



Infrastructure fondée sur la nature

Livre blanc

Junin 2026



BAUEN DIGITAL SCHWEIZ
BÂTIR DIGITAL SUISSE
COSTRUZIONE DIGITALE SVIZZERA
CONSTRUIR DIGITAL SVIZRA

Home of





Table des matières

| | |
|--|----|
| Résumé | 5 |
| 1 Introduction | 6 |
| 1.1 Situation initiale | 6 |
| 1.2 Vision | 7 |
| 1.3 But et objet | 7 |
| 1.4 Périmètre du document | 7 |
| 2 Bases conceptuelles | 7 |
| 2.1 Besoins d'approvisionnement et consommation de ressources | 8 |
| 2.2 Principes de l'économie circulaire pour l'aménagement des espaces libres | 8 |
| 2.3 Définition de l'infrastructure fondée sur la nature | 9 |
| 2.4 Distinction par rapport aux concepts apparentés | 9 |
| 2.4.1 Infrastructure écologique | 9 |
| 2.4.2 Solutions fondées sur la nature | 9 |
| 2.4.3 Infrastructures verte, bleue, brune, grise et jaune | 10 |
| 2.4.4 Infrastructure poreuse | 10 |
| 2.5 Contribution aux infrastructures critiques | 10 |
| 3 Services écosystémiques dans le milieu bâti | 11 |
| 3.1 Catégories de services écosystémiques | 12 |
| 3.2 Cycles écosystémiques | 12 |
| 3.2.1 Cycle de l'eau | 12 |
| 3.2.2 Cycle du carbone | 13 |
| 3.2.3 Cycle des nutriments | 13 |
| 3.3 Conditions-cadres et ressources | 13 |
| 3.3.1 Régulation microclimatique | 13 |
| 3.3.2 Facteurs écologiques et formation d'habitats | 13 |
| 3.3.3 Bruit | 14 |
| 3.3.4 Polluants | 14 |
| 3.3.5 Lumière | 15 |
| 3.4 Processus sociétaux et culturels | 15 |
| 3.5 Recoupements et thématiques apparentées | 15 |
| 4 Dimensions de performance de l'infrastructure fondée sur la nature | 16 |
| 4.1 Un cadre orienté sur les effets de l'IFN | 17 |
| 4.2 Objectifs supérieurs | 18 |
| 4.3 Catégories d'objectifs pour la planification | 18 |
| 4.4 Interactions et implications pour la planification | 18 |
| 5 Niveaux d'observation et d'intervention | 19 |
| 5.1 Vue d'ensemble des niveaux | 19 |



| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Niveaux d'observation | 19 |
| 5.2.1 | Niveau régional | 19 |
| 5.2.2 | Niveau du quartier | 20 |
| 5.3 | Niveaux d'intervention | 20 |
| 5.3.1 | Niveau de la parcelle | 20 |
| 5.3.2 | Niveau de l'élément | 20 |
| 5.4 | Mise en réseau et connectivité | 21 |
| 5.5 | Effets des usages | 21 |
| 6 | Éléments producteurs de services écosystémiques | 21 |
| 6.1 | Catégories d'éléments | 21 |
| 6.2 | Espaces libres | 21 |
| 6.3 | Surfaces | 21 |
| 6.4 | Végétation | 21 |
| 6.5 | Sol et sous-sol | 22 |
| 6.6 | Connexions et transitions | 22 |
| 6.7 | Équipements | 22 |
| 6.8 | Interaction des éléments | 22 |
| 7 | Indicateurs clés de performance (ICP) | 23 |
| 7.1 | Indicateurs par niveau | 23 |
| 7.2 | Exigences relatives aux ICP pour l'IFN | 24 |
| 8 | Processus de collaboration | 24 |
| 8.1 | Compréhension commune | 24 |
| 8.2 | Disciplines spécialisées impliquées et culture de collaboration | 24 |
| 8.3 | Argumentaire | 25 |
| 8.4 | Besoins en information par niveau | 26 |
| 9 | Potentils et obstacles actuels pour l'IFN | 26 |
| 9.1 | Des mesures aux objectifs d'effet | 27 |
| 9.2 | Usages multifonctionnels et qualité des éléments de base | 27 |
| 9.3 | Systèmes intégrés, entretien et exploitation | 28 |
| 9.4 | Données, numérisation et transformation | 28 |
| 10 | Champs d'action | 29 |
| 10.1 | Changement de perspective | 29 |
| 10.2 | Leviers stratégiques | 29 |
| 10.3 | Leviers organisationnels et de planification | 30 |
| 10.4 | Axes de développement prioritaires | 30 |
| 11 | Perspectives : outils possibles et prochaines étapes de développement | 32 |
| 11.1 | Outil web de sensibilisation (proof of concept) | 33 |
| 11.2 | Méthodologie d'évaluation de l'efficacité en matière de services écosystémiques | 33 |
| 11.3 | Méthodologie d'écobilan pour les conceptions d'espaces ouverts | 34 |



| | | |
|------|--|----|
| 11.4 | Étapes du livre blanc vers un standard | 34 |
| 12 | Sources bibliographiques | 35 |
| 13 | Impressum | 37 |
| 14 | Annexe A – Indicateurs clés de performance (ICP) | 38 |
| 15 | Annexe B – Liste d'éléments et d'attributs | 38 |
| 16 | Annexe C – Matrice de processus | 39 |
| 17 | Annexe D – Analyse des lacunes | 40 |
| 18 | Annexe E – Littérature complémentaire | 40 |
| 19 | Annexe F – Exemples | 41 |
| 20 | Annexe G – Glossaire | 49 |



Résumé

Le changement climatique, la perte de biodiversité, l'évolution démographique, dont la croissance de la population, aggravent les risques liés au réchauffement, les risques sanitaires et les risques de dommages dans le milieu bâti. Parallèlement, les dispositions légales exigent un développement du milieu bâti vers l'intérieur (densification), ainsi que la protection du climat et la préservation des ressources naturelles. Les infrastructures techniques classiques atteignent à cet égard leurs limites de capacité et génèrent des émissions de gaz à effet de serre et une consommation de ressources élevées.

Pistes de solutions

Les systèmes circulaires et régénératifs permettent de relever ces défis. Ils maintiennent les ressources dans le cycle et renforcent les processus de régénération naturelle tout en adressant simultanément des aspects d'écologie, d'économie, de promotion de la santé et de performance dans la prestation de services. L'infrastructure fondée sur la nature y joue un rôle clé. Elle fournit des prestations comme la régulation microclimatique, la rétention et l'épuration de l'eau, la filtration ou dégradation des polluants, la production d'oxygène, la promotion de la biodiversité ainsi que la santé humaine et la protection contre les dommages. En raison de l'importance de ces prestations, elle doit être comprise comme une infrastructure critique et donc traitée, planifiée, développée et entretenue à égalité avec les systèmes bâtis et techniques.

Objectifs du livre blanc

Le livre blanc ancre l'infrastructure fondée sur la nature comme partie intégrante d'un développement du milieu bâti circulaire et régénératif. Il met à disposition un cadre orienté à la performance, qui part d'objectifs sociétaux et formule des exigences claires pour sa planification, construction et exploitation. Ce cadre sert de base commune pour la politique, l'administration et la pratique.

Compréhension des effets

La base est une compréhension partagée des services écosystémiques. Les ressources naturelles comme le sol, l'eau et l'énergie en constituent le point de départ. La structure spatiale, la végétation, la construction, les matériaux et l'entretien pilotent les processus de services écosystémiques et déterminent leurs effets. Dans les systèmes circulaires, la planification et l'exploitation orientent ces facteurs afin de favoriser la régénération locale et réduire les besoins en ressources externes.

Mise en œuvre et besoins d'action

L'infrastructure fondée sur la nature exige la prise en compte de plusieurs échelles : région, quartier, parcelle et éléments. La parcelle est le principal espace d'impact (ou effets), car les objectifs stratégiques s'y concrétisent. Le livre blanc montre que de nombreuses connaissances et principes de base existent déjà, mais qu'ils sont peu mis en relation les uns avec les autres de manière continue. L'absence d'indicateurs de performance, des données insuffisantes et difficilement disponibles, le défaut de standards numériques, le manque de coopération ainsi que des lacunes dans l'exploitation et l'entretien orientés vers la provision de services écosystémiques entravent l'intégration à l'échelle pertinente des solutions fondées sur la nature.

Positionnement

Le livre blanc sert de base de compréhension et de cadre d'orientation stratégique. Il pose les bases techniques pour intégrer l'infrastructure fondée sur la nature de manière systématique, efficace et à part entière dans les processus de planification, de construction et d'exploitation. Il apporte ainsi une contribution centrale pour des milieux bâtis plus résilients au climat, sains et adaptés aux enjeux futurs.



1 Introduction

1.1 Situation initiale

La croissance et l'évolution démographiques, le changement climatique et la perte de biodiversité aggravent les risques liés au réchauffement, à la sécheresse et aux événements météorologiques extrêmes. Les conséquences pour la sécurité, la santé et la continuité d'approvisionnement touchent particulièrement le milieu bâti : les réservoirs naturels d'eau dans les glaciers, la glace et la neige se réduisent drastiquement avec la hausse des températures et des hivers secs [1]. Les décès liés à la chaleur sont aujourd'hui presque deux fois plus fréquents que les décès dus à la circulation routière [2]. La performance au travail lors des journées de canicule baisse d'environ un quart [3] et à des températures supérieures à 30 °C, le nombre d'accidents du travail augmente nettement [4]. Parallèlement, les dommages causés par les événements météorologiques extrêmes augmentent fortement [5].

Environ 85 pour cent de la population suisse vit déjà dans des espaces à caractère urbain, c'est-à-dire densément peuplés, et la tendance demeure en hausse. Ces espaces sont déjà aujourd'hui fortement touchés par la chaleur, la sécheresse et les conditions météorologiques extrêmes. Parallèlement, la loi sur l'aménagement du territoire (LAT) limite l'extension de l'urbanisation et les objectifs de zéro net (neutralité carbone) et de sécurité d'approvisionnement exigent un développement du milieu bâti économe en ressources, avec une densification vers l'intérieur et résilient face aux changements climatiques. Avec la loi sur le climat et l'innovation (LCI) et la loi sur la protection de l'environnement (LPE, art. 10h et 35j), de nouvelles bases légales existent notamment à cet effet.

Les infrastructures techniques conventionnelles, telles que les systèmes d'eaux usées ou le rafraîchissement technique atteignent leurs limites. Les solutions fondées sur la nature offrent des alternatives simples, décentralisées et écologiques. Elles atténuent la chaleur, stockent l'eau, améliorent la qualité de l'air, renforcent la biodiversité et créent des espaces libres sains. Leur mise en réseau en un système cohérent dans le milieu bâti, sous forme d'infrastructure fondée sur la nature, accroît leur performance et leur résilience. Cependant, en pratique, elles sont souvent prises en compte trop tard et mises en œuvre que partiellement, faute de prescriptions claires pour la planification, la mise en œuvre et l'entretien.

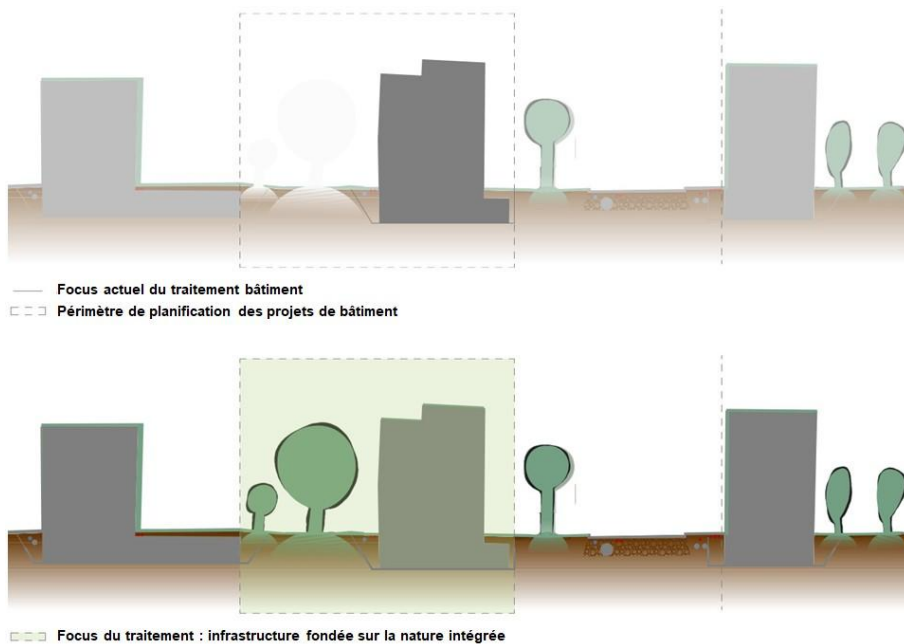


Figure 1: Focus de planification actuel et visé dans la construction hors sol / Source : sysTEAMatik GmbH



1.2 Vision

Les milieux bâtis sont planifiés et construits de manière à être sûrs, sains, résilients face au climat, riches en espèces et agréables à vivre, tout en minimisant des impacts environnementaux négatifs (dont consommation de ressources) et en augmentant leur capacité à se régénérer autant que possible localement. Les espaces libres, les bâtiments hors sol et les infrastructures forment à cet effet un système intégral pour fournir des services écosystémiques. La parcelle ou l'aire constitue ce faisant la plus petite unité de planification et d'optimisation. Aussi, les zones limitrophes entre parcelles sont conçues délibérément comme zones de mise en réseau, afin de créer une infrastructure fondée sur la nature continue et fonctionnelle. Ces buts sont fixés et ancrés systématiquement dans la planification, la construction, l'exploitation et l'entretien.

1.3 But et objectifs

L'objectif est d'établir l'aménagement des espaces libres avec des éléments fondés sur la nature qui sont performants et parties intégrantes d'un développement du milieu bâti résilient et tourné vers l'avenir. Les éléments fondés sur la nature mis en réseau sont à comprendre comme porteurs de prestations d'une infrastructure critique [6] pour les services écosystémiques et non comme un complément ornemental. Des milieux bâtis résilients au climat, riches en espèces et socialement mixtes émergent de la combinaison d'infrastructures fondées sur la nature et techniques, aussi bien en sous-sol qu'en surface, qui structurent les espaces libres, comme les revêtements, les façades et les toitures. Le résultat : des espaces multifonctionnels à haute qualité de séjour, qui renforcent les qualités écologiques, l'identité et la culture du bâti et qui fournissent simultanément des services écosystémiques efficaces. Les solutions fondées sur la nature complètent ou remplacent les infrastructures techniques et contribuent, en tant que systèmes low-tech économes en ressources, à la sécurité, la santé et la qualité de vie. La biodiversité est à cet égard un facteur central de performance et de résilience.

Ce livre blanc présente un cadre orienté sur l'impact (les effets) et une méthodologie proche de la pratique. Il montre comment l'infrastructure fondée sur la nature est planifiée, mise en œuvre et exploitée à l'échelle d'un projet. Le document crée une compréhension transdisciplinaire pour les équipes de développement immobilier, de planification, d'exécution et d'exploitation. Il pose une base de compréhension continue à travers toutes les phases du cycle de vie des espaces libres et des biens immobiliers, facilitant l'intégration des méthodes numériques et donc l'intégration de l'infrastructure fondée sur la nature (IFN) dans les processus existants. Il met en outre en évidence les lacunes de ces processus et ouvre les champs d'action potentiels, toujours pour renforcer une mise en œuvre efficace - alliant gestion des risques et développement qualitatif des espaces libres - orientés vers la provision de services écosystémiques.

1.4 Périmètre du document

Ce document traite de l'infrastructure fondée sur la nature comme thème transversal. Il propose une vue d'ensemble et une orientation pour des thèmes de cas d'usage (Use Cases), qui seront approfondis ultérieurement.

2 Bases conceptuelles

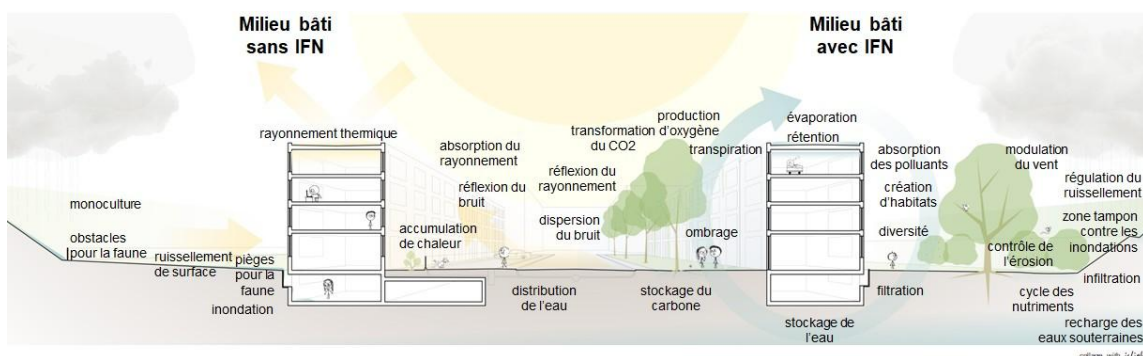


Figure 2: Système d'interactions entre espaces libres et espaces bâtis / Source : Travail de master, Anne Nyffeler [29]



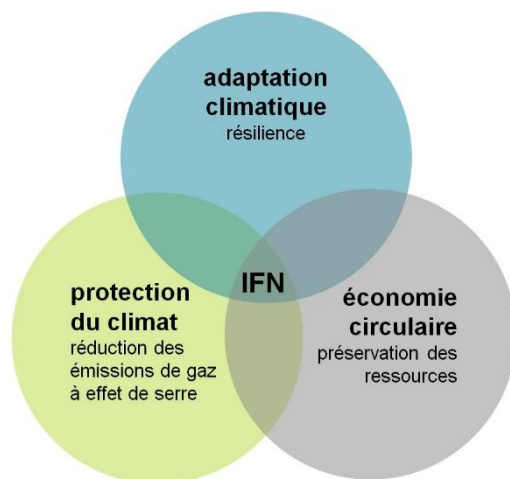
2.1 Besoins d'approvisionnement et consommation de ressources

Les humains ont besoin de milieux bâtis sûrs et bien approvisionnés pour vivre sainement et en sécurité. Les infrastructures garantissent ces besoins fondamentaux et constituent ainsi l'épine dorsale de la prospérité de la société. En Suisse, en font partie notamment l'énergie, la santé, la sécurité, l'alimentation, l'approvisionnement en eau, l'évacuation et le traitement des eaux usées et la gestion des déchets [6].

Les structures construites et les espaces libres interagissent directement (cf. Figure 2: Système d'interactions entre espaces libres et espaces bâtis / Source : Travail de master, Anne Nyffeler [29]). Le microclimat dans les espaces libres et leur qualité influencent les besoins en surface utile et en équipements techniques des bâtiments, par exemple pour le rafraîchissement, l'ombrage ou l'approvisionnement et l'évacuation de l'eau. Avec le changement climatique, la croissance et l'évolution démographiques, le besoin en systèmes performants pour ces fonctions augmente.

Les solutions fondées sur la nature apportent une contribution importante par la fourniture de services écosystémiques, lorsque les espaces libres sont aménagés en conséquence. Elles réduisent ainsi également le besoin en équipements techniques du bâtiment, l'utilisation de matériaux, l'effort d'entretien et la charge environnementale.

2.2 Principes de l'économie circulaire pour l'aménagement des espaces libres



Les logiques de consommation linéaires reposent sur le principe extraire, utiliser, éliminer. Les matériaux sont remplacés plutôt que préservés, l'eau est évacuée plutôt que valorisée, la végétation est renouvelée plutôt que développée et entretenue. Il en résulte une surconsommation de ressources, des émissions importantes et des coûts globaux élevés sur l'ensemble du cycle de vie du système, pour des bénéfices limités.

Pour un développement urbain durable et tourné vers l'avenir, l'économie circulaire est donc également essentielle dans les espaces libres. L'objectif est de réduire les flux de matière et d'énergie, de prolonger leur durée de vie ou de les maintenir dans des cycles continus, en les considérant comme des systèmes régénératifs.

Figure 3: Schéma des stratégies R de l'économie circulaire / Source : fondé sur TAZ Zürich

Les stratégies R constituent un principe organisateur central de l'économie circulaire. Elles décrivent comment les ressources peuvent être utilisées sur l'ensemble de leur cycle de vie de manière efficace, en valorisant et en ménageant l'environnement.

Ci-après une liste [7] adaptée à l'aménagement des espaces libres :

| | | |
|-----------|----------------|---|
| R0 | Refuse | Les interventions inutiles sont évitées en limitant autant que possible la consommation de sol, l'imperméabilisation et les éléments construits. Les fonctions requises sont d'abord assurées par l'existant (en particulier les arbres), une organisation spatiale judicieuse ou des processus naturels. |
| R1 | Rethink | Usage et conception sont adaptés afin que les espaces libres remplissent simultanément plusieurs prestations écologiques et sociales et remplacent ou minimisent les solutions techniques individuelles. |
| R2 | Reduce | Les besoins en matériaux, en énergie et en entretien diminuent grâce à des constructions simples, à une végétation adaptée au site et à la promotion de cycles naturels au lieu de solutions techniques. |



| | | |
|-----------|----------------------|--|
| R3 | Reuse | Les matériaux, éléments de construction et déblais sont directement réutilisés, dans la mesure où ils sont appropriés et peuvent être réemployés sans traitement coûteux. |
| R4 | Repair | La fonction des espaces libres est maintenue et autant que possible prolongée sur le cycle de vie par un entretien ciblé de la végétation et la réparation des éléments aménagés aux espaces libres. |
| R5 | Refurbish | Les espaces libres existants sont adaptés, complétés ou restaurés et ainsi améliorés fonctionnellement et écologiquement sans être entièrement remplacés. |
| R6 | Remanufacture | Les composants ou matériaux sont rafraîchis, remis à niveau, puis réutilisés dans de nouveaux espaces libres pour le même usage. |
| R7 | Repurpose | Les matériaux ou structures existants sont réutilisés à de nouvelles fins, par exemple comme structure écologique ou élément de conception. |
| R8 | Recycle | Les matériaux sont transformés en de nouvelles matières lorsqu'ils ne peuvent être ni réutilisés ni réaffectés. |
| R9 | Recover | Les matériaux sont compostés ou valorisés énergétiquement lorsqu'aucune meilleure utilisation dans le cycle n'est envisageable ; dans la mesure du possible par pyrolyse pour la production de biochar, utilisable pour l'amélioration des sols. |

2.3 Définition de l'infrastructure fondée sur la nature

L'**infrastructure fondée sur la nature (IFN)** [8] désigne un système mis en réseau d'espaces et d'éléments proches de la nature dans le milieu bâti. Par des processus naturels, elle fournit des services écosystémiques centraux comme le rafraîchissement, la recharge des nappes phréatiques, la promotion de la santé, la formation d'habitats et la protection contre les dommages. L'IFN contribue ainsi de manière essentielle à des milieux bâtis sûrs, sains et résilients. Elle s'appuie sur l'infrastructure écologique (IE) [9], [10] et sur les solutions fondées sur la nature [11] et se concentre sur des services écosystémiques ciblés pour des espaces densément urbanisés.

L'infrastructure fondée sur la nature (IFN) englobe, dans des espaces anthropisés, aussi bien des milieux naturels ou semi-naturels de grande surface que des éléments isolés tels que des arbres, des plans d'eau, des espaces verts, des parcs, des pas japonais ainsi que des toitures et façades végétalisées. Ce n'est que par la mise en réseau qu'émerge un système d'infrastructure résilient et performant ; des éléments fondés sur la nature demeurant isolés peuvent toutefois déjà fournir des prestations importantes. Le sol et le sous-sol en constituent la ressource fondamentale [12]. Cependant, tout espace vert n'est pas une infrastructure fondée sur la nature. Les monocultures intensivement entretenues et / ou les espaces végétalisés à fort recours en eau, en engrais ou en pesticides n'en font pas partie. Il en va de même pour les solutions à dominante technique — par exemple uniquement composées de canalisations et de regards — et associées à des impacts environnementaux élevés. En conséquence, les infrastructures vertes et bleues ne peuvent dès lors être considérées comme infrastructure fondée sur la nature que lorsqu'elles sont aménagées et entretenues de manière proche de la nature et qu'elles fournissent ainsi des services écosystémiques diversifiés.

2.4 Distinction par rapport aux concepts apparentés

2.4.1 Infrastructure écologique

L'infrastructure écologique se compose d'habitats fonctionnels pour la conservation de la biodiversité, bien répartis et reliés entre eux. Elle offre aux animaux et aux plantes un espace suffisant et permet leur mobilité, y compris dans des conditions climatiques modifiées. Ce faisant, elle relie des espaces libres et construits et traverse aussi bien les zones naturelles qu'anthropisées des espaces urbains et ruraux [9], [10].

2.4.2 Solutions fondées sur la nature

En anglais, nature-based solutions (NBS), ce concept regroupe des mesures qui protègent des habitats naturels ou marqués par l'humain, qui fournissent à cet effet des prestations centrales (services écosystémiques) et qui les



régénèrent. Elles aident à répondre efficacement à des défis sociétaux et renforcent simultanément le bien-être humain et la biodiversité.

2.4.3 Infrastructures verte, bleue, brune, grise et jaune

Ces termes désignent différentes infrastructures complémentaires dans le milieu bâti, qui doivent être planifiées de manière intégrée et reliées entre elles. Pour ces termes, il existe des définitions différentes, qui peuvent diverger de celles présentées ici. Dans chaque projet, une concertation préalable sur les définitions terminologiques propres au projet doit donc être menée (cf. également chapitre 8.1).

- **Infrastructure verte** : espaces et structures végétalisées ou arborées, les haies et les façades, murs et toitures végétalisés
- **Infrastructure bleue** : systèmes liés à l'eau - naturels et construits - pour l'approvisionnement et l'évacuation de l'eau, les éléments d'évaporation et de rétention d'eau
- **Infrastructure brune** : sol naturel, Technosols ou Anthrosols dans le milieu bâti, qui forme le fondement écologique et physique sur lequel reposent toutes les autres infrastructures
- **Infrastructure grise** : infrastructure technique comme les conduites d'approvisionnement et d'évacuation des eaux, ainsi que l'infrastructure de mobilité majoritairement imperméabilisée
- **Infrastructure jaune** : infrastructure technique pour la production, le stockage et la distribution d'énergie renouvelable comme les installations photovoltaïques ou solaires thermiques, les réseaux de chaleur à distance, les surfaces pour pompes à chaleur, le stockage d'énergie.

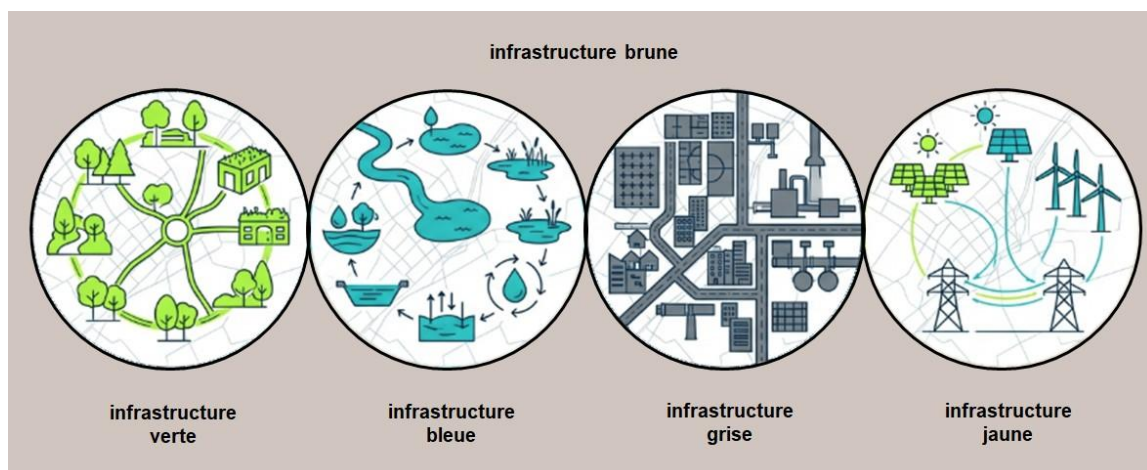


Figure 4: Types d'infrastructures apparentées dans le milieu bâti / Source : fondé sur Canton de Berne [14]

L'infrastructure fondée sur la nature met l'accent sur la mise à disposition, la coordination et l'amélioration ciblées de services écosystémiques dans le milieu bâti et, en tant que partie intégrante d'un milieu bâti conçu de manière résiliente et durable, vise à soutenir, compléter ou, lorsque c'est possible, remplacer des éléments de l'infrastructure grise.

2.4.4 Infrastructure poreuse

Elle désigne la morphologie du milieu bâti ainsi que l'intégration de ressources et processus locaux existants comme les courants d'air froid ou les flux de l'eau. Cet aspect [14] est repris ci-après en soulignant l'importance de la conception de la mise en réseau, de la connectivité, des liaisons et des transitions intentionnellement préservées ou aménagées (cf. également sections 5.4 et 6.6).

2.5 Contribution aux infrastructures critiques

Les prestations (services écosystémiques) fournies par l'infrastructure fondée sur la nature contribuent à plusieurs secteurs d'infrastructures critiques définis par la Confédération :



- **Énergie** : réduction des besoins énergétiques par le rafraîchissement, l'ombrage et la régulation microclimatique
- **Santé publique** : prévention des dommages lors d'événements de fortes précipitations, régulation des nuisibles, atténuation de la chaleur, épuration de l'air, réduction du stress par la provision d'espaces de détente
- **Sécurité publique** : rétention de l'eau, stabilisation des sols et réduction du ruissellement de surface, prévention des dommages lors d'événements de fortes précipitations
- **Alimentation et eau** : pollinisation, production locale de nourriture, filtration de l'eau, infiltration et recharge des nappes phréatiques, réduction du ruissellement de surface
- **Gestion des déchets** : délestage des systèmes d'évacuation techniques par une gestion naturelle des eaux pluviales et décomposition des polluants (voir 3.3.4)

En raison de ses prestations systémiques, l'infrastructure fondée sur la nature devrait dès lors être considérée comme infrastructure critique et prise en compte dans la planification de manière équivalente aux autres systèmes techniques. Une planification des espaces libres à la fois intégrée et techniquement fondée, incluant les interfaces avec les bâtiments et ces derniers mêmes, dans l'ensemble de l'écosystème urbain - est importante pour assurer des espaces de vie durables.

3 Services écosystémiques dans le milieu bâti

Les services écosystémiques [13] de l'infrastructure fondée sur la nature résultent de processus naturels. Ceux-ci sont déterminés par différents facteurs (par exemple le bilan hydrique des arbres et la transpiration qui y est associée) pour produire des services (par exemple le rafraîchissement par évaporation, la formation d'habitats). L'ensemble de ces prestations ont des effets concrets (par exemple la régulation microclimatique, la biodiversité).

Font partie des ressources (inputs), par exemple, l'eau, l'énergie ou encore les immissions anthropiques comme le bruit, les polluants ou les éléments induisant une fragmentation spatiale. Les conditions-cadres résultent aussi bien des données climatiques, hydrogéologiques et topographiques que de la conception du milieu bâti, notamment les structures de l'espace, la composition du sol, la végétation ou les matériaux et les usages humains. Conditions-cadres et ressources déterminent ensemble quels processus se déroulent et quels services sont ainsi produits, et si les effets en résultant sont positifs ou négatifs. La compréhension fondamentale de ce schéma de fonctionnement constitue la base pour la planification, la mise en œuvre et le maintien d'ouvrages et d'espaces libres fournissant de manière efficace des services écosystémiques.

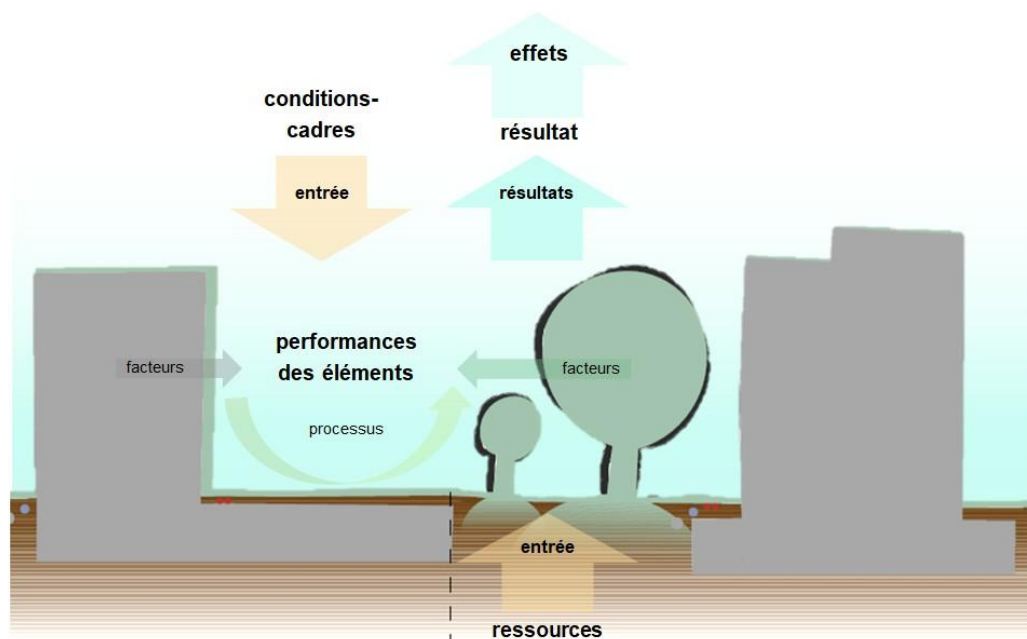


Figure 5: Schéma de système d'effets associés à une IFN intégrée à un espace libre (cf. également chapitre 3.3) / Source : Groupe de travail IFN



3.1 Catégories de services écosystémiques

Les services écosystémiques [13] désignent les contributions des écosystèmes au bien-être humain. Ils constituent la base des fonctions de l'infrastructure fondée sur la nature et se répartissent en quatre catégories [13].

- **Services de régulation** : par exemple microclimat, apport et infiltration et épuration de l'eau
- **Services d'approvisionnement** : par exemple agriculture ou jardinage urbain, forêts comestibles
- **Services culturels** : par exemple formation, identité et esthétique des lieux
- **Services de soutien** : par exemple pollinisation, cycles des nutriments et de l'eau

Pour des milieux bâtis résilients, sûrs et sains, les services écosystémiques de régulation et de soutien sont prioritaires. Mais d'autres prestations jouent également un rôle central : les services d'approvisionnement comme les produits alimentaires, les habitats pour les animaux et les plantes, les possibilités de mouvement ainsi que les services culturels comme l'éducation environnementale et l'identité du paysage favorisent l'acceptation et l'usage. Ils soutiennent ainsi le développement et l'effet à long terme de l'infrastructure fondée sur la nature et garantissent la qualité et la durabilité de l'aménagement des espaces libres.

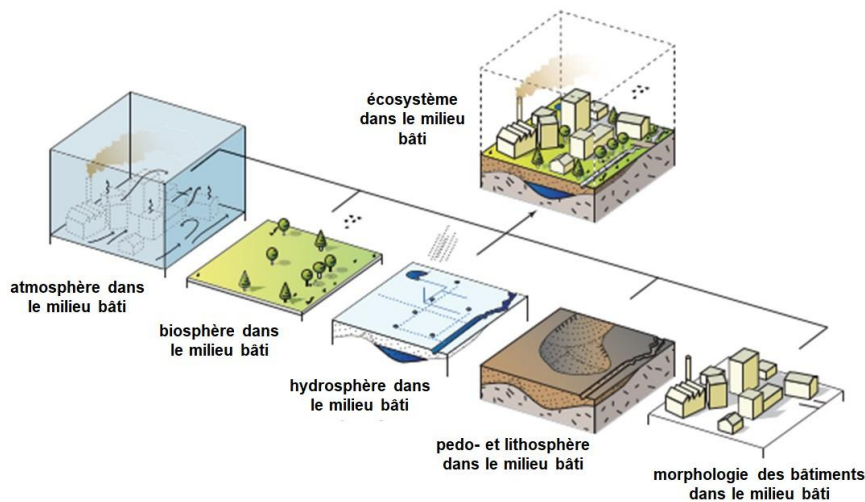


Figure 6: Composantes biophysiques des écosystèmes dans le milieu bâti / Source : Oke et al. 2017 [15]

3.2 Cycles écosystémiques

Les services écosystémiques reposent sur des cycles écosystémiques. Ceux-ci reposent sur des processus physiques, chimiques et biologiques et géologique qui ont lieu dans le milieu bâti. Ces processus peuvent être influencés de manière ciblée par la conception, les matériaux, l'usage et l'entretien des espaces libres.

3.2.1 Cycle de l'eau

L'eau de pluie est retenue sur les toitures plates végétalisées, les espaces verts et dans les noues. Elle s'évapore, s'infiltré et est épurée par les couches de sol biologiquement actives. Elle est en même temps disponible pour la végétation et contribue à la recharge des nappes phréatiques.

| | |
|--------------------|--|
| Processus | Rétention, infiltration, filtration, irrigation, recharge des nappes phréatiques, évaporation, transpiration, précipitations |
| Facteurs | Surfaces végétalisées, toitures végétalisées, arbres, noues, choix des espèces végétales, diversité de la végétation, qualité et perméabilité du sol, surfaces d'eau à ciel ouvert, écoulements quasi naturels, écoulement de l'eau en surface |
| Prestations | Régulation du microclimat, rafraîchissement par évaporation, rétention, infiltration et épuration de l'eau, réduction du ruissellement de surface |



3.2.2 Cycle du carbone

Les plantes captent le CO₂ de l'air et incorporent le carbone dans le tronc, les feuilles et les racines. Une partie du carbone est restituée au sol, où des micro-organismes le transforment en humus. Les arbres en croissance stockent durant des décennies de grandes quantités de carbone dans le bois et stabilisent son cycle à long terme. Par décomposition et lorsque les sols sont nus, le CO₂ est à nouveau émis.

| | |
|--------------------|--|
| Processus | Photosynthèse, fixation du carbone dans la biomasse et le sol, décomposition, formation d'humus, stockage à long terme dans le bois et l'humus |
| Facteurs | Choix des espèces, structure de la végétation, qualité du sol, conditions de site, entretien, degré de maturité et de santé des arbres |
| Prestations | Stockage du carbone, accumulation de biomasse, formation des sols, réduction des émissions issues d'éléments fondés sur la nature, effet de protection climatique à long terme |

3.2.3 Cycle des nutriments

Les plantes prélèvent dans le sol des nutriments comme l'azote, le phosphore, le potassium et les fixent dans leur biomasse. Lorsque des feuilles ou d'autres matériaux tombent au sol, ils sont décomposés et minéralisés par les organismes du sol. Ainsi, des nutriments redeviennent disponibles.

| | |
|--------------------|--|
| Processus | Absorption des nutriments par les plantes, décomposition de la biomasse organique par les champignons et les bactéries, minéralisation, formation d'humus |
| Facteurs | Diversité de la végétation, diversité des organismes du sol et biomasse vivante du sol, sols non imperméabilisés, chimie du sol, communautés végétales structurellement riches, diversité de la végétation, des champignons et des animaux |
| Prestations | Fertilité du sol améliorée, teneur en humus accrue, structure du sol stable, fertilisation externe réduite |

3.3 Conditions-cadres et ressources

Les conditions-cadres et les ressources liées au site forment le point de départ des processus écologiques. Elles déterminent dans quelle ampleur, avec quelle qualité et avec quel effet — positif ou négatif — les services écosystémiques émergent dans le milieu bâti.

3.3.1 Régulation microclimatique

Les plantes restituent de l'eau par leurs feuilles. Tout comme l'eau s'évapore des milieux aquatiques, celle-ci s'évapore par le rayonnement solaire et rafraîchit ainsi l'air ambiant. Les couronnes des arbres projettent une ombre étendue et réduisent ainsi l'échauffement des surfaces. Elles créent en outre par transpiration et évaporation des oasis d'air frais. Aussi, une végétation structurellement riche coupe le vent et crée des brises agréables.

| | |
|--------------------|---|
| Processus | Évaporation, transpiration, ombrage, coupe-vent, réflexion du rayonnement |
| Facteurs | Patrimoine arboré, couverture des couronnes, surface foliaire, choix des essences et adaptation au site, humidité du sol, approvisionnement en eau, surfaces non imperméabilisées et taux d'infiltration de l'eau, agencement et mise en réseau des structures vertes, matériaux de surface à faible capacité de stockage thermique |
| Prestations | Réduction de l'îlot de chaleur urbain, équilibre des températures, confort thermique accru |

3.3.2 Facteurs écologiques et formation d'habitats

Les plantes fournissent nourriture, abri et milieu de reproduction à de nombreuses espèces animales. Les insectes pollinisateurs assurent la reproduction des plantes, qui à leur tour offrent de la nourriture à d'autres animaux. Pas japonais et axes verts mis en réseau permettent aux animaux de passer d'un habitat à un autre. Un monde végétal et animal diversifié, c'est-à-dire biodivers, et bien mis en réseau avec une offre alimentaire continue se régule



largement de lui-même. Il rend les écosystèmes plus résistants aux perturbations comme la sécheresse et agit comme un système immunitaire naturel de l'infrastructure fondée sur la nature. Ainsi, les services écosystémiques restent durablement préservés et efficaces pour le milieu bâti.

| | |
|--------------------|---|
| Processus | Formation d'habitats, chaîne alimentaire, mise en réseau, pollinisation, reproduction, échange génétique |
| Facteurs | Diversité spécifique, choix de plantes adaptées au site, diversité structurelle de la végétation, provision suivie de fleurs et de fruits, structures proches du sol, surfaces non imperméabilisées et peu perturbées, mise en réseau des habitats, réduction des nuisances lumineuses (artificielles) et sonores, entretien extensif |
| Prestations | Promotion de la diversité spécifique, stabilisation des processus écologiques, régulation naturelle des nuisibles, pollinisation et par là sécurité alimentaire |

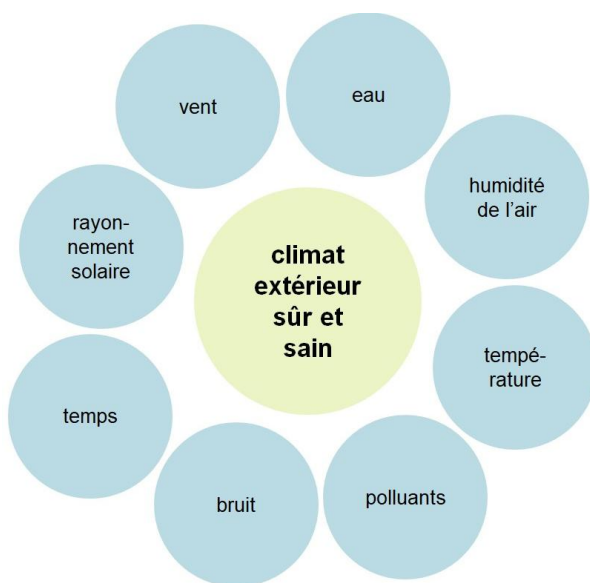


Figure 7: Facteurs d'un climat d'espace libre sûr et sain (confort en espace libre) / Source : fondé sur DWD, 2023 [16]; ecobau, s.d.

3.3.3 Bruit

La végétation influence la propagation du son dans le milieu bâti. Arbres, arbustes et façades végétalisées peuvent atténuer le bruit, le dévier et réduire la réflexion des sons gênants. L'infrastructure fondée sur la nature contribue ainsi à l'amélioration de l'environnement acoustique. Des structures végétales particulièrement denses et bien positionnées atténuent sensiblement le bruit du trafic et améliorent la tranquillité dans les milieux bâtis. Elle réduit le stress, accroît le bien-être et augmente la qualité du calme.

| | |
|--------------------|--|
| Processus | Absorption acoustique, réfraction du son, réduction de la réflexion sonore, niveau sonore de fond alternatif |
| Facteurs | Taille et densité des structures végétales, façades végétalisées, haies, densité et alignements bâtiments |
| Prestations | Exposition au bruit réduite, qualité du calme améliorée, atténuation du stress |

3.3.4 Polluants

Plantes et sols peuvent absorber, fixer et dégrader certains polluants présents dans l'air et l'eau. Surfaces foliaires, espaces racinaires et organismes du sol agissent comme filtres naturels ou agents de dégradation des polluants dans le milieu bâti (phytoremédiation). L'infrastructure fondée sur la nature réduit ainsi considérablement les charges environnementales. Il existe toutefois aussi des polluants comme les microplastiques, les PFAS ou de grandes quantités de métaux lourds qui ne peuvent être dégradés et par conséquent s'accumulent, de sorte que l'assainissement du sol devient nécessaire.



| | |
|--------------------|--|
| Processus | Dépôt atmosphérique, filtration par les surfaces foliaires, sorption dans le sol et les parties végétales, dégradation microbienne |
| Facteurs | Structures foliaires et aiguilles, micro-organismes du sol, surfaces poreuses, surface foliaire des arbres et autres végétaux. |
| Prestations | Réduction des poussières fines et des polluants atmosphériques et du sol, qualité de l'eau améliorée |

3.3.5 Lumière

La végétation influence les conditions lumineuses dans le milieu bâti. Elle apporte de l'ombre et diffuse la lumière du soleil. Elle protège ainsi du rayonnement solaire direct et réduit les réflexions gênantes sur les surfaces. L'infrastructure fondée sur la nature améliore ainsi le confort visuel et apaise le microclimat. La lumière artificielle peut toutefois entraver cet effet. Un éclairage excessif entraîne une pollution lumineuse et affaiblit la performance et la résilience des systèmes fondés sur la nature. Il est donc essentiel de prendre en compte l'éclairage lors de la planification et l'exploitation de l'infrastructure fondée sur la nature.

| | |
|--------------------|--|
| Processus | Ombrage, diffusion, régulation de la réflexion et de l'éblouissement |
| Facteurs | Surface de la canopée, densité de végétation, taux de réflexion liés aux matériaux, lumière artificielle |
| Prestations | Réduction de l'éblouissement et de la pollution lumineuse, déstage thermique |

3.4 Processus sociétaux et culturels

Des espaces libres bien conçus permettent la détente, le mouvement et la rencontre. Ils ont un effet réducteur de stress, favorisent la santé physique, psychique et sociale. Ils offrent un équilibre important au quotidien, en particulier dans les espaces densément urbanisés (cf. la spécification technique SIA 2066 [17]).

Par un usage répété, des lieux familiers se forment. Ils renforcent l'identité et l'appartenance par le lien social et favorisent l'apprentissage par l'expérience. Ainsi, la conscience de l'environnement et de la nature s'accroît également [17].

Les espaces libres conçus avec une infrastructure fondée sur la nature apportent une contribution sociétale et culturelle centrale. Ils renforcent la sécurité, la santé (y compris le développement physique et cognitif [18]). Ainsi, la qualité de vie tout autant que la performance économique et la résilience dans les milieux bâtis sont améliorés. Cet effet émerge aussi bien des services écosystémiques de régulation et de soutien que de l'usage quotidien d'espaces libres aménagés en conséquence ; le contact direct avec des éléments naturels procurant notamment de la détente et un accès à de l'eau potable de qualité [8].

| | |
|--------------------|---|
| Processus | Usage et récupération, identification, apprentissage par l'expérience, rencontre sociale, jardinage, gestes d'entretien |
| Facteurs | Accessibilité, mise en réseau et espaces libres (dont espaces verts de jeu et sport, jardins, allées ou parcs aux structures quasi naturelles – procurant des parfums, perception haptique, huiles essentielles, et bénéfiques procurés par d'autres services écosystémiques de régulation, d'approvisionnement et culturels – dont sensibilisation par des panneaux d'information, visites guidées, cours, etc.) |
| Prestations | Activation (incitation au mouvement), promotion de la santé, protection de la santé, réduction du stress, lien social, éducation et lien à la nature |

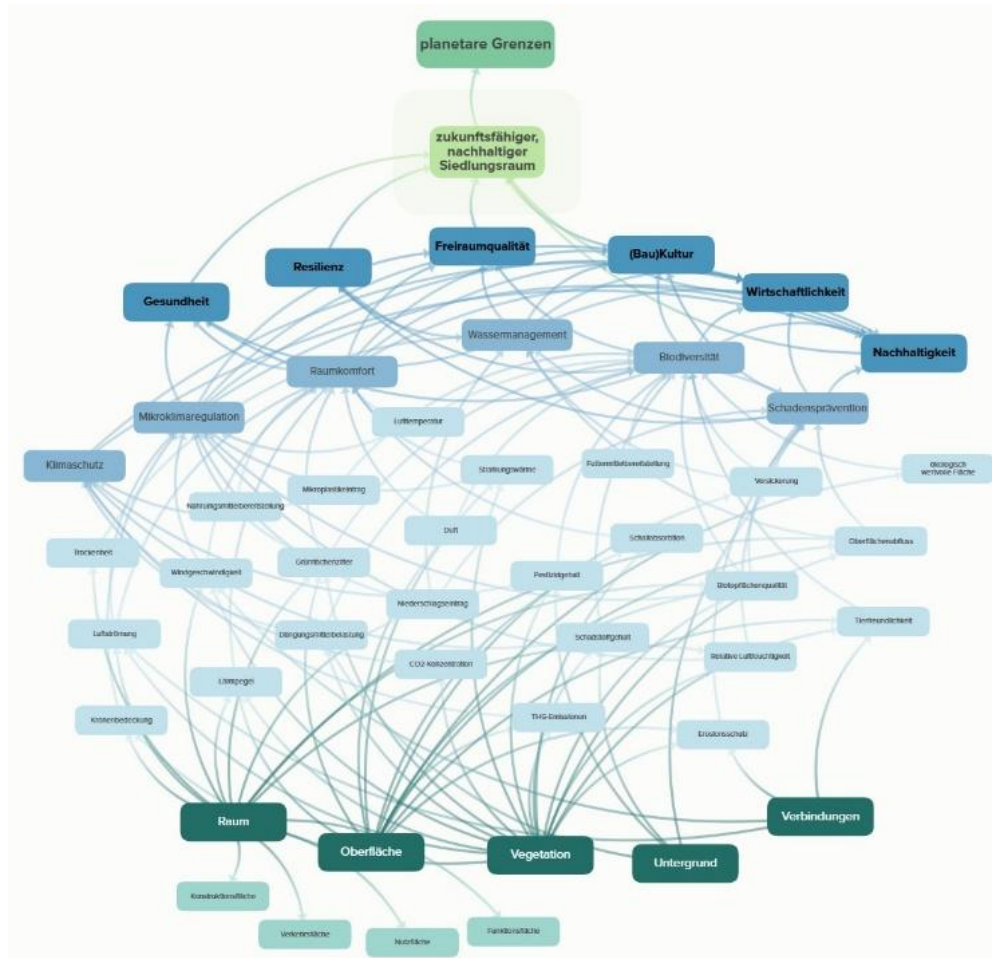
3.5 Recoupements et thématiques apparentées

L'infrastructure fondée sur la nature est en relation notamment avec les champs thématiques, stratégiques et techniques suivants (cf. également la spécification technique SIA 2066 [17]):

- **Développement durable [20]** : objectifs de protection du climat comme la préservation des ressources, le zéro net et la stratégie biodiversité
- **Écologie urbaine** : interactions entre structures bâties et systèmes biologiques



- **Atténuation de la chaleur** : réduction des îlots de chaleur urbains, confort thermique amélioré
- **Ville-éponge** : gestion de l'eau proche de la nature comme adaptation au changement climatique
- **Urban Forestry** : planifier et gérer de manière systématique les arbres en milieu bâti
- **Biomimétisme** : approche qui utilise les principes de fonctionnement naturels pour atteindre des prestations économes en ressources et résilientes ; un principe fondamental de l'infrastructure fondée sur la nature
- **Permaculture** : approche de planification de cultures favorisant des relations systémiques auto-régulées à long terme, elle s'appuie sur les cycles écologiques et organise les éléments de telle sorte qu'un bénéfice multiple émerge (pour les diverses espèces en présence)



[Link zur dynamischen Webversion](#)

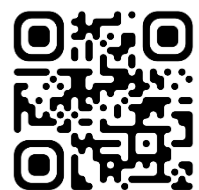


Figure 8: Carte thématique / Groupe de travail IFN

4 Dimensions de performance de l'infrastructure fondée sur la nature

L'infrastructure fondée sur la nature peut fournir de nombreuses prestations écologiques, sociales et économiques, dites services écosystémiques. Pour qu'elle puisse être planifiée, mise en œuvre et maintenue de manière efficace et durable, des objectifs clairs sont nécessaires. Des mesures appropriées et coordonnées pourront ainsi en être déduites [21], [22].

Ce livre blanc propose dès lors des objectifs supérieurs et des objectifs de performance associés. Ces objectifs s'orientent sur les principes d'un développement du milieu bâti résilient et d'une densification de qualité. Ils exigent des mesures spécifiques au projet pour atteindre les effets recherchés à l'aide des services écosystémiques [29]. Les objectifs visent à garantir que les ressources mobilisées soient utilisées de manière efficace, efficiente et équitable.



Ainsi, les services écosystémiques peuvent être maximisés selon les conditions et besoins locaux, réduisant la consommation de ressources utilisées dans les projets de construction, ainsi que dans l'aménagement d'espaces libres.

4.1 Un cadre orienté sur les effets de l'IFN

Des objectifs clairs et spécifiques au projet aident à orienter correctement l'infrastructure fondée sur la nature. Ainsi, elle peut être intégrée aux intérêts sociétaux, institutionnels et individuels.

L'infrastructure fondée sur la nature fournit des prestations pour les espaces libres comparables aux attentes concernant les mesures appliquées à la construction pour la santé et le confort des espaces intérieurs (par exemple isolation thermique, acoustique des locaux, équipements techniques du bâtiment).

Pour un développement durable du secteur de la construction, les objectifs de performance de l'infrastructure fondée sur la nature peuvent être repris comme catégories d'objectifs à concrétiser et hiérarchiser selon les spécificités du projet. Ces catégories se complètent et servent dans leur ensemble de référentiel pour aménager les espaces libres de manière fonctionnelle, résiliente et durable.

Le point de départ sont les exigences spatiales du projet. Elles découlent des conditions-cadres et de l'usage sociétal prévu à l'intérieur du périmètre du projet, c'est-à-dire sur la parcelle ou l'aire. En effet, des conditions importantes pour l'acceptation et la valorisation sont : qualité de séjour, sécurité, santé et participation sociale. Ces dernières renforcent simultanément la performance économique et la valeur à long terme d'un projet [24]. En complément de la qualité visuelle, fonctionnelle, ..., et écologique [17], les besoins microclimatiques de l'espace concerné, ainsi que d'approvisionnement en ressources (par exemple en eau, en nutriments) des espaces libres doivent également être planifiés et coordonnés.

Pour ne pas aggraver davantage les risques actuels liés aux changements climatiques et à leurs impacts environnementaux, la protection du climat et la préservation des ressources devraient être prises en compte comme catégories d'objectifs prioritaires. Cela inclut le maintien et l'usage économe des ressources existantes, notamment pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, fixer et stocker le carbone. En effet, le remplacement ciblé ou la réduction de systèmes techniques par des systèmes fondés sur la nature peuvent y contribuer significativement.

La biodiversité forme la base écologique de la performance du système, car elle détermine la résilience, la fonctionnalité et la stabilité des processus fondés sur la nature [25].

La gestion de l'eau sert de colonne vertébrale régulatrice, en assurant l'usage, la rétention, l'infiltration, l'évapotranspiration et l'épuration, renforçant ainsi la résilience écologique et technique de processus fondés sur la nature [26].

La régulation microclimatique, comme effet direct de la présence de structures végétales, ainsi que de la matérialité et de la morphologie du milieu bâti, est déterminante pour le confort thermique [7].

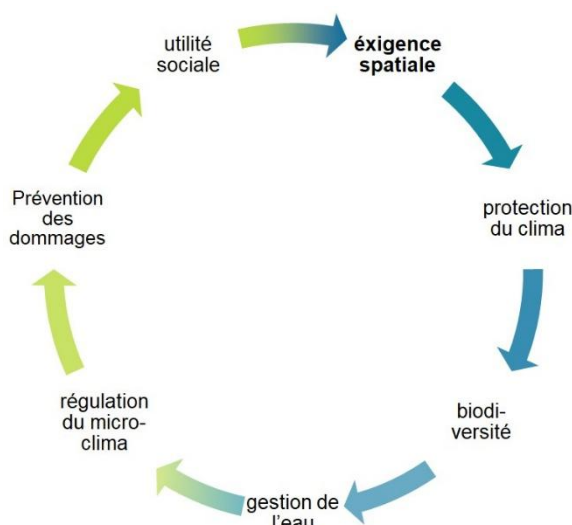


Figure 9: Logique d'effets comme hiérarchie d'action / Groupe de travail IFN

La prévention des dommages [23] résulte de la réduction du ruissellement de surface, de l'évitement de surcharges des infrastructures techniques, ainsi que de l'atténuation des risques liés à la chaleur - au vent- à l'eau. Ainsi la protection à la fois des personnes, des bâtiments et des infrastructures est augmentée [7]. La prévention des dommages résulte aussi de la régulation des nuisibles ou des pathogènes et allergènes.

De l'application combinée de ces catégories d'objectifs résulte en fin de compte non seulement la satisfaction locale des exigences spatiales définies, mais aussi une utilité et une valeur ajoutée sociétales au-delà du périmètre du projet.

La séquence illustrée contre suit les principes du développement durable [20] et une logique d'effets qui en est déduite [29]. Les humains réagissent surtout au bénéfice immédiatement perceptible comme la qualité de



séjour et le confort [24]. Si ces besoins sont toutefois couverts uniquement par des systèmes bâtis et techniques, il en résulte des émissions de gaz à effet de serre, des impacts environnementaux ainsi qu'une consommation de ressources élevée, appelant ensuite des mesures de protection du climat. Sans protection du climat, la biodiversité se perd. Avec son érosion s'affaiblissent aussi le cycle de l'eau et la régulation microclimatique au sein des milieux bâtis [25], augmentant le risque de dommages. Si en revanche la logique d'effets des écosystèmes est prise en compte et que la conception et l'entretien (de l'IFN) sont optimisés localement pour l'efficacité des services écosystémiques – aussi pour leurs effets coordonnés entre, le besoin en infrastructure bâtie et technique diminue. Simultanément, le risque de dommages baisse [16] et la qualité de séjour augmente. La séquence proposée devrait dès lors être comprise et appliquée comme une hiérarchie de priorités et d'actions.

4.2 Objectifs supérieurs

Les objectifs supérieurs suivants, également appelés objectifs formels ou objectifs stratégiques, peuvent servir de base de compréhension pour l'infrastructure fondée sur la nature (cf. également la spécification technique SIA 2066 [17]).

- Santé
- Résilience
- Rentabilité
- Durabilité (écologique, sociale et économique)
- Qualité des espaces libres
- Culture (du bâti)

4.3 Catégories d'objectifs pour la planification

Les dimensions de performance suivantes peuvent servir d'objectifs des effets (résultats quantitatifs) [21], [22] soit de catégories d'objectifs de l'infrastructure fondée sur la nature. De ces catégories d'objectifs sont alors déduites des mesures pour la fourniture de services écosystémiques optimisés par projet et par site [29] :

Tableau 1: Description des dimensions de performance en tant que catégories d'objectifs

| Dimension | Description |
|--|---|
| Confort de l'espace | Sécurité, santé, qualité de séjour, activation, détente, participation sociale |
| Protection du climat et préservation des ressources | Réduction des émissions, substitution de systèmes techniques, séquestration et stockage du CO ₂ , maintien d'un sol vivant pour la régulation des cycles de l'eau, des nutriments et du carbone et donc de la base écologique de l'infrastructure fondée sur la nature |
| Biodiversité | Diversité des espèces, qualité des habitats, stabilité écologique, infestation par les nuisibles minimisée |
| Gestion de l'eau | Usage, rétention, évaporation, infiltration, épuration |
| Régulation microclimatique | Confort thermique, atténuation de la chaleur, ventilation |
| Prévention des dommages | Mesures bâties résiduelles requises pour la protection contre les dangers naturels [23], par exemple réduction des risques d'inondation et d'érosion |

4.4 Interactions et implications pour la planification

Les dimensions agissent ensemble, non isolément. Une biodiversité accrue améliore la capacité de stockage de l'eau favorise aussi l'évaporation et stabilise ainsi le microclimat. Une bonne gestion de l'eau prévient les dommages



et réduit les solutions techniques bâties. Une conception réfléchie, des usages adaptés et un entretien approprié garantissent la performance des prestations écologiques et la stabilité du système.

5 Niveaux d'observation et d'intervention

La planification de l'infrastructure fondée sur la nature s'effectue à travers quatre niveaux spatiaux interdépendants [15], [16], [36], [29]. Leurs effets et leurs bases d'information se conditionnent mutuellement.

5.1 Vue d'ensemble des niveaux

Tableau 2: Fonctions des niveaux

| | Niveau | Désignation | Fonction |
|---|--------------|-----------------|--|
| Niveaux d'observation = conditions-cadres | Niveau nano | Élément | Types de végétation, arbres, couches de substrat, micro-habitats, matériaux |
| | Niveau micro | Parcelle | Espace d'action opérationnel et ressources locales : espace libre aménageable, forme du bâtiment, implantation et accès, sol, végétation, bilan hydrique |
| Niveaux de traitement = unités d'effet | Niveau méso | Quartier | Structures du milieu bâti, gouvernance, modes de mobilité, profils d'usages |
| | Niveau macro | Région | Systèmes climatiques, topographie, régimes hydrologiques, infrastructure écologique |

Le cadre d'action supérieur est déterminé à l'échelle régionale par les conditions climatiques, les régimes hydrologiques, et les réseaux écologiques, ainsi que - à l'échelle du quartier - par les dispositions de risque, les pressions et les évolutions potentielles. Au niveau de la parcelle, ce sont la gouvernance, les usages et les flux de ressources qui influencent les besoins et la faisabilité de l'infrastructure fondée sur la nature. Il en découle la nécessité d'une intégration entre les niveaux et d'une planification participative, afin d'y ancrer efficacement et durablement les mesures fondées sur la nature [17].

5.2 Niveaux d'observation

Pour chaque projet, il convient de définir les contenus et le degré de détail pertinents. Les conditions-cadres, les bases de référence et les effets sont analysés à plusieurs niveaux. Cette analyse permet de déduire les exigences et de déterminer les mesures nécessaires à la coordination et à une mise en œuvre intégrée au niveau d'intervention concerné.

5.2.1 Niveau régional

Les conditions-cadres régionales (nationale, cantonale, régionale et communale), constituent le niveau macro. Les grands systèmes climatiques, les caractéristiques topographiques, les régimes hydrologiques et l'infrastructure écologique déterminent la faisabilité, l'urgence et l'orientation des mesures locales. Les sources de données, comme les systèmes SIG nationaux et cantonaux, fournissent ici des informations décisives sur le climat, le sol, l'usage du sol, le bilan hydrique, les réseaux de milieux naturels ou les dangers naturels.



5.2.2 Niveau du quartier

Au niveau méso du quartier, secteur urbain ou voisinage, les structures locales du milieu bâti, les mécanismes de gouvernance, les modes de mobilité et les profils d'usages interagissent directement. Ils déterminent la faisabilité des mesures fondées sur la nature, leur connexion aux systèmes existants d'espaces verts et d'espaces libres, ainsi que leur acceptation et leur utilité pour la population.

5.3 Niveaux d'intervention

Lors de la mise en œuvre, les exigences propres au projet en matière d'usages et de qualité des espaces doivent être relevées, puis coordonnées avec les données issues des divers niveaux d'observation. L'objectif est de former un système global optimisé en fonction des exigences spécifiques et des services écosystémiques (SE) attendus.

5.3.1 Niveau de la parcelle

La planification de l'IFN se concentre sur le niveau micro de la parcelle, ou de l'aire, comme espace d'action opérationnel. L'orientation du bâtiment, la morphologie du bâti, le relief, les matériaux de surface et la végétation existante déterminent des processus écologiques centraux : notamment les diverses fonctions du sol, le ruissellement de surface, les mouvements d'air froid suivant les reliefs, le taux d'humidité et le rayonnement solaire.

C'est à ce niveau que les stratégies et valeurs cibles issues de l'aménagement du territoire et du développement du milieu bâti, informées par des données géoréférencées (SIG), doivent devenir opérationnelles. Elles doivent être traduites en mesures efficaces, connectées et coordonnées, puis intégrées dans les données BIM.

5.3.2 Niveau de l'élément

Au niveau nano, la qualité des éléments individuels est déterminante. Types de végétation, substrats, microhabitats, façades végétalisées et noues influencent le bilan thermique, les mouvements d'air et d'eau et la dynamique des polluants. Ils déterminent ainsi la performance écologique dans l'espace libre directement aménageable et utilisable, c'est-à-dire l'espace d'action. La conception des éléments constitue donc une mesure centrale pour atteindre les valeurs cibles, mesurables par les indicateurs clés de performance (ICP), au niveau de la parcelle. Tous les éléments qui composent l'espace libre produisent des effets sur les services écosystémiques. Pour des milieux bâtis durables et résilients, ces éléments doivent être conçus et entretenus de manière à fournir - à l'intersection de leurs fonctions et des exigences qui y sont liées - un maximum de services écosystémiques positifs.

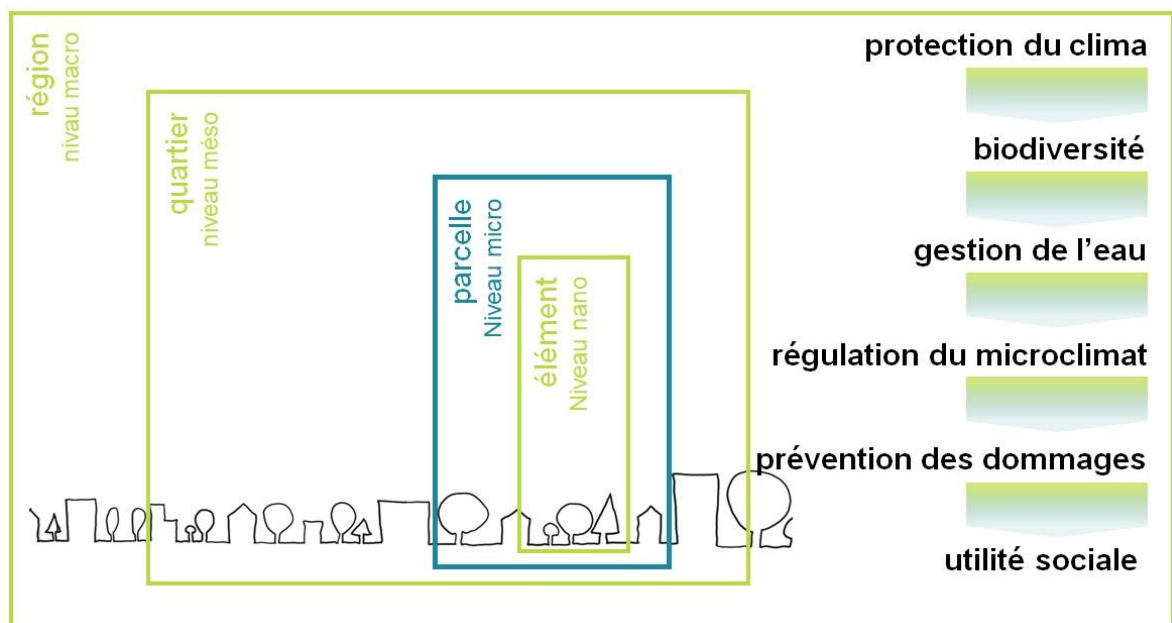


Figure 10: Niveaux d'observation et d'intervention avec dimensions de performance. Source : groupe de travail IFN



5.4 Mise en réseau et connectivité

L'IFN n'est efficace que si les informations et les processus sont reliés à travers tous les niveaux, selon une mise en réseau verticale. Cette connectivité est déterminante pour son fonctionnement. Les espaces racinaires, les processus du sol, les flux d'eau et les connexions d'habitats doivent interagir, comme dans les réseaux d'infrastructures techniques. La mise en réseau spatiale joue un rôle important. Elle accroît la valeur écologique et améliore l'utilité sociale. En effet l'orientation (et repérage), le confort et l'appropriation dépendent d'espaces continus, selon une mise en réseau horizontale.

5.5 Effets des usages

Les êtres humains et les animaux interagissent au sein du milieu bâti. La manière dont les êtres humains conçoivent, utilisent et entretiennent les espaces libres détermine leur évolution et aussi leurs besoins d'entretien. Par conséquent, la capacité de l'IFN à fournir des services écosystémiques dépend aussi de ces interactions. Les insectes, les oiseaux, les animaux et les autres êtres vivants peuvent renforcer, stabiliser ou réduire les services écosystémiques. Des populations animales équilibrées sont donc particulièrement importantes. Elles pollinisent les plantes, dispersent les graines et régulent les nuisibles, à la manière d'un système immunitaire [25]. Il est donc essentiel de concevoir des espaces libres favorable à la biodiversité.

6 Éléments producteurs de services écosystémiques

L'IFN agit par l'interaction de différents éléments qui fournissent ensemble des services écosystémiques.

6.1 Catégories d'éléments

Parmi les éléments efficaces figurent les espaces libres, les surfaces, la végétation, le sol, les connexions et les équipements [28].

6.2 Espaces libres

L'infrastructure fondée sur la nature au sein des espaces libres dans les milieux bâtis [7] concentrent les éléments qui fournissent des services écosystémiques [7], **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (cf. aussi chapitre 10.4). La structure, ou morphologie du milieu bâti, influence de manière déterminante les processus climatiques et écologiques. Elle doit donc être conçue de façon ciblée et soigneuse.

6.3 Surfaces

Les surfaces influencent des processus écologiques essentiels. Elles stockent et réfléchissent la chaleur, atténuent ou amplifient le bruit et permettent l'infiltration de l'eau ou, au contraire, son évacuation. Leur conception et leur matérialisation déterminent l'intensité des îlots de chaleur, la vitesse de ruissellement des eaux ainsi que le niveau de confort du microclimat. Elles comprennent les toitures et les façades, les surfaces des ouvrages de protection et de soutènement, ainsi que les revêtements et les surfaces d'eau des espaces libres.

6.4 Végétation

La végétation remplit plusieurs fonctions simultanément. Elle refroidit par l'ombrage et l'évaporation, épure l'air et l'eau, offre des habitats et atténue le bruit. Elle structure aussi l'espace, oriente les perspectives visuelles et crée une qualité de séjour. Son efficacité dépend de sa diversité. Les plantations mixtes, avec des systèmes racinaires et foliaires variés, évaporent ou absorbent davantage d'eau et sont plus résistantes. Les ligneux plantés dans la strate arbustive retiennent mieux l'humidité et améliorent le microclimat. Les plantations arbustives sous les arbres retiennent mieux l'humidité et améliorent le microclimat. Exemple de conception intégrée dans l'Annexe F – Exemples.



6.5 Sol et sous-sol

Le sol et le sous-sol constituent la base écologique [12] de l'IFN. Les qualités de sol existantes devraient autant que possible être préservées ou améliorées de façon ciblée. Le sol infiltre, filtre et stocke l'eau et régule les cycles des nutriments et du carbone. Il offre un habitat aux racines et aux micro-organismes et contribue au refroidissement et à la santé des espaces libres. Le sol constitue le socle des espaces libres ; sa structure, sa perméabilité et son activité biologique déterminent le bon fonctionnement de processus comme la recharge des nappes phréatiques, la formation d'humus ou la décomposition de substances (dont polluants).

6.6 Connexions et transitions

Les connexions (mise en réseau écologique) souterraines et aériennes permettent les processus écologiques et le cycle de l'eau. Elles confortent les espaces racinaires et les couronnes et assurent des habitats continus. Si ces liaisons sont interrompues, par exemple par des surfaces imperméabilisées, des murs, des clôtures, des routes ou un éclairage excessif, l'IFN perd nettement de son efficacité.

Figure 11: Catégories d'éléments et interactions des services écosystémiques dans l'espace urbain / Source : Nyffeler, Anne. (2025). *Zukunftsfähige Siedlungsräume durch systemische Freiraumgestaltung: Von Begrünung zur naturbasierten Infrastruktur.* [28]

espaces libres



surfaces



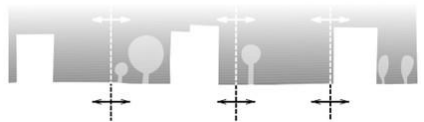
végétation



sous-sol



connexions



6.7 Équipements

Les équipements tels que des éléments fournissant de l'ombrage et de la fraîcheur, les fontaines, les bancs, les jeux ou les nichoirs complètent les contributions écosystémiques par des services sociaux et culturels. Ils augmentent l'utilité, la qualité de séjour et renforcent les interactions (sociales et avec la nature). Selon leur conception, ils relèvent de l'infrastructure fondée sur la nature ou de l'infrastructure technique.

6.8 Interaction des éléments

Pour la planification, quatre formes fondamentales d'éléments d'IFN peuvent être distinguées [40]. Elles ont des exigences spécifiques et fournissent des services écosystémiques différents (cf. aussi chapitre 6) :

Tableau 3: Différenciation des formes des éléments de l'IFN

| Forme | Unité | Éléments | Services | Remarques |
|--------------------|-------|------------------------|---|---|
| Éléments ponctuels | pcs | Arbres, ligneux, fossé | Ombrage, refroidissement par évaporation, fixation et stockage du carbone, formation d'habitats | Assurer un espace racinaire suffisant et des conditions de sol adéquates ; choisir des essences adaptées au site ; garantir l'alimentation en eau ; prendre en compte l'entretien et le développement à long terme, éviter les pièges à faune |



| | | | | |
|------------------------|----------------|--|---|---|
| Éléments linéaires | m ¹ | Murs, clôtures, bordures, conduites, routes, cours d'eau en surface, escaliers | Desserte, protection, approvisionnement, mise en réseau écologique, régulation des flux d'eau et des déplacements d'animaux | Garantir la perméabilité pour l'eau et les organismes ; respecter les conditions topographiques ; minimiser les barrières ; favoriser l'intégration d'éléments proches de la nature ; assurer l'entretien et l'accessibilité, éviter les pièges à faune |
| Éléments surfaciques | m ² | Espaces verts, plans d'eau, surfaces de toiture, façades végétalisées | Régulation microclimatique, évaporation, rétention de l'eau, promotion de la biodiversité, qualité de séjour | Planifier une diversité structurelle et une plantation adaptée au site ; éviter les monocultures intensives ; adapter l'entretien aux processus écologiques ; tenir compte des conflits d'usages, éviter les pièges à faune |
| Éléments volumétriques | m ³ | Sol, substrats, eaux souterraines, couche porteuse de végétation dans les structures de toitures et de façades | Stockage de l'eau, filtration, apport de nutriments, portance, base pour la végétation | Préserver les fonctions naturelles du sol ; éviter compaction ; permettre l'infiltration ; utiliser les substrats de façon ciblée ; assurer la régénération à long terme, par l'apport d'eau et de nutriments, ainsi que l'entretien |

7 Indicateurs clés de performance (ICP)

La planification et l'évaluation de l'IFN s'effectuent à différents niveaux et avec divers facteurs. Chaque niveau a ses propres critères et indicateurs de performance, qui par le passé ont été que partiellement coordonnés entre eux.

L'évaluation requiert au minimum un indicateur qualitatif par facteur (cf. Annexe G – Glossaire).

Pour que l'IFN puisse être mise en œuvre et maintenue efficacement, ces indicateurs doivent être agrégés de façon cohérente à travers tous les niveaux. Cela permet de formuler des objectifs clairs, de les vérifier et de les utiliser pour le développement de projets, ainsi que pour en assurer la qualité et le suivi.

7.1 Indicateurs par niveau

Les indicateurs s'appuient notamment sur la publication « Valeurs indicatives et critères de qualité pour la biodiversité dans le milieu bâti » [27]. Il convient en principe de distinguer deux catégories.

Conditions-cadres : Cadre, situation initiale et prescriptions à clarifier avant le début du projet.

Facteurs : Mesures concrètes qui favorisent de façon ciblée les services écosystémiques.

Tableau 4: Vue d'ensemble des types d'indicateurs, liste détaillée des indicateurs voir annexe A – indicateurs clés de performance (ICP)

| Niveaux | Fonctions | Conditions-cadres | Indicateurs relatifs aux facteurs |
|----------------------|--|---|---|
| Région | Pilotage stratégique et définition des objectifs | Conditions légales, stratégies générales, pilotage et coordination de l'aménagement du territoire | p. ex. surfaces des milieux riches en biodiversité, couverture de la canopée, taux de désimperméabilisation |
| Quartier (voisinage) | Coordination des usages, coordination des | Exigences urbanistiques, sociales et économiques, mixité des usages | p. ex. mise en réseau spatiale, connexions écologiques, usages sociaux et interactions |



| | besoins en infrastructure | | |
|-----------------|--|--|---|
| Parcelle (aire) | Mise en œuvre opérationnelle des objectifs sous forme de mesures | Régimes fonciers, prescriptions légales, exigences concrètes du projet - exigences relatives à la qualité et au microclimat des espaces libres (sécurité, santé, culture, confort) | p. ex. coefficient de biotope par surface (CBS), part de surfaces écologiquement précieuses, indice de canopée, diversité structurelle, connectivité des habitats, taux d'infiltration |
| Élément | Fourniture directe et adaptée au site | Conditions du site, exigences techniques et écologiques, propriétés des matériaux | p. ex. taux de réflexion des surfaces, performance d'évaporation et contribution écologique de la végétation, origine et caractéristiques des plantes, capacité de rétention d'eau des substrats et sols, consommation de ressource et impact environnemental |

7.2 Exigences relatives aux ICP pour l'IFN

Un système d'ICP fonctionnel exige des indicateurs définis de manière uniforme et structurés clairement. Ils doivent être utilisables individuellement au niveau de l'élément, puis agrégés à l'échelle de la parcelle, du quartier et de la région.

Les indicateurs doivent donc reposer sur des facteurs communs et standardisés. Ils doivent aussi être reliés entre eux de manière logique. Cette structure continue fait encore défaut. Elle constitue l'un des défis centraux pour la mise à l'échelle, ainsi que pour une mise en œuvre efficace et un développement et un maintien durable de l'IFN soutenue par le numérique.

L'Annexe A – Indicateurs clés de performance (ICP) présente une vue d'ensemble d'indicateurs existants. Elle sert uniquement de recueil d'exemples. Les métriques à appliquer doivent être définies pour chaque projet, à partir des conditions-cadres et des objectifs.

8 Processus de collaboration

La planification de l'IFN exige une lecture à plusieurs niveaux (cf. chapitre 5). Chaque niveau apporte ses propres conditions-cadres et exigences de performance. Le système devient efficace seulement si ces exigences sont reliées entre elles de manière continue. L'Annexe C – Matrice de processus, présente cette logique selon les phases SIA et les niveaux. Les thèmes centraux pour le maintien et le développement de l'IFN sont brièvement décrits ci-après.

8.1 Compréhension commune

Les connaissances de base sur la performance et les effets de l'IFN font souvent défaut. Les maîtres d'ouvrage et les parties prenantes ont besoin de références communes sur les processus écosystémiques, les performances attendues et les mesures adaptées. C'est la condition pour inscrire l'IFN de manière rigoureuse dans les plans directeurs, les concours, les projets et les contrats, puis pour l'évaluer, l'entretenir et la maintenir correctement. Le présent document fournit une base synthétique pour développer cette compréhension commune.

8.2 Disciplines spécialisées impliquées et culture de collaboration

Un processus continu pour l'IFN va des bases stratégiques à la planification et à la réalisation, jusqu'à l'exploitation et au suivi. Pour qu'il fonctionne, des rôles clairs, des interfaces standardisées, des objectifs coordonnés et des données uniformes sont nécessaires. La collaboration étroite [21], [22], [31] entre planificateur·rices et autorités ainsi que la participation des utilisateur·rices et des exploitant·es [17] sont également déterminantes.



Le développement, la réalisation, l'entretien et le maintien de l'IFN sur des parcelles requièrent une expertise interdisciplinaire nourrie de plusieurs domaines.

- Architecture et urbanisme
- Architecture du paysage
- Génie civil
- Écologie urbaine
- Gestion de la nature et de l'environnement
- Assainissement et gestion des eaux pluviales
- Hydrogéologie
- Pédologie
- Jardinage paysager et arboriculture
- Végétalisation verticale
- Toitures végétalisées
- Exploitation et entretien
- Usage
- Assurance des bâtiments

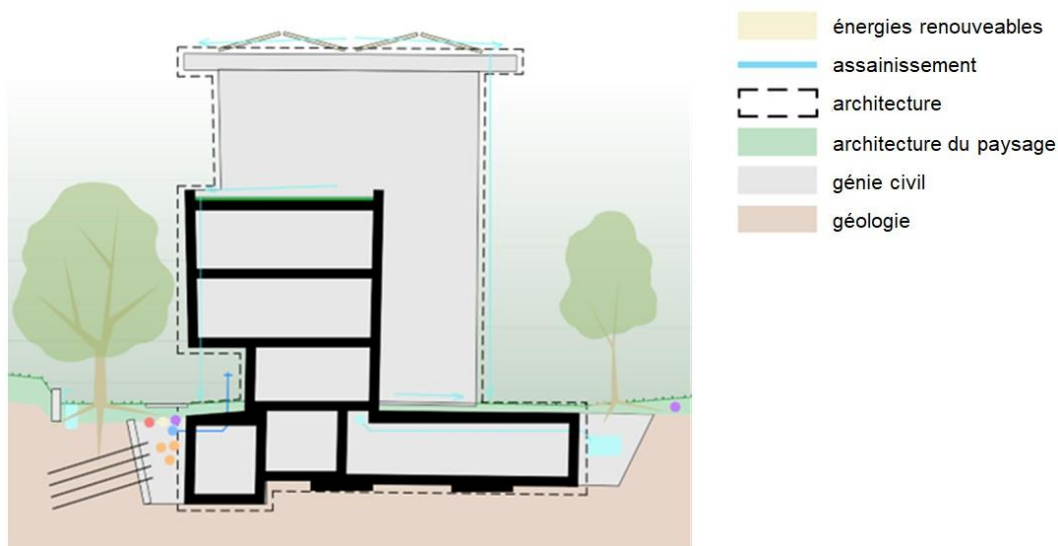


Figure 12: Disciplines de planification minimalement impliquées dans la mise en œuvre. Source : sysTEAMatik GmbH

Comme de nombreuses disciplines collaborent dans l'IFN et utilisent des termes différents, une compréhension commune précoce et continue de la situation initiale, des objectifs et des approches est particulièrement importante. Cette coordination devrait être planifiée et mise en œuvre de manière systématique pour chaque nouvelle constellation de projet. Des modèles de réalisation coopératifs avec des objectifs communs, comme « Best for Project », peuvent soutenir davantage le succès du projet [21], [22], [31].

La planification d'espaces libres résilients requiert une direction et une coordination générales clairement définies, par exemple assurées par l'architecture du paysage.

L'exploitation et l'entretien, et idéalement le monitoring font partie intégrante de l'IFN. Ils pilotent activement la performance et doivent être définis tôt, réglés contractuellement et accompagnés professionnellement, afin de garantir efficacité, efficience et résilience sur l'ensemble du cycle de vie du bien fonds.

8.3 Argumentaire

Dans la pratique, l'infrastructure basée sur la nature est souvent perçue comme coûteuse et peu efficace pour le climat et l'objectif zéro net, en particulier au regard des charges d'entretien et du bilan des émissions de gaz à effet de serre. Cette perception reste toutefois incomplète, car elle considère généralement des éléments isolés sans intégrer leurs services.

Un arbre d'alignement disposant d'un espace racinaire suffisamment grand et d'un apport en eau et en nutriments dans un Technosol ne présentera pas, sur sa durée de vie, un bilan zéro net en émissions de gaz à effet de serre. Mais si les services fournis simultanément par cet arbre, par exemple le refroidissement, l'épuration de l'air, la rétention et l'infiltration de l'eau ainsi que la prévention des dommages liés à la chaleur ou à l'érosion, devaient être assurés par différents systèmes bâtis et techniques, les émissions et les coûts seraient plusieurs fois plus élevés.



Le constat est très similaire lorsque l'on compare des solutions purement techniques à des solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales.

Lorsque la parcelle est comprise comme un système global composé du bâtiment, des espaces libres ainsi que des infrastructures techniques et fondées sur la nature, la capacité de performance change, tout comme les besoins en ressources ainsi que les divers effets. L'enjeu consiste donc à comparer des approches équivalentes, bâties-techniques et fondées sur la nature, à partir d'objectifs d'effets clairs : protection du climat, gestion de l'eau, régulation microclimatique ou prévention des dommages sur l'ensemble du cycle de vie d'un bien immobilier.

L'absence de coordination entre systèmes bâtis-techniques et systèmes fondés sur la nature conduit souvent à des systèmes parallèles, à des redondances inutiles ainsi qu'à une consommation superflue de ressources et à des charges d'exploitation et d'entretien excessives. La coordination ciblée de systèmes globaux intégrés, orientés vers des objectifs et qualités définis, peut donc réduire les coûts, les émissions de gaz à effet de serre et la consommation de ressources (voir exemples Figure 13).

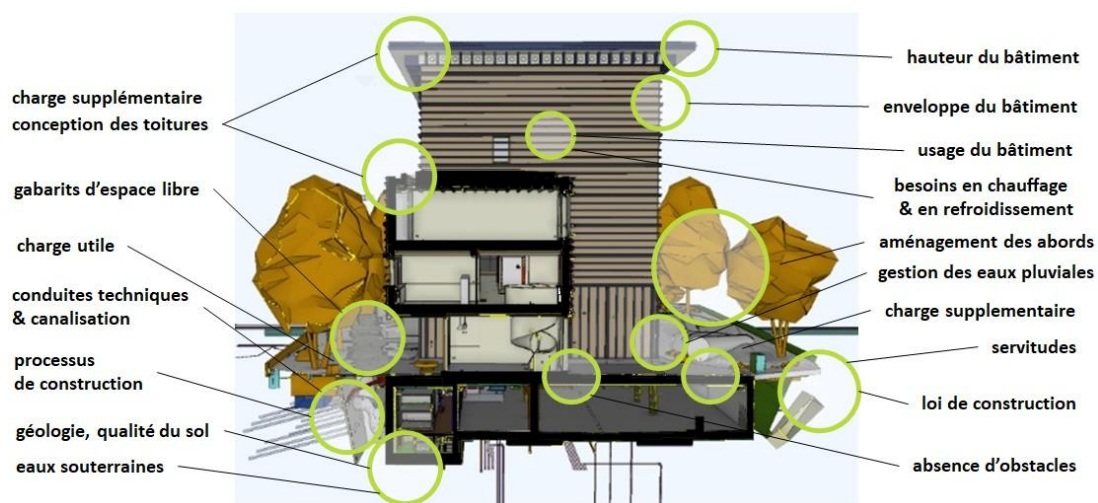


Figure 13: Interfaces de coordination importantes entre espace bâti et espace libre au niveau de la parcelle. Détails voir Annexe F – Exemples / Source : sysTEAMatik GmbH, d'après PIRMIN JUNG Schweiz AG

8.4 Besoins en information par niveau

La mise en œuvre efficace et durable de l'IFN nécessite un modèle de données numérique continu. Les conditions-cadres, les exigences, les objectifs d'effet(s), les mesures et les indicateurs clés doivent pouvoir être représentés de manière cohérente, de la planification à l'exploitation et au suivi.

L'IFN devrait pouvoir être modélisée de façon intégrée, vérifiée en continu et pilotée au moyen d'indicateurs standardisés. Cela requiert une interconnexion étroite des données de référence statiques actuelles (p. ex. SIG) avec des modèles dynamiques de planification et d'exploitation (BIM).

La lacune centrale réside aujourd'hui moins dans l'absence de données que dans le manque de standardisation et de compatibilité, qu'il s'agisse de précision et de niveau de détail, ou de logique et de structure. L'Annexe B – Liste d'éléments et d'attributs présente un exemple fondé sur les catégories d'objectifs proposées et les facteurs associés. Elle peut servir référence à des cas d'usage ultérieurs.

9 Potentiels et obstacles actuels pour l'IFN

La pratique actuelle du développement du milieu bâti se concentre souvent sur des projets de construction isolés et sur des objectifs à court terme ou isolément orientés vers le rendement. Les effets sur le climat, les ressources et les espaces adjacents sont insuffisamment pris en compte. Les infrastructures sont souvent conçues de façon monofonctionnelle, alors que leur performance dépend des effets de systèmes en réseau. L'Annexe D – Analyse des lacunes, recense les obstacles et lacunes actuellement connus.



Une définition claire des objectifs liés aux services à fournir fait souvent défaut. Les prescriptions nomment souvent des mesures individuelles sans préciser les effets à atteindre. Cela rend plus difficiles la priorisation, la comparabilité et la planification intégrative. Les mesures sont en outre souvent définies uniquement jusqu'aux limites de parcelle. Cela complique le développement de solutions en réseau, adaptées à la situation et plus durables. Pour une planification intégrée, les prescriptions devraient donc relier les objectifs à des cas d'exemples de mesures adaptées, tout en ouvrant des marges de manœuvre. La définition de seuils de qualité minimaux et uniformes sont également nécessaires pour que les éléments contribuent efficacement et à long terme à la résilience.

De nombreuses normes, standards et instruments tels que SIA 2032, SIA 2066, Minergie-ECO, SNBS, DGNB ou ecoProdukte (cf. Annexe E – Littérature complémentaire) existent déjà. Cependant ils ne considèrent pas encore les espaces libres de manière systémique. C'est pourquoi il est important de les développer et de les mettre en cohérence pour la fourniture de services écosystémiques dans le milieu bâti.

9.1 Des mesures aux objectifs d'effet

Les mesures individuelles sont souvent planifiées de manière isolée, sans se concentrer sur des objectifs d'effets clairs, par exemple des revêtements perméables plutôt qu'une recharge définie des nappes phréatiques. Un levier central consiste donc à définir et coordonner tôt les effets souhaités, comme l'atténuation de la chaleur, la rétention de l'eau ou la promotion de la biodiversité. Cela permet une planification, une réalisation et un entretien ciblés des espaces libres, au service d'une IFN performante.

Pour obtenir des effets en matière de protection du climat et de préservation des ressources, la planification des espaces libres manque concrètement de méthodologies, d'outils et de données de base permettant d'évaluer ces objectifs. Dans les secteurs du bâtiment et du génie civil, ces bases existent et pourraient servir de point de départ pour les développer aussi dans la planification des espaces libres.

De nombreuses imprécisions apparaissent dès la commande. Si les objectifs d'effet(s), les qualités minimales et les résultats attendus ne sont pas définis tôt, les solutions fondées sur la nature sont insuffisamment prises en compte dans les concours et la planification. L'élaboration de la commande requiert de la compétence pour demander de l'efficacité, de la qualité et de la comparabilité.

La base de la commande et de la mise en œuvre de l'IFN dans le milieu bâti est la compréhension de la performance et de la logique des effets des solutions fondées sur la nature. Des mesures de sensibilisation et de formation sont donc nécessaires.

9.2 Usages multifonctionnels et qualité des éléments de base

Les éléments de base (du milieu bâti) offrent un grand potentiel. Jardins, espaces verts, surfaces annexes de voirie, toitures et façades peuvent être valorisés, mis en réseau et utilisés de façon multifonctionnelle. Des mesures simples, comme la désimperméabilisation, le maintien des arbres et l'amélioration de la disponibilité en eau et en nutriments, produisent déjà des effets sensibles.



Figure 14: Représentation de parcelles contribuant potentiellement à un réseau performant d'IFN. Source : travail de master d'Anne Nyffeler [29]



La qualité des différents éléments de base est déterminante. Une gestion consciente du sol, de la perméabilité écologique, du choix des plantes et des communautés végétales, du choix des matériaux ainsi que d'un entretien adapté déterminent la performance. La coordination de ces facteurs peut créer de grandes différences d'effets et réduire fortement le besoin en infrastructure technique.

Une description systématique de ces éléments fait toutefois souvent défaut. Les indications sur la fonction, la performance, la composition et l'entretien sont souvent partielles et non standardisées. Au niveau de l'élément, il manque des définitions et objectifs claires sur les matériaux, les dimensions, la durée de vie, les besoins d'entretien et les effets écologiques, ainsi que sur leur représentation numérique. Cela complique la planification, la comparabilité et l'assurance qualité. Ces bases d'informations doivent donc être créées.

9.3 Systèmes intégrés, entretien et exploitation

Un obstacle majeur est l'absence de coordination entre systèmes fondés sur la nature et systèmes techniques. Sans coordination entre les exigences des espaces construits et celles des espaces libres, des solutions parallèles apparaissent, se fragilisent mutuellement ou deviennent inutilement redondantes. Une planification intégrative augmente l'effet et réduit la consommation de ressources et les coûts.

Une perspective systémique globale fait en outre souvent défaut. Les interdépendances, notamment entre les flux d'eau, les courants d'air froid et la mise en réseau écologique, sont insuffisamment prises en compte. Cela génère des solutions isolées à impact ou effet limité. Le lien entre les grands ensembles spatiaux et les mesures ponctuelles reste souvent flou.

L'exploitation et l'entretien sont souvent pris en compte trop tardivement, alors qu'ils déterminent de façon décisive la performance à long terme. Un concept d'exploitation et d'entretien défini tôt et orienté vers les objectifs d'effets est donc un facteur de succès central.



Figure 15: Exemple de coordination fondée sur la planification BIM pour les éléments d'espaces libres. / Source : Landscale AG, 2024

9.4 Données, numérisation et transformation

De nombreuses bases pertinentes existent déjà, mais elles restent souvent hétérogènes, parfois difficiles d'accès et peu compatibles, car elles sont structurées et détaillées de manières différentes. Des cartes climatiques, des cartes des dangers, des informations sur les sols et les eaux souterraines ainsi que des inventaires des zones protégées et de l'infrastructure écologique existent par exemple aux niveaux national, cantonal et communal. Des jeux de données SIG décrivent les régimes climatiques, la topographie, l'utilisation du sol, les types de milieux, la flore et la faune, et parfois aussi les espaces et structures de mise en réseau. Le défi central réside dans le manque de cohérence, ainsi que dans les difficultés d'identification et d'accès à l'information.

Des lacunes importantes subsistent aussi dans les bases de données et leur interconnexion. Les informations sur le climat, le bilan hydrique, le sol ou les structures écologiques sont souvent incomplètes, préparées selon des logiques différentes ou difficiles à combiner entre elles. Des paramètres et des méthodes uniformes pour évaluer et comparer les solutions techniques, hybrides et fondées sur la nature font largement défaut. Les données sur les coûts, les émissions et les bénéfices sur l'ensemble du cycle de vie sont lacunaires, surtout à l'échelle de la parcelle.

Un modèle d'information continu pour l'IFN, intégrant les objectifs d'effet(s) et les indicateurs associés sur l'ensemble du cycle de vie, offre un potentiel important. Si les paramètres de performance sont gérés comme attributs du modèle, les solutions peuvent être comparées, coordonnées et optimisées. Cela suppose de structurer



clairement les données existantes, de les relier entre elles et de définir les attributs pertinents au niveau de l'élément.

Un tel modèle devrait décrire sans ambiguïté les éléments fondés sur la nature, rattacher leurs attributs aux processus écosystémiques et les rendre intégrables dans les logiciels de planification existants. Il doit en même temps servir de base aux contrôles automatisés, de la planification au suivi, par passant par la maintenance et le développement continu.

La transformation nécessaire à l'intégration d'une infrastructure proche de la nature ne requiert pas d'instruments fondamentalement nouveaux. Elle exige surtout l'application et l'interconnexion cohérentes des bases existantes. Les priorités sont les suivantes : définir des objectifs clairs pour les services écosystémiques, développer sur cette base des systèmes globaux coordonnés et intégrer tôt les processus d'entretien. Le tout doit être soutenu par des structures de données intégrées et un accès simple à l'information.

10 Champs d'action



Figure 16: Planification intégrative et fondée sur la modélisation de l'IFN / Source : Landscale AG, 2026

Les potentiels et les obstacles décrits plus haut font ressortir des champs d'action clairs : définir des objectifs, rendre les flux d'information continus, coordonner les systèmes, mesurer les effets et orienter l'entretien vers les objectifs.

De façon transversale, l'ancrage efficace de l'IFN requiert un travail résolument multi-niveau. Les objectifs stratégiques doivent être traduits par des concepts spatiaux en prescriptions concrètes, puis en exigences relatives aux éléments. L'absence de continuité entre ces niveaux compte parmi les principaux obstacles à la mise en œuvre.

L'IFN requiert en même temps une compréhension systémique commune à toutes les parties prenantes. Les processus écologiques, les relations d'effet(s) spatiales et les exigences d'entretien à long terme doivent être pensés ensemble pour que les systèmes techniques et naturels puissent être combinés de manière pertinente et mis en œuvre avec robustesse.

10.1 Changement de perspective

L'ancrage efficace de l'IFN requiert un changement de perspective. Plutôt que des mesures individuelles, des objectifs d'effet(s) clairs doivent être définis en matière de climat, d'eau, de biodiversité, de prévention des dommages et de qualité des espaces libres. Ces objectifs doivent être localisés spatialement, quantifiables autant que possible et représentables numériquement.

La continuité de ces objectifs, de la planification à l'exploitation et à l'entretien en passant par la réalisation, est déterminante. L'absence de continuité compte parmi les principaux obstacles à une mise en œuvre performante. Des définitions de qualité minimales et uniformes sont en même temps nécessaires pour que les éléments contribuent efficacement et à long terme à la résilience.

10.2 Leviers stratégiques

Un levier essentiel consiste à rendre visibles très tôt les risques climatiques, les vulnérabilités et les coûts induits dans le milieu bâti. Des analyses coûts-bénéfices transparentes sur le cycle de vie, incluant les coûts climatiques, sanitaires et liés aux dommages, créent des bases de décision et renforcent l'acceptation des mesures.

Il faut également des objectifs contraignants et la sécurisation spatiale et temporelle des surfaces destinées à l'IFN dans les plans directeurs et les plans d'affectation.



Le développement de l'IFN suppose en outre des changements sociaux et institutionnels. Des exemples de projets de référence et des objectifs contraignants aux niveaux communal et cantonal soutiennent cette transformation nécessaire. Le développement des compétences sur les processus écosystémiques et la sensibilisation de la population et des utilisateur·rices sont tout aussi centraux. Expliquer les effets et les bénéfices de l'IFN à la population et aux utilisateur·rices renforce leur acceptation, leur reconnaissance de sa valeur et leur soutien volontaire à sa mise en œuvre et à son entretien. L'intégration de l'IFN dans la formation initiale, continue et universitaire des disciplines concernées est nécessaire pour garantir à long terme les compétences requises dans la planification, l'administration, l'exploitation l'entretien et le suivi.

La compétence de commande est tout aussi centrale. Les maîtres d'ouvrage doivent définir tôt les objectifs d'effet, les exigences minimales et les résultats à vérifier, puis les commander de manière contractuelle. Cela inclut les valeurs cibles, les comparaisons de variantes ainsi que les concepts d'exploitation et d'entretien. L'IFN devient ainsi planifiable, vérifiable et pilotable sur le cycle de vie. Des objectifs clairs, des instruments de planification standardisés et des bases de décision simples favorisent la communication et aussi une meilleure autorégulation des maîtres d'ouvrage. L'amélioration de ces conditions encourage la mise en œuvre cohérente de solutions orientées performance.

Des exemples de bonne pratique, notamment dans les publications de l'OFEV [38] ou sur des plateformes comme la plateforme ville-éponge [39], montrent que des mesures concrètes sont réalisables. Pour produire un effet durable, ces approches doivent toutefois évoluer, allant de mesures isolées vers des systèmes d'infrastructure en réseau.

10.3 Leviers organisationnels et de planification

L'IFN doit être planifiée comme une partie d'un système global fonctionnel composé du bâtiment, des espaces libres et de la technique. Cela nécessite des objectifs adaptés au site et au projet, des responsabilités claires sur l'ensemble du cycle de vie, une coordination générale définie pour les espaces libres et l'IFN, ainsi qu'un contrôle des variantes dans leur intégralité, portant sur les intersections d'objectifs (cf. chapitre 4), dès les premières phases de planification. Cela implique aussi de définir et de mandater une responsabilité supérieure de coordination et de direction générale pour les espaces libres et l'IFN.

Une définition claire des limites du système est également nécessaire. La parcelle ou l'aire devrait constituer le niveau de traitement minimal contraignant, afin que le bâtiment et l'espace libre soient évalués ensemble comme un système fonctionnel.

Des méthodes de comparaison standardisées sont nécessaires pour mettre objectivement en regard les systèmes techniques, hybrides et fondés sur la nature. Des analyses coûts-bénéfices orientées performance ainsi que des valeurs fiables sur la rentabilité et les émissions soutiennent des décisions fondées. Des valeurs robustes sur la rentabilité, les coûts du cycle de vie et les émissions de gaz à effet de serre, à l'échelle de la parcelle comme limite de système, constituent une condition centrale pour des décisions fondées. Des instruments d'évaluation transparents sont également nécessaires pour rendre compréhensible le potentiel de performance de l'IFN par rapport aux solutions purement bâties-techniques.

L'exploitation, l'entretien et le monitoring doivent être pensés de manière intégrée dès le début et ancrés contractuellement. Ils pilotent de piloter activement la performance pour assurer l'effet escompté à long terme (cf. aussi Annexe F – Exemples). La définition précoce d'indicateurs de suivi adaptés à chaque catégorie d'objectifs, par exemple climat, biodiversité et eau, est centrale pour vérifier l'atteinte des objectifs.

10.4 Axes de développement prioritaires

Les recueils de bonnes pratiques existantes montrent ce qui est possible. Dans la publication « Solutions fondées sur la nature : opportunités pour les communes, les régions et les entreprises – Exemples de bonnes pratiques en faveur de la biodiversité, de la protection du climat et de l'adaptation aux changements climatiques » [38], l'OFEV met à disposition un catalogue d'exemples de solutions fondées sur la nature. Pour les milieux bâtis et les surfaces dédiées à la circulation, de bonnes pratiques y sont également documentées : création et valorisation d'espaces verts urbains, toitures végétalisées, façades végétalisées, désimperméabilisation, création et valorisation de milieux aquatiques urbains, solutions ville-éponge.



La plateforme ville-éponge de la VSA [39], met également à disposition de bons exemples de ville-éponge, ainsi que des outils pour leur ancrage, leur développement, leur mise en œuvre et leur entretien.

Pour produire un effet durable, ces approches doivent toutefois être développées systématiquement, en passant de mesures individuelles à des systèmes d'infrastructure en réseau.

Principaux points à retenir :

- Cas d'usage (Use Cases) orientés performance pour chaque dimension de performance.
- Descriptions de prestations standardisées et catégories et propriétés d'éléments dérivés.
- Bases de données numériques cohérentes et facilement accessibles pour la planification et l'exploitation

Pour une analyse plus approfondie, des cas d'usage spécifiques (selon les dimensions de la performance) sont recommandés :

- Climat et confort des espaces libres. (Bases de la construction des bâtiments SIA 416 et SIA 2024)
- Protection du climat. Des bases existent déjà, par exemple, l'écobilan simplifié d'éléments d'espaces libres de la Ville de Zurich (Grobökobilanz von Freiraumelementen [41])
- Régulation microclimatique
- Gestion de l'eau
- Biodiversité
- Prévention des dommages. (Projet de recherche « Protection optimisée des bâtiments contre les dangers naturels avec BIM », VKG, 2019-2021 [32])

Les cas d'usage doivent définir des processus de planification, des flux de données et des responsabilités précisées, et permettre l'intégration dans des environnements de planification numérique. Le LOIN (Level Of Information Need), le plan d'éléments pour l'architecture du paysage et la directive de modélisation pour l'estimation des coûts fondée sur le modèle, en architecture du paysage, constituent une base essentielle pour tous ces cas d'usage spécialisés. La gestion des sols pourrait elle aussi être développée comme cas d'usage distinct.

Une autre condition centrale est la standardisation des informations relatives aux éléments (cf. aussi chapitre 6).

Les espaces libres doivent être structurés en catégories d'espaces et zones fonctionnelles clairement définies, à l'instar des bâtiments. Sur cette base, les exigences peuvent être structurées de manière systématique selon l'usage, la performance et le matériau, puis transférées dans des modèles numériques.

La norme SIA 416 Surfaces et volumes des bâtiments [30] distingue différentes catégories d'espaces, qui servent de base à la localisation d'informations d'exigence typiques par catégorie. Il s'agit des surfaces utiles principales et secondaires, des surfaces de circulation et des surfaces fonctionnelles, par exemple les locaux et les gaines techniques. Des surfaces utiles extérieures sont aussi définies pour les surfaces extérieures des bâtiments, par exemple les balcons et les terrasses. Dans l'espace extérieur, seules les surfaces environnantes aménagées et non aménagées sont actuellement distinguées. Pour une distinction plus détaillée des fonctions spatiales et des exigences correspondantes, des sous-catégories de surfaces environnantes pourraient être définies de manière adaptée pour la planification des espaces libres.

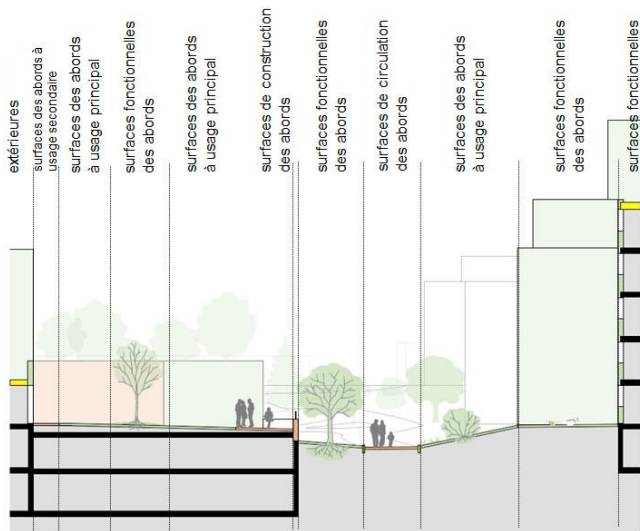


Figure 17: Sous-catégories de surfaces extérieures pouvant compléter la classification, exemple d'application voir annexe F – exemples / Source : Groupe de travail IFN

- **Surfaces des abords à usage principal :** surfaces destinées à la fonction et à l'usage principaux des espaces extérieurs, y compris les petites constructions telles que les pavillons et les pergolas.
- **Surfaces des abords à usage secondaire :** surfaces soutenant l'usage principal, telles que les emplacements pour les véhicules d'intervention des pompiers, les stationnements et abris pour vélos, les places de parc, les cabanons de jardin ou les abris pour animaux.
- **Surfaces de circulation des abords :** surfaces telles que les routes, les chemins d'accès, les escaliers et les rampes.
- **Surfaces fonctionnelles des abords :** surfaces dédiées principalement à la fourniture de services écosystémiques.
- **Surfaces de construction des abords :** surfaces occupées par des éléments constructifs tels que les murs de soutènement.
- **Surfaces fonctionnelles extérieures :** surfaces de toiture assurant des fonctions telles que la biodiversité, la rétention d'eau ou la production d'électricité et de chaleur.

De manière analogue, les exigences relatives aux éléments producteurs de services écosystémiques pourraient être structurées logiquement d'après des dimensions de performance définies selon le contexte, les exigences liées à l'usage, y compris les surfaces de circulation, c'est-à-dire selon les fonctions, et les exigences matérielles qui en résultent.

L'Annexe B – Liste d'éléments et d'attributs contient les premières catégories d'éléments et de propriétés pertinentes pour l'identification des facteurs liés aux objectifs d'impact ou d'effet (catégories cibles, cf. chapitre 4).

Sur cette base, un modèle d'information standardisé et orienté performance pour les espaces libres peut être créé. Il constitue le socle permettant de décrire de manière univoque les éléments fondés sur la nature, de les relier aux processus écosystémiques et de les intégrer dans les systèmes existants, donc de les coordonner. Il permet des contrôles automatisés, le suivi et le développement continu des systèmes.

Une documentation cohérente, sous la forme d'un carnet numérique de l'espace libre, analogue au carnet numérique du bâtiment, permettrait enfin de décrire l'espace libre comme un actif, avec des objectifs associés, des exigences d'entretien et des adaptations successives.

11 Perspectives : outils possibles et prochaines étapes de développement

Ce livre blanc présente les bases, les potentiels, les obstacles et les champs d'action de l'infrastructure fondée sur la nature (IFN). L'étape suivante consiste à renforcer la compréhension commune, à créer des bases de décision et à rendre transparents les facteurs, les effets et les coûts. Les premiers outils sont décrits ci-après comme pistes conceptuelles. Les orientations de développement pour l'intégration de l'IFN dans les processus de planification, de construction, d'entretien sont également esquissées.



11.1 Outil web de sensibilisation (proof of concept)

Pour sensibiliser les parties prenantes et faciliter la compréhension des logiques d'effets, un outil web a été développé sous forme de version test, ou proof of concept. À partir de saisies simples sur les surfaces et les qualités des éléments qui composent les espaces libres, l'outil montre comment les décisions peuvent influencer le confort de l'espace, la sécurité, la santé ainsi que les effets induits sur les ouvrages et la consommation de ressources.

La prochaine étape de développement consisterait à générer automatiquement, à partir des saisies, un rapport court et compréhensible résumant les principales dépendances, les leviers d'optimisation et les indications de mesures appropriées. Il créerait ainsi une entrée aisément accessible pour les maîtres d'ouvrage, les autorités et les équipes de planification, en complément des méthodes spécialisées détaillées.

Figure 18 : [Outil web de sensibilisation, proof of concept](#) (en allemand)

11.2 Méthodologie d'évaluation de l'efficacité en matière de services écosystémiques

Pour l'évaluation systématique de projets à l'échelle de la parcelle ou de l'aire concernée, une méthodologie standardisée est nécessaire. Elle doit couvrir les facteurs pertinents au regard des objectifs d'effet définis et rendre comparables les variantes de conception (cf. chapitre **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). L'accent ne porte pas sur des mesures isolées, mais sur la question de savoir si les services définis sont globalement atteints ou comment identifier la variante optimale au regard des intersections d'objectifs propres au projet.

Une telle méthodologie devrait s'appuyer sur un ensemble restreint et cohérent d'indicateurs, permettant de représenter les facteurs essentiels de chaque dimension de performance. Les indicateurs standardisés (Annexe A – Indicateurs clés de performance (ICP)) ainsi que les définitions standardisées des éléments et des attributs (Annexe B – Liste d'éléments et d'attributs) en constituent la base. L'élément décisif est une logique d'intégration qui rassemble différentes approches d'évaluation en un système simple, afin de servir de base de décision commune pour les autorités, les maîtres d'ouvrage, les acteurs de la planification et de l'exploitation.

Voici une première proposition de facteurs pouvant être pris en compte par dimension de performance au niveau de l'élément [29] :

- **Confort de l'espace** : accessibilité spatiale, continuité, exposition au bruit, valeur sociale
- **Protection du climat et préservation des ressources** : ressources conservées, émissions de gaz à effet de serre évitées, fixation et stockage du carbone
- **Biodiversité** : coefficient de biotope par surface (CBS), composition spécifique, diversité structurelle
- **Régulation microclimatique** : ombrage, réflexion thermique (albédo), température de rayonnement, évapotranspiration
- **Gestion de l'eau** : coefficient de ruissellement, infiltration, performance de filtration, structure de surface



- **Prévention des dommages** : coefficient de ruissellement, pente, absorption des précipitations, couverture végétale, protection contre l'érosion



Figure 19: Possibilités de visualisation fondées sur une méthodologie d'évaluation standardisée. Source : travail de master d'Anne Nyffeler [29]

11.3 Méthodologie d'écobilan pour les conceptions d'espaces ouverts

En complément de l'évaluation des effets, une méthodologie d'écobilan praticable est nécessaire pour les conceptions d'espaces libres. Elle doit saisir les émissions de gaz à effet de serre et les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie, puis les rendre comparables à l'échelle de la parcelle ou de l'aire considérée comme limite de système. Pour cela, l'unité fonctionnelle, la limite de système et les degrés de détail par phase doivent être définis, par analogie avec les standards établis dans le bâtiment et les bases existantes dans le génie civil. La méthodologie doit permettre une comparaison quantitative des variantes de conception d'espaces libres. Elle fournit ainsi des bases robustes pour les stratégies zéro net et pour des décisions de variantes fondées.

11.4 Étapes du livre blanc vers un standard

Les prochaines étapes devraient suivre une logique itérative. L'outil et les méthodologies doivent d'abord être testés dans des projets pilotes, vérifiés avec des données réelles, puis développés sur cette base. Les cas d'usage par dimension de performance pourront ensuite être approfondis. Viendront ensuite l'harmonisation des indicateurs, la standardisation des attributs d'éléments et l'intégration dans les flux de travail (workflows) numériques. Ces étapes permettront de fournir une base à la fois robuste et évolutive pour la planification, la construction et l'exploitation.

12 Sources bibliographiques

- [1] Blanc & Schädler, P. &. (2014). Water in Switzerland – an Overview . Swiss Hydrological Commission c/o Hydrology Group.
- [2] OFSP. (2023). La Confédération recense les décès liés à la chaleur. Office fédéral de la santé publique OFSP : <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/das-bag/aktuell/news/news-10-07-2023.html>
- [3] WHO (2025). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240099814>
- [4] SUVA (2023). <https://www.suva.ch/de-ch/ueber-uns/magazin-und-medien/medien/hitze-erhoeht-das-unfallrisiko-bei-der-arbeit>
- [5] SwissRe (2021). <https://www.handelsblatt.com/finanzen/banken-versicherungen/versicherer/versicherung-swiss-re-wetterbedingte-versicherungsschaeden-steigen-stark-bis-2040/27585204.html>
- [6] OFPP (2023). <https://www.babs.admin.ch/de/die-kritischen-infrastrukturen>
- [7] Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. Policy report.* PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague. <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
- [8] UNEP (2023). <https://nbi.iisd.org/what-is-nbi/>, https://content.unops.org/publications/Nature-based-Infrastructure_EN.pdf
- [9] OFEV (2024). Infrastructure écologique. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/oekologische-infrastruktur.html>
- [10] OFEV (2023). Biodiversité et qualité paysagère dans le milieu bâti. <https://www.bafu.admin.ch/de/publication?id=JaAOArKkL9-f>
- [11] IUCN (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf>
- [12] Bodennetz Schweiz (n.d.). Bildungsplattform Boden. <https://www.bodennetz.ch/de>
- [13] OFEV (2024). Services écosystémiques. <https://www.bafu.admin.ch/de/biodiversitaetsverlust>
- [14] Canton de Berne (2025). Arbeitshilfe Klimaanpassung. https://www.raumplanung.dij.be.ch/content/dam/raumplanung_dij/dokumente/de/Arbeitshilfen/arbeitshilfe%20klimaanpassung-de.pdf
- [15] Oke et al (2017). <https://www.cambridge.org/core/books/urban-climates/urban-climates/0690FCE57A4E8E234524C2EE1A20C2BE>
- [16] DWD (2023). Stadtklima im Wandel. Promet Heft 106. https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_promet/pdf_promethefte/106_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=4
- [17] (2025). Spécification technique SIA 2066 – Planifier, construire et entretenir durablement les espaces ouverts
- [18] Yin, Shengchen, Dena Kasraian, and Pieter Van Wesemael. (2025): "Children's perception of urban green infrastructure and nature-related digital tools." <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2025.102565>
- [19] OFEV (2025). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/landschaft/publikationen-studien/publikationen/vielfaeltige-werte-der-natur.html>, <https://www.bafu.admin.ch/de/publication?id=NUCpKZpS30DI>
- [20] DFAE/DETEC (2024). <https://www.agenda-2030.eda.admin.ch/de/agenda-2030-fuer-nachhaltige-entwicklung>
- [21] Fischer, M., Ashcraft, H.W., Reed, D. & Khanzode, A. (2017). Integrating project delivery. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons
- [22] Lenherr, I., Nesensohn, C., Scherer, P., Schock, B., Suter, P. 2023. Integrated Project Delivery - der Weg zur High Performanc, Vdf Hochschulverlag
- [23] VKG (n.d.). <https://www.schutz-vor-naturgefahren.ch/bauherr.html>
- [24] eawag (2023). Modèle RANAS. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Resources/SAN_Mooc_resources/Week_4/ranas_model.pdf
- [25] Perrelet et al (2024). <https://www.nature.com/articles/s42949-024-00163-y>
- [26] VSA (2019). Directive : gestion des eaux usées par temps de pluie, paquet de base. <https://vsa.ch/Mediathek/richtlinie-abwasserbewirtschaftung-bei-regenwetter-basispaket/>



- [27] SCNAT (2025). Valeurs indicatives et critères de qualité pour la biodiversité dans le milieu bâti
- [28] Nyffeler, Anne. (2025). Zukunftsfähige Siedlungsräume durch systemische Freiraumgestaltung: Von Begrünung zur naturbasierten Infrastruktur. <https://phase0.pubpub.org/pub/mwm4yfds/release/1?readingCollection=22e49ecb>
- [29] Nyffeler, Anne. (2025). Advancing Urban Sustainability with Nature-Based Infrastructure: A Framework for Implementation on Private Property - A Case Study in Zurich, Switzerland. Masterthesis. Master of Science in Circular Innovation and Sustainability. Berner Fachhochschule. Bern CH. unveröffentlicht
- [30] SIA (2003). Norme SIA 416 – Surfaces et volumes des bâtiments
- [31] SIA (2024). Spécification technique SIA 2065, Planifier et construire avec des alliances de projet
- [32] VKG (2021). <https://www.schutz-vor-naturgefahren.ch/architekt/blog/30-naturgefahren-praevention-mit-der-bim-methode.html>
- [33] Bauen digital Schweiz (2022). Positionspapier Landschaftsarchitektur V2022.11_DE
- [34] Bauen digital Schweiz (2024). LOIN Landschaftsarchitektur
- [35] Bauen digital Schweiz (2025). Modellierungsrichtlinie für Modellbasierte Kostenermittlung Landschaftsarchitektur
- [36] Wu, C., Wang, J., Wang, M., Biljecki, F., & Kraak, M.-J. (2025). Formalising the urban pattern language: A morphological paradigm towards understanding the multi-scalar spatial structure of cities. Cities, 161, Article 105854. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.105854>
- [37] ZHAW & Grün Stadt Zürich. (2019). Mehr als Grün - Profilkatalog naturnahe Pflege. <https://www.zhaw.ch/storage/lsvm/institute-zentren/iunr/gruenraumentwicklung/mehr-als-gruen-profilkatalog-naturnahe-pflege.pdf>
- [38] OFEV (2025). Solutions fondées sur la nature : opportunités pour les communes, les régions et les entreprises – vue d'ensemble de mesures exemplaires en faveur de la biodiversité, de la protection du climat et de l'adaptation aux changements climatiques. <https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/ImJAD5pNUbxy/%5B831610298%5D%20Best-Practice-Booklet%20DE.pdf>
- [39] VSA (n.d.). Plateforme d'information ville-éponge. <https://sponge-city.info/>
- [40] Bauen digital Schweiz (2024). LOIN Level of Information Need Grundlagen
- [41] Stadt Zürich. (2022). Grobökobilanz von Freiraumelementen. <https://www.stadt-zuerich.ch/de/aktuell/publikationen/2022/groboekobilanz-freiraumelementen-studie.html>



13 Impressum

Direction de projet

Nyffeler Anne, sysTEAMatik GmbH

Traduction de l'allemand

Finger Stich Andréa Finger, Ecologie & Communauté Sàrl, sur la base de premières versions traduites par l'IA de Notion, Genève, Mai 2026

Équipe centrale

Baumann Nathalie, ZHAW IUNR

Schmid Lukas, Landscale AG

Groupe d'expert-es

Défago Aurélie, OFEV Section politique du paysage

Frey Manuel, Penzel Valier

Glättli Thomas, Bauen digital Schweiz

Heller Andreas, CFF Infrastructure

Honetschläger Nils, AHB Stadt Zürich

Jordi Martin, Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance

Löw Michael, nateco AG

Mannes Sabine, Stadtgrün Bern

Mayer Maria, Intep

Moser Kristijan, Moser's Büro

Oppliger Silvia, VSA sponge-city.info

Schmid Mathias, BimParts GmbH

Stähler Marianne, ecobau

Relecture spécialisée

Brunken Thies, Uniola AG

Finger Stich, Andréa, Ecologie & Communauté Sàrl

Mosimann Flurin, Stadt Biel/Bienne

Nauroth Dominik, planikum ag

Soutien financier

CBI Circular Building Innovation Booster Innosuisse

Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance

Version V1.0

Copyright Ce document est mis à disposition sous licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International : attribution, utilisation non commerciale, partage dans les mêmes conditions.



Informations complémentaires : [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Limites et utilisation

Ce document ne prétend pas à l'exhaustivité. Il ne constitue pas non plus une recommandation ou une directive juridiquement applicable de manière générale. Il vise à aider l'ensemble des parties prenantes de la construction et de l'immobilier à comprendre les interdépendances entre les différents instruments de pilotage nécessaires et à les attribuer correctement.

Éditeur

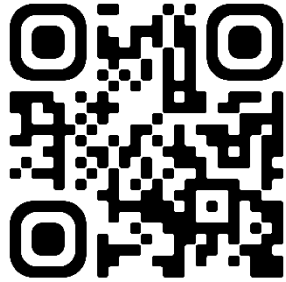
Bâtir digital Suisse / buildingSMART Switzerland

Zürich, Juin 2026



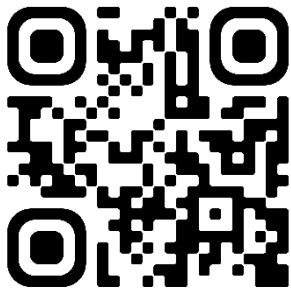
14 Annexe A – Indicateurs clés de performance (ICP)

[Accès à la version web dynamique](#)



15 Annexe B – Liste d'éléments et d'attributs

[Accès à la version web dynamique](#)



16 Annexe C – Matrice de processus

[Accès à la version web dynamique](#)

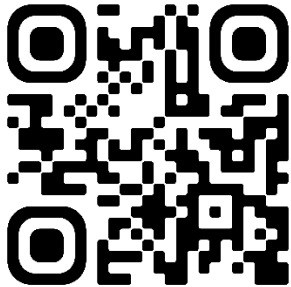


| Dimension | Niveau macro Région | Niveau méso Quartier | Niveau micro Parcelle | Niveau nano Éléments et acteurs | Outils |
|--|---|--|---|--|--|
| Exigences spatiales – utilité sociale | Culture régionale, démographie, identité | Ressources sociales, infrastructure culturelle, réseaux de gouvernance | Espaces sociaux, prati-ques culturelles locales, participation de la communauté | Acteurs humains individuels, comportements, perceptions, préférences | Analyses SIG, cartographies participatives, enquêtes auprès des utilisateurs, Value Proposition Design |
| Protection du climat | Tendances du changement climatique, objectifs régionaux d'atténuation | Émissions issues de l'usage du quartier, comme la mobilité et les systèmes énergétiques | Émissions issues des services proches du bâtiment, comme le chauffage, l'eau et les déchets | Émissions grises des matériaux, produits et éléments de construction | Analyses SIG, outils d'écobilan, normes EN et ISO |
| Biodiversité | Infrastructure écologique, mise en réseau des habitats, corridors de déplacement pour les espèces | Réseaux d'habitats, pôles de biodiversité, relais écologiques | Composition végétale adaptée au site, complexité structurelle | Caractéristiques des plantes et des espèces animales, diversité fonctionnelle, interactions écologiques | Analyses SIG, indices de biodiversité, modèles d'efficacité des services écosystémiques |
| Gestion de l'eau | Niveaux des nappes phréatiques, milieux aquatiques, régimes de précipitations | Capacité de l'infra-structure de gestion des eaux pluviales, zones d'inondation, connectivité hydrologique | Capacité d'infiltration, structures de rétention, systèmes d'irrigation | Conductivité hydraulique des sols, perméabilité des surfaces, évapotranspiration, capacité de stockage d'eau des substrats | Analyses SIG, modèles climatiques, modèles hydrologiques, capteurs d'humidité du sol |
| Régulation microclimatique | Climat régional, classification des zones climatiques | Zones vulnérables à la chaleur, corridors de ventilation, îlots de chaleur | Ombrage, albédo, stockage de chaleur, répartition de la végétation | Indice de surface foliaire, conductance stomatique, humidité du sol | Analyses SIG, simulations BIM, modèles de confort thermique, capteurs de terrain |
| Prévention des dommages | Risques météorologiques extrêmes, vulnérabilité aux incendies de forêt | Risques d'inondation, stabilité des sols et des pentes, zonage des risques | Drainage, protection contre le vent, systèmes végétaux résistants au feu, accès sûrs | Résistance au vent, résistance à la propagation des flammes, résistance des matériaux | Cartes de risques SIG, coordination BIM, profils de services écosystémiques |



17 Annexe D – Analyse des lacunes

[Accès à la version web dynamique](#)



18 Annexe E – Littérature complémentaire

[Accès à la version web dynamique](#)



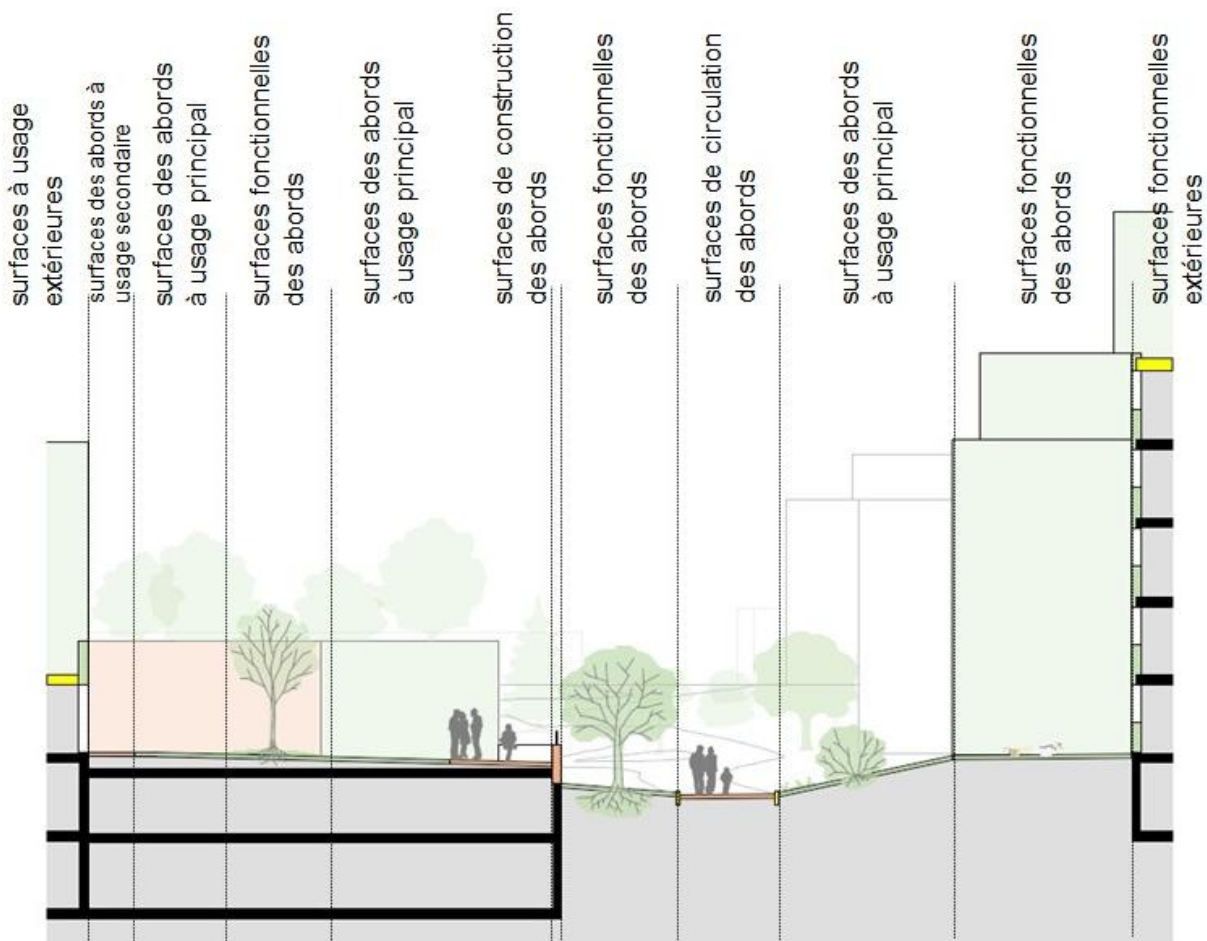


19 Annexe F – Exemples

Exemples de priorités et d'exigences par catégorie de surfaces dans les espaces extérieurs

Les usages de l'espace peuvent être regroupés en différentes catégories présentant des exigences typiques (catégories de surfaces). À partir de ces exigences spatiales typiques, il est possible de déduire des types d'exigences applicables aux éléments constituant ces espaces, afin de définir à la fois des prescriptions obligatoires et des marges de liberté pour la conception.

Ci-dessous sont présentés des exemples possibles de priorités de conception, de fonctions et d'exigences associés aux catégories de surfaces proposées (liste non exhaustive).



Surfaces des abords à usage

principal : surfaces destinées à la fonction et à l'usage principaux des espaces extérieurs, y compris les petites constructions telles que les pavillons et les pergolas

Focus : optimisation des effets positifs sur les services écosystémiques

Conception en tant qu'espaces d'interaction sociale, avec différenciation de diverses fonctions telles que les espaces de séjour, les aires de jeux, les surfaces sportives, les jardins (production alimentaire) et les différents groupes d'utilisateurs, ainsi que des exigences leur étant associées telles que l'ombrage, l'accessibilité (distances), l'absence d'obstacles, l'eau comme élément d'interaction et des équipements adaptés aux usages.

Surfaces des abords à usage

secondaire : surfaces soutenant

Focus : optimisation des effets positifs sur les services écosystémiques



l'usage principal, telles que les emplacements pour les véhicules d'intervention des pompiers, les stationnements et abris pour vélos, les places de parc, les cabanons de jardin ou les abris pour animaux

Différenciation des exigences selon les fonctions respectives.

Surfaces de circulation des abords : surfaces telles que les routes, les chemins d'accès, les escaliers et les rampes

Focus : minimisation des effets négatifs sur les services écosystémiques

Différenciation de diverses fonctions telles que les chaussées, les accès de secours, les cheminements piétons, les accès pour les livraisons et déménagements, les accès postaux, les droits de passage (servitudes), les entrées et accès. Sont aussi précisées des exigences associées telles que la charge utile, les angles de visibilité, le revêtement, le drainage, les bordures, le gabarit d'espace libre (largeur, hauteur), les rayons des bifurcations, des virages et des aires de retournement, l'absence d'obstacles, ainsi que les fonctions cumulées comme pour les aires de jeu et les obligations d'entretien (notamment la garantie de sécurité, par exemple le service d'entretien hivernal).

Surfaces fonctionnelles des abords : surfaces destinées principalement à la fourniture de services écosystémiques

Focus : optimisation des effets positifs sur les services écosystémiques

Surfaces ayant pour fonction principale la fourniture de services écosystémiques, y compris des éléments d'aménagement tels que des plates-bandes, non destinées en priorité à l'usage humain. Conception sous forme de communautés végétales optimisées pour les espèces, par exemple par la végétalisation des pieds d'arbres afin d'augmenter leur robustesse et résilience. Entretien visant à minimiser les pertes d'eau, notamment par le paillage, garantie de l'approvisionnement en eau et prévention de l'engorgement hydrique. Lorsque nécessaire, fauche minimale et échelonnée dans le temps afin de préserver les habitats. Contrôles réguliers des néophytes envahissantes. Garantie de la connectivité écologique par la réduction des obstacles.

Surfaces de construction des abords : surfaces occupées par des éléments constructifs tels que les murs de soutènement

Focus : minimisation des effets négatifs sur les services écosystémiques.

Surfaces fonctionnelles extérieures : surfaces de toiture assurant des fonctions pour augmenter la qualité écologique, la rétention d'eau ou la production d'électricité ou de chaleur

Focus : optimisation des effets positifs sur les services écosystémiques

Ce sont des surfaces en complément des surfaces extérieures d'usages classiques telles que les terrasses, loggias et balcons. Principes d'aménagement similaires à ceux des surfaces fonctionnelles des abords où des contrôles réguliers des néophytes envahissantes y sont particulièrement importants.



Exemples de quelques interfaces de coordination au niveau de la parcelle



Eaux souterraines

La présence d'eaux souterraines exerce une influence importante sur les éléments de constructions souterraines, qu'il s'agit de sécuriser les fouilles, des fondations, des épaisseurs des éléments constructifs ou, le cas échéant, abaisser la nappe phréatique pendant le processus de construction. Cela implique généralement une profondeur d'intervention nettement plus importante dans le sol naturel et donc une perturbation de ses processus pédologique et hydrologiques. De même, les ouvrages et éléments de construction souterraines occupent de l'espace, ce qui réduit les surfaces disponibles pour les infrastructures fondées sur la nature. Il est donc essentiel d'assurer une coordination le plus tôt possible afin de permettre la mise en œuvre efficace d'une infrastructure fondée sur la nature.

Géologie, qualité des sols

Les conditions géologiques et hydrologiques locales, ainsi que les caractéristiques et la qualité des sols, influencent non seulement les services écosystémiques possibles et les plantations envisageables, mais constituent également des facteurs déterminants pour sécuriser le décapage, le maniement et déplacement des matériaux terreux, les mesures de fondation et les épaisseurs des éléments constructifs en sous-sol. Elles influencent ainsi la profondeur d'intervention nécessaire dans le sous-sol et doivent donc être clarifiées, coordonnées et intégrées à un stade précoce.

Processus de construction

La surface des abords aménagés devrait être maintenue aussi réduite que possible et les conditions naturelles conservées dans la mesure du possible. La sécurisation des fouilles devrait, partout où cela est possible, être réalisées sous forme de talus non recouverts. Lorsque des ouvrages de soutènement renforcés sont nécessaires, ils devraient être démontés autant que possible après les travaux afin de rétablir au mieux les processus naturels du sol. Lorsqu'ils restent en place dans le sous-sol, ils peuvent constituer des barrières souterraines perturbant le cycle de l'eau et l'écoulement des eaux souterraines, ou influencent les propriétés du sol, notamment par la carbonatation du béton ou la corrosion des armatures en acier. Ces phénomènes modifient fortement les conditions de croissance des plantes ainsi que les capacités fonctionnelles naturelles du sol.

Conduites techniques et canalisations

Les conduites et installations souterraines peuvent occuper une part importante de l'espace en sous-sol. Elles devraient donc être réduites au minimum et coordonnées de manière à préserver autant d'espace que possible pour les processus naturels et les zones racinaires des plantes, en particulier des arbres. Les racines ne pénètrent



pas intentionnellement dans les conduites pour les endommager, mais sont attirées par les conduites défectueuses et l'eau qui s'en échappe. De plus, les installations en plastique enterrées peuvent libérer des microplastiques dans le sol lors de leur dégradation et introduire certaines substances polluantes, telles que les PFAS. L'utilisation d'éléments à base de plastique devrait donc être réduite au strict minimum partout où cela est possible. Selon des essais réalisés, du sable fin peut par exemple être utilisé comme protection racinaire autour des conduites.

Charge utile kN/m². Définit la charge pour laquelle la structure porteuse d'un plancher ou d'une toiture est dimensionnée en fonction de son usage. Cela détermine par exemple si la dalle située au-dessus d'un sous-sol peut être circulaire ou si des bacs plantés d'arbres peuvent y être installés. Cela influence les épaisseurs des éléments constructifs, et par conséquent les cotes soumises à autorisation ainsi que les coûts de réalisation de l'ouvrage. Ces aspects doivent donc être clarifiés à un stade précoce avec les ingénieurs·e·s responsables de la structure porteuse.

Gabarits d'espace libre Il s'agit de zones de dégagement le long des espaces de circulation, c'est-à-dire de zones qui ne doivent pas être entravées, par exemple par des branches ou d'autres parties végétales. Cela est particulièrement important pour les routes, les accès de secours et les trottoirs afin de garantir les angles et champs de visibilité nécessaires à la sécurité du trafic ainsi qu'une accessibilité sans restriction. Cet aspect est également pertinent, sous une forme plus réduite, pour les circulations internes aux parcelles et les cheminements piétons. Pour cette raison, ces exigences doivent être intégrées aussi bien dans la planification des plantations que dans l'entretien et la maintenance.

Conception des toitures Les interfaces de responsabilité doivent être prises en compte lorsque l'étanchéité des toitures plates et la végétalisation des toitures sont réalisées par des entreprises différentes. Afin d'éviter des dommages et des coûts consécutifs, il est essentiel de garantir que les fonctions et compositions prévues soient clairement comprises par toutes les parties impliquées, de la planification à l'exécution, et que des professionnel·le·s qualifié·e·s soient mandaté·e·s pour les travaux. Par ailleurs, il existe un risque d'endommagement de l'étanchéité lors des travaux d'entretien réalisés par du personnel peu habitué à intervenir sur des toitures avec des couches de substrat relativement minces au-dessus des membranes d'étanchéité. À l'inverse, un entretien effectué par du personnel non qualifié en horticulture peut entraîner un mauvais développement de la végétation de toiture ou la propagation de néophytes envahissantes. Il est donc ici aussi essentiel de garantir l'intervention de personnel qualifié ainsi que de définir et communiquer dès la planification les fonctions et les objectifs.

Charge supplémentaire kN/m². Définit la charge pour laquelle la structure porteuse est dimensionnée en fonction des couches supplémentaires appliquées sur un plancher ou une toiture, telles que les revêtements, les compositions de sols ou les systèmes de toiture. Cela détermine par exemple si la dalle située au-dessus d'un sous-sol peut supporter des plantations d'arbres avec des épaisseurs de substrat plus importantes, ou si la rétention temporaire des eaux pluviales sur une certaine hauteur est possible sur une toiture plate. Cela a une influence sur les épaisseurs des éléments constructifs et, par conséquent, les coûts de réalisation de l'ouvrage. Ces aspects doivent donc être clarifiés à un stade précoce avec les ingénieurs·e·s responsables de la structure porteuse.

Hauteur du bâtiment Les hauteurs maximales des bâtiments sont définies dans les règlements de construction et de zones ou dans les plans de quartier et plans d'aménagement, généralement en relation avec un nombre maximal d'étages autorisés. Parallèlement, des exigences minimales concernant la hauteur des espaces intérieurs doivent également être respectées. Les compositions de toiture destinées aux toitures végétalisées extensives, aux toitures favorisant la biodiversité ou aux systèmes de rétention des eaux pluviales nécessitent des épaisseurs de couches plus importantes



et, par conséquent, des relevés d'acrotères plus élevés. Cela peut conduire à une augmentation de la hauteur totale du bâtiment. Lorsque la hauteur maximale autorisée est dépassée, il est fréquent que l'on cherche à réduire autant que possible la hauteur des espaces intérieurs. Si les hauteurs minimales réglementaires des locaux ne peuvent plus être respectées, on renonce souvent à la réalisation de toitures extensives ou de grandes capacités de rétention, car celles-ci entraîneraient une réduction des surfaces intérieures exploitables et donc une perte de rentabilité. Les hauteurs et dimensions des espaces intérieurs et extérieurs sont ainsi étroitement liées à la conception des systèmes de toiture et sont soumises à autorisation. Elles doivent donc impérativement être planifiées et coordonnées avant le dépôt de la demande de permis de construire.

Enveloppe du bâtiment

Les enveloppes des bâtiments constituent des éléments centraux dans la formation et la caractérisation des espaces libres. Leur conception exerce ainsi une influence importante sur le microclimat créé dans les espaces libres ou ouverts, également sur le développement et les capacités fonctionnelles des éléments fondés sur la nature. Les matériaux foncés favorisent par exemple le réchauffement des espaces extérieurs adjacents. Les matériaux lourds et denses stockent la chaleur durant la journée et la restituent pendant la nuit, ce qui accentue encore l'échauffement des milieux bâtis. Les surfaces fortement réfléchissantes peuvent constituer des pièges pour la faune et la lumière solaire réfléchie peut agir comme une loupe sur les plantations des espaces libres, entravant fortement leur développement ou provoquant des dommages. Les biocides tels que les insecticides, herbicides, algicides ou fongicides contenus dans les matériaux ou traitements de surface peuvent être lessivés, agir sur les éléments fondés sur la nature et les affecter, puis atteindre les eaux souterraines avec des conséquences potentielles sur la qualité de l'eau potable. Il en va de même pour les grandes surfaces métalliques ou les matériaux et traitements contenant des PFAS, tels que certaines hydrophobisations ou imprégnations. Les exigences relatives à la protection incendie, à l'entretien et à l'accessibilité pour les services de secours doivent être prises en compte de manière générale, en particulier lors de la mise en œuvre de façades végétalisées. Pour les systèmes de végétalisation liés aux façades, il convient également de considérer l'irrigation, la consommation d'eau, l'apport en nutriments (fertilisation) ainsi que le drainage. Le drainage vers les espaces extérieurs en cas de fertilisation intensive peut fortement contredire les principes d'un aménagement proche de la nature et doit donc être soigneusement coordonné. Par ailleurs, l'évaluation et l'optimisation des systèmes liés aux façades en matière d'émissions grises de gaz à effet de serre constituent un enjeu central pour la protection du climat.

Usage du bâtiment

L'usage du bâtiment influence, en plus des exigences générales, dont les exigences liées à la protection des biens et aux secours des personnes, notamment en matière de protection incendie, de services du feu et de services de secours d'urgence. Ces exigences dépendent de la hauteur du bâtiment, de son affectation, du nombre d'occupant·e·s, de la vulnérabilité des personnes, de la présence éventuelle de matériaux sensibles stockés ainsi que des équipements techniques de protection incendie. Dans le contexte des infrastructures fondées sur la nature, cela a par exemple des répercussions sur les accès, leurs gabarits de dégagement et les rayons de giration possibles, le nombre de place de stationnement nécessaires ainsi que l'accessibilité des ouvertures de façade pour les interventions de lutte contre l'incendie et de sauvetage.

Besoins en chauffage et en refroidissement

Les plantes et les surfaces végétalisées exercent un effet de tampon thermique et rafraîchissant dans les espaces extérieurs, réduisant ainsi les besoins en chauffage et surtout les besoins croissants en refroidissement des espaces intérieurs. En outre, les températures plus basses dans les espaces extérieurs augmentent l'efficacité du rafraîchissement nocturne des espaces intérieurs par ventilation naturelle, un élément essentiel pour garantir des conditions de sommeil fraîches et saines en été ou durant les périodes de chaleur. Les coûts de réalisation et d'entretien des bâtiments et des



aménagements extérieurs, intégrant des infrastructures fondées sur la nature destinées à optimiser la fourniture de services écosystémiques, devraient donc être considérés sur l'ensemble de leur durée d'utilisation, ainsi qu'au regard des performances requises durant cette période.

Aménagement des abords

Les aménagements extérieurs des projets de bâtiments font toujours partie des espaces libres du milieu bâti et du paysage urbanisé. La culture du bâti, la conception intégrale ainsi que l'implication précoce de planificateur·trice·s qualifié·e·s, notamment des architectes paysagistes, sont essentielles et, pour la mise en œuvre, le développement et l'entretien, également des spécialistes concernées et concernés. Lors du choix des matériaux pour les revêtements, les mêmes facteurs que pour les enveloppes des bâtiments doivent être pris en compte. Les arbres constituent des éléments clés de l'infrastructure fondée sur la nature. Pour qu'ils puissent s'établir durablement, ils ont notamment besoin d'un volume racinaire suffisant. Celui-ci doit être pris en compte dès les premières phases de planification en tenant compte des conduites techniques et la canalisation ainsi qu'avec les ouvrages et éléments de construction situés dans le sous-sol. Outre les exigences liées aux usages spatiaux (voir les exemples de catégories d'espaces extérieurs ci-dessus) et les aspects de conception, les normes et prescriptions relatives aux accès et à l'accessibilité des services de protection et de secours sont particulièrement importantes. La coordination avec les prescriptions doit intervenir tôt dans la planification des infrastructures fondées sur la nature. Aussi les animaux occupants et utilisant les espaces sont essentiels pour que les infrastructures fondées sur la nature deviennent et restent vitales et performantes. Avec les micro-organismes et les champignons, ils constituent une équipe d'entretien naturelle agissant comme un système immunitaire « dépolluant » les espaces et régulant les ravageurs. Pour cela, l'aménagement des abords doit leur offrir des refuges et des sources de nourriture, tout en évitant les obstacles et pièges pouvant être fatals pour la faune. Cela concerne par exemple la conception perméable des limites de parcelles, comme par des ouvertures dans ou sous les clôtures et autres barrières, ou encore par des hauteurs de seuils franchissables. Cela implique également l'évitement de pièges, en particulier aux interfaces avec les bâtiments, par exemple, en installant des grilles de saut-de-loup à mailles serrées, des puits et escaliers équipés d'aides permettant la sortie ou le franchissement, ainsi que des mesures adaptées aux oiseaux pour les surfaces vitrées.

Gestion des eaux pluviales

Les eaux pluviales constituent une ressource hydrique essentielle pour les milieux bâtis, notamment pour la recharge des eaux souterraines assurant l'approvisionnement en eau douce pour les êtres humains, la flore et la faune, ainsi que pour rafraîchir par évaporation à partir de volumes de rétention et de surfaces d'eau ouvertes. La gestion de l'eau dans les milieux bâtis représente un objectif d'impact (ou d'effet) des infrastructures fondées sur la nature. La gestion des eaux pluviales est une composante intégrale qui contribue également à l'objectif de prévention des dommages. Dans le contexte de cette prévention, les interfaces entre espaces intérieurs et extérieurs sont particulièrement importantes, par exemple les seuils de portes et de portes-fenêtres, les sauts-de-loup, les rampes et les escaliers de cave. Ceux-ci doivent être conçus de manière à empêcher autant que possible l'infiltration d'eau à l'intérieur des bâtiments en cas de fortes pluies et de ruissellement important en surface. Pour cela, des dispositifs tels que des caniveaux correctement dimensionnés, des seuils surélevés, des niveaux altimétriques rehaussés ou des barrières mobiles anti-inondation peuvent être prévus. Tous ces éléments nécessitent une coordination précoce.

Servitudes

Les servitudes correspondent à des droits inscrits au registre foncier, donc vendus ou cédés ou accordés par exemple à des voisin·e·s ou au public, tels que des distances aux limites augmentées ou des droits de passage. Elles sont souvent liées à des réglementations concernant des obligations et responsabilités d'entretien. Les responsables et parties prenantes mentionnés doivent donc être impliqués dans le



développement des infrastructures fondées sur la nature, et les exigences associées doivent être prises en compte de manière intégrale dans la planification, la coordination et l'entretien, par exemple des gabarits de dégagement, ou pour le service hivernal avec utilisation de sels de déneigement ou la gestion des feuilles mortes et des déchets de taille.

Lois des constructions et droit civil

Les lois sur les constructions sont réglementées au niveau communal et présentent parfois d'importantes différences. Les lois sur les routes existent au niveau cantonal et, dans certains cas, également au niveau communal. Le droit civil est réglementé au niveau cantonal. De nombreuses autres bases légales doivent être clarifiées spécifiquement selon le projet. Dans le contexte des infrastructures fondées sur la nature, les droits de construire en limite de propriété ou les distances aux limites en sous-sol sont particulièrement pertinents. Les distances obligatoires pour les arbres et les haies, parfois même définies selon les espèces, ainsi que les obligations d'entretien et le droit d'élagage concernant les arbres et plantations situés aux limites de parcelles doivent également être considérées. Toutes ces conditions-cadres légales doivent être clarifiées à un stade précoce et intégrées comme exigences dans le développement du projet.

Absence d'obstacles

Pour l'aménagement sans obstacles des espaces extérieurs, il existe des prescriptions concernant les largeurs des cheminements, les pentes, la conception des bordures, les surfaces de manœuvre, les différences de niveau, les revêtements de sol, la signalétique et les caractéristiques tactiles. Les revêtements proches de la nature présentent souvent une résistance au roulement plus élevée et leur choix doivent donc être coordonnés à un stade précoce avec les exigences d'accessibilité sans obstacles. Dans une perspective d'équité sociale, il est également essentiel de garantir l'accessibilité aux divers.e.s usager.e.s des espaces, pour exercer des activités favorisant les interactions sociales, la détente, le jardinage ou les jeux, grâce à des accès appropriés. Afin de permettre l'intégration des personnes à mobilité réduite et des personnes âgées, il convient en outre de tenir compte de leur déplacement dans un rayon réduit et de prévoir des assises adaptées et ombragées le long des cheminements et parcours reliant des espaces dédiés à divers usages. À l'interface entre des espaces intérieurs et extérieurs, les hauteurs de seuil des portes et portes-fenêtres constituent les facteurs centraux pour une accessibilité dépourvue d'obstacles. Toutefois, les seuils doivent également répondre à d'autres exigences, notamment assurer l'étanchéité et protéger les bâtiments contre les infiltrations d'eau en cas de fortes pluies et de ruissellement important en surface.



Exemple d'un module d'infrastructure fondée sur la nature conçue de manière intégrale



Figure 20: Exemple de conception fragmentée des espaces extérieurs

Une conception fragmentée des éléments dans les espaces extérieurs apparaît lorsque différentes composantes fonctionnelles et infrastructures, telles que les routes, l'implantation des bâtiments, les enveloppes bâties, le drainage, les cheminements piétons, les arbres et les espaces verts, sont planifiées, réalisées et gérées de manière isolée.

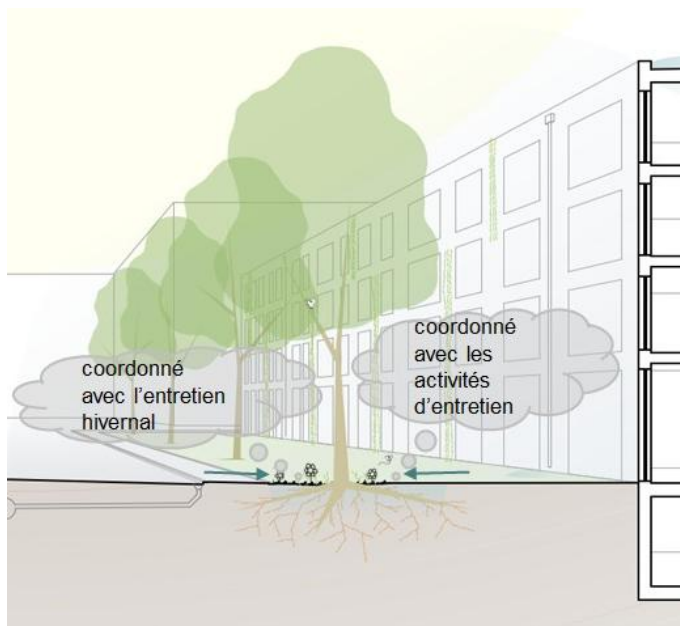


Figure 21: Exemple de conception intégrale des espaces extérieurs

Lorsque des fonctions globales (voir les exemples de catégories de surfaces ci-dessus), des qualités (voir SIA 2066 [17]) et des objectifs d'impact ou effets (chapitre 4) sont définis pour les espaces libres, et que les mesures nécessaires à leur réalisation (chapitre 5 et suivants) sont coordonnées, les solutions fondées sur la nature peuvent être conçues et mises en réseau comme une infrastructure fondée sur la nature destinée à fournir de manière ciblée des services écosystémiques.

Il en résulte des systèmes intégrés et régénératifs associant bâtiments et espaces extérieurs. Ainsi ils peuvent constituer la base de milieux bâtis sûrs, sains et résilients, contribuant à une société prospère et tournée vers l'avenir.

20 Annexe G – Glossaire

| Terme | Définition |
|---|---|
| BIM | Building Information Modelling |
| Cas d'usage | En anglais : Use Case. Ici : cas d'application pour l'échange d'informations lié à la construction, par exemple par objectif de projet ou jalon de projet, cf. https://ucm.buildingsmart.org/ |
| Coefficient de biotope par surface (CBS) | Indicateur permettant d'évaluer la valeur écologique des surfaces |
| Connectivité | Connexion fonctionnelle entre habitats, espaces racinaires et systèmes hydrologiques |
| Dimension de performance | Catégorie d'objectif pertinente pour la planification de l'IFN : confort de l'espace, protection du climat, biodiversité, gestion de l'eau, régulation microclimatique, prévention des dommages |
| Empreinte gaz à effet de serre, émissions de gaz à effet de serre | Empreinte des gaz à effet de serre ; émissions causées en CO ₂ -éq ayant un effet sur le réchauffement climatique (GWP) |
| Espace libre, espace extérieur et aménagement des abords | Ces termes sont souvent utilisés par différentes disciplines et peuvent désigner une même réalité. Le terme espace libre met le plus clairement l'accent sur un espace « non construit », c'est-à-dire sur le paysage au sein du milieu bâti, par opposition à l'espace intérieur construit. C'est pourquoi ce document utilise principalement ce terme, sauf lorsqu'il est fait explicitement référence à des notions définies dans des normes existantes (par exemple la norme SIA 416). |
| ICP (indicateur clé de performance) | Indicateur clé servant à évaluer des prestations |
| Indicateur binaire | Critère qui peut être évalué par oui/non ou rempli/non rempli |
| Indicateur qualitatif | Description de critères, définition de qualité, prescription de propriétés |
| Indicateur quantitatif | Métrique avec valeur cible, mesurable par un chiffre ou une valeur, par exemple %, épaisseur ou nombre |
| Infrastructure écologique (IE) | Mise en réseau de réservoirs de biodiversité ainsi que de corridors ou connexions biologiques. L'infrastructure écologique résulte d'une évaluation de la qualité écologique des habitats, des espèces en présence et d'une sélection de services écosystémiques. Seuls les habitats présentant une haute qualité écologique sont intégrés dans l'infrastructure écologique, cette qualité étant évaluée à l'aide de métriques de qualité spécifiques. L'infrastructure écologique doit donc être surveillée et développée en continu au regard de ces critères de qualité. |
| Infrastructure fondée sur la nature (IFN) | Réseau cohérent, à l'échelle du milieu bâti, de surfaces et d'éléments proches de la nature qui fournissent des services écosystémiques par des processus naturels |
| LCI | Loi fédérale sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur le renforcement de la sécurité énergétique |
| Level of Information Need (LOIN) | Degré de besoin d'information lié à la construction. Il décrit l'étendue et le niveau de détail requis. |
| LPE | Loi fédérale sur la protection de l'environnement |



| | |
|------------------------------|--|
| Résilient, résilience | Résilient. La résilience décrit la capacité d'un système (social, écologique, infrastructurel, etc.) à réagir aux perturbations tout en conservant sa structure et son fonctionnement, sa capacité d'auto-organisation ainsi que sa faculté d'adaptation face aux contraintes et aux changements, afin de continuer à assurer ses fonctions. Cela inclut également la capacité de transformation à long terme par des processus d'adaptation et d'apprentissage. Dans ce sens, la résilience climatique désigne la capacité d'adaptation au changement climatique. |
| Séquestration | Séparation d'une substance, par exemple le CO ₂ de l'air |
| Services écosystémiques (SE) | Contributions des écosystèmes au bien-être humain |
| SIG | Système d'information géographique |
| Urban Forest | Définition selon la FAO des Nations Unies : les forêts urbaines peuvent être définies comme des réseaux ou systèmes comprenant l'ensemble des forêts, groupes d'arbres et arbres isolés présents dans les espaces urbains et périurbains. Elles incluent les forêts, les arbres d'alignement, les arbres dans les parcs et jardins ainsi que les arbres situés sur des friches et espaces résiduels. Elles constituent l'ossature de l'infrastructure verte, relient les espaces ruraux et urbains entre eux et contribuent à réduire l'empreinte écologique et carbone des milieux bâtis. |
| Urban Forestry | Planification et gestion stratégiques de structures végétales et forestières fondées sur les arbres dans le milieu bâti |
| Ville-éponge | Approche de gestion de l'eau proche de la nature, comme stratégie de prévention des dommages et d'adaptation au climat |