



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE



ILS L'ONT FAIT

Des solutions pour rafraîchir les villes
S'inspirer d'expériences dans le monde
selon la variabilité des climats d'aujourd'hui
et de demain

SOMMAIRE

Des solutions pour rafraîchir les villes S'inspirer d'expériences dans le monde selon la variabilité des climats d'aujourd'hui et de demain

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : ADEME : Elodie BRICHE

Conseils techniques : ADEME : Muriel DESGEORGES, AFD : Samuel LEFÈVRE

Rédacteurs : ADEME : Olga WEIL FLACHAT, Elodie BRICHE

Rellecteurs : TRIBU : Marie LEROY-THOMAS, Héloïse MARIE
ADEME : Aurélie BERNARD, Elodie BRICHE, David CANAL, Vincent CHAUSSERIE-
LAPREE, Christelle CLAMAN, Pierre DEROUBAIX, Muriel DESGEORGES, Solène
MARRY, Philippe MASSET, Marie-Pierre MEILLAN, Céline PHILLIPS, Johan
RANSQUIN, Jérôme ROCH, Ariane ROZO, Hélène SABATHIÉ AKONOR, Daniela
SANNA, Alicia TSITSIKALIS
AFD : Gabriel CHARASSE, Aurélie GHUELDRE, Samuel LEFÈVRE, Benoit MAUDUIT,
Matthieu MORANDO, Bertrand REYSSET, Oulfa SENNANI, Cédric VAUTIER

Crédits photo : indiqués sur chaque photo

Création graphique : TRIBU : Héloïse MARIE

Brochure réf. 011597

ISBN : 9791029718588
Novembre 2021

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, Novembre 2021

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Co-édito	4
Introduction	6
Chapitre 1. Rafraîchir les villes pour s'adapter au changement climatique	8
Les enjeux	9
Temporalités et spatialités des projets de rafraîchissement urbain	16
Cobénéfices des solutions de rafraîchissement urbain	20
Chapitre 2. Les solutions de rafraîchissement urbain	22
Classification des solutions	23
Les solutions vertes	26
Les solutions bleues	28
Les solutions grises	30
L'architecture bioclimatique	32
Chapitre 3. 16 retours d'expérience dans le climat actuel et futur	34
Le jardin participatif de Pli Bèl Jaden, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France	39
L'écoquartier Cœur de Gripon, Morne-à-l'Eau, Guadeloupe, France	43
La micro-forêt urbaine Miyawaki de Srirangam, Inde	47
Le collège bioclimatique de Bouéni, Mayotte, France	51
La ZAC Cœur de Ville à La Possession, La Réunion, France	55
Le lycée Mermoz de Dakar, Sénégal	59
Les toitures blanches d'Ahmedabad, Inde	63
La ville blanche de Tétouan, Maroc	67
L'éco-cité Zenata, Maroc	71
La renaturation des Aygalades, Marseille, France	75
Les chaussées blanches à Los Angeles, USA	79
La stratégie de rafraîchissement à Penrith, Australie	83
Les berges du Barigüi, Curitiba, Brésil	87
La ZAC Pirmil-Les-Isles, Nantes, France	91
L'école durable « A la croisée des chemins », Bruxelles, Belgique	95
La végétalisation multi-échelles, Montréal, Québec, Canada	99
Conclusion	104
Glossaire	106
Bibliographie	108

Dans un monde où le réchauffement climatique global a déjà atteint +1°C en moyenne, les villes sont amenées – et le seront encore davantage suivant les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) – à faire face à de nombreux impacts. Ils se constatent à l'issue d'une lente évolution qui fait reculer le trait de côte sur de nombreux continents, se matérialisent par des inondations parfois dévastatrices, ou encore par des épisodes caniculaires de plus en plus fréquents et intenses, au préjudice du bien-être et de la santé des populations, des infrastructures urbaines et des perspectives de développement des territoires.

Dans ce contexte, les villes, qui concentrent plus de la moitié de la population mondiale et qui accueilleront, en 2030, 60% des citoyens, s'affirment comme le creuset de la transition écologique pour démontrer qu'un nouveau modèle de développement bas-carbone et résilient est possible. Elles représentent déjà un formidable vivier d'innovations et de ressources pour atténuer et s'adapter aux dérèglements du climat.

C'est pourquoi le financement de l'adaptation et de la résilience des villes constitue une priorité dans de nombreuses régions pour permettre notamment des actions de rafraîchissement urbain efficaces et pérennes sur les plans énergétiques et environnementaux.

Cette recherche concomitante de solutions techniques et de financement au bénéfice de l'adaptation des villes conduit l'AFD et l'ADEME à intensifier leur coopération pour renforcer les connaissances et le partage d'expériences, comme l'illustre ce recueil sur les solutions de rafraîchissement urbain à l'international.

Arnaud LEROY,
Directeur de l'ADEME



Rémy RIOUX,
Directeur de l'AFD



L'Agence française de développement (AFD) et l'Agence de la transition écologique (ADEME), collaborent de longue date en renforçant leurs synergies pour faire de la transition écologique un levier de développement et de résilience pour les territoires.

A cet effet, le groupe Agence française de développement, déterminé à contribuer à la mise en œuvre de l'Accord de Paris, s'engage auprès des villes des pays du Sud et des territoires ultramarins français. En 2020, plus de 750 millions d'euros de nouveaux financements ont été dédiés aux villes durables dans les pays en développement, dont près de 250 millions en faveur de la résilience des villes.

L'AFD a ainsi continuellement rehaussé son ambition et ses interventions en faveur de l'adaptation au changement climatique, multipliant par quatre ses financements entre 2016 et 2020, car les besoins immenses nécessitent la mobilisation de l'ensemble des acteurs du financement du développement, au premier rang desquelles les banques publiques de développement. C'était l'objet du Sommet Finance en Commun, labellisé par la COP 26, qui a réuni en novembre 2020, pour la toute première fois et à l'initiative de l'AFD et du club IDFC, l'ensemble des 450 banques publiques de développement du monde. Cette coalition, qui représente au total 10% de l'investissement mondial, porte l'espoir d'une amplification des investissements pour embarquer tous les acteurs, dont ceux du secteur privé, au service de nos villes.

A l'échelle européenne et internationale, l'ADEME porte quant à elle une expertise reconnue et multisectorielle sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique. Sur tous les fronts de la transition écologique, elle mobilise les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, pour leur donner les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse..

En particulier, l'action de l'ADEME sur l'urbanisme durable, porte à la fois sur la planification urbaine et l'aménagement opérationnel, pour contribuer à la montée en compétences des acteurs de la fabrique urbaine et à l'émergence d'opérations expérimentales.

En matière de rafraîchissement urbain, l'ADEME apporte son expertise technique avec l'objectif de faciliter le passage à l'action par l'amélioration des connaissances sur l'efficacité des solutions disponibles, la mise à disposition de guides et outils d'aide à la décision et le partage de retours d'expérience.

Le partenariat entre l'ADEME et l'AFD est ainsi porteur d'une dynamique collective permettant de partager et d'enrichir le savoir-faire des villes pour mieux les outiller face au rôle qu'elles portent pour répondre aux enjeux urgents du changement climatique.

INTRODUCTION

Le changement climatique est de plus en plus central dans les transformations et la gestion des territoires, en particulier des territoires urbains.

La hausse globale des températures et l'intensification des aléas climatiques extrêmes, tels que les **canicules*** (en intensité, durée et fréquence) auxquelles s'ajoute l'effet d'îlot de chaleur urbain, rendent les villes, leurs infrastructures et leurs populations, particulièrement **vulnérables***.

Les villes, qui concentrent une population toujours plus nombreuse, tentent de lutter contre la surchauffe urbaine afin de maintenir ou améliorer les conditions de vie tout en réduisant leur empreinte écologique. Ces dernières années, plusieurs études internationales ont été réalisées et de nombreuses solutions de rafraîchissement urbain ont été testées.

Ce recueil vient compléter les publications de l'ADEME sur le rafraîchissement urbain en présentant des retours d'expérience à l'international, issus de projets d'aménagement remarquables, dans des zones géographiques et climatiques variées du monde.



Collège de Bouéni, Mayotte, France
©LEU Réunion

Si les solutions ici présentées n'ont pas vocation à dresser un tableau exhaustif et disposent de marges d'amélioration, ce recueil met à disposition des acteurs de l'aménagement et de la fabrique de la ville et du cadre bâti, des solutions opérationnelles, adaptées à différents contextes climatiques et présentant des potentiels de rafraîchissement urbain avérés.

Les retours d'expérience portent sur des projets à des échelles spatiales variées - du bâtiment à la ville - inscrits dans des temporalités également diverses - du court au long terme. Chaque projet est détaillé au regard des enseignements pour d'autres territoires ainsi que des cobénéfices engendrés.

Ce recueil permet ainsi aux concepteurs et aux aménageurs de la ville d'appréhender le déploiement de solutions de rafraîchissement urbain en fonction des types de climat présents et à venir, ainsi que de mettre en place des stratégies en termes d'adaptation de leur territoire aux effets du changement climatique.

.. Pour aller plus loin

[ADEME \(2021\) : Rafraîchir les villes : des solutions variées. Collection Ils l'ont fait, Réf. 011441, 80p.](#)

[ADEME \(juin 2020\) Lettre ADEME Recherche sur le rafraîchissement urbain, Réf. 011053, 6p.](#)

[ADEME \(2020\) : Fiche Outils et ressources « Végétaliser : Agir pour le rafraîchissement urbain. Les approches variées de 20 projets d'aménagement » Collection Ils l'ont fait, Réf. 011157, 44p.](#)

[ADEME \(2020\) Projets de recherche APR. Modeval-Urba : RECRE, Mesh-2C, etc. Réf. 011187 3p.](#)

[ADEME \(2018\) L'arbre en milieu urbain, acteur du climat en région Hauts-de-France. Réf. 8747, 36 p.](#)

[ADEME \(2018\) Aménager avec la nature en ville, Collection Expertises, Réf. 010658, 100p.](#)

[ADEME \(2017\) Rafraîchissement des villes : de quelles connaissances avons-nous besoin ? Etat des lieux des connaissances sur le rafraîchissement urbain. Collection Expertises, 42 p.](#)

[ADEME \(2017\) Surchauffe urbaine : recueil de méthodes de diagnostic et d'expériences territoriales. Collection Ils l'ont fait. Réf. 010307, 50 p.](#)

[ADEME \(2017\) Actions d'adaptation au changement climatique. 33 fiches. Collection Ils l'ont fait. Réf. 010260, 132 p.](#)

CHAPITRE 1

Rafrâichir les villes pour s'adapter au changement climatique

Cette première partie donne les clés de lecture de ce recueil international de retours d'expérience en matière de rafraîchissement urbain. Elle rappelle la définition du phénomène de surchauffe urbaine, les contributions des solutions de rafraîchissement à l'adaptation au changement climatique, ainsi que les échelles spatiales et temporelles étudiées pour les retours d'expérience.

Les enjeux

Rappel des définitions

L'**îlot de chaleur urbain (ICU)*** est la différence de température observée entre un site urbain et un site rural environnant. Ces différences de températures, davantage marquées la nuit, sont fortement corrélées à la densité, aux formes urbaines et aux matériaux employés pour les bâtiments et les espaces publics. L'ICU est principalement observé la nuit où le refroidissement nocturne est moindre en ville que dans la campagne environnante où la végétation est plus abondante. Par exemple, cela se traduit par des différences nocturnes de l'ordre de 2 à 3°C en moyenne annuelle entre Paris et les zones rurales et arborées alentour (Météo-France, 2013). L'ICU est une caractéristique du climat urbain qui peut s'observer dans chaque ville du monde.

La **surchauffe urbaine*** englobe à la fois le phénomène d'ICU et l'inconfort thermique des citadins en journée, lors de fortes chaleurs. La surchauffe urbaine s'exprime en effet de jour comme de nuit et à toutes les échelles : de la ville jusqu'à l'individu (ADEME, 2017). Cette surchauffe urbaine peut avoir des conséquences sur la santé des usagers de la ville, en particulier sur les personnes sensibles comme les enfants, les personnes âgées, etc.

Le rafraîchissement urbain, levier majeur d'adaptation des villes au changement climatique

Le rafraîchissement est un levier majeur pour les villes dans un contexte de changement climatique et notamment d'intensification des canicules (Ademe, 2020). Les collectivités s'engagent de manière croissante, et ce partout dans le monde, dans la mise en œuvre de projets d'aménagement en lien avec la transition écologique des villes.

La prise en compte de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique dans les documents de planification et dans les projets d'aménagement opérationnel reste néanmoins sommaire partout dans

le monde. Les collectivités s'interrogent sur ce phénomène de surchauffe urbaine et mettent en œuvre des solutions de rafraîchissement dont certaines contribuent à l'adaptation au changement climatique. En effet, les retours d'expérience présentés dans le recueil montrent que les solutions vertes mises en œuvre sont des **Solutions d'Adaptation fondées sur la Nature (SAfN)***.

Les territoires s'adaptent aux effets du changement climatique en limitant leurs vulnérabilités. L'aménagement est un levier d'adaptation aux **risques climatiques*** tels que les inondations, qui peuvent évoluer avec le climat futur. À titre d'exemple, l'aménagement des berges d'un cours d'eau peut à la fois lutter contre le risque d'inondation et également contribuer au rafraîchissement urbain actuel et futur.

Certaines solutions sont mises en place rapidement pour pallier à l'urgence climatique et ne sont pas forcément réfléchies en termes de durabilité, en cohérence avec les temporalités climatiques. Par exemple, le recours massif au végétal peut être dans certains cas contradictoire avec l'augmentation des périodes de sécheresse et la raréfaction de la ressource en eau.

L'objectif de ce recueil est de présenter différents types de solutions : vertes, bleues, et grises, en prenant en considération la variabilité climatique du globe ainsi que les échelles spatiales et temporelles des projets et des territoires en cours de transformation.

Comprendre la classification des climats de Köppen-Geiger

La classification climatique de Köppen-Geiger* utilisée dans ce recueil est une représentation simplifiée des principaux « paysages climatiques » (Hufty, 2001), correspondant aux cinq principales couvertures végétales du monde. Cette représentation des types de climat est aujourd'hui universelle grâce à ses mises à jour fréquentes.

Elle repose essentiellement sur une combinaison de deux facteurs climatiques qui déterminent la répartition de la végétation : la température de l'air et la quantité d'eau disponible (Beltrando et Chéméry, 1995).

Elle permet de dresser une typologie des climats répartis en 5 grandes zones thermiques désignées par des lettres majuscules :

A - tropicale sans saison froide (forêt équatoriale, savanes),
B - aride et subaride (déserts, steppes),
C - tempérée : les climats des latitudes moyennes avec des hivers froids,
D - continentale : climats des latitudes moyennes avec des hivers très rudes
E - polaire avec des climats sans véritable saison chaude (toundra) ou gel permanent (Beltrando et Chéméry, 1995).

Les zones C et D sont subdivisées en fonction des caractéristiques thermiques de l'été plus ou moins chaud. En effet, il s'agit de montrer que cette classification permet de différencier des climats de types méditerranéen (Cs) à sécheresse estivale de climats subtropicaux à pluies d'été (Cw).

Un climat considéré, selon cette classification, est repéré par un code de deux ou trois lettres : la première indique le type de climat, la deuxième indique le régime pluviométrique et la troisième indique les variations de températures.

Dans ce recueil, cette classification permet de donner un panorama des solutions de rafraîchissement urbain dans les différentes zones climatiques du globe. Elle ne met néanmoins pas en évidence les spécificités telles que la topographie, les vents, etc. du climat local environnant pour chaque projet d'aménagement urbain ici présenté.

Le tableau propose une classification des principaux climats (Hufty, 2001)

tm : température minimale
tM : température maximale

zones thermiques		précipitations			
		toute l'année	en été	en hiver	insuffisantes
chaude	tm > 18°C	Af	Aw	As	B
tempérée	tM > 10°C -3°C < tm < 18°C	Cf	Cw	Cs	B
continentale	tM > 10°C tm < -3°C	Df	Dw	Ds	B
froide	0°C > tM > 10°C	ET			
glaciaire	tM < 0°C	EF			

Classification des climats selon Köppen-Geiger

	chaud	été chaud (a)	été tempéré (b)	été court et frais (c)	hiver très froid (d)	froid
Tropical (A)						
Climat équatorial pluie toute l'année (f)	Af					
Climat de mousson courte saison sèche (m)	Am					
Climat de savane pluie l'été, hiver sec (w)	Aw					
Climat de savane pluie l'hiver, été sec (s)	As					
Désertique						
Climat désertique pluies très faibles (W)	BWh					BWk
Climat de steppe semi-aride (S)	BSh					BSk
Tempéré (C)						
Climat méditerranéen pluie l'hiver, été sec (s)	Csa	Csb	Csc			
Climat océanique / subtropical pluie toute l'année (f)	Cfa	Cfb	Cfc			
Climat subtropical de mousson ou d'altitude pluie l'été, hiver sec (w)	Cwa	Cwb	Cwc			
Continental (D)						
pluie l'hiver, été sec (s)	Dsa	Dsb	Dsc	Dsd		
pluie toute l'année (f)	Dfa	Dfb	Dfc	Dfd		
pluie l'été, hiver sec (w)	Dwa	Dwb	Dwc	Dwd		
Polaire (E)						
Climat de Toundra						ET
Climat glacial						EF

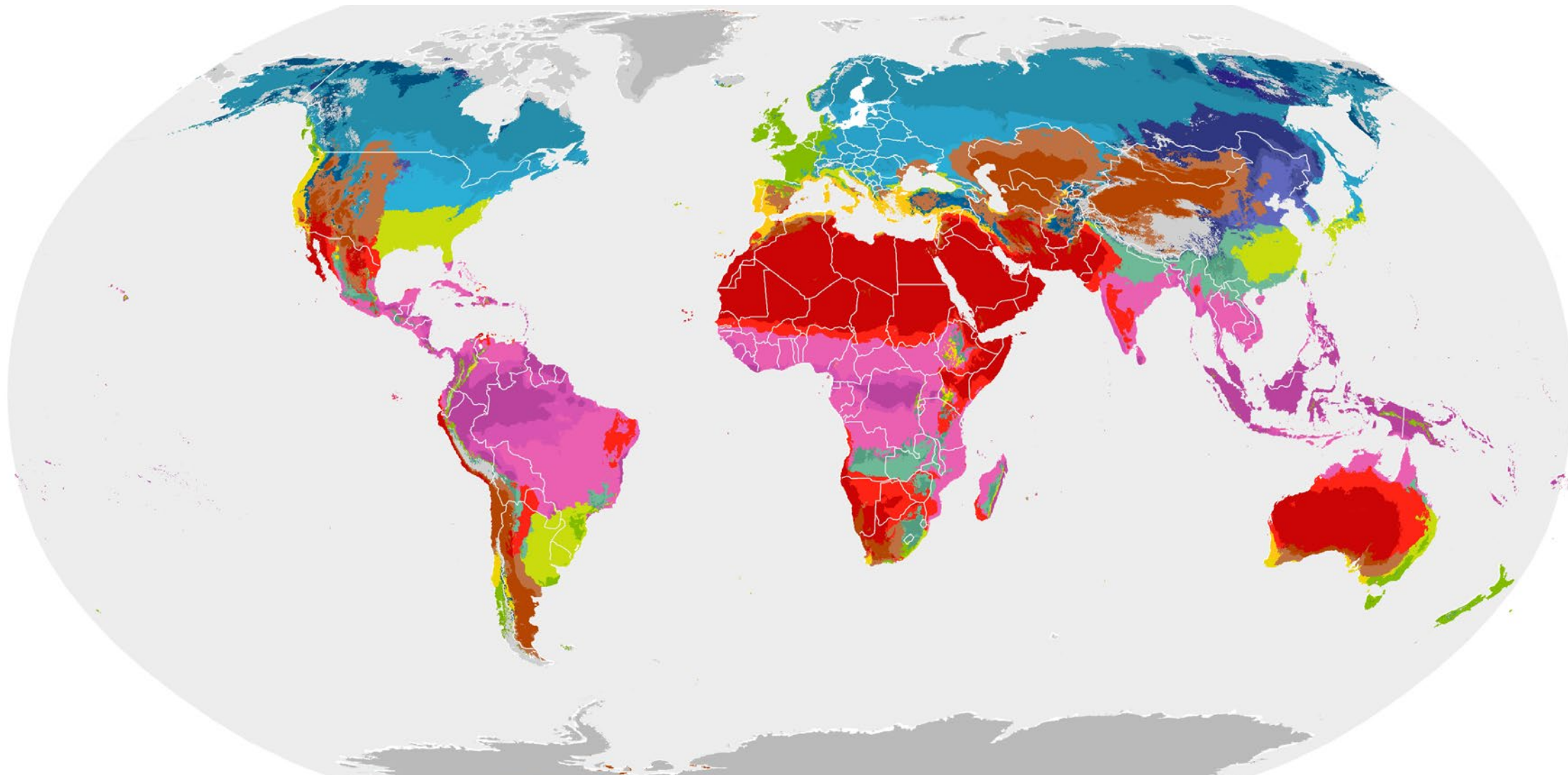
Le climat actuel

La classification climatique de Köppen-Geiger de l'ensemble des territoires du globe a été déclinée pour le climat actuel et futur. (Beck *et al.*, 2018.)

La carte du climat actuel est issue d'un ensemble de cartes climatiques à haute résolution (10 km) et topographiquement corrigées. La carte du climat futur en page suivante est obtenue à partir d'un ensemble de modèles climatiques représentant le scénario **RCP 8.5*** (le plus pessimiste).

Tropical		Tempéré			Polaire	
Af	équatorial	Csa	Csb	Csc	méditerranéen	ET toundra
Am	mousson	Cfa	Cfb	Cfc	océanique	EF glacial
Aw	savane	Cwa	Cwb	Cwc	subtropical	
As						
Désertique		Continental				
BWh	BWk	Dsa	Dsb	Dsc	Dsd	été sec
BSh	BSk	Dfa	Dfb	Dfc	Dfd	pluie toute l'année
		Dwa	Dwb	Dwc	Dwd	hiver sec

1980 - 2016



Le climat futur

La hausse des températures est une tendance avérée du changement climatique avec une augmentation de 2,5 à 5,5°C de la température moyenne de la surface terrestre d'ici 2100, selon le scénario le plus pessimiste du **GIEC***, RCP 8.5. Un glissement d'aires des types de climat vers des types de climat plus chauds est observé :

- En Afrique avec une remontée vers le nord des types de climat BSh et BWh,
- Dans le nord de l'hémisphère nord, le climat Dfb s'étire vers le nord et l'est,
- En Méditerranée, la limite des climats

dit méditerranéens remonte vers le nord et plus à l'intérieur des terres : au Sud de l'Espagne, le climat désertique apparaît,

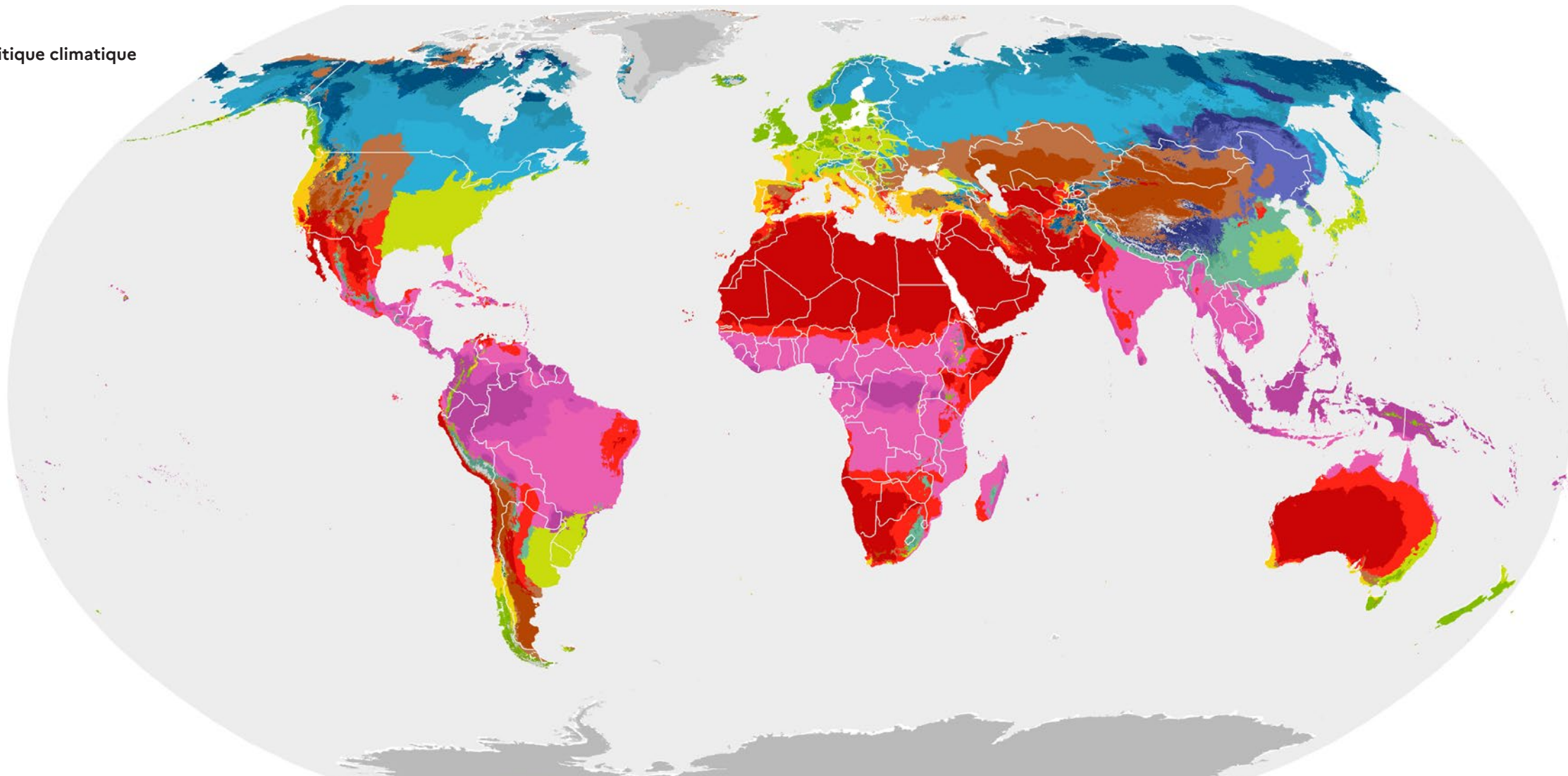
- En France, la variabilité des types de climat s'étoffe avec des types de climat tempérés plus secs sur la façade occidentale,
- En Arctique, le climat arctique se réduit sur les bordures du continent pour faire place au climat polaire de toundra.

Plus généralement, une extension des zones d'aridité est observée, ainsi que des climats chauds.

Tropical		Tempéré				Polaire	
Af	équatorial	Csa	Csb	Csc	méditerranéen	ET	toundra
Am	mousson	Cfa	Cfb	Cfc	océanique	EF	glacial
Aw	savane	Cwa	Cwb	Cwc	subtropical		
As							
Désertique		Continental					
BWh	BWk	Dsa	Dsb	Dsc	Dsd	été sec	
BSh	BSk	Dfa	Dfb	Dfc	Dfd	pluie toute l'année	
		Dwa	Dwb	Dwc	Dwd	hiver sec	

2071 - 2100

scénario sans politique climatique
RCP 8.5





Temporalités et spatialités des projets de rafraîchissement urbain

Ce recueil présente seize retours d'expérience de solutions de rafraîchissement urbain déployés à des échelles spatiales, temporelles variées et dans une diversité de contextes climatiques.

Les temporalités de mise en œuvre des projets

Les retours d'expérience présentés dans ce recueil réunissent des projets aux temporalités d'exécution variées.

La temporalité « court terme » correspond ainsi aux projets dont les solutions de rafraîchissement peuvent être mises en place à un horizon temporel proche, de manière assez facile, voire peu onéreuse. On parle alors de « *Quick, Light, Cheap* » ou « Rapide, Léger, Peu cher ». Les délais se comptent ici en jours ou en semaines. C'est le cas du recours aux revêtements à albédo élevé, de la plantation de végétaux à une échelle fine ou encore de l'installation de protections solaires sur un bâtiment.

Voir fiches [Ahmedabad](#) [Montréal](#) [Los Angeles](#)

La temporalité « moyen terme » correspond à des solutions dont la conception, l'installation et la mise en service est plus complexe et requiert davantage de temps. C'est le cas notamment de l'aménagement de plans d'eau, de la désimperméabilisation des sols à l'échelle des espaces publics ou de la mise en place de groupes d'habitant(e)s pour favoriser les initiatives citoyennes. Les délais se comptent ici en mois.

Voir fiches [Nantes](#) [Dakar](#) [Pointe-à-Pitre](#)

Enfin, la temporalité « long terme » correspond aux projets dont la mise en place requiert plusieurs années. Il s'agit notamment des grands projets d'aménagement urbain, des Zones d'Aménagement Concerté (ZAC) en France par exemple, de la

valorisation de traditions vernaculaires ou du développement d'arbres matures dans la ville.

Voir fiches [La Possession](#) [Tétouan](#) [Zenata](#)

Les échelles spatio-temporelles de la ville et du climat

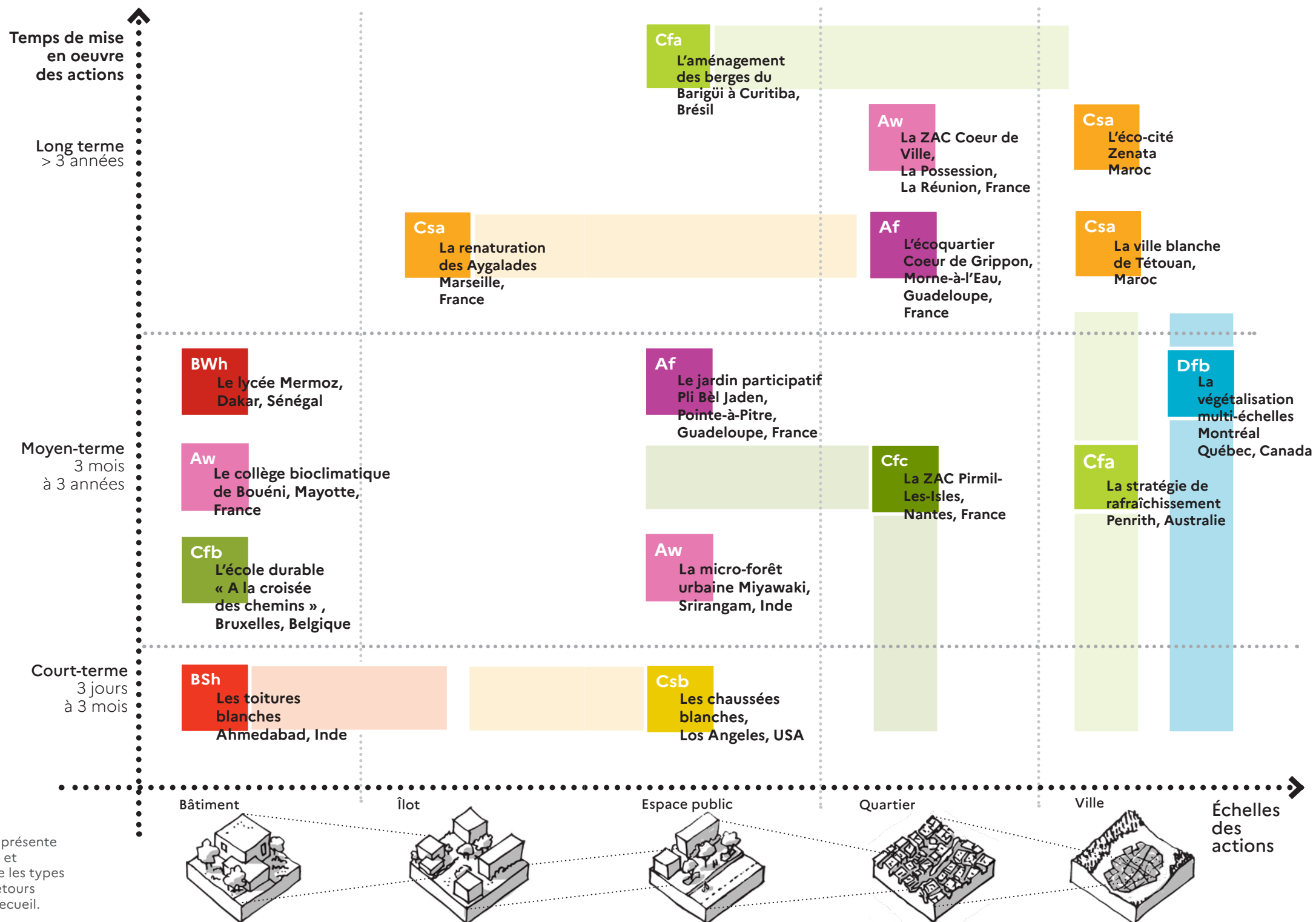
Les retours d'expérience présentent des projets aux échelles spatio-temporelles variées. Sont ainsi présentés des projets d'aménagement mettant en œuvre des solutions de rafraîchissement urbain à l'échelle de la ville entière, des quartiers, des **espaces publics***, des **îlots***, des bâtiments. Par exemple, les projets de végétalisation s'appliquent aux façades et aux toits des bâtiments jusqu'au verdissement des rues et au développement de grandes infrastructures vertes.

Voir fiches [Penrith](#) [Montréal](#)

Les solutions de rafraîchissement sont également tributaires des zones climatiques dans lesquelles elles sont déployées.

Le schéma ci-après présente la variété d'échelles spatiales, temporelles et des types de climat des seize retours d'expérience présentés dans ce recueil.

Échelles d'application, temps de mise en oeuvre et type de climat des retours d'expérience



Le schéma ci-contre présente les échelles spatiales et temporelles ainsi que les types climatiques des 16 retours d'expérience de ce recueil.

Cobénéfices des solutions de rafraîchissement urbain

L'objectif de la mise en place de solutions de rafraîchissement urbain dans les projets d'aménagement est de parvenir à faire évoluer nos villes pour qu'elles soient plus sobres et adaptées au changement climatique.

Ce recueil identifie les cobénéfices ou « externalités positives » de chaque opération pour le rafraîchissement urbain. Les solutions de rafraîchissement mises en œuvre au sein des retours d'expérience présentés comportent en effet des bénéfices multiples pour le système urbain dans sa globalité comme la biodiversité, l'atténuation du changement climatique, le renforcement du lien social, la gestion des risques.

Les **Objectifs du Développement Durable (ODD)*** identifiés par l'ONU dans son Agenda 2030 sont des cibles à atteindre pour permettre un développement mondial harmonieux. En tant qu'objectifs liés au développement, au **bien-être***, à la sauvegarde de la biodiversité, à la justice sociale et économique etc., ils matérialisent plusieurs cobénéfices des dispositifs de rafraîchissement de ce recueil.

Les six ODD encadrés sont entrevus au sein des retours d'expérience lorsque les cobénéfices sont abordés.

OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

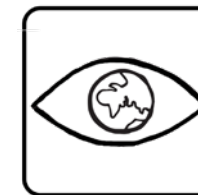


Les solutions utilisées dans les retours d'expérience de ce recueil ont de nombreux cobénéfices dans les domaines du développement durable. Les six principaux cobénéfices sont présentés ici :



Bonne santé et bien-être

Le cadre de vie des urbains et leur santé sont améliorés par les aménagements qualitatifs générés par la lutte contre la surchauffe.



Lutte contre le changement climatique

Les aménagements urbains pour l'adaptation des villes aux effets du changement climatique permettent également dans certains cas de renforcer la neutralité carbone et d'agir pour l'atténuation.



Production et consommation responsables

La gestion durable des sols, le développement d'une agriculture urbaine et/ou pédagogique sont vectrices de comportements vertueux de consommation et de production.



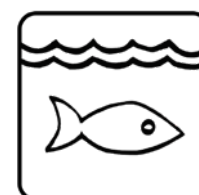
Villes et communautés durables

Certains aménagements présentés dans le recueil invitent au renforcement des communautés locales, au développement des processus de participation citoyenne et au renforcement du lien social. L'utilisation rationnelle des ressources, de l'adaptation aux effets des changements climatiques et de leur atténuation et de la résilience face aux catastrophes sont également des objectifs à atteindre.



Vie terrestre

La prise en compte des enjeux de biodiversité dans certains projets d'aménagement présentés dans ce recueil permet d'agir pour la vie aquatique et la vie terrestre.



Vie aquatique

CHAPITRE 2

Les solutions de rafraîchissement urbain



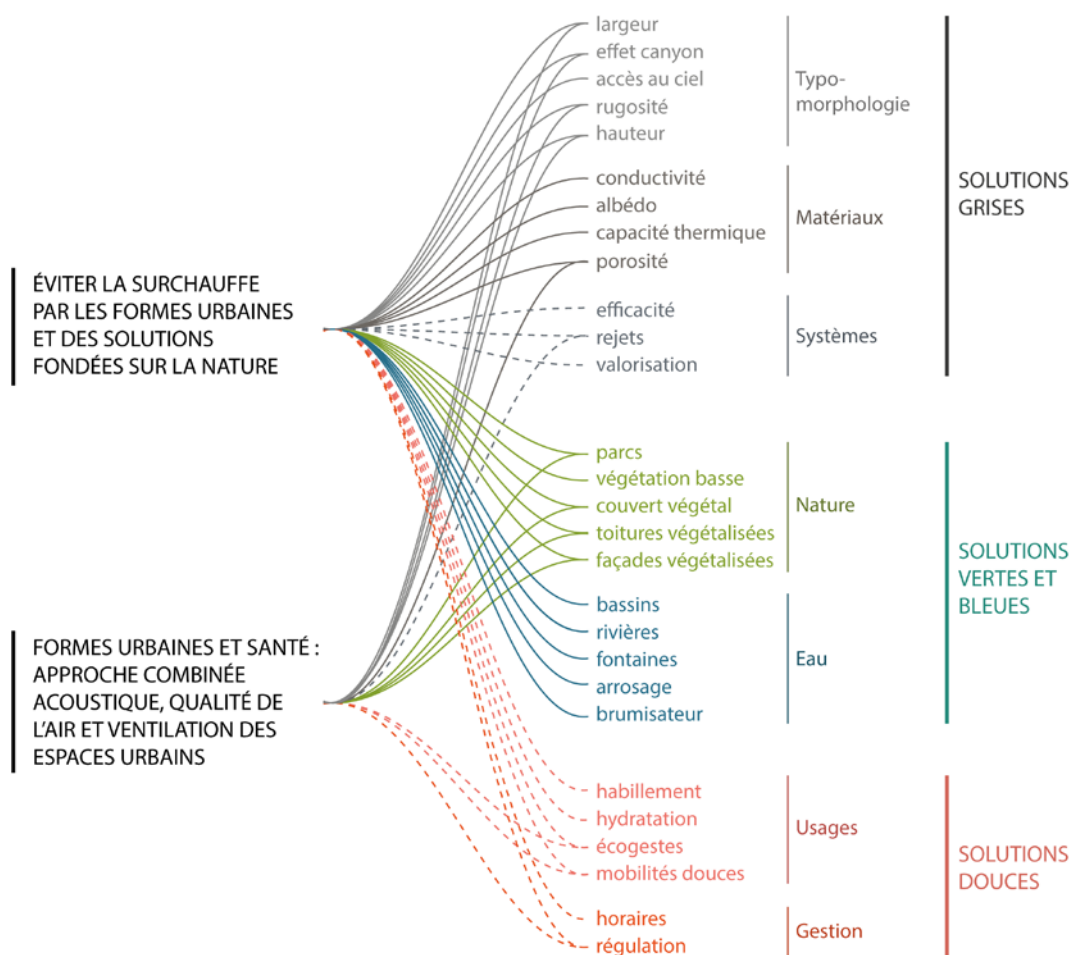
ZAC Cœur de Ville
La Possession,
La Réunion
© EU Réunion

Classification des solutions

Selon l'Agence Européenne de l'environnement (AEE), la grande variété de solutions rafraîchissantes existantes peut être classée de la façon suivante (classification de 2013):

- Les solutions vertes et bleues ;
- Les solutions grises ;
- Les solutions douces : elles désignent l'accompagnement des changements de comportement, d'usages et de pratiques de l'humain en ville (non développées ici).

Ces solutions invitent à mener une réflexion sur leur utilisation optimale à travers le monde en fonction notamment des diversités climatiques. Leur efficacité dépend en effet grandement des contextes climatiques, géographiques et topographiques dans lesquels elles sont implantées. Certains dispositifs rafraîchissants reconnus comme efficaces dans les zones tempérées ne sont ainsi pas adaptés dans des territoires au climat plus chaud et aride.



Classification des leviers de réponse aux enjeux de confort thermique et santé dans l'espace urbain. La figure propose une représentation graphique des solutions de rafraîchissement urbain connues aujourd'hui, réparties entre solutions grises, vertes et bleues, et douces.
Source : Franck Boutté Consultants

Classification des solutions

L'exemple le plus courant est celui de la végétalisation, dont le potentiel rafraîchissant permis par le phénomène d'évapotranspiration est maximisé par la présence d'eau. Cette solution n'est pas adaptée aux climats arides, car elle nécessiterait un apport artificiel en eau coûteux en ressources. L'adaptation des solutions de rafraîchissement à chaque territoire est également déterminée par les conditions climatiques futures. Le réchauffement et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes comme les canicules estivales et les sécheresses rendront cette solution de rafraîchissement obsolète sur beaucoup de territoires.

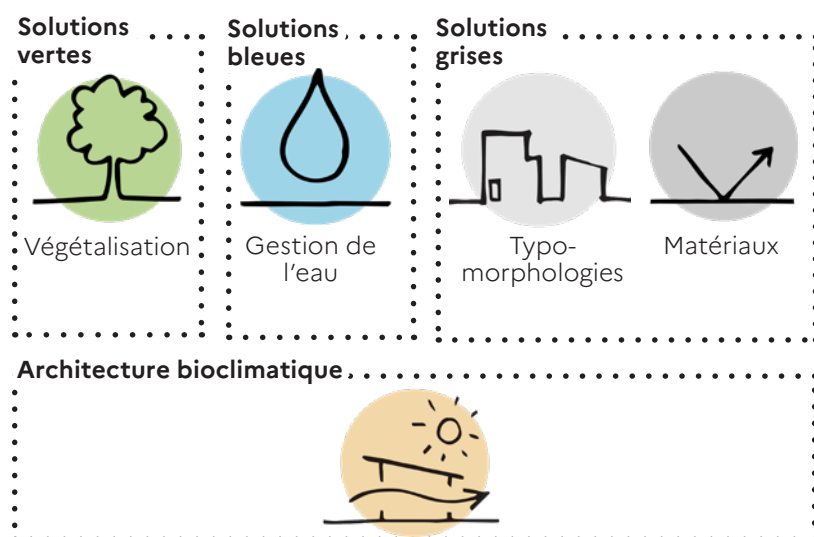
Dans un objectif de rafraîchissement urbain et d'adaptation des villes aux effets du changement climatique, les projets doivent prendre en compte à la fois les conditions climatiques actuelles mais aussi les projections futures du climat.

Certaines solutions de rafraîchissement telles que la végétalisation s'appuient ainsi sur des services rendus par les écosystèmes. Dans ce but, elles combinent des actions

de protection, de gestion et de restauration des écosystèmes. Répondant à la fois à des enjeux d'adaptation au changement climatique et de préservation de la biodiversité, ces solutions sont qualifiées de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN). Elles présentent la particularité d'apporter d'autres cobénéfices : bien-être, séquestration du carbone, etc.

Ce recueil présente des retours d'expérience d'aménagements urbains pour le rafraîchissement qui reposent sur trois types de ces solutions : les solutions vertes de végétalisation, les solutions bleues de gestion de l'eau en ville, et les solutions grises d'action sur les matériaux et d'étude de la **typo-morphologie*** des villes.

L'**architecture bioclimatique*** est ici considérée comme une solution transverse aux trois précédentes, qui invoque des solutions vertes, bleues et grises.



A gauche, les classes de solutions de rafraîchissement utilisées dans ce recueil.

Sur la page de droite, les différentes solutions mobilisées dans chaque retour d'expérience.

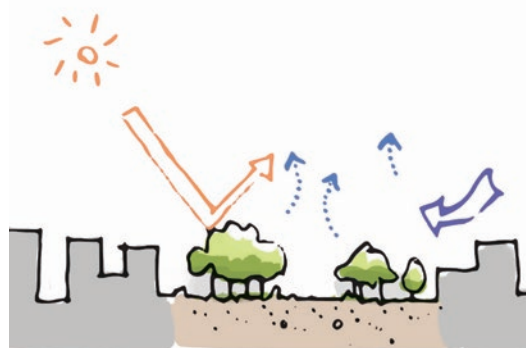
	Solutions vertes	Solutions bleues	Typo-morphologie	Matériaux	Architecture bioclimatique
Le jardin participatif de Pli Bèl Jaden, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France	●	●			
L'écoquartier Coeur de Grippon, Morne-à-l'Eau, Guadeloupe, France	●	●			
La micro-forêt urbaine Miyawaki, Srirangam, Inde	●				
Le collège bioclimatique de Bouéni, Mayotte, France	●	●	●		●
La ZAC Coeur de Ville, La Possession, La Réunion, France	●	●	●	●	
Le lycée Mermoz, Dakar, Sénégal	●		●	●	●
Les toitures blanches d'Ahmedabad, Inde				●	
La ville blanche de Tétouan, Maroc			●	●	●
L'éco-cité Zenata, Maroc	●	●	●		●
La renaturation des Aygalades, Marseille, France	●	●			
Les chaussées blanches, Los Angeles, USA				●	
La stratégie de rafraîchissement de Penrith, Australie	●	●			●
L'aménagement des berges du Barigüi, Curitiba, Brésil	●	●	●	●	
La ZAC Pirmil-Les-Isles, Nantes, France	●	●	●		
L'école durable « A la croisée des chemins », Bruxelles, Belgique	●	●	●		●
La végétalisation multi-échelles, Montréal, Québec, Canada	●	●		●	



Les solutions vertes

Potentiel rafraîchissant

La végétalisation est une solution de rafraîchissement régulièrement utilisée dans les projets d'aménagement urbain. Elle fonctionne grâce à l'action conjointe de deux phénomènes : **l'évapotranspiration*** et l'ombrage.



Mécanismes physiques en jeu : évapotranspiration, ombrage, absorption du rayonnement solaire
©TRIBU/ADEME

L'évapotranspiration désigne un phénomène physique de changement d'état de l'eau liquide présente dans les végétaux, qui s'évapore au contact de l'air en passant par les feuilles et le sol. Ce phénomène de changement d'état entraîne la diminution de la température ambiante. Un arbre mature peut transpirer jusqu'à 450 litres par jour (Johnston et Newton, 2004). L'ombrage offert par les végétaux permet quant à lui de créer des espaces de fraîcheur pour les urbains, puisque la canopée capte entre 60 et 98% de l'énergie solaire (Giguère, 2009). Couplé au rafraîchissement créé par l'évapotranspiration, il a un effet bénéfique sur le confort thermique et sur la diminution de la température ambiante.

La combinaison de différentes strates de végétation maximise le potentiel rafraîchissant et diversifie les cobénéfices pour la biodiversité. On peut par exemple considérer la combinaison de trois strates végétales : herbacée, arbustive et arborée, qui agiront en synergie pour le rafraîchissement.

Points forts et points de vigilance

La végétalisation des espaces urbains est une solution très intéressante puisque, outre sa qualité d'agrément des villes, elle permet de nombreux cobénéfices. On retrouve parmi eux l'augmentation du bien-être des urbains (Reeves-Latour, 2017) et des effets bénéfiques sur leur santé (Beaudoin et Levasseur, 2017), la sauvegarde de la biodiversité (Clergeau, 2018), la séquestration du carbone et la limitation de la pollution avec la filtration de près de 85% des particules polluantes dans l'atmosphère (Johnston et Newton, 2004).

Tous ces cobénéfices confèrent à la végétalisation une place importante dans les opérations d'aménagement.

Il faut cependant conserver une vigilance quant à l'opportunité de son application dans les différents contextes climatiques. Le type de climat, actuel comme futur, a un impact important sur la capacité des végétaux à se développer et à résister. De plus, les plantes les plus résistantes aux épisodes de sécheresse sont les moins efficaces dans la lutte contre la surchauffe urbaine, puisqu'elles transpirent peu. C'est par exemple le cas des plantes grasses, particulièrement résistantes aux climats chauds et arides puisqu'elles stockent l'eau et transpirent très peu. Il s'agit alors de bien déterminer les essences plantées afin de garantir leur survie et leur bon développement pour les années à venir. L'état des sols enfin, est un paramètre déterminant du succès d'une opération de végétalisation, car il ne permet pas toujours aux végétaux d'absorber les nutriments nécessaires à leur croissance.

Solutions vertes présentées dans l'ouvrage

Il existe différentes modalités de végétalisation des espaces urbains qui permettent de combattre l'effet d'îlot de chaleur.



© Ville de Montréal

La plantation d'arbres seuls, en alignement, sous forme de (micro)-forêts urbaines, dans les parcs publics et les jardins privés...

[Voir fiches](#)

[Montréal](#) [Penrith](#) [Nantes](#)
[Bruxelles](#) [Srirangam](#)



©Atelier Odyssee

L'agriculture urbaine, qui permet le rafraîchissement grâce à l'introduction du végétal, la renaturation et la désimperméabilisation des sols

[Voir fiches](#)

[Pointe-à-Pitre](#) [La Possession](#)
[Bruxelles](#)



© Danica Kus

La végétalisation des sols, qui est une manière de lutter contre l'imperméabilisation des sols pour favoriser l'évapotranspiration

[Voir fiches](#)

[Nantes](#) [Pointe-à-Pitre](#)
[Montréal](#) [Bruxelles](#)

Pour aller plus loin

• ARBOCLIMAT est un outil de prospective et d'aide à la décision pour la plantation d'arbres dans la ville développé par l'ADEME et la région Hauts-de-France. Il permet de calculer les services écosystémiques rendus par chaque essence, ainsi que l'impact carbone des projets de plantation. Le choix final des essences est influencé par leur potentiel rafraîchissant et de lutte contre les ICU, de résilience face aux effets du changement climatique, de lutte contre la pollution atmosphérique et de l'intérêt pour la biodiversité.

• Cet outil va prochainement basculer au format *open source* et une communauté d'acteurs sera créée afin d'élargir toujours plus le choix des essences et les fonctionnalités de l'outil.

• A noter enfin qu'ARBOClimat est complémentaire de l'outil Sésame du Cerema. Si le premier permet d'avoir une vision globale du projet, le second permet d'approfondir davantage le choix des essences.

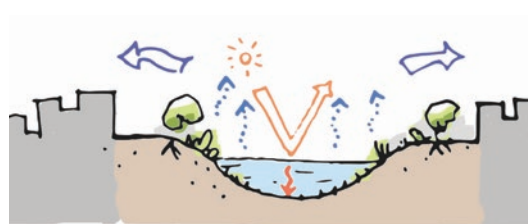
• [ADEME \(2018\) L'arbre en milieu urbain](#)



Les solutions bleues

Potentiel rafraîchissant

La gestion de l'eau en ville, ou hydrologie urbaine, constitue un ensemble de solutions au fort potentiel rafraîchissant. Le cycle naturel de l'eau est perturbé par les activités anthropiques, et notamment par l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols. Il s'agit alors de réintroduire ce cycle dans nos espaces urbains, pour permettre le phénomène d'évaporation responsable de l'effet rafraîchissant.



Mécanismes physiques en jeu : évaporation, vents, absorption du rayonnement solaire
©TRIBU/ADEME

Au contact des rayonnements solaires, l'eau liquide présente dans les cours d'eau, les plans d'eau, les fontaines et les sols se vaporise. L'énergie consommée durant ce changement d'état fait baisser la température ambiante (Volker et al., 2013). L'effet rafraîchissant est ressenti aux abords des espaces aquatiques, c'est pourquoi il est intéressant d'aménager ou de réhabiliter leurs rives afin de permettre aux urbains de fréquenter ces espaces frais (ASTEE, 2020).

Le rafraîchissement permis par la (ré) introduction de l'eau dans la ville est parfois un objectif secondaire des opérations urbaines. Les aménagements de gestion du risque inondation par exemple, sont susceptibles d'avoir pour cobénéfice un effet sur le rafraîchissement.

Points forts et points de vigilance

Comme la végétalisation, la présence d'eau en ville est vectrice de nombreux cobénéfices liés à la qualité des espaces. De plus, les solutions bleues se conjuguent aux solutions vertes et grises de manière intéressante : la présence d'eau encourage l'évapotranspiration des végétaux, l'arrosage des surfaces de voirie est une méthode japonaise ancestrale de rafraîchissement (Solcerova et al., 2018), et le potentiel rafraîchissant de la ventilation naturelle est maximisé par la présence de masses d'eau. L'utilisation de solutions bleues pour rafraîchir la ville est cependant grandement conditionnée au contexte hydro-climatique de chaque territoire. Si le potentiel rafraîchissant de l'eau est élevé dans les villes au climat sec, son utilisation est coûteuse en ressources. Le recours à un apport d'eau extérieur doit être limité, et la valorisation de l'existant encouragée. La présence naturelle de cours d'eau et la proximité du littoral sont également des facteurs déterminants. Enfin, il est important de noter les risques sanitaires liés à la présence d'étendues d'eau stagnante qui peuvent être vectrices de maladies et d'espèces nuisibles, comme le moustique tigre (GRAIE, 2013).

Solutions bleues présentées dans l'ouvrage

Parmi le panel de solutions rafraîchissantes liées à la gestion de l'eau en ville, cet ouvrage présente :



©Agence BASE

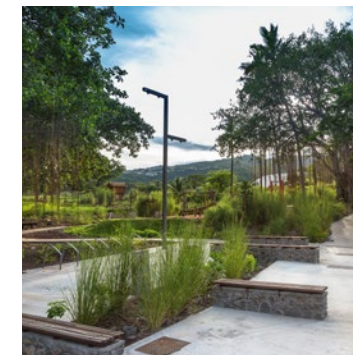
La réhabilitation des berges de cours d'eau et des fronts de mer

Voir fiches

Nantes **Curitiba** **Zenata**
Morne-à-l'eau **Marseille**

L'ouverture et la remise à ciel ouvert des cours d'eau voir

Voir fiche **Marseille**



©LEU La Réunion

Les opérations de désimperméabilisation des sols : dépavage, installation de pavés drainants, construction de noues...

Voir fiches

Nantes **Bruxelles**
Pointe-à-Pitre



©Klaas Verdrum

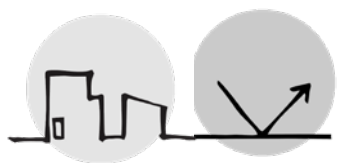
L'utilisation bioclimatique de l'eau pour améliorer le confort thermique : fontaines, jeux d'eau...

Voir fiches

Bruxelles **Tétouan**

Pour aller plus loin

La démarche TACCT (Trajectoires d'Adaptation au Changement Climatique des Territoires) développée par l'ADEME accompagne les territoires dans leur stratégie d'adaptation au changement climatique. Elle offre un guide méthodologique et un outil pour chaque étape, depuis le diagnostic des vulnérabilités du territoire au suivi des mesures. Elle permet de choisir des solutions rafraîchissantes adaptées à chaque territoire et de les séquencer dans le temps afin d'anticiper les évolutions climatiques futures.

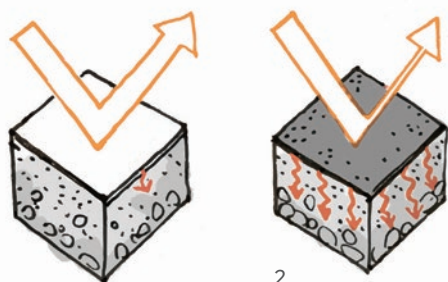


Les solutions grises

typo-morphologies et matériaux

Potentiel rafraîchissant

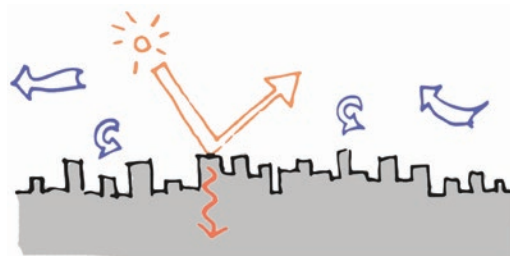
Les solutions grises pour le rafraîchissement urbain regroupent l'action sur les matériaux utilisés dans la construction de la voirie et des bâtiments, ainsi que les questions de typo-morphologie (l'analyse des formes urbaines, de la trame viaire, des volumes et de l'implantation du bâti... (ADEUS, 2014)). Les matériaux utilisés dans les villes sont en grande partie responsables du phénomène d'ICU. Dans nombre de villes modernes, les revêtements des routes sont noirs et asphaltés, et les toitures couvertes de matériaux sombres (Gilbert *et al*, 2017). Le comportement des matériaux dépend de leurs propriétés thermiques et de leur couleur. En cas de forte **émissivité***, ils peuvent contribuer à augmenter significativement les températures ambiantes, notamment la nuit (Akbari *et al*, 2009). Dans un objectif de rafraîchissement, il s'agit alors d'étudier les propriétés des matériaux face au soleil. **L'albédo*** est un premier indicateur incontournable. Il correspond à la part d'énergie solaire réfléchi vers l'espace quand elle atteint une surface. Plus il est élevé, plus la surface est réfléchissante, moins elle absorbe de rayonnement solaire et moins elle émet de chaleur.



1 Le revêtement «cool» (1) renvoie le rayonnement solaire (albédo élevé) et l'asphalte (2) absorbe le rayonnement solaire (albédo faible).
©TRIBU/ADEME

L'organisation de l'espace urbain bâti et non-bâti, et l'étude de la typo-morphologie, ont un impact sur la température des villes. La densité des volumes bâtis et leur distribution sur la trame viaire peuvent bloquer la circulation de l'air, entraînant des **effets canyon*** et la surchauffe des rues. En

adoptant une réflexion multi-scalaire afin d'imbriquer les échelles de l'aménagement du territoire, de la ville, du quartier et de chaque îlot, il est possible d'agir pour le rafraîchissement de la ville (Akbari, 1999). Il s'agit alors d'étudier l'orientation de la trame viaire pour favoriser la ventilation naturelle de la ville, et protéger les rues d'un trop fort ensoleillement.



Mécanismes physiques en jeu : ombrage, piégeage du rayonnement solaire, vents
©TRIBU/ADEME

Points de vigilance

Agir sur la typo-morphologie des villes et sur les matériaux utilisés pour leur construction peut s'avérer délicat. Dans les pays grandement urbanisés, la ville de demain est déjà construite en grande partie, et il est difficile d'agir dessus. Il est en revanche possible d'agir sur les revêtements pour améliorer les propriétés thermiques des matériaux.

Il est possible d'installer des solutions grises pour le rafraîchissement dans tous les types de climat, même si leur efficacité varie légèrement en fonction du contexte. La ventilation facilitée par les formes urbaines par exemple est grandement conditionnée par l'existence de brises naturelles, la présence de masses végétales et de plans d'eau. Les revêtements frais, à albédo élevé, sont quant à eux, efficaces dans les villes au climat chaud et à fort ensoleillement.

Enfin, l'aménagement qui modifie les typo-morphologies et les matériaux des villes n'est pas anodin pour leur apparence. Le changement de couleur des surfaces notamment peut avoir un impact esthétique important, ainsi que sur le confort visuel des urbains. Les surfaces non-horizontales peuvent réfléchir les rayonnements solaires

sur d'autres surfaces de la ville, et ainsi uniquement déplacer le problème. La question des usages des espaces traités par les revêtements frais notamment est primordiale. Les grands parkings urbains qui ne sont pas utilisés en continu, comme les parkings de zones commerciales, stades ou centres des congrès sont des candidats idéaux (Chester *et al*, 2015). En revanche, le revêtement blanc des espaces publics

fréquentés par des piéton(ne)s peut induire des effets pervers. Outre l'éblouissement mentionné plus tôt, il peut diminuer le confort thermique en augmentant la température corporelle des passants. Ces derniers absorbent en effet les rayonnements réfléchis par le sol. (Middel et Turner, 2020).

Les solutions grises présentées dans l'ouvrage

L'utilisation de matériaux et revêtements pour le rafraîchissement urbain peut prendre plusieurs formes :

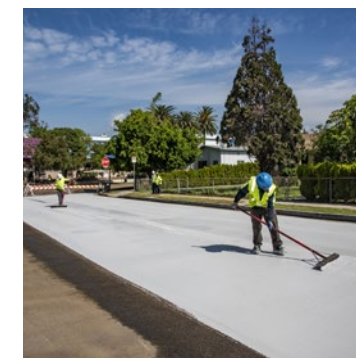


©L Backer/ Shutterstock.com

Les toitures blanches, à albédo élevé ou «cool roofs»

Voir fiches

Ahmedabad Penrith



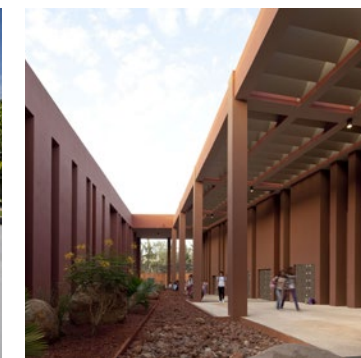
Los Angeles ©LA City

Les revêtements à l'albédo élevé sur les voiries ou «cool pavements»

Voir fiche Los Angeles

L'utilisation de matériaux à forte **inertie thermique*** dans les bâtiments

Voir fiches Dakar Tétouan



Lycée à Dakar ©Daniel Rousselot

L'utilisation de la typomorphologie à des fins rafraîchissantes passe également par plusieurs canaux :

- L'action sur les **trames aérodynamiques*** et sur l'emprise au sol pour favoriser la circulation de l'air à l'échelle de l'îlot

Voir fiches La Possession Zenata Bruxelles Bouéni

- L'action sur l'orientation de la trame viaire pour protéger de l'ensoleillement

Voir fiches

Dakar Tétouan La Possession Zenata

• **Pour aller plus loin.**
• Le projet MESH-2C (Morphology, Environment, Sustainability and Human comfort – City Climate) s'inscrit dans la continuité du projet MESH (APR MODEVAL URBA 2019/2020) qui a abouti au développement de méthodologies d'optimisation multicritères des îlots urbains en phase de conception et poursuit ses ambitions, en proposant de se focaliser plus spécifiquement sur la problématique de la résilience climatique des milieux urbains.
•



L'architecture bioclimatique

solution transversale

Potentiel rafraîchissant

L'architecture bioclimatique est une solution transverse, qui permet de traiter le confort d'été grâce à l'action conjointe de solutions vertes, bleues et grises à l'échelle du bâtiment et des espaces urbains proches. Souvent inspirée des procédés climatiques de l'architecture vernaculaire, elle permet de tirer parti des conditions climatiques locales pour améliorer le confort thermique (Supic, 1994). Elle utilise des solutions grises liées à la morphologie pour favoriser la ventilation naturelle des espaces intérieurs et extérieurs et évacuer les masses d'air chaud, ainsi que pour créer de l'ombrage (les coursives extérieures par exemple permettent cette double action de ventilation et d'ombrage).



Le recours aux solutions vertes de végétalisation des espaces, et aux solutions bleues d'introduction de l'eau dans les bâtiments et aux alentours, favorise également le rafraîchissement. Les solutions bioclimatiques traditionnelles sont dites **passives***, en ce qu'elles ne requièrent pas beaucoup d'énergie et de ressources non renouvelables, favorisant ainsi un rafraîchissement sobre. Elles permettent d'éviter ou de limiter le recours à la climatisation.

Points de vigilance

Les principes d'architecture bioclimatique sont très intéressants puisqu'ils permettent de conjuguer les potentiels rafraîchissants de chaque type de solution. Ils s'inspirent souvent de traditions anciennes adaptées aux climats locaux. Cependant, les solutions passives demandent une certaine vigilance pour les usagers des bâtiments, qui doivent agir pour assurer leur efficacité en phase d'exploitation du bâtiment.

Bien qu'opportune durant les épisodes de forte chaleur, l'architecture bioclimatique rafraîchissante peut entraîner en hiver dans les pays aux climats plus froids des surconsommations énergétiques (Amritanshu et Sharma, 2020). L'architecture vernaculaire est précisément adaptée au type de climat au sein duquel elle s'est développée, et il est difficilement envisageable de l'exporter dans d'autres territoires.

Enfin, la plupart des systèmes bioclimatiques d'ombrage des bâtiments permettent une amélioration ponctuelle du confort thermique. S'ils sont végétalisés, ils présentent également l'avantage de refroidir l'air grâce au phénomène d'évapotranspiration.

Solutions présentées dans l'ouvrage

De nombreuses solutions bioclimatiques peuvent être mises en place dans les bâtiments. Parmi celles présentées dans cet ouvrage se trouvent :

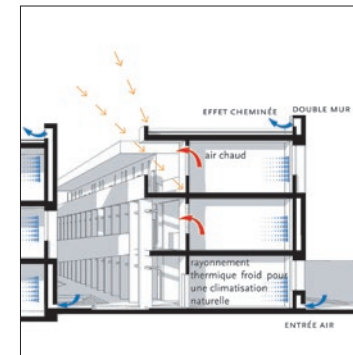


Collège Bouéni ©LEU Réunion

La protection des bâtiments au soleil grâce à des systèmes d'ombrage fixes ou mobiles : volets, pergolas, brise-soleils, structures d'ombrage végétalisées...

Voir fiches

[Dakar](#) [Tétouan](#) [Bruxelles](#)
[Bouéni](#) [La Possession](#)



Lycée de Dakar ©Terreneuve

La dissipation des masses d'air chaud et la circulation de l'air frais grâce à des systèmes de coursives, de zones tampon à l'entrée des bâtiments, de patios végétalisés, de fontaines, de hauteur de plafond, de percées en haut des murs, de jalousies, de moucharabiehs, de pilotis...

Voir fiches

[Dakar](#) [Tétouan](#) [Bouéni](#)



École, Bruxelles ©Simon Schmitte

La minimisation des pertes thermiques grâce à des systèmes d'isolation : double paroi, triple vitrage, matériaux à forte inertie thermique...

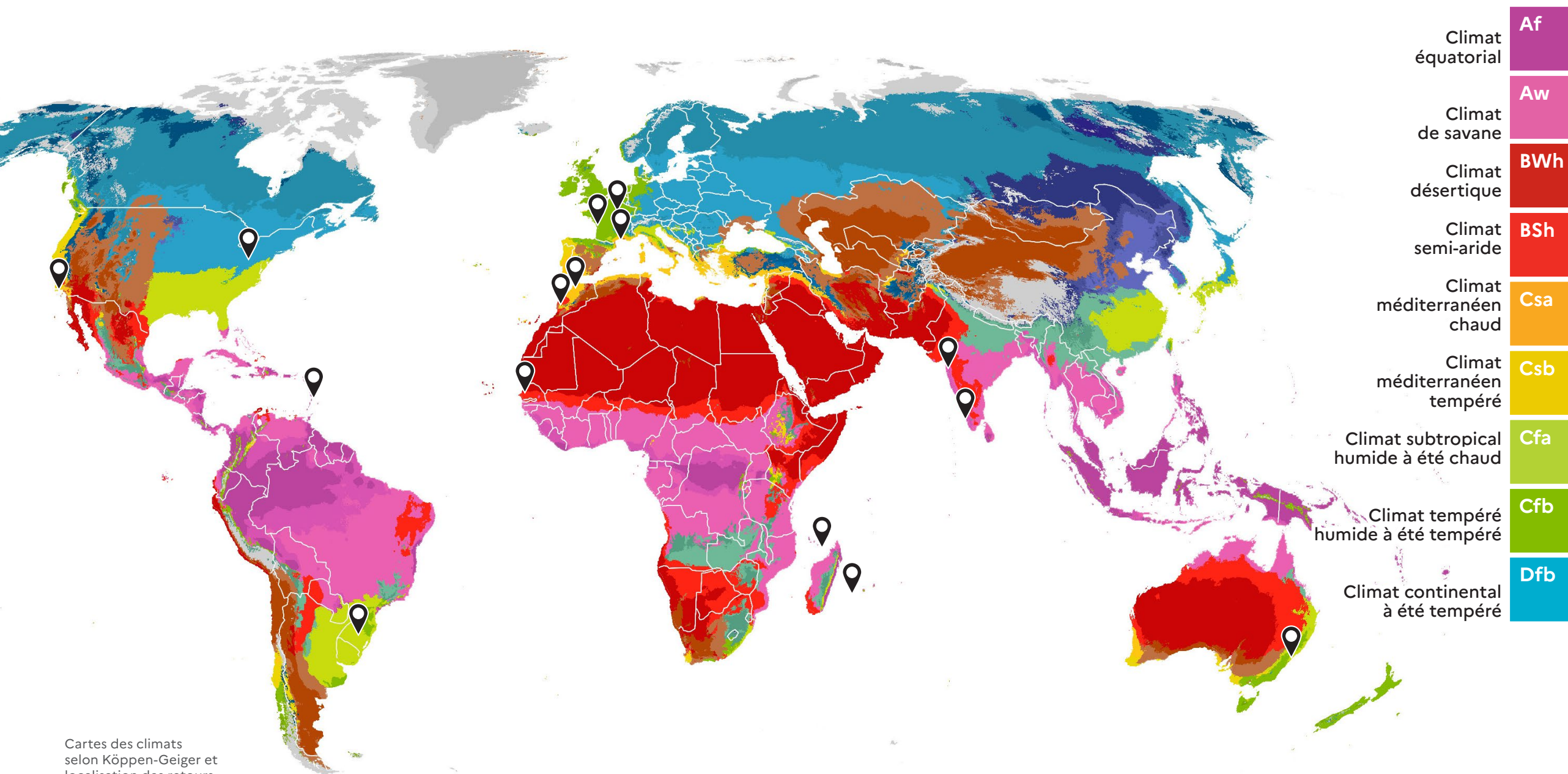
Voir fiches

[Dakar](#) [Tétouan](#) [Bruxelles](#)
[Bouéni](#)

• **Pour aller plus loin.**
• (ADEME, 2019) [Le bâtiment en milieu tropical. Un réseau au service de la conception durable](#), Réf 010727, 6p.
• Des témoignages d'experts de pays à climat tropical à travers le monde, qui visent à promouvoir les principes de conception architecturale adaptée au climat, et d'imaginer comment adapter les principes bioclimatiques de l'architecture vernaculaire aux standards architecturaux actuels.
•

CHAPITRE 3

16 retours d'expérience dans le climat actuel...



...et dans le climat futur

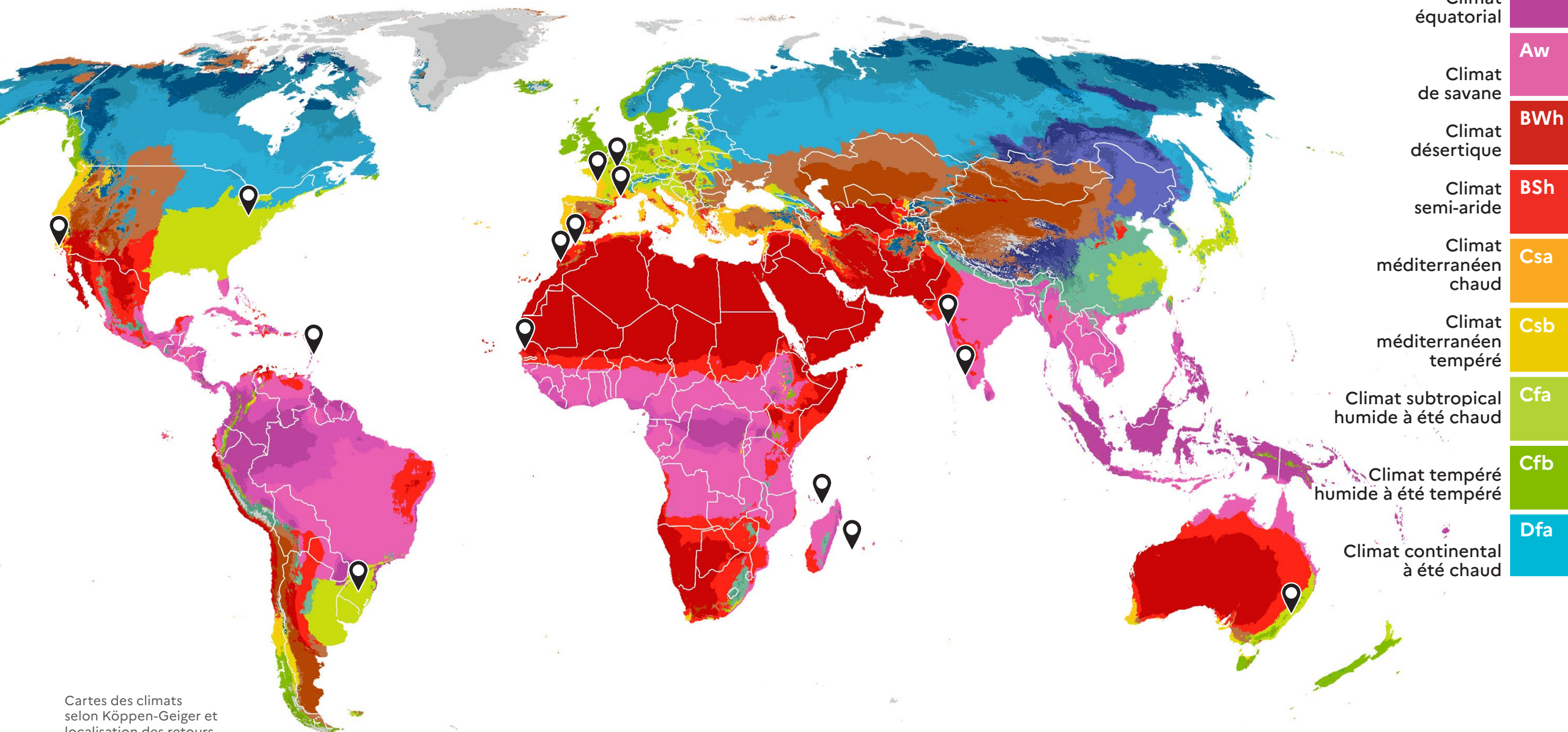
Pour ces 16 retours d'expérience, avec le scénario sans politique climatique (RCP 8.5), à l'horizon 2100, le type de climat actuel (2018) pourrait évoluer vers un type de climat plus chaud, et généralement avec des étés plus chauds et secs pour 8 retours d'expérience : (Montréal, Marseille, Zenata, Nantes, Bruxelles, Curitiba, Los Angeles). En effet, les climats de la zone tempérée sont les plus

touchés par une évolution vers des climats plus chauds, avec des étés plus secs. Ceci s'explique en partie par l'augmentation des canicules et sécheresses estivales annoncées par le GIEC (2021) dans le futur. C'est justement ces extrêmes climatiques qui pourraient mettre en péril certaines solutions de rafraîchissement, notamment celles liées à la végétation comme au parc des Ayalades à

Marseille ou la ZAC de Nantes, car se posent les questions d'adaptation d'espèces endémiques à ces changements de températures mais aussi à la possible raréfaction de la ressource en eau en été.

Pour les toitures blanches d'Ahmedabad en Inde, le changement s'opère d'un type de climat semi-aride (BSh) à un type de climat

de savane (Aw). Cette évolution vers un type de climat plus humide s'explique par la variabilité des changements climatiques en fonction des conditions régionales des différentes variables climatiques comme ici les précipitations simulées par l'ensemble de modèles climatiques.



16 expériences de rafraîchissement urbain

Pour chaque type de climat actuel sont précisées les fiches de retours d'expérience :

Af	Climat équatorial	- Le jardin participatif Pli Bèl Jaden, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France (p39) - L'écoquartier Coeur de Grippon, Morne-à-l'Eau, Guadeloupe, France (p43)
Aw	Climat de savane	- La micro-forêt urbaine Miyawaki de Srirangam, Inde (p47) - Le collège bioclimatique de Bouéni, Mayotte, France (p51) - La ZAC Coeur de Ville à La Possession, La Réunion, France (p55)
BWh	Climat désertique	Le lycée Mermoz de Dakar, Sénégal (p59)
BSh	Climat semi-aride	Les toitures blanches d'Ahmedabad, Inde (p63)
Csa	Climat méditerranéen chaud	- La ville blanche de Tétouan, Maroc (p67) - L'éco-cité Zenata, Maroc (p71) - La renaturation des Aygalades, Marseille, France (p75)
Csb	Climat méditerranéen tempéré	Les chaussées blanches à Los Angeles, USA (p79)
Cfa	Climat subtropical humide à été chaud	La stratégie de rafraîchissement de Penrith, Australie (p83)
Cfb	Climat tempéré humide à été tempéré	- L'aménagement berges du Barigüi, Curitiba, Brésil (p87) - La ZAC Pirmil-Les-Isles, Nantes, France (p91) - L'école durable « A la croisée des chemins », Bruxelles (p95)
Dfb	Climat continental à été tempéré	La végétalisation multi-échelles, Montréal, Québec, Canada (p99)



©Atelier Odyssée



Climat actuel
équatorial (Af)

Échelle
espace public

Temporalité
moyen-terme

Risques



chaleur extrême



inondation

Climat futur
équatorial (Af)
+2.9°C à +3.3°C à horizon 2100 (RCP 8.5, GIEC)

Le jardin communautaire de Pli Bèl Jaden est un exemple d'initiative citoyenne aux nombreux cobénéfices. Il représente une mise en valeur du patrimoine matériel et immatériel de son territoire, est vecteur de lien social, et par la renaturation d'un espace urbain sauvegarde la biodiversité, gère durablement les eaux pluviales et rafraîchit la température ambiante.

La parcelle occupée par le jardin fait l'objet d'une autorisation d'occupation temporaire délivrée par ses propriétaires. La planification urbaine et la gestion du foncier peuvent devenir des obstacles majeurs à la pérennisation de projets d'agriculture urbaine.

Contexte

Pointe-à-Pitre est une commune littorale guadeloupéenne de 16 000 habitant(e)s située à la jointure entre Grande-Terre et Basse-Terre. Du fait de son caractère insulaire, la Guadeloupe est exposée à de nombreux risques, dont la fréquence peut être faible mais les dommages importants (cyclones, éruption volcaniques, séismes, inondations côtières...). Les villes de Guadeloupe sont particulièrement concernées par un risque d'inondations urbaines du fait des pluies torrentielles et du sous-dimensionnement des ouvrages d'évacuation (DEAL Guadeloupe), ainsi que par un risque de surchauffe accentué par les effets d'îlot de chaleur.

+ 200 à 300 jours chauds supplémentaires par an prévus en Guadeloupe à horizon 2100 (Météo-France)

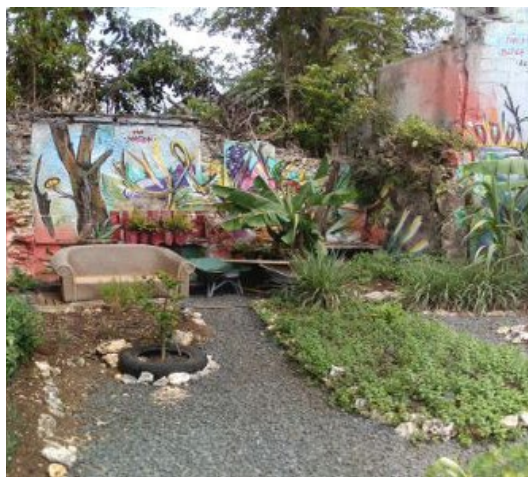
Le jardin participatif Pli Bèl Jaden est installé dans le quartier prioritaire Chemin Neuf Carénage Darboussier. Initié et géré par l'association Atelier Odyssée, il est un exemple d'initiative citoyenne d'amélioration du cadre de vie à vocation alimentaire et pédagogique, et qui a impact positif sur le rafraîchissement urbain.



©Atelier Odyssée

Actions sur le rafraîchissement

Ce jardin est partie intégrante d'un projet d'embellissement du quartier. Le projet Pli Bèl Jaden visait à l'origine, et avant de s'étendre à de nouveaux lieux, à redynamiser une friche de 250m² délaissée par les habitant(e)s. En y installant des espaces végétalisés, l'association a contribué à la désimperméabilisation d'un espace public. La renaturation du sol et la plantation de nombreux végétaux permet de rafraîchir la température ambiante et d'augmenter le confort thermique grâce à l'ombrage du couvert herbacé et arbustif, et à l'évapotranspiration du végétal et des sols. La création d'espaces verts dans les dents creuses de la ville permet de conjuguer densification et îlots de fraîcheur.



©Atelier Odyssée

Description

Agriculture urbaine et pédagogique

Pli Bèl Jaden se compose de plusieurs espaces distincts : le grand potager, des jardins partagés et des espaces verts. Cette diversité d'aménagements permet une diversité d'usages dans le lieu, du maraîchage bio aux loisirs en passant par le jardinage d'agrément. Pli Bèl Jaden est construit sur le modèle du jardin créole, petit espace traditionnel des Antilles, destiné à la culture vivrière et décorative. Les cultures y sont diversifiées : fruits et légumes, plantes aromatiques, plantes d'ornement, plantes médicinales... Elles favorisent pour les habitant(e)s une alimentation variée, locale et biologique. Cette diversité de cultures est également bénéfique au rafraîchissement urbain et à la biodiversité. Elle permet de conjuguer l'action des strates végétales herbacées, arbustives et arborescentes. La pluviométrie de la Guadeloupe est élevée (1600 mm/an, Source : Météo France), ce qui permet à l'évapotranspiration de se réaliser sans apport important d'eau extérieure.

Renaturation d'un espace interstitiel

Le jardin Pli Bèl Jaden s'est installé sur une friche : c'est un des intérêts majeurs du projet. Cette démarche de renaturation des espaces urbains délaissés invite à intégrer des solutions rafraîchissantes dans chaque interstice. Elle permet de lutter contre l'étalement urbain, et propose un modèle de densification qui laisse toute sa place au bien-être des habitant(e)s et à leur confort thermique.

La désimperméabilisation de la parcelle permet également une meilleure absorption des flux hydriques liés aux fortes précipitations à Pointe-à-Pitre. En plus de rafraîchir, elle limite le ruissellement et la migration de polluants vers la nappe phréatique.

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Les jardins partagés : entretien et gouvernance

Le développement de jardins partagés en milieu urbain est un phénomène très intéressant pour le développement de la nature en ville*, la sauvegarde de la biodiversité et le rafraîchissement. Il existe cependant quelques points de vigilance à intégrer pour en assurer le bon fonctionnement et la pérennité. Si leur finalité est la production alimentaire, il s'agit en premier lieu de disposer d'une bonne connaissance de l'état du milieu : fertilité du sol, présence de polluants atmosphériques, risques environnementaux et sanitaires liés aux pollutions potentielles... La question de la gestion de l'espace est aussi à prendre en compte. Le portage associatif de projets dans l'espace public gagne à être soutenu par les pouvoirs publics locaux, afin de

créer des synergies bénéfiques à tout le territoire. Enfin, pour garantir des cobénéfices liés au rafraîchissement, à l'alimentation, à la santé, à la biodiversité et à la sauvegarde environnementale, il est important de considérer les pratiques des jardiniers participant au développement de ces espaces.

Activation d'espaces publics et lien social

Pli Bèl Jaden est le volet « Nature en ville » de l'opération Pli Bèl Lari, menée par l'association Atelier Odyssée. Son objectif premier était l'embellissement du quartier et la création de lien entre les habitant(e)s. La lutte contre les îlots de chaleur urbains et la préservation de la biodiversité apparaissent à la fois comme des cobénéfices

bienvenus, et comme des vecteurs d'activation de l'espace. Le confort thermique des espaces publics est en effet un paramètre majeur de leur appropriation.

Cobénéfices



Bonne santé et bien-être

Espaces publics qualitatifs

L'opération d'embellissement de Pli Bèl Lari et plus particulièrement l'installation des jardins Pli Bèl Jaden contribuent à créer des espaces frais, conviviaux, et qui permettent le développement de nombreux usages. La présence renforcée d'espaces verts dans le quartier améliore le bien-être des riverains.



Villes et communautés durables

Renforcement du lien social

Pli Bèl Jaden est un jardin participatif, qui permet aux habitant(e)s du quartier de participer à son développement, à sa gestion ainsi qu'à de nombreux événements organisés par l'association Atelier Odyssée. La présence renforcée d'espaces verts dans le quartier permet de renforcer la communauté grâce à la création de lien social (Westphal, 2003).



Production et consommation responsables

Agriculture urbaine et pédagogique

Les récoltes de la parcelle potagère de Pli Bèl Jaden sont mises à disposition de la population locale, ce qui leur permet d'avoir accès à une alimentation variée et biologique. Le jardin sert aussi de support pour le travail de sensibilisation à l'environnement et à l'alimentation mené par l'Atelier Odyssée.

POUR ALLER PLUS LOIN :

- L'urbanisme durable dans les territoires d'Outre-Mer—Cahiers techniques de l'AEU2 Réussir la planification et l'aménagement durables. (2016)
- [Fiche expérience « Végétaliser : Agir pour le rafraîchissement urbain » \(2020\)](#)

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- La ferme de quartier du Prêcheur en Martinique (Aw, Climat de savane) est un exemple d'agriculture urbaine à vocation de création de lien social et de facilitation de l'insertion professionnelle
- Près de la moitié des surfaces de la capitale malgache Antananarivo est occupée par des cultures (CIRAD, 2019). Cela contribue grandement à la résilience alimentaire de cette air urbaine de près de 3 millions d'habitants

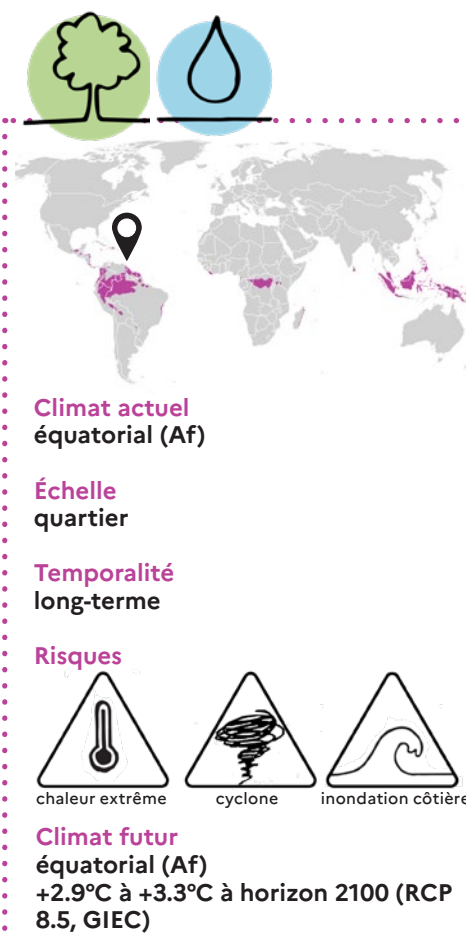
La réhabilitation du Canal des Rotours dans l'écoquartier Cœur de Grippon

Morne-à-l'eau
Guadeloupe
France



Af

La démarche de Morne-à-l'Eau dans l'aménagement de **l'écoquartier*** Cœur de Grippon parvient à conjuguer des objectifs de développement économique et touristique et à l'adaptation de la ville aux effets du changement climatique. En tournant la ville vers son canal et grâce à la végétalisation des espaces publics, les actions rafraîchissantes s'inscrivent dans une démarche d'amélioration du cadre de vie pour les mornaliens. La démarche prospective adoptée par la ville pour ses actions d'adaptation aux aléas climatiques, est également très intéressante. Il est cependant important de noter que le développement de l'écoquartier Cœur de Grippon est rendu difficile par plusieurs éléments comme l'absence de données fines sur le territoire et le manque d'adaptation des outils opérationnels aux territoires insulaires d'Outre-Mer. Le projet est pionnier en Guadeloupe, et l'inadéquation des outils financiers aux expérimentations mises en place est également un frein (BatiTrend, 2017).



Contexte

Morne-à-l'Eau est une commune de 16 000 habitant(e)s située sur l'île de Grande-Terre, en Guadeloupe. Elle tient son nom de la présence importante d'eau sur son territoire. Outre le grand réseau hydrographique, dont le cours d'eau le plus important est le Canal des Rotours, on y trouve la nappe souterraine de la Plaine de Grippon, la plus grande réserve d'eau de grande qualité de l'île. Les écosystèmes de marais maritimes et la mangrove font également partie intégrante du paysage mornalien, et un tiers du territoire de la ville est constitué de zones humides. Enfin, la Morne-à-l'Eau dispose d'environ 2000 hectares d'espace littoral.

La présence incontournable de l'eau entraîne des risques d'inondation urbaine importants, qui s'ajoutent aux risques sismiques et cycloniques de Grande-Terre. L'existence d'aléas climatiques importants est prise en compte de longue date par la Municipalité, qui a développé une véritable culture du risque dans ses projets d'aménagement. Depuis une dizaine d'années, la ville de Morne-à-l'Eau agit ainsi pour l'adaptation de son territoire aux effets du changement climatique. L'écoquartier Cœur-de-Grippon est un projet à double vocation : la revitalisation de la ville et de son attractivité touristique et résidentielle d'une part, et l'adaptation au changement climatique d'autre part.



©vouvrayan/Shutterstock.com

Actions sur le rafraîchissement

L'objectif d'adaptation de l'écoquartier Cœur de Grippon réside en premier lieu dans la gestion du risque inondation. La préservation et la mise en valeur de la biodiversité remarquable du territoire est également mise en avant. Le rafraîchissement urbain apparaît alors comme un cobénéfice permis par les aménagements durables de végétalisation et de réintroduction de la présence de l'eau. L'écoquartier est structuré par le Canal des Rotours, qui s'écoule sur 6km au sein d'un écosystème de forêt marécageuse. La dépollution du cours d'eau, sa renaturation et la réhabilitation de ses berges permettent d'offrir des espaces de fraîcheur aux habitant(e)s. Au cœur de l'écoquartier, les zones humides sont préservées et mises en valeur, tandis que la plantation d'arbres permet d'augmenter le couvert végétal.

1/3 de la surface de Morne-à-l'Eau est occupé par des zones humides

Description des solutions

La réhabilitation du Canal des Rotours

La ville de Morne-à-l'Eau s'est historiquement construite autour du Canal des Rotours, voie de navigation creusée en partie par des esclaves. Le Canal fait ainsi partie intégrante de l'histoire et du paysage de la ville, et sa réhabilitation est une étape importante de l'aménagement de l'écoquartier. Le cours d'eau a fait l'objet d'un travail de dépollution et de retrait des embâcles, ce qui lui a permis de retrouver son libre écoulement. Le canal est une voie navigable importante pour l'économie et le tourisme mornaliens. L'interface entre la ville et le cours d'eau a été aménagée et les berges du Canal des Rotours réhabilitées. En valorisant l'aspect paysager du lieu, ces aménagements permettent aux habitants d'accéder à un espace de promenade rafraîchi et attractif. En effet, les abords de rivière bénéficient de la fraîcheur grâce à l'évaporation de l'eau et l'effet des vents.

La présence de Nature dans l'écoquartier

Outre l'incontournable trame bleue constituée par le canal des Rotours, des « spots de biodiversité » et des trames vertes sont aménagés dans sur une surface totale de 10 hectares dans l'écoquartier Cœur de Grippon. La végétalisation est pensée à l'échelle du quartier, à travers la plantation d'un millier d'arbres d'alignement, ainsi qu'à l'échelle de l'îlot : l'aménagement de chaque cœur d'îlot fait l'objet d'un travail approfondi de verdissement. Un verger a été créé dans le quartier : il constitue un espace public frais à disposition des habitants. Ce couvert arboré apporte de l'ombrage aux passants et favorise l'évapotranspiration, particulièrement forte en climat équatorial (Burman et Pochop, 1984). Les zones et les prairies humides du quartier ont été identifiées afin de faire l'objet d'une protection et d'un accompagnement lors de l'aménagement de l'écoquartier. Par ailleurs, le rectorat de Guadeloupe a mis en place une « ZHE », Zone Humide Educative, à vocation pédagogique pour les élèves de l'Académie guadeloupéenne.

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

L'intégration du projet dans une démarche volontariste d'adaptation de la ville.

L'aménagement de l'écoquartier Cœur de Grippon et la réhabilitation du Canal des Rotours s'inscrivent dans une politique volontariste de la Municipalité. La ville souhaite créer un écoquartier caribéen exemplaire, et devenir un territoire pilote en matière de résilience territoriale. L'adaptation aux aléas cycloniques, sismiques et d'inondation est partie intégrante des projets urbains à Morne-à-l'Eau. Lors de la conception de l'écoquartier, une démarche globale pour permettre l'adaptation et la résilience a été adoptée. Le rafraîchissement s'impose comme un objectif incontournable de cette adaptation de l'espace urbain.

L'attractivité du territoire et la participation citoyenne au cœur du projet

La population de Morne-à-l'Eau est vieillissante, et la ville connaît un déclin économique important depuis les années 2000. En réponse à ces défis, la Municipalité mise sur un développement urbain durable, qui vise l'atténuation, l'adaptation, le développement du lien social et la dynamisation de l'économie locale. L'opportunité de création d'un écoquartier pour augmenter l'attractivité résidentielle et touristique de la ville a été formulée dans l'Agenda 21 de la commune en 2011. Depuis, des démarches participatives ont été mises en place afin de créer un projet cohérent sur le territoire, qui réponde aux besoins des habitants aujourd'hui et pour

le futur. La préfiguration de l'écoquartier a notamment été nourrie par l'AEU2 (Approche Environnementale de l'Urbanisme), un outil d'aide à la décision et méthode de diagnostic participatif porté par l'ADEME.

Cobénéfices



Villes et
communautés
durables

Espaces publics qualitatifs

L'écoquartier Cœur de Grippon comprend 4km² d'espaces publics. Parmi eux se trouvent notamment le parc verger et les berges réhabilitées du Canal des Rotours. Ces aménagements offrent à la population des espaces frais et végétalisés, et permettent de réinstaurer un lien à l'eau. La mise en valeur du patrimoine naturel et historique de la ville a également des effets bénéfiques sur le tourisme et l'activité économique.



Lutte contre le
changement
climatique

Gestion du risque inondation et lutte contre l'étalement urbain

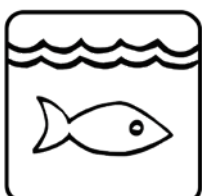
L'écoquartier Cœur de Grippon est construit dans un objectif de **sobriété***. L'identification de dents creuses et de friches avec les habitants du quartier, a permis de développer des aménagements nouveaux sur le foncier existant. La valorisation des espaces délaissés participe également à la restauration du patrimoine bâti important pour l'histoire de la ville.



Vie terrestre

Vie aquatique et vie terrestre

La préservation et la gestion de la biodiversité sont au cœur du projet d'écoquartier Cœur de Grippon. La protection et la valorisation du patrimoine floristique et faunistique de la commune passe par un travail de diagnostic important : l'identification, la connaissance et la préservation des espèces sont mises en avant.



Vie aquatique

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Dans le cadre de l'AEU2 (Approche Environnementale de l'Urbanisme), l'ADEME a publié six cahiers techniques : Ambiances urbaines, Mobilité, Activités économiques, Ecosystèmes dans les territoires, Climat et énergie et Construire la ville sur elle même

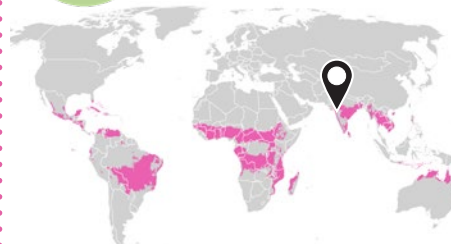
CE QUI EXISTE AILLEURS :

- La rivière de l'Huveaune à Auriol (13) (Csa) a fait l'objet d'une opération d'aménagement qui a permis, outre la diminution du risque inondation, d'améliorer la qualité physique de la rivière et le cadre de vie, de favoriser les déplacements doux et de développer de nouveaux usages en profitant de la fraîcheur des berges.

La micro-forêt urbaine Miyawaki Srirangam Inde



©Jacques LE GOFF/ADEME



Climat actuel
tropical de savane à hiver sec (As)

Échelle
espace public

Temporalité
moyen-terme

Risques



chaleur extrême



crues

Climat futur
tropical de savane à hiver sec (As)
3,1°C de température maximale
annuelle à horizon 2070 (Etat du
Tamil Nadu)

La micro-forêt urbaine Miyawaki de Srirangam a pour atout majeur d'augmenter le couvert végétal de la ville très dense et minérale. Elle permet d'introduire un espace vert arrivant à maturité deux fois plus rapidement qu'une forêt classique, bénéfique au bien-être des urbains.

Leur impact rafraîchissant, le stockage de carbone ou encore leurs bienfaits pour la biodiversité ont été démontrés par une étude scientifique dans le climat tropical, mais reste encore inconnu en climat tempéré. S'il peut être intéressant d'intégrer les forêts Miyawaki à un panel de solutions de végétalisation dans une ville, le coût de leur réalisation et la mortalité des espèces plantées au départ en climat tempéré imitent l'intérêt de ces solutions pour répondre à des enjeux d'adaptation et de rafraîchissement.

Contexte

Srirangam est une ville indienne de la province du Tamil Nadu qui appartient à l'agglomération de Tiruchirappalli. Cette agglomération très attractive du sud de l'Inde compte aujourd'hui plus d'un million d'habitant(e)s, chiffre en constante augmentation. Srirangam est célèbre pour le temple hindou qu'elle abrite et qui en fait une destination touristique majeure. Ces caractéristiques sont facteurs de pression dans cette agglomération déjà dense. Lors de la COP 21 en 2015, le gouvernement indien s'est engagé à agir pour augmenter le couvert végétal de son pays afin d'atteindre 33% du territoire en 2022. En 2019, uniquement 24% du territoire était couvert d'espaces forestiers (Roy, 2020). Dans ce contexte, Tiruchirappalli agit en plantant des arbres sur le territoire de son agglomération, dont une partie en suivant la méthode Miyawaki de création de micro-forêts urbaines dont l'intérêt est de permettre une croissance et une arrivée à maturité beaucoup plus rapide des arbres plantés.

Actions sur le rafraîchissement

Si la vocation première affichée de la micro-forêt de Srirangam est d'accroître le couvert végétal et de créer un espace de promenade et de préservation de la biodiversité, elle présente également un intérêt pour le rafraîchissement. Il faut cependant attendre plusieurs années avant que la forêt n'arrive à maturité et ne puisse exprimer son potentiel rafraîchissant. Pour ce faire, la plupart des micro-forêts Miyawaki doivent être abondamment arrosées lors des premières années de leur vie.

La présence des arbres, même avant atteinte de leur maturité, permet tout de même une amélioration du confort thermique des individus grâce à l'ombrage et à la désimperméabilisation du sol. L'évapotranspiration générée par les arbres refroidit l'environnement et humidifie l'air, ce qui participe de cette sensation de confort thermique.

Description du projet

La méthode Miyawaki

10 000 arbres ont été plantés sur les 5000m² que compte le terrain de la micro-forêt urbaine de Srirangam. La micro-forêt a été conçue selon la méthode Miyawaki, du nom de son créateur, le botaniste Akira Miyawaki. Cette méthode s'appuie sur des principes de botanique et de phytosociologie, l'étude des relations des végétaux entre eux et avec leur milieu. Réalisée dans de bonnes conditions, elle permettrait la croissance rapide des arbres, pour une arrivée à maturité de la forêt au bout de 25 à 30 ans, contre 100 ans en temps normal.

Elle consiste en la plantation d'un grand nombre d'arbres sur un espace restreint, de telle sorte que leur concentration élevée et les échanges ainsi permis créent les conditions d'une croissance rapide et d'une immunité renforcée face aux maladies. Les espèces d'arbres sont choisies pour leur diversité et leur caractère indigène.

Changement d'échelle

L'agglomération de Tiruchirappalli a bien saisi le besoin majeur de rafraîchissement de son aire urbaine : la plantation d'un seul espace micro-forestier ne sera pas suffisante pour faire baisser les températures. Une stratégie de plantation d'une vingtaine de micro-forêts similaires est ainsi prévue sur le territoire depuis 2019 et pour les années à venir, qui devrait permettre d'observer un impact réel sur le refroidissement de la ville et non uniquement sur le confort thermique ponctuel et micro-local.



©Jacques LE GOFF/ADEME

Chronologie du projet



Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Caractère innovant du projet « Quick wins »

Si la forêt urbaine Miyawaki n'atteint sa maturité et son potentiel rafraîchissant maximal qu'au bout de 30 ans, elle apporte tout de même des bénéfices importants rapidement en termes de biodiversité, de couvert végétal et de qualité des espaces publics. Sa croissance rapide permet de couvrir et de remplacer des sols imperméables et foncés, qui emmagasinent la chaleur. En outre, la présence de végétaux, même jeunes, permet d'améliorer grandement la qualité des espaces publics, ainsi que le bien être et la santé mentale de leurs usager(e)s.

Points de vigilance : un taux de mortalité élevé

Si la croissance des forêts Miyawaki est aussi rapide, c'est parce que les arbres ainsi concentrés entrent en compétition les uns avec les autres afin d'accéder aux nutriments disponibles. Le résultat de cette compétition naturelle est la mort des végétaux moins compétitifs. Une étude fait état de 61 à 82% d'arbres morts dans les forêts Miyawaki après 12 ans (Schirone, 2011). La plupart des expérimentations Miyawaki ont été réalisées dans des zones

au climat tropical, chaud et humide où les espèces végétales sont adaptées à une forte densité. Ce n'est pas le cas des végétaux des zones tempérées. De plus, la très petite taille de la micro-forêt de Srirangam ne permet pas de recréer une biodiversité équivalente à celle d'une forêt naturelle.

Etat du sol et coût de la méthode

Le taux de mortalité important des végétaux conjugué aux besoins d'arrosage fréquents font de la méthode Miyawaki une solution très coûteuse en ressource et à l'efficacité limitée. Une autre limite importante de la méthode est le travail préalable du sol qu'il requiert. Un sol en mauvais état ou pollué ne permet pas aux végétaux de se développer pour atteindre leur potentiel rafraîchissant et de piégeage carbonique maximal. Au-delà du coût élevé des méthodes de dépollution, les interventions perturbent grandement les écosystèmes du sol.

Espèces plantées

La méthode Miyawaki recommande de planter un grand nombre d'espèces variées dans les micro-forêts, environ

une trentaine. Elle insiste sur la nécessité de choisir des essences locales adaptées au climat afin d'assurer la bonne santé des végétaux. Il apparaît cependant plus judicieux d'anticiper les évolutions d'aires de répartition des espèces afin d'adapter au mieux les plantations aux conditions climatiques futures (Muller, 2021).

De même, il s'agit d'adapter cette méthode développée en contexte tropical humide aux différents types de climat. Une moindre densité de plantation dans les climats plus secs est notamment à envisager (Ducousso *et al*, 2021).

Cobénéfices



Vie terrestre



Villes et
communautés
durables



Bonne santé et
bien-être



Lutte contre le
changement
climatique

Biodiversité

La plantation de micro-forêts urbaines selon la méthode Miyawaki peut aider à la sauvegarde et au développement de la biodiversité. Elle permet de renforcer la présence de végétaux indigènes sur le territoire. La variété d'espèces d'arbres plantées permet d'abriter de nombreux insectes, oiseaux et autres animaux, bien que ce phénomène soit bien moins important que dans les forêts naturelles.

Participation citoyenne et renforcement de la collectivité

Une étape importante de la méthode Miyawaki au moment de la création d'une micro-forêt urbaine est sa plantation. Il est recommandé de réaliser cette plantation avec la communauté locale, notamment afin que les habitant(e)s et acteurs locaux s'approprient l'espace et ses enjeux pour l'environnement. A Srirangam, les habitant(e)s, les utilisateurs du temple voisin ainsi qu'un « cercle de femmes » associatif local se sont joints aux travaux de plantation pour mener ensemble une action civique environnementale.

Santé

La plantation de micro forêts urbaines contribue à améliorer la santé environnementale des habitant(e)s de la ville. Sous réserve que les désagréments liés aux espèces allergisantes soient évités au moment de sa conception, la forêt urbaine permet une filtration des particules fines et l'amoindrissement des quantités de polluants (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, ozone, particules en suspension...).

Séquestration carbone

La présence d'arbres en ville et plus particulièrement les micro-forêts permettent de séquestrer le carbone (dans les feuilles, les branches, les sols...). Même si le piégeage carbonique est moindre que dans les forêts naturelles, il peut atteindre 25,1 tonnes par hectare par an (moyenne pour les forêts urbaines étasuniennes) (Nowak et Crane, 2002).

POUR ALLER PLUS LOIN :

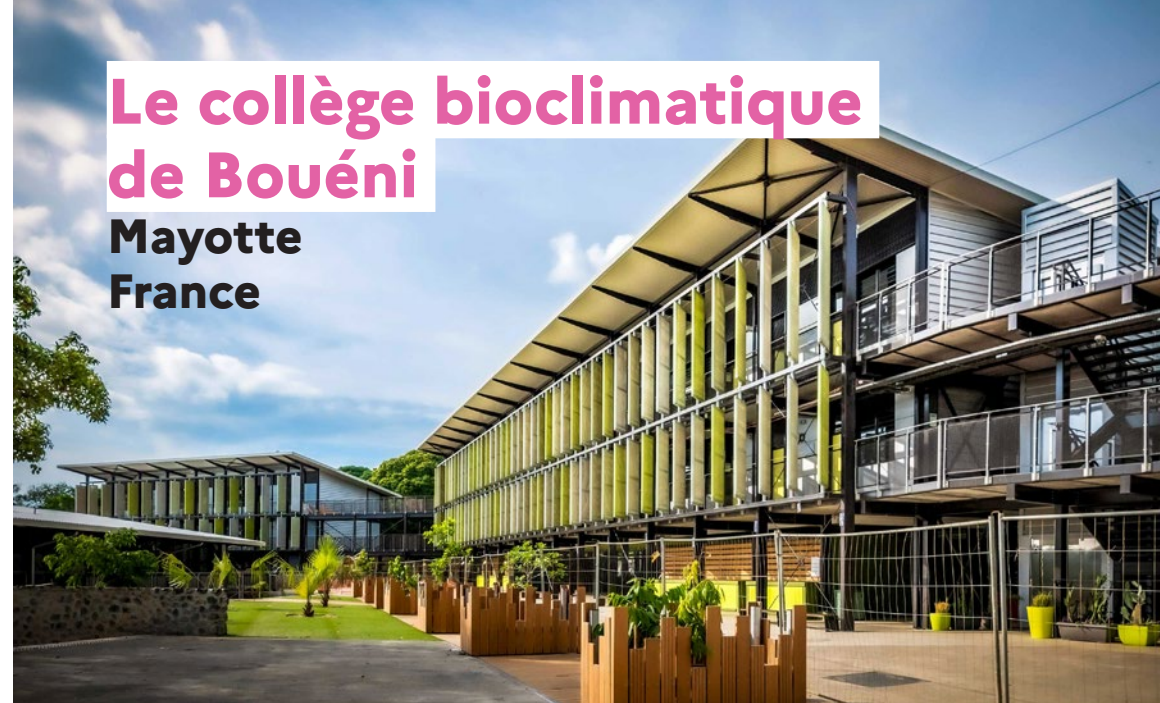
- La méthode Miyawaki : Chiffres et concepts, Urban forests (2020)
- Méthode Miyawaki, pourquoi les micro-forêts ne sont pas vraiment des forêts, The Conversation, B. Castagneyrol, A. Porté, C. Plomion (2021)

CE QUI EXISTE AILLEURS :

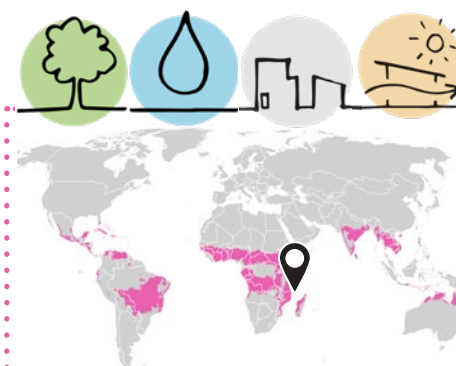
- La Ville de Paris (Climat océanique Cfb) a adopté la méthode Miyawaki pour planter une partie des 170 000 arbres prévus par la Municipalité sur son territoire d'ici 2026.
- L'Office Forestier National kenyan utilise la méthode Miyawaki pour renforcer la forêt de Karura à Nairobi (Climat tempéré chaud Cfb).

Le collège bioclimatique de Bouéni

Mayotte
France



©LEU Réunion

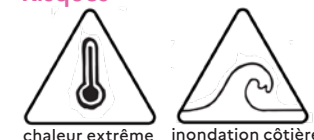


Climat actuel
tropical de savane à hiver sec (As)

Échelle
bâtiment

Temporalité
moyen-terme

Risques



Climat futur
tropical de savane à hiver sec (As)
+ 1,4°C à +3°C de température
annuelle moyenne à horizon 2100
(ONERC, 2012)

Le collège de Bouéni a été conçu dans l'objectif de limiter au mieux son empreinte écologique. Sa structure légère, l'absence de terrassement du terrain, les dispositifs passifs d'éclairage et de rafraîchissement permettent de limiter les coûts de construction et maintenance. La démarche bioclimatique adoptée dans sa construction est facilement reproductible dans les territoires aux conditions bioclimatiques et topographiques proches.

Il est cependant important de noter que l'objectif principal de la conception du collège est davantage le confort thermique de ses usagers que le rafraîchissement des températures ambiantes dans la ville. Son impact sur les espaces urbains alentours est ainsi limité. Il n'est pas connu en détail, puisqu'aucune étude ou relevé des températures n'a été effectué à la suite de sa construction.

Contexte

Bouéni est une commune du sud de Mayotte, région insulaire et département d'outre-mer français de l'Océan Indien. Sa population jeune croît fortement, et l'académie de Mayotte compte depuis 2020 plus de 100 000 élèves, dont environ 30 000 collégiens et collégiennes.

Les projections climatiques prévoient une augmentation des températures conjuguée à une réduction du cumul annuel des précipitations à Mayotte (ONERC, 2012). L'île est soumise à des risques importants d'inondation côtière (Jouzel *et al*, 2012), de séisme et de cyclone. Dans ce contexte, il est important de permettre aux établissements scolaires de pouvoir fonctionner en autonomie en cas de coupure d'électricité.

Actions sur le rafraîchissement

Le terrain de 6000m² sur lequel a été construit le collège de Bouéni en 2019 est fortement contraint par les risques naturels d'inondation urbaine et côtière, de séisme et de cyclones. Le projet cherche une intégration du bâtiment au paysage et à l'environnement local, pour augmenter sa résistance aux aléas climatiques. La conception s'appuie sur des principes bioclimatiques qui tirent avantage des conditions microclimatiques locales pour assurer un confort optimal aux usagers et minimiser le recours à la climatisation.

Des dispositifs de ventilation naturelle issus de l'étude de la force et de l'orientation des vents locaux permettent de rafraîchir le bâtiment et ses alentours de manière passive. La protection de l'enveloppe du bâtiment vis-à-vis des rayonnements solaires permet également d'éviter au collège de monter en température et de réchauffer l'air ambiant environnant.

Description du projet

Ventilation naturelle et protection face au soleil

La conception du collège de Bouéni trouve un équilibre entre la maximisation du potentiel rafraîchissant de la ventilation naturelle et la résistance du bâtiment aux épisodes extrêmes de vent et de pluie connus à Mayotte. Pour ce faire, le collège est construit en pente et est très ouvert. La porosité de ses façades atteint ainsi près de 50%. Sa construction sur pilotis permet à l'air de circuler sous le bâtiment, et aux eaux pluviales de s'évacuer. Des jalousies de façade permettent d'ajuster la ventilation naturelle et elles sont actionnables manuellement afin de pouvoir fonctionner même en cas de coupure d'électricité. La forme du bâtiment crée un puits dépressionnaire, qui fait circuler l'air frais dans le collège.

Très ouvert et lumineux, le bâtiment apporte une bonne autonomie en éclairage naturel dans les salles de classes, tout en intégrant de nombreux dispositifs de protection au soleil de l'enveloppe. Des brise-soleils orientables horizontaux et verticaux recouvrent les façades et limitent ainsi l'échauffement du bâtiment.

Végétalisation et gestion de l'eau à la parcelle : le rafraîchissement permis par les phénomènes d'évapotranspiration

La végétalisation et la renaturation des espaces extérieurs des établissements scolaires sont des leviers majeurs de l'introduction dans les villes de solutions d'adaptation fondées sur la nature. A Bouéni, la construction du collège a été réalisée en préservant les arbres remarquables existants, dont des baobabs et un verger. Les abords de l'établissement ont été fortement végétalisés, ce qui contribue à améliorer leur qualité paysagère, et aide à lutter contre les glissements de terrains. Environ 60% des sols extérieurs sont perméables, et des noues végétalisées ont été installées pour une gestion de l'eau pluviale à la parcelle. Par l'évapotranspiration et l'ombrage des sols et des espaces d'usage, tous ces dispositifs végétalisés contribuent au rafraîchissement de l'établissement.



©LEU Réunion

Maîtrise d'ouvrage : Rectorat de Mayotte
Maîtrise d'œuvre : LAB Réunion, 2APMR mandataires
Architecte : Tand'M

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

L'insertion du projet dans le site

Le collège de Bouéni est un bâtiment d'une grande qualité architecturale, non seulement par ses caractéristiques techniques de gestion des vents et du soleil, mais également par son apparence et son empreinte dans le paysage. Il est en effet véritablement intégré à son environnement, sa structure en acier en faisant un bâtiment léger et peu épais. Dans un souci de sobriété et de résilience, ses concepteurs ont su tirer profit des caractéristiques topographiques du site sur lequel il est installé. Grâce à l'adaptation du bâtiment au sol et à son utilisation de la pente, aucune opération de terrassement n'a été requise. La conservation des éléments végétaux remarquables du site plutôt que leur remplacement par de la végétation nouvelle est aussi une marque de l'adaptation du projet architectural à son site d'implantation.

Bâtiments scolaires bioclimatiques

La qualité architecturale des bâtiments scolaires est un point de réflexion très intéressant dans un contexte d'adaptation et de recherche de résilience. Ces lieux d'éducation possèdent de fait un caractère exemplaire, et permettent de sensibiliser les élèves et personnels aux besoins d'adaptation au changement climatique. La création d'un véritable lieu de vie, la préservation du verger et la plantation d'un jardin contribuent ainsi, au-delà de leur potentiel rafraîchissant, au confort visuel et esthétique du site et participent d'une symbolique intéressante. Le collège de Bouéni est un bâtiment peu cher, avec de faibles besoins de maintenance. Sa simplicité constructive (solutions **low tech***, minimisation des travaux de terrassement, principes de

structure et de ventilation naturelle simples) contribue à rendre le projet reproductible facilement dans d'autres espaces soumis à des conditions climatiques et topographiques proches.

Cobénéfices



Vie terrestre



Lutte contre le
changement
climatique

Biodiversité

La biodiversité se trouve au cœur de la démarche éducative du collège. Lors de sa conception, l'importance donnée à la perméabilité de plus de la moitié des surfaces au sol, ainsi que l'effort de végétalisation des abords du collège et de conservation des arbres remarquables ont permis de préserver la biodiversité.

Gestion du risque inondation

La grande proportion de sols perméables sur le terrain du collège, ainsi que l'aménagement de nouvelles végétalisées permet une gestion de l'eau à la parcelle qui a de nombreux intérêts. En évitant le ruissellement et la canalisation des eaux de pluie, les sols absorbent l'eau au plus près d'où elle est tombée. Cela permet de recharger les nappes et d'éviter les inondations.

Sobriété

La résilience du bâtiment de Bouéni est également favorisée par son faible impact sur l'environnement. La simplicité de sa construction, les fondations légères et l'absence de terrassement du sol en font un bâtiment léger avec peu d'impact sur son environnement. La passivité de son système de rafraîchissement et l'éclairage naturel favorisé permettent de limiter grandement les consommations d'énergie.



©LEU Réunion

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Confort thermique dans les écoles dans les bas à la Réunion (2019) - Centre de ressources EnviroBAT Réunion

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- La commune de Saint-Pierre, à La Réunion, a construit l'école publique élémentaire bioclimatique Aimé Césaire dans un climat similaire à celui de Bouéni (Aw Tropical de savane)
- L'école bioclimatique Célestin Freinet à Dagana au Sénégal, a elle été construite dans un climat désertique (BWh)

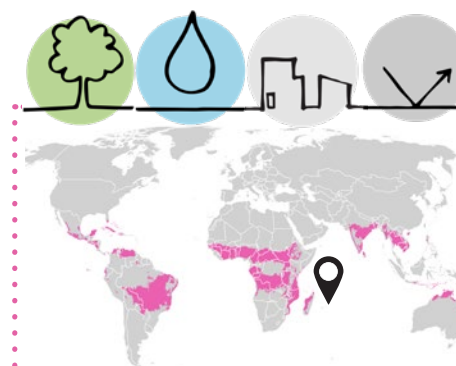
La ZAC Cœur de Ville

La Possession La Réunion France



©LEU Réunion

Aw



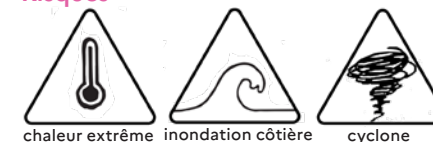
Climat actuel
tropical de savane à hiver sec (As)

Échelle
quartier

Coût du projet
400M€ HT

Temporalité
long-terme

Risques



Climat futur
tropical de savane à hiver sec (As)
+ 1,4°C à +3°C de température
annuelle moyenne à horizon 2100
(ONERC, 2012)

Le projet d'écoquartier de la ZAC Cœur de Ville est remarquable à plusieurs égards. Son diagnostic poussé, suivi par une conception bioclimatique et une programmation pertinentes des espaces du quartier permettent d'atteindre les objectifs de durabilité, de dynamisme économique et de lien social qui y sont recherchés.

L'intégration de solutions d'adaptation fondées sur la nature (SAfN) génère un territoire adapté et résilient, notamment en rafraîchissant l'air ambiant.

Contexte

La ZAC Cœur de Ville, située au nord ouest de La Réunion dans la ville de La Possession est un projet d'aménagement de 33 hectares. La municipalité de 32 000 habitants connaît depuis une dizaine d'années une croissance démographique près de deux fois supérieure à celle du reste de l'île. L'écoquartier de La Possession a accueilli ses premiers habitants en 2019, et a vocation à en compter 5000 d'ici 2026.

Le caractère insulaire de La Réunion invite plus qu'ailleurs à l'adaptation et à l'anticipation. Les projets d'aménagement doivent notamment anticiper la problématique de l'empreinte carbone de la production d'électricité sur l'île. En effet, le mix énergétique actuel réunionnais dépend aujourd'hui pour 67% des énergies primaires fossiles (pétrole et charbon), et seulement pour 32% des énergies renouvelables. La sobriété énergétique est un des principes phares de l'aménagement de l'écoquartier Cœur de Ville.

L'AFD a accordé un prêt de 14M€ à la SEMADER (Société d'Economie Mixte d'Aménagement, de Développement et d'Équipement de la Réunion) en 2013 pour financer deux concessions d'aménagement, dont la ZAC Cœur de Ville à La Possession.

Actions sur le rafraîchissement

L'écoquartier construit sur la ZAC de La Possession intègre des critères de durabilité à chaque étape de son développement et dans tous les secteurs de l'aménagement. Sur la question de la lutte contre les îlots de chaleur urbain, la réponse apportée par les aménageurs est protéiforme. La multiplication des leviers et des échelles d'action permet de maximiser le potentiel rafraîchissant du projet.

À l'échelle de la commune, les aménageurs souhaitent conserver une identité de « ville-jardin », dont la végétalisation assure le rafraîchissement grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration. Une étude approfondie des trames aérauliques a permis d'assurer la ventilation naturelle et ainsi le rafraîchissement à l'échelle de l'îlot. Enfin,

les bâtiments sont rafraîchis de manière passive grâce à l'utilisation de principes bioclimatiques : facilitation de la ventilation naturelle et protection des rayons solaires à l'aide de dispositifs pare-soleils.

Description du projet

Cœur de Ville : un écoquartier-jardin perméable

La ZAC de La Possession bénéficie du rafraîchissement procuré par l'ombrage, la transpiration du végétal et l'évaporation de l'eau, d'autant plus que ceux-ci sont fortement présents sur le quartier. Plus de 80 000 végétaux de 100 espèces différentes y ont été plantés pour répondre à l'ambition de créer une « ville-jardin ». La plupart des plantations sont des espèces endémiques, elles sont adaptées aux conditions climatiques locales actuelles. Près d'un tiers de la surface des espaces publics est planté en pleine terre, et les habitants sont invités à végétaliser leur rez-de-jardin.

Les surfaces du quartier ont été étudiées pour maximiser la perméabilité des sols. En dehors des espaces végétalisés, 50% des sols sont perméables. Des noues paysagères ont été créées : elles stockent l'eau pluviale au plus près d'où elle est tombée et l'acheminent naturellement vers des exutoires. Cela évite le recours à des conduits et favorise également l'évapotranspiration.

©LEU Réunion



Tirer parti des vents et se protéger du soleil : l'orientation des grands axes et bâtiments

Les méthodes passives d'optimisation de la forme urbaine de l'orientation des rues et des bâtiments utilisées dans la ZAC Cœur de Ville maximisent le rafraîchissement tout en limitant la consommation énergétique. Adaptées aux conditions existantes, ces solutions limitent la surchauffe en tirant parti de la présence de vents frais pour ventiler les espaces intérieurs et extérieurs, et en protégeant du soleil. Cela s'est traduit par l'instauration de règles d'alignement intégrant les protections solaires, ainsi qu'une conception de la trame viaire vouée à limiter l'exposition au soleil des bâtiments. L'orientation des bâtiments a également été simulée en soufflerie physique pour garantir la porosité optimale aux vents des façades.

À l'échelle des bâtiments, les préconisations incitent à l'intégration de protections solaires sur les façades, à une architecture tournée vers les cœurs d'îlot végétalisés, ainsi qu'à la limitation de la largeur entre façades des immeubles pour permettre de ventiler naturellement et efficacement les intérieurs. Ces dispositifs permettent de limiter le recours à la climatisation coûteuse en ressources.

Les enseignements utiles pour d'autres territoires.

Mixité sociale et générationnelle dans les écoquartiers

La ZAC de La Possession a inscrit dès le début du projet sa volonté de mixité sociale au sein du quartier. Les écoquartiers neufs et qualitatifs s'accompagnent souvent d'une hausse des prix du foncier et des loyers, et d'un phénomène de gentrification. En garantissant que 60% des logements seront des logements sociaux ou aidés, la ville s'engage à combattre l'effet de gentrification. La présence d'écoles, d'un EHPAD et d'une maison de la santé est également un facteur de mixité générationnelle.

La labellisation écoquartier

La ZAC Cœur de Ville poursuit de nombreux objectifs de durabilité, et ceux-ci lui ont valu d'obtenir la labellisation Ecoquartier étape 2 : phase de chantier. Cette labellisation française reconnaît la démarche durable des projets urbains à travers leur effort d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et aux risques propres au territoire. Elle est gage d'un

projet exemplaire sur plusieurs points, parmi lesquels on retrouve tout particulièrement à La Possession : la sauvegarde de la biodiversité, des sols et des milieux naturels, la qualité du cadre de vie et de l'environnement, les efforts d'aménagement pour le bien-vivre ensemble, la diversité des fonctions et leur proximité, etc.

Qualité des espaces publics et ville de courte distance

La mixité fonctionnelle et la densité de la ZAC Cœur de Ville favorisent les modes de déplacement doux. Les nombreux supports d'usages proposés à distance de piéton sont un facteur d'amélioration de la qualité de vie pour les habitants.

Conservation des espèces endémiques

Le projet de ZAC a veillé à travailler avec l'existant. Un diagnostic du patrimoine végétal présent a été mené, et celui-ci a identifié 150 arbres remarquables, dont des banians anciens, qui ont été conservés.

Mener ces diagnostics suffisamment en amont dans le processus de conception de telles opérations d'aménagement permet d'adapter l'ensemble du projet au patrimoine naturel existant, et ainsi préserver la biodiversité et les capacités de rafraîchissement des arbres matures. Les jeunes arbres plantés lors de telles opérations mettent plusieurs décennies à atteindre une taille de canopée satisfaisante pour offrir l'ombrage et l'évapotranspiration nécessaires à un rafraîchissement efficace. Les végétaux matures sont ainsi un atout majeur des espaces urbains, qu'il faut préserver lors des aménagements.

Cobénéfices



Villes et communautés durables



Production et consommation responsables



Vie terrestre



Lutte contre le changement climatique

Participation citoyenne

L'élaboration de plusieurs équipements de la ZAC ont fait l'objet de concertation avec les futurs habitants et riverains. Des réunions publiques d'information ont eu lieu, et également des ateliers participatifs qui ont généré des projets collectifs dans les espaces publics et jardins partagés.

Consommation et production responsables

Dix jardins partagés ainsi qu'un potager participatif existent dans l'écoquartier. Ces équipements offrent la possibilité à une communauté d'habitants et habitantes de s'engager pour leur quartier en cultivant ensemble des parcelles pour une petite production potagère. Cela contribue également à la sensibilisation du public aux questions de biodiversité.

Biodiversité

L'attention particulière portée à la végétalisation du quartier est bénéfique pour la biodiversité. De nombreux espaces publics ont été plantés en pleine terre (près d'un tiers des surfaces), et les espèces endémiques ont été privilégiées tandis que les espèces envahissantes ont été proscrites. Plus de cent espèces végétales constituent cette « ville-jardin », contribuant à renforcer les continuités écologiques de La Possession.

Atténuation du changement climatique

La mixité des usages et la densité du quartier facilitent les activités du quotidien à courte distance, et favorisent les modes de déplacement doux. De plus, les solutions passives utilisées pour rafraîchir le quartier et les bâtiments sont un facteur favorable à la maîtrise de la consommation énergétique. Ce paramètre est important dans un contexte insulaire comme celui de La Réunion, où l'empreinte carbone de la production d'électricité est importante.

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Surventilation et confort d'été, Clefs pour agir, ADEME (2018)
- La ventilation naturelle en pratique, Méthodologie pratique du développement de la ventilation naturelle dans la construction appliquée à l'île de La Réunion, ADEME

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- La ZAC de l'écoquartier Hibiscus de Cayenne, en Guyane (Climat équatorial Af)
- Voir également la fiche sur l'écoquartier Cœur de Grippon de Morne à l'Eau, Guadeloupe (Climat équatorial Af)

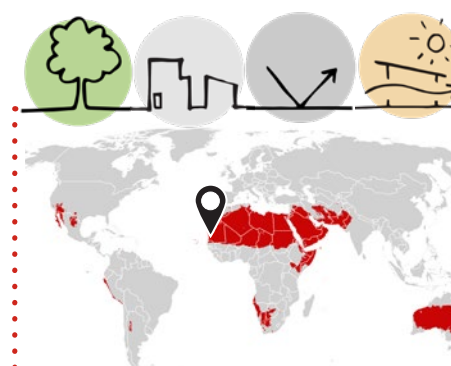
Le lycée Mermoz

Dakar
Sénégal



©Daniel Rousselot

BWh



Climat actuel
désertique chaud (BWh)

Échelle
bâtiment

Temporalité
moyen-terme

Risques



chaleur extrême



crues



sécheresse

Climat futur
désertique chaud (BWh)
+ 1.7 à +2.2°C à horizon 2070 (GIEC, RCP 8.5)

La conception bioclimatique du lycée offre un confort thermique aux usagers, à l'intérieur comme à l'extérieur aux abords des bâtiments. En utilisant des solutions passives, traditionnelles et low-tech, le lycée devient un îlot de fraîcheur. La végétalisation du site par des espèces endémiques, est adaptée au climat actuel de Dakar.

Aujourd'hui le lycée n'est accessible qu'aux seuls ressortissants français et aux élèves de l'établissement, ne permettant pas au plus grand nombre de profiter de son rafraîchissement. Son ouverture au public en dehors des heures de cours par exemple pourrait apporter un bénéfice aux habitants du secteur.

Contexte

Le lycée français Jean Mermoz est installé dans la capitale sénégalaise : Dakar. Cette ville de plus d'un million d'habitant(e)s est sujette à une importante pression démographique, et Dakar regroupe aujourd'hui plus de 25% de la population sénégalaise.

Les enjeux de surchauffe urbaine y sont bien connus, puisque le climat désertique chaud de la ville de Dakar se conjugue avec une forte densité urbaine. Ce contexte est favorable au développement d'effets d'ICU du fait des sources de chaleur multiples concentrées en un même espace. L'ensoleillement dakarois est très important, mais si la saison chaude est longue, elle est moins intense que dans le reste du pays. La capitale sénégalaise bénéficie en effet d'un micro climat doux et moins sec, influencé par les alizés maritimes. Cette ventilation naturelle est un atout à considérer lors d'opérations d'aménagement pour le rafraîchissement urbain.

Actions sur le rafraîchissement

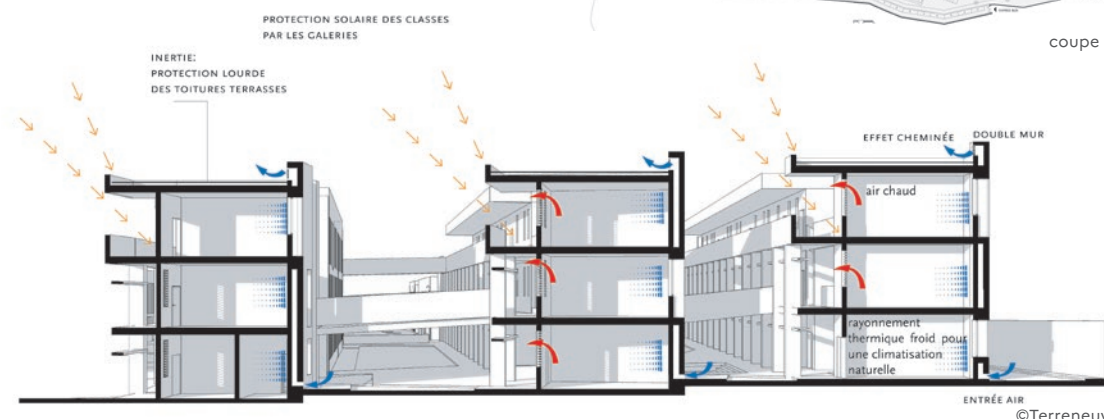
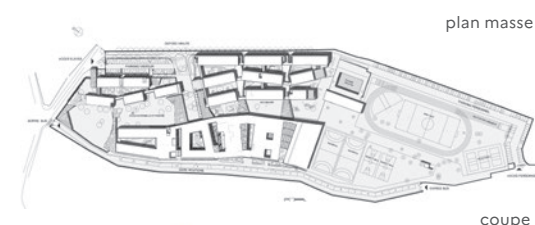
Le lycée français de Dakar, construit en 2011 par le cabinet d'architecture Terreneuve, est un exemple très intéressant d'architecture bioclimatique contemporaine en climat désertique chaud. Le bâtiment compte plus de 17 000m² construits et se déploie sur 40 000m² d'emprise, une échelle importante qui influence le **microclimat*** dans son environnement proche en plus de ses occupants.

La démarche architecturale s'est voulue comme une démarche contextuelle, d'adaptation du bâtiment et de son processus de construction aux contextes climatique, topographique et socioéconomique dakarois. La construction des bâtiments a été assurée par des équipes locales, et son apparence concilie l'architecture moderne et ancrage dans la tradition sénégalaise. Les couleurs ont notamment été étudiées pour rappeler la terre de construction locale ce qui favorise l'insertion du projet dans son environnement. Adapté au climat chaud de Dakar, le lycée est équipé de nombreuses solutions passives de rafraîchissement qui s'inspirent de techniques traditionnelles : coursives ombragées et ventilées, patios, jalousies... Ces dispositifs passifs ont permis de réduire dès 2012 le recours à la climatisation à deux mois par an. Les espaces extérieurs ont également été végétalisés, notamment à travers la plantation de plantes grimpantes sur les pergolas afin d'ombrager les cheminements entre les bâtiments.

Description du projet

Des bâtiments protégés du soleil

L'architecture du lycée Mermoz développe des espaces ombragés et frais dans l'enceinte de l'établissement grâce à des dispositifs de protection du rayonnement solaire de ses murs, toitures et espaces extérieurs.



L'implantation rapprochée des bâtiments les uns par rapport aux autres contribue à créer de l'ombrage et des effets de vents. Les façades des bâtiments sont également dotées d'une double paroi extérieure. Elle agit comme pare-soleil tout en laissant la lumière naturelle infiltrer les intérieurs. Des toitures protectrices à l'inertie renforcée limitent la surchauffe en journée en stockant la chaleur et en la restituant la nuit. Dans les extérieurs, des préaux et pergolas végétalisés apportent de l'ombre ce qui améliore le confort thermique de la cour et des patios.

Les solutions passives de ventilation

La ventilation naturelle a également été favorisée dans l'enceinte de l'établissement. L'orientation des bâtiments et leur organisation linéaire permettent de tirer parti des Alizés et de maximiser leur potentiel rafraîchissant. Les cheminements entre chaque bâtiment ont été pensés comme des coursives protégées, inspirées de l'architecture tropicale vernaculaire et permettent la circulation de l'air.

L'air circule à l'intérieur grâce à la structure en double-parois et les systèmes de fenêtres et jalousies qui font communiquer les pièces entre elles.



©Daniel Rousselot

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

L'adaptation du bâtiment à son contexte urbain

Le lycée Mermoz de Dakar a été construit dans un souci d'adaptation du bâtiment à son territoire. Les travaux de construction ont été réalisés par une entreprise sénégalaise, ce qui a permis d'adapter les procédés constructifs aux ressources locales. De même, l'importation de matériaux de l'étranger pour la construction a été limitée, limitant ainsi son empreinte carbone. Pourtant, l'ancrage territorial du lycée est contraint par la configuration du site sur lequel il est implanté. Il existe peu de connexions spatiales avec le

reste de la ville : seuls deux points de contact le relient au reste du quartier.

Le rafraîchissement des établissements scolaires

Les bâtiments scolaires, sans être à proprement parler des espaces publics, constituent de réels lieux de vie. Aussi, les procédés d'architecture bioclimatique gagnent à être utilisés lors de leur construction, en offrant un meilleur confort thermique et visuel. Le lycée français de Dakar est un bâtiment remarquable et un exemple d'utilisation moderne de principes bioclimatiques vernaculaires. Son impact

rafraîchissant sur le reste de la ville est cependant faible, et il serait intéressant de mener une réflexion sur l'ouverture des espaces frais aux habitants à travers, en créant la possibilité pour de nouveaux usages de se développer dans l'enceinte du lycée.

Cobénéfices



Lutte contre le changement climatique



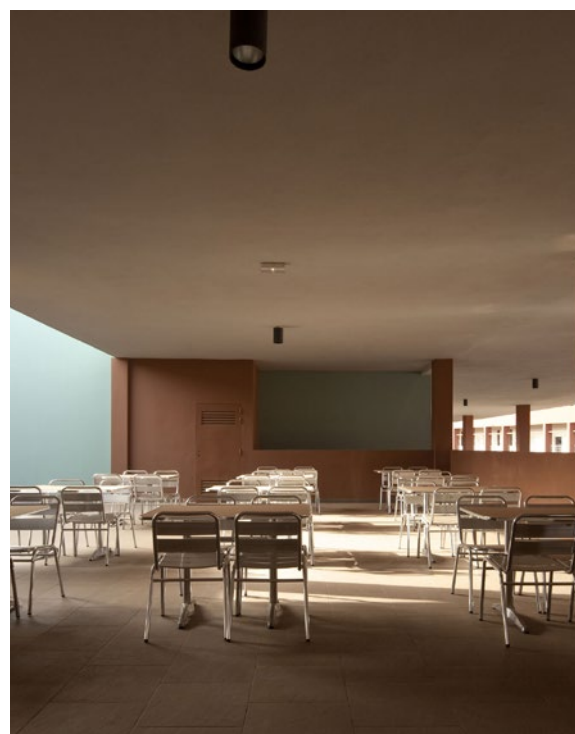
Villes et communautés durables

Gestion du risque inondation

Les réseaux urbains de gestion des eaux sont généralement sous-dimensionnés lors des événements pluvieux forts qui peuvent survenir entre juin et octobre à Dakar. La conception du Lycée Français utilise des principes bioclimatiques pour la gestion des eaux de pluie : l'objectif est de permettre une infiltration de l'eau à la parcelle, afin d'éviter le ruissellement et de recharger les sols et les nappes phréatiques. Des cuves de stockage temporaire sur les toits-terrasses et des bacs drainants en pied de mur permettent d'étaler dans le temps l'évacuation de grandes quantités d'eau, toujours dans l'optique de ne pas saturer les sols ni les réseaux.

Pédagogie, sensibilisation des communautés

Grâce à son architecture remarquable, le lycée français Jean Mermoz fait figure de bâtiment emblématique et exemplaire. Il est ainsi un relais des bonnes pratiques d'adaptation de solutions architecturales vernaculaires à la construction contemporaine. En tant que lieu accueillant du public, l'établissement joue également un rôle de sensibilisation des communautés, et des élèves, au changement climatique. Des expositions sur la construction bioclimatique vernaculaire y ont été installées, et le lycée soutient un projet innovant d'éco-briques développé par les élèves.



©Daniel Rousselot

POUR ALLER PLUS LOIN :

- PNEEB/Typha – CRAterre (2017) : Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal

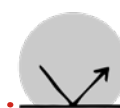
CE QUI EXISTE AILLEURS :

- Les travaux d'extension du lycée Théodore Monod de Nouakchott suivent des principes bioclimatiques, dans un climat désertique (BWh) similaire à celui de Dakar.

Les toitures blanches d'Ahmedabad Inde



Parikh Mahendra N/Shutterstock.com



Climat actuel
steppe semi-aride (BSh)

Échelle
bâtiment, îlot

Temporalité
court-terme

Risques



chaleur extrême



crues



sécheresse

Climat futur
tropical de savane à hiver sec (As)
+5°C à horizon 2100 (RCP 8.5) selon
le plan d'action climat de l'état du
Gujarat (Gujarat SAPCC)

Les toitures blanches installées à Ahmedabad sont rapides à mettre en place. Selon la technique utilisée (acrylique, chaux, jute...) leur installation et leur maintenance sont peu onéreuses. L'action sur les toits est adaptée à une ville dense comme Ahmedabad. Le plan chaleur de la municipalité prend en compte les vulnérabilités de sa population et cible en priorité les plus fragiles. Grâce à la posture de gestion des risques qu'il adopte, il permet de rendre compte des enjeux sanitaires de la lutte contre la surchauffe urbaine.

Les toitures blanches doivent être couplées à des actions de végétalisation et à une réflexion globale sur la typo-morphologie urbaine pour évacuer naturellement les masses d'air chaud et permettre un rafraîchissement global de la ville.

BSh

Contexte

Ahmedabad est la ville la plus importante de la région indienne du Gujarat. Elle compte 7,2 millions d'habitants en 2017, dont 25% vivent dans des habitations informelles ou bidonvilles. Elle est classée dans le top 20 des villes à la croissance la plus importante au monde (Forbes, 2010). En mai 2010, toute la région a été atteinte par une vague de chaleur inédite en intensité. Les températures de l'air observées ont atteint cette année-là le record de 46,8°, et la crise sanitaire générée par cet épisode a profondément marqué la ville et ses politiques d'adaptation. La région est également sujette aux tremblements de terre. Le dernier séisme important en 2001 a également contribué à créer une culture du risque à Ahmedabad.

Actions sur le rafraîchissement

Après avoir mené un diagnostic approfondi des vulnérabilités sociales et sanitaires du territoire liées à la chaleur, la municipalité d'Ahmedabad a lancé en 2019 sa sixième édition de Plan d'Action Chaleur. Le diagnostic mené a mis en valeur deux facteurs de vulnérabilité : l'habitat informel extrêmement dense et les conditions de travail des habitant(e)s en extérieur pour beaucoup, et dans de petites cuisines peu aérées qui surchauffent, occupées la plupart du temps par les femmes qui en subissent directement les conséquences.

A Ahmedabad, plus de 700 000 personnes vivent dans des quartiers d'habitat informel et délabrés appelés « slums ». Ces habitations sont particulièrement vulnérables à la chaleur. Elles sont souvent construites avec des matériaux comme la tôle, qui piègent la chaleur et l'émettent ensuite dans l'atmosphère de manière différée, contribuant à renforcer les effets d'îlot de chaleur. De plus, les habitant(e)s des slums disposent souvent de peu de solutions d'adaptation car ils ont peu de contrôle sur leur habitation. Le Plan d'Action Chaleur d'Ahmedabad a donc visé en premier lieu ces bidonvilles pour installer des toitures rafraîchissantes.

Description du projet

Les « cool roofs » ou toitures fraîches

En 2016, l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal a qualifié les toitures blanches de stratégie clé du rafraîchissement urbain. Différentes solutions techniques permettent de créer ces toitures blanches, elles ont pour principe commun le revêtement des toits par des matériaux et peintures de couleurs possédant un albédo élevé ainsi qu'une forte émissivité. Ces revêtements renvoient le rayonnement solaire vers le ciel au lieu d'échauffer le toit et l'air ambiant. Cela permet d'une part d'améliorer le confort thermique et le bien-être des occupants du bâtiment, mais également de rafraîchir la ville de plusieurs degrés quand ces toitures sont déployées à grande échelle. Le Plan Chaleur d'Ahmedabad a permis d'installer plus de 500 toitures blanches sur les toits des bidonvilles, sur des bâtiments d'habitation, mais également sur les bâtiments municipaux. Les toitures blanches sont généralement blanchies à l'aide de chaux, matériau clair aux propriétés isolantes. Il est également possible de peindre les toitures avec une résine acrylique. La porcelaine blanche est aussi une solution traditionnelle d'éclaircissement des toits utilisée dans le Gujarat.

Enfin, la municipalité d'Ahmedabad défend une technique low tech de rafraîchissement par la toiture, qui utilise l'évaporation de l'eau. En humidifiant de la fibre de jute placée sur le toit, l'habitat profite de la baisse de température par l'évaporation. Cette technique est très économique et permet de recycler des sacs de jute usagés.



©jorgeflores/Shutterstock.com

Communication et sensibilisation des populations

Le Plan d'Action Chaleur intègre une démarche de communication dirigée vers les populations. Un système d'alerte précoce est relayé par la presse trois jours avant les épisodes de forte chaleur. Des panneaux lumineux disséminés à travers la ville participent également de cette communication aux habitants. La sensibilisation des populations sur les comportements à adopter en cas de forte chaleur fait partie des actions importantes mises en place par la municipalité. Cette dernière invite à étendre les horaires d'ouverture des parcs et des bâtiments climatisés comme les bibliothèques et les centres commerciaux, afin d'offrir des espaces de fraîcheur aux habitants les plus exposés à la chaleur.



©Parikh Mahendra N/Shutterstock.com

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Les facteurs clés du succès du Plan d'Action Chaleur d'Ahmedabad

- Les toitures fraîches installées à Ahmedabad ne sont pas en mesure à elles seules de rafraîchir l'air ambiant. Elles s'inscrivent dans le Plan Action Chaleur de la municipalité, dont la démarche est plus globale. Le travail de diagnostic mené en amont de l'élaboration du plan est très approfondi. En s'appuyant sur la morphologie spatiale de la ville, ainsi que sur des études socio-économiques, il permet la compréhension des zones les plus vulnérables face aux îlots de chaleur.
- La culture du risque est un atout pour Ahmedabad. Développée au sein des instances décisionnelles et transmise progressivement à la population grâce à un travail de sensibilisation, elle permet de développer une conscience collective du risque lié à la chaleur.

Les limites des dispositifs de toiture fraîche : la masse critique

Les toitures blanches ne sont cependant pas une solution parfaite face aux ICU. S'ils permettent de manière efficace de réduire la température intérieure des bâtiments et donc le confort thermique, il n'a qu'un impact limité sur le refroidissement de l'air ambiant. Pour mesurer un véritable effet rafraîchissant, il faut atteindre une masse critique de toitures fraîches (Akbari & Matthews, 2012). Les toits frais ne sont pas une mesure suffisante pour véritablement lutter contre les îlots de chaleur. Ils doivent être accompagnés d'actions de végétalisation et d'introduction d'eau dans la ville.

Points de vigilance

L'efficacité des dispositifs de toiture fraîche dépend du contexte et du climat local. Plus les températures sont élevées et le rayonnement

lumineux important, plus les revêtements de toiture permettront de rafraîchir l'atmosphère. À l'inverse dans des climats plus tempérés, dans des villes plus ombragées ou plus éloignées de l'équateur, le gain de fraîcheur permis par les toitures sera moindre (Oleson *et al*, 2010).

À Ahmedabad les toitures concernées par le plan d'action sont pour la plupart plates ou peu inclinées. Les toitures blanches inclinées sont susceptibles d'entraîner un inconfort visuel. Les rayonnements lumineux renvoyés peuvent également être réfléchis sur une autre partie de la ville, et y réchauffer l'air ambiant.

Cobénéfices



Bonne santé et bien-être



Lutte contre le changement climatique

Santé et bien-être

En diminuant la température intérieure des bâtiments, les toitures blanches améliorent grandement le confort thermique dans les habitations et des bâtiments collectifs. L'hôpital d'Ahmedabad a notamment bénéficié du dispositif « cool roofs », ce qui a réduit l'inconfort, les maladies et les décès liés à la chaleur (Mavalankar, 2011)

Atténuation du changement climatique et économies d'énergie

Les « cool roofs » permettent de réaliser des économies de ressources de plusieurs manières. En rafraîchissant naturellement l'air intérieur, ils réduisent les besoins en climatisation (Akbari et Matthews, 2010). Cela est d'autant plus important que les factures énergétiques des habitats précaires sont souvent élevées du fait de la mauvaise isolation et de la basse qualité des équipements de ventilation et de climatisation.

Les revêtements utilisés pour les toits frais permettent également une meilleure longévité des équipements de toiture. Ils réduisent leur porosité et gardent une étanchéité satisfaisante plus longtemps. La maintenance des toitures blanches est peu coûteuse, puisqu'elle consiste pour la plus grosse partie à les nettoyer régulièrement afin de conserver leur

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Climate Change and Health Preparedness un India : protecting local communities in Ahmedabad from extreme heat, Indian Institute on Public Health (2011)
- La Cool Coalition du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) présente en détail de nombreux projets de toits frais dans le monde

CE QUI EXISTE AILLEURS :

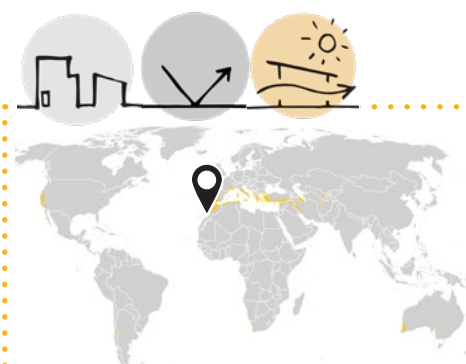
- Les « coolroofs » sont répandus en Inde, malgré des types de climat variés à travers le pays : on en trouve à Delhi et Hyderabad (Climat semi-aride BSh), à Jodhpur (Climat désertique BWk), à Bhopal (climat méditerranéen Csb) ou encore à Surat (climat tropical de savane Aw)
- Cool Roof France est une start up française qui développe et installe des revêtements frais sur les toits de bâtiments recevant du public (écoles, centres commerciaux, hôpitaux...)

La ville blanche de Tétouan

Maroc



©Parikh Mahendra N/Shutterstock.com



Climat actuel méditerranéen (Csa)

Échelle ville

Temporalité long-terme

Risques



chaleur extrême



sécheresse

Climat futur steppe semi-aride (BSh) +1.3°C à horizon 2050 (RCP 8.5, GIEC)

La médina de Tétouan est un exemple d'architecture vernaculaire ancienne bien conservée, notamment grâce à sa classification au Patrimoine mondial par l'UNESCO en 1997. Elle présente une collection de principes bioclimatiques inspirants pour améliorer le confort thermique et rafraîchir les villes des climats méditerranéens chauds.

La question de la pertinence de reproduire les solutions vernaculaires de rafraîchissement est tout de même à poser. Il s'agit plutôt de s'inspirer de la démarche d'adaptation au climat local, et de minimiser le recours aux énergies fossiles en les remplaçant par des sources d'énergie venues du climat. Une architecture bioclimatique moderne inspirée des principes vernaculaires permettrait ainsi de conjuguer l'adaptation et l'atténuation du changement climatique.

Csa

Contexte

Tétouan est une ville de 402 000 habitants située au nord du Maroc, dans le Rif occidental. Construite sur l'adret d'un plateau rocheux, elle dispose d'une exposition solaire importante. Sa vieille ville est une médina (« ville » en arabe) classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, et dont l'aménagement méditerranéen traditionnel est un exemple d'architecture vernaculaire. L'architecture traditionnelle du quartier est ancrée dans le territoire, influencée par les besoins locaux, les fonctions des bâtiments et les influences culturelles. La construction de la médina tétouanaise est notamment empreinte d'influences andalouses.

Actions sur le rafraîchissement

L'urbanisme vernaculaire de la médina de Tétouan prend traditionnellement en compte la question du confort thermique, et répond également à des exigences de durabilité. L'architecture vernaculaire bioclimatique et l'aménagement de la médina utilisent des solutions de rafraîchissement variées de manière concomitante. Elles visent toutes à améliorer le confort thermique par l'ombrage, la ventilation naturelle, l'isolation des bâtiments et la recherche du phénomène d'évaporation.



©Hind Wanders/Shutterstock.com

La médina est un espace à la mixité fonctionnelle importante. Elle réunit des logements, des artisans, des commerces et des espaces publics dans un espace restreint. Les mobilités douces y sont favorisées, ce qui permet d'amoindrir le nombre et l'intensité des sources de chaleur anthropiques.

Description des solutions

Les formes urbaines de la médina

La typo-morphologie urbaine de la médina de Tétouan permet de créer des rues, des places et des souks rafraîchis. La ville est dense et les habitations compactes et introverties. Les bâtiments sont fermés sur la rue et tournés vers les cours (patios) et jardins intérieurs (riads), ce qui permet d'y conserver la fraîcheur. Le réseau des rues, ou trame viaire, est composé de venelles étroites, aux orientations variées par rapport aux rayonnements solaires. Cela permet de conserver la fraîcheur au sein même de la trame urbaine.

L'architecture vernaculaire bioclimatique dans la médina

Les bâtiments vernaculaires de la médina sont traditionnellement frais, grâce aux principes bioclimatiques qui régissent leur architecture. Du fait de la bonne isolation et de la forte inertie thermique de leur enveloppe, les bâtiments offrent un confort thermique accru et des besoins réduits en consommation énergétique pour le rafraîchissement. Cette inertie thermique est permise par des constructions massives et l'utilisation de matériaux denses comme la terre et la pierre. L'épaisseur des murs extérieurs permet d'éviter les pertes de fraîcheur et l'entrée de la chaleur dans le bâtiment. Le bâti est doté d'un revêtement à la chaux de couleur claire et d'un albédo élevé qui reflète les rayonnements solaires.

Les logements sont tous organisés de manière similaire. La présence d'un patio ou d'un jardin fonctionne comme un régulateur thermique, et permet la circulation intérieure de l'air. Des fontaines et un peu de végétation en font des espaces frais grâce à l'action couplée de la ventilation naturelle et de l'évapotranspiration. Dans les bâtiments, les moucharabiés (cloisons en bois ajourées) permettent à la fois l'ombrage et la ventilation

naturelle. L'air chaud présent dans les pièces s'échappe grâce aux plafonds élevés et aux fenêtres hautes. Les ouvertures sont réduites pour empêcher les rayonnements solaires de pénétrer dans les bâtiments et préserver ainsi la fraîcheur.



©Mounir Taha/Shutterstock.com

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Architecture bioclimatique en climat chaud

Les exemples d'architecture vernaculaire traditionnelle comme celle de la médina de Tétouan permettent de comprendre quels principes bioclimatiques sont les plus adaptés selon les différents types de climat. En l'occurrence, dans un climat chaud et relativement sec, la **compacité*** de la ville, l'utilisation de matériaux massifs à forte inertie thermique, la recherche d'ombre et la création de puits de lumière grâce aux patios, la hauteur de la voûte des plafonds et l'ouverture d'orifices de ventilation pour éliminer l'air chaud sont autant de solutions efficaces pour l'amélioration du confort thermique.

Architecture vernaculaire et reproductibilité des solutions

L'architecture vernaculaire est par définition influencée par l'histoire et la culture du territoire sur laquelle elle est installée, et ainsi adaptée à son type de climat.

Souvent le fruit de longues traditions, elle est notamment inspirante du fait de sa sobriété et de son recours aux matériaux locaux.

La médina de Tétouan est ainsi inspirante pour les territoires au climat similaire à celui du Rif occidental, c'est-à-dire chaud et sec. Elle s'adapte à l'existant, ne présente pas de solutions rafraîchissantes très coûteuses en eau et choisit plutôt de cultiver la fraîcheur naturelle de l'ombre en se protégeant du soleil. Elle est un exemple d'adaptation aux contraintes et aux atouts liés aux conditions climatiques locales. L'importance des influences socio-culturelles de l'architecture vernaculaire peuvent cependant rendre les solutions rafraîchissantes difficilement reproductibles. C'est par exemple le cas de l'utilisation de panneaux en bois ajourés, ou moucharabieh, en lieu et place de fenêtres vitrées.

L'intérêt de s'inspirer de l'architecture vernaculaire dans l'aménagement urbain contemporain se trouve donc dans la réappropriation des techniques et dans la connaissance des phénomènes thermiques. En parvenant à une compréhension fine des fonctionnements microclimatiques locaux, il est possible d'optimiser la construction des bâtiments et des quartiers pour y conserver la fraîcheur. De plus, les bâtiments au rafraîchissement passif requièrent des habitants actifs, puisqu'il s'agit d'adapter les solutions rafraîchissantes tout au long de l'année et de la journée.

Cobénéfices



Villes et communautés durables



Bonne santé et bien-être



Lutte contre le changement climatique

Espaces publics qualitatifs

La médina regroupe plusieurs quartiers aux fonctions et aux activités variées. La mixité fonctionnelle et des usages, du commerce aux loisirs en passant par le logement, en fait un espace attractif et qualitatif. La fraîcheur qui la caractérise participe de cette qualité urbaine.

Santé et bien-être

Les bâtiments de la médina, leurs jardins intérieurs et même les rues sont des espaces de fraîcheur qui garantissent le confort thermique des individus à tout moment de la journée. Cette accessibilité aux espaces frais est bénéfique au bien-être des habitant(e)s et à la santé des plus vulnérables.

Atténuation du changement climatique

L'architecture vernaculaire adopte traditionnellement un modèle de sobriété. Le rafraîchissement passif qu'elle permet évite le recours aux solutions coûteuses, polluantes et émettrices de chaleur de climatisation. Les matériaux utilisés pour sa construction (terre et pierres) ont un faible impact environnemental, et la densité de la médina en fait un quartier économe du foncier.

POUR ALLER PLUS LOIN :

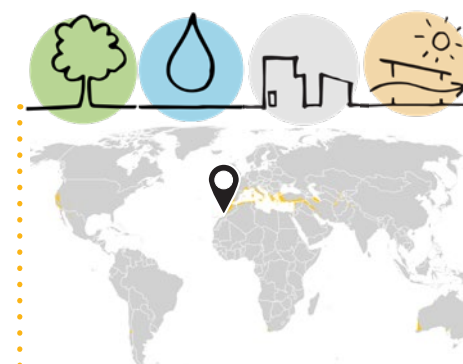
- Architectures CREE et ADEME (2015)
- [Matériaux de construction : retour aux \(bio\)ressources—Panorama et perspectives d'utilisation des matériaux biosourcés dans le monde](#)

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- Santorin, en Grèce (Csa, climat méditerranéen sec), est un exemple d'architecture vernaculaire cycladique : revêtements blancs, toits plats, rues étroites et structures troglodytiques permettent de conserver la fraîcheur dans la ville



©Zenatacity

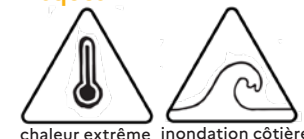


Climat actuel
méditerranéen (Csa)

Échelle
ville

Temporalité
long-terme

Risques



Climat futur
steppe semi-aride (BSh)
+1.3°C à horizon 2050 (RCP 8.5, GIEC)

Le projet d'éco-cité Zenata a pris en compte dès sa conception une approche transversale avec une importance accordée aux espaces verts ainsi qu'aux aménagements de continuités écologiques sur son territoire. La ventilation naturelle a été pensée à partir d'une étude des trames aérauliques, permettant une compréhension fine de son potentiel rafraîchissant. La mixité fonctionnelle de la future ville et les connexions en transport en commun avec le territoire du Grand Casablanca garantissent l'attractivité du projet.

Le projet d'éco-cité n'est cependant pas terminé et il est difficile d'avoir le recul nécessaire pour évaluer l'efficacité réelle des solutions rafraîchissantes ainsi que les ambitions prônées par les aménageurs. Il s'agit également de suivre les écosystèmes en cours de renaturation. Le cordon dunaire dégradé, ainsi que la plantation de nombreuses espèces adaptées, pour le moment, au climat actuel, devront faire l'objet d'une surveillance afin de confirmer l'adaptation effective du projet aux effets du changement climatique.

Contexte

Zenata est la première éco-cité en Afrique. Cette ville en construction sur le littoral nord de l'agglomération du Grand Casablanca fait aujourd'hui figure de référence pour l'aménagement de villes nouvelles respectueuses de l'environnement en Afrique. Elle s'inscrit dans un programme de construction de 15 villes nouvelles à travers le Maroc, avec pour objectif de fournir des logements, des équipements et des services aux classes moyennes marocaines. Pour mener à bien ce projet d'éco-cité, le groupe Caisse des Dépôts et Gestion a créé la SAZ, Société d'Aménagement de Zenata. La SAZ a bénéficié de la part de l'Agence Française de Développement (AFD), d'une subvention à hauteur de 0,3 million d'euros et d'un prêt de 150 millions d'euros, ainsi que 4 millions d'euros de fonds délégués de l'UE en subvention. Le budget pour l'ensemble du projet devrait s'élever à près d'1,9 milliard d'euros.

Actions sur le rafraîchissement

L'opération d'aménagement de Zenata a été conçue comme une éco-cité, et a vocation à traiter les défis de manière systémique, en s'appuyant sur des considérations économiques, sociales et environnementales, comprenant l'intégration des aléas climatiques futurs. Les risques d'inondation et de formation d'îlots de chaleur sont connus, et plusieurs équipements publics poursuivent dans la ville un objectif d'adaptation. Zenata veut être un modèle d'intégration de solutions vertes et bleues : de nombreux espaces végétalisés et désimperméabilisés y sont aménagés, et le front de mer fait l'objet d'une ouverture sur la ville. La ventilation naturelle de l'ensemble de la ville est permise par des solutions grises touchant aux formes urbaines. Elles tirent parti de la proximité de Zenata avec la mer, de la présence de montagnes à l'est et de la dominance de vents frais du nord en été pour rafraîchir naturellement la ville.

Description du projet

Zenata, ville bioclimatique
Des études bioclimatiques ont été réalisées lors de la phase de conception de l'éco-cité, et la trame viaire de Zenata est ainsi conçue selon des principes bioclimatiques et aérauliques. La topographie du site favorise les vents frais qui atteignent une vitesse moyenne annuelle de 3 mètres par seconde. C'est une vitesse relativement faible qui permet une ventilation confortable du site, générant un rafraîchissement de -2 à -3°C ressentis l'été.

Pour maximiser le potentiel rafraîchissant des vents, des masses végétales et aquatiques ont été aménagées en amont des quartiers. Ce modèle aéraulique a été testé en amont en soufflerie, afin de garantir un confort optimal—le vent peut également devenir une contrainte si les formes urbaines favorisent en trop grand nombre les effets venturi d'accélération des masses d'air. Le plan masse bioclimatique réalisé en amont de la construction de la ville a été transposé dans les documents réglementaires.

L'éco-cité veut également répondre à des standards bioclimatiques et d'efficacité énergétique. Ces prescriptions ont été transposées dans les documents prescriptifs transmis aux promoteurs. En plus de viser un objectif de faible émission de CO2, leur confort thermique intérieur est permis par des dispositifs d'isolation, de brise-soleil et de ventilation naturelle.

L'eau et la végétation

L'aménagement de Zenata prévoit également des trames vertes et bleues. 470 hectares de jardins et d'espaces publics sont végétalisés et les espèces endémiques ont été favorisées lors des plantations. Les plantes méditerranéennes vivent avec peu d'eau, elles offrent par conséquent un potentiel rafraîchissant moindre.

La stratégie d'hydrologie urbaine à Zenata vise à retenir l'eau et à permettre son infiltration à la parcelle. Cela se matérialise dans la création de noues ouvertes qui stockent l'eau avant infiltration, le rechargement des nappes phréatiques et la création de zones humides. La ville a fait le choix de se tourner vers son littoral en

réhabilitant son front de mer pour le rendre accessible, créant par la même occasion un espace public frais et attrayant pour les habitants. Le cordon dunaire fait également l'objet d'une opération de renaturation après que des habitations informelles aient perturbé le fonctionnement du site.

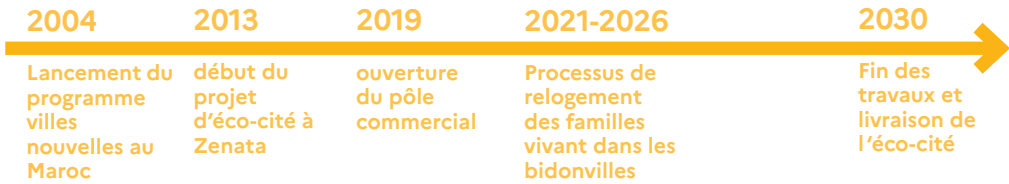
Les surfaces végétalisées à Zenata constituent

470ha soit 1/3 du territoire

Cela représente 15m² d'espaces verts par habitant

L'OMS recommande 10m²/hab

Chronologie du projet



Les enseignements utiles pour d'autres territoires

- Facteurs clefs de succès : une ville attractive, connectée à son territoire et économiquement viable.
- Zenata a considéré comme prioritaire son attractivité pour les populations du Grand Casablanca. L'aménageur propose ainsi un projet de ville à forte mixité fonctionnelle, qui reprend le modèle traditionnel de la médina marocaine. Le projet vise à créer une éco-cité à part entière, qui permette à la fois de se loger, d'étudier et de travailler. Dans cette logique de recherche d'une mixité sociale et des usages, on trouvera à terme une université, un centre commercial, un pôle de santé et un pôle logistique, des logements collectifs, des espaces publics....
- La prise en compte de l'éco-

mobilité a permis de favoriser les mobilités actives comme la marche ou le vélo, entraînant également une diminution des émissions de CO2.

Enjeux sociaux

Le projet de Zenata entraîne le nécessaire relogement de 36 000 habitants de bidonvilles présents sur le périmètre de la ville nouvelle. La société d'aménagement a développé un recensement ainsi qu'une démarche d'accompagnement, de dialogue et concertation pour organiser ce relogement. Des nouveaux logements sociaux ont ainsi été proposés, ainsi que la mise à disposition de parcelles pour que les habitants fassent construire de nouveaux logements.

Aménagement et approche systémique

L'approche systémique adoptée par Zenata est intéressante. La méthodologie du « référentiel éco-cité Zenata » met en lumière les interactions qui existent entre les différents éléments de l'aménagement dans l'éco cité. De la végétalisation aux mobilités en passant par l'emploi ou les espaces publics, toutes les étapes de l'aménagement passent au crible de la méthode d'éco conception.

Cobénéfices



Vie terrestre

Biodiversité

La conception urbaine de Zenata est favorable à la biodiversité. Les espaces verts recouvrent un tiers du territoire, et sont pensés en termes de continuités, tandis que plusieurs trames bleues sont présentes dans le projet, avec la création de parcs paysagers.



Bonne santé et bien-être

Santé et bien-être

La conception aérodynamique des formes urbaines à Zenata favorise la ventilation et un bon écoulement des vents, ce qui a des effets bénéfiques sur la qualité de l'air. De plus, la ville est dense et la mixité fonctionnelle est mise en avant, ce qui favorise les modes actifs et la mobilité décarbonée.



Lutte contre le changement climatique

Gestion des risques submersion/inondation

La conception de l'éco-cité de Zenata tient compte de la survenance d'épisodes de crues centennales et du risque de submersion accentué par le phénomène d'érosion dunaire. Des noues et des réservoirs d'eau ont été aménagés dans les différents quartiers, supposés absorber l'eau et guider les ruissellements restants vers la mer. Un plan de protection et de renaturation du cordon dunaire a été mis en place.

Atténuation du changement climatique

Le référentiel éco-cité Zenata permet d'inscrire l'opération dans une logique de résilience urbaine face à l'évolution des températures. En outre, le projet intègre une réflexion poussée sur la sobriété, sur le mix énergétique du projet et sur l'efficacité énergétique des bâtiments.



©Zenatacity

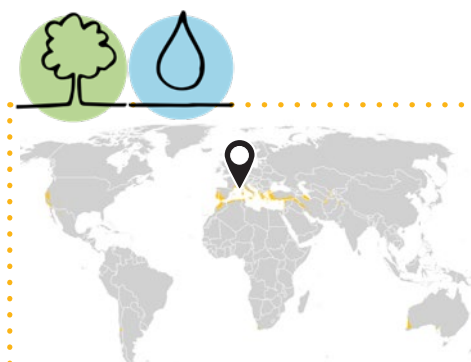
POUR ALLER PLUS LOIN :

- Claude De Miras, & Catherine Paquette Vassali. (2021). Villes nouvelles : ce que révèlent leurs difficultés manifestes dans les Suds. Une réflexion à partir du cas marocain. African Cities Journal, 02(03)

La renaturation des Aygalades Marseille France



©Elodie Briche



Climat actuel
méditerranéen chaud (Csa)

Échelles
îlot, espace public, quartier

Temporalité
long-terme

Coût du projet
38.5 M€
dont 2.5 M€ dévolus à la restauration du cours d'eau

Risques



chaleur extrême



sécheresse

Climat futur
steppe semi-aride (BSH)
+1.3°C à horizon 2050 (RCP 8.5, GIEC)

La cascade nichée au cœur du jardin des Aygalades, au sein de la Cité des Arts de la Rue (15ème arrondissement de Marseille), fait partie d'un projet de restauration écologique mené notamment par le collectif des Gammars. Il s'agit de prendre soin du ruisseau qui servait d'égout, de faire rejaillir la cascade et de réhabiliter les berges avec le jardin composé d'une promenade le long des berges, d'un jardin de plantes aromatiques, d'un point de vue sur la cascade.

Le parc des Aygalades et le parc de Bougainville (14ème arrondissement), quant à eux, s'inscrivent dans un grand **projet urbain*** d'Euroméditerranée structurant pour la ville de Marseille avec l'objectif de renaturation des berges des Aygalades. Les aménageurs le placent au centre de la réhabilitation des quartiers alentours. Il participe ainsi à créer davantage d'inclusion grâce à l'implantation d'événements culturels dans les quartiers Nord.

Contexte

Marseille est une commune française qui compte environ 870 000 habitants. Située au bord de la Méditerranée et encerclée par de petites montagnes et massifs, elle est caractérisée par son climat méditerranéen chaud et sec. Avec 2858 heures d'ensoleillement, elle est la ville la plus ensoleillée de France. Marseille est traversée par plusieurs fleuves côtiers aux débits relativement faibles. Ces derniers sont très canalisés dès la source, et leurs crues sont importantes en cas de pluie. La ville est marquée par les événements extrêmes de 1978 et 2003 qui ont entraîné des inondations violentes des quartiers de l'hyper-centre (Chalvet et Claeys, 2011). Les pluies extrêmes du 4 octobre 2021 ont suscité le déclenchement de la vigilance rouge pluie-inondation à l'échelle du département des Bouches du Rhône : à Marseille, les pluies enregistrées ont atteint l'équivalent de plus de deux mois de précipitations en quelques heures. La renaturation du fleuve côtier des Aygalades d'amont et aval va permettre de contribuer à une meilleure prise en compte du risque inondation mais également d'apporter des îlots de fraîcheur en ville.

Actions sur le rafraîchissement

La renaturation du fleuve côtier des Aygalades, dans le cadre d'Euroméditerranée 2, comprend l'aménagement à venir de deux parcs urbains : le parc des Aygalades de 10 ha (livraison prévue pour 2028) et le parc de Bougainville de 4 ha (livraison prévue pour 2024) dont les travaux ont démarré en 2021. Euroméditerranée est une opération de rénovation urbaine de 480 hectares à Marseille. Depuis 1995, Euroméditerranée constitue un laboratoire d'expérimentations urbaines pour faire la ville méditerranéenne durable. Les dernières étapes de cette opération ont pour objectif de requalifier le territoire urbain en se structurant autour des parcs urbains : « le parc Bougainville n'est en effet que la première pierre du futur parc des Aygalades, une longue coulée verte de 14 hectares le long du ruisseau du même nom. Ce projet abritera un tronçon découvert du cours d'eau sur 215m de longueur. L'objectif de ces opérations déjà menées depuis presque 10 ans donnant

naissance au collectif des Gammars au sein de la Cité des Arts de la Rue mais aussi prévues plus en aval par Euroméditerranée est de renaturer mais aussi de découvrir le ruisseau des Aygalades qui était en grande partie souterrain, bétonné, canalisé et très pollué. Sa mise à ciel ouvert permettra de profiter pleinement de son potentiel rafraîchissant. L'ensemble de la coulée verte envisagée sur le tronçon Euroméditerranée fera l'objet d'une opération de végétalisation structurante du nord au sud. Les objectifs de rafraîchissement urbain sont ainsi au cœur des différentes initiatives menées le long de ce fleuve côtier.

Description du projet

La présence de l'eau et de végétation dans le Parc des Aygalades, Euroméditerranée

La réhabilitation et renaturation des Aygalades passe par une double action des aménageurs, sur la qualité de l'eau et la mise à ciel ouvert du ruisseau et sur la végétalisation des berges et du parc. La désimperméabilisation des sols par la création de noues paysagères, la valorisation des écoulements de surface et le désenclavement du cours d'eau permettent une meilleure régulation hydraulique en cas de crue, et favorisent le rafraîchissement par l'évaporation. En réhabilitant les berges des Aygalades pour permettre des usages de promenade, de loisirs et de repos, la reconnexion des habitant(e)s avec la présence d'eau dans la ville est facilitée. Afin d'améliorer la qualité de l'espace et, à terme, l'appropriation du lieu par les habitants, une stratégie de végétalisation a été mise en place. La plantation des berges est également un atout pour permettre leur stabilisation. Le verdissement global du parc et du quartier Euroméditerranée 2 favorisent l'évapotranspiration et l'ombrage, et donc le rafraîchissement. Il est cependant important de noter que les espèces plantées dans le parc ont été sélectionnées pour leur bonne résistance au stress hydrique (pins d'Alep, aloès...) : ces plantes requièrent des apports hydriques moindres toutefois leur potentiel rafraîchissant s'en trouve limité.

-5 à -6°C

de différence de température, la nuit, entre l'intérieur du parc des Aygalades et le reste de la ville (Météo France, 2013)

Le potentiel rafraîchissant du parc pour l'environnement urbain

L'initiative menée au sein de la Cité des Arts de la Rue met en exergue la possibilité de recréer des îlots de fraîcheur en ville, en les rendant peu à peu accessibles aux habitants du quartier. L'Etablissement Public d'Aménagement de l'opération Euroméditerranée (EPAEM) et Météo France ont mené une étude microclimatique de l'influence d'Euroméditerranée 2 sur le rafraîchissement urbain en période de canicule. Cette démarche est encore rare dans les opérations urbaines et permet de comprendre finement comment agir au mieux pour le rafraîchissement.

Elle a notamment permis de quantifier le rafraîchissement potentiel du parc sur son environnement : 54ha seront rafraîchis, c'est-à-dire environ 30% de la surface totale de l'opération. Ce rafraîchissement ne concernera que l'environnement immédiat du parc, c'est-à-dire une zone de 80 à 100m autour de ses bordures. Il permettra d'y rafraîchir l'air ambiant de -0,3°C à -4,0°C (Météo France, 2013).



©LeclercqAssociés

Csa

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

- **L'adaptation au changement climatique au cœur du projet Euroméditerranée**
- L'objectif d'adaptation aux conséquences du changement climatique affiché par l'opération Euroméditerranée est décliné au sein du parc des Aygalades. Les espèces végétales plantées sont adaptées au stress hydrique que connaîtra la ville de Marseille de manière de plus en plus prononcée dans le futur. L'arrosage des végétaux du parc est cependant encore aujourd'hui alimenté par les eaux de ville, mais un projet est à l'étude afin d'utiliser, à terme, les eaux grises des bâtiments alentours.
- Coupler les actions rafraîchissantes avec des solutions favorables à une meilleure gestion du risque inondation est également une stratégie d'adaptation inspirante pour les territoires dont les

projections climatiques prévoient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes extrêmes.

La concertation et l'appropriation par les habitant(e)s au cœur des différentes initiatives

Les projets urbains de grande envergure comme Euroméditerranée 2 doivent relever le défi de mobilisation des populations durant toute la durée du projet. En l'occurrence, des séances de concertation ont été menées avec les habitant(e)s qui ont permis d'une part de recueillir leurs attentes sur la présence de nature dans l'opération Euroméditerranée 2 et dans le parc des Aygalades, et d'autre part d'organiser des animations de sensibilisation autour de la pollution des ruisseaux du territoire marseillais.

Pour la cascade et le jardin des Aygalades au cœur de la Cité des Arts de la Rue, des conférences « Voix d'eau », des balades et un marché sont organisés tous les premiers dimanches du mois pour sensibiliser les usagers et ouvrir peu à peu ces espaces, autrefois délaissés et servant d'égouts, au public. Des occupations temporaires de la friche et des aménagements transitoires ont également été mis en place, notamment grâce à la Cité des Arts de la Rue, sensibilisant par là-même les habitant(e)s aux enjeux de renaturation de l'ancienne friche. Les scientifiques ont pris part aussi à ces initiatives. Le laboratoire de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE) a réalisé une étude sur l'état écologique du ruisseau.

Cobénéfices



Villes et communautés durables

Espaces publics qualitatifs

La cascade et le jardin des Aygalades facilitent l'inclusion sociale et la participation des habitants. Le parc urbain des Aygalades a vocation à devenir un espace public très important pour la ville de Marseille, au service de l'inclusion sociale dans les quartiers Nord. Il constituera un espace attractif qui permettra à terme de connecter ces quartiers prioritaires de la politique de la ville au reste de Marseille. En plus d'offrir un espace de fraîcheur aux habitant(e)s, il permet d'améliorer l'offre de Nature et d'équipements sportifs, de loisirs et de culture dans les quartiers attenants.



Lutte contre le changement climatique

Gestion du risque inondation

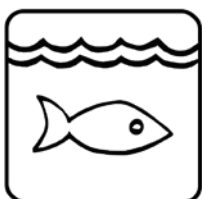
Le cours d'eau des Aygalades entre en crue régulièrement en cas de fortes pluies. Parmi les facteurs aggravants de ce risque inondation, on trouve la minéralité du bassin versant en aval du cours d'eau, et la portion importante de son linéaire qui est canalisée et souterraine (Chalvet et Claeys, 2011). L'aménagement du parc et du ruisseau constituent de véritables outils de régulation hydraulique. Une zone d'expansion des crues ainsi que des noues végétalisées ont permis d'améliorer la gestion de ces inondations.



Vie terrestre

Biodiversité

Le parc des Aygalades est construit sur une friche industrielle. Les 14 hectares aujourd'hui recouverts par le parc étaient auparavant une gare de triage. La dépollution du cours d'eau et la renaturation de la zone humide sont bénéfiques pour la biodiversité, de même que la végétalisation de l'espace. En articulant les échelles de l'aménagement urbain, le parc contribuera à créer une trame verte et bleue depuis les Massifs de l'Étoile jusqu'au bord de la Méditerranée.



Vie aquatique

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Étude d'impact météorologique de l'opération Euromed en période de canicule, EPAEM et Météo France (2013)
- La fiche produite par Mediterranean Cities and Climate Change (MC3) met l'accent sur la relation avec le changement climatique du programme Euroméditerranée

CE QUI EXISTE AILLEURS :

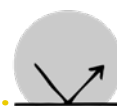
- Le cours d'eau du Pen Ar Biez à Lannion (22) a fait l'objet d'une opération de réhabilitation urbaine (renaturation, reméandrage, aménagement des berges...)

Les chaussées blanches de Los Angeles

Etats-Unis



©Streets LA, Ville de Los Angeles



Climat actuel
méditerranéen (Csb)

Échelles
îlot, espace public

Temporalité
court-terme

Risques



chaleur extrême



inondation côtière

Climat futur
steppe semi-aride (Bsh)
+ 4°C à horizon 2100 (Source : State of California)

L'atout majeur de ce projet pour la ville de Los Angeles est sa rapidité de mise en place et les résultats rapides qu'on peut alors mesurer. Cela peut être considéré comme un « **quick win*** ». La municipalité poursuit ses efforts de revêtement de voiries pour atteindre rapidement une masse critique bénéfique au rafraîchissement urbain.

Il est tout de même important de bien noter la nouveauté de la mobilisation des revêtements réfléchissants pour les voiries et les espaces publics. Il en découle une méconnaissance de leurs effets réels sur le confort thermique des usagers. Des projets de recherche sont actuellement en cours (voir rubrique Pour aller plus loin) afin de bien déterminer l'impact des revêtements frais sur le confort thermique des piétons.

Csb

Contexte

Avec plus de quatre millions d'habitants, Los Angeles est la deuxième ville la plus importante des Etats Unis. Le risque de chaleur extrême y est modéré, c'est-à-dire que le risque de survenance d'un épisode de chaleur extrême dans les cinq prochaines années est supérieur à 25%. La ville de Los Angeles s'étale sur plus de 1200 km², et plus de 15% de sa surface est occupée par des rues minéralisées. Les routes asphaltées dévolues aux voitures sont responsables pour grande partie des effets d'ICU, du fait de leur matériau sombre qui piège la chaleur. Elles constituent de ce fait un terrain d'intervention important pour limiter la chaleur en ville.

La municipalité de Los Angeles mène des expérimentations et des actions volontaristes pour lutter contre les îlots de chaleur. En 2015, elle lance le plan « Los Angeles Ville Durable » dans lequel elle s'engage à mettre en place des installations pilotes de cool pavements ou chaussées blanches. Dans le cadre de son « New Deal vert » en 2019, elle réitère sa volonté de rafraîchir les rues et espaces publics. Pour ce faire, des actions sont mises en place : chaussées blanches, toitures blanches, plantation de végétaux et construction de dispositifs d'ombrage.

Actions sur le rafraîchissement

La municipalité de Los Angeles affiche l'objectif d'avoir recouvert plus de 400km de voies d'un revêtement rafraîchissant d'ici 2028. Jusqu'ici, les phases de test des revêtements ont constitué la majeure partie du plan d'action. Elles ont permis d'étudier les nombreuses contraintes auxquelles les revêtements sont soumis. Ceux-ci sont hautement réfléchissants aux rayonnements solaires ce qui limite l'échauffement de la surface des chaussées et l'air ambiant. Cependant, le confort visuel des utilisateurs de l'espace public peut être impacté par la clarté du revêtement. Enfin, il est important de garantir la pérennité du dispositif en adaptant la résistance à la friction du matériau aux usages de la chaussée recouverte. Les chaussées blanches sont particulièrement intéressantes dans la situation climatique et topographique de Los Angeles. Les étés, de

mai à octobre, sont très secs et ne permettent pas d'agir sur la végétalisation et l'eau. De plus la ville est extrêmement étendue, elle comprend de nombreuses surfaces de voirie, et plus de 14% de son territoire est couvert par des parkings (Chester et al, 2015)

Description du projet

Le revêtement choisi

Les rues de Los Angeles ont fait l'objet de plusieurs expérimentations de revêtements différents, dont la caractéristique commune est leur couleur claire. Ces revêtements à albédo élevé renvoient l'énergie solaire vers le ciel et leur émissivité permet de ne pas réchauffer l'air ambiant en cas d'augmentation de la température de surface de la voirie. Ils sont constitués d'un mélange de sable, de ciments blancs et gris, de polymères et de pigments blancs. L'installation de ces revêtements est relativement facile à mettre en place. L'imagerie satellite permet de déterminer les endroits opportuns où les installer, puis leur pose ne demande pas de technique pointue. Ce sont donc des solutions de rafraîchissement qui présentent par leur simplicité un intérêt majeur.

La maintenance, la corrosion

La maintenance des chaussées blanches est un sujet important à considérer. Leur albédo élevé étant permis par la clarté du matériau, ce dernier ne doit pas être encrassé par la pollution. Il se fonce alors et n'a plus l'effet rafraîchissant attendu. Les chaussées traitées par le revêtement frais peuvent également être l'objet de frictions intenses et répétées, par exemple dans le cas d'autoroutes. Le revêtement doit ainsi garantir sa solidité afin d'éviter des retouches trop régulières.



©Streets LA, Ville de Los Angeles



©Streets LA, Ville de Los Angeles

Une route asphaltée foncée peut atteindre 50 à 65°C en surface en été. (Akbari et Matthews_2012)

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Le coût élevé d'installation et de maintenance des chaussées blanches

Les technologies utilisées dans les dispositifs de chaussée fraîche à Los Angeles sont pour la majorité en phase de test. La production des revêtements rafraîchissants n'existe donc pas à grande échelle et leur coût reste aujourd'hui élevé. En fonction de l'usage de la chaussée sur laquelle ils sont installés, les revêtements frais sont soumis à beaucoup de passage, de friction et de pollution. Leur maintenance est primordiale car l'encrassement lié à cette pollution les rend moins efficaces pour rafraîchir. Cette maintenance régulière consiste en un simple nettoyage mais nécessite le recours à de la main d'œuvre.

L'importance des données centrées sur le confort thermique humain

La plupart des études réalisées sur les chaussées fraîches utilisent des modélisations informatiques afin de déterminer le potentiel rafraîchissant des différents revêtements. Ces modélisations qui se concentrent sur la température des chaussées en surface ne sont centrées ni sur les ressentis et usages humains, ni sur le confort thermique. Or, les rares études récentes qui ont privilégié les capteurs thermiques sur le terrain et le relevé de la température corporelle des passant(e)s ont montré que les chaussées blanches pouvaient avoir un effet néfaste sur le confort thermique des piétons. En

effet, si la température de surface de ces chaussées est bien inférieure, leur albédo élevé réfléchit l'énergie des rayonnements solaires. Une partie de ces radiations serait absorbée par les corps des piéton(ne)s, augmentant par là-même leur température corporelle. Il s'agit alors de mener une réflexion sur les usages des espaces sur lesquels installer les dispositifs de chaussées blanches, et d'opérer un arbitrage entre lutte contre les îlots de chaleur et confort thermique des passant(e)s

Cobénéfices



Villes et communautés durables

Qualité des espaces publics

Les chaussées blanches de Los Angeles permettent d'améliorer la qualité des espaces publics dans lesquels elles sont installées. Elles évitent la surchauffe de la chaussée et l'augmentation des températures dans les espaces urbains. Leurs qualités esthétiques sont également intéressantes, et la couleur claire améliore la visibilité nocturne, et nourrit ainsi un sentiment de sécurité la nuit.



Bonne santé et bien-être

Santé : la qualité de l'air et de l'eau

Du fait de sa topographie, la ville de Los Angeles est sujette au phénomène de « smog », un nuage de pollution atmosphérique qui stagne sur la ville. Au contact des rayonnements solaires et de la chaleur, ces particules réagissent et produisent des composés toxiques, comme l'ozone ou le dioxyde d'azote. Le rafraîchissement permis par le Plan Rues Fraîches devrait permettre de réduire le phénomène de smog de 12% (Rosenfeld *et al.*, 1998).



Lutte contre le changement climatique

Réduction de la consommation d'énergie et durabilité des équipements

En empêchant la surchauffe des surfaces des rues et des équipements urbains alentours, les chaussées fraîches assurent leur durabilité. Le mobilier urbain comme les revêtements sont moins fragilisés et détériorés. De plus, le rafraîchissement créé permet de limiter la consommation d'énergie dédiée à la climatisation à l'échelle de la ville. Enfin, la visibilité accrue apportée par la couleur claire du revêtement permet de limiter le besoin d'éclairage public. (Pomerantz *et al.*, 2000)

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Middel, A., Turner, V. K., Schneider, F. A., Zhang, Y., & Stiller, M. (2020). Solar reflective pavements-A policy panacea to heat mitigation, Environmental Research Letters

CE QUI EXISTE AILLEURS :

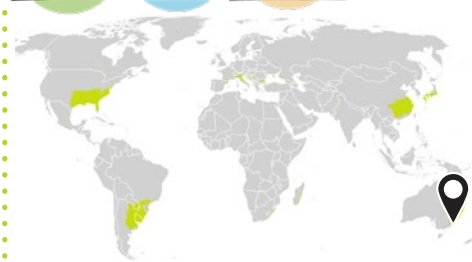
- Les « cool pavements » existent dans plusieurs villes au climat méditerranéen (Csa), comme à Acharnes, en Grèce
- Les revêtements poreux, ou pavages perméables, sont une autre manière de créer des sols rafraîchissants. Ils permettent une gestion des eaux pluviales à la parcelle, et existent par exemple à Montréal sous un climat continental humide (Dfb) Voir : [Arrondissement de Mercier-Hochelaga-Maisonneuve, Montréal](#)

La stratégie de rafraîchissement urbain de Penrith

Australie



© Phillip Wittke/Shutterstock.com



Climat actuel
subtropical humide (Cfa)

Échelle
ville

Temporalités
court à long-terme

Risques



chaleur extrême



crues

Climat futur
subtropical humide (Cfa)
+1,5 à +3°C de température moyenne (NSW Government)
+46 jours chauds par an en 2090 (The Australia Institute)

Le principal atout de la stratégie de rafraîchissement urbain de Penrith est son approche intégrée et systémique. Elle permet d'inclure la lutte contre la surchauffe urbaine dans une démarche plus globale d'adaptation aux effets du changement climatique, et intègre pleinement les habitants à la réflexion. Ces derniers sont également invités à agir dans le domaine privé. De plus, la démarche d'identification des zones et des populations les plus vulnérables à la chaleur sur le territoire municipal permet de cibler les actions prioritaires afin de soulager les zones concernées, et rafraîchir par la même l'ensemble de la ville en atténuant les ICU.

Il n'existe pas encore d'évaluation de ce plan très ambitieux mis en place il y a 6 ans. Son potentiel rafraîchissant exact n'est ainsi pas connu, alors qu'une démarche d'évaluation aurait permis de conforter les prochaines étapes.

Cfa

Contexte

Le microclimat de Penrith, influencé par sa situation géographique entre la ville de Sydney à l'est et une crête montagneuse à l'ouest, fait d'elle la ville la plus chaude et sèche des territoires alentours. En 2020, plus de 39 jours au dessus de 35°C y ont été observés, et parmi les capteurs de chaleur disséminés dans la ville, six ont relevé des températures supérieures à 50°C durant l'été. Les études menées par l'Université Occidentale de Sydney observent de nombreuses disparités en termes de surchauffe entre les différents quartiers de la ville. Deux d'entre eux se démarquent par leurs températures moyennes qui atteignent près de 2°C de plus qu'ailleurs. Les nombreux effets d'ICU présents dans la région ouest de Sydney en font une zone particulièrement surchauffée (Ogge, Browne, Hugues, 2018). Cela a amené la ville de Penrith à se doter d'une « task force » dédiée, afin de construire une ville plus résiliente face à la chaleur.

Actions sur le rafraîchissement

La ville de Penrith a élaboré en 2015 une « Stratégie du rafraîchissement urbain ». Son objectif est de parvenir à intégrer l'enjeu de rafraîchissement dans toutes les politiques d'aménagement à venir. Les 52 actions déclinées dans ce plan sont destinées à être mises en place pour la moitié à court terme et à moindre coût, tandis que le reste s'inscrit dans des temporalités plus longues. Une approche multi-échelle est adoptée par la municipalité, qui traite diverses dimensions de l'aménagement : mobilités, espaces verts, maintenance de la voirie...

La rivière Nepean et les nombreuses zones humides confèrent à Penrith une présence d'eau importante et la possibilité d'utiliser des solutions bleues et vertes pour le rafraîchissement (végétalisation, aménagement des berges...). De plus, la minéralité importante de la ville invite à mettre en place des solutions grises, comme l'installation de revêtements à albédo élevé. Les efforts de pédagogie, de participation de la population et d'acclimatation des services municipaux aux enjeux du rafraîchissement de Penrith sont également intégrés au plan d'action.

Description du projet

L'identification de zones d'action prioritaires

La phase de diagnostic des ICU de la ville de Penrith a été très importante pour la conception et la mise en œuvre de sa stratégie de rafraîchissement. La ville a d'ailleurs décidé de renouveler l'exercice 5 ans après, afin d'actualiser les données disponibles pour obtenir une compréhension fine du phénomène. Grâce à cette étude « Projet des capteurs de chaleur » menée par l'Université Occidentale de Sydney, des actions localisées peuvent être mises en place. Des zones vulnérables ont été identifiées, qui concentrent les actions prioritaires de rafraîchissement. Cependant, comme la plupart des politiques de rafraîchissement des collectivités locales, la Stratégie pour le rafraîchissement de Penrith ne fait pas de distinction entre les actions de réduction du phénomène d'ICU et la gestion des situations extrêmes de vagues de chaleur (Pfautsch, 2020)

Le contenu de la Stratégie de rafraîchissement urbain de Penrith

Les actions rafraîchissantes de Penrith sont basées sur un design urbain « sensible à l'eau », permettant de maximiser la présence et la rétention de l'eau dans la ville. Cela implique de désimperméabiliser les sols, d'installer des noues végétalisées, des bassins et des fontaines dans la ville. Une démarche connexe de végétalisation est également menée, passant par une politique volontariste de plantation de l'arbre en ville, tant dans les espaces publics que privés. Une attention particulière a été apportée au potentiel d'ombrage de la canopée dans les zones prioritaires de la ville. Les revêtements sombres à albédo faible de ces zones ont été traités. La ville a eu recours à des techniques de chaussée fraîche, en couvrant l'asphalte des routes d'un revêtement clair et réfléchissant pour réduire le stockage de chaleur. Une démarche similaire a été menée sur les toits des bâtiments municipaux. Cette technique de toiture fraîche permet d'augmenter le confort thermique des usager(s) des bâtiments, et d'éviter le stockage de chaleur.



© Phillip Wittke/Shutterstock.com

Extraits de la stratégie de rafraîchissement urbain de Penrith

Actions à bas coût à mener à court terme

« Participer à des initiatives de plantation d'arbres, et quand c'est possible les implanter sur les « hotspots » prioritaires »

Actions à mener à moyen et long-terme

« Réduire au minimum les surfaces imperméables dans la mesure du possible en remplaçant l'asphalte et le béton par des surfaces poreuses »
« Informer les habitants des efforts de la Municipalité pour rafraîchir la ville et collaborer avec elle sur la conception des paysages à l'avenir »

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

Le caractère innovant du projet

Une démarche multiscale

La stratégie de rafraîchissement de Penrith vise à traiter la surchauffe tant à l'échelle du seul bâtiment qu'à celle de la région toute entière. Cette imbrication des échelles permet de décliner les actions rafraîchissantes sur tous les espaces urbains, quelles que soient leurs spécificités.

Effets rapides

Le plan d'actions de la Municipalité décline une vingtaine d'actions à effet rapides, peu

chères et à mettre en place à court terme. Cela permet de lancer une dynamique bénéfique à l'ensemble du territoire, et d'acculturer au plus vite toutes les parties prenantes.

Facteurs de reproductibilité

La compréhension fine des enjeux du territoire et des zones vulnérables est un atout pour la stratégie de Penrith. Le renouvellement du diagnostic après une période de cinq est inspirant.

L'effort de pédagogie et de communication fournis par

Penrith auprès des agents des services municipaux et des habitants est très important. En les convainquant du bien-fondé de ces actions rafraîchissantes, la municipalité mobilise les communautés d'acteurs, et agit également sur le domaine privé.

Cobénéfices



Vie terrestre



Villes et communautés durables

Biodiversité

L'intégration de la rivière Nepean à la stratégie de rafraîchissement ainsi que les efforts de végétalisation des rues, des jardins privés et des nombreux parcs publics de Penrith contribuent à créer des continuités écologiques bénéfiques au développement et à la sauvegarde de la biodiversité.

Participation citoyenne

La stratégie de rafraîchissement de Penrith octroie un rôle important à l'action des particuliers. Elle souhaite les intégrer à l'effort collectif de rafraîchissement en les associant aux réflexions autour de l'aménagement de la ville, et en les incitant à agir pour adapter leurs logements et leurs jardins. Forte de son expérience, la Municipalité de Penrith invite à s'inspirer de son exemple. Elle souhaite engager une dynamique régionale de rafraîchissement et travaille pour ce faire avec le gouvernement d'état de sa région, les Nouvelles Galles du Sud. Elle propose également de former les professionnels à ces méthodes de rafraîchissement, et organise annuellement un colloque sur le sujet.

Qualité des espaces publics

La végétalisation des rues, la réhabilitation des berges de la rivière Nepean et plus généralement l'attention portée aux espaces publics pour leur rôle rafraîchissant est bénéfique pour l'ensemble des habitants de Penrith. Ces actions sont porteuses d'une certaine qualité urbaine qui profite à tous, notamment dans les quartiers les plus densément peuplés.

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Cooling the City Strategy (2015) et Street Park Management Plan (2017); Penrith city Council
- Benchmarking Summer Heat Across Penrith, New South Wales (2020), Pfautsch S., Wujeska-Krause A., Rouillard S.
- ARBOCLIMAT; est un outil de prospective pour la plantation d'arbres en ville développé par l'ADEME. Il évalue les impacts sur le changement climatique.

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- Le programme d'Action pour le Climat 2014-2020 de la Ville de Mexico (climat océanique Cwb) réunit 69 actions pour tendre à l'adaptation, il a vocation à toucher tous les secteurs de l'aménagement, de la mobilité à la végétalisation en passant par l'efficacité énergétique.

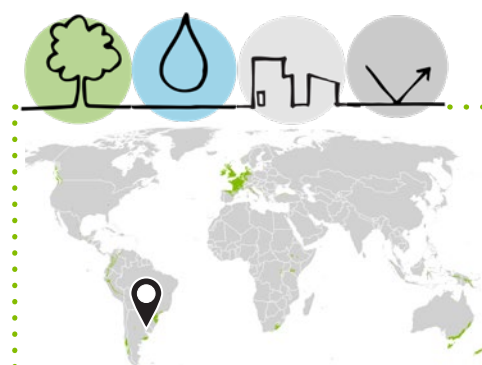
L'aménagement des berges du Barigüi

Curitiba

Brésil



© Ville de Curitiba



Climat actuel
tempéré océanique (Cfb)

Échelles
espace public, quartier, ville

Temporalités court à long-terme **Coût du projet** 72,3 millions d'€

Risques



Climat futur
subtropical humide (Cfa)
+2,3 à +3,5°C dans le sud du Brésil à horizon 2100 (CPTE)

L'aménagement des rives du Barigüi intègre la réduction du risque d'inondation et vise à renforcer les liens avec le fleuve, au bénéfice des habitants et des gestionnaires du territoire. L'intervention a pour cela visé la restauration des écosystèmes des berges et des zones d'expansion des crues, en les intégrant à l'aménagement des parcs linéaires. En utilisant uniquement des espèces endémiques et non-invasives, la végétalisation des berges stabilise le sol, réduit le débit et limite l'érosion.

Il reste cependant des points d'incertitude quant à la quantification de la capacité rafraîchissante des aménagements des berges, du fait de l'absence d'étude et de relevé des températures avant et après la création des parcs. Il en va de même pour les études relatives à l'inclusion sociale permise par les différents usages du site en relevant des données sur sa fréquentation par des publics variés.

Cfb

Contexte

Curitiba compte près de deux millions d'habitant(e)s. Elle est la capitale de l'état du Paraná, au sud-est du Brésil, et sa municipalité fait figure de référence depuis les années 1970 pour sa politique volontariste en faveur de la biodiversité. La ville est traversée par un réseau de cours d'eau regroupé en six rivières principales. Cette présence importante de l'eau couplée à une forte pression d'urbanisation et des événements pluvieux extrêmes génère des risques importants d'inondations urbaines (Mendonça, 2012). La culture du risque est ainsi développée dans les politiques d'aménagement de la ville. Après des années de canalisation des cours d'eau, la Municipalité mène désormais des actions d'aménagement qui visent à augmenter la résilience face aux aléas climatiques et à « vivre avec le fleuve ». Le Barigüi est un des fleuves majeurs qui traverse Curitiba. Ses berges font l'objet d'un aménagement en quatre parcs urbains linéaires.

On estime qu'environ 25% de la population de Curitiba vit au bord du Barigüi, soit plus de 450 000 personnes. Depuis le début des années 2000, des habitations informelles ont été installées sur les zones naturelles de ses rives. Ce phénomène a entraîné des problématiques économiques, sociales et environnementales complexes, qui rendent les occupant(e)s de ces habitations d'autant plus vulnérables face au risque d'inondation. Un plan de relogement de 631 familles a été conduit par la Municipalité.

Actions sur le rafraîchissement

Le projet d'aménagement des rives du Barigüi a pour objectifs premiers la gestion du risque inondation et la création d'espaces publics verts, et s'inscrit dans une démarche de sauvegarde de la biodiversité à l'échelle de la ville. Le rafraîchissement urbain apparaît comme un cobénéfice, ou bénéfice

La surface d'espaces verts par habitants à Curitiba est de 64.5m²
L'OMS recommande 10m² par habitant

systémique, des aménagements.. Ainsi, à échelle de l'espace public, la plantation de végétaux qui stabilisent les berges, a un effet sur l'ombrage et l'évapotranspiration ; à échelle de la ville, la trame aéraulique et bleue constituée le long du fleuve permet de faire circuler l'air frais et humide du Nord au Sud. Le cas de la rivière Barigüi est ainsi hautement intéressant car il permet d'allier le rafraîchissement urbain et l'aménagement d'espaces publics accueillants et accessibles à la population. L'AFD, partenaire de ce projet, a accordé en 2011 près de 36 millions d'euros à la Municipalité, avec garantie de l'État, pour le mener à bien.

Description du projet

Les parcs linéaires comme espaces de fraîcheur

La topographie faite de collines douces et de nombreux cours d'eau à Curitiba est une opportunité majeure pour les actions de rafraîchissement. L'aménagement des berges du Barigüi tire parti du rafraîchissement naturel créé par la présence de l'eau, la ripisylve et les effets de vents. Le fleuve Barigüi s'écoule dans la ville sur plus de 45km, et tous les quartiers qu'il traverse bénéficient de son effet rafraîchissant. En aménageant ces parcs linéaires, l'accès aux espaces de fraîcheur est garanti pour les habitants.

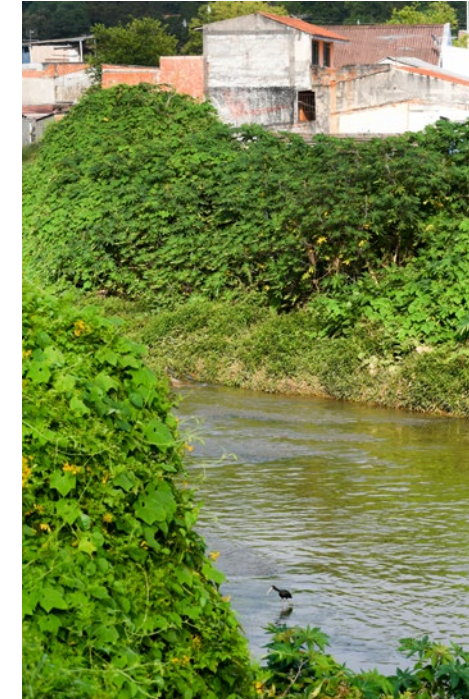
Le confort thermique dans l'espace public

Le parc des rives du Barigüi est un **objet urbain*** original : il constitue un îlot de fraîcheur accessible à tous les habitant(e)s, qui peuvent profiter des espaces frais et ombragés de la ripisylve quel que soit leur usage du lieu. La taille du parc et sa forme linéaire permettent de mixer différents usages dans un même lieu. Les espaces de promenade et de déambulation ainsi que la piste cyclable qui le traversent facilitent des mobilités douces. Les aires de jeux pour enfants, le mobilier urbain ouvert aux différents usages et les agrès sportifs extérieurs invitent à l'appropriation du lieu par le plus grand nombre.

L'implication citoyenne et la sensibilisation à l'environnement

La réhabilitation des rives du cours d'eau urbain a pour effet positif de reconnecter les citadin(e)s à leur environnement

naturel. Ce renouvellement du lien tactile et visuel avec l'eau entre dans une logique d'implication citoyenne et de sensibilisation à l'environnement portée par Curitiba depuis plus de cinquante ans. Un programme de dépollution hydrique a été engagé en 2011. Il comprend un volet important de sensibilisation des habitant(e)s de Curitiba aux rejets polluants dans l'eau de la rivière à travers le programme éducatif « Olho d'Água ».



© Agence BASE

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

- **La culture du risque à Curitiba**
- Le fleuve Barigüi est sujet à des épisodes de crues récurrents.
- Deux événements d'inondation urbaine en 1983 et 1995 ont engendré plusieurs milliards de dollars de dégâts et ont laissé une marque importante sur la gestion du risque à Curitiba.
- L'aménagement des parcs linéaires en bord de fleuve intègre depuis l'origine l'existence de ce risque, puisque toute la zone est inondable. Les espaces les plus proches du lit de la rivière sont conçus comme des espaces paysagers submersibles. Le mobilier urbain y est amphibie et fixé au sol pour pouvoir être submergé sans dégâts. Cette approche permet de renforcer la culture partagée du risque à Curitiba, tout en ne sanctuarisant pas les espaces inondables comme zones dangereuses et impraticables.
- **La mixité des usages favorisée dans le parc**
- La mixité des usages développée par l'aménagement de ce parc est une manière efficace de lutter

contre l'étalement urbain. En intensifiant l'utilisation des espaces publics et en favorisant la cohabitation d'usages variés, la ville répond à des besoins de sobriété urbaine. Cela permet de réduire les besoins en mobilité carbonée, ainsi que de créer des espaces de respiration dans la ville dense, tout en luttant contre l'étalement urbain.

Facteurs de reproductibilité

L'intérêt majeur de ce projet est le potentiel qu'a perçu la Municipalité dans l'aménagement des zones inondables sujettes aux crues souvent considérées impraticables. La culture du risque propre à Curitiba a permis d'envisager la construction d'un parc, en transformant une contrainte transitoire en opportunité quasi permanente. Le succès de ce projet tient aussi à l'attention portée aux espèces utilisées pour végétaliser les berges de la rivière. Un décret daté de 2008 interdit la plantation

d'espèce tropicales invasives dans la ville, et prévoit leur remplacement par des espèces endémiques, mieux adaptées aux réalités du territoire.

Points de vigilance

Le projet a impliqué l'accompagnement par la Municipalité des 631 familles installées dans des habitats informels illégaux au bord de la rivière qui ont dû être relogées pour un coût s'élevant à 1M€. Pour son nouveau projet de parc au Sud du Barigüi, dans le quartier populaire et partiellement inondable de Caximba, la Municipalité a intégré un programme dédié, d'habitat et d'équipements publics, permettant aux ménages exposés aux risques et souvent dans l'informalité, de se reloger de façon pérenne et de bénéficier du futur parc.

Cobénéfices



Vie terrestre



Villes et communautés durables



Lutte contre le changement climatique

Biodiversité

La sauvegarde de la biodiversité est un objectif majeur de l'aménagement des rives du Barigüi. Elle correspond à une action menée depuis 2007 à l'échelle du bassin versant, pour le renforcement de la qualité hydrologique et de la diversité écologique. Les rivières et leurs berges sont des espaces importants pour les oiseaux migrateurs, la faune et la flore locales. La plantation de végétaux, la conservation d'espaces boisés indigènes, la valorisation de la rivière comme milieu vivant renforcent sa qualité écologique.

Qualité des espaces publics et bien-être

L'aménagement des parcs en bord de rivière à Curitiba est ainsi un bon exemple d'aménagement combinant adaptation au changement climatique et la amélioration de la qualité de vie urbaine. Les équipements installés ont été pensés pour permettre à de nombreux usages de se côtoyer. Le mobilier urbain conçu pour ne pas avoir de destination fixe invite à une diversité d'usages parfois impensés par les concepteurs, et les cheminements pacifiés permettent une mobilité douce.

Gestion du risque inondation

Le territoire de Curitiba est sujet à un risque d'inondation urbaine provoquée par les crues des fleuves Barigüi et Paraná. Les épisodes pluvieux extrêmes y sont récurrents, et leur intensité et leur fréquence tendent à augmenter (Pedron *et al.*, 2016). L'aménagement des parcs linéaires tient compte de ces risques d'inondation, et certains espaces paysagers sont même destinés à être submergés. En période de crue, ils peuvent servir de bassin de rétention, tandis qu'en période sèche leur mobilier submersible permet aux habitants de profiter d'un lieu de vie et de détente.

CE QUI EXISTE AILLEURS :

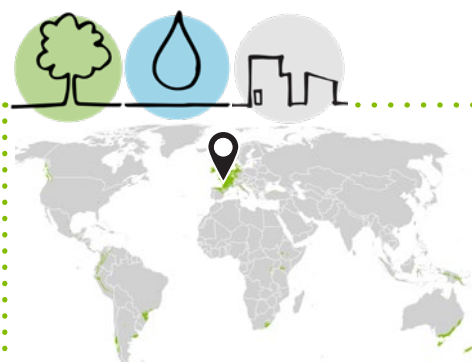
- Les parcs linéaires urbains sont une option d'adaptation et de gestion du risque inondation très intéressante. C'est le cas du Parc métropolitain de l'eau Luis Buñuel à Saragosse en Espagne (Climat semi-aride, BSk) et du parc linéaire de la rivière Saint-Charles à Québec, au Canada (climat continental humide, Dfb).
- Voir également la fiche de Pirmil-les-Isles, Nantes (Climat tempéré océanique, Cfb)

Le fleuve au centre du projet urbain dans la ZAC de Pirmil-Les-Isles

Nantes
France



© saiko3p/Shutterstock.com



Climat actuel
tempéré océanique (Cfb)

Échelles
espace public, quartier

Temporalités
moyen à long-terme

Risques



chaleur extrême



crues



inondation côtière

Climat futur
méditerranéen (Csa)
+2 à +5°C à horizon 2100
+51 jours chauds par an (Météo France)

L'atout majeur de ce grand projet de développement urbain à Nantes est sa compréhension globale et systémique des besoins d'adaptation. Il prend en compte la gestion du risque inondation, le rafraîchissement, la sauvegarde de la biodiversité ainsi que la qualité des espaces urbains. La mise en place d'un grand processus participatif avec les professionnels locaux accentue encore cette acception globale des besoins d'adaptation.

Le quartier n'ayant pas encore été livré, les retours d'expérience manquent pour qualifier ses limites. Le coût important de la mise en place et de la construction d'une ZAC entre évidemment en ligne de compte. Il s'agit également de conserver une vigilance quant à l'appropriation par les futur(e)s habitant(e)s des différents espaces publics et des potentialités d'engagement citoyen et communautaire qu'ils devraient permettre.

Cfb

Contexte

La métropole nantaise compte environ 650 000 habitants. Sa localisation sur l'estuaire de la Loire, à moins de 50km de l'océan lui confère un climat tempéré océanique, aux étés et aux hivers doux. Le fleuve est un élément incontournable du paysage, des usages et de la culture du risque locale, et il est placé au cœur de l'aménagement de la ZAC de Pirmil-Les-Isles.

La zone d'aménagement concertée s'étend sur 150 hectares de la rive sud de la Loire. Elle est située sur une ancienne zone industrielle qui avait été urbanisée en comblant un bras de la Loire. La zone est donc hautement vulnérable aux inondations, et tout le projet d'aménagement est influencé par cette compréhension du risque. Il s'agit pour le futur quartier et ses habitants de « vivre avec le fleuve » : l'objectif majeur de l'opération est la conjugaison de la qualité urbaine avec la gestion du risque inondation. La lutte contre la surchauffe urbaine apparaît ainsi comme un objectif secondaire, et un cobénéfice des mesures anti-inondations.

Actions sur le rafraîchissement

La construction du quartier sur une zone sujette aux inondations fait du projet un pilote local de l'adaptation de la ville aux effets du changement climatique. Le rafraîchissement urbain est considéré comme l'un des paramètres permettant la résilience et l'adaptation. La qualité des espaces de vie, ainsi que la préservation de la biodiversité sont également des paramètres importants. Cette prise en compte de l'adaptation dans le projet urbain passe par des efforts de végétalisation (alignements arborés, micro-forêt Miyawaki, parcs urbains...) et de désimperméabilisation des sols (renforcement des zones humides, renaturation des sols...)

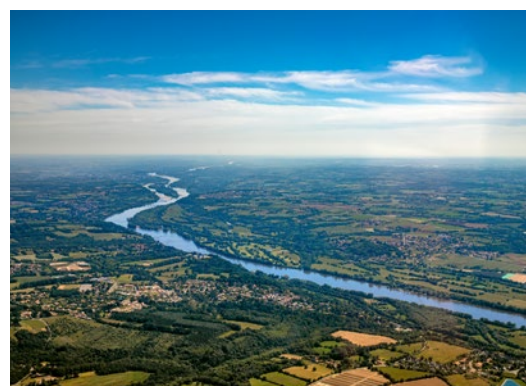
Description du projet

Vivre avec la Loire : l'eau à Pirmil-Les-Isles

L'objectif de la ZAC est d'adapter le quartier au paysage pour que ses habitants puissent « vivre avec le fleuve ». L'aménagement du parc fluvial permet aux habitants du quartier de nouer un lien avec la Loire, y compris en période d'inondations. Sur les 3km de rives de la Loire en lien direct avec le quartier, un parc urbain fluvial est en cours d'aménagement. En plus d'être un espace public accessible une grande partie de l'année, il constitue également un champ d'expansion pour les crues de la Loire. Son mobilier et toute sa surface sont submersibles. Cela permet de créer une accessibilité aux rives de la Loire et à leur fraîcheur (hors périodes de crues), tout en instillant une culture du risque et en apprenant à vivre au rythme du fleuve. Un cobénéfice majeur de ce parc submersible est le rafraîchissement, puisqu'en plus d'être un parc fortement végétalisé, la majorité de sa superficie sera perméable : il aura ainsi un effet significatif sur les températures ambiantes grâce à l'évapotranspiration. Les arbres qui y seront plantés apporteront également de l'ombrage bénéfique au rafraîchissement.

La stratégie de végétalisation

Pour Nantes Métropole Aménagement, Pirmil-Les-Isles a vocation à devenir une « ville-Nature ». Des mesures de végétalisation sont ainsi envisagées à chaque étape du projet et dans toutes ses zones. A terme, on trouvera dans le quartier, en plus du parc fluvial, des jardins partagés, des bâtiments végétalisés et 50 000 nouveaux arbres.



© Olivier Malard/Shutterstock.com

Le site sur lequel la ZAC est développée est un ancien site industriel dont les sols sont pollués. Une pépinière a été installée dès le début du projet, et des expérimentations ont actuellement lieu pour renaturer et enrichir progressivement les sols en place grâce à l'apport de matières organiques locales. La plantation d'une partie des 50 000 arbres a également déjà commencé : une forêt Miyawaki (cf. Retour d'expérience de la ville de Srirangam, Inde) a été plantée par des volontaires bénévoles à l'occasion d'un événement pour l'engagement citoyen et la découverte du projet de ZAC. En anticipant la plantation des végétaux, l'aménageur s'assure d'obtenir des arbres d'âges variés, dont certains déjà matures, au moment de la livraison du projet.



© Olivier Malard/Shutterstock.com

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

- **L'adaptation au changement climatique au cœur du projet**
- Les mesures d'adaptation aux effets du changement climatique développées dans le projet
- d'aménagement urbain de Pirmil-Les-Isles sont particulièrement intéressantes. La plupart d'entre-elles sont des solutions d'adaptation fondées sur la nature, c'est-à-dire qu'au-delà de leur objectif d'adaptation, elles permettent de restaurer des fonctions écosystémiques et contribuent au bien-être des humains.
- C'est par exemple le cas des solutions de végétalisation du quartier. En plus de leur fonction ornementale, les essences

sont choisies pour favoriser la biodiversité et permettent le rafraîchissement. Elles sont également choisies pour être adaptées au climat futur des Pays-de-Loire.

Faire vivre le site pendant la durée du projet

Les grands projets d'aménagement qui prennent la forme d'une ZAC s'inscrivent dans le temps long. Plusieurs initiatives d'occupation transitoire de la zone sur laquelle sera construite le quartier ont cours actuellement. C'est par exemple le cas de l'espace d'arts et de culture en plein air « Transfert ». Des

activités d'appropriation des lieux pour les potentiels futurs habitants sont organisées, comme la plantation collective d'arbres et d'arbustes. Cette plantation anticipée permet également d'agir dès à présent pour le rafraîchissement et contre l'imperméabilisation des sols, avant même la construction des futurs bâtiments.

Cfb

Cobénéfices



Villes et communautés durables

Espaces publics qualitatifs

Le défi majeur de la ZAC de Pirmil-Les-Isles est de parvenir à concilier les objectifs d'aménagement d'un espace urbain qualitatif avec ceux de la gestion du risque inondation. En construisant notamment un parc fluvial submersible rafraîchi, accueillant, et favorisant le bien-être, la ZAC répond à ce double objectif. L'attention particulière portée au design urbain, au mobilier submersible et à la diversité des bâtiments participe de cette qualité urbaine et paysagère.

Participation citoyenne et renforcement de la communauté locale

Le processus participatif adopté par les aménageurs de ce projet est innovant et très intéressant. Plus de 400 professionnels locaux du secteur du BTP, de l'architecture du paysagisme ou encore du design ont été invités à identifier ensemble les innovations qui font avancer leur filière, et à imaginer des applications sur la ZAC. Ces ateliers concernaient des sujets variés comme la renaturation des sols ou les matériaux de construction écologiques.



Lutte contre le changement climatique

Gestion du risque inondation

Le projet de parc fluvial submersible est une manière d'instiller une culture du risque dans le quartier, et d'apprendre à vivre avec la Loire, ses crues, et le rythme des marées. Cet espace permet à la fois de restaurer l'accès aux rives de la Loire, et de créer un champ libre pour les expansions de crue. Le projet comporte aussi des actions de renforcement des zones humides alentours, participant ainsi d'une gestion globale de l'eau et des inondations.

POUR ALLER PLUS LOIN :

Voir les fiches :

- Les rives du Barigüi, Curitiba (Brésil) pour un autre exemple d'aménagement des rives d'un fleuve en parc submersible
- La micro-forêt de Srirangam (Inde) pour plus de détails sur la plantation de micro-forêts Miyawaki en contexte urbain.

CE QUI EXISTE AILLEURS :

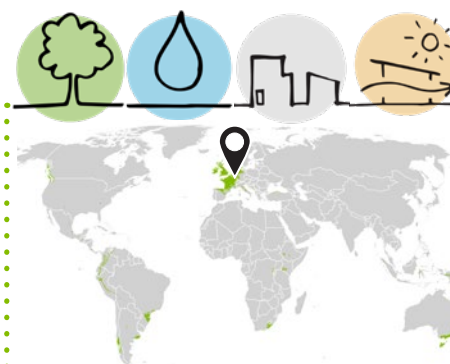
- L'aménagement des rives du fjord à Stockholm (Cfb) fait figure d'exemple pour établir une connexion forte des habitant(e)s à leur environnement naturel aquatique proche.
- La Faute sur Mer (Cfb), commune très touchée par la tempête Xynthia en 2010, a imaginé un parc urbain structuré autour d'une noue paysagère importante, destinée à absorber les eaux de pluie et de ruissellement.

L'école durable « A la croisée des chemins »

Bruxelles
Belgique



© B2Ai Architectes



Climat actuel
tempéré océanique (Cfb)

Échelle
bâtiment

Temporalité
moyen-terme

Risque



Climat actuel
subtropical humide (Cfa)
+2 à +5°C à horizon 2100
+51 jours chauds par an (Météo France)

L'atout principal de ce projet est la manière dont ses concepteurs ont su mobiliser des solutions rafraîchissantes dans la cour comme dans le bâtiment. L'action conjointe de la végétalisation, de la présence d'eau, des protections solaires et de la géothermie permet d'améliorer le confort des usagers. L'appui sur des solutions d'adaptation fondées sur la nature (SAfN) permet d'allier l'adaptation et l'atténuation du changement climatique dans un objectif commun de préservation des écosystèmes et du bien-être humain.

Il faut cependant noter que, du fait de son échelle, ce projet a un impact majeur sur le confort thermique de ses usagers, et moindre sur les températures ambiantes dans la ville. Il s'agit alors de réfléchir à des manières de faire profiter au plus grand nombre du rafraîchissement permis au sein de l'école. L'aménagement d'horaires d'ouverture étendus est une piste intéressante.

Cfb

Contexte

Neder-Over-Heembeek est un quartier du nord de Bruxelles. La capitale belge compte un peu plus d'1,2 millions d'habitant(e)s, et sa densité de population et d'infrastructures induit des températures plus élevées dans la ville que dans les alentours ruraux. L'évolution des températures à Bruxelles est fortement influencée par des causes anthropiques. Si le climat actuel est tempéré océanique, avec des étés frais et humides et environ 4 jours de vague de chaleur par an, les effets du changement climatique vont provoquer une augmentation des fortes chaleurs d'ici la fin du siècle.

Dans ce contexte, la municipalité bruxelloise se saisit du sujet de l'adaptation des bâtiments publics aux effets du changement climatique, et notamment des écoles. Les enfants sont des populations fragiles et vulnérables aux températures élevées. Les infrastructures scolaires doivent constituer des environnements propices à leur apprentissage, à leur confort et à leur bien-être.

Actions sur le rafraîchissement

L'école fondamentale « A la croisée des chemins » de Neder-Over-Heembeek accueille 900 élèves de maternelle et de primaire. Le bâtiment et sa cour ont été conçus pour permettre le confort et le bien-être de ses usagers, enfants et personnels de l'école. Des actions favorables au rafraîchissement de l'air ambiant et à l'amélioration du confort thermique ont été mises en œuvre, qui s'adaptent au contexte climatique, typo-morphologique et architectural bruxellois. Parmi elles, la présence de l'eau et la plantation de végétation, ainsi que les techniques pour favoriser la circulation naturelle de l'air au sein d'une zone de bâti dense.

Description du projet

La conception architecturale du bâtiment au service du projet pédagogique et de l'adaptation

Le bâtiment de l'école « A la croisée des chemins » répond à un standard passif. La géothermie est utilisée pour garantir le confort thermique intérieur en apportant de la chaleur et de la fraîcheur par 30 puits creusés à 100m de profondeur dans le sol. Les fenêtres exposées au sud sont équipées de triple vitrage, ce qui permet de laisser entrer la lumière naturelle sans déperdition thermique ni entrée de chaleur. Des pare-soleils sont également disposés afin de protéger les locaux intérieurs du rayonnement solaire. Les toits du bâtiment sont végétalisés et dotés de citernes de récupération des eaux de pluie. Le bâtiment est donc adapté à la surchauffe actuelle et future de la ville. Il permet de conserver un confort thermique et de rafraîchir de manière sobre.

L'école « A la croisée des chemins » a également su allier le projet pédagogique de l'école à sa conception architecturale et paysagère. L'écologie, le lien à la nature et le développement durable sont mis en avant dans une méthode de pédagogie active, où les élèves se trouvent au cœur de leur apprentissage. Le potager, la récupération des eaux de pluie et leur utilisation dans la cour, la rivière pédagogique et le petit bois sont autant d'éléments architecturaux qui invitent à expérimenter, faire et vivre ensemble.



© B2Ai Architectes

Les espaces extérieurs de récréation : une conception paysagère faisant la part belle à la présence d'eau et de végétation

Un équilibre a été recherché entre la compacité du bâti et les espaces verts de la cour de récréation. Cette dernière fait partie intégrante de l'établissement et sert des objectifs d'adaptation, de rafraîchissement et de confort thermique. Plus de la moitié de sa surface est perméable, l'absorption des eaux de pluie et de ruissellement par le sol favorise le rafraîchissement par évaporation. La présence de l'eau dans la cour est accentuée par la présence d'une rivière pédagogique. Elle permet la sensibilisation des enfants au cycle naturel de l'eau, rafraîchit l'air ambiant et améliore le confort thermique extérieur. La cour offre également un étang et une petite zone humide, un potager pédagogique, un poulailler et une petite forêt, autant d'aménités favorables à l'ombrage, à l'évapotranspiration et à la préservation de la biodiversité. Ces solutions d'adaptation fondées sur la nature (SAfN) sont indispensables aux démarches de rafraîchissement urbain visant l'adaptation des villes aux effets du changement climatique.



© B2Ai Architectes

Maître d'ouvrage : Ville de Bruxelles –
Département de l'Urbanisme
Architecture : B2Ai

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

La prise en compte des trois piliers du développement durable dans toutes les étapes de la vie de l'établissement

Dès sa phase de conception, l'école « A la croisée des chemins » a intégré les trois piliers du développement durable que sont la viabilité économique, sociale, et environnementale. L'économie circulaire a été valorisée lors des travaux de construction, l'innovation sociale mise en avant dans l'organisation des espaces d'enseignement et d'interactions entre les élèves, et

le fonctionnement du bâtiment en termes d'énergie et de déchets répond à des critères de sobriété.

La cour d'école : composante essentielle du milieu urbain

Les établissements scolaires en général et les cours de récréation en particulier peuvent jouer un rôle important dans la qualité urbaine, qui dépend elle-même en partie du confort thermique (Nikolopoulou, 2001). La cour de l'école « A la croisée des

chemins » est exemplaire puisqu'elle offre à ses usagers un espace alliant confort visuel et esthétique (présence d'eau et de végétaux, bâtiment différent des alentours...), confort thermique (espace de fraîcheur) et usages variés de la ville (agriculture urbaine pédagogique, jeu, enseignement...).

Cfb

Cobénéfices



Vie terrestre



Production et consommation responsables



Lutte contre le changement climatique

Biodiversité

Des objectifs à la fois environnementaux et pédagogiques ont permis de concevoir de nombreux équipements favorables à la biodiversité dans l'école : toits végétalisés, bois, étang, zone humide, potager...

Agriculture urbaine et pédagogique

Une partie des espaces récréatifs extérieurs de l'école « A la croisée des chemins » est dédiée à l'agriculture pédagogique. Les enseignant(e)s et les élèves peuvent ainsi cultiver un potager dans un objectif pédagogique d'observation et de conservation de la biodiversité, d'étude du bien-être et des sujets d'alimentation.

Atténuation du changement climatique

Le bâtiment a été conçu dans une posture de sobriété, à la fois dans sa construction et dans son fonctionnement. Les déchets générés par les travaux ont été limités, et depuis sa mise en service le bâtiment permet un suivi rigoureux de ses consommations d'eau et d'énergie. Cela invite ses usager(e)s à prendre conscience de leur impact quotidien. La récupération des eaux de pluie pour alimenter la rivière pédagogique et le poulailler entre également dans cette logique. Enfin, le fonctionnement passif du bâtiment permet de limiter la consommation énergétique liée à l'amélioration du confort thermique.

POUR ALLER PLUS LOIN :

- Le projet de recherche RECRE (Renaturation des Espaces des Cours vers la Résilience Ecologique) de l'Appel à Projet de Recherche MODEVAL-URBA 2019 vise à comprendre, reconnaître, protéger et développer les atouts écosystémiques des cours d'école

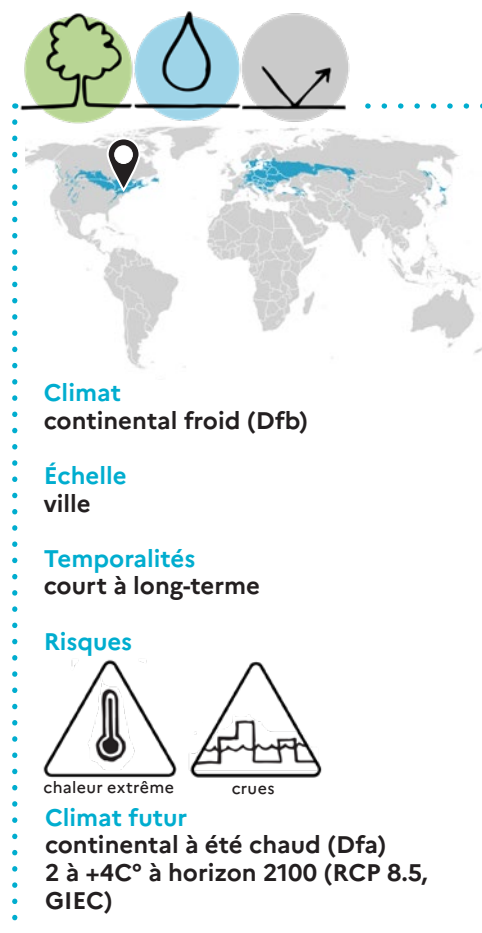
CE QUI EXISTE AILLEURS :

- Le projet Cours OASIS de la Ville de Paris (Cfb) pour l'adaptation des cours d'école aux effets du changement climatique
- L'école intercommunale du pays du Cordais (Tarn, France) (Cfb), un établissement scolaire bioclimatique dont le projet a été mené en concertation avec les habitant(e)s, élèves et parents d'élèves
- De nombreux projets de végétalisation de cours d'écoles en France et à l'international

La végétalisation multi-échelles de Montréal Canada



© B2Ai Architectes



L'approche adoptée par la ville de Montréal pour ses politiques de végétalisation est inspirante. En plus de l'aborder de manière multiscale, du petit jardin privé à l'ensemble de la ville, la ville parvient à coordonner l'action entre ses différents plans et stratégies. La facilitation des initiatives citoyennes de végétalisation et de désimperméabilisation entre dans cette logique.

Une limite de ces projets est leur coût important, estimé à environ 105 millions d'euro par la SOVERDI (Société de Verdissement du Grand Montréal). De plus, les ambitions quantitatives très élevées en matière de plantations supposent d'avoir accès à une pépinière locale extrêmement importante en taille et en budget.

Dfb

Contexte

Montréal est la deuxième ville la plus importante du Canada. Avec ses deux millions d'habitants et son climat continental froid, elle est un exemple intéressant de ville impactée par les facteurs anthropiques d'augmentation des températures. Montréal est un archipel et l'eau y est omniprésente, ce qui la rend vulnérable aux risques de crues et d'inondations.

La ville est très verte, notamment grâce à sa topographie naturelle. On y trouve un réseau de vingt-cinq grands parcs, dont douze sont des parcs naturels et treize des parcs urbains. A ceux-ci s'ajoutent plus de 14 000 parcs de quartier à travers la ville. Il existe une politique volontariste de végétalisation de Montréal depuis de nombreuses années, ainsi qu'une politique historique de facilitation des initiatives citoyennes dans les ruelles.

Actions sur le rafraîchissement

Si la lutte contre les îlots de chaleur et la surchauffe urbaine n'est pas l'objectif premier des politiques de végétalisation montréalaises, elle s'inscrit plutôt dans une vision globale de l'aménagement pour l'adaptation aux effets du changement climatique. La qualité des milieux de vie est également prise en compte.

La végétalisation mise en place par la ville de Montréal est particulière, puisqu'elle s'inscrit dans un mode d'action multiscale et multi-acteurs. Les plans « Un arbre pour mon quartier » et « Un enfant un arbre » s'adressent aux particuliers et concernent la plantation d'un élément végétal à échelle micro locale, tant sur l'espace public que sur l'espace privé. Le plan « Ruelles vertes » est adapté à une action à l'échelle de l'îlot, tandis que les jardins communautaires peuvent concerner tout un quartier. Enfin, le « Plan Action Canopée » initié en 2012 invite à une appréhension du couvert végétal à l'échelle du Grand Montréal, sur l'ensemble de la ville.

Description du projet

Une vision globale de la végétalisation à l'échelle de la ville : le Plan Action Canopée

Le Plan Action Canopée de la ville de Montréal existe depuis 2012. Son préalable a été l'élaboration d'un indice de canopée, pour établir un point de référence afin de faciliter l'étude du développement des espaces verts de la ville. Lors de sa création cet indice était de 20.3%, c'est-à-dire qu'un peu plus de 20% du territoire étaient dotés d'une couverture arborée. L'objectif du Plan d'Action Canopée est d'atteindre 25% pour 2022.

Pour ce faire, deux actions principales ont été mises en place : la plantation de 300 000 nouveaux arbres d'une part, et la conservation de la canopée existante d'autre part. Les arbres anciens sont dotés d'un potentiel rafraîchissant plus élevé, ainsi que de bienfaits accrus pour la biodiversité (par rapport à ceux des arbres jeunes) : il est primordial d'intégrer cette limitation des abattages aux plans de verdissement des villes. La plantation de 300 000 jeunes arbres a quant à elle été hautement planifiée. Elle concerne le domaine public et le domaine privé, et des photos aériennes haute définition ont permis de déterminer au préalable les zones déficitaires en couvert végétal. Elles ont également permis de prévoir des aménagements supplémentaires pour accueillir au mieux les nouvelles plantations, tels que la déminéralisation de certains espaces par exemple.



© B2Ai Architectes

Concevoir la végétalisation à des échelles plus fines : les Ruelles Vertes et la végétalisation des parkings

L'approche macroscopique proposée par le Plan d'Action Canopée est complétée par des actions à échelle plus fine. La plus importante et la plus ancienne est celle du Plan Ruelles Vertes : depuis les années 1990, la ville de Montréal expérimente l'aménagement de 317 ruelles (69 kilomètres linéaires). Cet aménagement repose sur des initiatives citoyennes : les habitants doivent se constituer au préalable en « comités de ruelle », puis peuvent décider ensemble de l'aménagement de ces espaces partagés. La ville de Montréal apporte par la suite un soutien technique, logistique et financier (déminéralisation, plantation de végétaux, embellissement...). Ce Plan existe depuis 30 ans, les arbres plantés au début de l'expérimentation sont donc désormais matures, et apportent ombrage et fraîcheur aux îlots montréalais.

Les parkings et places de stationnement de la ville font aussi l'objet d'actions de verdissement. Reconnus comme zones



© B2Ai Architectes

majeures d'aggravation des îlots de chaleur (Chester *et al.*, 2015), un effort est aujourd'hui réalisé pour les « désasphalter », les planter pour apporter fraîcheur et ombre, et créer des bassins de bio-rétention des eaux pluviales à leurs abords.

Les enseignements utiles pour d'autres territoires

L'approche multi-scale des plans de végétalisation

L'intérêt d'adopter une telle approche multi échelles de la végétalisation urbaine repose sur la mobilisation des parties prenantes, tant privées (entreprises et particuliers) que publiques (Société de Verdissement du Grand Montréal, services de la municipalité...). Elle permet d'atteindre une masse critique véritablement bénéfique pour la qualité des milieux de vie, la biodiversité et la lutte contre la surchauffe urbaine. L'exemple du Plan Ruelles Vertes est révélateur de cette philosophie, puisqu'il vise en premier lieu l'extension du programme au plus grand nombre et sa démocratisation. Il permet de donner une impulsion favorable au développement de bonnes pratiques à travers le Grand Montréal.

La qualité des espaces de vie mise en avant

La lutte contre la surchauffe urbaine permise par la végétalisation de Montréal s'inscrit dans une politique globale en faveur de la qualité des milieux de vie. Les mesures d'adaptation participent d'une démarche d'amélioration de la qualité urbaine dans ses nombreuses dimensions : confort, usages, mobilités, sécurité, paysage...

L'étape suivante : créer un récit collectif pour l'adaptation

Parmi les nombreux plans de végétalisation menés par la ville de Montréal, certains existent depuis plus de trente ans, il s'agit alors de réfléchir à leur avenir. Il semble aujourd'hui incontournable d'approfondir l'implication citoyenne pour permettre un meilleur suivi

des initiatives, et pour créer un récit collectif autour de l'adaptation. Cela peut passer par une mise en réseau plus importante des espaces concernés : les ruelles vertes d'abord mais également les stationnements et parkings. Cette mise en réseau permettrait d'inscrire davantage la démarche de végétalisation dans celle de l'amélioration du cadre de vie. En incluant les citoyen(ne)s dans cette réflexion; elle serait le premier pas vers une démocratisation des mesures d'adaptation de l'urbain aux effets du changement climatique.

Cobénéfices



Villes et
communautés
durables

Participation citoyenne

Les différents plans de verdissement de la ville de Montréal sont autant de politiques favorables à la participation citoyenne et au « community building ». Ils invitent en effet les habitant(e)s à se réunir et à se constituer en comités, afin d'aménager comme ils l'entendent leurs espaces publics partagés locaux (Barbosa *et al.*, 2007).

Qualité des espaces publics

Un accent particulier est mis sur la notion de qualité urbaine et des milieux de vie dans les plans de verdissement de la ville. Les montréalais(e)s peuvent ainsi profiter d'espaces verts nombreux et variés, qui participent grandement au bien-être des urbains (Reeves-Latour, 2017).



Vie terrestre

Biodiversité

La plantation de nouveaux végétaux chaque année à travers un plan d'action ambitieux contribue à la biodiversité. La ville de Montréal encadre le choix des espèces plantées afin de garantir leur diversité de types, d'essence, d'âge, leur caractère local et la résilience globale de la population végétale.

POUR ALLER PLUS LOIN :

- ARBOCLIMAT : L'outil de prospective de plantations d'arbres en ville et d'évaluation de la réduction des impacts sur le changement climatique
- REEVES -LATOUR (2017), « La représentation du bien-être en contexte de verdissement urbain : le cas des ruelles vertes de l'île de Montréal »

CE QUI EXISTE AILLEURS :

- Le Plan Canopée de la Métropole de Lyon (Cfb) constitue le volet opérationnel de sa Charte de l'arbre
- La Charte orléanaise de l'arbre urbain traduit la politique de végétalisation d'Orléans Métropole (Cfb)



Lycée à Dakar
©Daniel Rousselot

CONCLUSION



Les retours d'expérience de ce recueil sont riches en enseignements et présentés selon la variabilité des types de climat du globe. Certains offrent une réponse au défi de l'adaptation et d'atténuation des villes au changement climatique et tous concourent à plusieurs objectifs de développement durable : santé et bien-être, vie aquatique, *etc.*

Afin d'adapter au mieux les territoires, les solutions de rafraîchissement urbain doivent être intégrées dans une stratégie de planification globale comprenant notamment une phase préliminaire de diagnostic de l'impact du changement climatique sur le territoire : diagnostic climatique, études des risques climatiques, des vulnérabilités territoriales et urbaines, des ressources. C'est notamment le cas des retours d'expérience d'Ahmedabad (Inde), de Morne-à-l'eau (Guadeloupe), de Penrith (Australie), de Curitiba (Brésil), de Los Angeles (Etats Unis), de Marseille (France) et de Montréal (Canada) qui s'intègrent au sein de documents de planification ayant des objectifs définis concernant l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

A l'avenir, les solutions de rafraîchissement urbain doivent être des solutions d'adaptation au changement climatique, prenant en considération l'évolution des types de climat aux horizons 2050 et 2100. Elles devront être également systématiquement en adéquation avec l'atténuation au changement climatique en consommant le moins de ressources possibles et en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, une réflexion spatio-temporelle s'impose sur la mise en place de ces solutions afin de les rendre pérennes, durables et efficaces dans un climat futur.

Dans une démarche d'urbanisme durable, les outils de planification sont indispensables à la territorialisation des stratégies de neutralité carbone et d'adaptation au changement climatique. Pour qu'ils jouent pleinement ce rôle, leur mise en cohérence avec les temporalités des différents horizons climatiques est un défi à relever par les territoires.

GLOSSAIRE

Albédo

Part du rayonnement solaire incident réfléchi par une surface ou par un corps par rapport au rayonnement incident (Beltrando et Chéméry, 1995).

Architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique est un style d'architecture qui tire parti des conditions climatiques et microclimatiques locales afin de permettre le plus grand confort possible aux usager(e)s des bâtiments, ainsi qu'un recours limité aux ressources énergétiques. Le développement de solutions passives de rafraîchissement, de chauffage, de ventilation et d'ombrage en fait partie. L'architecture bioclimatique peut également faire référence à l'architecture vernaculaire, prenant en considération les caractéristiques d'un territoire donné.

Bien-être

Le bien-être est un indicateur difficile à appréhender puisqu'il ne dépend pas uniquement de critères objectifs. Il désigne un état de satisfaction des besoins du corps et de l'esprit, ainsi qu'une forme de confort. La santé correspond quant à elle à un état de bien-être physique, mental et social.

Canicule - Vagues de chaleur

Pour davantage d'informations sur les définitions des vagues de chaleur et canicules, <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/meteo-et-sante/canicules>.

Classification de Köppen-Geiger

La classification des climats selon Köppen est fondée d'une part sur la température et d'autre part sur l'importance des précipitations. Un codage en deux ou trois lettres permet de caractériser chaque climat de manière précise à l'échelle du globe.

Compacité

La compacité est une caractéristique de la morphologie urbaine. Elle correspond au rapport entre le volume et la surface occupée par le bâti. Un bâti compacte permet d'assurer la densité urbaine, mais est également susceptible de bloquer les écoulements d'air et de contribuer à la surchauffe.

Effet canyon

L'effet canyon existe dans les rues à faible largeur ceintes d'un bâti de hauteur importante. Les rayonnements lumineux et l'air y sont piégés, ce qui augmente la température ambiante.

Émissivité

Rapport entre les flux d'énergie émis par un corps quelconque et le flux d'énergie émis par un corps noir de forme et de températures identiques, lequel flux est calculé par intégration sur l'ensemble de la surface émettrice (Beltrando et Chéméry, 1995).

Espace public

<https://www.fncaue.com/glossaire/espace-public/>

L'espace public est la partie du domaine public non bâti affecté à des usages publics, un endroit ouvert à tout le monde, important pour la vie sociale et la structuration d'une ville. Il comprend le paysage urbain et les façades* constituant l'interface entre le public et le privé. Il doit être différencié des bâtiments* publics. Par extension, certains lieux ayant un usage public et un statut public ou privé (les gares, les équipements collectifs) sont considérés comme des espaces publics.

Évapotranspiration

Quantité d'eau évaporée dans l'atmosphère, que ce soit par évaporation d'eau liquide (eau libre ou du sol) ou par transpiration de la biomasse (Beltrando et Chéméry, 1995). L'eau retire la chaleur sensible à l'air en se vaporisant, elle la transforme ainsi en chaleur latente et réduit la température ambiante.

GIEC, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a été créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques.

Îlot

L'îlot urbain est la plus petite unité spatiale de la géographie urbaine. C'est une portion de terrain qui accueille des constructions et qui est délimité par des voies de circulation. Le plus souvent de forme géométrique simple, il peut être carré ou rectangulaire lorsqu'il est délimité par quatre voies, et triangulaire lorsqu'il est délimité par trois voies. Le terme d'îlot est employé par les géographes, urbanistes, architectes, quand le terme « pâté de maisons » est d'usage familier. Dans les pays anglo-saxons, on parle de « block ». <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/ilot-urbain-coeur-dilot>

Ilot de chaleur urbain (ICU)

Phénomène du climat local qui se caractérise par des températures plus élevées en ville par rapport à la campagne environnante, ou à une moyenne régionale. Il est causé par le cumul de phénomènes liés à la morphologie urbaine, aux surfaces fortement minérales et aux apports de chaleur anthropique.

Inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité physique d'un élément à conserver, stocker puis restituer la chaleur. Les revêtements urbains minéraux (enrobé, béton, asphalte) ont une inertie forte c'est-à-dire qu'ils stockent la chaleur du soleil en journée et la restitue jusqu'à la nuit, cela est une des causes de l'effet d'ICU. Dans le cas des bâtiments, une bonne inertie à l'intérieur permet de conserver la fraîcheur en journée en été quand cela est associé à une ventilation nocturne (Rafraîchir les villes, des solutions variées, Ademe, 2021).

Label écoquartier

Ce label porté par le Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les collectivités territoriales et le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire permet de certifier des projets d'aménagement durables. Les écoquartiers doivent intégrer tous les enjeux et principes des territoires durables, définis selon 20 engagements de durabilité regroupés en 4 domaines : Démarche et processus, Cadre de vie et usages, Développement territorial et Environnement et climat.

Low Tech

Les objets, systèmes et techniques low tech désignent un mode d'intégration de la technologie à la production. Cette technologie doit être utile et répondre aux besoins essentiels, accessible et appropriable par les individus, facilement productible et réparable localement, ainsi que durable.

Microclimat

Climat d'une petite couche atmosphérique adjacente à une surface quelconque : sol, tronc d'arbres, prairie, talus...

La notion de microclimat est parfois étendue de façon inexacte à une petite région (ville, vallée...). Dans ce cas-là, il vaut mieux parler de climat local ou topoclimat (Beltrando et Chéméry, 1995).

Nature en ville – Renaturation

La Nature en ville est une approche de l'aménagement qui lie la nature et l'**urbanité***. Elle contribue à la qualité des espaces urbains et du cadre de vie, et permet également de protéger et de développer la biodiversité/

Objectifs de Développement Durable (ODD)

Les objectifs du développement durables se comptent au nombre de 17. Créés par l'ONU dans le cadre de son Agenda 2030, ils désignent « la marche à suivre pour parvenir à un avenir meilleur et durable pour tous » (Nations Unies). Parmi eux se trouvent notamment la préservation de la vie terrestre et aquatique, la bonne santé et le bien-être, l'élimination de la faim et la pauvreté...

Objet urbain

Un objet urbain est un élément du système urbain qui entre en interaction et en interdépendance avec d'autres objets urbains. Il est caractérisé par sa position dans le tissu urbain et par

Projet urbain

Un projet urbain désigne la définition et la mise en œuvre d'aménagements sur un territoire urbain donné. Il aboutit à la réalisation d'infrastructures à différentes échelles, du bâtiments à la ville, en passant par l'îlot, l'espace public, le quartier...

Quick win

Les « quick wins » sont des solutions peu coûteuses, simples et rapides à mettre en place qui apportent des résultats importants sans délai.

RCP « Representative Concentration Pathways » ou

« Profils représentatifs d'évolution de concentration » correspondent aux scénarios à quatre profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre (RCP) ont été retenus par les experts du GIEC :
- RCP 8.5 : pas de politique de lutte contre le changement climatique (le plus pessimiste) ;
- RCP 6.0 et RCP 4.5 : scénarios intermédiaires intégrant des politiques de réduction ;
- RCP 2.6 : politique de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

Risque

Le risque correspond à la conjonction de deux éléments : la probabilité de survenance d'un événement dangereux, et sa gravité, ou la sévérité de ses conséquences.

Risque climatique

Le concept de risque climatique du GIEC est basé sur la définition et la compréhension du risque et de ses composantes, telles qu'elles sont utilisées par la communauté de la Réduction des risques de catastrophes https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/02/GIZ_Risk-Supplement_French.pdf, GIZ, 2019

Sobriété – Sobriété urbaine

La sobriété est une démarche de réduction et de suppression des consommations superflues : matériaux, temps, ressources... La sobriété urbaine applique cette démarche à la fabrique de la ville en pensant la circularité, le recyclage, le multi-usage, l'intensification des espaces, l'innovation dans les organisations urbaines, la pacification des mobilités et la réduction de leur nombre etc. Elle a pour objectif de limiter la pression exercée sur les écosystèmes, notamment dû à l'étalement urbain.

Solution d'Adaptation fondée sur la Nature (SAfN)

Les Solutions d'Adaptation fondées sur la Nature permettent d'adapter les espaces urbains en combinant des actions de protection, de gestion et de restauration de la Nature avec les objectifs de bien-être humain et de conservation de la biodiversité. ([Projet de recherche ARTISAN](#))

Solutions passives

Les solutions passives visent à améliorer les propriétés thermiques d'un bâtiment afin d'y garantir le confort en limitant les consommations énergétiques. C'est notamment le cas des actions d'isolation, de l'installation de pare-soleils ou encore

Surchauffe urbaine

Ensemble des phénomènes liés à la dégradation du ressenti thermique en ville en période de forte chaleur, de jour comme de nuit, à l'échelle du piéton jusqu'à l'échelle urbaine. La surchauffe urbaine renvoie à la fois à l'effet d'îlot de chaleur urbain et à l'inconfort des piétons dans les espaces urbains (rayonnement du soleil et des surfaces minérales, manque de ventilation, etc).

Trames aérauliques

L'aéraulique est l'étude des écoulements d'air et son application. Par analogie avec la trame d'une étoffe, la trame aéraulique désigne le réseau et le maillage d'écoulements d'air identifiabiles dans une ville. L'étude de la trame aéraulique permet de comprendre les écoulements d'air dans la ville et ainsi les potentiels rafraîchissants de la ventilation naturelle.

Typo-morphologie

L'analyse de la typo-morphologie d'un espace urbain renvoie à l'étude des formes urbaines bâties et non bâties, des volumes et de l'implantation des bâtiments, de la trame viaire...

Urbanité

L'urbanité est une qualité urbaine permise par la mixité sociale et fonctionnelle. Elle est permise et provoquée par la densité, les rencontres entre habitant(e)s, les usages possibles de la ville...

Vulnérabilité

Propension ou prédisposition à subir des dommages. Cela englobe divers concepts, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter (Glossaire du GIEC 2014).

BIBLIOGRAPHIE

Classification de Köppen-Geiger

- Eveno, M. *et al.* (2016) Variabilité et changement climatique en France de 1951 à 2010 : analyse au moyen de la classification de Köppen et des « types de climat annuels ».
- Hufty A (2001) Introduction à la climatologie, De Boeck Université, 542 pages
- Beck, H. E. *et al.* (2018) Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Sci. Data. 5:180214 doi: 10.1038/sdata.2018.214.

Solutions de rafraîchissement urbain

Solutions bleues

- Gober, P., Brazel, A., Quay, R., Myint, S., Grossman-Clarke, S., Miller, A. et Rossi, S. (2009). Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: how much water will it take to cool Phoenix? Journal of the American Planning Association, 76(1), 109 121.10.1080/01944360903433113
- Volker, S., Baumeister, H., Clasen, T., Hornberg, C. et Kistemann, T. (2013). Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space — a health geographic perspective. Erdkunde, 67(4), 355 371
- Solcerova, A., van Emmerik, T., Hilgersom, K., van de Ven, F., & van de Giesen, N. (2018). Uchimizu: A Cool(ing) Tradition to Locally Decrease Air Temperature. Water, 10(6), 741. doi :10.3390/w10060741
- Association Scientifique Et Technique Pour L'eau Et L'environnement, ASTEE (2020). La réhabilitation des petites rivières urbaines : Retours d'expérience sur des projets multi-bénéfices.
- GRAIE, Groupe de Recherche, Animation Technique et Information sur l'Eau,. (2013, janvier). Eau et Santé 4ème conférence. L'eau dans la ville : bien-être, risques et opportunités.
- Observatoire National sur les Effets du Changement Climatique. (2019). Des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique. Rapport au Premier Ministre et au Parlement.

Solutions vertes

- Baker, N. (2000) We are all outdoor animals. In Architecture City Environment. Proceedings of PLEA 2000, Koen S. and Simos, Y. London : James and James
- Beaudoin, M. et Levasseur, M.-E. (2017). Verdir les villes pour la santé de la population. Institutnational de sante publique du Quebec.
- Clergeau, P. (2018), La ville biodiversitaire I, Openfield n°11

- Clinton, N., Stuhlmacher, M., Miles, A., Uludere Aragon, N., Wagner, M., Georgescu, M., Herwig, C. and Gong, P. (2018). A Global Geospatial Ecosystem Services Estimate of Urban Agriculture. Earth's Future, 6(1), pp.40–60.
- Consales, Jean-Noël, & Schwartz, Christophe. (2017). JASSUR - Jardins ASSociatifs Urbains et villes durables - Compte rendu du programme de recherche.
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A., Mittal, N., Feliu, E., & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change : Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. Journal of Environmental Management, 146, 107 115. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025
- Giguère,M., 2009. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 95 pp
- Johnston, J. et J.Newton, 2004. Building Green: a Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. London, Ecology Unit, 95 pp
- Mueller-Dombois, D. and Ellenberg, H. (1974) Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, New York, 547 p
- Pascal, M., Gorla, S., Wagner, V., Sabastia, M., Guillet, A., Cordeau, E., Maclair, C., & Host, S. (2021). Greening is a promising but likely insufficient adaptation strategy to limit the health impacts of extreme heat. Environment International, 151, 106441. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106441
- Reeves-Latour 2017 La représentation du bien-être en contexte de verdissement urbain : le cas des ruelles vertes de l'île de Montréal
- Susca, T., Gaffin, S., & Dell'Osso, G. (2011). Positive effects of vegetation : Urban heat island and green roofs. Environmental Pollution, 159(8 9), 2119 2126. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007
- Westphal, Lynne M. 2003. Social Aspects of Urban Forestry: Urban Greening and Social Benefits: a Study of Empowerment Outcomes. Journal of Arboriculture 29(3):137-147

Solutions grises

- Akbari, H., Rose, L. S., & Taha, H. (1999). Characterizing the Fabric of the Urban Environment : A Case Study of Sacramento, California. _ . Published. https://doi.org/10.2172/764362
- Akbari H., Menon S. , Rosenfeld A.

(2009) : Global Cooling : increasing world-wide urban albedos to offset CO2. Climatic Change, 94

- Akbari, H and Matthews, H. D. (2012) Global Cooling Updates : Reflective roofs and Pavements, Energy and buildings, Volume 55, Pages 2-6
- Chester, M., Fraser, A., Matute, J., Flower, C., & Pendyala, R. (2015). Parking Infrastructure : A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment ? A Study of Los Angeles County Parking Supply and Growth. Journal of the American Planning Association, 81(4), 268 286. https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1092879

- Gilbert, H. E., Rosado, P. J., Ban-Weiss, G., Harvey, J. T., Li, H., Mandel, B. H., Millstein, D., Mohegh, A., Saboori, A., & Levinson, R. M. (2017). Energy and environmental consequences of a cool pavement campaign. Energy and Buildings, 157, 53 77. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.201703.051
- Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang, 2007 : Observations changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In : Climate Change 2007 : the physical Science basis, Constrbution of Working Groupe I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, Miller] Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY
- Liu, K. et Bass, B. (2005). Performance of green roof systems (no NRCC-47705). National Research Council Canada

- Middel, A., Turner, V. K., Schneider, F. A., Zhang, Y., & Stiller, M. (2020). Solar reflective pavements—A policy panacea to heat mitigation ? Environmental Research Letters, 15(6), 064016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab87d4
- Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, J. (2000). Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings: durability and illumination. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Rallapalli, Hema & Gupta, Janmejoy. (2020). Cool Roof initiatives in India: An evaluation of the existing conditions and lessons to be learnt from global best practices. Aegaeum. 8. 1421-1430.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103,682 703.
- ADEUS, Agence De Développement De l'Urbanisme De L'agglomération

Strasbourgeoise. (2014, septembre). Plan Local d'Urbanisme : Analyses typomorphologiques pour un encadrement adapté du territoire (No 133).

Architecture bioclimatique

- Garcia, Ferran. (2018). La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud.
- Supic, Plemenka. (1994). L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire. Revue Architecture et Comportement, 10(1), 27 48.

Retours d'expérience

Le jardin participatif Pli Bèl Jaden à Pointe à Pitre, France

- Poniży Ł., Stachura K., 2017. Future of allotment gardens in the context of city spatial policy – A Case Study of Poznań. Quaestiones Geographicae 36(1), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 121–127, 1 fig, 1 table.

Morne-à-l'eau, France

- Collectivité de Morne-à-l'Eau. (2015). DICRIM - Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs (Morne-à-l'Eau).
- BatiTrend pour Collectivité de Morne-à-l'Eau. (2017). Monographie - L'EcoQuartier « Cœur de Grippon » , à Morne-à-l'Eau.
- R. Burman et L. O. Pochop, Evaporation, evapotranspiration and climatic data, Amsterdam : Elsevier, 1994.
- ADEME. (2018). Réussir la planification et l'aménagement durables. L'AEU2 : Des outils pour agir.
- Association Scientifique Et Technique Pour L'eau Et L'environnement, ASTEE (2020). La réhabilitation des petites rivières urbaines : Retours d'expérience sur des projets multi-bénéfices.

La micro-forêt Miyawaki de Srirangam, Inde

- Castagneyrol, B., Porté, A., Plomion, C. (2021). Méthode Miyawaki : Pourquoi les « micro-forêts » ne sont pas vraiment des forêts ? The Conversation
- Ducouso, A., Jactel, H., & Muller, S. (2021). Forêts Miyawaki : Comment bien adapter la méthode japonaise au contexte français ? The Conversation. Published.
- FAO - Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2017). Directives sur la foresterie urbaine et périurbaine. http://www.fao.org/3/i6210fr/i6210fr.pdf
- Nowak, David & Crane, Daniel. (2002). Nowak DJ and Crane DE, . Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environ Pollut. Environmental Pollution. 116. 10.1016/S0269-7491(01)00214-7.
- Tamil Nadu State Government. (2003).

Tamil Nadu State Action Plan for Climate Change.

- Schirone, Bartolomeo & Salis, Antonello & Vessella, Federico. (2011). Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs. Landscape and Ecological Engineering. 7. 81-92. 10.1007/s11355-010-0117-0.

Le collège bioclimatique de Bouéni, Mayotte, France

- ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique). (2012). Les outre-mer face au défi du changement climatique.
- Jouzel, J., S. Planton, A. Cazenave, P. Delecluse, N. Dorfliger, P. Gauthers, D. Idier, *et al.* "Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises." Institut Pierre-Simon-Laplace, CEMTEF, BRGM, Météo-France, 2012.

L'écoquartier de la ZAC Cœur de Ville, La Possession, France

- ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique). (2012). Les outre-mer face au défi du changement climatique.

Le lycée français de Dakar, Sénégal

- Garcia, Ferran. (2018). La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud.
- PNEEB/Typha – CRAterre (2017) : Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal
- Terreneuve Associés, et Agence Pour l'Enseignement Français à l'Etranger. (2011). Lycée Jean Mermoz. Dakar, Sénégal.

Les toitures blanches d'Ahmedabad, Inde

- Azhar GS, Mavalankar D, Nori-Sarma A, Rajiva A, Dutta P, *et al.* Heat-Related Mortality in India: Excess All-Cause Mortality Associated with the 2010 Ahmedabad Heat Wave. PLoS ONE (2014) 9(3): e91831. doi: 10.1371/journal.pone.0091831.
- Akbari, H and Matthews, H. D. (2012) Global Cooling Updates : Reflective roofs and Pavements, Energy and buildings, Volume 55, Pages 2-6
- Ahmedabad Municipal Council (2016). Ahmedabad Heat Action Plan
- Oleson, K. W., Bonan, G. B., & Feddema, J. (2010). Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. Geophysical Research Letters, 37(3), n/a. https://doi.org/10.1029/2009gl042194
- Tran, K., Azhar, G., Nair, R., Knowlton, K., Jaiswal, A., Sheffield, P., Mavalankar,

D., & Hess, J. (2013). A Cross-Sectional, Randomized Cluster Sample Survey of Household Vulnerability to Extreme Heat among Slum Dwellers in Ahmedabad, India. International Journal of Environmental Research and Public Health, 10(6), 2515 2543. https://doi.org/10.3390/ijerph10062515

- Dr. Dileep Mavalankar. (2011). Climate Change and Health Preparedness in India : Protecting Local Communities in Ahmedabad, Gujarat from Extreme Heat. https://www.nrdc.org/sites/default/files/IndiaHealthReport.pdf
- Gouvernement du Gujarat. (2021, juin). Gujarat State Action Plan on Climate Change.

La stratégie municipale de rafraîchissement urbain de Penrith, Australie

- New south Wales Government. (2010). NSW Climate Impact Profile The impacts of climate change on the biophysical environment of New South Wales.
- The Australia Institute, Ogge, M., Hugues, T., & Brown, B. (2018). HeatWatch - Extreme heat in Western Sydney.

Le parc des rives du Barigüi à Curitiba, Brésil

- Mendonca, F. A., 2012: Les inondations urbaines à Curitiba (Brésil). In: XXV Colloque de l'AIC – Association
- Pedron, I. T., Silva Dias, M. A. F., de Paula Dias, S., Carvalho, L. M. V., & Freitas, E. D. (2016). Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba - Southern Brazil. International Journal of Climatology, 37(3), 1250 1264. https://doi.org/10.1002/joc.4773
- Gustafsson , H.-R., & Kelly, E. A. (2016). Ch.5 Developing the Sustainable City: Curitiba, Brazil, as a Case Study. In HOW CITIES WILL SAVE THE WORLD: urban innovation in the face of population flows, climate change and economic inequality (pp. 81–94). essay, ROUTLEDGE.

La ZAC de Pirmil-Les-Isles à Nantes, France

- Association Scientifique Et Technique Pour L'eau Et L'environnement, ASTEE (2020). La réhabilitation des petites rivières urbaines : Retours d'expérience sur des projets multi-bénéfices.
- Nantes Métropole Aménagement. (2017). Dossier de création Pièce 2 : Rapport de présentation (Schéma

des Intentions) Pirmil Les Isles.

- GRALEPOIS, M. et RODE, S. (2017). « L'urbanisme résilient déforme-t-il la ville ? Flood resilient city and urban distortion » in Risques urbains, ISTE Ltd

L'école bioclimatique à la croisée des chemins, Bruxelles, Belgique

- NIKOPOULOU, M. (2001) Outdoor thermal comfort
- Ville de Paris et CAUE 75. (2019). COURS OASIS Cahier de recommandations pour la transformation des cours d'écoles.

Les chaussées blanches de Los Angeles, Etats-Unis

- Akbari, H and Matthews, H. D. (2012) Global Cooling Updates : Reflective roofs and Pavements, Energy and buildings, Volume 55, Pages 2-6
- Cohen, Elissa. (2002), « La jungle urbaine de Los Angeles : problèmes environnementaux et la ville », La ville et l'environnement (vol3, n°2)
- Middel, A., Turner, V. K., Schneider, F. A., Zhang, Y., & Stiller, M. (2020). Solar reflective pavements—A policy panacea to heat mitigation ? Environmental Research Letters, 15(6), 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab87d4>
- Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, J. (2000). Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings: durability and illumination. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Chester, M., Fraser, A., Matute, J., Flower, C., & Pendyala, R. (2015). Parking Infrastructure : A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment ? A Study of Los Angeles County Parking Supply and Growth. Journal of the American Planning Association, 81(4), 268 286. <https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1092879>
- Los Angeles Municipality. (2019). LA's Green New Deal. Sustainable City plan.

La ville blanche de Tétouan, Maroc

- Huard F., Choukri F., Raclot Damien, Pépin Yannick, Chikhaoui M., Naimi M., Korkot H., Yassin M. (2019). Spatialisation fine des projections climatiques dans le bassin versant du Tleta, Nord Maroc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 7 (7), p. 294-303.

La renaturation des Aigalades à Marseille, France

- Chalvet, M. et Claeys, C. (2011), « Marseille, une ville méditerranéenne entre pénurie et inondation », Vertigo – La revue électronique en sciences de

l'environnement [en ligne], Hors série 10 décembre 2011 ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.12083>

- Association Scientifique Et Technique Pour L'eau Et L'environnement, ASTEE (2020). La réhabilitation des petites rivières urbaines : Retours d'expérience sur des projets multi-bénéfices.
- ADEME (2020) : Fiche Outils et ressources issu de « Végétaliser : Agir pour le rafraîchissement urbain. Les approches variées de 20 projets d'aménagement » Collection Ils l'ont fait, Réf. 011157, 44p.
- Euroméditerranée <https://www.euromediterranee.fr/projets/parc-bougainville>
- Les Gammars (2020). La gazette du Ruisseau

L'écocité de Zenata, Maroc

- Brault, Manon et Douin, Emma (2019). L'éco-cité Zenata : la ville durable comme urbanisme de la transition ? Actes du Forum International 2019 « Urgences démographiques et urgences écologiques, quels urbanismes de transition ? ».
- Claude De Miras, & Catherine Paquette Vassali. (2021). Villes nouvelles : ce que révèlent leurs difficultés manifestes dans les Suds. Une réflexion à partir du cas marocain. African Cities Journal, 02(03).

La végétalisation multi-échelles de Montréal, Canada

- Chester, M., Fraser, A., Matute, J., Flower, C., & Pendyala, R. (2015). Parking Infrastructure : A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment ? A Study of Los Angeles County Parking Supply and Growth. Journal of the American Planning Association, 81(4), 268 286. <https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1092879>
- Beaudoin, M. et Levasseur, M.-E. (2017). Verdir les villes pour la santé de la population. Institut national de sante publique du Quebec.
- Reeves-Latour 2017 La représentation du bien-être en contexte de verdissement urbain : le cas des ruelles vertes de l'île de Montréal
- Giguère, M., 2009. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 95 pp
- Barbosa, O., Tratalos, J. A. et al. Who benefits from access to green space ? A case study from Sheffield, UK. Landscape and urban planning, mai 2007, vol. 83, p. 187-195



À l'ADEME – l'Agence de la transition écologique – nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



L'Agence française de développement (AFD) met en œuvre la politique de la France en matière de développement et de solidarité internationale. À travers ses activités de financement du secteur public et des ONG, ses travaux et publications de recherche (Éditions AFD), de formation sur le développement durable (Campus AFD) et de sensibilisation en France, elle finance, accompagne et accélère les transitions vers un monde plus juste et résilient.

Nous construisons avec nos partenaires des solutions partagées, avec et pour les populations du Sud. Nos équipes sont engagées dans plus de 4 000 projets sur le terrain, dans les Outre-mer, dans 115 pays et dans les territoires en crise, pour les biens communs – le climat, la biodiversité, la paix, l'égalité femmes-hommes, l'éducation ou encore la santé. Nous contribuons ainsi à l'engagement de la France et des Français en faveur des Objectifs de développement durable (ODD). Pour un monde en commun.

Les collections de l'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur :
Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert :
Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent :
Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir :
Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



ILS L'ONT FAIT

Des solutions pour rafraîchir les villes S'inspirer d'expériences dans le monde selon la variabilité des climats d'aujourd'hui et de demain

Résumé : Ce recueil présente des retours d'expérience à l'international de rafraîchissement urbain issus de projets d'aménagement avec des éléments remarquables quant à leur mise en œuvre, dans différentes zones géographiques et climatiques du Monde. Il donne ainsi les éléments clés et exemplaires de solutions (vertes, bleues ou grises) adaptées aux conditions climatiques actuelles et futures de chaque territoire développées au sein des fiches récapitulatives.

En proposant des retours d'expérience sur des projets d'aménagement urbain mis en œuvre à des échelles spatiales - du bâtiment à la ville - et temporelles variées du court au long terme, ce recueil permet aux concepteurs de la ville et aux aménageurs d'appréhender le déploiement possible de solutions de rafraîchissement urbain en fonction des types de climat, ainsi que de réfléchir en termes d'adaptation de leur territoire aux effets du changement climatique.

011597



9791029718588



www.ademe.fr