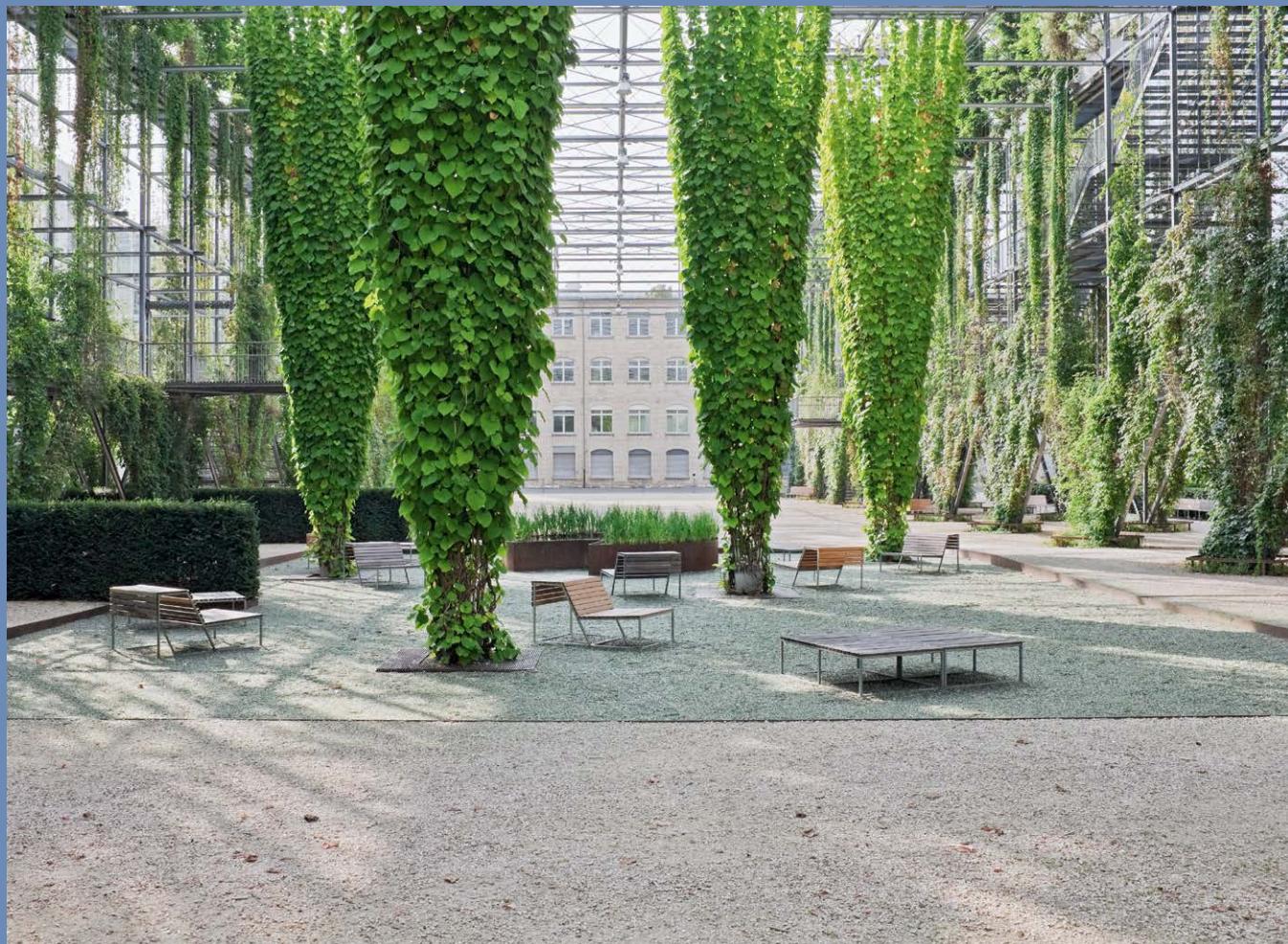


Quand la ville surchauffe

Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques

Extraits ENV-462:

- Chapitre 7, p.33-38.
- Chapitre 8, p.39-41; p.44-45; p.52-53; p.56-57; p.60-65; p.66-67; p.72-73.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Office fédéral du développement territorial ARE

Quand la ville surchauffe

Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

L'élaboration du rapport a été accompagnée par l'Office fédéral du développement territorial (ARE) et soutenue financièrement par le canton de Bâle-Ville et la ville de Zurich.

Équipe de projet, auteurs

Cordula Weber, Daniel Keller, StadtLandschaft GmbH, Zurich

Martin Berchtold, Philipp Krass, Poliksen Qorri Dragaj,
berchtoldkrass space&options, Karlsruhe

Peter Trute, Dominika Lessmann, Gregor Meusel, GEO-NET

Umweltconsulting, Hanovre

Partenaires du projet

Reto Camponovo, Peter Gallinelli, Victor Guillot, hepia – HES-SO,
Genève, avec la méthode CityFeel

Groupe d'accompagnement

Roland Hohmann (OFEV, direction du projet), Melanie Butterling
(ARE), Carla Gross (OFEV), Sabine Kleppek (OFEV), Trond Maag
(OFEV), Denise Felber (OFEV), Regula Gehrig (MétéoSuisse),
Franziska Schwager (canton de Bâle-Ville), Karl Tschanz (ville de
Zurich), Pascal Barrière (canton de Soleure), Daniel Lehmann
(Union des villes suisses), Ralf Maibusch (ville de Berne),
Hans-Rudolf Moser (canton de Bâle-Campagne), Rémy Zinder
(canton de Genève), Thomas Stoiber (canton de Zurich), Lionel
Tudisco (ville de Sion)

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2018 : Quand la ville surchauffe. Bases pour un
développement urbain adapté aux changements climatiques.

Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de
l'environnement, No 1812 : 109 S.

Traduction

Lionel Felchlin, Fribourg

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

Bancs dans la verdure du parc MFO, prise l'été 2008 à Zurich.

© Bjoern Allemann, KEYSTONE

Commande de la version imprimée et téléchargement au format PDF

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne
www.publicationsfederales.admin.ch

Numéro d'article : 810.400.126F
www.bafu.admin.ch/uw-1812-f

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé

Cette publication est également disponible en allemand et en
italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2018

11.18 400 860432353

Table des matières

Abstracts	7	
Avant-propos	9	
1 Sur ce rapport	10	
2 Contexte	11	
2.1 L'effet d'îlot de chaleur	11	
2.2 L'évolution du climat dans les villes et les communes suisses	11	
2.3 Que fait la Confédération?	13	
3 Gestion de la chaleur – exemples à suivre	14	
3.1 Planifications en Suisse	14	
3.2 Villes exemplaires à l'étranger	16	
4 Par où commencer? Trois points de départ sur la marche à suivre	19	
4.1 Par où une ville ou une commune peut-elle commencer?	19	
4.2 Comment intégrer la régulation thermique dans un projet de planification concret?	21	
4.3 Facteurs de succès	22	
5 Bases et mesures climatiques	24	
6 Approches stratégiques pour réduire la concentration de chaleur	29	
7 Principes de planification et d'urbanisme	33	
8 Mesures	39	
9 Ancrage, mise en œuvre et controlling	78	
Annexe 1: Glossaire et abréviations	86	
Annexe 2: Projets et documents de la Confédération, des cantons, des villes et des institutions en Suisse	89	
Annexe 3: Bonnes pratiques à l'étranger	92	
Annexe 4: Sélection de liens vers des informations pour spécialistes, par mots clés	97	
Annexe 5: Table des illustrations et crédits photographiques	101	

7 Principes de planification et d'urbanisme

Les principes de planification formulent des lignes directrices générales sur la réduction de la concentration de chaleur. Ils comprennent d'une part des méthodes et des attitudes, d'autre part des champs thématiques concrets. Ils servent d'orientation et d'échelle de valeurs pour l'action prévisionnelle. Les principes d'urbanisme portent en revanche sur des règles concrètes et des propositions d'action pour le développement urbain et le développement des espaces ouverts.

PP Principes de planification



PP 1 Développer une structure urbaine et des espaces ouverts en réseau en fonction du climat !

Une structure du milieu bâti et non bâti qui tient compte des fortes chaleurs est la première condition à respecter pour offrir un environnement de qualité aux habitants et aux hôtes d'une ville ou d'une commune. Une bonne mise en réseau des espaces ouverts à effet bioclimatique en constitue l'élément central. Les principes urbanistiques ci-après proposent des règles concrètes qui peuvent être appliquées de manière cohérente et adaptées au lieu. La méthode suivante est recommandée :

- Essayez d'aborder les questions du développement urbain du point de vue du climat et des fortes chaleurs. Cette nouvelle perspective permet souvent de révéler des aspects structurels qu'on oublie d'ordinaire.
- Parlez du changement de perspective à vos collègues et à des spécialistes d'autres disciplines et voyez ce que cela peut donner.
- Demandez-vous, d'un point de vue climatique, « ce qu'il en serait si... » avec des spécialistes d'autres disciplines et intégrer les conclusions aux planifications.



PP 2 Les espaces verts sont des cool spots !

Les espaces verts sont les champions du rafraîchissement. Leur taille joue un rôle important pour « l'effet à distance » dans l'espace urbain : il est avéré à partir d'un hectare environ. Mais des îlots de fraîcheur plus petits, des *cool spots*, sont aussi précieux comme lieux de séjour et de détente pour la population. L'aménagement des espaces verts et la végétation sont essentiels pour l'effet rafraîchissant. Des arbres qui apportent de l'ombre et une diversité microclimatique sont particulièrement importants (chap. 8, « Mesures vertes »).

Les groupes de population peu mobiles, qui souffrent tout particulièrement de la chaleur, ont besoin d'espaces proches et facilement accessibles pour se détendre. Veillez donc à :

- développer les espaces verts existants dans les zones exposées pour les adapter aux fortes chaleurs ;
- créer de nouveaux espaces verts dans les zones densément peuplées, y compris sur les terrains privés ;
- intégrer les chemins pour piétons vers et entre ces *cool spots* dans un système de régulation thermique adapté au climat et les ombrager au moins en partie.



PP 3 Les arbres en milieu urbain induisent de grands effets !

Les arbres peuvent apporter une contribution essentielle à la réduction de la concentration de chaleur dans l'espace urbain. Qui-conque se tient sous un arbre en cas de forte chaleur ressent l'effet bienfaisant de l'ombre et du refroidissement par évaporation, précisément en comparaison avec d'autres sources d'ombre (voir photo de couverture). Les champs d'application et les multiples effets des arbres en milieu urbain – ombre, qualité de l'air, paysage urbain, etc. – sont traités de manière approfondie dans les mesures locales (chap. 8, « Mesures vertes » et M 3.3). En conséquence du réchauffement climatique, le choix de

l'essence fait aussi l'objet de réflexions et d'adaptations (cf. annexe A4, sous le thème spécialisé «Arbres»).

S'agissant des arbres en milieu urbain, vous devriez veiller à :

- connaître précisément le peuplement d'arbres de votre ville ou commune et élaborer des stratégies de développement avec un choix d'essences adapté ;
- encourager les plantations – en particulier d'arbres à grosse couronne – dès que possible ;
- considérer les campagnes de plantation d'arbres comme des opportunités, y compris sur les parcelles privées.



PP 4 L'ombre favorise le confort thermique !

L'ombre est un moyen efficace pour rafraîchir l'espace urbain. L'ombre projetée par les arbres est précieuse (PP 2 et chap. 8, M 1.4, M 1.6, M 1.7, M 3.3). Mais les bâtiments (voir les villes dans l'espace méditerranéen) ou les mesures techniques et architecturales telles que les toiles solaires ou les toitures évitent aussi la concentration de chaleur (chap. 8, M 3.4, M 4.2). Ces dernières peuvent jouer un rôle quand les arbres n'entrent pas en ligne de compte en raison des circonstances (p. ex. site, protection des monuments, protection-incendie, etc.).

- Intégrez l'ombre comme un facteur de confort thermique dans les stratégies urbanistiques.
- Augmentez la part de l'espace urbain ombragé, de préférence par des arbres.
- Recourez à de bonnes solutions techniques s'il n'est pas possible de planter des arbres. Songez aussi à des projets temporaires ou mobiles.



PP 5 La désimperméabilisation apporte de la fraîcheur !

Les surfaces imperméabilisées accroissent l'effet d'îlot de chaleur. Toute désimperméabilisation contribue donc aussitôt à un climat urbain plus agréable. Une part importante de verdure, des matériaux naturels et une grande perméabilité du sol réduisent l'accumulation de chaleur dans le sous-sol. Un échange hydrique accru entraîne un effet de refroidisse-

ment supplémentaire (fraîcheur par évaporation). Dans les zones exposées aux fortes chaleurs, toute forme de désimperméabilisation est bénéfique, que ce soit dans l'espace routier, les parkings, les arrière-cours ou par la végétalisation des toits (chap. 8, «Mesures vertes» et M 2.3, M 3.1, M 4.1).

Procédez comme suit :

- Établissez une vue d'ensemble des surfaces imperméabilisées (p. ex. au moyen de la couverture des sols de la mensuration officielle).
- Avec les aménagistes, hiérarchisez les mesures de désimperméabilisation possibles dans votre ville ou commune.
- Fixez-vous pour objectif que les surfaces de votre ville ou commune puissent servir d'exemple.
- Sensibilisez les propriétaires privés aux mesures de désimperméabilisation et aidez-les, par exemple par le biais de programmes d'encouragement.



PP 6 L'eau est précieuse !

L'eau a un effet extrêmement positif et multiple sur le climat urbain et le bien-être de la population dans les espaces ouverts (chap. 8, «Mesures bleues»). Les plans d'eau, de préférence vive, contribuent considérablement à la régulation thermique, en particulier s'ils sont accessibles et propices aux expériences aquatiques.

L'eau offre le plus grand bénéfice quand elle est utilisée de manière ciblée, par exemple en combinaison avec des *cool spots* et des mesures d'évacuation des eaux urbaines. Les eaux qui s'écoulent lors de fortes précipitations peuvent être retenues pour décharger les canalisations et irriguer les espaces verts, les arbres ou les toits végétalisés pendant les canicules grâce à des systèmes intelligents. L'eau de pluie crée ainsi une valeur ajoutée et des synergies.

Les étapes suivantes sont recommandées :

- Sondez les endroits où l'eau est déterminante dans votre ville ou commune et où cet aspect fait encore défaut.
- Lancez un projet pilote sur l'eau vive.

- Intégrez le thème de «l'eau comme source d'expérience» dans la planification des espaces publics verts et ouverts.

PU Principes d'urbanisme

PU 1 Développer un système optimal de circulation de l'air frais

Chaque ville et commune devrait développer un système de ventilation optimal comprenant tous les composants nécessaires sur le plan fonctionnel. Le premier principe de planification, qui vise à penser la structure du milieu bâti et non bâti d'un point de vue climatique, est ainsi concrétisé. Le système se compose :

- de zones de génération d'air frais appropriées et suffisantes (prairies, surfaces agricoles, forêts, espaces verts en ville);
- de corridors d'air frais qui acheminent et distribuent l'air frais et pur dans le milieu bâti (espaces ouverts linéaires, espaces routiers peu rugueux d'une certaine largeur, corridors d'infrastructures);
- d'espaces verts sous forme de *cool spots* ou de surfaces de régulation thermique;
- d'éléments de mise en relation complémentaires.

Aménagez dans votre ville ou commune un système efficace et global d'espaces ouverts ayant une fonction d'apport d'air frais, auquel toutes les idées de développement peuvent se subordonner. En plus de l'effet positif sur le climat urbain, il en découle d'importantes synergies pour un confort thermique élevé, la biodiversité, l'hygiène de l'air, etc. Essayez de tenir compte des règles suivantes, qui établissent et garantissent durablement une gestion utile et préventive des espaces concernés et leur utilisation adaptée aux changements climatiques :

- Prévoyez assez tôt des espaces pour la régulation thermique dans l'optique d'un système global.
- Évitez les barrières pour les échanges d'air en aménageant les périphéries, les bâtiments, les structures végétales et les éléments topographiques en conséquence (p.ex. digues et talus).
- Gardez l'apport d'air frais dans les pentes grâce à une orientation appropriée des bâtiments (Fig. 23).

- Encouragez les fonctions mixtes des surfaces pour qu'elles puissent remplir aussi bien leur rôle dans le système d'écoulement des brises thermiques que d'autres fonctions (p.ex. confort thermique, délassement, gestion de l'eau).
- Prévoyez de précieux espaces d'air frais, par exemple par des limites de construction.
- Tenez compte des différentes exigences posées aux champs d'écoulement des brises thermiques en fonction du moment de la journée.

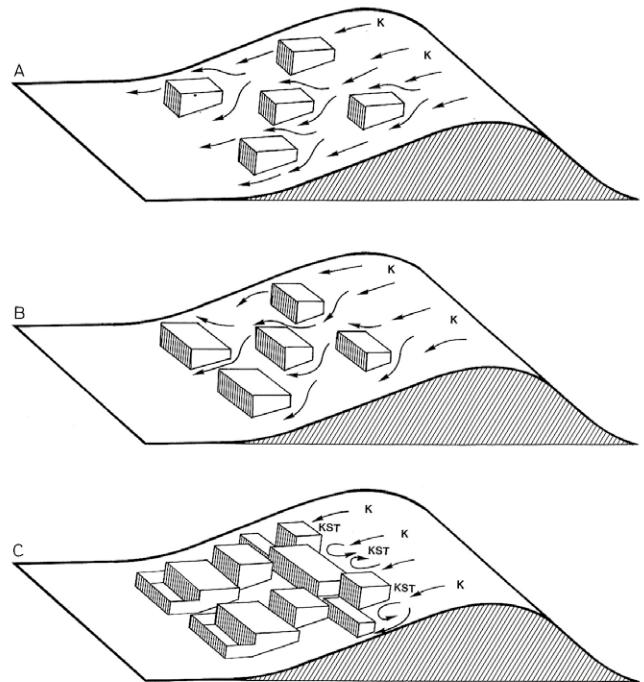
Figure 23

Graz, principe de construction dans les pentes^{A3.10}

A et B: une construction aérée favorise l'écoulement de l'air froid dans la pente

C: une construction parallèle à la pente fait l'effet d'une barrière d'air froid

K: flux d'air froid, KST: barrage d'air froid



PU 2 Optimiser la position et la typologie des bâtiments sous l'angle climatique

Des décisions novatrices peuvent être prises pour un climat urbain plus agréable au niveau de la structure des bâtiments. La position des bâtiments et la typologie de construction (longueur, hauteur) ont des effets positifs

sur le climat extérieur, mais elles peuvent aussi avoir un impact négatif si certaines règles ne sont pas observées (Fig. 24). Pour les questions d'urbanisme, recourez aux trois règles de base suivantes qui sont adaptées aux nouvelles constructions, mais aussi au renouvellement du bâti, de plus en plus important :

- Un urbanisme adapté aux changements climatiques**
La clé réside dans la prise en compte dès le début de la régulation thermique dans la planification des structures architecturales (urbaines) (PP 1). Il s'agit de laisser des couloirs de ventilation et d'utiliser les constructions à des fins d'ombrage. Les questions d'une orientation appropriée des rues et d'une conception architectonique, par exemple des éléments d'ombrage intégrés, sont aussi importantes. Les surfaces exposées au soleil, comme les routes, les places, les escaliers ou les toits, devraient être conçues par ailleurs avec des matériaux qui absorbent peu la chaleur. Élaborez toujours des stratégies de régulation thermique dans un cadre spatial plus grand (p.ex. quartier) : l'efficacité des mesures, d'une part, dépend fortement du contexte général, et des effets nettement plus importants peuvent être obtenus, d'autre part, en associant ou en combinant les mesures.
- En hauteur plutôt qu'en largeur, une structure ouverte plutôt que fermée**
Des bâtiments hauts et élancés avec de généreux espaces ouverts présentent, d'un point de vue clima-

tique, de nets avantages par rapport aux complexes de bâtiments larges et plats. De même, les structures ouvertes sont préférables aux structures fermées en raison de leur perméabilité à la circulation de l'air et du lien fonctionnel entre les espaces verts intérieurs et extérieurs.

• *En longueur plutôt qu'en travers*

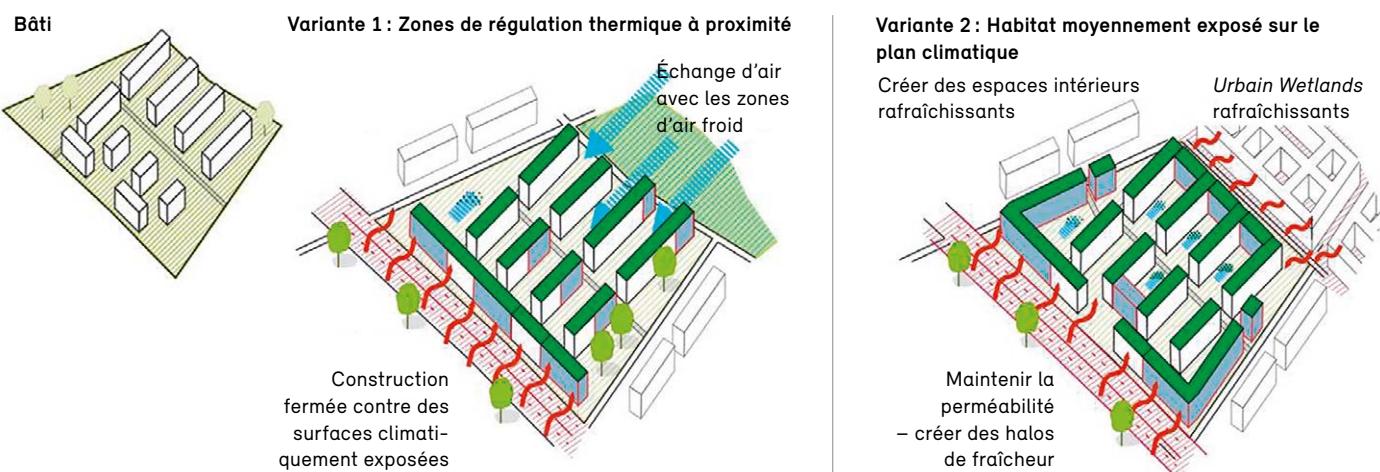
Pour garantir un apport d'air optimal, les bâtiments devraient généralement être conçus en longueur par rapport à la direction de la ventilation principale. C'est souvent possible en cas de réaménagement. Les pentes, qui devraient être préservées des longues constructions parallèles, revêtent ici une importance particulière.

PU 3 Considérer la densification comme une opportunité d'optimisation climatique

Par «découplage», on entend des approches urbanistiques qui séparent en grande partie les mesures de construction des effets négatifs sur le climat urbain. C'est possible en premier lieu pour les vastes mesures de densification sous la forme de nouvelles constructions de substitution et sur des terrains au contexte institutionnel, comme les quartiers de coopératives qui sont complètement rénovés (Fig. 25).

Figure 24

Définitions dans la densification de quartiers dont l'orientation favorise l'écoulement d'air frais selon la charge thermique environnante,
StEP Klima Berlin



Soutenez le découplage pour les projets de densification en combinant plusieurs champs d'action :

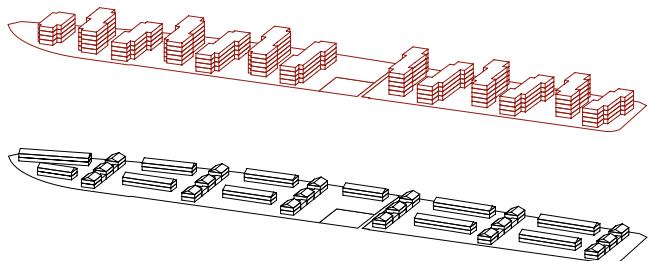
- La densification s'obtient souvent en fonction de la typologie existante. Les nouveaux bâtiments peuvent améliorer une position défavorable sur le plan climatique en optimisant l'orientation. L'espace extérieur est conçu dans une optique climatique systématique, c'est-à-dire avec des plantations, l'ombrage par des arbres et une grande perméabilité. Il s'agit aussi de limiter les constructions souterraines et de construire des garages souterrains dans le respect du climat. Des espaces de vie attrayants sont aménagés et les aspects de la gestion des eaux de pluie sont intégrés dans la mesure du possible (infiltration, stockage, possibilités de jeu). Il existe un grand potentiel de découplage dans la conception des espaces entre les bâtiments. Examinez dès le début si la densification est compatible avec la chaleur – cela en vaut la peine.
- Favoriser les éléments de verdure et d'eau à l'extérieur et sur les bâtiments au sens d'un développement urbain sensible à l'eau («vert et bleu plutôt que minéral») contribue grandement à la régulation thermique.
- Les lotissements rénovés doivent être bien raccordés aux espaces verts et aux zones de régulation thermique existants, par exemple par des chemins pour piétons et des pistes cyclables entièrement à l'ombre. Ainsi, vous favorisez non seulement un impact positif sur le climat dans le quartier densifié et ses alentours, mais aussi de nouvelles qualités de délassement, une mise en relation écologique durable, etc.

Bien entendu, vous recourez aux champs d'action précisés non seulement pour les projets de densification, mais aussi pour les nouveaux développements de sites. Vous évitez ainsi l'impact négatif sur le climat urbain ou vous le compensez.

À noter, pour finir, que combiner les projets de densification avec le thème «Cité de l'énergie» peut créer des effets de synergie importants, comme la réduction de l'apport de chaleur dans l'atmosphère par une plus faible utilisation d'énergie.

Figure 25

La position des nouvelles constructions de substitution densifiées dans le lotissement de Katzenbach à Zurich améliore la ventilation
Dans les espaces entre les bâtiments, les architectes ont veillé à l'ombrage des espaces verts et des espaces de vie en plantant des arbres.



PU 4 Optimiser l'interaction des bâtiments et des espaces ouverts

Il est possible de développer une étroite synergie entre les bâtiments et les espaces ouverts à une grande échelle structurelle ou une petite échelle concrète, qui est déjà souvent comprise implicitement dans les trois premiers principes et de nombreuses mesures locales. Pour les nouvelles planifications, l'écoulement entre les bâtiments et les espaces ouverts s'avère en général plus simple que pour le tissu bâti. Les approches dépendent par ailleurs de la typologie.

Prônez un rapport étroit entre les bâtiments et les espaces ouverts dans les planifications générales en tenant compte du système de ventilation spécifique (PU 1 et 2). Différents systèmes d'interaction entre les parcelles constructibles et les espaces ouverts sont possibles, par exemple sous forme d'espaces ouverts linéaires ou d'îlots de construction implantés dans les espaces verts (Fig. 26). Examinez la possibilité d'assurer stratégiquement les surfaces clés à temps et de les délimiter pour l'écoulement par le biais d'espaces ouverts.

Dans les sites sensibles, ayez recours, en plus de solutions propres à la typologie des bâtiments, à une végétalisation systématique des cours intérieures et des arrière-cours, raccordées si possible aux espaces ouverts voisins. Dans les quartiers à la construction ouverte, cela peut se faire par le biais de chemins (semi-) publics entre les espaces ouverts, par des dents creuses à la périphérie des immeubles ou des accès aux cours.

Pour optimiser l'interaction entre la structure des bâtiments et les espaces ouverts, tenez compte des règles complémentaires suivantes et de leur combinaison ciblée :

- la désimperméabilisation systématique des surfaces et la déconstruction maximale dans les cours intérieures,
- la végétalisation et l'augmentation de l'ombrage par les arbres,
- l'intégration d'installations d'irrigation et de rétention,
- la limitation de la construction souterraine dans les espaces verts,

- l'utilisation de matériaux de surface avec une forte réflectance et de faibles propriétés de stockage de la chaleur.

Vous pouvez aussi obtenir une certaine interaction avec l'espace ouvert en végétalisant les bâtiments.

Figure 26

Euroméditerranée ECOCITÉ Marseille : la structure des bâtiments s'ouvre sur le parc central linéaire^{A3.35}



8 Measures

Les mesures visant à réduire l'effet d'îlot de chaleur forment le cœur du présent rapport. Une distinction est faite entre les mesures locales, qui concrétisent des principes de planification et d'urbanisme au niveau local, et les mesures processuelles, qui portent sur des recommandations relatives à des procédures et à des méthodes des pouvoirs publics.

M Mesures locales

Les mesures locales concrétisent les principes de planification et d'urbanisme (chap. 7). Elles concernent aussi bien les surfaces publiques que privées et sont structurées en domaines thématiques: toutes les mesures liées principalement au développement des espaces verts et à la végétation font partie du plus grand groupe des «mesures vertes» (M 1.1 à 1.7). Elles sont suivies de celles qui ont un rapport avec l'eau, les «mesures bleues» (M 2.1 à 2.4), des «mesures liées aux bâtiments» (M 3.1 à 3.5) et des «autres mesures» (M 4.1 et 4.2). La figure 27 montre le rapport entre les mesures locales et

les principes de planification (PP) et d'urbanisme (PU). Les mesures locales correspondent aussi entre elles et se soutiennent dans leurs effets (Fig. 28).

MP Mesures processuelles

Les mesures processuelles à la fin de ce chapitre par-
chèvent les mesures et révèlent aussi bien les procé-
dés fondamentaux internes à l'administration que les
domaines d'activité des pouvoirs publics qui concernent
l'extérieur, par exemple l'influence sur les surfaces de
tiers ou la sensibilisation. Par leur rapport processuel,
elles se greffent sur tous les principes de planification ou
d'urbanisme et les mesures locales et ne sont donc pas
représentées dans les figures suivantes.

Fiches sur les mesures locales

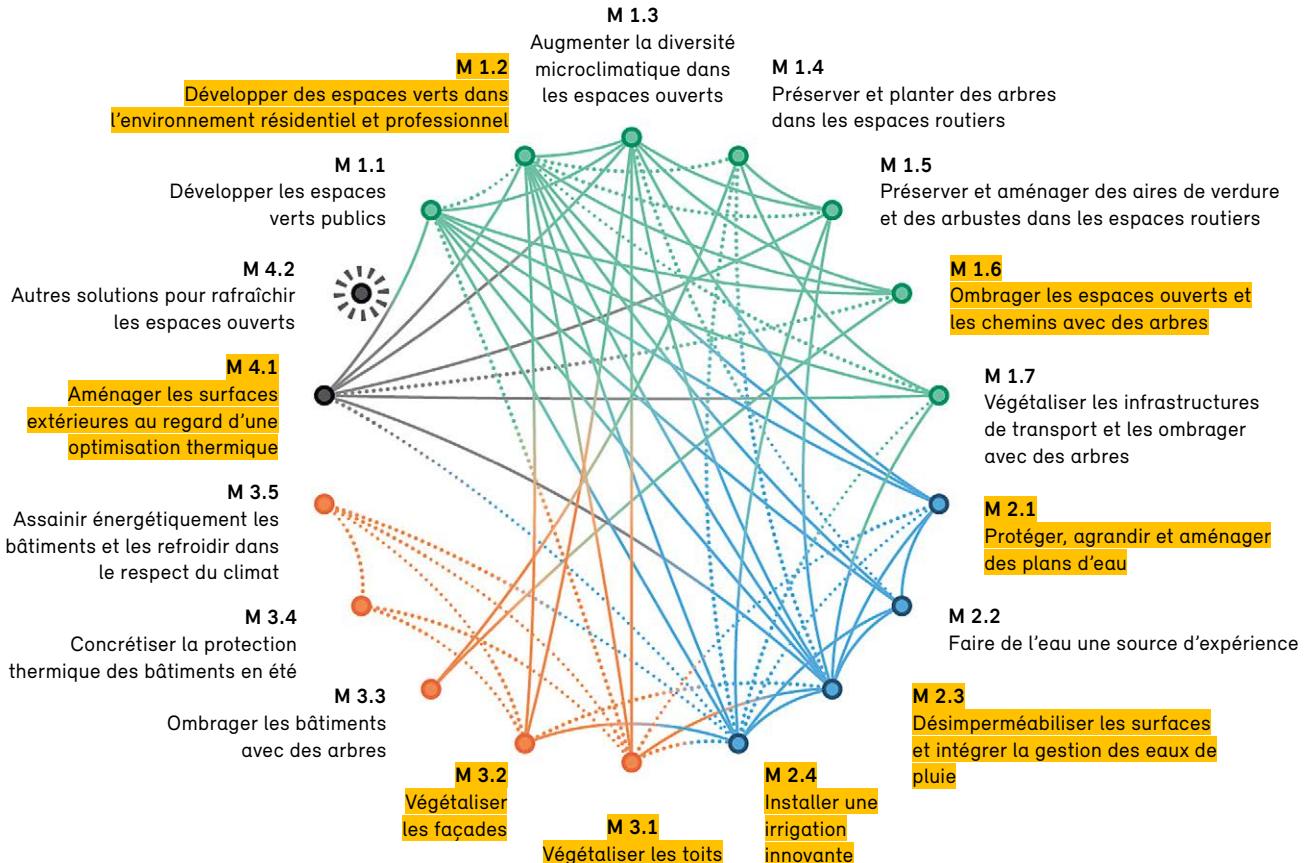
Chaque mesure est traitée systématiquement sous la forme d'une fiche. Les rapports de la mesure avec les *principes de planification*, les *principes d'urbanisme* et les *mesures locales correspondantes* sont d'abord pré-

Figure 27

Interaction des principes de planification (PP), des principes d'urbanisme (PU) et des mesures locales (M)

Figure 28

Mesures locales correspondantes



sentés graphiquement et les synergies démontrées. Vient ensuite un descriptif de la mesure et de son effet. Les facteurs qui compliquent ou entravent la mise en œuvre sont qualifiés de *défis* (*D*) ou de *conflits d'objectifs* (*C*). Chaque mesure est illustrée par des réalisations exemplaires. La description (quand c'est judicieux) est complétée par une estimation des effets selon des *paramètres de planification* définis.

Les éléments graphiques sont documentés sur la dernière page du rapport et servent d'aide à la lecture des fiches une fois la page rabattue sur le côté.

Synergies

La régulation thermique permet d'importantes interactions positives avec d'autres domaines d'activité techniques. Une connaissance des synergies et une approche

ciblée permettent d'apporter une valeur ajoutée. La planification et la mise en œuvre sont simplifiées et accélérées lorsque les coûts sont partagés et que plusieurs acteurs en profitent. Les synergies pertinentes sont représentées graphiquement dans les fiches. Les vastes et multiples synergies se résument en six catégories :

- **Espaces verts et ouverts**: l'exigence d'espaces de délassement suffisants bien répartis et facilement accessibles par le biais de chemins pour piétons et pistes cyclables attrayants se recoupe avec l'objectif d'espaces verts sous forme de *cool spots*.
- **Paysage urbain**: un paysage urbain attrayant, avec de nombreux espaces verts, arbres et plans d'eau, contribue aussi à éviter les îlots de chaleur.
- **Gestion des eaux de pluie**: en cas d'augmentation des fortes précipitations, la rétention accrue de l'eau de pluie

peut décharger les canalisations. Si cette eau est stockée, elle peut servir au rafraîchissement et à l'irrigation pendant les périodes de canicule et de sécheresse.

- **Biodiversité**: des sols perméables, des espaces verts aménagés de manière naturelle et diversifiée, une certaine quantité de verdure et la mise en relation des habitats de la flore et de la faune sont les bases de la biodiversité, qui se recoupent avec les principes de planification pour les espaces verts et ouverts mis en relation, les arbres en milieu urbain et la désimperméabilisation.
- **Air et bruit**: les mesures de promotion des espaces de repos et de la qualité de l'air vont de pair avec les mesures de réduction de la chaleur. Les espaces verts sont des havres de tranquillité qui servent en même temps de zones de fraîcheur. Les arbres en milieu urbain captent la poussière et les polluants, améliorent la qualité de l'air, fournissent de l'air frais et sont une source de fraîcheur grâce à l'évaporation et à l'ombrage.
- **Protection du climat**: les mesures de protection du climat peuvent contribuer à réduire l'effet d'îlot de chaleur. Dans les maisons bien isolées, il n'y a pas de rejets de chaleur à la suite du rafraîchissement des pièces. Les installations photovoltaïques ombragent et refroidissent les bâtiments. La végétalisation des bâtiments a un effet isolant et rafraîchissant en cas de chaleur. Les mesures visant à freiner la consommation de carburant entraînent aussi une réduction des rejets de chaleur des moteurs à combustion.

Paramètres de planification

Les mesures locales sont évaluées au regard des paramètres suivants (quand c'est judicieux) :

- **Espace d'action**: zone d'impact de la mesure dans l'espace de régulation thermique bioclimatique :
« micro » = zone à proximité immédiate (p.ex. bâtiment et environnement résidentiel)
« méso » = environnement proche (p.ex. quartier)
« macro » = environnement éloigné (p.ex. ville entière)
- **Bilan thermique**: impact de la mesure pour la production et l'écoulement d'air froid
- **Bioclimat**: impact de la mesure au regard de sa fonction de régulation thermique
- **Champ d'application**: pertinence pour une mise en œuvre sur des surfaces privées, semi-publiques ou publiques
- **Charges de fabrication**: charges liées à la réalisation de la mesure (l'estimation porte aussi bien sur les coûts d'acquisition des composants que pour la construction, l'aménagement ou l'installation)
- **Charges d'entretien**: tous les coûts connexes pour l'entretien et la préservation de la mesure, y compris les coûts induits, par exemple l'irrigation
- **Calendrier**: horizon temps nécessaire jusqu'à la mise en œuvre, y compris la planification, le potentiel de mise en œuvre

L'évaluation correspond à une estimation grossière basée sur des valeurs empiriques. Elle est représentée dans un graphique linéaire. La position et la longueur des barres sur l'échelle correspondent à la valeur et à la classification.

M 1.2 Développer des espaces verts dans l'environnement résidentiel et professionnel

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



Cliquez [ici](#) pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

Les espaces verts situés à proximité immédiate de l'environnement résidentiel et professionnel servent à la détente et remplissent une importante fonction de compensation en matière d'écologie climatique. Aménagés avec beaucoup de verdure, ils offrent un excellent confort thermique et réduisent la chaleur dans l'espace urbain.

L'environnement résidentiel et professionnel est valorisé sur le plan bioclimatique par les aires de verdure privées qui sont aménagées de multiples façons à l'extérieur. Il en résulte des halos de fraîcheur à proximité immédiate. Les exigences des riverains et des employés en matière d'utilisation priment dans l'aménagement : les arbres à grosse couronne offrent des zones de jeu et de vie ombragées, il est possible de s'asseoir à l'ombre ou au soleil. Les plantations de haies et d'arbustes façonnent l'environnement de manière attrayante. La désimperméabilisation des cours intérieures, des zones d'accès et des parkings permet d'optimiser encore ces surfaces d'un point de vue climatique. Un aménagement varié offre en outre un habitat pour les plantes et les animaux.

Les *cool spots* dans l'environnement résidentiel et professionnel complètent le système des espaces verts publics. Ils sont d'autant plus importants quand le potentiel de régulation thermique bioclimatique est élevé ailleurs. Le jour, les éléments de verdure ont, en premier lieu, un effet sur l'ombrage et l'absence de rayonnement direct, ce qui réduit le stockage de la chaleur du milieu bâti. De plus, l'évaporation due au sol perméable et à la végétation pourvoit au rafraîchissement de l'air. Des études montrent un lien direct entre le volume de verdure et

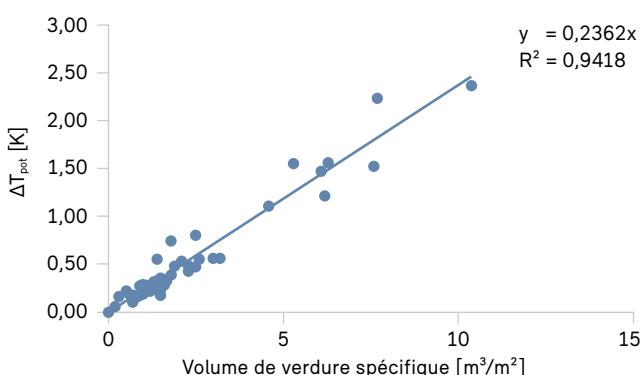
l'abaissement de la température de l'air (Fig. 32). La nuit, les aires de verdure privées produisent localement de l'air froid et créent une ventilation à petite échelle grâce à une interaction étroite avec les corps de construction.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur l'aménagement des surfaces non bâties sur terrain privé (D)
- Concurrence en matière d'affectation au cours de la densification ultérieure et du développement vers l'intérieur (D, C)

Figure 32

Capacité d'abaissement de la température en fonction du volume de verdure spécifique. Simulation à une hauteur de 1,5 m, vers 14 h



Le quartier climatique Østerbro à Copenhague : jardins du futur et projets de riverains

Avec son «Klimakvarter Østerbro»^{A3.27}, Copenhague a développé un projet modèle intégré et cohérent dans lequel les visions d'avenir d'un développement urbain adapté aux changements climatiques ont été réfléchies

et concrètement mises en œuvre. Un plan ambitieux pour les espaces verts et ouverts, un programme différencié pour les cours intérieures et de multiples projets complémentaires de riverains forment une stratégie cohérente et systématique à laquelle participent les pouvoirs publics, des institutions et des particuliers. De la sorte, il en résulte des espaces ouverts avec un bon confort thermique et une grande qualité de vie dans l'environnement résidentiel et professionnel. Un système de nouveaux espaces verts urbains forme la colonne vertébrale de cette stratégie. Les rues y sont intégrées comme des

espaces de régulation thermique. Les « jardins du futur » (Fig. 33) offrent une végétation luxuriante pour se rafraîchir et retiennent par ailleurs l'eau de pluie. Il en découle ainsi un environnement adapté au climat qui laisse en même temps une marge de manœuvre que s'approprient les riverains : ils revalorisent en petits jardins les « surfaces résiduelles » monotones et inutilisées avec de la végétation et des éléments d'ameublement. Les toits sont aussi rendus accessibles, végétalisés au sens d'une utilisation mixte et, partant, mis en valeur pour réduire la chaleur (Fig. 34 et 35).

Figure 33

Jardin du futur Askøgade dans le Klimakvarter Østerbro, planification



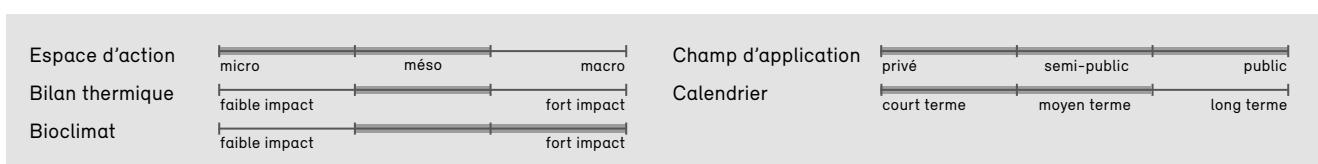
Figure 34

« Jardins ouverts » – projets de riverains dans l'environnement résidentiel



Figure 35

Utilisation mixte efficace sur le plan climatique – ferme urbaine Østerbro



M 1.6 Ombrager les espaces ouverts et les chemins avec des arbres

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



Cliquez ici > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

L'ombre des arbres sur les places, les chemins pour piétons et les pistes cyclables est une source de fraîcheur qui augmente le confort thermique dans l'espace public ouvert les jours de canicule.

L'attractivité des espaces publics ouverts tels que les places centrales, les places de village ou les boulevards peut être sensiblement augmentée l'été grâce à l'ombre des arbres. Les chemins pour piétons et les pistes cyclables devraient aussi être protégés du rayonnement solaire direct pour rendre leur utilisation plus agréable en cas de chaleur.

L'ombrage prévient le réchauffement des chemins et des espaces ouverts et leur rayonnement thermique nocturne. Les arbres sont la meilleure solution pour ce faire, car ils disposent en outre d'une capacité de refroidissement par évapotranspiration, contrairement aux éléments construits comme les toiles solaires. Sous la canopée, la température de l'air présente quelques degrés Celsius en moins les jours ensoleillés que sur les surfaces ouvertes au rayonnement (Fig. 44). Pour les groupes de population sensibles à la chaleur, comme les personnes âgées et les enfants en bas âge, des itinéraires ombragés et des places de jeux arborisées sont très importants.

Le long des voies de communication vers les espaces de compensation bioclimatiques, les *cool spots*, les arbres sont particulièrement importants en mettant en relation les espaces verts et, partant, en augmentant les capacités de compensation bioclimatiques de ceux-ci. Les chemins en dehors des zones d'habitation qui traversent des surfaces agricoles exposées au soleil pour rejoindre des espaces de régulation thermique plus éloignés, telles les forêts, sont aussi concernés.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

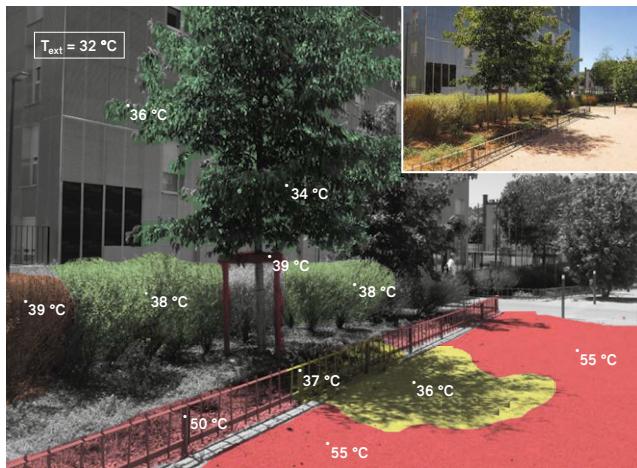
- Facteurs de stress pour les arbres (chaleur, organismes nuisibles, sel de déneigement, etc.) et choix d'essences et de variétés d'arbres robustes (voir aussi annexe A4) (D)
- Charge d'entretien croissante (irrigation, lutte contre les nuisibles, etc.) (D)
- Dégager les issues de secours et de sauvetage (D)
- Allergies croissantes au pollen de certaines essences au sein de la population (D)
- Place pour les plantations d'arbres (couronne, périmètre des racines et mise en œuvre de stratégies d'irrigation), concurrence au niveau des surfaces (p. ex. parage), passages souterrains (D, C)
- Besoin en eau en cas de sécheresse ou d'éventuel manque d'eau (C)

Ombrages multiples : allées de Napoléon, chemins à Karlsruhe, structures guides pour les chauves-souris à Fribourg-en-Brisgau et sentier du lac à Neuchâtel

Au XIX^e siècle déjà, Napoléon I^{er} fit planter de peupliers les voies de communication d'importance stratégique en guise de protection contre le soleil et le vent pour faciliter l'avancée de ses troupes. Les routes étaient visibles de loin, les arbres donnaient de l'ombre et laissaient passer assez de soleil grâce à leur forme colonnaire, si bien que les routes pouvaient sécher rapidement après les précipitations.

Karlsruhe plante systématiquement des arbres le long des routes principales entre les quartiers résidentiels et les grands espaces verts. Le chemin principal vers la zone récréative de Günther-Klotz-Anlage (Fig. 45) passe à travers de petits jardins. En guise de valorisation bioclimatique, le chemin a été bordé d'une large bande de

Fig. 44: Influence de l'ombre des arbres sur la température de surface, mesures à Lyon



verdure et planté d'arbres d'un bout à l'autre, si bien que la zone récréative est accessible de manière encore plus confortable, et surtout à l'ombre.

Dans le cadre d'une mesure compensatoire de protection de la nature pour une nouvelle zone industrielle, Fribourg-en-Brisgau développe des éléments de végétation linéaires dans le paysage ouvert sous forme de structure guide pour les chauves-souris^{A3.9}. Même si ce n'était pas là leur objectif premier, les nouveaux arbres servent désormais le jour de protection solaire de premier choix à un chemin piéton et à une piste cyclable d'importance menant à une zone boisée voisine (Fig. 46).

Dans la ville de Neuchâtel, le sentier du lac, dans le port de Serrières, est ombragé par des arbres de manière ciblée. Le choix s'est porté sur le pin parasol, une essence du sud de l'Europe qui se révèle être un arbre robuste en milieu urbain pour faire face aux facteurs de stress liés au réchauffement climatique (Fig. 47).

Fig. 45: Large bande de verdure et nouveaux arbres à Karlsruhe



Fig. 46: Structure guide pour les chauves-souris qui ombrage un chemin à Fribourg-en-Brisgau

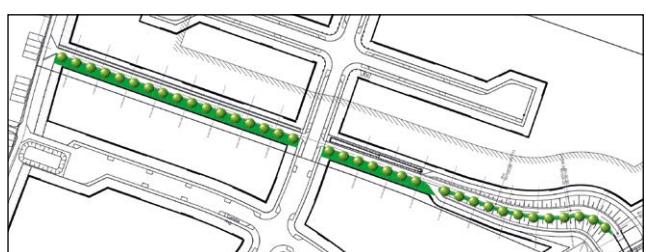
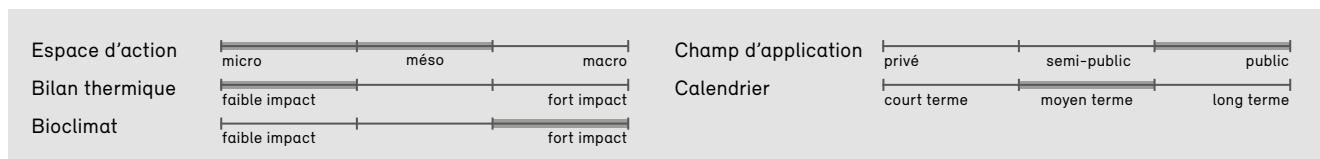


Fig. 47: Des pins parasols robustes ombragent le sentier du lac dans le port de Serrières, Neuchâtel



M 2.1 Protéger, agrandir et aménager des plans d'eau

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies

Espaces verts et ouverts

Paysage urbain

Gestion des eaux de pluie

Biodiversité

Air et bruit

Protection du climat

Cliquez ici > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

Les plans d'eau sont des éléments de compensation importants en écologie climatique en raison du refroidissement par évaporation. Ils devraient toujours être pris en compte dans les planifications et les réaménagements.

L'eau a un impact globalement positif sur la situation thermique. Le jour, il se produit un phénomène d'évaporation qui préleve de l'énergie dans l'air ambiant et, ainsi, le refroidit (refroidissement par évaporation). Plus la surface de l'eau et la différence de température avec l'air sont grandes, plus l'effet de refroidissement est important. L'eau vive génère un plus grand refroidissement que l'eau stagnante. En effet, le mouvement augmente la surface d'évaporation et renforce les échanges avec les couches d'eau plus profondes et plus froides.

La nuit, les plans d'eau peuvent même être plus chauds que les quartiers alentour pendant les longues périodes de chaleur^{A4.82}. La circulation de l'air est ainsi favorisée.

Les cours d'eau et les lacs font office de couloirs d'air froid et frais en raison de leur faible rugosité et mettent en relation les espaces ouverts avec les zones d'action exposées à la chaleur. La végétation proche des plans d'eau profite d'un meilleur approvisionnement en eau et se distingue par une plus grande capacité d'évapotranspiration et de refroidissement.

L'eau constitue un élément important dans l'aménagement d'espaces verts d'une grande diversité climatique.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Travaux de soins et d'entretien (D)
- Respect des prescriptions d'hygiène (eaux de baignade) (D)

- Protection contre les crues (D)

Nouvel aménagement des berges à Siegen, nouveau lac à Opfikon, miroir à Bordeaux: l'eau offre de multiples facettes

Distingué à plusieurs reprises, le projet « Siegen zu neuen Ufern »^{A4.8} de la ville de Siegen a consisté à remettre la rivière Sieg à ciel ouvert. La démolition du parking au-dessus de la rivière, construit il y a 25 ans, a permis d'aménager la rive ouest en forme de vastes escaliers qui offrent des espaces de vie et un accès à l'eau. Sur l'autre rive, des restaurants dotés de terrasses extérieures profitent de la proximité du cours d'eau. La démolition du parking et l'élargissement de l'espace à ciel ouvert dédié à la rivière ont un impact sur l'ensemble de la ventilation au centre-ville (Fig. 52).

Dans le nouveau et dense quartier de Glattpark à Opfikon, une vaste surface de près de treize hectares a été aménagée en un espace ouvert attrayant. Le nouveau lac de l'Opfikerpark^{A4.85} est alimenté par l'eau des toits. Il présente une grande valeur naturelle et offre une eau de qualité baignade (Fig. 53).

La Place de la Bourse est un emblème de la ville de Bordeaux. Depuis 2006 s'y trouve le miroir d'eau^{A3.6}, un plan d'eau de près de 3500 m² où l'on peut marcher et jouer. En plus de perspectives spectaculaires sur le centre historique, cette configuration inhabituelle produit des effets de refroidissement et de rafraîchissement considérables : un système de buses de brumisation est intégré à la place pour la transformer en une mer de brouillard à intervalles réguliers (Fig. 54).

Figure 52

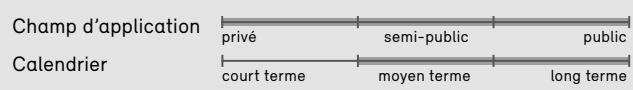
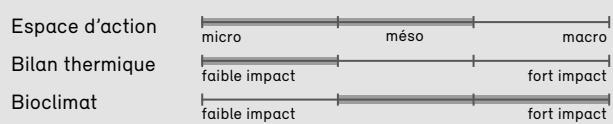
Ville de Siegen: parkings sur la rivière, projet et accès aux berges après la revalorisation

**Figure 53**

Nouveau lac dans l'Opfikerpark

**Figure 54**

Miroir d'eau rafraîchissant devant la Bourse à Bordeaux



M 2.3 Désimperméabiliser les surfaces et intégrer la gestion des eaux de pluie

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



Cliquez ici > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

Les surfaces imperméables dans les centres urbains sont l'une des causes principales aussi bien des concentrations de chaleur que des inondations en cas de fortes pluies. Des désimperméabilisations (partielles), en particulier en combinaison avec la gestion des eaux de pluie, permettent de faire face efficacement à ces problèmes.

Les surfaces (partiellement) désimperméabilisées se réchauffent moins les jours ensoleillés et pourvoient au refroidissement local par l'évaporation de l'eau du sol. Les grilles à gazon, les pavés joints ou les surfaces gravillonnées sont indiqués pour les désimperméabilisations partielles. La désimperméabilisation intégrale suivie d'une végétalisation a le meilleur impact bioclimatique et devrait être envisagée dans la mesure du possible. L'alimentation des eaux souterraines et les fortes synergies en matière de biodiversité sont d'autres effets positifs des revêtements perméables. Désimperméabiliser les surfaces existantes et éviter de nouveaux revêtements imperméables est donc une mesure de développement importante.

En même temps, il est possible d'intégrer des approches de gestion décentralisée des eaux urbaines et de soutenir ainsi une évacuation des eaux adaptée aux changements climatiques. Au moyen de dépressions d'infiltration (Fig. 61) et de systèmes de rigoles, on peut collecter les eaux de pluie des toits et des routes, les stocker de manière intermittente, les laisser s'infiltrer ou s'évaporer de manière ciblée.

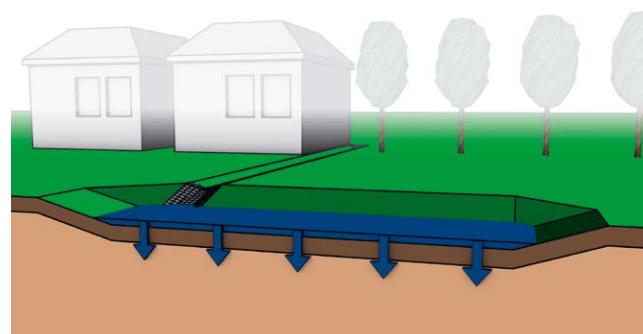
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur l'aménagement des surfaces sur terrain privé (D)
- Intégration précoce de la gestion des eaux de pluie dans la planification (D)

- Entretien efficace des surfaces (C)
- La faisabilité doit être vérifiée en cas de niveau élevé de la nappe phréatique ou dans les zones de protection des eaux (D, C)
- Charge potentielle en polluants du sol et des eaux souterraines après la désimperméabilisation des surfaces (C)

Figure 61

Schéma d'une dépression d'infiltration avec écoulement et espace de rétention en surface



© Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH

Sathonay et Adlershof : le « principe des fossés » pour réduire la chaleur

La commune de Sathonay dans le Grand Lyon^{A3.31} et le quartier berlinois d'Adlershof ont redécouvert le fossé et en ont fait un principe d'évacuation décentralisée des eaux urbaines. Des systèmes de dépressions absorbent les (fortes) précipitations et les laissent lentement s'infiltrer dans la terre préparée au moyen de couches filtrantes. L'excédent d'eau est acheminé dans de grandes dépressions d'infiltration (Fig. 62 et 63). À Adlershof^{A3.5}, des toitures végétalisées sont aussi utilisées de manière

ciblée : la rétention d'eau refroidit d'abord le bâtiment. L'eau coule ensuite vers les systèmes de dépressions, en partie par des façades végétalisées (Fig. 64). Ce principe permet non seulement de soulager considérablement les canalisations (les canaux d'eau de pluie ne sont en partie même plus nécessaires), mais aussi d'obtenir un effet tangible pour le confort climatique : les aires de verdure, qui s'étendent systématiquement le long d'une grande partie des espaces routiers, produisent un effet de fraîcheur supplémentaire en cas de chaleur.

Figure 62

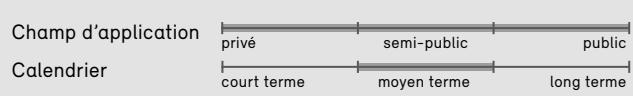
Dépression à Sathonay – « tradition de l'infiltration »

**Figure 63**

Infiltration des eaux de pluie à côté du chemin pour piétons et de la route à Berlin-Adlershof

**Figure 64**

Rétention et infiltration lente à Adlershof



M 2.4 Installer une irrigation innovante

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies

Espaces verts et ouverts

Paysage urbain

Gestion des eaux de pluie

Biodiversité

Air et bruit

Protection du climat

Cliquez [ici](#) > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

Les mesures d'adaptation « vertes » nécessitent des quantités d'eau considérables pour que les plantes ne souffrent pas lors des périodes de sécheresse et puissent déployer leur effet rafraîchissant. De nouvelles stratégies sont requises en réponse aux événements climatiques extrêmes tels que les épisodes caniculaires, mais aussi les fortes pluies.

Les événements climatiques extrêmes s'intensifient aussi avec le changement climatique. Les périodes de sécheresse accrues mettent en danger la végétation. Les fortes précipitations surchargent les canalisations et provoquent des inondations. Un stockage ciblé des eaux pluviales à des fins d'irrigation différée permet de traiter les deux problèmes en parallèle et d'exploiter des synergies.

L'eau de ruissellement des toits, des routes et des chemins est stockée dans des citernes le plus souvent souterraines, traitée et utilisée à des fins d'irrigation. Dans les systèmes modernes, l'excédent d'eau est par exemple acheminé, assez tôt avant de nouvelles précipitations, vers un dispositif d'infiltration et non dans les canalisations (Fig. 65). Par ailleurs, il est possible de retenir les précipitations en surface dans des réservoirs d'eau de pluie ou des bassins d'accumulation. L'eau sale et chargée de polluants, venant par exemple des routes très fréquentées, est collectée séparément et acheminée pour un traitement supplémentaire (p.ex. roselières ou filtres de rétention).

En cas de besoin, l'eau est pompée vers les plantes. Cela permet à la végétation de survivre en période de sécheresse malgré la pénurie d'eau. Le processus d'évapotranspiration, particulièrement nécessaire les jours de canicule, subsiste pour rafraîchir l'air ambiant.

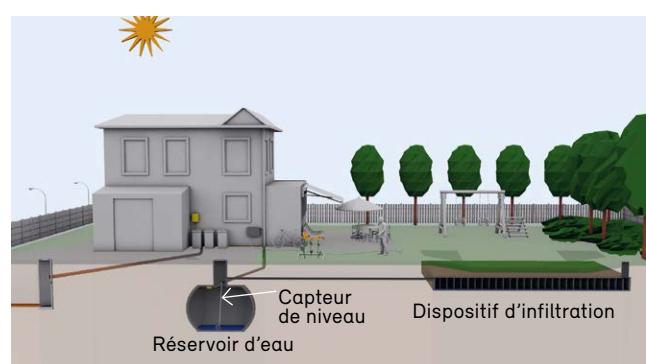
Les stratégies d'irrigation à l'eau de pluie réduisent la consommation onéreuse d'eau potable.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Coûts des mesures de construction et d'entretien (D)
- Intégration précoce de la gestion des eaux de pluie dans la planification (D)
- Qualité de l'eau sur les toitures et les routes (D)
- Concurrence au niveau des surfaces (D, C)

Figure 65

Système d'irrigation à l'eau de pluie avec dérivation automatisée vers un dispositif d'infiltration



Guide KURAS et rue Garibaldi à Lyon : projets novateurs avec contrôle d'efficacité

Dans le cadre du projet de recherche KURAS^{A4.83} (concepts pour une exploitation urbaine des eaux pluviales et des systèmes d'évacuation des eaux), des mesures de gestion écologique des eaux de pluie ont été définies à Berlin, qui peuvent également être consultées par d'autres villes pour une planification adaptée aux changements climatiques. Ce guide décrit une utilisation multifonctionnelle des eaux pluviales sur les parcelles, notamment à des fins d'irrigation (Fig. 66).

À Lyon, un système d'irrigation ingénieux a été mis en place lors du réaménagement de la rue Garibaldi^{A3.31}: les eaux pluviales des chemins pour piétons et des pistes cyclables s'infiltrent dans le sol par le biais de nouvelles bandes de verdure. L'excédent est directement évacué dans une citerne souterraine à des fins de stockage. Des

capteurs d'humidité dans les bandes de verdure pilotent l'irrigation en fonction des besoins (en bleu dans la Fig. 67). Des capteurs de température sont placés dans l'air pour contrôler l'impact de la mesure sur le confort thermique (en rouge).

Figure 66

Stratégie d'utilisation des eaux de pluie à des fins d'irrigation et comme eaux d'exploitation dans le guide KURAS

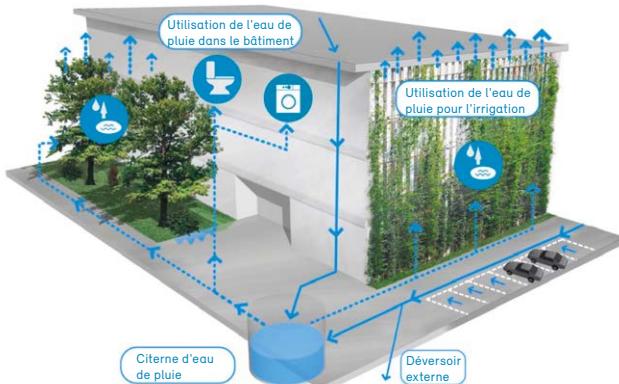
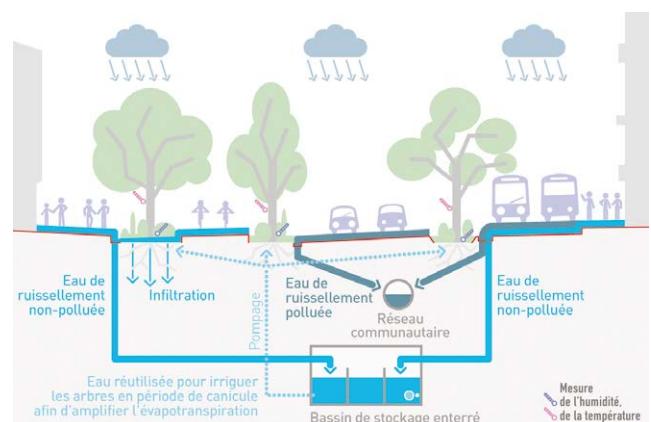


Figure 67

Système de stockage et d'irrigation, rue Garibaldi à Lyon



Espace d'action	micro	mésos	macro
Bilan thermique	faible impact		fort impact
Bioclimat	faible impact		fort impact

Champ d'application	privé	semi-public	public
Calendrier	court terme	moyen terme	long terme

M 3.1 Végétaliser les toits

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies

Espaces verts et ouverts

Paysage urbain

Gestion des eaux de pluie

Biodiversité

Air et bruit

Protection du climat

Cliquez ici > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

La végétalisation des toits a un effet positif sur le climat urbain. Les toits végétalisés offrent de multiples synergies avec d'autres objectifs du développement urbain durable et sont donc particulièrement précieux.

Les toits plats ont du potentiel pour augmenter la part de verdure en zone urbaine et lutter ainsi contre la chaleur. Les toitures végétalisées extensives ont une fine couche de substrat qui est couverte d'une végétation appropriée ou abandonnée à une végétation spontanée. En raison de leur faible charge, elles peuvent aussi être mises en œuvre a posteriori dans le bâti existant. Les toitures végétalisées intensives ont une épaisseur de substrat de plus de 15 cm. L'aménagement peut aller d'une végétation basse à une végétation haute et abondante avec des étangs et des zones de marais.

L'effet de la végétalisation des toits pour réduire la chaleur dépend pour l'essentiel du mode de réalisation : des toitures végétalisées intensives avec un volume de verdure important ou de l'eau (toit bleu-vert) ont un potentiel de refroidissement nettement supérieur aux réalisations extensives du fait d'une capacité de transpiration ou d'évaporation accrue (Fig. 68). Si les toits végétalisés sont accessibles, ils offrent de précieux espaces de délassement les jours de canicule, en particulier s'ils disposent d'un ombrage suffisant ou d'eau.

À proximité du sol, les toitures végétalisées ne font effet que si elles ont une surface de plusieurs centaines de mètres carrés et ne se trouvent pas à plus de dix mètres environ au-dessus du niveau de la route. Les bâtiments plutôt bas et de grande surface tels que les halles industrielles ou artisanales ou les ouvrages d'infrastructure possèdent donc les potentiels les plus efficaces du point de vue de l'écologie climatique.

Les toits végétalisés ont en outre un impact positif sur le climat intérieur des constructions et donc sur les besoins de chauffage ou de refroidissement des combles.

Au-delà des effets positifs sur le plan thermique, il existe aussi des potentiels de synergie, par exemple pour la biodiversité ou entre les installations photovoltaïques (PV)^{A4.23} et les toitures végétalisées extensives : les systèmes photovoltaïques donnent par ailleurs de l'ombre au bâtiment, ce qui renforce la protection thermique estivale, tout en offrant des valeurs naturelles élevées en cas d'aménagement correspondant (construction surélevée)^{A3.1}.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Prise en compte de la pente et de la nature du toit (D)
- Charge d'entretien en fonction de la végétalisation (D)
- Influence sur les toits qui sont principalement en mains privées (D)
- Protection des monuments historiques (C)

Figure 68

Possibilités de toitures végétalisées avec fonction de rétention et leur capacité de refroidissement

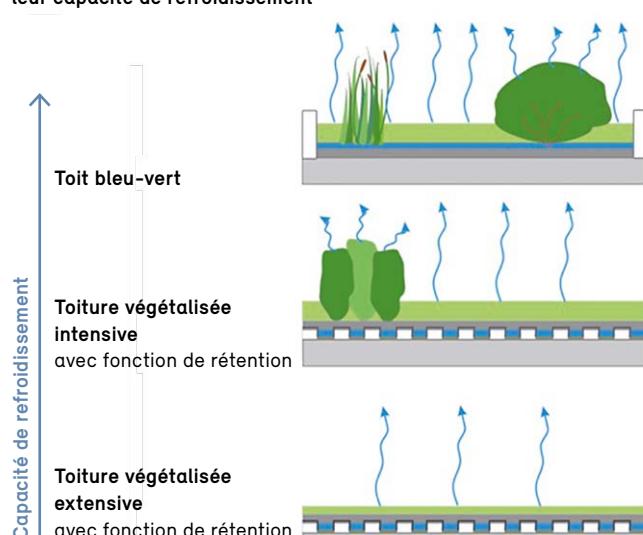


Figure 69

Stratégie de toits végétalisés à Hambourg : vision pour le quartier d'Altona



Stratégie de toits végétalisés à Hambourg et incitations dans les villes suisses

Dans une ville dynamique comme Hambourg, où près de 6000 logements voient le jour chaque année, les idées pour préserver et améliorer les espaces ouverts sont particulièrement demandées. Pour relever ce défi, la ville hanséatique a décidé de miser sur la qualité des espaces ouverts et sur une stratégie ambitieuse visant à végétaliser globalement 100 hectares de toitures ou au moins 70 % des toits plats ou à faible pente jusqu'en 2020 (Fig. 69 et 70). Cette stratégie de toits végétalisés^{A3.14} comprend trois niveaux d'action : l'encouragement, le dialogue et la contrainte. Un programme d'encouragement crée des incitations financières pour les maîtres d'ouvrage. L'échange entre les différents acteurs est encouragé de manière ciblée et les prescriptions légales sont étendues pour développer les toits végétalisés. Le projet est accompagné scientifiquement par l'Université Hafen-City^{A3.13}, qui analyse l'efficacité des toits végétalisés sous l'angle du climat urbain et de l'économie des eaux.

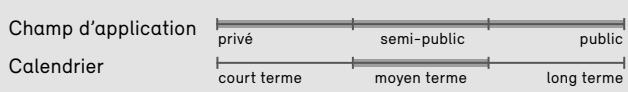
De nombreuses villes suisses poursuivent également des stratégies de végétalisation des toits : Lausanne, par exemple, a recours à des incitations financières^{A4.20} pour stimuler ce développement (Fig. 71). Le canton de Bâle-Ville^{A4.21} ou la ville de Zurich^{A4.21} mettent à disposition des brochures et des listes de contrôle.

Figure 70

Toiture végétalisée intensive au-dessus du garage souterrain de l'Administration de l'environnement et de l'énergie à Hambourg

**Figure 71**

La ville de Lausanne subventionne les toitures végétalisées



M 3.2 Végétaliser les façades

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies

Espaces verts et ouverts

Paysage urbain

Gestion des eaux de pluie

Biodiversité

Air et bruit

Protection du climat

Cliquez ici > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

La verdure verticale possède un grand potentiel de refroidissement dans les espaces urbains. En particulier quand aucune autre structure de verdure n'est possible ou souhaitée en raison de concurrences au niveau des surfaces, la végétalisation des façades revêt une importance capitale pour la régulation thermique.

La végétalisation des façades peut se faire par la terre ou les parois (système). La végétalisation depuis la terre est relativement facile d'entretien. Les plantes grimpantes ont directement leurs racines dans le sol et peuvent aussi bien pousser en s'agrippant à la façade qu'à des structures ou à des cordes. L'irrigation dépend de la qualité du sol et de la quantité des précipitations. La végétalisation contre les parois peut être réalisée de manière horizontale, par exemple dans des bacs, ou de manière verticale, dans des modules remplis d'un substrat. Par rapport à la végétalisation sur sol, elle nécessite plus d'entretien et des dispositifs d'irrigation. Mais elle est en grande partie indépendante du site. Pour maintenir des charges aussi minimales que possible, les substrats choisis ont une capacité de rétention d'eau maximale pour un poids minimal.

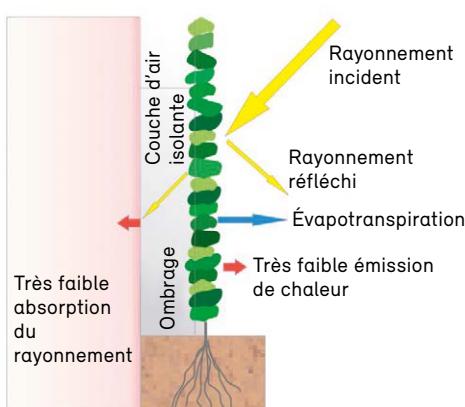
En général, un système d'irrigation par goutte à goutte assure l'irrigation et l'alimentation en nutriments.

Les façades végétalisées sont plus efficaces que les toitures végétalisées en matière de régulation thermique. De plus, il y a potentiellement bien plus de surfaces de façades à disposition. La végétalisation peut avoir un impact positif sur le climat extérieur avoisinant à proximité du sol et sur le climat intérieur du bâtiment : pendant les mois d'été, l'effet d'ombre du feuillage, la couche d'air entre la végétation et la façade ainsi que l'évapotranspiration des feuilles réduisent l'absorption de chaleur du bâtiment. Cela diminue aussi bien le rayonnement thermique dans l'espace urbain voisin que le transfert de chaleur dans l'espace intérieur (Fig. 72). À une distance de 0,6m, on a pu mesurer des baisses de température jusqu'à 1,3 °C pour les façades végétalisées reliées à un système (par rapport à une paroi de référence non végétalisée)^{A4,45}. L'hiver, ces façades font office d'isolation thermique. D'autres synergies découlent de la réduction des immissions sonores et du filtrage des polluants dans l'air.

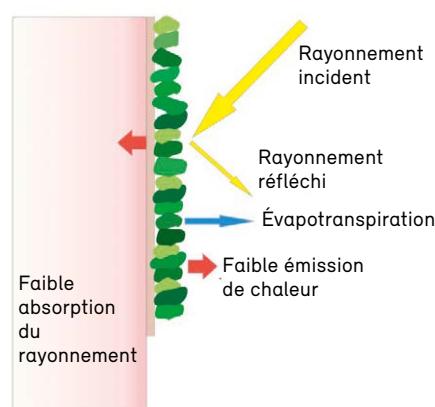
Figure 72

Bilan thermique et de rayonnement sur des façades diversement végétalisées par rapport à une façade non végétalisée

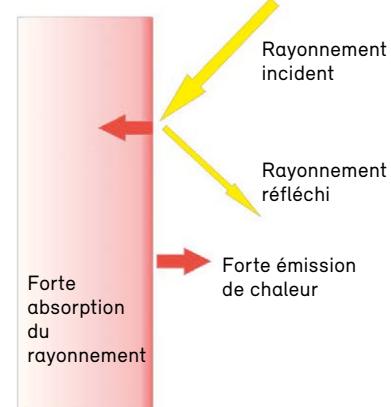
Végétalisation liée au sol



Végétalisation liée à la paroi



Aucune végétalisation



Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Un bon état structurel du mur porteur est nécessaire (D)
- Charge d'entretien en fonction de la végétalisation (D)
- Influence pour la réalisation sur terrain privé (D)
- Solutions non tributaires du sol qui nécessitent beaucoup d'eau pendant les périodes de sécheresse (D, C)
- Protection des monuments historiques (C)

Précurseurs et phares de verdure : 48er-Gebäude à Vienne, Bosco Verticale à Milan

Le service municipal MA48 de l'administration viennoise de l'environnement^{A3.48} a donné le bon exemple : le bâtiment administratif dans le cinquième arrondissement a été doté d'une coûteuse façade végétalisée qui, sur une surface de 850 m² et sur 2850 mètres courants de bacs, accueille près de 17 000 plantes qui sont irriguées par 3000 mètres de tuyaux micro-poreux (Fig. 73). Un vaste controlling fait partie intégrante du projet : des mesures du flux de chaleur sont réalisées toute l'année. L'irrigation commandée par des capteurs indique une consommation de 3600 litres d'eau par jour – un volume qui profite au climat extérieur grâce à l'évaporation, mais qui pourrait aussi conduire à des conflits d'objectifs pendant les périodes de sécheresse^{A4.44}.

Dans les tours résidentielles «Bosco Verticale»^{A4.46} à Milan, une stratégie de végétalisation ambitieuse a été intégrée sur toute la hauteur, de respectivement 80 et 110 mètres, des tours : les plantes utilisées à cet effet (800 arbres, 20 000 arbustes) poussent dans des cuves en béton sur les balcons et les terrasses. L'évolution à long terme est suivie avec intérêt (Fig. 74).

Sur le terrain du Service des espaces verts, la ville de Zurich teste différents systèmes de végétalisation verticale^{A4.40} qui seront utilisés par la suite pour les bâtiments administratifs (Fig. 75).

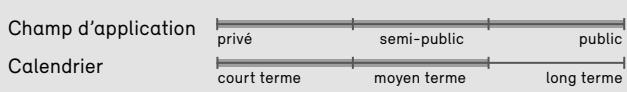
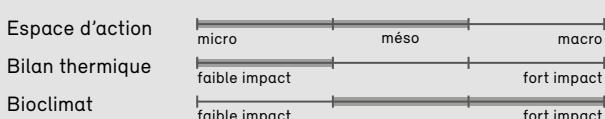
Fig. 73: Façade végétalisée du «48er-Gebäude» à Vienne



Fig. 74: Tours résidentielles avec «forêt verticale» à Milan



Fig. 75: Zones expérimentales sur le terrain du Service des espaces verts à Zurich



M 4.1 Aménager les surfaces extérieures au regard d'une optimisation thermique

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



Cliquez *ici* > pour voir les explications (aide à la lecture des fiches) quant aux symboles ci-dessus.

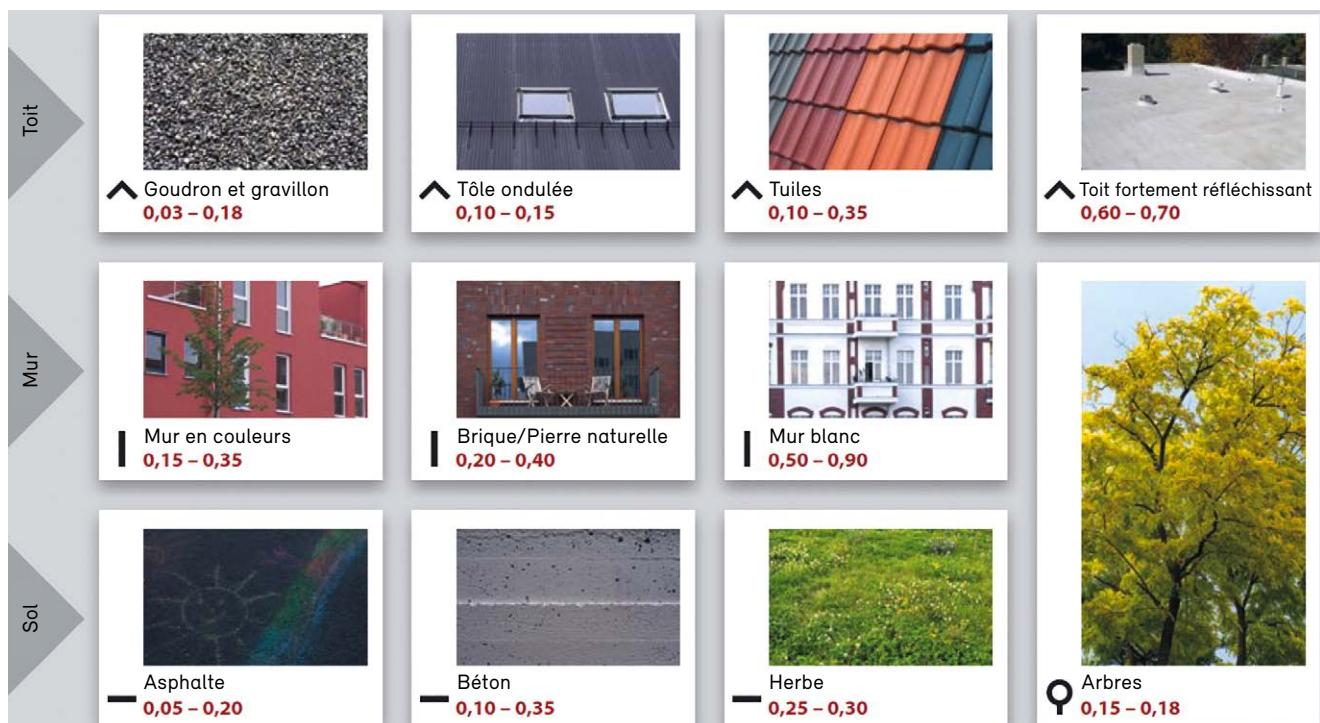
L'utilisation de matériaux naturels et de couleurs claires dans la conception des surfaces permet d'augmenter la réflexion et de diminuer l'absorption d'énergie. Dans l'ensemble, cela réduit considérablement la tendance aux chaleurs excessives.

L'espace urbain se caractérise largement par des surfaces imperméables telles que routes, places, façades et toits. En plus de l'imperméabilisation, les matériaux sombres contribuent à la formation d'îlots de chaleur. L'utilisation de matériaux avec une forte réflectivité

(albédo), une forte capacité thermique spécifique et une faible conductivité thermique joue ainsi un rôle clé dans un développement urbain adapté à la chaleur. Des matériaux comme le bois ou la pierre naturelle se réchauffent beaucoup moins, par exemple, que l'asphalte ou le métal et sont donc bien adaptés pour les surfaces (Fig. 80). L'effet positif peut être renforcé par la désimperméabilisation et la végétalisation.

Malgré tous ces avantages, des surfaces trop réfléchissantes peuvent aussi éblouir pendant la journée et

Fig. 80 : Valeurs d'albédo de différentes surfaces^{A3.2}



se réchauffer plus rapidement en raison d'une réflexion multiple. Compte tenu des conditions locales, un mélange de plusieurs matériaux avec différents degrés de clarté peut être le choix le plus pertinent.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur l'aménagement des surfaces sur terrain privé (D)
- Éviter l'éblouissement et le réchauffement par la réflexion multiple (D)
- Aspects de la protection des monuments historiques tels que la conception historique et les revêtements (C)

Surfaces expérimentales à Kobe, rues blanches à Los Angeles et Espace des Remparts à Sion : les surfaces déterminent le confort thermique

L'importance de la conception des surfaces et du choix des matériaux est indéniable : des revêtements différents provoquent de fortes variations des températures superficielles, comme des thermographies d'un parking expérimental à Kobe ont pu le démontrer (Fig. 81). Lors d'interventions sur le bâti, des mesures pragmatiques aident aussi à réduire la chaleur. Depuis des années, des programmes d'action sont menés un peu partout dans le monde pour repeindre en blanc des toitures de couleur sombre. Los Angeles va même encore plus loin : depuis mai 2017, à titre expérimental, la ville repeint ses rues à l'aide d'un enduit réfléchissant de couleur claire (Fig. 82). Les premières évaluations sont prometteuses. Selon les autorités américaines de l'environnement, la diminution de la température dans une ville pourrait atteindre jusqu'à 0,6 °C si 35 % de toutes les rues étaient recouvertes d'un enduit réfléchissant.

Dans le cadre du projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30}, le parking imperméabilisé de l'Espace des Remparts a pu être transformé en une place publique attractive et adaptée à la chaleur. De l'importance a été attachée aussi bien à un revêtement perméable et clair qu'aux arbres et à l'eau pour lutter contre la chaleur (Fig. 83).

Fig. 81 : Température en fonction du matériau de surface. Parking expérimental à Kobe. Mesure à 21h

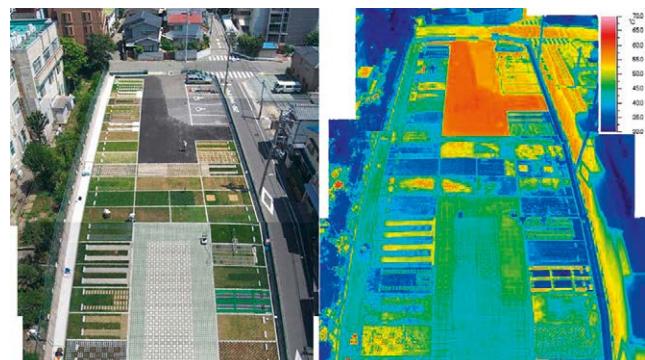


Fig. 82 : Repeindre une rue avec un enduit réfléchissant permet de réduire la chaleur qu'elle restitue – Le projet pilote « Cool Pavement » à Los Angeles



Fig. 83 : Projet pilote ACCLIMATASION à Sion
Désimperméabilisation et conception superficielle adaptée au climat – l'Espace des Remparts avant et après la transformation.

