurs, elle émet très peu de composés organiques volatils (COV) et possède une très faible énergie grise. Une méthode dite d'« accroche par bretelles » a été utilisée, dans laquelle les bottes de paille sont posées horizontalement à l'aide de sangles. Aucune ossature en bois n'est nécessaire, et un enduit recouvrant est ensuite appliqué. Pour les étages supérieurs, les professionnels utilisent la pose en épine : les bottes de paille sont insérées verticalement dans une ossature en bois, puis recouvertes d'enduit. Au total, 486 bottes de paille achetées auprès d'un agriculteur de Seine-et-Marne (77) ont été utilisées pour rénover les deux faces du pignon de la résidence. La formation et l'insertion ont été réalisées en partenariat avec le Collect'IF Paille, promoteur du développement de l'usage de la paille dans la construction en Île-de-France. Des séances de formation et d'éducation ont ainsi été menées avec des élèves architectes ou artisans.



▲ Photo 21. Bottes de paille utilisées pour rénover les deux faces d'une résidence à Paris (source : Paris Habitat).

### 2.2.3 | La rénovation pour désartificialiser la ville

Mis bout à bout, les zones scellées telles que les parkings surdimensionnés, les cours d'écoles ou d'immeubles, les berges bétonnées et l'espace public résiduel représentent un potentiel immense pour laisser la nature reprendre ses droits. Un projet de rénovation et de renouvellement urbain peut participer à la désartificialisation et la renaturation des espaces imperméabilisés, contribuant ainsi à l'objectif ZAN (photo 22).

La déconstruction de bâtiments reste rare, mais le cas de Cleveland aux États-Unis offre un exemple inédit de densification de la ville et de reconstitution d'un réseau de milieux prairiaux participant activement à la trame verte urbaine. Entre 2006 et 2010, 5 152 bâtiments (usines et maisons individuelles) ont été démolis, entraînant une augmentation importante du nombre de terrains vacants. La ville compte aujourd'hui près de 1 400 hectares de friches, dont



▲ Photo 22. La Tierce Forêt, un projet de désimpermeabilisation d'un parking dans une résidence à Aubervilliers (93) (source : FieldWork Architecture).

une grande partie appartient à la municipalité. Cette situation inédite s'est transformée en opportunité pour étudier le rôle de ces espaces pour la biodiversité urbaine [99]. À Besançon, le site des Prés de Vaux (ancienne friche industrielle abandonnée depuis 30 ans) a été en partie démolie et reconverte en un grand parc urbain post-industriel de 5 hectares centré sur le développement d'une flore spontanée pionnière et colonisatrice [100].

#### REMARQUE

##### Les labels : intérêt et limites pour la biodiversité

En réponse aux enjeux de développement soutenable, le nombre de labels, d'outils et de démarches de certification s'est multiplié ces dernières années dans le secteur du bâtiment. À l'origine principalement centrés sur les questions climatiques et énergétiques, plusieurs d'entre eux s'intéressent désormais à la prise en compte de la biodiversité. Pour les néophytes, ces dispositifs ont l'avantage de créer un cadre structurant pour accompagner les porteurs de projets. Par ailleurs, les contraintes réglementaires sur la biodiversité étant limitées, ils permettent de s'engager dans une démarche volontaire pour avancer.

Dans les années 2010, l'outil Biodi(V)strict [101] a été conçu par Agro-ParisTech en partenariat avec Vinci. Il repose sur plusieurs indicateurs (proportion d'espaces végétalisés, diversité des habitats et des strates végétales, perméabilité des sols, connectivité écologique) permettant la comparaison d'un site à différents états, pour aider les promoteurs et constructeurs à choisir des solutions ou les décideurs à trancher entre différents projets d'aménagements.

Lancé en 2013, le label ÉcoQuartier [102] est porté par le ministère chargé de l'écologie et propose 20 engagements au sein du référentiel ÉcoQuartier afin d'intégrer plusieurs dimensions du développement durable dans un projet, dont la biodiversité (engagement 20).

Le label ÉcoQuartier présente 4 étapes progressives :

- l'écoquartier en projet (étape 1) ;
- l'écoquartier en chantier (étape 2) ;
- l'écoquartier livré (étape 3) ;
- l'écoquartier confirmé (étape 4).

Depuis la création du label, ce sont 87 opérations qui sont achevées et labellisées aux étapes 3 ou 4. La plupart des projets s'intègrent dans une démarche de renouvellement urbain.

Créés progressivement depuis 2013 par le Conseil international de la biodiversité et de l'immobilier (Cibi), les labels BiodiverCity [103] notent et affichent la performance des projets immobiliers par rapport à leur prise en compte de la biodiversité.

Trois labels ont été conçus pour s'adapter à différentes étapes du projet :

- BiodiverCity Ready (aménagement) ;
- BiodiverCity Construction ;
- BiodiverCity Life (exploitation).

Les labels BiodiverCity exigent la présence d'un écologue au sein de l'équipe projet. Un organisme extérieur passe alors le dossier au crible et délivre le label le cas échéant.

L'Institut de recherche et d'innovation pour le climat et l'écologie (Irice) développe depuis 2009 le référentiel « Effinature » [104]. Ce dispositif, fort de 80 indicateurs, couvre plusieurs thématiques transversales liées à la biodiversité et propose un référentiel adapté à l'aménagement, la construction et la réhabilitation. La certification Effinature exige également la présence d'une écologue au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Créé en 2004, le label HQE (Haute Qualité environnementale) [105], porté par Certivéa, cible des aspects sanitaires et environnementaux dans les projets de construction, rénovation ou exploitation.

Un niveau de performance est ensuite promulgué : bon, très bon, excellent, exceptionnel. Parmi les 14 cibles du référentiel, les cibles 1 « Relation du bâtiment avec son environnement immédiat » et 2 « Préserver/Améliorer la qualité écologique et paysagère du site » font référence à la biodiversité.

Depuis les années 1990, la démarche de certification BREEAM<sup>(10)</sup> [106] est souvent reconnue comme l'une des plus exigeantes au regard de la biodiversité. Le référentiel propose 8 thèmes, dont un sur l'écologie qui propose une analyse initiale du site, une protection des espèces et habitats en place et un suivi de l'évolution de la biodiversité sur le site. De son côté, la certification LEED<sup>(11)</sup> [107] lancée aux États-Unis en 2009 est basée sur 7 critères d'analyse, dont celui de l'aménagement écologique des sites qui renvoie à la gestion des eaux pluviales, la préservation de l'existant et la diminution de la pollution lumineuse.

Si les labels et démarches de certification peuvent apporter une réelle plus-value pour structurer son projet, ils ne remplacent pas une expertise en biodiversité apportée par les écologues, les associations locales, les conseils d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement (CAUE) ou les agences régionales de la biodiversité (ARB) à différentes étapes du projet. Dans un domaine où les connaissances scientifiques évoluent rapidement, il est primordial que les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre s'entourent de spécialistes et se forment régulièrement aux enjeux. De même, les labels doivent régulièrement être mis à jour au regard de la réglementation et au-delà, dans une démarche d'exigence environnementale. Alors que la végétalisation du bâti et des espaces ouverts fait partie des thématiques fortes des labels, d'autres sujets, comme la biodiversité grise, la pleine terre ou les trames écologiques, font partie des marges de progression.

### 3 Conclusion

Alors que l'artificialisation des sols constitue un problème majeur pour la biodiversité, des politiques d'aménagement plus sobres et économes en foncier s'avèrent indispensables pour préserver le vivant. Les acteurs de l'aménagement du territoire et de la construction vont devoir privilégier le renouvellement urbain et la rénovation, en rendant la densité plus acceptable grâce à la nature en ville. La réglementation et les documents de planification restent les principaux leviers pour une meilleure prise en compte de la biodiversité. De leur côté, les maîtres d'œuvre et d'ouvrage ont aujourd'hui à leur disposition de nombreuses ressources pour se former et mettre en œuvre les techniques adéquates. Ils peuvent également compter sur l'expertise des écologues et des naturalistes pour les accompagner à chaque étape de leur projet. S'il n'existe pas de projet idéal, c'est en adoptant une démarche scientifique et structurée, en s'inspirant des savoirs et contextes locaux, en créant des partenariats innovants entre les disciplines qu'émergeront des projets exemplaires.

### 4 Références

[1] Fosse (Julien), Belaunde (Julia), Dégremont (Marie), Grémillet (Alice), « Objectif “zéro artificialisation nette” : quels leviers pour protéger les sols ? », *France Stratégie*,

(10) Pour BRE Environmental Assessment Method, *méthode d'évaluation du comportement environnemental des bâtiments développée par le Building Research Establishment (BRE)*.

(11) Pour Leadership in Energy and Environmental Design, *système de standardisation de bâtiments à haute qualité environnementale*.

juillet 2019, [www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-2019-artificialisation-juillet.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-2019-artificialisation-juillet.pdf).

[2] Fontaine (Benoît), Moussy (Caroline), Chiffard Carricaburu (Jules) *et al.*, « Suivi des oiseaux communs en France 1989-2019 : 30 ans de suivis participatifs ! », Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) – Centre d'écologie et des sciences de la conservation (Cesco), LPO BirdLife France – Service Connaissance, Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2020, [www.vigienature.fr/sites/vigienature/files/atoms/files/syntheseoiseauxcommuns2020\\_final.pdf](http://www.vigienature.fr/sites/vigienature/files/atoms/files/syntheseoiseauxcommuns2020_final.pdf).

[3] Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, *JO* du 24 août 2021, dernière modification par la loi n° 2022-1158 du 16 août 2022, *JO* du 17 août 2022.

[4] Grisot (Sylvain), *Manifeste pour un urbanisme circulaire – Pour des alternatives concrètes à l'étalement de la ville*, Rennes, Éd. Apogée, 2021.

[5] Clergeau (Philippe) (dir.), *Urbanisme et biodiversité – Vers un paysage vivant structurant le projet urbain*, Rennes, Éd. Apogée, coll. « Écologies urbaines », 2020.

[6] « Cartofriches : un inventaire national des friches qui s'appuie sur la connaissance locale », Cartofriches, 5 avril 2022, <https://cartofriches.cerema.fr/cartofriches/>.

[7] Chateau (Laurent), Piquant (Maximilien), Bestieu (Adrien) *et al.*, *Outil Bénéfriches – Évaluer les bénéfices socio-économiques de la reconversion de friches pour lutter contre l'artificialisation*, Ademe, coll. « Expertises », août 2020, <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/3772-evaluer-les-benefices-socio-economiques-de-la-reconversion-de-friches-pour-lutter-contre-l-artificialisation-outil-benefriches.html>.

[8] Bonthoux (Sébastien), Brun (Marion), Di Pietro (Francesca) *et al.*, « How can wastelands promote biodiversity in cities? A review », *Landscape and Urban Planning*, vol. 132, décembre 2014, p. 79 à 88.

[9] Baude (Mathilde), Muratet (Audrey), Fontaine (Colin) *et al.*, *Plantes et pollinisateurs observés dans les terrains vagues de Seine-Saint-Denis*, Observatoire départemental de la biodiversité urbaine (Odbu), 2011.

[10] Barra (Marc), Clergeau (Philippe), « “Zéro artificialisation nette” : des questions écologiques se posent », *Diagonal*, Blog, 30 juin 2020, <https://diagonal.hypotheses.org/files/2020/06/ZAN-et-Biodiversité-Vdef.pdf>.

[11] Cf. le guide à l'attention des collectivités, des aménageurs et des promoteurs, *Biodiversité et reconversion des friches urbaines polluées*, Ademe, coll. « Clés pour agir », février 2014, <https://bibliothèque.ademe.fr/recherche-et-innovation/3089-biodiversite-et-reconversion-des-friches-urbaines-polluees-9782358385275.html>.

[12] Gauthier (Cécile), *Contribution de la compensation écologique à un modèle économique de renaturation des friches urbaines et périurbaines – Renaturation des friches urbaines et*

*périurbaines par la mise en œuvre de mesures de compensation écologique*, Humanité & Biodiversité, septembre 2018, [https://webissimo-ide.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/etude\\_friches\\_et\\_compensation\\_urbaines-web\\_cle77c96c.pdf](https://webissimo-ide.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/etude_friches_et_compensation_urbaines-web_cle77c96c.pdf).

[13] Cf. le livret de l'exposition sur les naturalistes et leurs différentes disciplines : Poitrineau (Karine), *Sur la piste des naturalistes*, Natureparif, ARB IdF, Association des naturalistes de la Vallée du Loing et du massif de Fontainebleau (ANVL), janvier 2012, [www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/Articles-PDF/livret\\_naturalistes\\_page\\_a\\_page.pdf](http://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/Articles-PDF/livret_naturalistes_page_a_page.pdf).

[14] Les programmes de sciences participatives proposés par Vigie Nature peuvent être indiqués pour effectuer ce type de suivi dans le temps, cf. « Réseau d'observatoires Vigie-Nature », Observatoires participatifs des espèces et de la nature (Open), 25 octobre 2022, [www.open-sciences-participatives.org/sciences-participatives/reseau/1/vigie-nature](http://www.open-sciences-participatives.org/sciences-participatives/reseau/1/vigie-nature).

[15] L'espace Depobio regroupe l'ensemble des ressources liées au processus de versement des données : <https://depot-legal-biodiversite.naturefrance.fr>.

[16] Voir Sordello (Romain), « Trame verte, trame bleue et toutes ces autres trames dont il faudrait aussi se préoccuper », *Regard*, n° R72, 29 mai 2017, <https://sfecologie.org/wp-content/uploads/2017/05/R72-Sordello-2017-1.pdf>.

[17] Concernant l'intégration de la trame verte et bleue dans le nouveau PLUi de l'Eurométropole de Strasbourg, voir « Intégration de la TVB dans le PLUi », Capitales françaises de la biodiversité, 2017, [www.capitale-biodiversite.fr/experiences/integration-de-la-tvb-dans-le-plui](http://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/integration-de-la-tvb-dans-le-plui).

[18] Le projet AgrInnov liste les principaux indicateurs pour évaluer la qualité biologique des sols ; cf. le compte rendu final du projet, « Projet Casdar 1116 2011 – AgrInnov – Tester les indicateurs de l'état biologique des sols en lien avec les pratiques agricoles », Observatoire français des sols vivants (OFSV), 8 juin 2016, [www.ofsv.org/images/documentations/rapport\\_agrinnov\\_final\\_8\\_juin\\_2016.pdf](http://www.ofsv.org/images/documentations/rapport_agrinnov_final_8_juin_2016.pdf).

[19] Le sociotope est l'espace extérieur décrit tel qu'il est pratiqué par les habitants ; cf. Ademe, « La méthode des sociotopes », Cahier technique Écosystèmes dans les territoires, Espaces naturels et espaces aménagés de nature en ville, Fiche outil/méthode n° 26, p. 91 et 92, <http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/methode26p9192.pdf>.

[20] Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, *JO* du 13 juillet 1976, dernière modification par l'ordonnance n° 2000-550 du 15 juin 2000, *JO* du 22 juin 2000.

[21] Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, *JO* du 5 août 2009, dernière modification par la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021, *JO* du 24 août 2021.

[22] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, *JO* du 13 juillet 2010, dernière

modification par la loi n° 2021-1382 du 25 octobre 2021, *JO* du 26 octobre 2021.

[23] Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, *JO* du 9 août 2016, dernière modification par la loi n° 2019-1479 du 28 décembre 2019, *JO* du 29 décembre 2019.

[24] Guide « Espèces protégées, aménagements et infrastructures – Recommandations pour la prise en compte des enjeux liés aux espèces protégées et pour la conduite d'éventuelles procédures de dérogation au sens des articles L. 411-1 et L. 411-2 du Code de l'environnement dans le cadre des projets d'aménagements et d'infrastructures », Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, juin 2012, [www.somme.gouv.fr/content/download/9589/57902/file/EspA\\_ces\\_protA\\_c\\_gA\\_c\\_es\\_V6\\_du29-06-202\\_cle0c3658.pdf](http://www.somme.gouv.fr/content/download/9589/57902/file/EspA_ces_protA_c_gA_c_es_V6_du29-06-202_cle0c3658.pdf).

[25] Les textes réglementaires et les guides sont disponibles sur le portail aménagement du Cerema, cf. Olei (Sarah), « L'évaluation environnementale des projets (étude d'impact) », 10 février 2022, <http://outil2amenagement.cerema.fr/l-evaluation-environnementale-des-projets-etude-d-r424.html>.

[26] Ademe, « Études d'impact », Cahier technique Écosystèmes dans les territoires, Biodiversité, Fiche outil/méthode n° 9, p. 60 et 61, <http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/methode9p6061.pdf>.

[27] Cf. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, [www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/tableau\\_modifications\\_decret\\_r122-2\\_17\\_01\\_2018.pdf](http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/tableau_modifications_decret_r122-2_17_01_2018.pdf).

[28] Cerema, *Évaluation environnementale – Guide d'aide à la définition des mesures ERC*, Ministère de la Transition écologique et solidaire, janvier 2018, [www.cerema.fr/fr/actualites/guide-aide-definition-mesures-eviter-reduire-compenser](http://www.cerema.fr/fr/actualites/guide-aide-definition-mesures-eviter-reduire-compenser).

[29] Weissgerber (Magali), Roturier (Samuel), Julliard (Romain) *et al.*, « Biodiversity offsetting: Certainty of the net loss but uncertainty of the net gain », *Biological conservation*, vol. 237, septembre 2019, p. 200 à 208.

[30] Décret n° 2022-422 du 25 mars 2022 relatif à l'évaluation environnementale des projets, *JO* du 26 mars 2022.

[31] Iorio (Étienne), Dusoulier (François), Soldati (Fabien) *et al.*, « Les Arthropodes terrestres dans les études d'impact : limites actuelles et propositions pour une meilleure prise en compte des enjeux de conservation », *Naturae*, vol. 4, février 2022, p. 43 à 99, <https://sciencepress.mnhn.fr/fr/periodiques/naturae/2022/4>.

[32] Stagoll (Karen), Lindenmayer (David B.), Knight (Emma) *et al.*, « Large trees are keystone structures in urban parks », *Conservation Letters*, vol. 5, n° 2, avril 2012, p. 115 à 122.

[33] Peyrat (Marion), *Entre objet naturel et objet technique, quelle place pour l'arbre en ville ?*, Sciences de l'homme et société, 2014, <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01113161>.

- [34] Vidal-Beaudet (Laure), « Du déchet au Technosol fertile : l'approche circulaire du programme français de recherche Siterre », *Vertigo*, Hors-série n° 31, septembre 2018, <https://doi.org/10.4000/vertigo.21887>.
- [35] Nord Nature Chico Mendès, LPO France, EPF NPdC, *Biodiversité et chantiers – Comment concilier nature et chantiers urbains ?*, Éd. EGF.BTP, avril 2019, [www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/mobilisation-citoyenne/nature-en-ville/resources-pedagogiques-nature-en-ville/biodiversite-et-chantiers](http://www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/mobilisation-citoyenne/nature-en-ville/resources-pedagogiques-nature-en-ville/biodiversite-et-chantiers).
- [36] « La biodiversité sur les chantiers de travaux publics – Guide d'animation et de sensibilisation », FNTP, mai 2017, [www.fntp.fr/sites/default/files/content/publication/kit\\_sensibilisation\\_biodiversite\\_fntp\\_0.pdf](http://www.fntp.fr/sites/default/files/content/publication/kit_sensibilisation_biodiversite_fntp_0.pdf).
- [37] Brondizio (Eduardo), Settele (Joseph), Díaz (Sandra) *et al.* (dir.), « Global assessment report on biodiversity and ecosystem services », Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019, <https://ipbes.net/global-assessment>.
- [38] Ademe, « Le coefficient de biotope par surface (CBS) », Cahier technique Écosystèmes dans les territoires, Biodiversité, Fiche outil/méthode n° 11, p. 63 et 64, <http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/outill1p6364.pdf>.
- [39] Threlfall (Caragh G.), Mata (Luis), Mackie (Jessica A.) *et al.*, « Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions », *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, n° 6, 2017, p. 1874 à 1883.
- [40] Szulczewska (Barbara), Giedych (Renata), Borowski (Jacek) *et al.*, « How much green is needed for a vital neighbourhood? In search for empirical evidence », *Land Use Policy*, vol. 38, mai 2014, p. 330 à 345.
- [41] Cox (Daniel T.), Shanahan (Danielle F.), Hudson (Hannah L.) *et al.*, « Doses of neighborhood nature: The benefits for mental health of living with nature », *BioScience*, vol. 67, n° 2, février 2017, p. 147 à 155.
- [42] Flégeau (Morgane), *Formes urbaines et biodiversité – Un état des connaissances*, Éd. Plan urbanisme construction architecture (Puca), coll. « Réflexions en partage », 2020, [www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/morgane\\_flégeau\\_baumwebv3.pdf](http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/morgane_flégeau_baumwebv3.pdf).
- [43] Gouedard (Quentin), « Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville », *Sciences agricoles*, 2014, <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01071315>.
- [44] Madre (Frédéric), Mayrand (Flavie), « Le WildRoof® : vers une végétalisation spontanée des toitures ? Rencontre "Toitures végétalisées et biodiversité" », Topager, Agence régionale de la biodiversité Île-de-France, mars 2018, [www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Retours\\_sur\\_la\\_rencontre\\_Toitures\\_vegetalisees\\_et\\_biodiversite\\_2018/9\\_madre\\_mayrand\\_topager\\_0.pdf](http://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Retours_sur_la_rencontre_Toitures_vegetalisees_et_biodiversite_2018/9_madre_mayrand_topager_0.pdf).
- [45] Madre (Frédéric), *Biodiversité et bâtiments végétalisés : une approche multi-taxons en paysage urbain*, MNHN, 2014, thèse sous la direction de Philippe Clergeau et Nathalie Machon.
- [46] Dusza (Yann), « Toitures végétalisées et services écosystémiques : favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale », Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 2017, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01587757/document>.
- [47] Barra (Marc), Johan (Hemminki) (dir.), « Écologie des toitures végétalisées – Synthèse de l'étude GROOVES (*Green roofs verified ecosystem services*), 2017-2019 », 2021, ARB ÎdF, Institut Paris Région, [www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user\\_upload/ARB-idF\\_-\\_Ecologie\\_des\\_toitures\\_vegetalisees\\_-\\_WEB\\_Bdef.pdf](http://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user_upload/ARB-idF_-_Ecologie_des_toitures_vegetalisees_-_WEB_Bdef.pdf).
- [48] Peiger (Philippe), Baumann (Nathalie), *Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures*, Eyrolles, 2018.
- [49] Cf. <https://pepinieres-franciliennes.com/quisommesnous/>.
- [50] Mareschal (Loïc), Féraud (Philippe), Lafage (Denis), « L'exemple de la toiture végétalisée du groupe scolaire Aimé Césaire à Nantes », Capitales françaises de la biodiversité, 13 mars 2017, [www.capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/Ateliers/documents/4\\_toiture\\_aime\\_cesaire-13032017-nantes.pdf](http://www.capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/Ateliers/documents/4_toiture_aime_cesaire-13032017-nantes.pdf).
- [51] Huguet (Aurélien), « Boulogne – École des Sciences et de la Biodiversité », AHEcologie, 2020, [www.ahecologie.fr/boulogne-ecole-de-la-biodiversite](http://www.ahecologie.fr/boulogne-ecole-de-la-biodiversite).
- [52] Ottelé (Marc), Perini (Katia), Fraaij (A.L.A.) *et al.*, « Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems », *Energy and Buildings*, vol. 43, n° 12, 2011.
- [53] Clergeau Philippe (dir.), « La biodiversité en ville dense – Nouveaux regards, nouveaux dispositifs "du bord du toit au caniveau" », Programme de recherche Écovieille, Synthèse opérationnelle, Plante & Cité, Angers, 2018, [www.tramevertebleue.fr/sites/default/files/references\\_bibliographiques/eco-ville\\_vfecran\\_05avril\\_lowd.pdf](http://www.tramevertebleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/eco-ville_vfecran_05avril_lowd.pdf).
- [54] Meral (Alperen), Başaran (Nermin), Yalçınalp (Emrah) *et al.*, « A Comparative Approach to Artificial and Natural Green Walls According to Ecological Sustainability », *Sustainability*, vol. 10, n° 6, 2018.
- [55] VivArmor Nature, « L'incroyable lierre », *Le Rôle d'eau*, n° 176, hiver 2019, [www.vivarmor.fr/wp-content/uploads/2019/06/RE-n%C2%B0176.pdf](http://www.vivarmor.fr/wp-content/uploads/2019/06/RE-n%C2%B0176.pdf).
- [56] Vile (Heather), Sternberg (Troy), Cathersides (Alan), « Is Ivy Good or Bad for Historic Walls? », *Journal of Architectural Conservation*, vol. 17, n° 2, 2011, p. 25 à 41, [www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13556207.2011.10785087](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13556207.2011.10785087).
- [57] English Heritage, « Ivy on Walls – Seminar Report May 19, 2010 », University of Oxford, School of Geography and Environment, 2010, [www.geog.ox.ac.uk/research/landscape/rubble/ivy/ivy-report.pdf](http://www.geog.ox.ac.uk/research/landscape/rubble/ivy/ivy-report.pdf).

- [58] Lewandowski (Delphine), *Étude et définition théoriques, techniques et biologiques d'un mur « biodiversitaire » – Un nouveau système de végétalisation vertical favorisant la biodiversité*, thèse Paris Est, 2021, sous la direction de Robert Le Roy et Philippe Clergeau, [www.theses.fr/s235700](http://www.theses.fr/s235700), en partenariat avec l'agence ChartierDalix, la plateforme Faire et le Pavillon de l'Arsenal, <https://cesco.mnhn.fr/fr/actualites/un-mur-biodiversitaire-sinstalle-devant-le-laboratoire-6434>.
- [59] Cruz (Estelle), *Caractérisation multicritères des enveloppes biologiques : vers la conception de façades bio-inspirées et multifonctionnelles*, thèse menée avec le laboratoire Mecadev du MHNP et le Ceebios en partenariat avec le groupe cimentier Vicat, février 2022, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03558596>.
- [60] Huot (Alice), « Biomimétisme : la clim' de cet immeuble est inspirée par les termites », *L'ADN*, 13 juillet 2018, [www.ladn.eu/archives/maison-2050/biomimetisme-la-clim-de-cet-immeuble-est-inspiree-par-les-termites/](http://www.ladn.eu/archives/maison-2050/biomimetisme-la-clim-de-cet-immeuble-est-inspiree-par-les-termites/).
- [61] Pour un récapitulatif de l'ensemble des dispositifs permettant d'éviter les impacts du verre sur les oiseaux, voir le guide de Schmid (Hans), Waldburger (Petra), Heynen (Daniela), « Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction », Association pour la protection des animaux sauvages (Aspas), 2010, adaptation des données recueillies par la station ornithologique suisse de Sempach en 2008, [www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/Doc%20complementaires/Les%20oiseaux%20le%20verre%20et%20la%20lumie\\_re%20-%20ASPAS.pdf](http://www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/Doc%20complementaires/Les%20oiseaux%20le%20verre%20et%20la%20lumie_re%20-%20ASPAS.pdf).
- [62] Sur les aspects réglementaires liés aux espèces protégées, cf. le guide technique de la LPO, « Biodiversité et paysage urbain – Comment favoriser les espaces de nature en ville ? », 2016, [www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/FT%20BPU/Livret%20theoriqueSSEdito.pdf](http://www.biodiversiteetbati.fr/Files/Other/FT%20BPU/Livret%20theoriqueSSEdito.pdf).
- [63] Bruxelles Environnement, « Concevoir les nichoirs pour répondre aux besoins des oiseaux », *Guide bâtiment durable*, novembre 2017, [www.guidibatimentdurable.brussels/nichoirs-oiseaux/concevoir-nichoirs-repondre-besoins-oiseaux](http://www.guidibatimentdurable.brussels/nichoirs-oiseaux/concevoir-nichoirs-repondre-besoins-oiseaux).
- [64] Cf. « La pose d'un nichoir », *Refuges LPO*, avril 2020, <https://nord.lpo.fr/wp-content/uploads/2020/04/GuiderefugeLaposedunnichoir.pdf>.
- [65] Le site Nichoirs.net propose des modèles adaptés aux espèces à concevoir facilement, cf. <https://nichoirs.net>.
- [66] Weisser (Wolfgang), Hauck (Thomann), « Animal-Aided Design: Using a species' life-cycle to improve open space planning and conservation in cities and elsewhere », *bioRxiv*, 15 juin 2017, [www.biorxiv.org/content/10.1101/150359v1](http://www.biorxiv.org/content/10.1101/150359v1).
- [67] Colombo (Raphaël), « Première observation de Molosse de Cestoni, *Tadarida teniotis*, en gîte de substitution et nouveaux éléments sur l'écologie de l'espèce en gîte », in « Actes des XVI<sup>e</sup> Rencontres nationales Chauves-souris de la Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFEPM), Bourges, mars 2016 », *Symbioses*, n° 37, mars 2018, p. 1 à 6.
- [68] Ropars (Lise), Dajoz (Isabelle), Geslin (Benôit), « La ville, un désert pour les abeilles sauvages ? », *Journal de botanique*, n° 79, 2017, p. 29 à 35.
- [69] Muratet (Audrey), Muratet (Myr), Pellaton (Marie), *Flore des friches urbaines*, Éd. Xavier Barral, 2017 ; voir également Huguet (Aurélien), « Un suivi écologique de la biodiversité », ChartierDalix, [www.chartier-dalix.com/fr/ressources/suivi-ecologique-biodiversite](http://www.chartier-dalix.com/fr/ressources/suivi-ecologique-biodiversite).
- [70] La liste des espèces bénéficiant de la marque ainsi que celle des producteurs sont disponibles sur le site Végétal Local, [www.vegetal-local.fr](http://www.vegetal-local.fr).
- [71] Flandin (Jonathan), Parisot (Christophe), « Guide de gestion écologique des espaces collectifs publics et privés », ARB ÎdF, octobre 2016, [www.arb-idf.fr/nos-travaux/publications/guide-de-gestion-ecologique-des-espaces-collectifs-publics-et-privés/](http://www.arb-idf.fr/nos-travaux/publications/guide-de-gestion-ecologique-des-espaces-collectifs-publics-et-privés/).
- [72] Bonthoux (Sébastien), Chollet (Simon), « Pourquoi et comment favoriser la spontanéité écologique en ville ? », *Métropolitiques*, 13 septembre 2021, <https://metropolitiques.eu/Pourquoi-et-comment-favoriser-la-spontaneite-ecologique-en-ville.html>.
- [73] Toutes les ressources du label EcoJardin sont disponibles sur le site [www.label-ecojardin.fr/fr](http://www.label-ecojardin.fr/fr).
- [74] « Les passages à faune : un guide complet du Cerema pour créer et entretenir les continuités écologiques au niveau des infrastructures », Cerema, 8 décembre 2021, [www.cerema.fr/fr/actualites/passages-faune-guide-complet-du-cerema-creer-entretenir](http://www.cerema.fr/fr/actualites/passages-faune-guide-complet-du-cerema-creer-entretenir).
- [75] « Les risques liés aux cavités souterraines », Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports (Driat) Île-de-France, 26 juillet 2019, mise à jour du 9 septembre 2022, [www.driat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/les-affaisements-et-effondrements-lies-aux-a3773.html](http://www.driat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/les-affaisements-et-effondrements-lies-aux-a3773.html).
- [76] « Mouvements de terrain », Ministère de la Transition écologique, 8 octobre 2020, [www.ecologie.gouv.fr/mouvements-terrain](http://www.ecologie.gouv.fr/mouvements-terrain).
- [77] « Gestion des eaux pluviales – Guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives », Syndicat mixte des affluents du sud-ouest lémanique (Symasol), juin 2016, [www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content\\_files/document/brochure-symasol\\_isbn\\_web.pdf](http://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/brochure-symasol_isbn_web.pdf).
- [78] Association régionale de recherche et de développement de l'horticulture (Arrdhor), centre régional d'innovation et de transfert de technologie (Critt) horticole, Geniplant, « Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité », juillet 2014, [www.citeverte.com/fileadmin/Citeverte\\_Ressources/PDF/Publication\\_Gemapi\\_RapportONEMA-PlanteEtCite-ARRDHOR-GENIPLANT.pdf](http://www.citeverte.com/fileadmin/Citeverte_Ressources/PDF/Publication_Gemapi_RapportONEMA-PlanteEtCite-ARRDHOR-GENIPLANT.pdf).

[79] Chabot (Clément), « Phytoépuration eaux usées », Lowtech Lab, 25 juillet 2018, [https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Phyto%C3%A9puration\\_eaux\\_us%C3%A9es](https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Phyto%C3%A9puration_eaux_us%C3%A9es).

[80] Agence de développement et d'urbanisme de l'agglomération strasbourgeoise (Adeus), « Implication citoyenne et végétalisation : de la qualité des écoquartiers aux Pays-Bas », *Les notes de l'Adeus*, n° 298, juin 2020, [www.adeus.org/wp-content/uploads/12554\\_file\\_note-298\\_nature-ecoquartiers\\_web-1.pdf](http://www.adeus.org/wp-content/uploads/12554_file_note-298_nature-ecoquartiers_web-1.pdf).

[81] Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (Othu), Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les infrastructures et l'eau (Graie), « Les moustiques dans les ouvrages de gestion alternative des eaux pluviales en ville ? Retour sur l'étude exploratoire Othu 2016 – Exemple des bassins d'infiltration et rétention de la Métropole de Lyon », *Les synthèses Othu*, fiche n° 1, septembre 2017, [www.graie.org/othu/pdfothu/SYNTHESEGRAIE-Moustiques-OTHU2017.pdf](http://www.graie.org/othu/pdfothu/SYNTHESEGRAIE-Moustiques-OTHU2017.pdf).

[82] « Réalisation Anpcen : le suivi continu de la qualité de la nuit en France ! », Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes (Anpcen), [www.anpcen.fr/?id\\_rub&id\\_ss\\_rub=127&id\\_actudetail=125](http://www.anpcen.fr/?id_rub&id_ss_rub=127&id_actudetail=125).

[83] Sordello (Romain), Paquier (Fabien), Daloz (Aurélien), « Trame noire – Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre », *Comprendre pour agir*, n° 39, mars 2021, [www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references\\_bibliographiques/guide\\_trame\\_noire\\_ofb\\_ums\\_cpa39\\_mai.pdf](http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/guide_trame_noire_ofb_ums_cpa39_mai.pdf). Ce guide de l'Office français de la biodiversité (OFB) apporte des éléments de connaissance ainsi que des éléments pratiques et opérationnels aux techniciens. Il propose en complément un cahier des charges « type » pour la passation d'un marché relatif à la trame noire à l'échelle d'une commune ou d'une intercommunalité.

[84] « Recommandations techniques bâti et biodiversité – Un éclairage raisonné, moins nuisible pour la faune », Bruxelles Environnement, Info-fiches Espaces verts – Biodiversité, octobre 2019, [https://document.environnement.brussels/opac-css/elecfile/RT\\_Eclairage\\_raisonne\\_FR.pdf](https://document.environnement.brussels/opac-css/elecfile/RT_Eclairage_raisonne_FR.pdf).

[85] L'exposition « Matière grise », réalisée par Nicolas Delon et Julien Chopin du collectif « Encore Heureux » pour le Pavillon de l'Arsenal interroge sur l'épuisement des ressources et explore la question du réemploi en architecture ; cf. « Matière grise – Commissariat et scénographie d'exposition, Paris 2014 », Encore Heureux, <http://encoreheureux.org/projets/matiere-grise/>.

[86] Cf. le « Rapport du groupe de travail “Bâtiment et biodiversité” », Plan Bâtiment durable, décembre 2015, [www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport\\_Batiment\\_et\\_Biodiversite\\_liens\\_actifs-2.pdf](http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_Batiment_et_Biodiversite_liens_actifs-2.pdf), qui a proposé une définition de la biodiversité grise et des propositions pour intégrer cette notion dans l'aménagement et la construction.

[87] Allens (d') (Gaspard), « La coupe rase, une aberration écologique qui menace nos forêts », Reporterre, 15 juin 2020,

mise à jour du 23 juillet 2020, <https://reporterre.net/La-coupe-rase-une-aberration-ecologique-qui-menace-nos-forets>.

[88] « *Eco46* – Une maison de paille aux performances exceptionnelles », Ville de Lausanne, 5 janvier 2016, [www.lausanne.ch/eco46](http://www.lausanne.ch/eco46).

[89] « Julien Choppin, architecte, fondateur associé du collectif Encore Heureux “Il ne s'agit pas de faire du réemploi systématique, mais de trouver la bonne application au bon endroit” », *Le Moniteur*, 14 mars 2016, [www.lemoniteur.fr/article/julien-choppin-architecte-fondateur-associe-du-collectif-encore-heureux-il-ne-s-agit-pas-de-faire-du-reemploi-systematique-mais-de-trouver-la-bonne-application-au-bon-endroit.1096874](http://www.lemoniteur.fr/article/julien-choppin-architecte-fondateur-associe-du-collectif-encore-heureux-il-ne-s-agit-pas-de-faire-du-reemploi-systematique-mais-de-trouver-la-bonne-application-au-bon-endroit.1096874).

[90] Bornarel (Alain), Gauzin-Müller (Dominique), Madec (Philippe), « Manifeste pour une frugalité heureuse et créative », Frugalité.org, 18 janvier 2018, [www.frugalite.org/fr/le-manifeste.html](http://www.frugalite.org/fr/le-manifeste.html).

[91] « Centre de découverte de la biodiversité Beautour, La Roche-sur-Yon », amàco, <https://amaco.org/centre-de-decouverte-de-la-biodiversite-beautour-la-roche-sur-yon/>.

[92] Esch (Marie-Odile), Riquier-Sauvage (Dominique), « Comment redynamiser nos centres-villes et nos centres-bourgs ? », *Les avis du CESE*, n° 14, mars 2021, [www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2021/2021\\_14\\_centres\\_villes\\_bourgs.pdf](http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2021/2021_14_centres_villes_bourgs.pdf).

[93] Grisot (Sylvain), *Manifeste pour un urbanisme circulaire – Pour des alternatives concrètes à l'étalement de la ville*, Dixit. Net, 2020.

[94] Cf. la brochure « Construire en respectant les oiseaux – Un lieu où nicher », natur&emwelt, novembre 2020, [www.naturemwelt.lu/wp-content/uploads/2020/11/Construire-en-respectant-les-oiseaux\\_VOGELBAUEN\\_V4.pdf](http://www.naturemwelt.lu/wp-content/uploads/2020/11/Construire-en-respectant-les-oiseaux_VOGELBAUEN_V4.pdf), qui présente les oiseaux nichant dans les bâtiments et donne des instructions pour planifier des rénovations.

[95] « Préservation des chiroptères et isolation thermique des bâtiments – État des lieux des connaissances et premières pistes d'actions », Cerema, septembre 2018, [https://gmb.bzh/wp-content/uploads/2018/09/pdf\\_Chiro\\_isolation\\_thermique\\_FNowicki.pdf](https://gmb.bzh/wp-content/uploads/2018/09/pdf_Chiro_isolation_thermique_FNowicki.pdf).

[96] Arthur (Laurent), Chrétien (Amélie), « Recueil d'expériences des aménagements pour une meilleure cohabitation chiroptères-homme en milieu bâti », Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFPEM), t. 2, 2019, [http://gmb.bzh/wp-content/uploads/2020/10/amenagements\\_bati\\_tome\\_2\\_sfepm\\_2019-compressé.pdf](http://gmb.bzh/wp-content/uploads/2020/10/amenagements_bati_tome_2_sfepm_2019-compressé.pdf).

[97] Tison (Yohan), « Intégrer la biodiversité dans le bâti – Caractéristiques et prise en compte », présentation faite sur « Biodiversité et bâti » lors de l'atelier au Centre national de la fonction publique territoriale (CNFPT) de Lille, 2 mars 2017, [www.capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/Ateliers/documents/2-yohan-tison-02032017-lille.pdf](http://www.capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/Ateliers/documents/2-yohan-tison-02032017-lille.pdf).

[98] L'observatoire Lichens Go ! propose un suivi des lichens poussant sur les arbres en ville afin de mieux comprendre l'écologie de ces organismes et leurs sensibilités à la pollution atmosphérique ; cf. le site du projet Participation citoyenne à l'observation de l'environnement (PartiCitaE), [www.partici-tae.upmc.fr/fr/suivez-les-lichens.html](http://www.partici-tae.upmc.fr/fr/suivez-les-lichens.html).

[99] Turo (Katherine J.), Gardiner (Mary M.), « From potential to practical: Conserving bees in urban public green spaces », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 17, n° 3, avril 2019, p. 167 à 175.

[100] « Aménagement d'un parc post-industriel : le site des Prés de Vaux », *Capitales françaises de la biodiversité*, 2019,

[www.capitale-biodiversite.fr/experiences/amenagement-dun-parc-post-industriel-le-site-des-pres-de-vaux](http://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/amenagement-dun-parc-post-industriel-le-site-des-pres-de-vaux).

[101] Cf. [www.urbalia.fr/biodivstrict/](http://www.urbalia.fr/biodivstrict/).

[102] Cf. [www.ecoquartiers.logement.gouv.fr](http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr).

[103] Cf. <http://cibi-biodiversity.com/biodiversity/>.

[104] Cf. [www.effinature.fr](http://www.effinature.fr).

[105] Cf. [www.hqegbc.org](http://www.hqegbc.org).

[106] Cf. [www.breem.com](http://www.breem.com).

[107] Cf. [www.usgbc.org/leed](http://www.usgbc.org/leed).