

VILLE DE GENÈVE

VILLE DE GENÈVE

Ville de Genève

Département de l'aménagement, des constructions et de la mobilité

Service de l'aménagement, du génie civil et de la mobilité

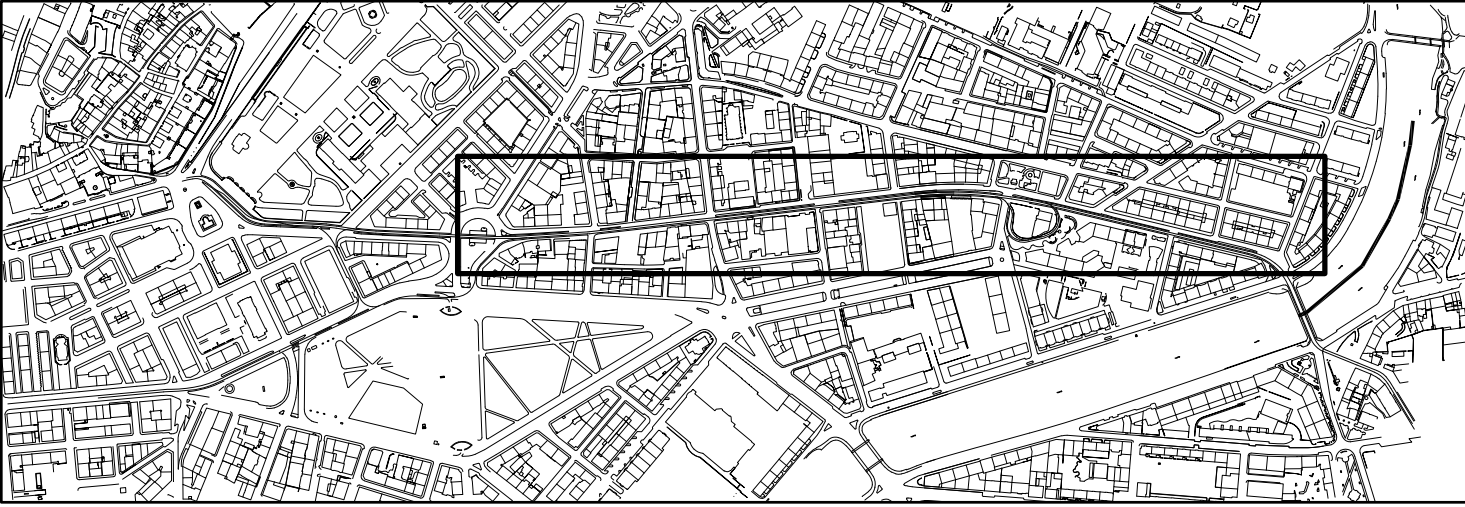
Rue François-Dussaud 10, 1227 Acacias

Tel. : 022 418 21 00

Fax : 022 418 21 01

RUE DE CAROUGE

ROND-POINT DE PLAINPALAIS / PONT DE CAROUGE



SITUATION

PERIMETRE D'INTERVENTION + REFLEXION

N° de plan : 6112_0821-01

Indice	Modification	Date	Dess.
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			
I			

Ingénieur civil :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

Géomètre :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

Architecte :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

Echelle : 1:750

Commune : CITE

Date : 22.01.2021

Dessiné : MB

Contrôle : CL

N° de réf. :

Format :

Fichier : S:\01_Affaires\6112_Carouge-rue de\0600_Docs_Tech_et_plans\0810 Phase 142_conduire\0821 Plans\6112_0821-01.dwg

LEGENDE:

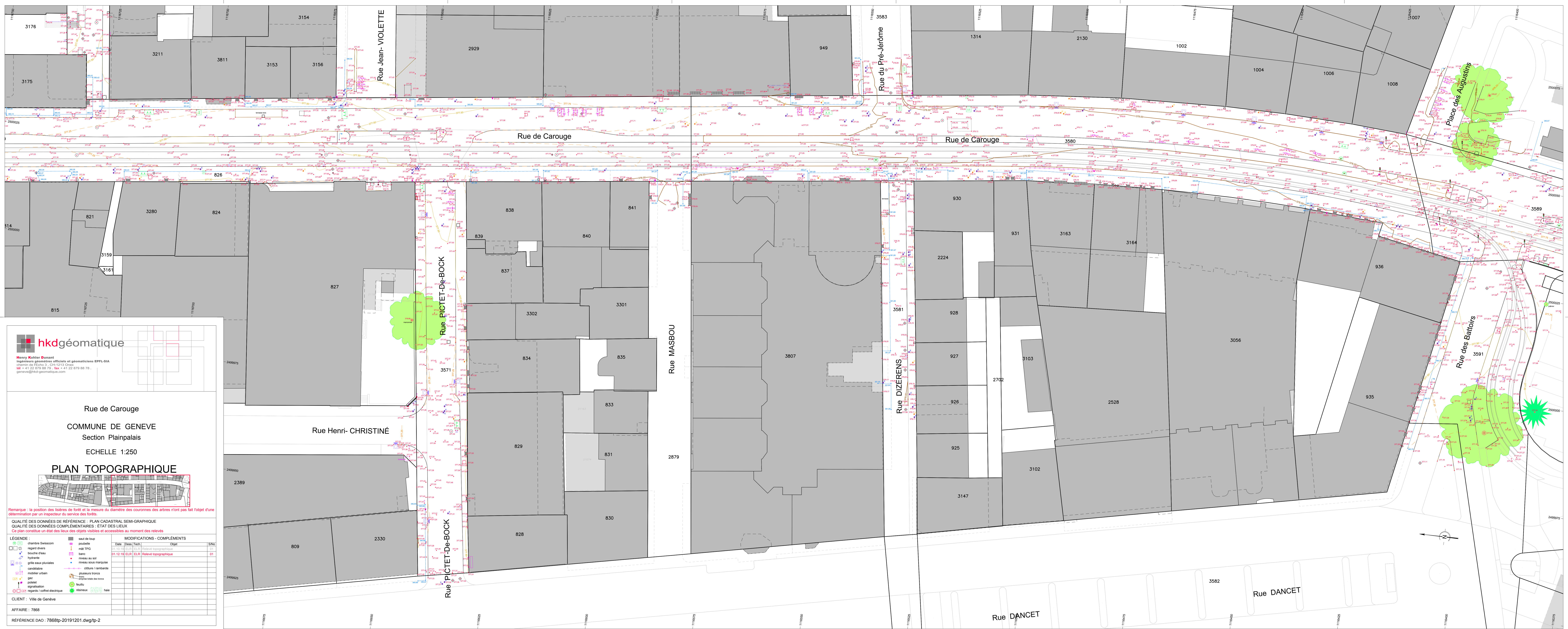
Périmètre d'intervention : surface: 13458m2


Parcelles : 7255 - DP / 3524 - DP / 605 - PRIVE / 2183 - DP / 640 - PRIVE / 3528 - DP / 3537 - DP / 618 - PRIVE / 669 - DEPENDANCE / 670 - DEPENDANCE / 3569 - DP / 3580 - DP / 3583 - DP / 3581 - DP / 3591 - DP / 3589 - DP / 3588 - DP

Périmètre de réflexion : surface: 9774m2

Parcelles : 3591 - DP / 3589 - DP / 3588 - DP / 3590 - DP / 1017 - PRIVE / 3606 - DP / 2342 - PRIVE / 3608 - DP







VILLE

GENÈVE

Ville de Genève

Département de l'aménagement, des constructions
et de la mobilité

Service de l'aménagement, du génie civil et de la mobilité

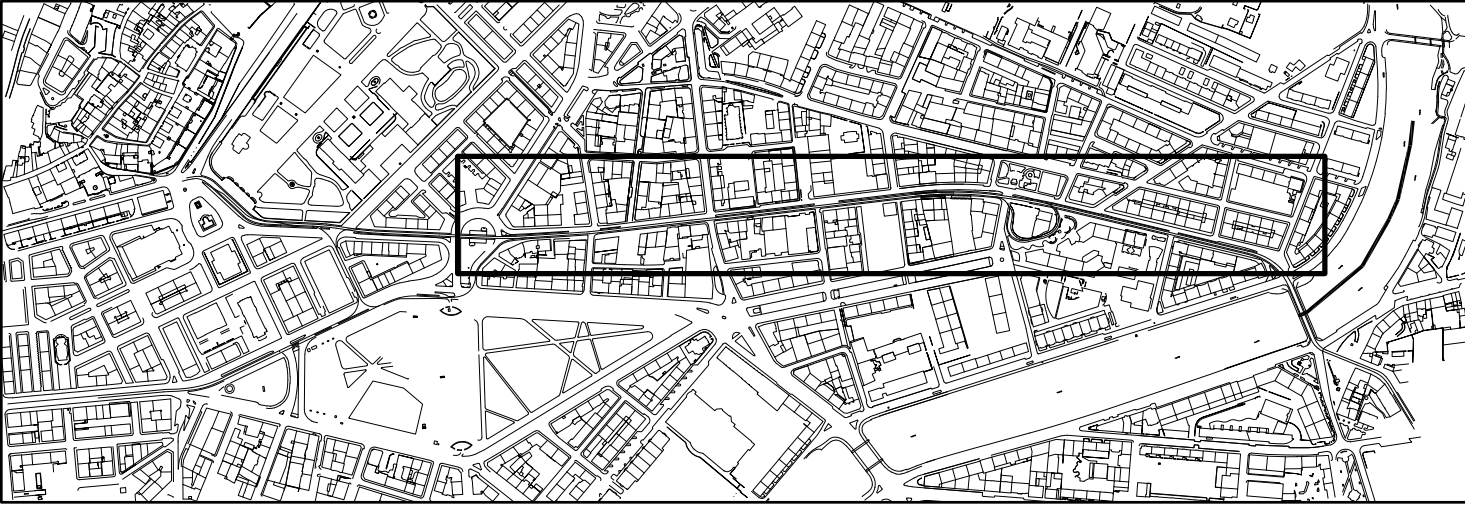
Rue François-Dussaud 10, 1227 Acacias

Tel. : 022 418 21 00

Fax : 022 418 21 01

RUE DE CAROUGE

ROND-POINT DE PLAINPALAIS / PONT DE CAROUGE



SITUATION

ETAT DES LIEUX / CSS

N° de plan : 6112_0821-02

Indice	Modification	Date	Dess.
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			
I			

Echelle : 1:750

Commune : CITE

Date : 22.01.2021

Dessiné : MB

Contrôle : CL

N° de réf. :

Format :

Fichier : S:\01_Affaires\6112_Carouge-rue de\0600_Docs_Tech_et_plans\0810 Phase 142_condo\6112_0821-02.dwg

Ingenieur civil :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

Géomètre :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

Architecte :

Nom :

Adresse :

tel. :

fax. :

e-mail :

LEGENDE:

ELECTRICITE

EAU

GAZ

SWISSCOM

T.P.G.

TV

SIGNAL. LUMIN.

DCTI

COLT

TELERESEAU

MAÎTRE DE L'OUVRAGE:

VILLE DE GENEVE

AFFAIRE:

Rue de Carouge - Rue Masbou à Place des Augustins

Rue de Carouge

Mise en séparatif des canalisations

Secteur N° 2

SITUATION CANALISATIONS

Ind

Dessiné

Contrôlé

Dates

-

B.M.

AD

03.04.2019

-

-

-

-

-

-

-

-

AFFAIRE :

5120

N° PLAN :

5120-SIT-3002

FORMAT :

1050 x 297

ECHELLE(S):

1/250

Groupement

2ST

sd ingénierie genève sa

Rue de Chancy 59 - 1213 Petit-Lancy - +41 22 338 30 60

Membres :

☐ sd ingénierie genève sa

☒ Solfor SA

☐ Transitec

PLAN D'ENQUETE

LEGENDE:

Réseau EM à bétonner

Réseau EM à gainer

Réseau EC projeté

Réseau EU projeté

Fouille projetée

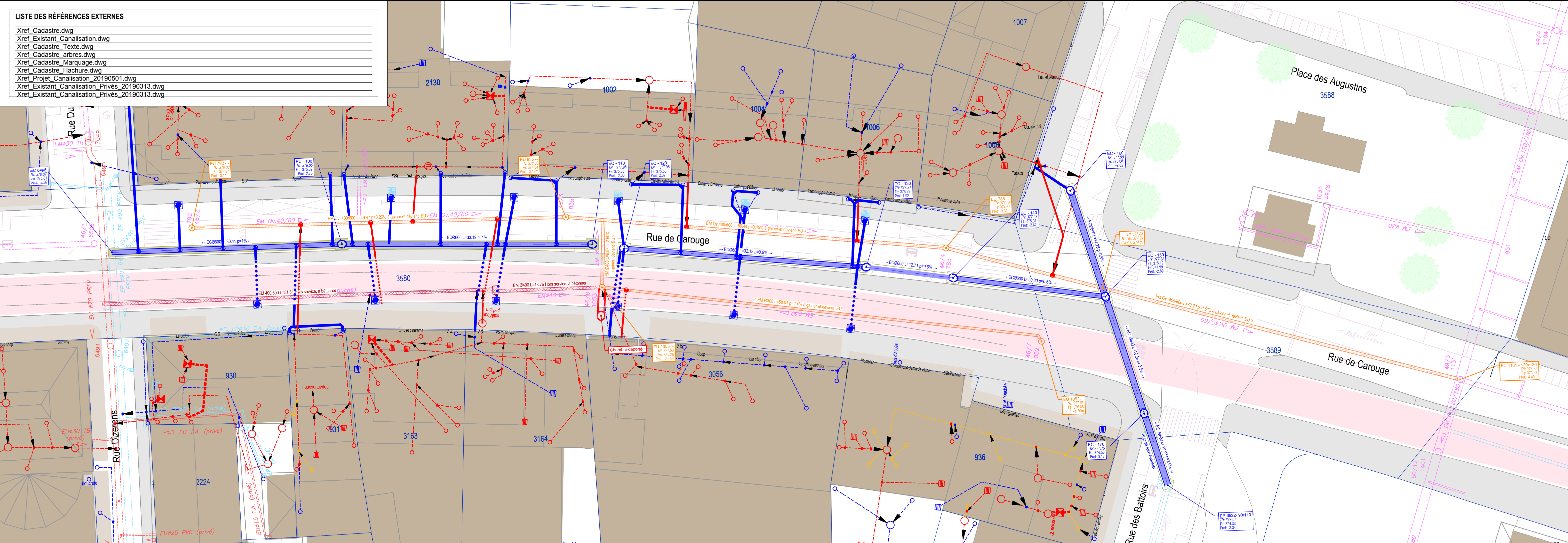
Raccord EC Ø300 projeté

Raccord EC Ø300 projeté à réaliser par chantier TPG

Réseau privé EC existant selon SITG

Réseau privé EU existant selon SITG

Réseau privé EM existant selon SITG



MAÎTRE DE L'OUVRAGE:

VILLE DE GENEVE

AFFAIRE:

Rue de Carouge - Plainpalais à Augustins

Rue de Carouge

SITUATION DES COLLECTEURS EU ET EC

Mise en séparatif des collecteurs sur la Rue de Carouge et le Boulevard du Pont d'Arve et réfection de chaussée

■ sd ingénierie générale sa

☒ Saffir SA

☐ Transitec

126951

N° PLAN: 3-801

1680 x 594

1/250

PLAN D'ENQUETE

LEGENDE:

Collecteurs et branchements existants

Collecteur EM existant

Collecteur EU existant

Collecteur EP existant

Sac-grille / gouffre et branchement existant

Branchement EP existant en attente

Collecteurs et branchements futurs

Collecteur EM existant à mettre hors service par remplissage au mortier autoplaçant

Collecteur EU à poser

Collecteur EC à poser

Collecteur EM existant à fraser et à gagner, collecteur à convertir en EC

Collecteur EM existant à convertir en EC

Chambres EU / EC à poser

Déversoir à créer

Branchement privatif EU à poser

Branchement EC (privatif et public) à poser

Parcelle en cours de contrôle de raccordement des eaux de biens fonds privés

Parcelle aux raccordements des eaux non contrôlés - bien fond privé non accessible

LISTE DES RÉFÉRENCES EXTERNES

SD-MARQUAGE AU SOL-06.02.2019.dwg

SD-ATTENTIVES-PLUVIALES-TPC.dwg

SD-HACHURE BATIMENT-05.02.2019.dwg

SD-HACHURE ROUTE-05.02.2019.dwg

SD-INSPECTION-BIEN-FONDS-GUINET-2019.03.27.dwg

SD-SITUATION-HABILLAGE-COLLECTEURS-2019-03.08.dwg

SD-LEGENDE-2019.02.20.dwg

SD-RÉSEAUX-EXISTANTS-EP-EU-EM-21.02.2019-projet.dwg

SD-SITUATION-COLLECTEURS-2019-03.07.dwg

SD-CADASTRE-22.03.2019.dwg

COUPES TYPES	N° PLAN :	3-302

Int	Urbanité	Urbanité	Urbanité
A	NRO	LC	02.04.2019

<p>Groupement</p> <p>2ST</p> <p><small>Plateau : sd ingénieur génové sa</small> <small>(Route de Charncy 50 - 1213 Petit-Lancy - +41 22 336 33 66)</small></p>	<p>Membres :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> sd ingénierie génové sa <input type="checkbox"/> Solfor SA <input type="checkbox"/> Transitec 	<p>FORMAT : 1470 x 594</p> <p>ECHELLE(S) :</p> <p>1/100</p>
--	--	---

PLAN D'ENQUETE

LEGENDE:

 Bâtiments existants

Projetés

Grave 0/22.4 projetée

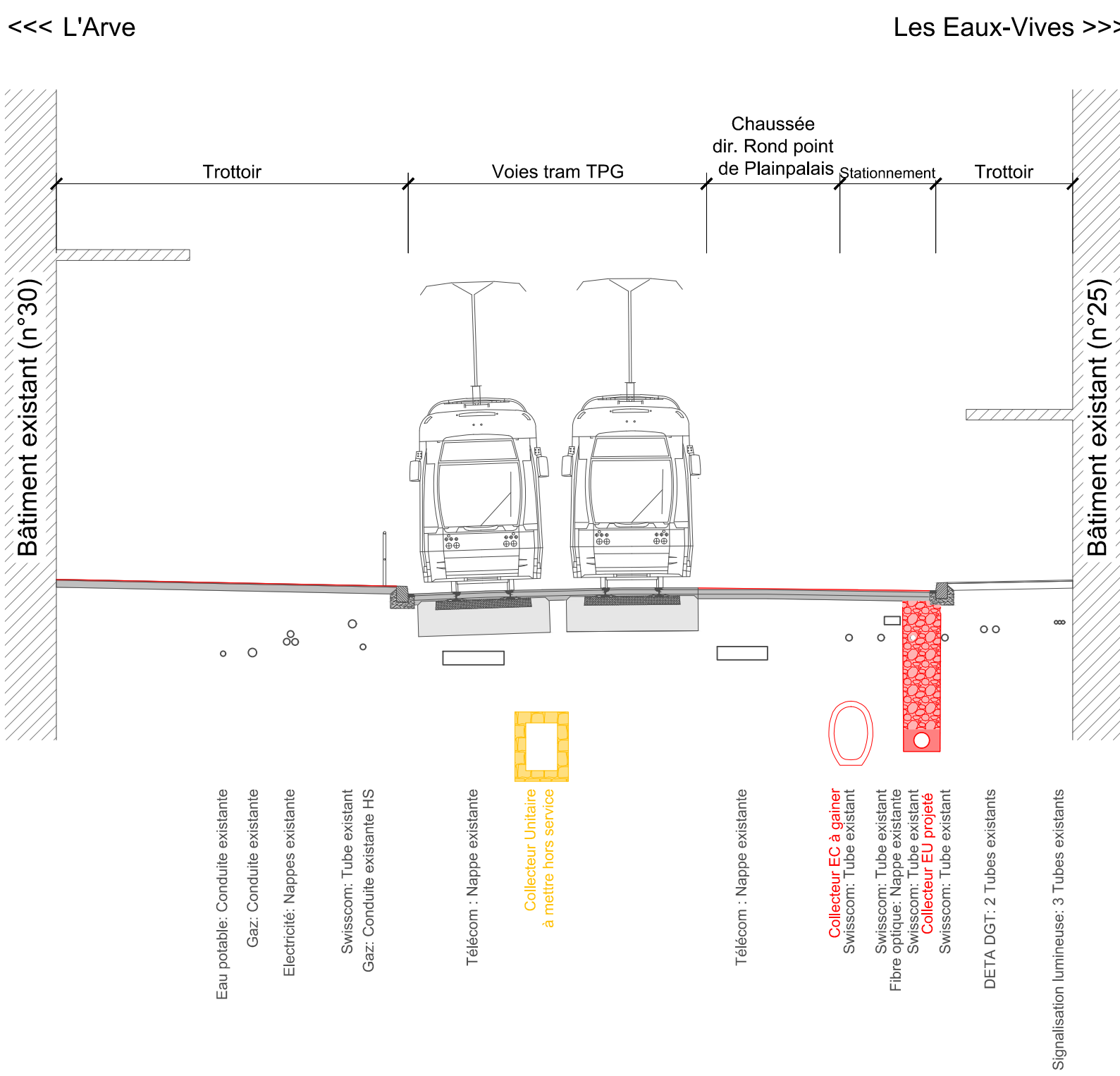
Branchement (EU ou EC) à poser

 Réutilisation du collecteur ovoïde avec grainage

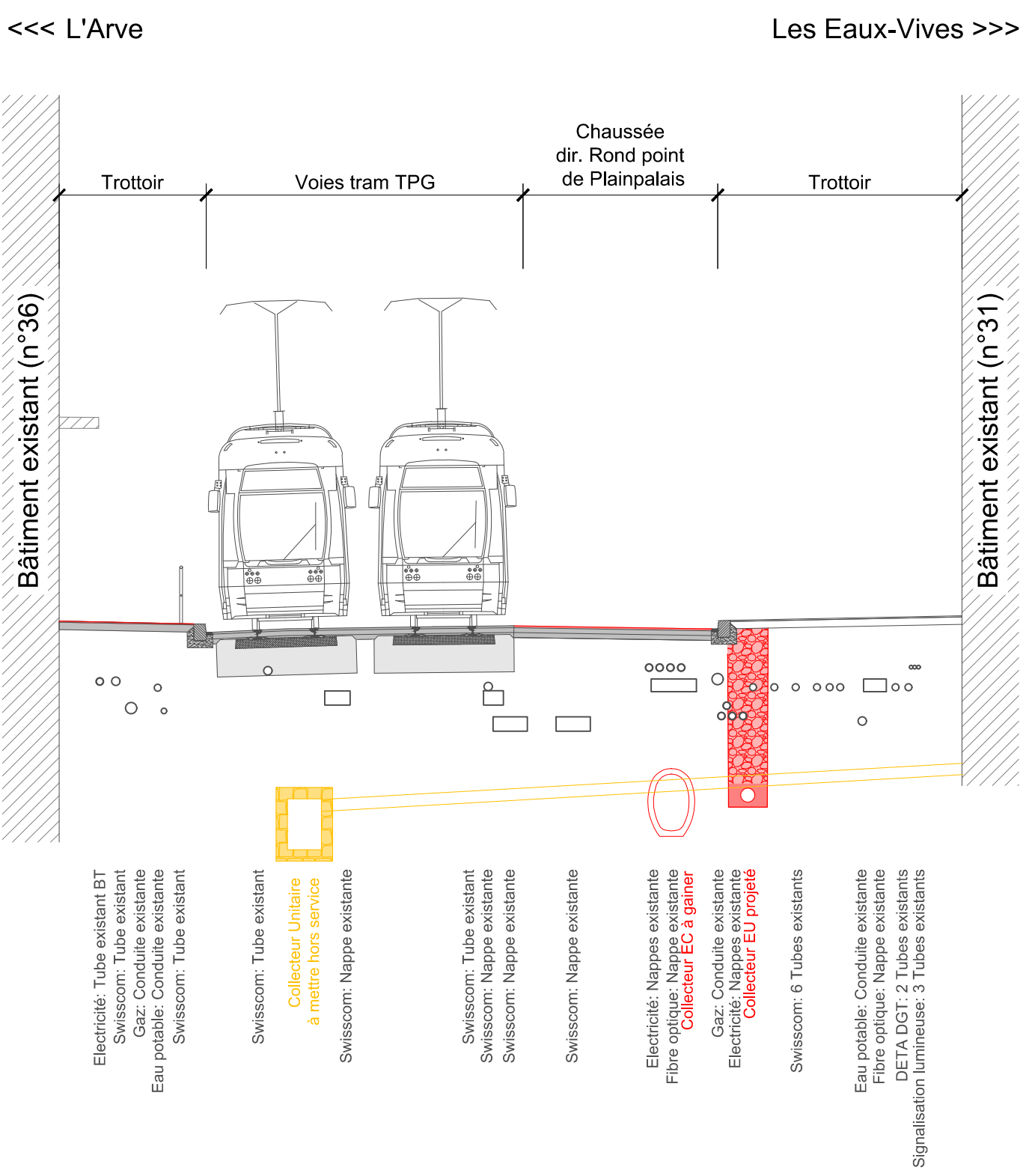
Démolition

===== Branchement existant mis hors service

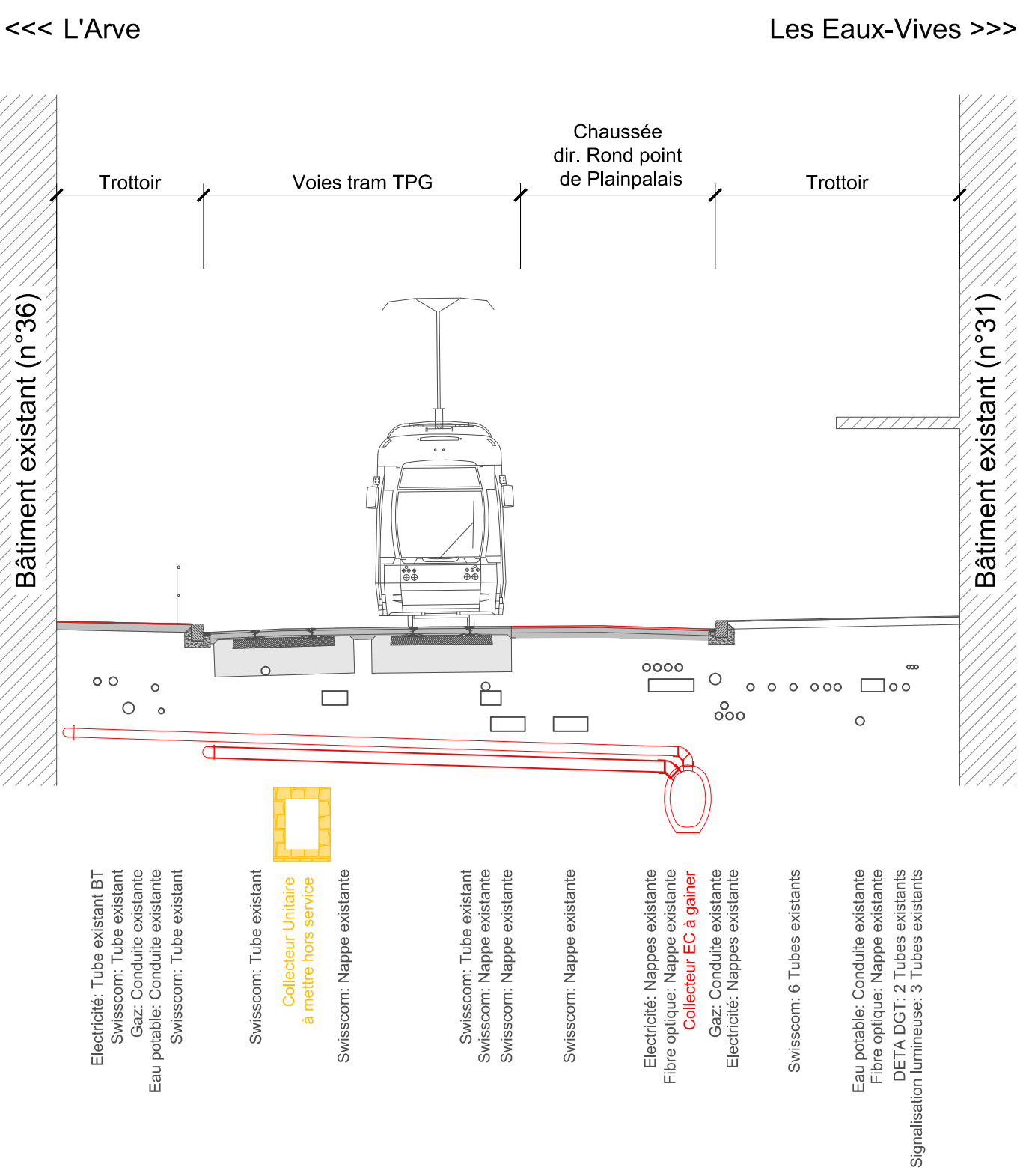
PROFIL 1-1



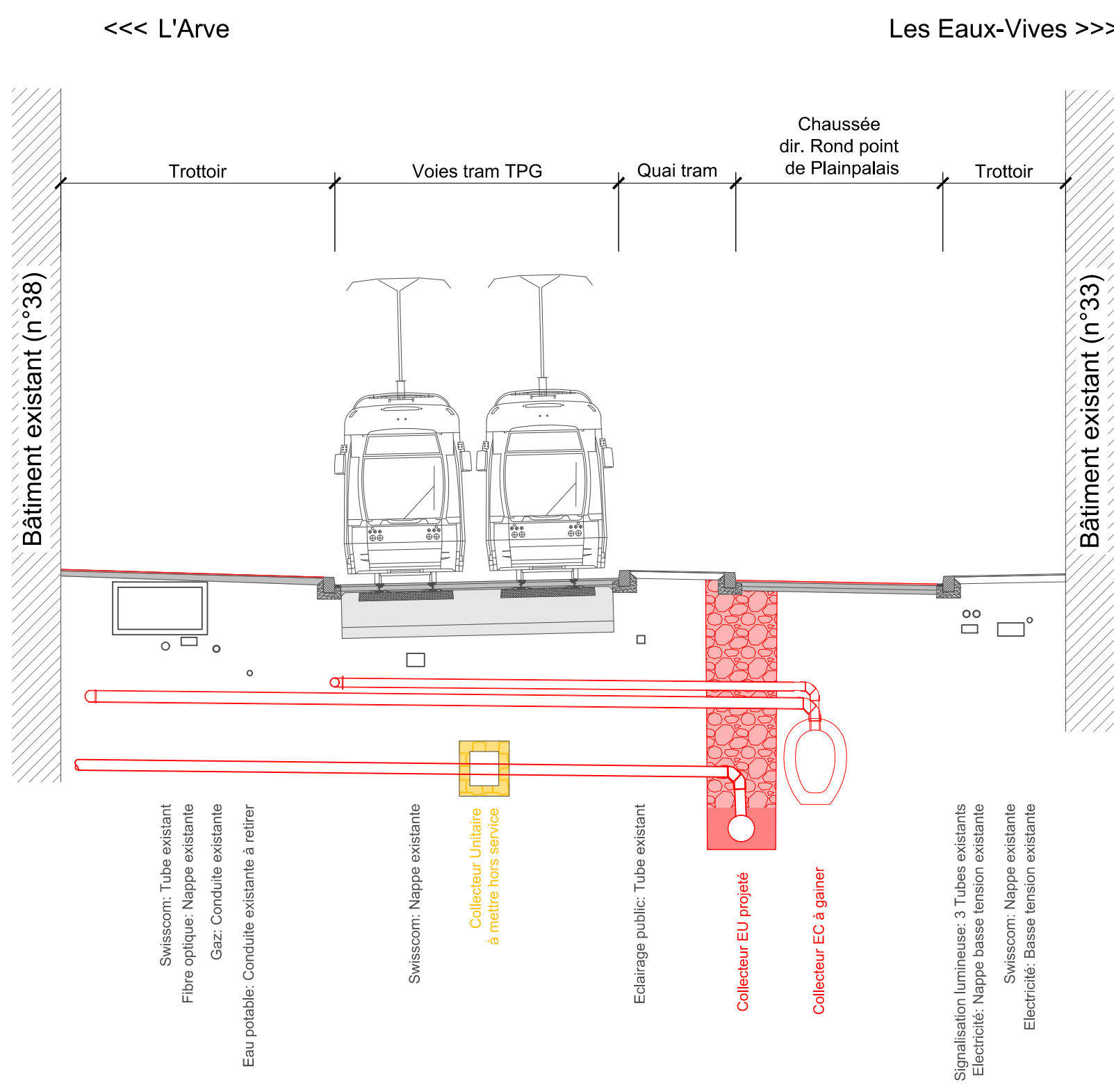
PROFIL 2-2



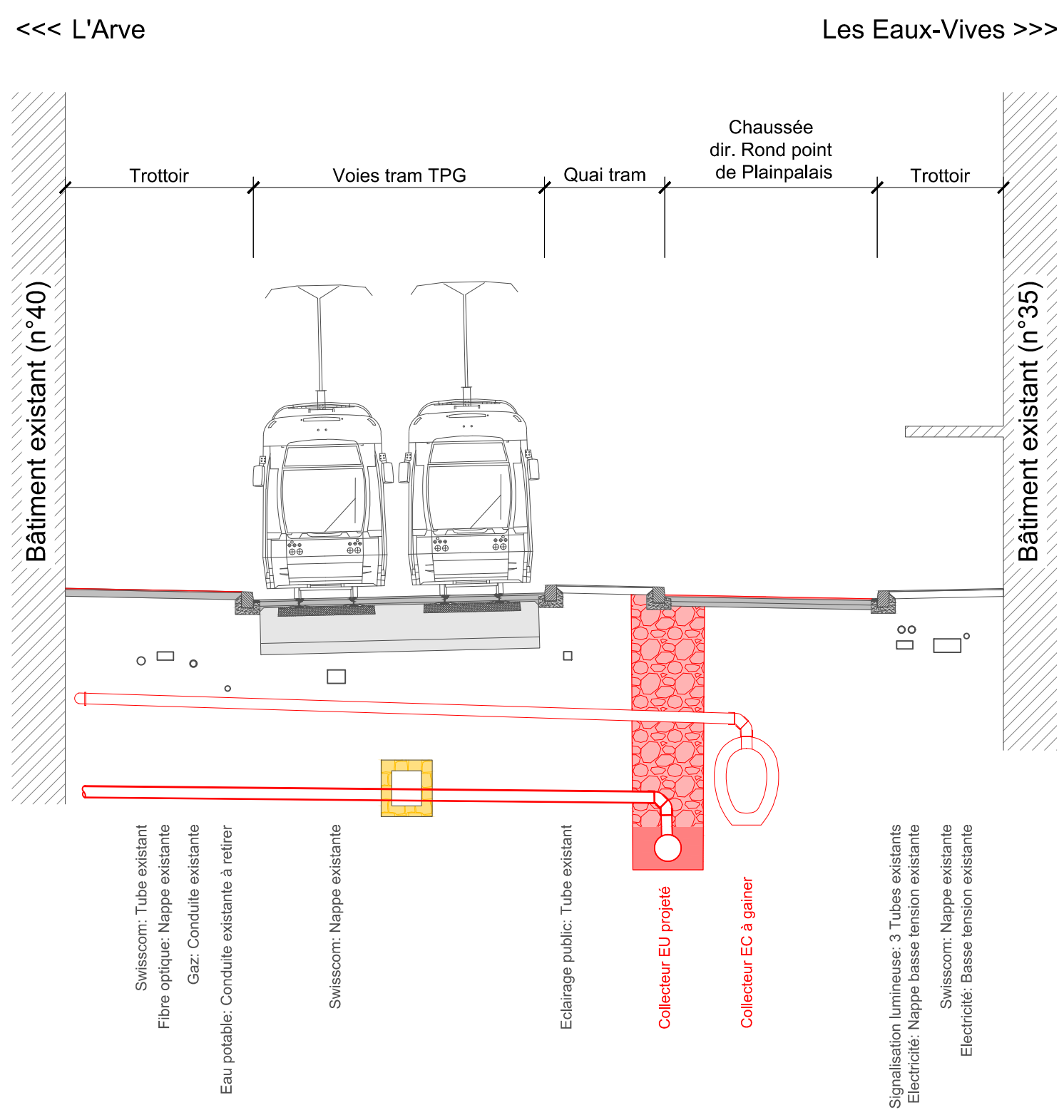
PROFIL 3-3



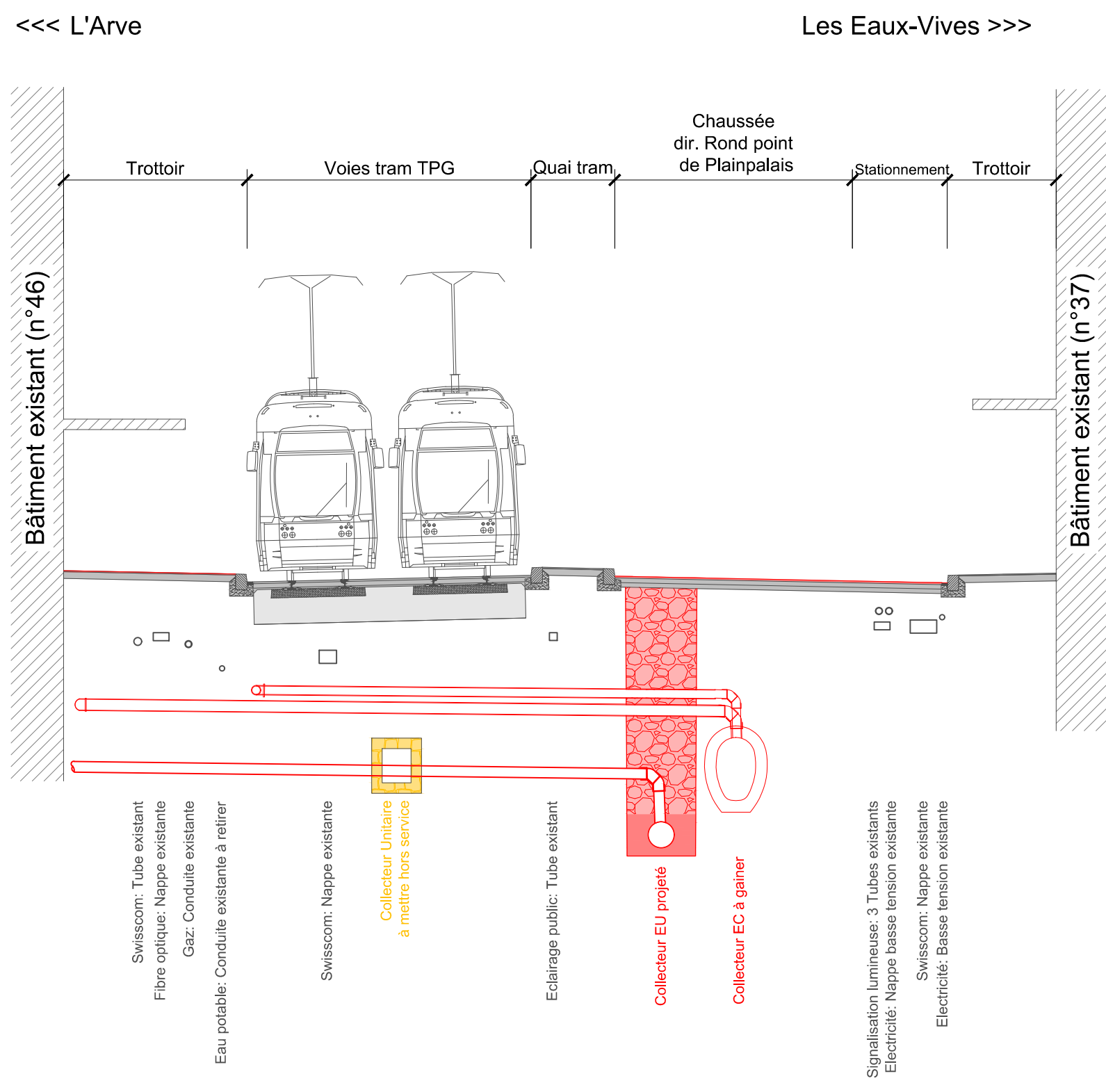
PROFIL 4-4



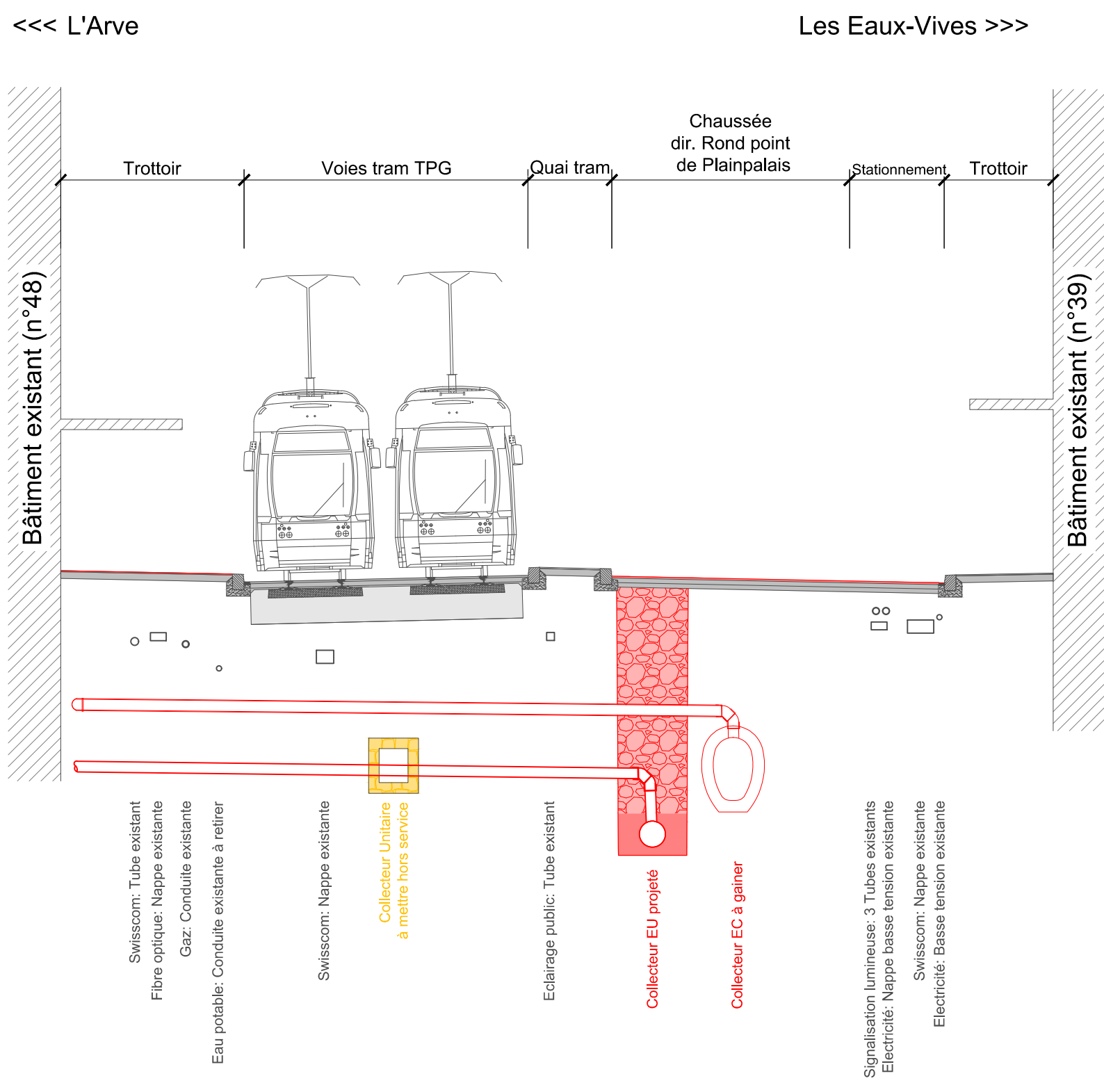
PROFIL 5-5



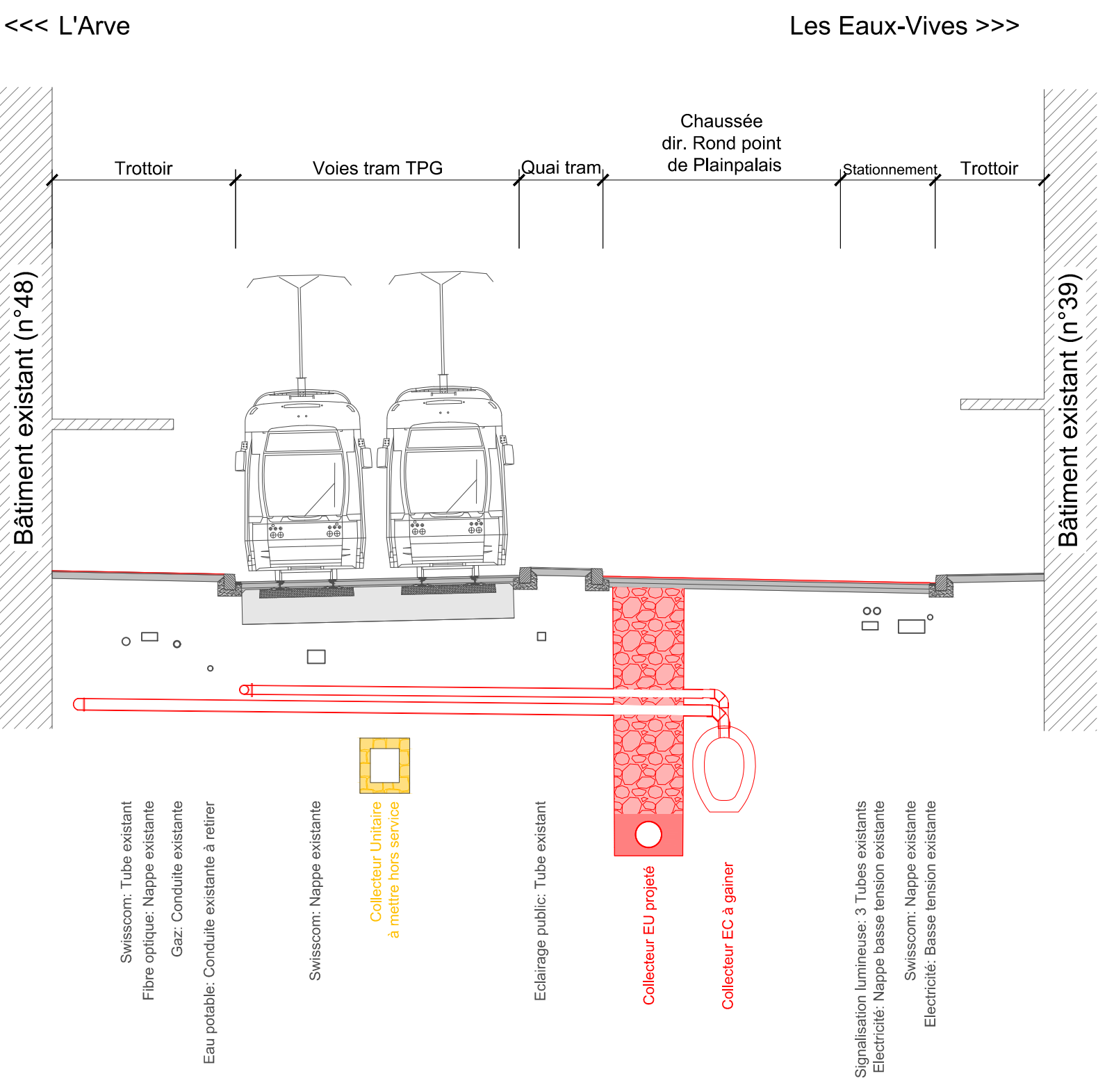
PROFIL 6-6



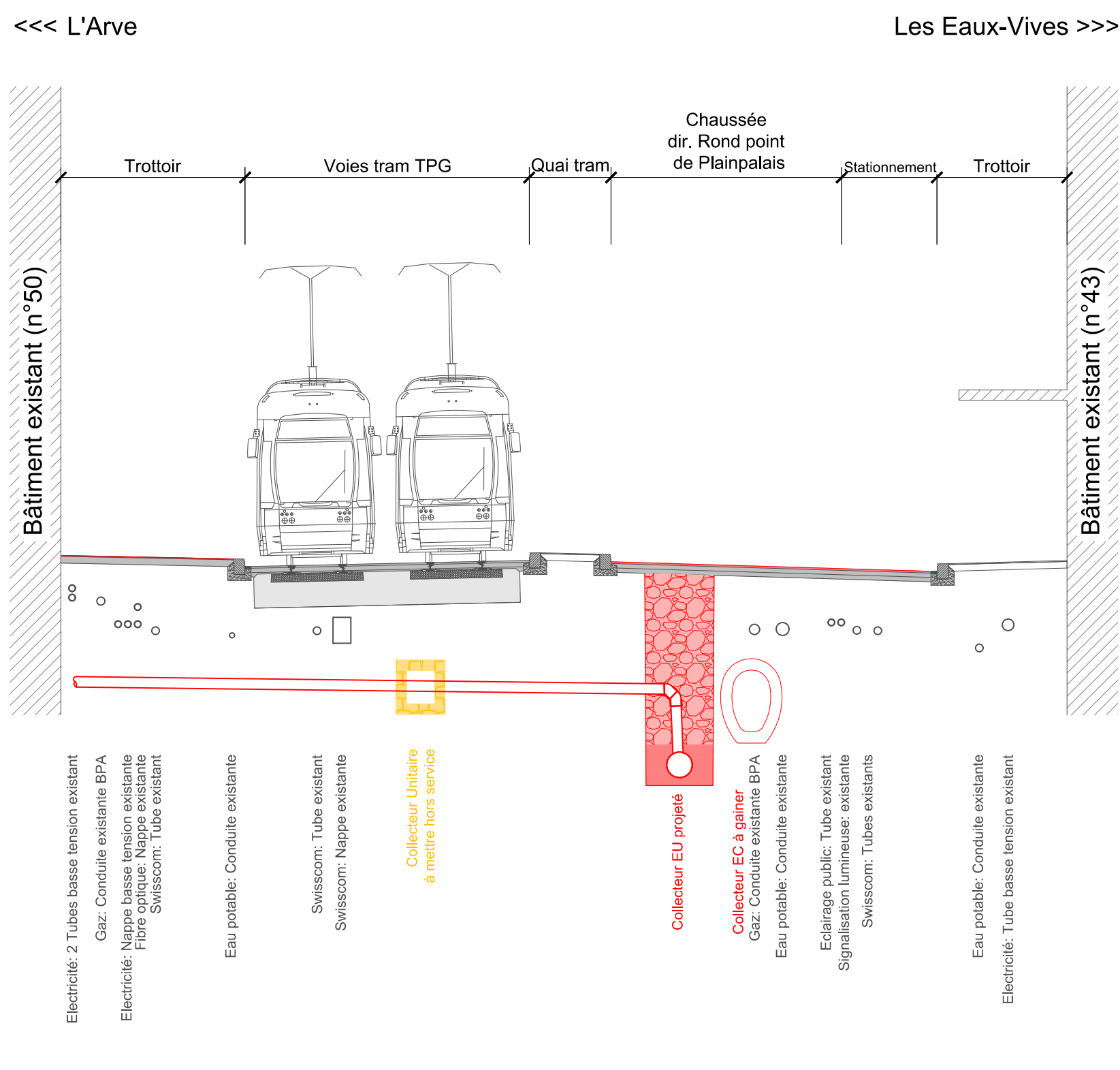
PROFIL 7-7



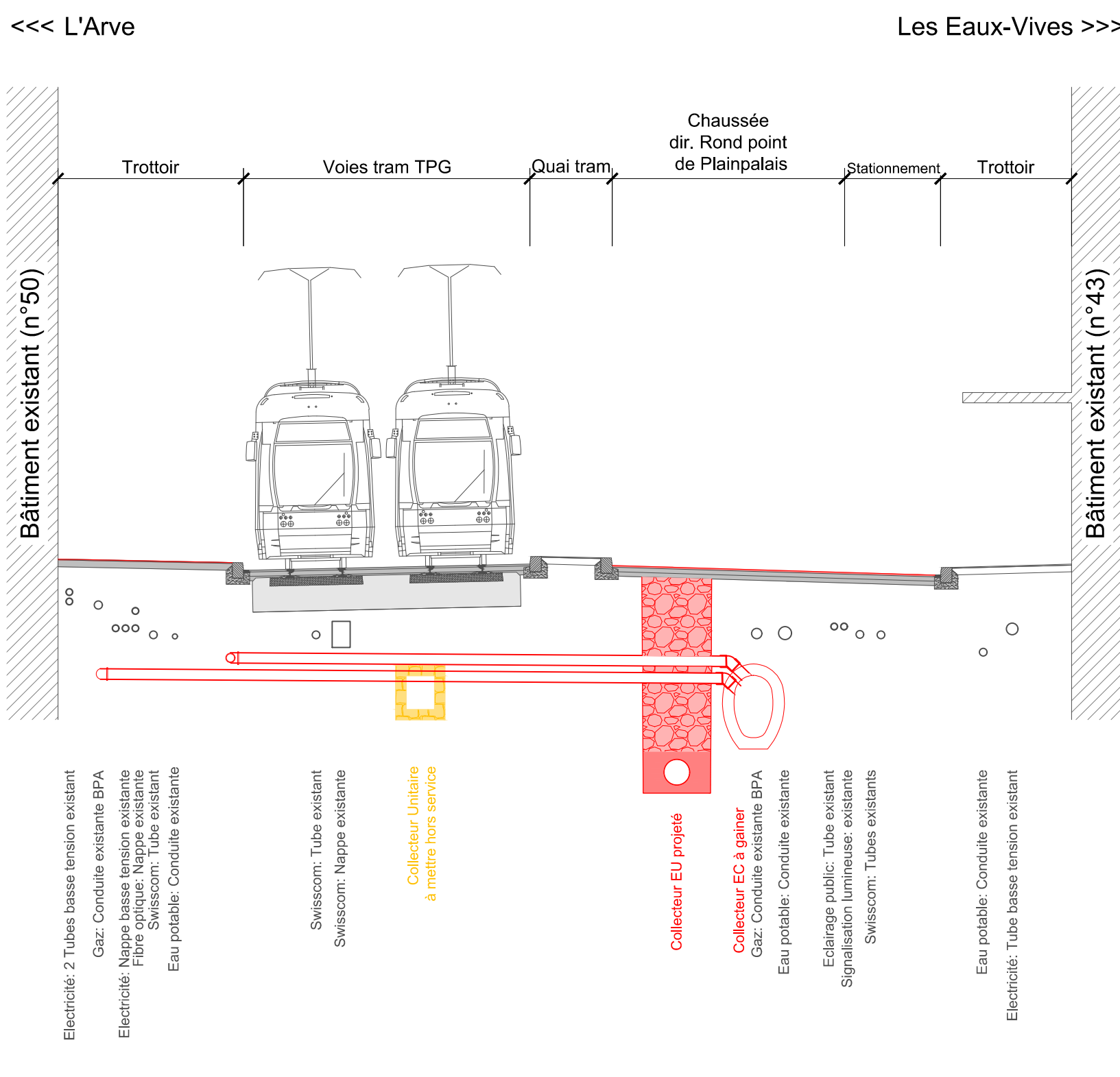
PROFIL 8-8



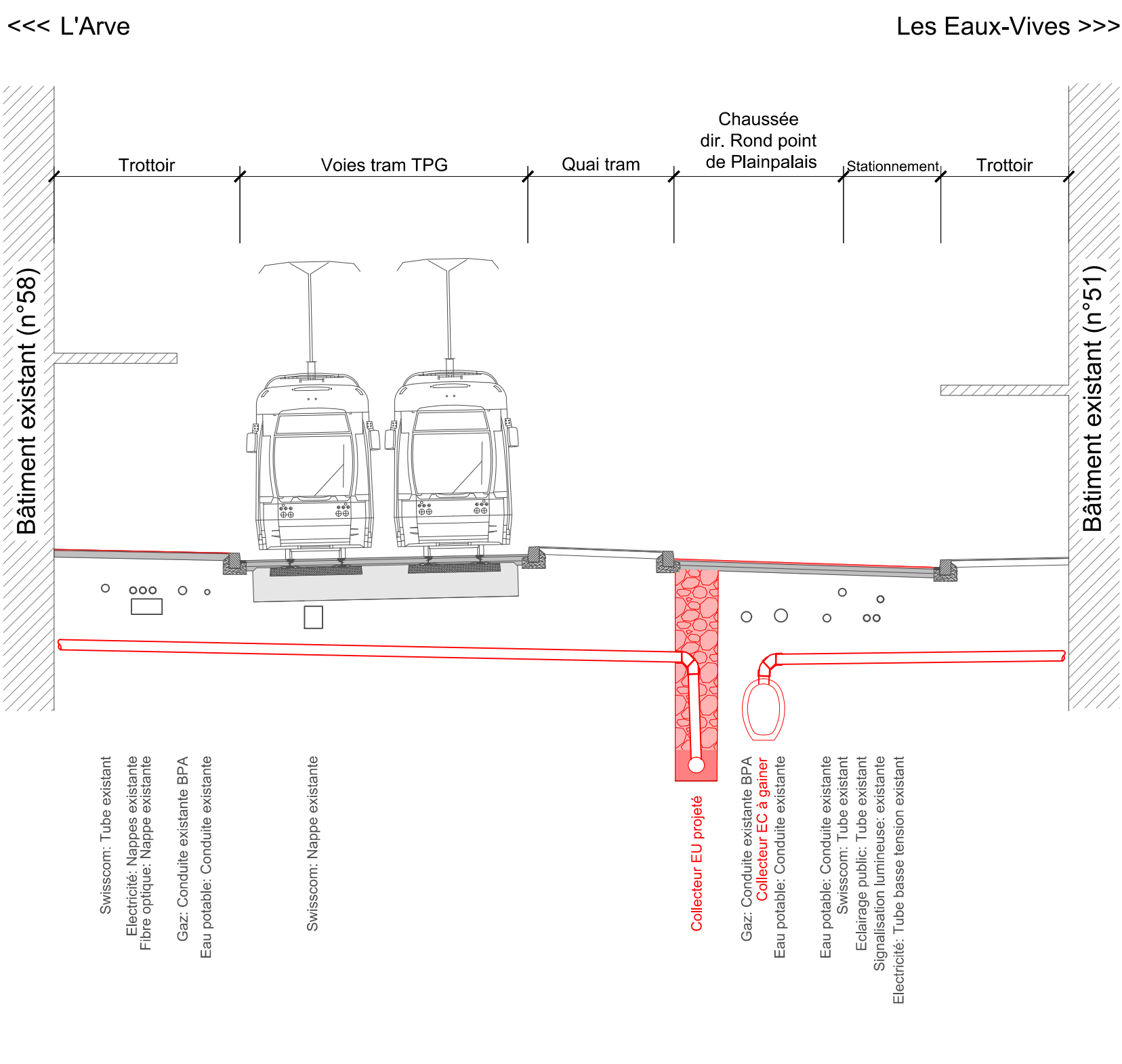
PROFIL 9-9



PROFIL 10-10



PROFIL 11-11



Office cantonal de l'eau
Service de la planification de l'eau

Eau en Ville

Gestion des eaux pluviales : vers un changement de pratiques ?

Version 1.0 – Avril 2020



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

Gestion des eaux pluviales : vers un changement de pratiques ? Telle est la question à laquelle notre service souhaite répondre par le biais d'un certain nombre de réflexions qui conduiront, nous l'espérons, à modifier la manière dont est perçue et appréhendée l'eau de pluie dans un projet, quelle que soit sa dimension et sa nature.

Les modes de gestion des eaux pourraient en être simplifiés, davantage intégrés aux projets d'aménagement et de construction, plus adaptés aux aléas climatiques, assurant plusieurs fonctions et rendant plusieurs services (filtration, détente, jeu, îlot de fraîcheur, biodiversité, etc.).

Ce document, basé sur la pratique quotidienne de nos collaborateurs et sur les nombreuses situations auxquelles ils ont été confrontés, comprend trois chapitres distincts : **principes et idées de base, l'eau dans le projet et union des compétences.**

Ce travail s'adresse à toute personne amenée à porter une réflexion sur la gestion des eaux pluviales dans le cadre d'un projet, ingénieur, architecte, architecte-paysagiste, urbaniste, promoteur, entreprise générale, actifs au sein d'une administration publique ou dans le secteur privé.

PRINCIPES ET IDEES DE BASE

Parvenir à une bonne gestion des eaux pluviales repose sur quelques principes et idées de base qui devraient systématiquement être appliqués.

L'EAU DE PLUIE EST UNE RESSOURCE, PAS UN DECHET

L'eau de pluie est une ressource pour la végétation, le sol, le sous-sol et les écosystèmes aquatiques. La faire disparaître dans une grille ou dans une canalisation, c'est en partie la gaspiller. Les solutions techniques privilégiant un acheminement de la pluie vers un espace planté, un arbre, un sol, sont généralement très simples à mettre en œuvre. De plus, l'eau de pluie, lorsqu'elle tombe, n'est pas ou très peu polluée.

LE TRIPTYQUE «EAU-SOL-ARBRE»

L'eau et le sol sont deux éléments indispensables à la croissance d'un arbre : le sol en tant que support racinaire, source de nutriments et d'échanges, l'eau en tant que vecteur de nutriments. Acheminer l'eau de pluie dans un sol planté, c'est favoriser la croissance de la végétation et des services rendus par celle-ci : biodiversité, ombrage, fraîcheur, identité, paysage, etc. Une démarche qui permet également de préserver l'eau potable, en n'arrosant pas, ou peu.

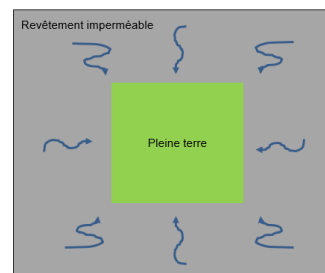
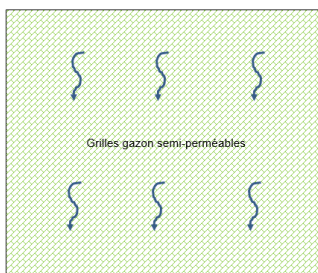


L'EAU «DISPARAIT» SI ON LUI EN LAISSE LE TEMPS

A vouloir à tout prix faire disparaître l'eau rapidement dans une grille ou dans une canalisation, on en oublie presque que quelques centimètres d'eau finissent par disparaître naturellement en quelques heures, voire quelques jours. Evaporation, infiltration et évapotranspiration sont autant de phénomènes qui agissent si on leur en laisse le temps.

IMPERMEABILISER N'EST PAS FAUTER (ODE A LA PLEINE TERRE)

Diminuer l'imperméabilisation globale d'un projet ne passe pas forcément par le recours systématique à des matériaux semi-perméables tels que des grilles gazon, pavés filtrants, etc. Au contraire, imperméabiliser des surfaces (cours d'école, places) pour répondre à des objectifs fonctionnels et acheminer les eaux de pluie vers un espace de pleine terre s'avère être une solution «gagnant-gagnant». Non, imperméabiliser n'est pas fauter, à condition de préserver de la pleine terre.

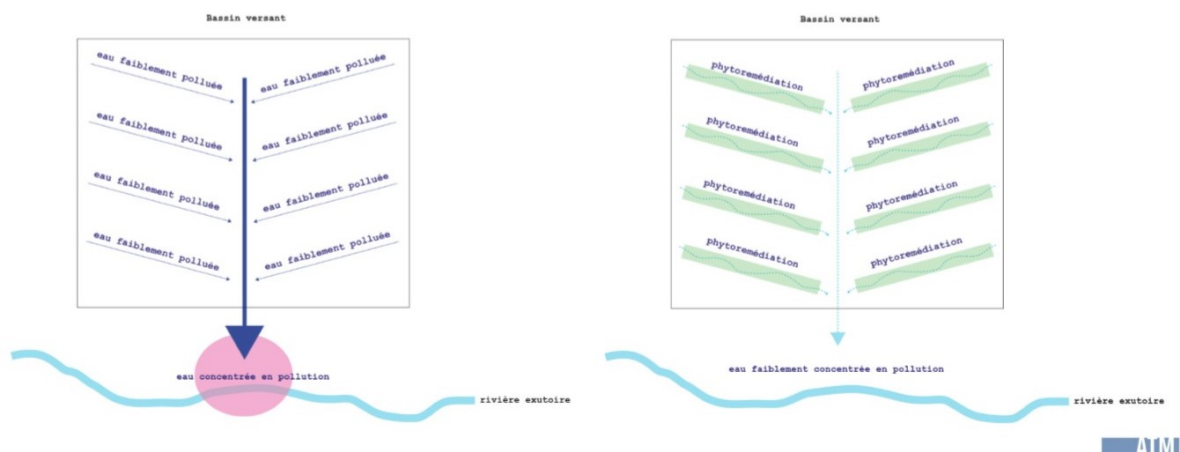


LE SOL EST LE MEILLEUR DES FILTRES

La pollution en milieu urbain se présente essentiellement sous la forme de particules fines lessivées et transportées par les eaux pluviales. Deux mécanismes permettent de les éliminer : la décantation ou la filtration, qui est plus efficace. Malgré la diversité des dispositifs techniques que l'on trouve sur le marché, le sol reste à ce jour le meilleur des filtres.

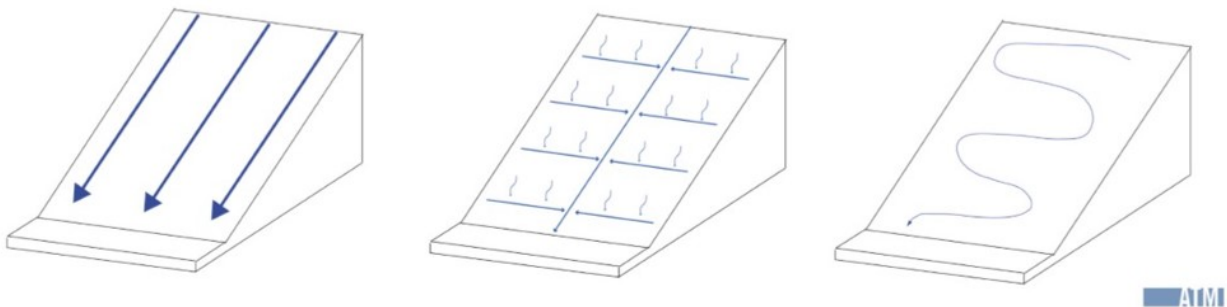
DECENTRALISER PERMET DE NE PAS CONCENTRER LES POLLUANTS

L'eau de pluie est très peu, voire pas polluée, lorsqu'elle tombe. Elle se charge en polluants en ruisselant sur de grandes surfaces ou lors de son parcours dans un réseau. Porter la réflexion de la gestion des eaux pluviales à l'échelle du micro bassin versant permet de dégager des solutions décentralisées, ce qui minimise le recours à des ouvrages centralisés, techniques, coûteux et pas forcément efficaces.



RALENTIR LES ECOULEMENTS DIMINUE LES DEBITS DE POINTE

Les eaux pluviales sont souvent évacuées perpendiculairement aux courbes de niveaux, dans le sens de la pente, alors qu'une évacuation parallèle ou oblique permet de ralentir les écoulements et d'augmenter la distance parcourue par l'eau de pluie. Ces mesures ont pour effet de diminuer le débit de pointe en aval d'un périmètre donné et de minimiser les risques d'inondations, surtout si ce parcours s'effectue à ciel ouvert, sur des surfaces rugueuses, comme par exemple une noue plantée.



LES PLUIES SONT MULTIPLES

Les pluies sont bien souvent appréhendées sous l'angle du dimensionnement d'une canalisation, c'est-à-dire, en milieu urbain, en considérant une pluie intense et courte qui sollicite le réseau d'eaux pluviales à la limite de sa capacité. En réalité, les pluies sont multiples. Les pluies du quotidien, observées plusieurs fois par mois ou par année, arrosent, s'infiltrant, rafraîchissent, sont ludiques. Les pluies rares, observées une fois tous les 2, 5 ou 10 ans, s'infiltrant également, tout ou partiellement, suivant les conditions, s'évacuent, se gèrent. Les pluies extrêmes quant à elles, que l'on observe quelques fois par siècle et pour lesquelles les systèmes de gestion et d'évacuation des eaux ne sont pas dimensionnés, doivent être intégrées au projet pour minimiser les dommages. Intégrer la diversité des pluies à un projet est une manière de l'adapter à la complexité et à la diversité des phénomènes naturels.

L'EAU, CE N'EST PAS SI COMPLIQUE QUE CELA

Dans la majorité des situations, chaque professionnel peut oser trouver et proposer des solutions originales afin d'intégrer et valoriser la gestion des eaux pluviales dans ses projets, avec évidemment, dans un deuxième temps, l'appui et la validation d'un expert.

En gardant en tête deux principes, la démarche semble en effet bien facile :

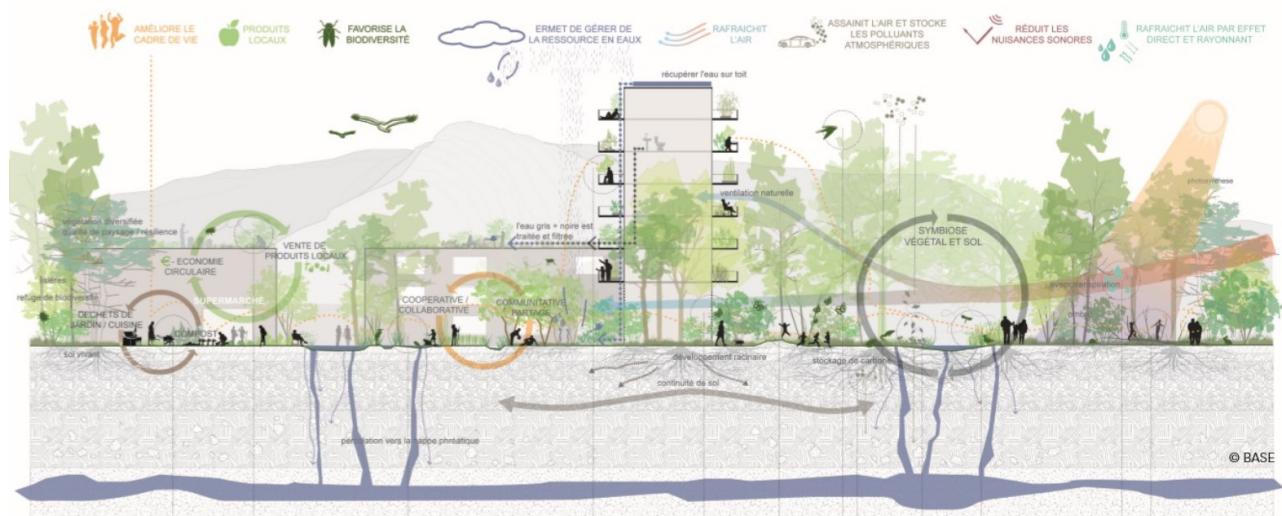
- Sans aide mécanique extérieure, l'eau s'écoule d'un point A à un point B par la force de la gravité ;
- Lorsque de l'eau remplit un volume donné, le volume se remplira d'autant plus rapidement que le débit entrant est élevé et le débit sortant est faible.

L'EAU DANS LE PROJET

Parvenir à une bonne gestion des eaux pluviales repose également sur un changement dans la manière de l'intégrer au projet.

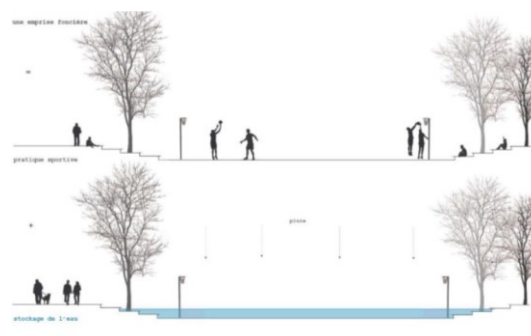
L'EAU N'EST PAS UNE CONTRAINTE, BIEN AU CONTRAIRE

Bien que dans la plupart des cas la gestion des eaux pluviales est imposée par l'administration, appréhender la problématique sous le seul angle de la contrainte est une erreur qui conduit souvent à la traiter en fin de projet, sans connexion réelle avec l'esprit général de ce dernier. Cela aboutit dans de nombreux cas à la réalisation d'un bassin de rétention enterré. A ciel ouvert et intégrée au projet, l'eau lui apporte une réelle plus-value sur bien des aspects : environnementaux, ludiques, esthétiques, adaptation aux changements climatiques, îlots de fraîcheurs, etc.



MUTUALISER LES USAGES

La gestion de l'eau est compatible avec bien d'autres usages. Un terrain de sport, une place, une pelouse ou un parking peuvent par temps de pluie faire office de zone de rétention. Un espace dédié à la rétention ou à l'infiltration des eaux pluviales peut rester en partie en eau et faire office de biotope. Pensez-y.



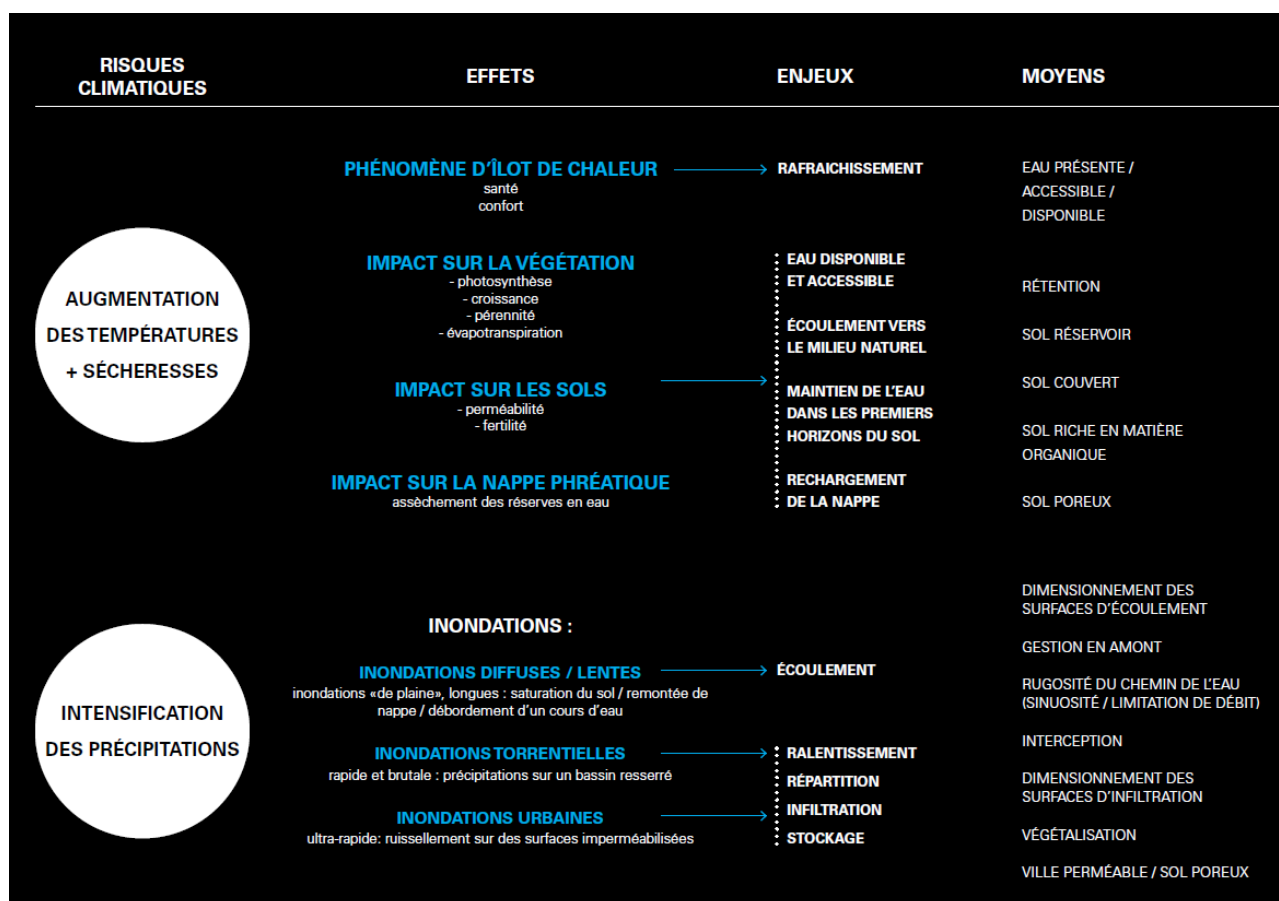
L'EAU REND SERVICE

L'eau rend de multiples services, dont nous vous proposons ci-après l'une des classifications en cinq catégories. Réfléchir à l'eau du point de vue des services écosystémiques permet non seulement d'élargir le champ des réflexions, mais également d'opérer une transition vers une approche décloisonnée et pluridisciplinaire de la thématique. Un projet ne pouvant que très rarement rendre entièrement chacun des services, il est essentiel dans les phases préalables de fixer des objectifs en la matière, en concertation avec tous les acteurs concernés.



L'EAU COMME ELEMENT D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Gérer les eaux pluviales, c'est se donner les moyens de faire face à deux risques climatiques que sont l'augmentation des températures et des périodes de sécheresses d'une part, et l'intensification des précipitations d'autre part. Le schéma ci-dessous propose une clé de lecture reliant les risques climatiques, les effets induits, les enjeux et les moyens pour y remédier.



PENSER A PLUSIEURS ECHELLES

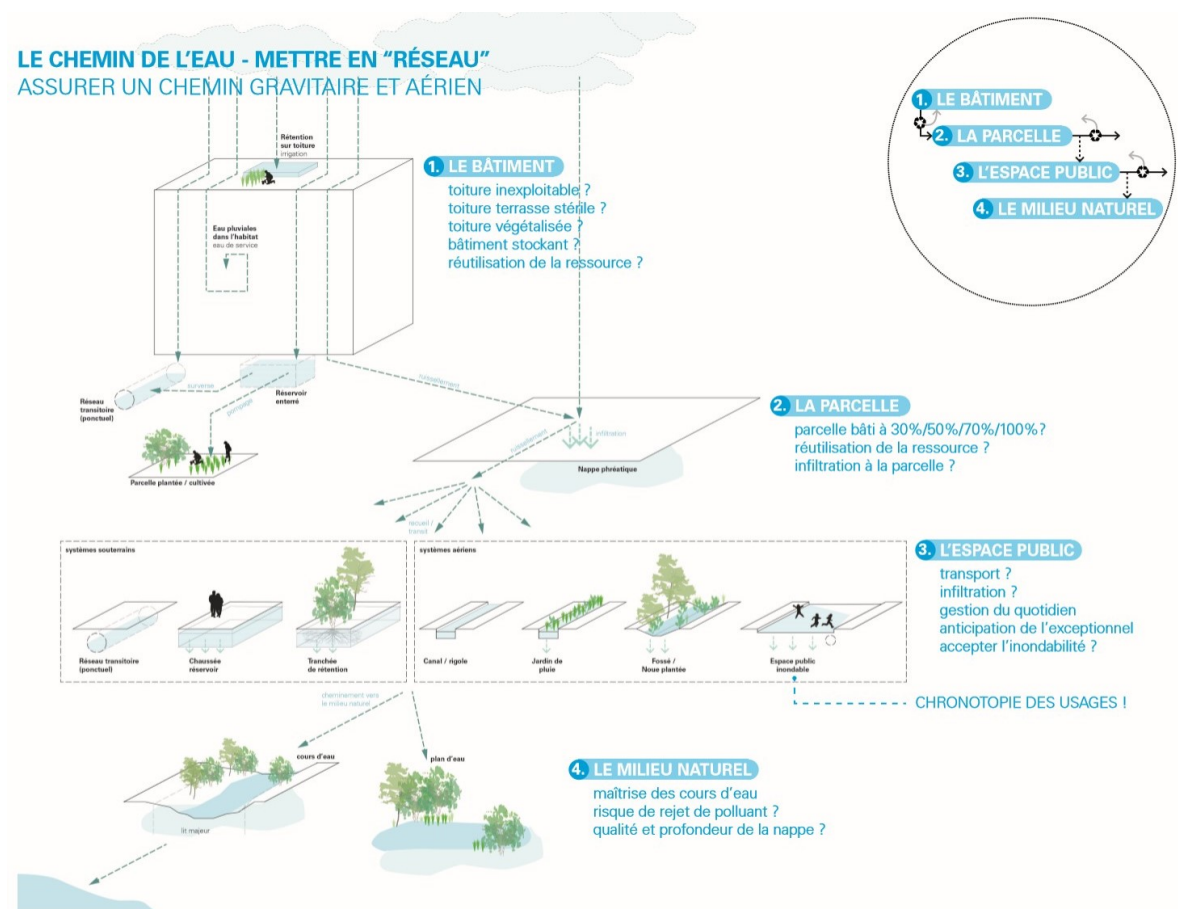
L'eau s'appréhende dans un espace-temps multiple. L'espace s'étend du bâtiment à l'agglomération en passant par le quartier. Le temps est quant à lui chronologique, aujourd'hui, demain, après-demain, ou fréquentiel, fréquence des pluies, fréquence des sécheresses, fréquence des inondations. Intégrer toutes ces échelles à la réflexion est la garantie d'une cohérence à tous les niveaux spatio-temporelles.

CONCEVOIR DES PROJETS FLEXIBLES FACE A L'INCONNU

En matière d'hydrologie urbaine et de régime des précipitations, l'imprévisibilité est l'une des conséquences du changement climatique. Concevoir un projet dont la durée de vie est de l'ordre de 80 ou 100 ans, c'est admettre une part d'inconnue des phénomènes en jeu et tant que faire se peut les anticiper. Cette approche implique de faire preuve de curiosité et de sortir des sentiers battus, des normes et des directives. La résilience et la réversibilité sont les clés d'un aménagement durable.

REFLECHIR AUX CHEMINS DE L'EAU

Penser au cheminement de l'eau entre son point de collecte et son point de rejet dans une canalisation, un fossé, un cours d'eau ou un plan d'eau, c'est prendre du recul, c'est se donner les moyens de conférer une identité forte à un projet, de l'inscrire dans un territoire, de raconter une histoire autour de l'eau, etc. Le bâtiment, la parcelle, l'espace public puis le milieu naturel sont autant de terrains d'expression et d'expérimentation des mille et une manières de construire un chemin de l'eau.



UNION DES COMPETENCES

Une bonne gestion des eaux pluviales repose également sur des personnes, sur des compétences, et sur la manière de les mettre à profit et de les valoriser.

L'EAU N'EST PAS QU'UNE AFFAIRE DE SPECIALISTES

Avec la spécialisation des acteurs du territoire apparaissent des fragmentations artificielles des métiers liés à l'eau qui font parfois perdre la cohérence d'ensemble des projets. L'architecte conçoit un bâtiment et sous-traite l'évacuation des eaux pluviales à un ingénieur sanitaire. Les eaux pluviales du bâtiment sont raccordées à une canalisation souterraine dimensionnée et élaborée par un ingénieur civil. Les eaux de l'espace public sont évacuées au réseau de canalisations par un système conçu par un urbaniste, un architecte ou un paysagiste.

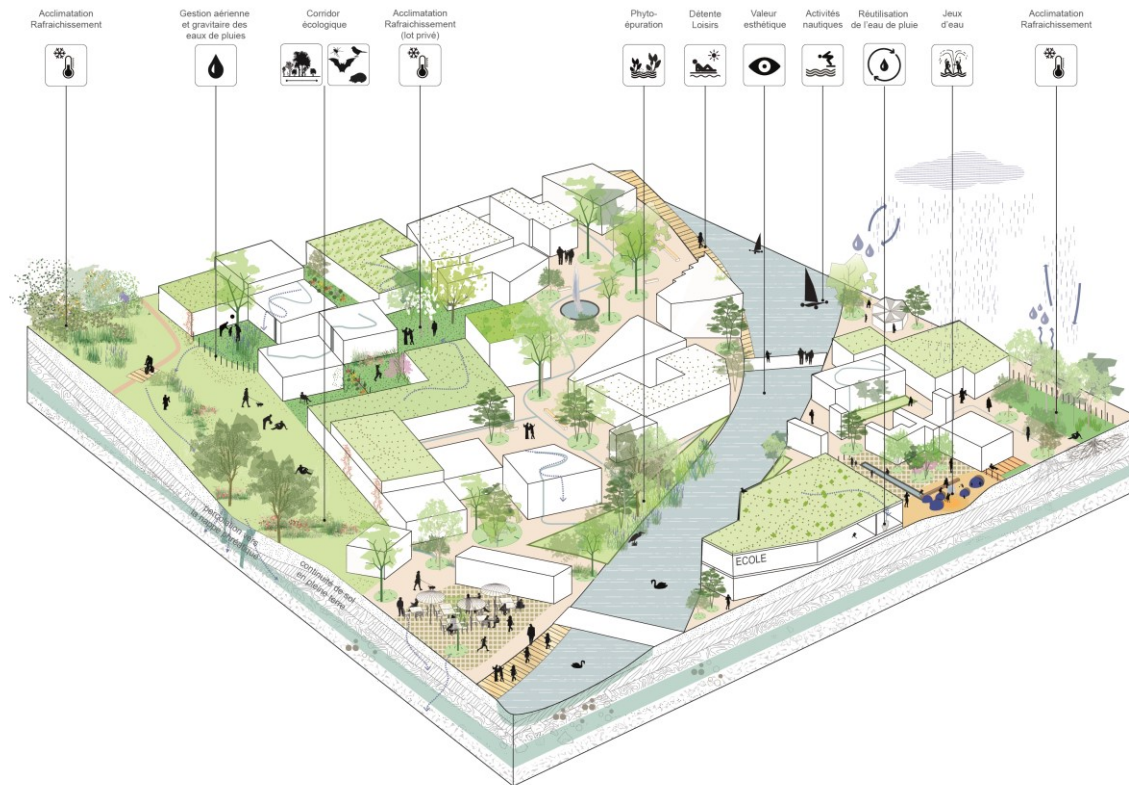
La conception d'un projet exemplaire du point de vue de la gestion des eaux pluviales passe par un dialogue, un décloisonnement, une coordination étroite entre les différents spécialistes ainsi que par une compréhension mutuelle des points de vues et contraintes de chacun.

CHAQUE SPECIALISTE PERÇOIT L'EAU A SA MANIERE

La spécialisation conduit à ne plus appréhender une problématique que sous l'angle de chaque spécialité, avec ses normes et directives respectives, de plus en plus nombreuses et complexes. Les questions que se posent chaque spécialiste sont dès lors souvent très techniques et vont puiser dans un vocabulaire propre à chaque métier.

Ouverture d'esprit, compréhension de l'autre et capacité de vulgarisation sont autant de qualités indispensables à une bonne gestion des eaux pluviales.

Nous espérons que ce document vous sera utile dans l'élaboration de vos projets à contribuera à remettre l'eau au cœur de la ville.



Les collaboratrices et les collaborateurs du service de la planification de l'eau (SPDE) de l'Etat de Genève se tiennent à votre entière disposition pour échanger, partager et collaborer.

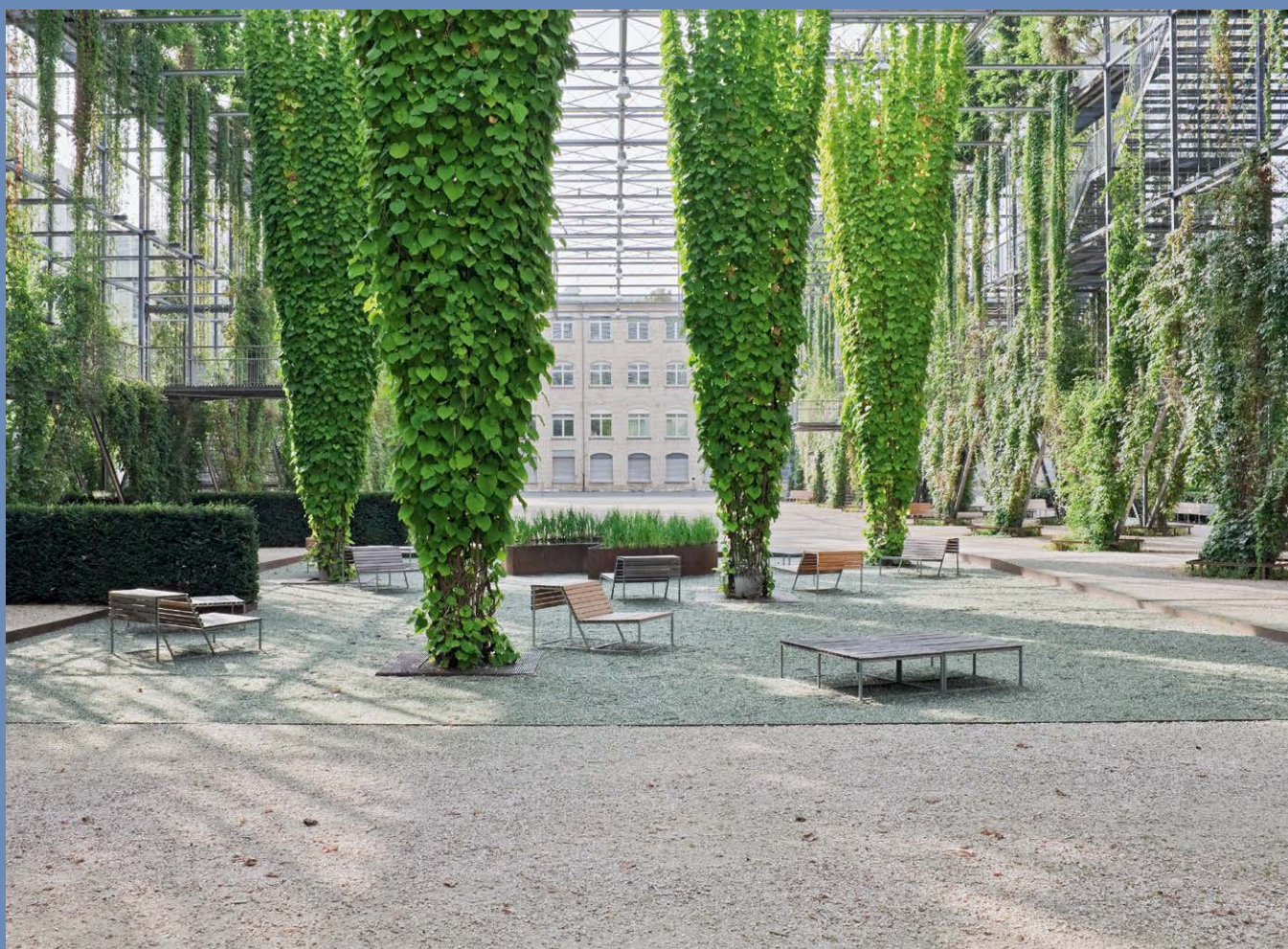
Tous les partages d'idées sont les bienvenus !

Toutes les illustrations, à l'exception de la première de la page 2, réalisée en interne, ont été produites par le groupement de mandataires BASE-ATM dans le cadre du mandat pilote Eau en Ville, sous mandat de l'office cantonal de l'eau et du service cantonal du développement durable.

La plupart des réflexions présentées dans ce document ont été menées conjointement avec le groupement BASE-ATM, que nous remercions pour cela.

Quand la ville surchauffe

Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Office fédéral du développement territorial ARE

Quand la ville surchauffe

Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

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

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

Équipe de projet, auteurs

Cordula Weber, Daniel Keller, StadtLandschaft GmbH, Zurich

Martin Berchtold, Philipp Krass, Poliksen Qorri Dragaj,

berchtoldkrass space&options, Karlsruhe

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

Umweltconsulting, Hanovre

Partenaires du projet

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

Groupe d'accompagnement

Roland Hohmann (OFEV, direction du projet), Melanie Butterling

(ARE), Carla Gross (OFEV), Sabine Kleppek (OFEV), Trond Maag

(OFEV), Denise Felber (OFEV), Regula Gehrig (MétéoSuisse),

Franziska Schwager (canton de Bâle-Ville), Karl Tschanz (ville de

Zurich), Pascal Barrière (canton de Soleure), Daniel Lehmann

(Union des villes suisses), Ralf Maibusch (ville de Berne),

Hans-Rudolf Moser (canton de Bâle-Campagne), Rémy Zinder

(canton de Genève), Thomas Stoiber (canton de Zurich), Lionel

Tudisco (ville de Sion)

Référence bibliographique

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

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

Traduction

Lionel Felchlin, Fribourg

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

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

© Bjoern Allemann, KEYSTONE

Commande de la version imprimée et téléchargement au format PDF

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne

www.publicationsfederales.admin.ch

Numéro d'article : 810.400.126F

www.bafu.admin.ch/uw-1812-f

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé

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

© OFEV 2018

11.18 400 860432353

Table des matières

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

Abstracts

With climate change, periods of hot weather will become more frequent, longer, and hotter. The negative impact of this heat will be felt particularly keenly in cities and agglomerations, because the roads, pavements and buildings absorb the sun's rays and heat up the local environment. Urban planning can reduce this urban heat island effect by adapting the design of outside space to the changing climate. To this end, open green spaces must be planned, with plenty of shade, and cooling water elements that are accessible to all. Fresh air from the surrounding area, as well as air circulation, must also be ensured. This report collates numerous examples that show how the heat island effect can be mitigated.

Les épisodes caniculaires deviennent plus fréquents, plus longs et plus chauds avec le changement climatique. La concentration de chaleur est particulièrement importante dans les villes et les agglomérations, car les nombreuses surfaces imperméables absorbent le rayonnement solaire et réchauffent l'environnement. La planification urbaine peut réduire cet effet dit d'îlot de chaleur en aménageant l'espace extérieur en fonction du changement climatique. Pour cela, il est nécessaire de prévoir des espaces ouverts avec des aires de verdure, des places ombragées et librement accessibles ou des éléments d'eau rafraîchissants, tout en garantissant l'apport et la circulation de l'air frais des zones rurales périphériques. Le présent rapport réunit de nombreux exemples qui révèlent comment atténuer l'effet d'îlot de chaleur.

Mit dem Klimawandel werden Hitzeperioden häufiger, länger und heisser. In Städten und Agglomerationen ist die Hitzebelastung besonders gross, denn die vielen versiegelten Flächen absorbieren die Sonnenstrahlung und heizen die Umgebung auf. Die Stadtplanung kann diesen so genannten Hitzeinseleffekt reduzieren, indem sie den Aussenraum klimaangepasst gestaltet. Dazu müssen Freiräume mit Grünflächen, Schattenplätzen und frei zugänglichen, kühlenden Wasserelementen geplant werden. Zudem muss die Frischluftzufuhr und -zirkulation aus dem Umland gesichert sein. Im vorliegenden Bericht sind zahlreiche Beispiele zusammengestellt, die zeigen, wie der Hitzeinseleffekt eingedämmt werden kann.

A causa del cambiamento climatico, i periodi di canicola diventano più frequenti, più lunghi e più caldi. Nelle città e negli agglomerati lo stress da calore è particolarmente intenso poiché le numerose superfici impermeabilizzate assorbono le radiazioni solari e surriscaldano gli immediati dintorni. La pianificazione urbana può ridurre il cosiddetto «effetto isola di calore», strutturando lo spazio esterno affinché si adatti maggiormente ai cambiamenti climatici. A questo scopo devono essere pianificati spazi liberi con aree verdi, piazzette ombreggiate ed elementi acquatici liberamente accessibili e rinfrescanti. Inoltre, devono essere garantiti l'apporto e la circolazione d'aria fresca dalla zona periurbana. Nel presente rapporto sono raccolti numerosi esempi che mostrano come è possibile ridurre l'effetto isola di calore.

Keywords:

Climate change, impacts, urban heat island, urban planning, settlement development, adaptation

Mots-clés :

changements climatiques, impacts, îlots de chaleur urbains, planification urbaine, développement urbain, adaptation

Stichwörter:

Klimawandel, Auswirkungen, städtische Hitzeinsel, Stadtplanung, Siedlungsentwicklung, Anpassung

Parole chiave:

cambiamenti climatici, impatto, effetto isola di calore, pianificazione urbana, sviluppo degli insediamenti, adattamento

Avant-propos

L'été, la chaleur est parfois insupportable dans les villes et les agglomérations. Les nombreuses surfaces imperméables absorbent le rayonnement solaire et réchauffent l'environnement. On parle d'effet d'îlot de chaleur, qui a pour conséquence des températures plus élevées de quelques degrés dans les zones à forte densité bâtie par rapport aux zones vertes avoisinantes. Les nuits et les jours tropicaux sont préjudiciables à la santé de la population citadine. Pendant les vagues de chaleur, le risque de décès dû notamment aux maladies cardiovasculaires augmente sensiblement. En Suisse, plusieurs centaines de personnes sont ainsi décédées des suites des fortes températures au cours des étés 2003 et 2015. Il s'agissait surtout de personnes âgées en milieu urbain.

Les épisodes caniculaires deviennent plus fréquents, plus longs et plus chauds avec le changement climatique. En même temps, la part de la population âgée de plus de 65 ans et les risques sanitaires liés à la chaleur s'accroissent. Comment réagir ? À long terme, il s'agira de minimiser l'effet d'îlot de chaleur et d'aménager nos villes et nos agglomérations pour qu'elles puissent aussi offrir un confort thermique et une qualité de vie agréable dans un climat plus chaud. Pour cela, il est nécessaire de prévoir et de protéger suffisamment d'espaces ouverts avec des aires de verdure et des places ombragées, tout en garantissant l'apport et la circulation de l'air frais des zones rurales périphériques.

La densification vers l'intérieur est une mesure essentielle du développement urbain pour lutter contre le mitage du territoire. Le sol est une ressource rare qui doit être mieux utilisée, et la zone urbaine, par essence limitée, doit intégrer un plus grand nombre de personnes et d'activités. Il est important de chercher à concilier cet objectif avec celui visant à atténuer l'effet d'îlot de chaleur. Pour ce faire, il est nécessaire d'intégrer les objectifs de l'adaptation aux changements climatiques dans la stratégie de développement de l'urbanisation à l'intérieur du tissu bâti. Les nombreux exemples de bonnes pratiques analysés dans ce rapport montrent que c'est possible. Ils ont servi à constituer une vaste palette de principes de planification, de principes d'urbanisme et de mesures qui révèlent comment réduire l'effet d'îlot de chaleur.

Les mesures préconisées dans ce rapport peuvent contribuer à rendre la chaleur en ville plus supportable pour la population. Mais elles ne peuvent pas empêcher la hausse des températures estivales due au changement climatique. Le principal moyen de lutte ici est la réduction des gaz à effet de serre, car il s'attaque à la cause du problème. Des mesures d'adaptation ne sont possibles et abordables que si nous parvenons à limiter le changement climatique. En 2017, la Suisse a adhéré à l'accord de Paris sur le climat. D'ici 2030, elle réduira ses émissions de gaz à effet de serre de 50 %, dont 30 % en Suisse. D'autres réductions devront suivre pour que nos villes et nos agglomérations puissent rester des lieux où il fait bon vivre ou séjourner. Mettons-nous au travail !

1 Sur ce rapport

« Quand la ville surchauffe » contient des informations et des recommandations destinées à toutes celles et tous ceux qui, dans les administrations des cantons, des agglomérations, des villes et des communes, s'occupent de développement urbain, ainsi qu'aux aménagistes et aux personnes qui s'intéressent activement à l'adaptation aux changements climatiques.

Ce rapport donne une vue d'ensemble sur la problématique croissante de la chaleur dans les villes et les communes en Suisse (chap. 2). Il met l'accent sur l'étude de bases, d'approches stratégiques et de mesures appropriées permettant aux communes de faire face à l'augmentation des fortes chaleurs et de réduire leur impact négatif. Pour ce faire, les auteurs ont analysé les résultats de communes et de cantons suisses et l'état actuel de leur planification. Ils ont en outre examiné en détail un certain nombre de villes, principalement européennes, qui ont déjà pris des mesures correspondantes (chap. 3). Les chapitres 5 à 9 offrent une synthèse des évaluations, qui vont des bases climatiques aux stratégies, principes de planification et mesures concrètes, à leur ancrage et application, tout en présentant des recommandations.

En fonction de vos intérêts et de votre orientation professionnelle, vous pouvez vous lancer dans n'importe quel chapitre. Si vous cherchez des approches fondamentales de régulation de la chaleur, vous en trouverez trois au chapitre 4 pour commencer :

- un graphique structuré de manière systématique avec des outils d'aide à la décision pour les villes et les communes,
- un moyen d'intégrer les mesures dans des projets de planification concrets,
- une approche utilisant des facteurs de succès éprouvés.

Chacune de ces approches se réfère aux chapitres 5 à 9 et comprend des renvois aux passages correspondants du rapport. Ces outils permettent d'appliquer directement les bases, stratégies, mesures et aspects de la mise en œuvre et de les replacer dans leur contexte.

Le chapitre 5, « Bases et mesures climatiques », montre les possibilités d'estimer la concentration de chaleur bio-

climatique actuelle et future en zone urbaine, depuis les bases de données urbanistiques et climatiques jusqu'aux méthodes de mesure et de modélisation.

Le chapitre 6, « Approches stratégiques pour réduire la concentration de chaleur », présente les planifications stratégiques permettant aux villes et aux communes de se préparer à l'augmentation des fortes chaleurs. Il décrit des attitudes et des pratiques en fonction de la taille et de la situation du lieu ou des ressources disponibles au sein de l'administration.

Le chapitre 7 formule ensuite des « Principes de planification et d'urbanisme » au sens d'approches générales.

Le chapitre 8, « Mesures », décrit des procédés efficaces d'adaptation à la chaleur de manière systématique et les accompagne d'exemples de bonnes pratiques. Il porte principalement sur des mesures locales concrètes et des mesures processuelles. Il met en évidence les synergies potentielles comme des leviers d'activation efficaces et aborde la question des défis et des conflits d'objectifs. Par ailleurs, il propose une évaluation des mesures à l'aune de paramètres de planification.

Le chapitre 9, « Ancrage, mise en œuvre et controlling », résume les possibilités concrètes d'inscrire efficacement les stratégies et les mesures dans l'action spécifique aux zones urbaines, de les mettre en œuvre et de les contrôler périodiquement.

Le rapport associe explicitement, au-delà de l'aménagement du territoire, des villes et des espaces ouverts, toutes les instances de planification œuvrant au développement territorial, telles que le bâtiment et le génie civil, l'évacuation des eaux urbaines, l'infrastructure ou les affaires sociales. Mais il s'adresse également aux décideurs politiques et financiers de même qu'aux acteurs privés.

L'annexe propose du matériel supplémentaire. En raison de la structuration du rapport, les notes de bas de page ne suivent pas d'ordre chronologique dans le texte courant. L'annexe peut être consultée sur Internet à l'adresse www.bafu.admin.ch/uw-1812-f.

2 Contexte

La progression du changement climatique entraîne une augmentation des fortes chaleurs dans les villes et les agglomérations – s’agissant du réchauffement global, la Suisse se situe au-dessus de la moyenne. Si le bien-être est fortement compromis les jours de canicule, les nuits tropicales recèlent aussi des risques pour la santé. Il est avéré que la mortalité était accrue pendant les mois d’été caniculaires de 2003 et de 2015. Dans sa stratégie d’« adaptation aux changements climatiques en Suisse », le Conseil fédéral définit l’accentuation des fortes chaleurs dans les villes et les agglomérations comme l’un des principaux défis transversaux en lien avec l’adaptation aux changements climatiques.

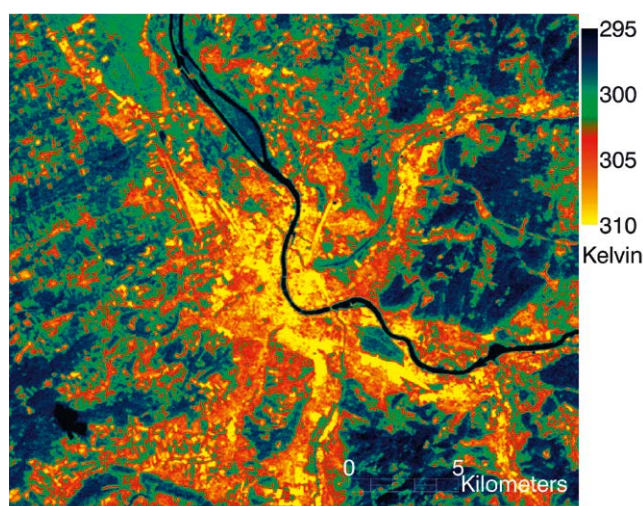
2.1 L’effet d’îlot de chaleur

Dans les villes et les agglomérations, la concentration de chaleur est particulièrement importante^{A2.4}. L’absorption du rayonnement solaire incident par les nombreux espaces imperméabilisés, les espaces verts insuffisants, la circulation de l’air réduite en raison de la densité du milieu bâti ou de la mauvaise orientation des bâtiments de même que le dégagement de chaleur de l’industrie et de la circulation routière contribuent à l’effet d’îlot de chaleur, qui accentue le réchauffement en journée et réduit considérablement le rafraîchissement nocturne (Fig. 1). L’effet est le plus marqué quelques heures après le coucher du soleil et s’atténue peu à peu au cours de la nuit.

Sous nos latitudes, les nuits tropicales avec des températures minimales de plus de 20 °C sont considérées comme particulièrement pénibles. Mais la chaleur peut aussi entraîner une sollicitation accrue du système cardiovasculaire pendant la journée^{A2.9}. Les personnes âgées et les enfants en bas âge en particulier sont fortement touchés par l’impact sur la santé d’un épisode caniculaire avec des températures supérieures à 30 °C pendant plusieurs jours. Des analyses scientifiques prouvent la corrélation entre les températures diurnes et nocturnes élevées et la mortalité^{A2.10}. Les mesures visant à éviter ou à atténuer les îlots de chaleur sont qualifiées ci-après de régulation thermique.

Figure 1

Forme de l’effet d’îlot de chaleur: thermographie infrarouge de Bâle, prise le 12.8.2000 à 11h07^{A2.3}



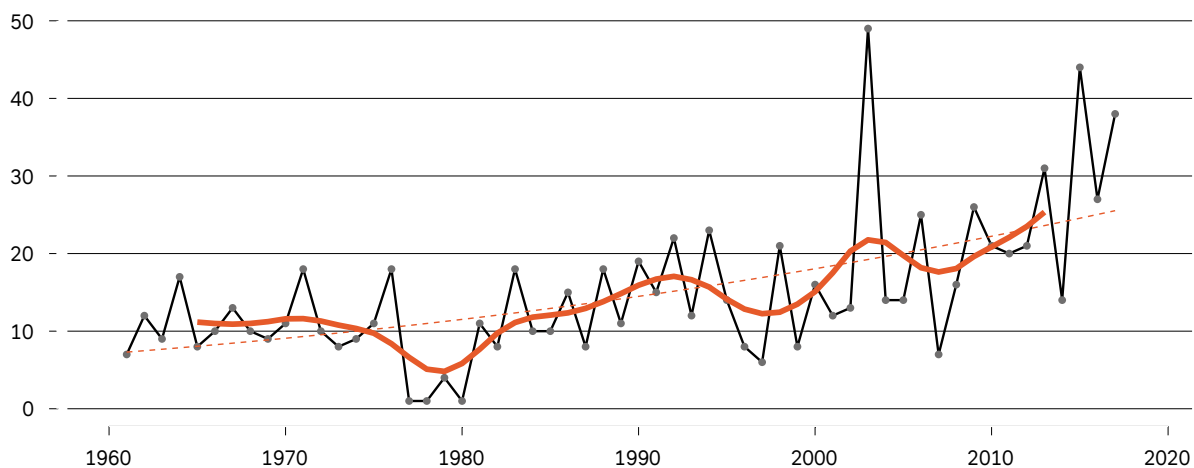
2.2 L’évolution du climat dans les villes et les communes suisses

L’Europe centrale, et donc la Suisse, compte parmi les régions dans le monde où le nombre de jours tropicaux a le plus augmenté ces dernières décennies (Fig. 2)^{A2.45}. En 2015 en Suisse, près de 6,9 millions de personnes, soit 82,5 % de la population, vivaient dans des espaces à caractère urbain. Le nombre de gens concernés est donc considérable. L’été 2003, qualifié d’été du siècle avec 25 à 50 jours tropicaux sur le Plateau et 60 environ au Tessin, a conduit à une mortalité supplémentaire de 975 personnes (70 000 en Europe). L’été caniculaire de 2015, le deuxième été le plus chaud de Suisse en 154 ans de mesures, a causé 800 décès supplémentaires^{A2.8}.

La progression du changement climatique entraînera une accentuation des fortes chaleurs en Suisse. Les modélisations de MétéoSuisse montrent que les vagues de chaleur qui surviennent aujourd’hui à peu près tous les dix ans pourront se produire chaque année dès le milieu du siècle (Fig. 3).

Figure 2

Nombre de jours tropicaux (température $\geq 30^{\circ}\text{C}$) à Sion

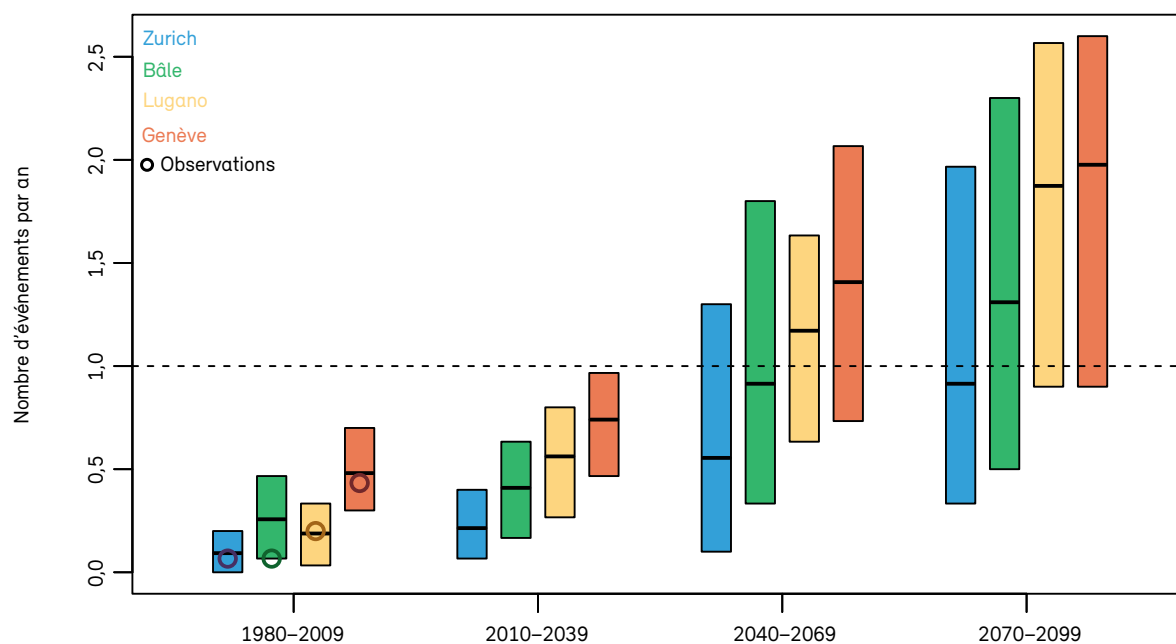


Source : MétéoSuisse

Figure 3

Nombre annuel de vagues de chaleur d'au moins sept jours consécutifs

Les barres caractérisent la portée des 14 simulations, la ligne noire horizontale la valeur moyenne.



Source : MétéoSuisse

2.3 Que fait la Confédération ?

La Confédération assume une tâche de coordination dans l'adaptation aux changements climatiques. Dans le premier volet de sa stratégie d'« adaptation aux changements climatiques en Suisse »^{A2.1} (2012), le Conseil fédéral a défini les objectifs, les défis et les champs d'action. L'accentuation des fortes chaleurs dans les villes et les agglomérations y est décrite comme l'un des principaux défis transversaux liés aux changements climatiques. Le second volet est un plan d'action pour la période 2014-2019, qui compte 63 mesures. Certaines d'entre elles ont pour objectif de contribuer à faire face aux fortes chaleurs dans les villes et les agglomérations.

Pour favoriser la mise en œuvre de la stratégie aux niveaux local, régional et cantonal, l'OFEV a lancé le programme pilote « Adaptation aux changements climatiques »^{A2.2}. Entre 2014 et 2017, il a soutenu 31 projets pilotes dans cinq clusters thématiques. Les projets du cluster « Développement urbain adapté aux changements climatiques » étaient les suivants :

- ACCLIMATASION – un développement urbain adapté aux changements climatiques^{A2.30}
- Urban Green & Climate Bern – arbres, villes et changements climatiques^{A4.1}
- Effet des canicules sur la mortalité et mesures d'adaptation possibles^{A2.10}

Les enseignements de ces projets sont intégrés au présent rapport.

3 Gestion de la chaleur – exemples à suivre

Les travaux sur les stratégies et les mesures d'adaptation visant à réguler la chaleur ont débuté il y a longtemps dans de nombreuses communes. Les approches sont aussi diverses que l'état de planification et de mise en œuvre. Il y a des exemples prometteurs en Suisse. Dans de nombreuses villes à l'étranger, des stratégies exemplaires sont déjà en phase de concrétisation. Les différentes approches ont été recensées pour le présent rapport, et leurs enseignements évalués.

3.1 Planifications en Suisse

La responsabilité de la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques incombe aux cantons ou aux communes. Le sujet est traité par conséquent de manière individuelle et fédéraliste. Des exemples de bonnes pratiques dans la gestion de la chaleur et les planifications correspondantes sont présentés ci-après, sans prétention toutefois à l'exhaustivité :

En 1998 déjà, le **canton de Bâle-Ville** a procédé, avec l'Université de Bâle, à une analyse climatique de la région bâloise (KABA)^{A2.20} dans le but de présenter des recommandations de planification sur la circulation de l'air et la réduction de la concentration de chaleur en fonction de la surface. La KABA doit être actualisée, étendue et différenciée pour servir de base à un plan directeur sur le climat urbain et intégrer le plan de maintien de la qualité de l'air. Ce plan directeur participe d'un développement durable qui, dans le canton de Bâle-Ville, fait l'objet d'une approche intégrative et transversale au sens d'un développement urbain cohérent. Les résultats climatiques sont pris en compte dans l'adaptation du plan directeur cantonal 2018/2019 et des directives correspondantes examinées dans la loi sur les constructions et l'aménagement du territoire afin d'améliorer l'ancrage et le caractère contraignant. Des rapports sur les conséquences climatiques, en 2011 et 2017^{A2.21}, ont permis à l'administration cantonale d'informer sur l'état de la mise en œuvre.

Le développement territorial d'Erlenmatt est l'un des nombreux exemples à suivre^{A2.22} (Fig. 4). Ici, les conditions climatiques locales ont pu être intégrées aux mises au concours architecturales. La circulation de l'air est ainsi garantie et une possible chaleur excessive évitée. Un fonds alimenté par le produit de la taxe sur la plus-value^{A2.23}, dont le produit est affecté aux espaces verts publics, se révèle également être un instrument efficace qui crée des synergies.

En 2010, l'analyse climatique de la **ville de Zurich** (KLAZ)^{A2.23} a examiné, de manière sommaire, la distribution des températures, les couloirs aériens, la pollution de l'air et des orientations territoriales définies. Elle a permis de formuler par la suite une recommandation sur la construction respectueuse du climat urbain. Il n'a pas encore été possible d'en déduire des mesures concrètes. Les questions relatives au climat urbain ont été prises en compte dans la stratégie de développement territorial, la révision du règlement sur les constructions et l'aménagement ainsi que le projet de plan directeur régional. Pour ce dernier, certaines mesures destinées à protéger

Figure 4

L'analyse climatique de la région de Bâle (KABA) a déjà permis d'intégrer des aspects climatiques locaux dans le développement territorial durable d'Erlenmatt par le biais d'une mise au concours architecturale



le climat n'ont pas été approuvées par le gouvernement cantonal ou la décision a été annulée (à l'instar de la création des *pocket parks*, de petites surfaces urbaines aménagées en espaces verts)^{A2.32}.

Pour l'instant, il manque encore des prescriptions, des valeurs de référence ou des critères de décision concrets pour préciser et mettre en œuvre la KLAZ. En 2012, un postulat parlementaire a demandé l'élaboration d'un masterplan sur le climat urbain, développé jusqu'en 2018 sur la base de l'analyse climatique du canton de Zurich.

En 2018, le **canton de Zurich** a publié l'analyse climatique la plus détaillée jusqu'ici à l'échelle nationale^{A2.27} pour l'ensemble du canton (Fig. 5). Les résultats, modélisés avec une résolution de 25 mètres, révèlent les situations climatiques locales à problème dans les zones bâties et identifient d'importants espaces de régulation thermique, zones de génération d'air frais et couloirs de ventilation. Des indications territoriales concrètes pour la planification sont déduites de l'analyse des situations climatiques locales. Les cartes sont à la disposition des villes et des communes du canton pour la planification et du public pour information.

La ville de **Sion** est plus touchée que la moyenne par l'impact négatif du changement climatique en raison de sa situation dans la vallée du Rhône et du degré d'imperméabilisation élevé de l'espace urbain. Elle a fait face à l'effet d'îlot de chaleur, à la sécheresse et au risque d'inondation dans le cadre du projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30}. L'objectif « du vert et du bleu, plutôt que du gris » a été abordé dans une approche pragmatique et axée sur la mise en œuvre sur des terrains publics comme privés. Le projet visait à la fois à revaloriser les constructions et à sensibiliser les décideurs, les aménagistes et la population. Le rapport final, qui contient des évaluations et des recommandations à l'intention des communes, donne des renseignements sur les résultats et les prochaines étapes. Des projets d'adaptation des bases légales et des directives ont été présentés.

En 2015, le **canton de Genève** a élaboré une stratégie climatique solide et globale avec le « plan climat cantonal »^{A2.24}. Ce premier volet contient six axes stratégiques – trois d'entre eux concernent l'adaptation aux change-

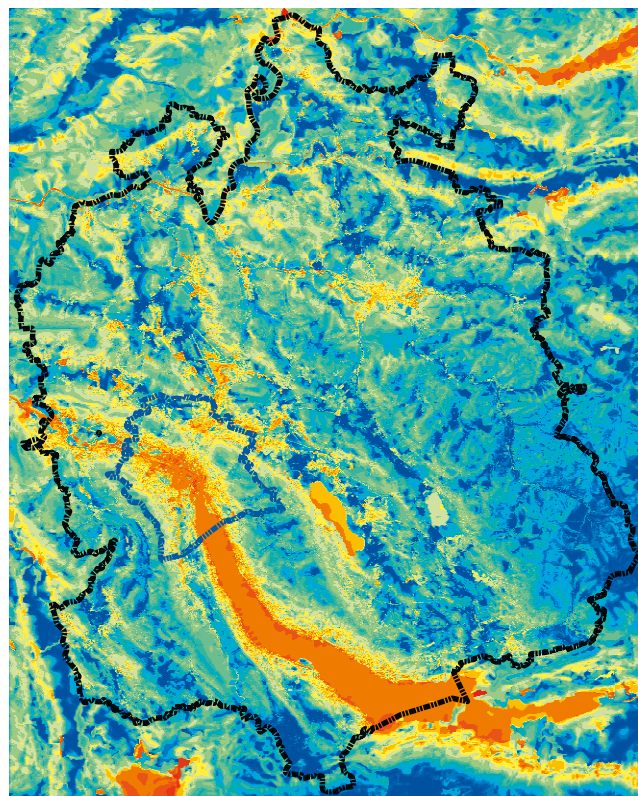
ments climatiques au niveau du développement territorial, la protection de la population, et enfin la biodiversité, l'agriculture et les forêts. La stratégie est fondée sur une analyse détaillée des risques et des opportunités liés au changement climatique jusqu'en 2060.

La deuxième partie, intitulée « Plan de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation aux changements climatiques 2018-2022 », a été adoptée par le Conseil d'État genevois en décembre 2017. Ce plan contient quinze mesures de réduction des gaz à effet de

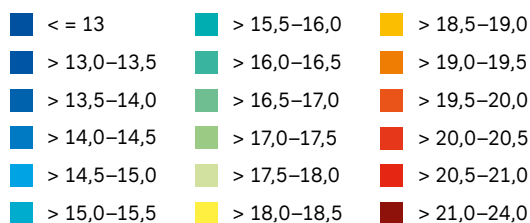
Figure 5

Température de l'air pendant une nuit d'été à vent faible (à 2 m du sol). Canton de Zurich

modélisation avec FITNAH – carte de base de l'analyse climatique.



Température de l'air [°C]



serre et dix mesures d'adaptation aux changements climatiques. L'une de ces dix mesures concerne la prévention et la lutte contre les îlots de chaleur en milieu urbain. Le canton va collaborer avec les communes genevoises afin que celles-ci intègrent les enjeux climatiques dans le cadre de l'élaboration de leurs plans directeurs communaux.

Le **canton de Soleure** dispose depuis 2001 d'une analyse climatique simple et d'une carte indicative de planification^{A2.25}, élaborées avec l'Université de Bâle. L'analyse porte sur la qualité et la circulation de l'air – les îlots de chaleur n'étaient pas encore une priorité au moment de l'élaboration. Elle sert de base pour les études d'impact sur l'environnement et les plans d'affectation, la modélisation des cartes d'émissions et de la propagation des odeurs ainsi que la sensibilisation à l'aménagement du territoire. Elle a été remise aux communes, aux bureaux d'études et aux associations. N'étant pas ancrée dans la loi, elle n'a toutefois aucun effet juridique contraignant.

En 2016, le canton de Soleure a présenté sa stratégie pour faire face aux changements climatiques. Le plan d'action correspondant comprend des mesures d'adaptation formulées de manière générale, notamment sur la concentration de chaleur dans les villes et les communes : identifier et mettre en œuvre des mesures pour un développement des villes et des agglomérations qui soit adapté aux changements climatiques et sensibiliser aussi bien les aménagistes que l'administration. Une campagne sur les histoires climatiques^{A2.26} s'adresse de manière créative à tous les acteurs.

3.2 Villes exemplaires à l'étranger

De nombreuses villes étrangères ont initié des stratégies et des projets concrets pour faire face à l'accentuation des fortes chaleurs. L'examen de ces villes aux bonnes pratiques a servi à trouver des stratégies, des mesures et des projets exemplaires, des méthodes ou des processus établis. Le choix tient compte du fait que ces villes présentent aujourd'hui ou à l'avenir des conditions climatiques comparables à la Suisse et que des enseignements utiles et transposables peuvent en être tirés. Les villes

choisies et leurs priorités figurent dans le tableau 1 : voir page suivante.

Les villes de Karlsruhe, Vienne et Berlin sont représentatives de tous les exemples de bonnes pratiques avec une stratégie d'adaptation territoriale étendue. L'approche choisie, en particulier l'action systématique et l'imbrication des étapes de travail, peut aussi s'appliquer à des villes et à des communes de plus petite taille.

Karlsruhe et son plan

En 2011 déjà, l'association Nachbarschaftsverband Karlsruhe a établi, dans la chaleur du fossé rhénan, une analyse climatique avec une carte des fonctions climatiques sur son rayon d'action. En parallèle, la ville de Karlsruhe a élaboré un plan de développement urbain intégré 2020 et une stratégie d'adaptation qui ont érigé les questions climatiques urbaines en principes. Sur cette base, une équipe composée d'urbanistes et de climatologues a rédigé, de 2012 à 2015, un plan-cadre urbanistique pour l'adaptation aux changements climatiques^{A3.19} (Fig. 6), soutenu par le programme d'encouragement KLIMOPASS^{A3.20} du land du Bade-Wurtemberg dédié au changement climatique et à une adaptation exemplaire.

Ce plan-cadre a pour particularité d'aborder la thématique de la chaleur à petite échelle. La problématique, la stratégie et les mesures ont une importance locale spécifique et comprennent des propositions de solutions correspondantes. En même temps, le plan de régulation thermique est ancré de manière systématique dans la structure des espaces construits et ouverts de la ville. Une analyse de la vulnérabilité en haute résolution a permis d'appliquer un catalogue de mesures à des types de structures urbaines exposées. En plus des niveaux « structure urbaine » et « fonctions climatiques », un « système de régulation thermique » pourvoit à la mise à disposition d'espaces de délassement accessibles.

Le processus participatif entre les différents offices a conduit à une forte acceptation au sein de l'administration et du monde politique. Le conseil municipal a adopté le plan-cadre en 2015 comme « base de planification informelle ». S'il n'a pas directement force obligatoire, le plan doit être pris en compte dans toutes les planifications.

Tableau 1

Villes exemplaires et raisons pour lesquelles elles figurent dans ce rapport

Berlin	Systématique constante, indications de planification locales, mise à disposition des informations
Bordeaux	Gestion d'éléments d'eau rafraîchissants librement accessibles dans un espace public très minéral
Ettlingen	Analyse climatique approfondie dans une petite ville, prise en compte des analyses d'impact pour les mesures
Fribourg-en-Brisgau	Défi des fortes chaleurs urbaines : initier un développement d'avenir grâce à une stratégie d'adaptation climatique
Graz	Pionnier en Autriche pour un travail exemplaire sur les bases et la stratégie
Hambourg	Stratégie résolue en faveur des toitures végétalisées, synergies pour couvrir l'autoroute A7
Heidelberg	Bases climatiques, mesures, modélisations d'impact étendues
Hilden	Accompagner les décisions de planification d'une analyse climatique, montrer les synergies pour utiliser les énergies régénératives
Karlsruhe	Systématique constante, indications de planification locales, espaces verts publics dans le respect du climat, synergies pour l'eau (de surface)
Cologne	Climat et planification : prise en compte des tendances découlant du changement climatique
Copenhague (en part. Østerbro)	Aménagement urbain sensible à l'eau, gestion des espaces publics et de l'environnement résidentiel dans le respect du climat
Lyon (agglomération et ville)	Bases et stratégie climatiques, transformation des routes, places et espaces verts dans le respect du climat et combinés à une gestion de l'eau
Mannheim	Gestion des programmes d'encouragement, en particulier les toitures et façades végétalisées
Marseille	Système d'ombrage technique comme solution surprenante pour un lieu d'importance historique
Montréal (agglomération)	Analyse du climat et de la vulnérabilité, plan d'adaptation aux changements climatiques, « Plan d'action canopée »
Rome	Réalisation d'une analyse de la vulnérabilité avec de simples données de base
Sarrebruck/Sarre	Synergies : planification des espaces verts dans le respect du climat en combinaison avec la planification de la protection de l'air
Singen	Analyse climatique basée sur des modélisations : base d'un développement vers l'intérieur/d'une densification ultérieure compatible avec le climat urbain
Vienne	Approche intégrée du plan stratégique sur les îlots de chaleur, modèle pour les façades végétalisées et la mise à disposition d'eau potable

Vienne dans la phase de mise en œuvre

Avec son plan stratégique « Urban Heat Islands »^{A3.46}, Vienne n'a pas établi de nouvelle carte dans un premier temps, mais a recouru à des programmes existants par le biais de mesures stratégiques et élaboré un vaste catalogue de mesures concrètes pour la planification et la conception de projets. S'agissant de la mise en œuvre, la stratégie va beaucoup plus loin que Karlsruhe et aborde concrètement les différentes possibilités au niveau des champs d'action (sensibilisation, masterplan, plan d'occupation des sols et planification de la construction, bâtiment). Elle a été développée « par le bas » par une

petite équipe sans mandat direct en un temps relativement court, grâce à un engagement personnel. Il a été possible d'associer efficacement toutes les parties prenantes. Au regard des échos favorables, d'autres étapes sont prévues, notamment l'élaboration d'un plan-cadre.

Optimisation sur mesure à Berlin en fonction du contexte

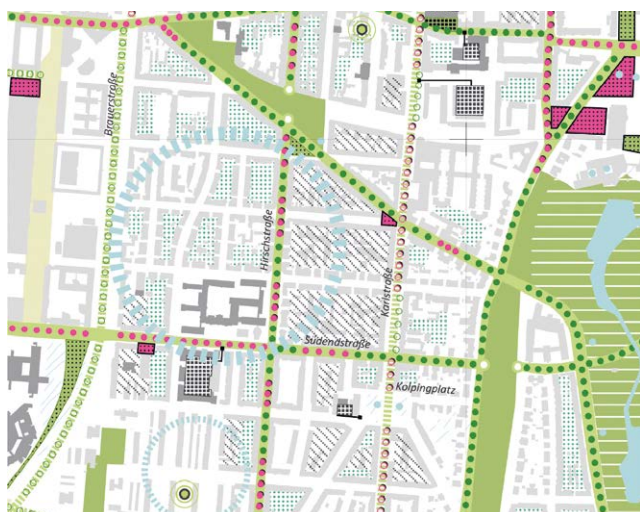
À Berlin, plusieurs niveaux de planification s'imbriquent de façon systématique : un modèle climatique avec une carte indicative de planification, un plan d'adaptation aux conséquences du changement climatique avec des

champs d'action globaux ainsi qu'un plan de développement urbain (StEP Klima KONKRET)^{A3.1}. Ce dernier comprend un catalogue de mesures avec une multitude de possibilités d'aménagement. De plus, des plans d'adaptation climatique sont appliqués de manière exemplaire pour les types de structure urbaine récurrents, déclinés en variantes selon le contexte local (Fig. 7).

Figure 6

Système de régulation thermique dans le plan-cadre de Karlsruhe

Un système de chemins et d'endroits ombragés mène les habitants des zones très exposées à des espaces de délassement bioclimatiques.



Synthèse des facteurs de succès

Les approches et les expériences analysées pour les communes et les cantons suisses de même que dans les exemples de bonnes pratiques à l'étranger reflètent souvent des aspects exemplaires qui ont mené au succès des différents projets. Elles forment la base de la synthèse des facteurs de succès (section 4.3).

Figure 7

Optimisation climatique contextuelle et densification ultérieure à la périphérie des immeubles, StEP Klima KONKRET Berlin



4 Par où commencer ? Trois points de départ sur la marche à suivre

L'accès à l'adaptation aux changements climatiques est jugé difficile par de nombreux cantons, villes et communes. Cela tient à la fois à un manque de ressources, à une attribution floue des rôles (prise de décisions) et des responsabilités et à des incertitudes quant à la marche à suivre. Comme il n'existe pour l'heure aucun mandat légal ou programme d'encouragement servant de ligne directrice, chaque ville doit chercher sa propre voie. Vous découvrirez ci-après comment les administrations peuvent aborder le thème de l'adaptation aux changements climatiques de manière systématique ou pragmatique, comment les aménagistes peuvent intégrer les exigences de la régulation thermique dans leurs projets et comment les facteurs de succès peuvent devenir les déclencheurs d'une action efficace d'adaptation aux changements climatiques.

4.1 Par où une ville ou une commune peut-elle commencer ?

Un diagramme en guise d'introduction

Le présent rapport a une structure modulaire. Le diagramme de la figure 8 montre les modules «Bases et mesures climatiques», «Approches stratégiques pour réduire la concentration de chaleur», «Principes de planification et d'urbanisme» et «Mesures» dans la fenêtre inférieure. Ces modules peuvent avoir des formes diverses en fonction de l'approche choisie et des ressources disponibles. «Ancrage», «Mise en œuvre» et «Controlling» servent de lien sous ces modules.

Aides à la décision

Une ville ou une commune peut se demander à juste titre, au regard des exigences liées à cette structure, si elle peut y faire face avec ses ressources, si toutes ces dispositions sont nécessaires dans son cas et par où il serait opportun de commencer. Même s'il n'y a pas de recette miracle, des aides à la décision sont proposées ci-après pour assurer un démarrage adéquat. Elles sont

représentées dans la partie supérieure du diagramme de la figure 8.

Les cantons, villes et communes trouveront d'autres conseils sur la marche à suivre dans les outils de la Confédération «Adaptation aux changements climatiques – Stratégie du Conseil fédéral: enjeux pour les cantons»^{A2.2} et «Changement climatique et développement territorial»^{A2.5}.

Une analyse est-elle nécessaire ?

Les bases climatiques et les mesures d'autres villes et communes ne peuvent pas être transposées telles quelles à une situation particulière. La réalisation d'une analyse climatique par une autorité supérieure est un moyen efficace pour préparer des bases communales spécifiques. Les cantons ont ici un rôle important à jouer. Si les ressources le permettent, l'analyse est recommandée (chap. 5). Clarifiez par un état des lieux s'il est nécessaire de procéder à une analyse climatique complète intégrant au moins les paramètres du climat régional, de la taille et des environs de la commune. En fonction des ressources et du site, définissez alors la profondeur de l'analyse.

Une stratégie est-elle nécessaire ...

Une stratégie d'adaptation aux changements climatiques est utile, mais elle n'est pas impérative. Clarifiez la disposition et l'engagement du monde politique et de l'administration pour une démarche stratégique. Si l'envie est là, assurez-vous qu'il y ait suffisamment de ressources: elles ont une influence sur la nature de la stratégie (chap. 6). En l'absence de volonté ou de ressources suffisantes, appliquez les principes de planification pertinents (chap. 7) dans un premier temps à titre de position stratégique.

... ou faut-il directement prendre des mesures ?

Prendre directement des mesures est une méthode qui fonctionne, car leurs effets sont aussitôt tangibles. Vérifiez si des activités sont prévues auxquelles vous pourriez vous associer. Existe-t-il des domaines où la nécessité

d'agir en matière de chaleur est particulièrement importante ? Des acteurs désireux d'aborder cette thématique se sont-ils déjà manifestés ? Ce sont de bons points de départ qui produisent des effets rapides et ciblés.

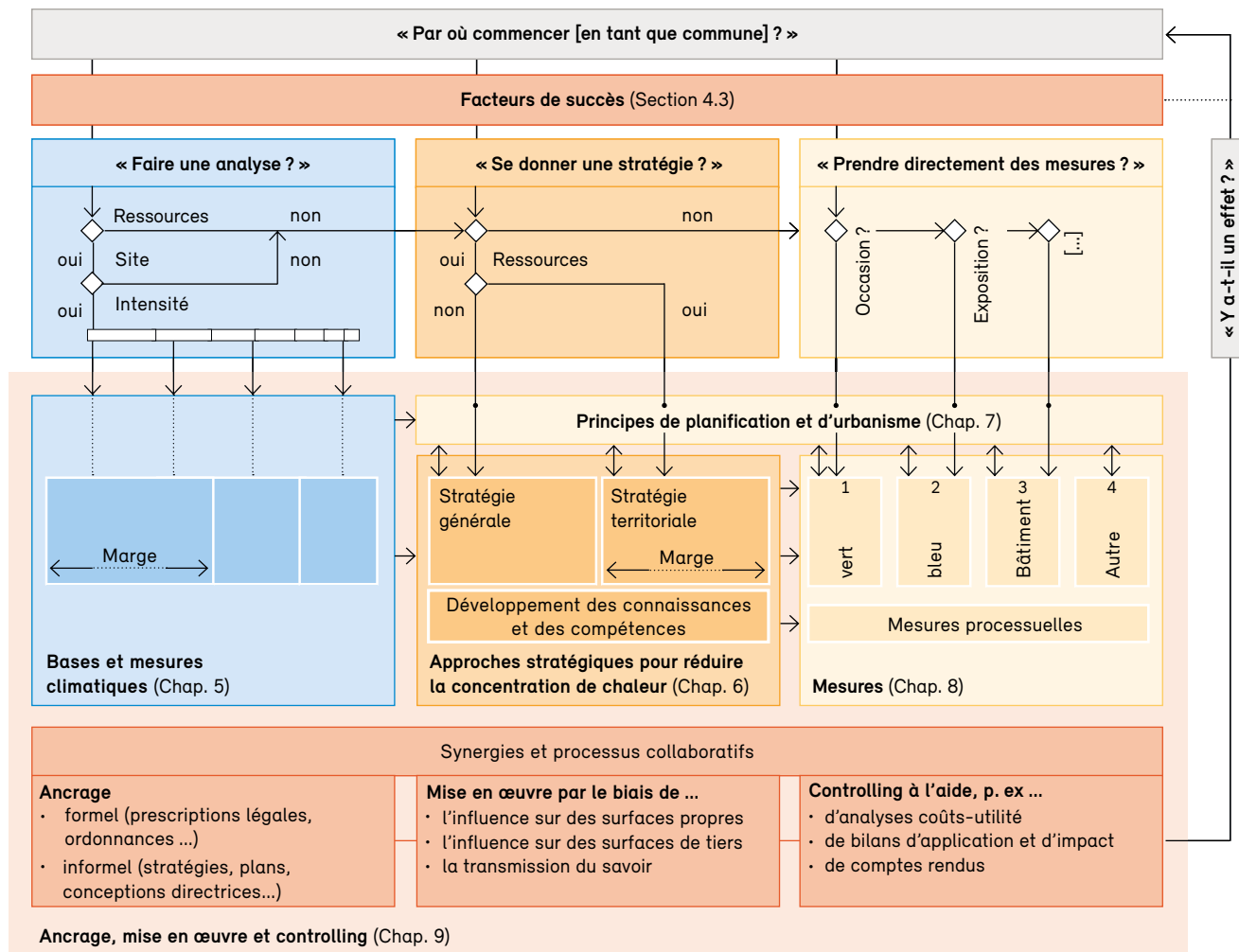
L'essentiel : se lancer !

Vous pouvez démarrer n'importe où et n'importe quand. Vous ne pouvez commettre aucune erreur si vous tenez compte des facteurs de succès (section 4.3) et des principes de planification (chap. 7). L'objectif premier est de mettre en œuvre des mesures de régulation thermique. Pour déterminer quelle mesure est la bonne et dans quel cadre, une stratégie propre à la zone concernée est précieuse, même si elle n'est pas impérativement nécessaire.

Une analyse, dont l'ampleur et la profondeur peuvent fortement varier, est utile pour développer une stratégie efficace. Une chose est sûre : une systématique composée d'une analyse appropriée, d'une stratégie spécifique et de mesures individuelles, précisément adaptée au site en question, constitue un déroulement idéal pour lequel il existe des étapes préalables ou des alternatives. Ce qui compte, c'est de s'attaquer au problème et de se mettre au travail.

Figure 8

Les modules du rapport et les schémas décisionnels possibles en un diagramme



4.2 Comment intégrer la régulation thermique dans un projet de planification concret ?

Ci-après, vous trouverez des indications sur la façon de tenir compte, en votre qualité d'aménagiste ou de planificateur – que ce soit dans l'administration publique ou comme mandataire –, de la régulation thermique dans des projets à différents stades de planification ou d'amener une plus-value par des synergies :

Intégrer un développement urbain adapté à la chaleur dans les instruments formels de l'aménagement du territoire

Des spécialistes suggèrent de rendre la régulation thermique davantage contraignante par un ancrage juridique. En raison de la grande autonomie des cantons et de leurs communes en matière d'aménagement du territoire, il est néanmoins difficile de formuler des recommandations générales – une protection des arbres sur l'ensemble du territoire communal en vertu du droit cantonal supérieur n'est par exemple pas possible dans toutes les communes. Les «Principes de planification et d'urbanisme» (chap. 7) précisent les grands axes thématiques pour un ancrage au niveau supérieur. Les mesures (chap. 8) peuvent être inscrites à l'échelon adéquat dans les plans directeurs ou les plans d'affectation communaux (Fig. 9). Influez, en votre qualité d'administration ou d'association professionnelle, sur les dispositions légales ou ordonnances supérieures et mettez en avant la thématique de la chaleur dans les révisions des plans directeurs et des plans d'affectation. Entrez en contact avec des spécialistes d'autres villes et communes pour bénéficier de leurs expériences (chap. 9).

Intégrer les requêtes dans les stratégies urbanistiques et les concepts spécialisés

La discussion stratégique pluridisciplinaire sur la régulation thermique est importante pour sensibiliser les différentes disciplines de la planification et les instances politiques (chap. 6). Les «Principes de planification et d'urbanisme» (chap. 7) vous aident dans la discussion et permettent de prendre ces requêtes en compte dans la pesée des intérêts. Intégrez le thème transversal de la régulation thermique dans les concepts spécialisés et hiérarchisez les mesures de mise en œuvre en fonction de leur plus-value. Essayez d'obtenir de l'exécutif une défini-

Figure 9

Nachtigallenwäldli à Bâle : les coûts de la transformation et de la démolition du parking ont été couverts par le fonds alimenté par le produit de la taxe sur la plus-value^{A2.23}



tion des plans et des stratégies qui soit au moins contraignante pour les autorités afin de renforcer le caractère obligatoire (chap. 9).

Intégrer le thème de la chaleur dans les procédures qualitatives ou les développements de projets

Vous pouvez sensibiliser les parties prenantes par le biais de processus coopératifs ou participatifs et en faire des acteurs. Comme les prescriptions et les bases légales supérieures diffèrent d'une commune à l'autre, il n'est guère possible de formuler des éléments de texte généraux pour les procédures qualitatives sous forme de profils d'exigences. Développez des exigences visant à éviter les îlots de chaleur en les adaptant au lieu et aux bases pertinentes. Selon le niveau de planification où vous travaillez, les principes de planification, les principes d'urbanisme ou les mesures locales (chap. 7 et 8) vous serviront d'aide. Faites appel à des spécialistes pour formuler les programmes de concours et siéger dans les jurys et veillez à ce que les compétences en matière de régulation thermique soient représentées dans les équipes de planification. Il est recommandé d'inscrire le thème dans les critères exigés et de réclamer dans les projets une déclaration concrète et pertinente pour l'évaluation. Les aspects relatifs à la réduction de la chaleur se perdent souvent dans la phase subséquente de remaniement des projets – améliorez le caractère contraignant dans l'optique d'une mise en œuvre axée sur les effets (chap. 9).

Conception de projets de construction concrets et influence sur leurs qualités de la part des pouvoirs publics

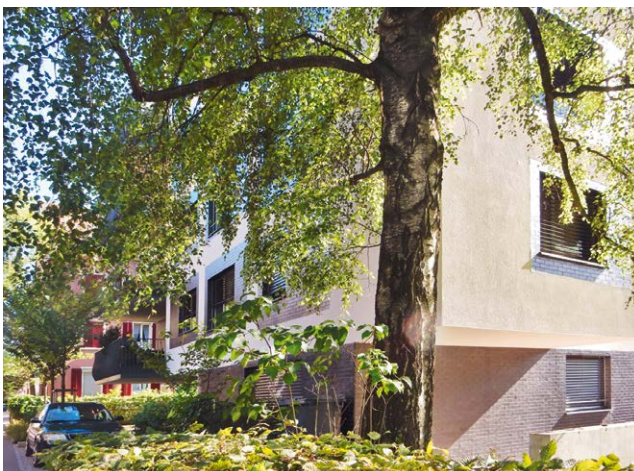
Privilégiez les aménagements extérieurs avec une faible imperméabilisation et beaucoup de verdure, d'ombrage et d'eau. Ces éléments agissent contre la chaleur. Les projets du secteur public doivent servir de modèles. Les principes de planification et les mesures locales (chap. 7 et 8) font office de guide à l'intention des autorités, des propriétaires fonciers et des aménagistes.

Les instruments informels simplifient le rôle consultatif de l'administration et servent d'incitation aux promoteurs. Informez-vous à ce sujet auprès d'autres villes et communes – il existe déjà de nombreuses bases, à l'instar de fiches d'information sur les toitures et les façades végétalisées ou de documents sur le conseil dans l'environnement résidentiel et professionnel (Fig. 10). Exploitez vos marges de manœuvre ! (cf. chap. 9 et annexe A4)

Figure 10

La ville de Zurich influe, par le biais d'une offre de conseil, sur la qualité des espaces extérieurs privés^{A4.90}

Espaces ouverts dans l'environnement résidentiel et professionnel – une offre de conseil du Service des espaces verts de la ville de Zurich.



4.3 Facteurs de succès

Un examen des approches et de l'orientation des stratégies et projets remarquables dans les villes sous revue en Suisse et à l'étranger révèle des facteurs de succès récurrents. Utilisez-les et intégrez-les de manière ciblée pour vos projets. Les huit facteurs les plus prometteurs sont exposés et explicités ci-après par des exemples :

1 – Développer le savoir et les compétences

Le développement du savoir et des compétences en matière de chaleur en milieu urbain est la première étape d'une approche réussie. Cela concerne autant l'administration, la politique que la population. Élaborez des méthodes axées sur l'information spécifique des groupes cibles, le conseil et la communication entre les parties prenantes et visant une sensibilisation au sujet. Des approches très différentes sont envisageables, mais elles devraient être facilement accessibles. Vienne propose par exemple des promenades sur le thème de la chaleur. Avec sa campagne sur les histoires climatiques^{A2.26}, le canton de Soleure a lancé une offre prometteuse. L'évaluation du projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30} montre aussi que la sensibilisation est une étape importante pour œuvrer à la compréhension et faire des personnes concernées des acteurs et des bénéficiaires. Songez que la sensibilisation requiert toutefois des ressources considérables – cet aspect est souvent sous-estimé.

2 – Clarifier les responsabilités et réclamer l'adhésion des décideurs

Des compétences claires et l'adhésion des décideurs contribuent notablement au succès. À l'inverse, leur absence est désignée à plusieurs reprises comme un obstacle important. Clarifiez donc assez tôt dans votre commune qui est aux commandes en matière de régulation thermique – ce n'est pas lié à la forme ou à l'ampleur de la procédure ! Exigez une adhésion claire des décideurs au plus haut niveau possible. Si un mandat officiel est un avantage, il n'est pas absolument décisif au début et peut intervenir par la suite. Vienne en est un exemple^{A3.46}.

3 – Approche intégrée et concertée dans l'administration

Un développement urbain adapté à la chaleur est une tâche interdisciplinaire conjointe qui ne peut fonctionner que si les différentes disciplines unissent leurs forces à tous les niveaux de planification! Développez donc la collaboration intégrée si elle n'est pas encore pratiquée. Commencez à temps et créez des structures en réseau au sein de votre institution et vers l'extérieur.

4 – Utiliser les synergies et les processus collaboratifs, encourager les fonctions mixtes des surfaces

On constate des synergies quand il y a des effets positifs réciproques entre des activités sectorielles et l'adaptation aux changements climatiques. Les processus collaboratifs représentent des projets concrets et des mises en œuvre auxquels il est possible d'associer des stratégies et des mesures de régulation thermique sans dépenses supplémentaires importantes. Dans ce cadre, la fonction ou l'utilisation dite mixte des surfaces est fréquemment citée: ce sont des espaces qui assument plusieurs fonctions, par exemple la régulation thermique, la gestion des eaux de pluie, la biodiversité et le délassement. Identifiez les synergies efficaces, les processus collaboratifs et les surfaces appropriées dans votre environnement et commencez par là!

5 – Créer des incitations: programmes d'encouragement, projets pilotes, contributions à des projets de construction

L'exemple des villes allemandes est particulièrement frappant: toute forme d'encouragement fait progresser la régulation thermique et permet de se lancer. Cherchez des programmes appropriés et participez-y. Au début, ACCLIMATASION^{A2.30} s'est servi du programme pilote de la Confédération – ce qui lui a donné une marge de manœuvre et du soutien. Proposez des incitations à différentes personnes concernées. À Bâle, l'association Ökostadt met en place une campagne pour verdir les arrières-cours^{A4.30} afin de désimperméabiliser davantage les terrains privés. Avec sa stratégie de toits végétalisés^{A3.14}, Hambourg aborde l'adaptation aux changements climatiques comme une offensive qualité fondamentale au moyen d'incitations financières: 70 % des nouvelles

toitures plates doivent être végétalisées – trois millions d'euros y sont consacrés sur cinq ans.

6 – Augmenter l'ancrage stratégique et juridique

En Suisse, l'adaptation aux changements climatiques n'est juridiquement ancrée dans l'aménagement du territoire qu'à titre secondaire. En Allemagne, en revanche, elle figure explicitement dans toutes les procédures du code de la construction, ce qui la renforce considérablement dans l'ensemble de la planification. Faites en sorte que la régulation thermique bénéficie d'un meilleur ancrage stratégique et juridique en Suisse, en particulier aux niveaux cantonal et communal. Vous trouverez des pistes correspondantes au chapitre 9.

7 – Associer les acteurs – encourager les processus coopératifs et participatifs

Les expériences des projets à succès montrent que la prise en compte des acteurs, des personnes concernées et des groupes d'intérêt a des effets positifs considérables sur les stratégies et leur mise en œuvre. Réunir et faire participer les parties prenantes aux procédures coopératives et participatives le plus tôt possible les aide à s'identifier au projet, à prendre des responsabilités et à s'engager en conséquence. Profitez-en!

8 – Une attitude opportuniste – se lancer et trouver sa propre voie

Allez-y, lancez-vous! Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise voie, mais des points de repère. Découvrez les opportunités qui s'offrent dans les projets et processus qui se déroulent de toute manière et saisissez-les. De nombreuses villes qui ont réussi mentionnent explicitement le fait de se lancer comme le point décisif pour trouver ensuite sa propre voie. Après son plan-cadre sur l'adaptation aux changements climatiques, Karlsruhe a par exemple indiqué que «le résultat était encore complètement ouvert au début, personne ne savait de quoi le processus et le produit auraient l'air à la fin. On n'aurait pas non plus avancé en essayant de fixer cet aspect au préalable.» Trouver sa propre voie est un facteur de succès à part entière qui est souvent sous-estimé ou ignoré. Tirez profit de cette connaissance et lancez-vous, expérimentez, essayez!

5 Bases et mesures climatiques

La condition pour une mise en œuvre ciblée et efficace des mesures est une bonne compréhension de l'accroissement des fortes chaleurs, qui diffère pour chaque ville et commune. Les informations de base nécessaires – tant pour les situations actuelles que futures – peuvent être fournies par l'instrument de l'analyse climatique.

Les indicateurs climatiques peuvent être déduits du réseau de mesures de MétéoSuisse. En Suisse, il existe des analyses climatiques pour des villes comme Zurich et Bâle, mais il reste à concrétiser la planification de leur mise en œuvre.

Informations climatiques de MétéoSuisse

L'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) relève en continu des données pour la Suisse. Il fournit tous les paramètres pertinents pour l'analyse des fortes chaleurs (p.ex. température, vent, humidité), des séries de mesures de longue durée et des statistiques. En plus des données des stations météorologiques, il propose aussi un maillage interpolé de deux kilomètres sur l'ensemble du territoire pour certains paramètres climatiques. Les données peuvent être acquises auprès de son service clientèle.

Les scénarios climatiques régionaux CH2011^{A2.6} montrent l'évolution du climat en Suisse. MétéoSuisse élabore actuellement, avec des institutions de recherche, de nouveaux scénarios climatiques régionaux qui seront publiés fin 2018 (CH2018^{A2.7}).

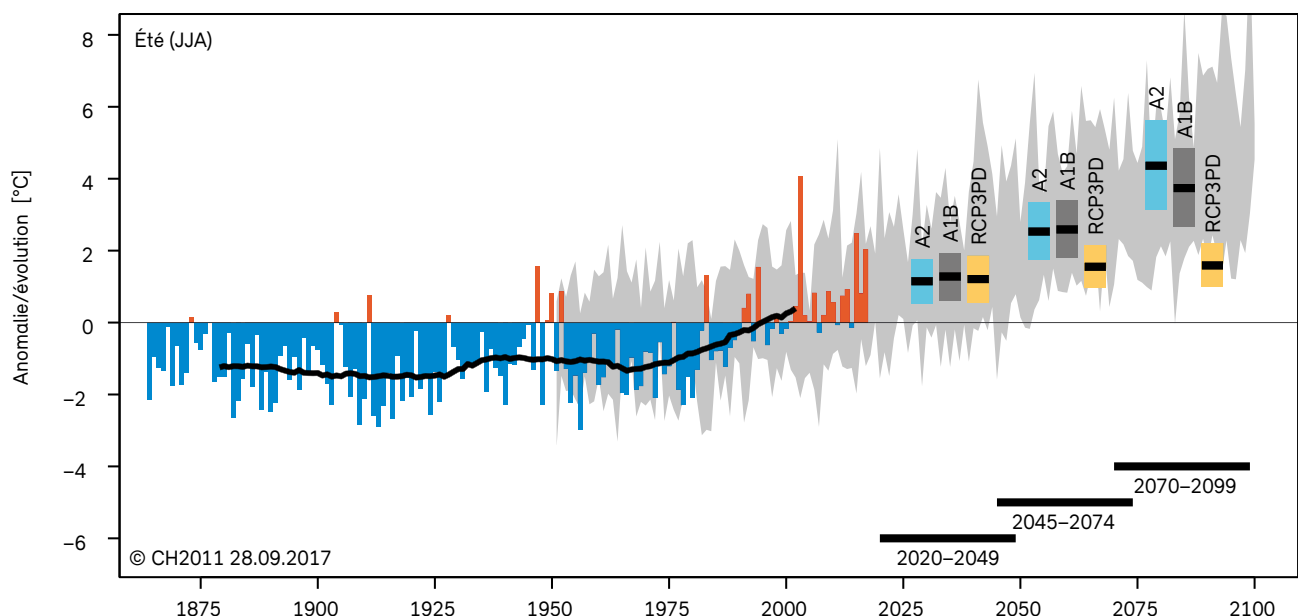
Les données de MétéoSuisse offrent une bonne base pour une première estimation des fortes chaleurs dans les communes. Des indicateurs climatiques tels que les jours d'été, les jours tropicaux ou les nuits tropicales permettent d'estimer dans quelle mesure la population est touchée par la chaleur. Les écarts des valeurs annuelles, saisonnières et mensuelles par rapport à la norme et les tendances climatiques pour les températures et les précipitations fournissent d'autres enseignements (Fig. 11). La résolution spatiale des données (2 km) est toutefois trop faible pour servir de base de décision pour les processus de planification urbaine. Des analyses supplémentaires sont donc recommandées au niveau communal.

Méthodes d'analyse

L'analyse climatique donne des indications spatiales détaillées sur les fortes chaleurs en milieu urbain et

Figure 11

Changements de température passés et futurs pendant les mois d'été^{A2.6}



révèle le potentiel de régulation thermique des espaces verts ou ouverts et le processus d'échange d'air. Il existe trois approches méthodologiques pour élaborer une analyse climatique, qui se complètent et se soutiennent réciproquement. Elles sont présentées ci-après :

Évaluations SIG

L'analyse synthétique est l'approche la plus simple, mais elle possède aussi la plus faible valeur informative. Elle se fonde exclusivement sur des évaluations SIG (p. ex. utilisation du sol, relief, paramètres tels que le degré d'imperméabilisation ou le volume bâti). Il en résulte une carte des climatopes, où chaque parcelle de la commune est classée dans un type de climatope défini. Une distinction est faite entre les types d'espaces de compensation (p. ex. climat des zones rurales environnantes, climat en forêt) et les types d'espaces d'action (p. ex. climat urbain, climat d'agglomération). Cela permet d'obtenir, avec des moyens raisonnables, un résultat à grande échelle qui fournit de premières indications territoriales sur les fortes chaleurs. En revanche, il n'est pas possible de reproduire les processus climatiques urbains (p. ex. couloirs de ventilation ou zones de génération d'air frais), la différenciation des fortes chaleurs au niveau spatial ou l'importance nuancée des espaces verts et ouverts dans l'écologie climatique. Cette méthode d'analyse peut donner de bons résultats pour les communes dont la structure du terrain est peu complexe ou constituer une base pour des campagnes de mesures ou des modélisations numériques.

On peut compter sur des coûts inférieurs à 1000 francs pour une carte des climatopes.

Campagnes de mesures

L'ampleur des îlots de chaleur peut être analysée par des campagnes de mesures. Il est possible de générer des données d'observation ponctuelles et/ou linéaires sur le niveau d'exposition thermique le jour ou la nuit et sur le bilan thermique nocturne. La réalisation des campagnes de mesures est tributaire d'épisodes anticycloniques stables par vent faible, car c'est à ce moment-là que l'effet d'îlot de chaleur se manifeste pleinement. Les données mesurées peuvent non seulement saisir la situation bioclimatique locale, mais aussi contribuer à valider les analyses basées sur les modélisations.

Selon l'objectif et l'échelle, on applique des mesures stationnaires ou mobiles :

Les mesures stationnaires sont utilisées par défaut pour les analyses au niveau global des villes ou des communes ou en option au niveau des quartiers. Il faudrait installer au moins deux stations de mesure – une dans le centre-ville (Fig. 12) et une en zone périurbaine. Elles enregistrent principalement la température de l'air et le champ d'écoulement des brises thermiques dans une période de trois mois à plusieurs années (avec, d'ordinaire, des mesures à 2 m et 10 m du sol). En Suisse, il faudrait vérifier en premier lieu s'il existe déjà des mesures à long terme de MétéoSuisse dans la zone étudiée, qui peuvent être complétées par des mesures spécifiques au projet. En règle générale, plus le réseau de mesures est dense, plus il est possible d'en déduire des résultats de qualité.

Figure 12

Station de mesure au centre-ville d'Osnabrück



Les coûts estimés varient fortement selon la conception de la campagne de mesures (nombre de stations, durée des mesures). Une campagne intensive et ciblée de courte durée peut être réalisée pour moins de 5000 francs. L'exploitation à long terme d'un réseau de mesures étendu implique une charge financière nettement plus élevée.

Des mesures mobiles à court terme permettent de mieux distinguer l'hétérogénéité climatique du territoire. Pour cela, des appareils de mesures sont fixés à des véhicules motorisés, trains ou vélos ou portés dans des sacs à dos afin d'obtenir des données avec la meilleure résolution possible dans le temps et l'espace. Dans plusieurs villes suisses, des parcours de mesures ont par exemple été réalisés au cours de l'été 2016 avec l'appareil CityFeel^{A2.40}. Ils ont enregistré les effets microclimatiques et leur influence sur le bien-être des piétons (Fig. 13, 14).

Pour évaluer la situation d'écoulement des brises thermiques dans certaines zones urbaines, il peut être utile d'effectuer une analyse de la ventilation au moyen de tests de fumée et d'une mesure correspondante du vent et de la température. Cette technique permet de révéler l'existence de couloirs de génération d'air frais ou de ventilation et d'estimer leur efficacité.

Les aspects verticaux peuvent aussi présenter de l'intérêt dans le climat urbain, car ils influent sur le bien-être à proximité du sol. Les drones ou les ballons (captifs) sont des supports appropriés pour mesurer par exemple l'ampleur et la limite supérieure d'une masse d'air froid. Pour une analyse complète de la température de surface dans les petites zones étudiées, il est recommandé de recourir aux images infrarouges (mesure longue durée temporaire ou stationnaire).

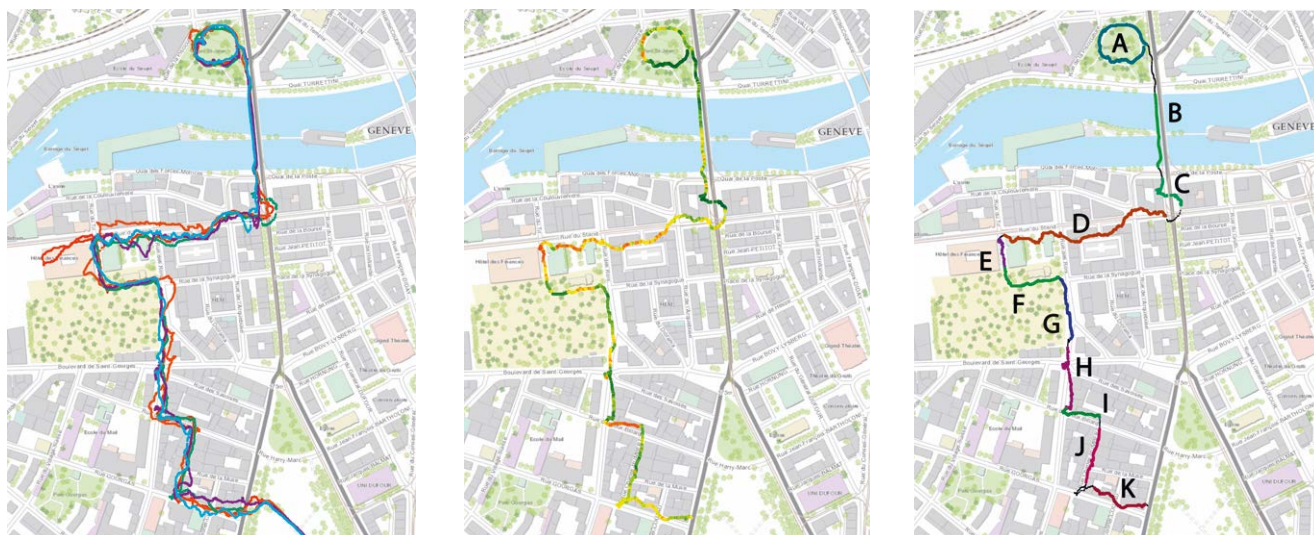
Figure 14

Illustration d'un appareil de mesures CityFeel



Figure 13

Mesures CityFeel à Genève le 15.8.2016 – parcours 1 à 5 (à gauche), température (au milieu), humidité (à droite)



En fonction du nombre de courses de mesure, des instruments utilisés, de la résolution spatiale et de la taille de la zone à étudier, il faut prévoir entre 5000 et 25 000 francs pour des mesures intensives.

En résumé, l'avantage des campagnes de mesures réside dans la collecte précise d'un nombre de paramètres climatiques pour un lieu de mesure à un moment de la journée ou à une saison qui sont pertinents. Il existe une dépendance à l'égard de la situation météorologique et de l'accessibilité de la zone étudiée – il n'y a toutefois pas d'autres conditions. Les campagnes de mesures ont pour inconvénient que les résultats sont disponibles de manière ponctuelle ou linéaire, mais pas pour l'ensemble du territoire examiné ni sur une longue période, à part les données des stations de mesure. De plus, le traitement des données peut être très long. Les analyses climatiques qui reposent uniquement sur des mesures sont toujours grevées d'incertitudes s'agissant de la transmission spatiale. Les campagnes de mesures prennent donc toute leur valeur en combinaison avec des modélisations.

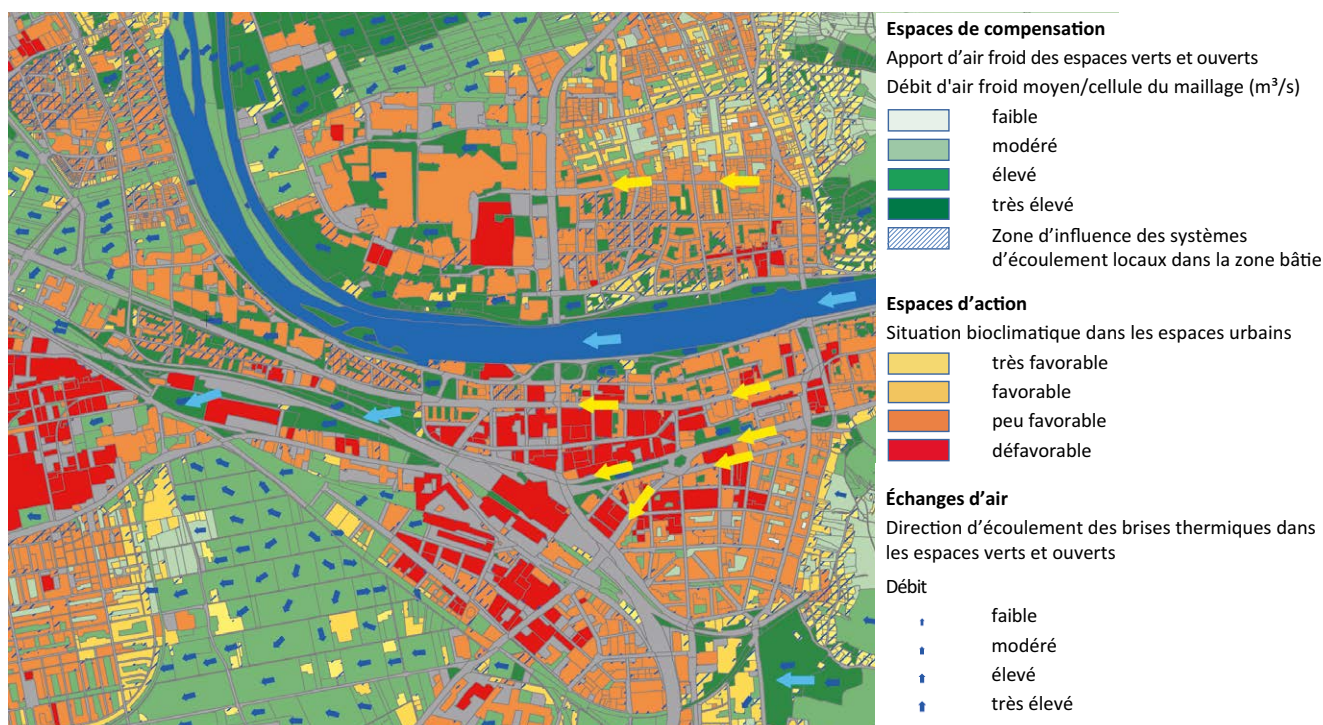
Modélisations numériques

La modélisation des analyses climatiques ouvre de nombreuses possibilités. Elle permet la représentation complète et homogène de paramètres météorologiques et le calcul de valeurs climatiques complexes telle la température ressentie (p.ex. PET). Elle a aussi une capacité de prévision : il est possible de simuler des scénarios, les conséquences de planifications ou l'efficacité de mesures visant à améliorer le climat urbain.

Selon la problématique et la taille de la zone, on peut utiliser des modèles climatiques à micro- ou méso-échelle. Tandis que les modèles à méso-échelle (p.ex. FITNAH, Fig. 15 et Fig. 5 à la section 3.1) sont utilisés avec une résolution horizontale de dix à cent mètres pour le niveau communal, régional ou cantonal, les modèles à micro-échelle (p.ex. ASMUS, Fig. 16) servent à répondre à des questions au niveau des quartiers et des bâtiments, avec une résolution horizontale plus élevée. En règle générale, plus la structure du terrain et du bâti est différenciée, plus la résolution du modèle devrait être fine. Ce faisant, il faut se rappeler que la modélisation ne peut être pertinente

Figure 15

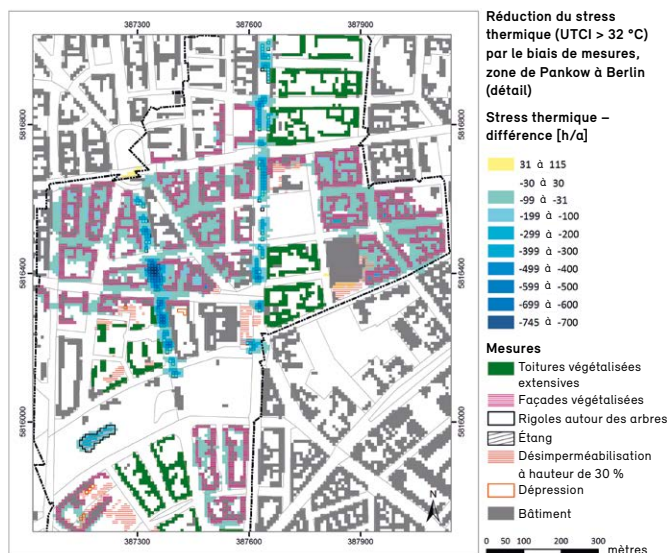
Carte de l'analyse climatique de la ville de Heidelberg (détail), sur la base des résultats d'une modélisation à méso-échelle avec FITNAH^{A3,16}



que dans la mesure où les données d'entrée à traiter le sont. S'il s'agit par exemple de fournir des informations sur l'impact des plantations d'arbres dans l'espace routier, il est nécessaire de connaître le cadre spatial en plus de l'essence des arbres.

Figure 16

Modélisation à micro-échelle avec ASMUS (résolution de 8 m) dans le cadre du projet de recherche KURAS pour le site modèle de Pankow, Berlin



Tous les paramètres pertinents en matière de climat urbain peuvent être calculés à l'aide de modèles, en particulier les débits d'air froid, les champs de température et de vent à proximité du sol et les champs de caractéristiques bioclimatiques. Une carte de l'analyse climatique est généralement établie sur la base des modélisations.

Des résultats de modélisation complets présentent l'avantage de pouvoir être associés à d'autres informations (p.ex. données démographiques, utilisation sensible du sol et des bâtiments, bruit et autres nuisances environnementales préexistantes) afin de déduire des conclusions locales spécifiques sur le respect de l'environnement ou la vulnérabilité. Grâce au dialogue avec les décideurs locaux, il est possible d'établir des cartes indicatives de planification pratiques et adaptées aux groupes cibles dans l'optique d'un développement urbain adapté à la chaleur. Les modélisations peuvent être complétées de manière ciblée par des campagnes de mesures, par

exemple pour valider les courants d'air froid en terrain complexe. De plus, les valeurs mesurées servent souvent de données d'entrée pour les modèles.

Les coûts de cette méthode d'analyse dépendent de la taille de la zone étudiée et de la résolution spatiale du modèle climatique à micro- ou méso-échelle utilisé. Des modélisations à micro-échelle (surface d'env. 0,5 km², résolution horizontale de 5 m) sont proposées pour 5000 à 10 000 francs, les modélisations à méso-échelle (surface d'env. 150 km², résolution horizontale de 25 m) coûtent près de 50 000 francs.

Observation des changements climatiques

Il est judicieux d'ajouter à l'analyse climatique un calcul des prévisions, qui porte sur la fréquence et l'intensité croissantes des jours tropicaux, des épisodes caniculaires et des nuits tropicales. Aujourd'hui déjà, il faudrait dresser un constat différencié dans le temps et avec la meilleure résolution spatiale possible sur le climat des prochaines décennies pour pouvoir planifier et appliquer des mesures d'adaptation à temps et optimiser si possible les projets de développement en fonction du climat.

Une intégration à haute résolution spatiale de la problématique de la chaleur dans l'observation des changements climatiques au niveau communal impliquerait des coûts de l'ordre d'au moins 30 000 francs.

Parenthèse : disponibilité et importance des géodonnées

Les géodonnées et les méthodes de traitement correspondantes sont des bases importantes, tant pour une éventuelle analyse climatique que pour des évaluations sociodémographiques ou urbanistiques, qui permettent une estimation de la situation et des nécessités. En Suisse, il existe pour cela des géodonnées actuelles de qualité. L'Office fédéral de topographie (swisstopo)^{A2.11}, l'Office fédéral de la statistique (OFS) et les cantons disposent notamment de vastes ensembles de données, par exemple sur la répartition des habitants, la structure des villes et des constructions, l'utilisation des espaces ouverts ou la topographie, qui peuvent être acquis et traités par les aménagistes. Les géodonnées intercommunales GEOSTAT^{A2.12} de l'OFS sur l'utilisation du sol et la population, qui sont en libre accès, s'imposent par exemple pour une évaluation SIG.

6 Approches stratégiques pour réduire la concentration de chaleur

Les stratégies visant à réduire la concentration de chaleur servent à définir des contenus et des approches spécifiques et à orienter les ressources disponibles, toujours limitées, avec la bonne méthode, au bon moment et au bon endroit. Le présent chapitre montre la palette de stratégies possibles pour que les villes et les communes puissent s'adapter et choisir leur propre voie.

Plusieurs stratégies visant à réduire la concentration de chaleur ont été évaluées et classées dans une structure systématique. Sept approches ont été identifiées dans l'ensemble: une «approche ad hoc» sans stratégie, cinq types stratégiques et une «porte dérobée». D'une approche à l'autre, l'intensité, le degré de concrétisation

au niveau du contenu et de l'aménagement du territoire ainsi que l'orientation intégrée ne cessent d'augmenter. Il est aussi possible de choisir des formes intermédiaires ou de combiner ces stratégies pour les appliquer à sa situation particulière.

«Sans stratégie», se lancer tout simplement

Dans la première approche, on commence directement par la mise en œuvre de mesures sans développer de stratégie au préalable. Elle ne consiste pas en une méthode systématique et ciblée, mais déploie un effet considérable par la visibilité rapide de son impact. Cela peut faire meilleure impression et mobiliser davantage de soutien que des stratégies plus coûteuses qui sont conçues à

Fig. 17 : Avenue du Bietschhorn à Sion : mise en œuvre directe



long terme et dont les effets apparaissent moins vite. Les projets découlent donc souvent de besoins concrets, ad hoc. Un recours aux principes de planification (chap. 7) et aux facteurs de succès (section 4.3) peut soutenir

cette démarche. Le projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30} a bien exploité cette approche en revalorisant par exemple l'avenue du Bietschhorn, un lieu exposé aux fortes chaleurs, de manière intéressante (Fig. 17).

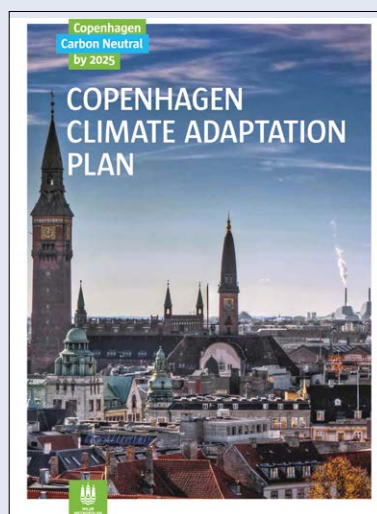
Type de stratégie 1 : objectifs généraux et lignes directrices sur la régulation thermique

Pour ce type de stratégie générale, il s'agit de définir des objectifs généraux et des lignes directrices qui se réfèrent concrètement à la situation spécifique de la ville ou de la commune (site, zone climatique, structure, etc.), contrairement aux principes de planification. Cette forme de stratégie très simple n'a pas de dimension géographique. Les lignes directrices sont généralement applicables sur le territoire de la commune. Il est souvent fait référence à des mesures réalisables, sans toutefois les localiser.

Ce type de stratégie est d'ordinaire la première étape vers des stratégies à référence spatiale ou des mesures concrètes de régulation thermique. On le trouve donc fréquemment. Le plan d'adaptation aux changements climatiques de Copenhague^{A3.26} (Fig. 18) ou le Plan Climat Marseille Provence Métropole^{A3.34} en sont de bons exemples. Celui de Marseille montre que ce processus peut être approprié pour réunir les acteurs et les institutions et poser les premiers jalons organisationnels et structurels.

Figure 18

Stratégie globale à Copenhague



Type de stratégie 2 : stratégie concrète pour des zones partielles choisies

Ce type de stratégie se rapporte à une zone partielle donnée d'une commune, par exemple un quartier ou un projet. Des lignes directrices et des règles sont élaborées pour ce lieu spécifique. On trouve souvent des combinaisons de stratégies générales et spécifiques qui découlent les unes des autres ou se complètent.

L'Euroméditerranée ECOCITÉ Marseille^{A3.35} tente par exemple de concrétiser et d'appliquer les lignes directrices générales du Plan Climat dans un quartier modèle (Fig. 26). À Rome également, des stratégies d'adaptation^{A3.39} ont été élaborées pour des zones partielles (p.ex. l'université). Dans le Klimakvarter Østerbro^{A3.27}

Figure 19

Tâsinge Plads dans le Klimakvarter Østerbro



à Copenhague, on peut déjà voir les conséquences de cette stratégie spécifique : de premiers espaces dédiés, à l'instar de « Tåsinge Plads », sont déjà concrétisés (Fig. 19).

Type de stratégie 3 : stratégie sommaire intégrée pour une zone entière

Ce type de stratégie porte sur une approche intégrée concernant une zone entière, qui comprend des indications spatiales, sommaires dans un premier temps, pour la régulation thermique sur la base de lignes directrices générales. Celles-ci peuvent fortement varier, à l'instar de listes de mesures pour des quartiers. Le Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal^{A3.37} (Fig. 20) élabore en premier lieu des lignes directrices générales et des pistes pour chaque menace due aux changements climatiques. Elles sont décrites comme des mesures concrètes au niveau des quartiers, avec des indicateurs, des instruments, des acteurs et des destinataires.

Figure 20

Plan d'adaptation de Montréal

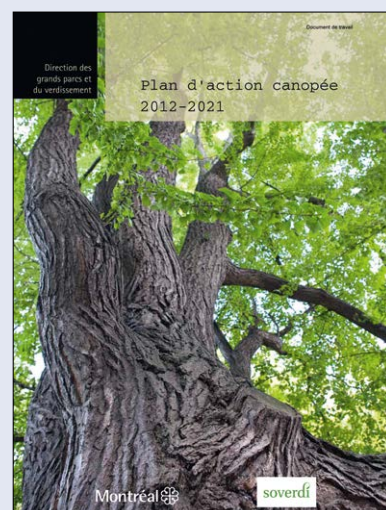


Type de stratégie 4 : stratégie partielle pour une zone entière

Des stratégies partielles pour des zones entières sont concrètement adaptées à un champ d'action spécifique relatif au thème de la chaleur et se réfèrent à la zone entière d'une agglomération, d'une ville ou d'une commune. Le Plan d'action canopée^{A3.38} de la ville et de l'agglomération de Montréal (Fig. 21) en est un bon exemple. Cette stratégie partielle concrétise le plan d'adaptation précité. Les cartes indicatives de planification du canton de Zurich qui résultent de l'analyse climatique constituent un exemple de stratégie partielle pour une zone entière en Suisse.

Figure 21

Montréal, plan d'action canopée



Type de stratégie 5 : stratégie globale intégrée et détaillée pour une zone entière

Le type de stratégie le plus étendu consiste en une stratégie globale intégrée et détaillée. Elle donne des informations à petite échelle sur la structure spatiale et des mesures pour toute une zone communale. Les informations sont coordonnées avec tous les services et institutions concernés de même que les acteurs et les personnes impliquées. Le plan-cadre urbanistique d'adaptation aux changements climatiques de Karlsruhe^{A3.19} (Fig. 22), StEP Klima KONKRET Berlin^{A3.1} ou le masterplan Climat urbain de la ville de Zurich, en cours d'élaboration, en sont de bons exemples.

Même si ce type de stratégie présente un degré de détail très élevé et une profondeur de contenu extrême, on peut relever des aspects critiques : pour être déduite et assurée, cette stratégie requiert une analyse climatique détaillée, si possible sous forme de modélisation avec une capacité de prévision. Partant, l'élaboration est complexe et lourde en raison de la méthode de travail participative. Cette forme de stratégie détaillée n'est donc pas forcément celle qui a le plus de succès.

Figure 22

Plan-cadre de Karlsruhe, une stratégie globale intégrée



La porte dérobée : intégrer la régulation thermique dans d'autres instruments de l'aménagement du territoire

Cette approche ne s'inscrit pas directement dans la systématique des stratégies climatiques. Elle est quand même présentée ici, car cette approche alternative recèle un potentiel considérable. Elle consiste à utiliser d'autres instruments de l'aménagement du territoire de manière ciblée pour faire progresser la régulation thermique. Il peut notamment s'agir de plans de développement urbain, de lignes directrices ou de masterplans. La stratégie de développement territorial de la ville de Zurich (RES)^{A2.34}, par exemple, formule des instructions concernant la structure des constructions et des espaces ouverts pour lutter contre la chaleur.

La bonne stratégie : adaptée aux besoins et aux ressources !

Les différents exemples de ce chapitre montrent que plusieurs approches sont possibles pour obtenir des résultats. Si une ville ou une commune vise une stratégie globale, intégrée et détaillée en matière de régulation thermique, elle ne choisit pas la meilleure solution. Il est important que la stratégie soit adaptée à la situation spécifique tout en étant financièrement réalisable ! La faisabilité et l'effet dans l'espace urbain sont ainsi déterminants.

7 Principes de planification et d'urbanisme

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

PP Principes de planification



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

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

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



PP 2 Les espaces verts sont des **cool spots** !

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

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

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



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

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

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

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

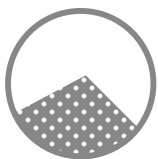
- connaître précisément le peuplement d'arbres de votre ville ou commune et élaborer des stratégies de développement avec un choix d'essences adapté ;
- encourager les plantations – en particulier d'arbres à grosse couronne – dès que possible ;
- considérer les campagnes de plantation d'arbres comme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



PP 4 L'ombre favorise le confort thermique !

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

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



PP 5 La désimperméabilisation apporte de la fraîcheur !

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

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

Procédez comme suit :

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



PP 6 L'eau est précieuse !

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

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

Les étapes suivantes sont recommandées :

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

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

PU Principes d'urbanisme

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

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

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

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

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

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

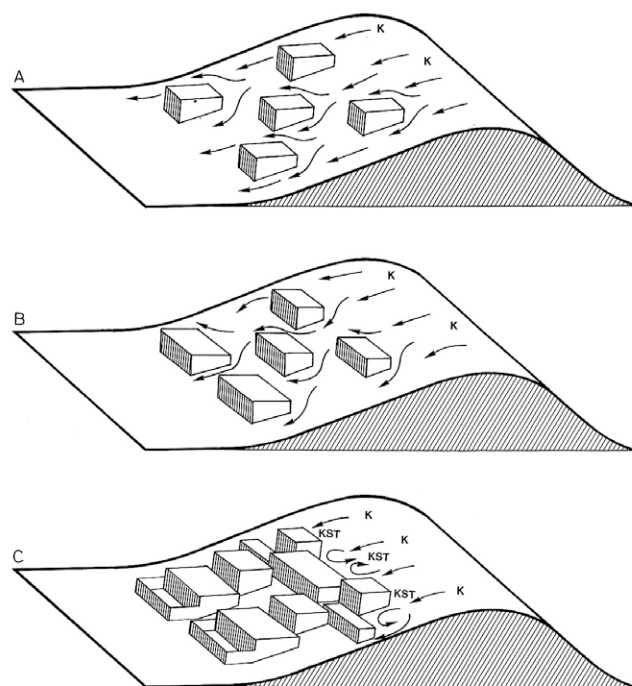
Figure 23

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

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

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

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



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

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

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

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

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

• *En longueur plutôt qu'en travers*

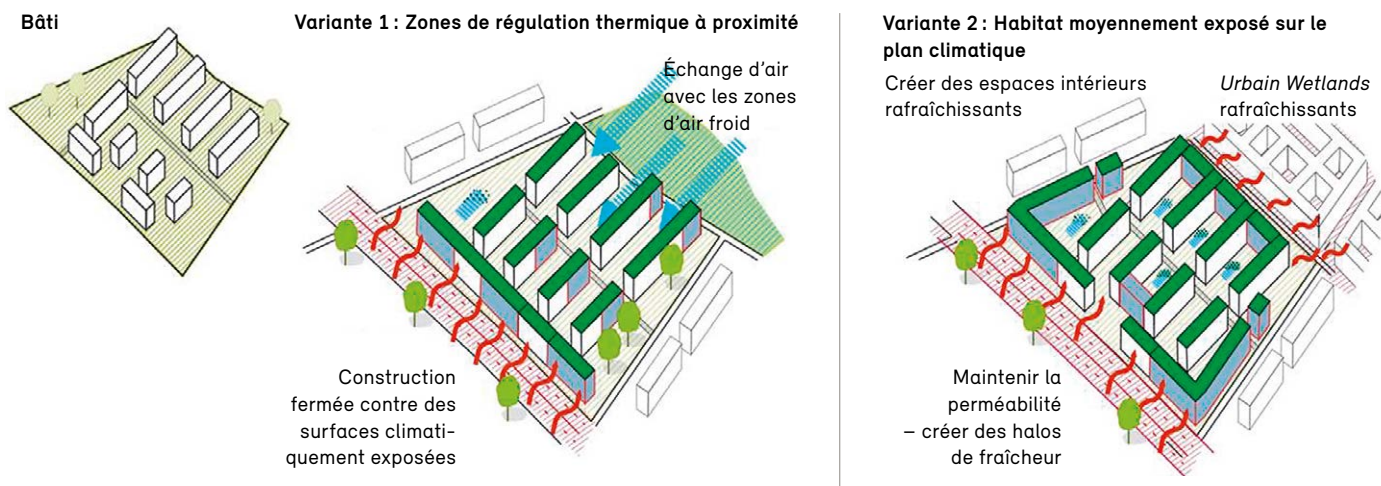
Pour garantir un apport d'air optimal, les bâtiments devraient généralement être conçus en longueur par rapport à la direction de la ventilation principale. C'est souvent possible en cas de réaménagement. Les pentes, qui devraient être préservées des longues constructions parallèles, revêtent ici une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

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

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

Figure 24

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



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

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

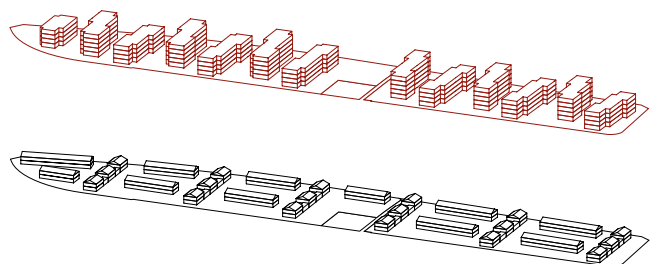
Bien entendu, vous recourez aux champs d'action précités non seulement pour les projets de densification, mais aussi pour les nouveaux développements de sites. Vous évitez ainsi l'impact négatif sur le climat urbain ou vous le compensez.

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

Figure 25

La position des nouvelles constructions de substitution densifiées dans le lotissement de Katzenbach à Zurich améliore la ventilation

Dans les espaces entre les bâtiments, les architectes ont veillé à l'ombrage des espaces verts et des espaces de vie en plantant des arbres.



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

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

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

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

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

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

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

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

Figure 26

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



8 Mesures

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

M Mesures locales

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

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

MP Mesures processuelles

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

Fiches sur les mesures locales

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

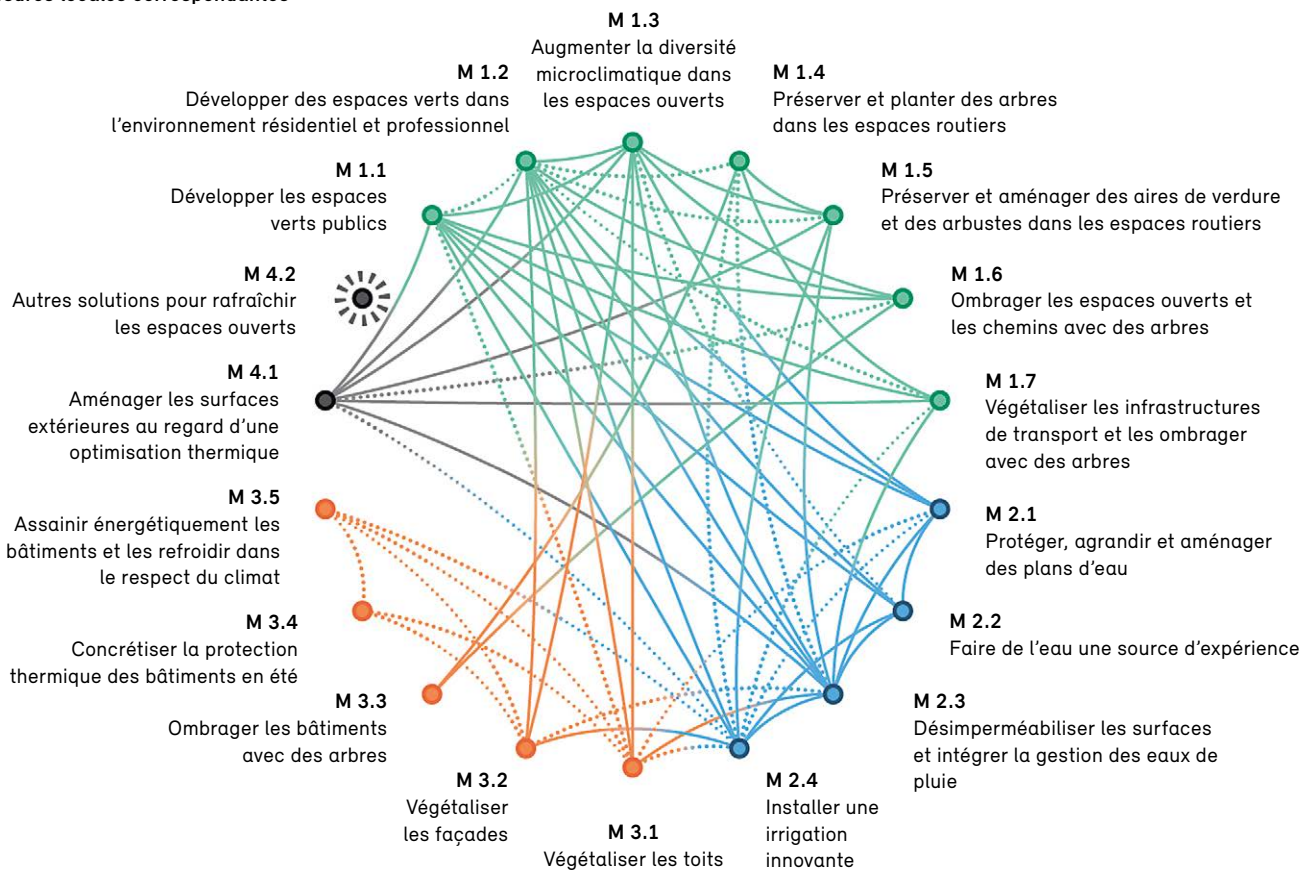
Figure 27

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

	M 1.1	M 1.2	M 1.3	M 1.4	M 1.5	M 1.6	M 1.7	M 2.1	M 2.2	M 2.3	M 2.4	M 3.1	M 3.2	M 3.3	M 3.4	M 3.5	M 4.1	M 4.2
<div> Interaction faible Interaction Interaction forte </div>	Développer les espaces verts publics	Développer des espaces verts dans l'environnement résidentiel et professionnel	Augmenter la diversité microclimatique dans les espaces ouverts	Préserver et planter des arbres dans les espaces routiers	Préserver et aménager des aires de verdure et des arbustes dans les espaces routiers	Ombreger les espaces ouverts et les chemins avec des arbres	Végétaliser les infrastructures de transport et les ombrager avec des arbres	Protéger, agrandir et aménager des plans d'eau	Faire de l'eau une source d'expérience	Désimperméabiliser les surfaces et intégrer la gestion des eaux de pluie	Installer une irrigation innovante	Végétaliser les toits	Végétaliser les façades	Ombreger les bâtiments avec des arbres	Concrétiser la protection thermique des bâtiments en été	Assainir énergétiquement les bâtiments et les refroidir dans le respect du climat	Aménager les surfaces extérieures au regard d'une optimisation thermique	Autres solutions pour rafraîchir les espaces ouverts
PP 1 Développer d'un point de vue climatique																		
PP 2 Les espaces verts sont des cool spots																		
PP 3 Effet des arbres en milieu urbain																		
PP 4 L'ombre favorise le confort thermique																		
PP 5 Désimperméabilisation et fraîcheur																		
PP 6 L'eau est précieuse																		
PU 1 Circulation de l'air frais																		
PU 2 Position et typologie des bâtiments																		
PU 3 Densification et climat																		
PU 4 Interaction bâtiments/espaces ouverts																		

Figure 28

Mesures locales correspondantes



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

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

Synergies

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

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

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

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

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

Paramètres de planification

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

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

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

M 1.1 Développer les espaces verts publics

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Les espaces verts publics constituent les principaux espaces de compensation en termes d'écologie climatique dans l'espace urbain. Cette fonction doit être renforcée et développée. L'objectif est un système d'espaces verts mis en relation qui peut remplir des fonctions de régulation thermique localement bioclimatiques pour la population le jour et, par ailleurs, un rôle important dans la génération d'air froid la nuit.

Les grands espaces verts publics tels que les parcs, les cimetières ou les forêts sont les structures de l'espace urbain qui fournissent la plus grande compensation. En même temps, ils remplissent d'importantes fonctions de détente et de loisirs.

Les parcs permettent des séjours prolongés aux personnes en quête de délasserment et doivent couvrir différents besoins en fonction du moment de la journée ou de la saison. Une conception et un aménagement correspondants peuvent en faire une oasis climatique. Des arbres isolés, des groupes d'arbres ou des arbustes créent des surfaces ombragées. Des prairies ouvertes permettent des activités sportives et ludiques. Si la conception est variée, chaque utilisateur peut chercher l'environnement climatique qui lui convient. Pour remplir cette fonction, les espaces verts doivent être librement et facilement accessibles. Il est ainsi tenu compte de l'aménagement d'espaces ouverts exemplaires et adaptés aux changements climatiques.

Pendant que l'ombrage et le refroidissement par évaporation contribuent localement à la compensation bioclimatique le jour, l'air froid généré par l'espace vert peut s'écouler vers les zones urbaines avoisinantes et les réguler thermiquement la nuit. Par ailleurs, les espaces verts

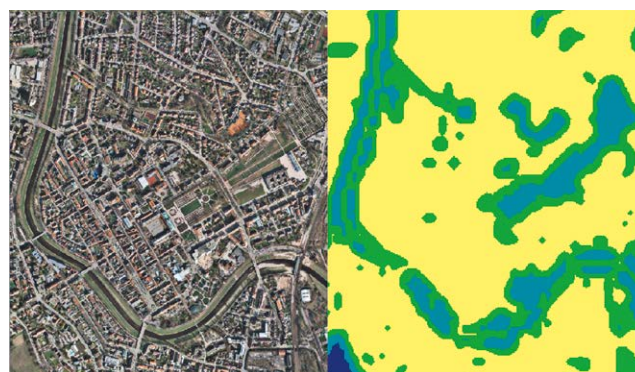
peuvent servir de tronçons pour les couloirs d'air froid et avoir ainsi des répercussions positives sur les processus d'échange en matière de bioclimat et de protection de l'air dans l'ensemble de la ville.

La production d'air froid des espaces verts pendant la nuit dépend de leur taille et de la végétation, de l'humidité du sol et de la pente du terrain. Le taux de production d'air froid d'une prairie en terrain plat atteint par exemple près de 10 à 15 m³/m²/h (Fig. 29). À partir d'une taille d'environ un hectare, on peut constater un échange d'air froid avec les structures environnantes. Selon la rugosité et la densité du passage vers l'espace urbain, la portée d'écoulement des brises thermiques peut dépasser 1000 mètres.^{A4.82}

Fig. 29 : Taux de production d'air froid dans le centre-ville de Rastatt en lien avec l'utilisation du sol (détail)

Taux de production d'air froid
(en m³/m²/h)

Faible	(< 5 m ³ /m ² /h)
Modéré	(< 5 bis 10 m ³ /m ² /h)
Élevé	(10 bis 15 m ³ /m ² /h)
Très élevé	(> 15 m ³ /m ² /h)



Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Accès et accessibilité limités (D)
- Disponibilité des surfaces et droits d'utilisation concurrents (D, C)
- Danger pour la protection de la nature et des espèces posé par la détente de proximité (C)

«City Park» et «Knielingen 2.0» à Karlsruhe : confort thermique et effets de synergie

Un espace vert de plus de huit hectares, qui raccorde les espaces naturels et ouverts de l'est au centre-ville et s'allie aux structures de construction du nouveau quartier, fait partie de la stratégie urbanistique «City Park»^{A3.22} à Karlsruhe (Fig. 30). Il crée un nouveau couloir d'air entre les surfaces qui produisent de l'air frais et les zones exposées. En outre, l'aménagement adapté au climat, avec des groupes d'arbres et des arbustes, contribue à un microclimat positif sans pour autant compromettre la circulation à grande échelle. L'espace vert sert de nouvel espace de détente attrayant, également pour les quartiers voisins existants, et comporte, avec plusieurs éléments d'eau, un aménagement supplémentaire très efficace sur le plan fonctionnel et climatique. La stratégie de la ville, qui vise à tenir systématiquement compte

des aspects climatiques dans les plans d'aménagement, se concrétise à travers cette nouvelle aire de verdure.

Un nouvel espace vert présentant des synergies avec la gestion des eaux superficielles voit le jour dans la zone de réaffectation de «Knielingen 2.0»^{A3.23}. La topographie est modélisée de telle sorte que les espaces de détente qui en résultent peuvent absorber des quantités considérables d'eau en cas de besoin. En plus d'effets de rétention et d'évaporation, les aménagistes ont aussi créé de nouvelles possibilités de jeux aquatiques (Fig. 31). Copenhague suit des plans similaires avec son «Klimakvarter Østerbro»^{A3.27} (Fig. 33 à 35).

Fig. 31 : Knielingen : le parc central est en même temps une surface de rétention



Fig. 30 : Karlsruhe, nouvel espace vert dans le City Park



Espace d'action

micro méso macro

Bilan thermique

faible impact fort impact

Bioclimat

faible impact fort impact

Champ d'application

privé semi-public public

Calendrier

court terme moyen terme long terme

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

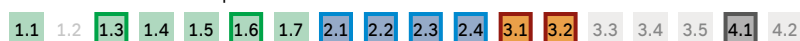
Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



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

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

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

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

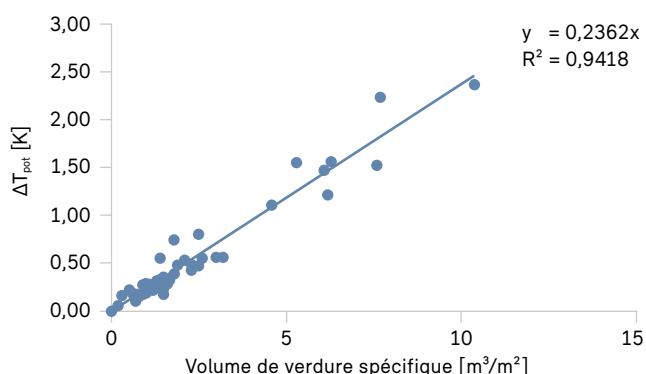
l'abaissement de la température de l'air (Fig. 32). La nuit, les aires de verdure privées produisent localement de l'air froid et créent une ventilation à petite échelle grâce à une interaction étroite avec les corps de construction.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

Figure 32

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



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

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

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

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

Figure 33

Jardin du futur Askøgade dans le Klimakvarter Østerbro, planification



Figure 34

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



Figure 35

Utilisation mixte efficace sur le plan climatique – ferme urbaine Østerbro



Diagramme de positionnement de l'outil de planification énergétique :

- Espace d'action** : micro, méso, macro
- Bilan thermique** : faible impact, fort impact
- Bioclimat** : faible impact, fort impact
- Champ d'application** : privé, semi-public, public
- Calendrier** : court terme, moyen terme, long terme

M 1.3 Augmenter la diversité microclimatique dans les espaces ouverts

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Un aménagement différencié des espaces verts et ouverts permet d'augmenter leur performance en matière d'écologie climatique. Ils peuvent être ainsi revalorisés en oasis climatiques variés qui satisfont aux exigences d'utilisation chaque saison.

Par diversité microclimatique d'un espace ouvert, on entend l'aménagement de zones aux conditions climatiques diversement marquées. Un aménagement varié permet de tenir compte d'exigences différentes selon les saisons, par exemple en matière d'ensoleillement, d'ombre, d'abri contre le vent ou de ventilation.

Une plantation où les arbres isolés ou les groupes d'arbres à grosse couronne alternent avec des espaces verts ouverts (type savane) peut servir de modèle d'aménagement. Les plans ou aménagements d'eau peuvent augmenter encore la diversité microclimatique. L'ombrage des chemins par des arbustes et des arbres à grosse couronne accroît le confort des piétons. Les chemins et les places doivent être aménagés si possible de sorte à laisser l'eau s'infiltrer. Il est possible de lutter contre la sécheresse du sol par la couverture végétale.

Les amateurs d'espaces ouverts estiment très agréable le changement varié de zones ensoleillées et ombragées, car ils peuvent se chercher un emplacement en fonction du temps (Fig. 36). Alors que l'été, l'effet d'ombre et le refroidissement par évaporation priment la journée, la fonction des espaces ouverts est déterminante la nuit dans le bilan thermique. L'air froid est notamment généré par les prairies et les surfaces herbeuses et devrait ensuite parvenir dans les espaces urbains voisins. Pour que l'air froid puisse bien circuler, une certaine déclivité et une végétation plus basse et

moins dense au bord de la zone de verdure sont recommandées.

La végétation doit tenir compte des conditions climatiques futures : l'augmentation des canicules et de la sécheresse exige un choix de plantes adapté. Une grande diversité d'espèces permet de faire face au risque de maladies dues aux nouveaux organismes nuisibles thermophiles.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur l'aménagement des surfaces non bâties sur terrain privé (D)
- Coûts de construction plus élevés et charges d'entretien accrues par rapport à une végétalisation simple (D)

Figure 36

Stadtspark Südost à Karlsruhe : le nouveau parc offre une diversité microclimatique



Cours Roger Bonvin à Sion

Le projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30} a permis une revalorisation microclimatique de la couverture autoroutière au Cours Roger Bonvin (Fig. 37) en un espace ouvert avec des possibilités de vie et d'utilisation attrayantes : grâce aux éléments d'eau, à la plantation variée dans de nouvelles structures et à des parasols qui donnent de l'ombre, il a été possible de créer un espace ouvert différencié sur le plan climatique. Il est désormais agréable de passer du temps, même les jours de forte chaleur, sur ce revêtement qui était auparavant nu et en grande partie imperméable. Les possibilités de s'asseoir, de jouer et de faire du sport, conçues de manière agréable, permettent un large spectre d'utilisations qui est bien accepté par la population et très fréquenté.

Figure 37

Projet pilote ACCLIMATASION, revalorisation du Cours Roger Bonvin, avant et après



Espace d'action	micro	méso	macro	Champ d'application	privé	semi-public	public
Bilan thermique	faible impact		fort impact	Calendrier	court terme	moyen terme	long terme
Bioclimat	faible impact		fort impact				

M 1.4 Préserver et planter des arbres dans les espaces routiers

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Par leur effet d'ombre, les arbres plantés dans les rues sont une mesure efficace pour rafraîchir l'air et réduire la chaleur excessive des routes et des chemins. Leurs conditions de vie continuent toutefois de se dégrader avec le changement climatique. Ils ont donc besoin d'un soutien et d'un entretien ciblés.

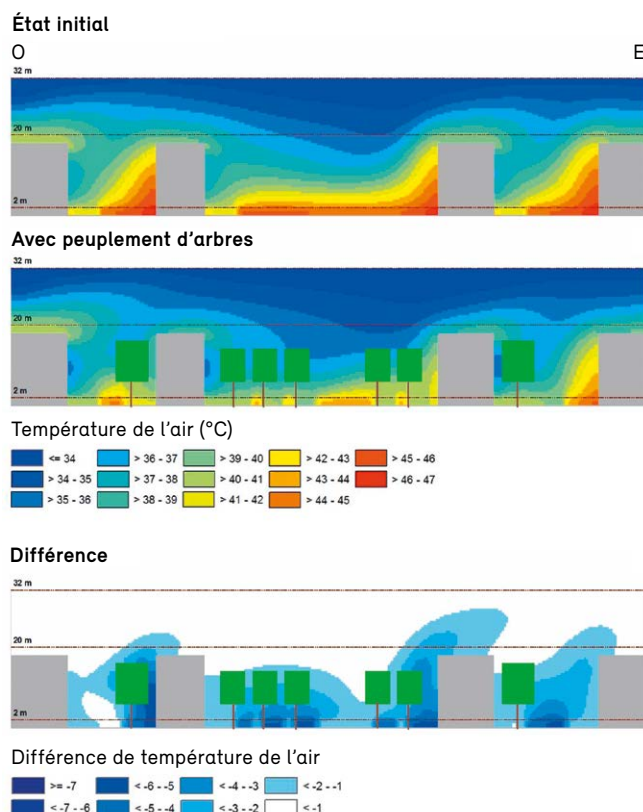
Les arbres dans l'espace routier sont une composante efficace d'un développement urbain adapté à la chaleur. Les rues peuvent être ombragées de manière ciblée par des rangées d'arbres, des groupes d'arbres ou des arbres isolés. L'ombrage a une grande incidence, notamment sur les larges voies de communication particulièrement affectées par la chaleur excessive. La mesure est aussi importante le long des chemins pour piétons et des pistes cyclables ainsi que sur les aires d'attente des bus et des trams. Il est opportun de préserver les arbres existants dans l'espace routier et d'encourager les nouvelles plantations. Comme l'espace routier est principalement la propriété des pouvoirs publics, c'est une opportunité de mettre en œuvre des mesures exemplaires.

De jour, les arbres peuvent entraîner une réduction de la température de plus de 7 °C (Fig. 38). L'effet rafraîchissant est principalement dû à l'ombrage et renforcé par l'évapotranspiration, qui peut atteindre plusieurs centaines de litres d'eau par jour et par arbre. Le rayonnement thermique nocturne de l'espace routier est également réduit si celui-ci n'est pas surchauffé le jour grâce aux arbres. Un autre avantage réside dans leur capacité à filtrer les polluants dans l'air. Cet effet devrait être notamment exploité sur les routes à grand trafic.

Seuls les grands arbres séculaires avec un volume de couronne important déploient leur plein effet. Leur espé-

rance de vie dans l'espace routier n'atteint en moyenne que le quart de l'âge possible en cas de bonnes conditions de croissance^{A4.2}. Le changement climatique continue de mettre les arbres à rude épreuve. Pour choisir l'essence appropriée dans les lotissements, il faudrait donc tenir compte de la tolérance à l'égard des différents facteurs de stress tels que la sécheresse, la charge en polluants ou la salinité. Les organismes nuisibles de plus en plus nombreux menacent sensiblement l'aptitude au vieillissement de certaines essences. Il est donc néces-

Fig. 38 : Efficacité des arbres dans l'espace urbain, simulation avec ASMUS : l'après-midi à Munich



saire d'améliorer les conditions de vie des arbres dans l'espace routier par le biais d'optimisations ciblées des sites, en élargissant par exemple la place disponible pour les racines, ou de mesures d'entretien comme l'irrigation ou le renoncement au sel de déneigement.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

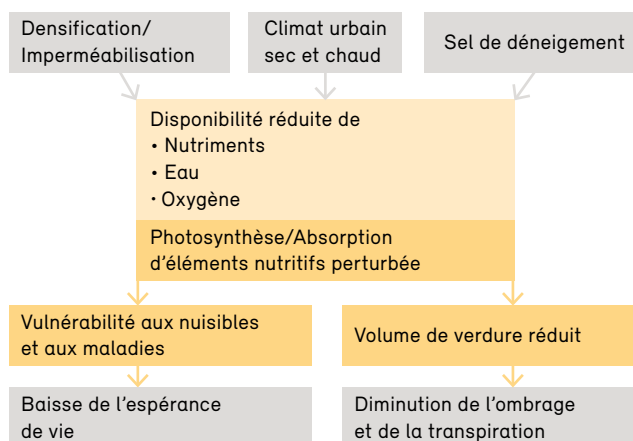
- Facteurs de stress pour les arbres (chaleur, organismes nuisibles, sel de déneigement, etc.) et choix d'essences et de variétés d'arbres robustes (voir aussi annexe A4) (D)
- Charge d'entretien croissante (irrigation, lutte contre les nuisibles, etc.) (D)
- Besoin en eau en cas de sécheresse ou d'éventuel manque d'eau (C)
- Place pour les plantations d'arbres dans l'espace routier (couronne, périmètre des racines et mise en œuvre de stratégies d'irrigation) (D)
- Allergies croissantes au pollen de certaines essences au sein de la population (D)
- Concurrence au niveau des surfaces (p. ex., parcage) (C)
- Éviter les arbres comme obstacle aux courants (D, C)
- Assombrissement indésirable des étages inférieurs des bâtiments (C)

Montréal, Grand Lyon et propositions en Suisse : les arbres ont des effets multiples

Dans son Plan d'adaptation aux changements climatiques^{A3.37}, l'agglomération de Montréal a analysé les dangers à venir et défini des mesures. En matière de fortes chaleurs, elle a identifié un déficit de surfaces ombragées par des arbres. Le Plan d'action canopée^{A3.38} vise à augmenter le taux d'ombrage de 20,7 (2012) à 25 % (2021), ce qui correspond à 300 000 nouveaux arbres que les acteurs publics, institutionnels et privés plantent ensemble.

Avec sa Charte de l'arbre^{A3.32}, le Grand Lyon a rédigé un guide étendu sur la gestion des arbres dans l'espace urbain. Huit principes décrivent la gestion actuelle et future de ces arbres – des conditions du site à la diversité des essences et à la recherche en innovation.

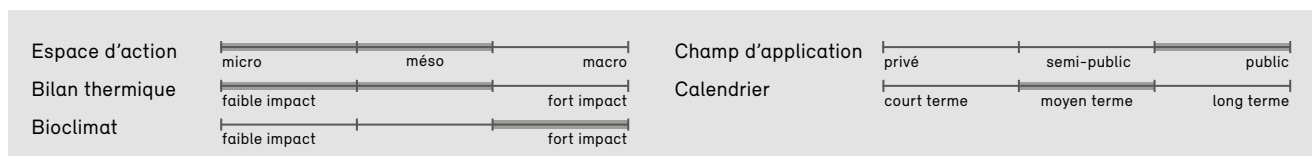
Fig. 39: « Urban Green & Climate » définit les facteurs environnementaux urbains et les conséquences qui en découlent pour les arbres en milieu urbain



La Suisse examine aussi activement ces questions : le projet pilote « Urban Green & Climate »^{A4.1} de la HES de Berne étudie les futures conditions locales et climatiques pour les arbres en Suisse et en déduit des essences appropriées (Fig. 39).

Les mises en œuvre concrètes ne sont en général pas suscitées par l'adaptation aux changements climatiques, mais c'est précisément dans ces circonstances que des synergies se créent : la construction de conduites industrielles est à l'origine de la rénovation complète du quartier de Hirschmatt à Lucerne. Le projet poursuivait toutefois aussi l'objectif d'augmenter la qualité de vie et le confort thermique dans le quartier. Il était nécessaire d'abattre des arbres – mais il a été possible d'augmenter globalement leur nombre (Fig. 40).

Fig. 40: Plantations de remplacement et nouvelles plantations dans le quartier de Hirschmatt, Lucerne



M 1.5 Préserver et aménager des aires de verdure et des arbustes dans les espaces routiers

Principes de planification



Principes d'urbanisme



Mesures locales correspondantes



Synergies



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

Les espaces routiers sont souvent les seuls endroits dans l'espace urbain où les pouvoirs publics disposent au fond d'une marge de manœuvre. En plus des arbres, les aires de verdure contribuent ici aussi à la réduction de la chaleur. C'est pourquoi les surfaces disponibles devraient être systématiquement utilisées pour la végétation de différentes formes et hauteurs dans l'espace routier.

Les aires de verdure disparaissent le plus souvent en cas de densification de l'espace urbain. C'est pourtant le contraire qui s'impose d'un point de vue bioclimatique : dans l'espace routier pollué, une part aussi grande que possible de zones vertes est nécessaire pour la régulation thermique et l'amélioration de la qualité de l'air. Les communes ont des possibilités d'influence. Des espaces routiers végétalisés sont plus intéressants pour les piétons et contribuent à réduire le degré d'imperméabilisation et à augmenter le refroidissement par évaporation. Les aires de verdure et les arbustes peuvent être combinés avec les arbres existants, ce qui garantit un effet bioclimatique optimal grâce à une évapotranspiration et un ombrage accrus. Si l'espace à disposition est faible, il est possible d'utiliser des systèmes de végétalisation verticaux.

Des synergies se créent entre l'utilisation mixte des aires de verdure et la gestion des eaux de pluie. De plus, les polluants atmosphériques dus au trafic sont filtrés dans une certaine mesure par la végétation. La mise en relation des zones vertes dans l'espace routier permet de créer des espaces de compensation localement efficaces en termes d'écologie climatique.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Facteurs de stress pour les arbres (chaleur, organismes nuisibles, sel de déneigement, etc.) et utilisation d'essences et de variétés robustes (D)
- Éviter la végétation comme obstacle aux courants (D)
- Charge d'entretien croissante (irrigation, lutte contre les nuisibles, etc.) (D)
- Concurrence au niveau des surfaces (p. ex., parcage) (C)

Rue Garibaldi à Lyon et Østerbro à Copenhague : des projets à valeur d'exemple pour de futurs réaménagements

La rue Garibaldi^{A3.31}, au cœur de la métropole de Lyon, était une route de transit à fort trafic, uniquement orientée vers les exigences du flux de circulation, avec des passages souterrains et des constructions correspondantes. Elle comprenait jusqu'à huit voies, sans compter les places de stationnement, et était un espace urbain presque totalement imperméable. Dans le cadre d'une nouvelle conception des transports, la route a pu être transformée en un boulevard qui tient compte des exigences du trafic tout en offrant un grand confort thermique : des bandes de verdure continues ont été aménagées, qui, en plus des arbres, comportent une riche végétation herbeuse et arbustive (Fig. 41).

Dans le quartier climatique d'Østerbro^{A3.27} à Copenhague, des surfaces de l'espace routier sont transformées avec soin en petits espaces verts par les habitants : en plus d'un meilleur confort climatique, cette participation et cet entretien donnent une nouvelle identité et une responsabilité à la population concernant l'espace public (Fig. 42 et 43).

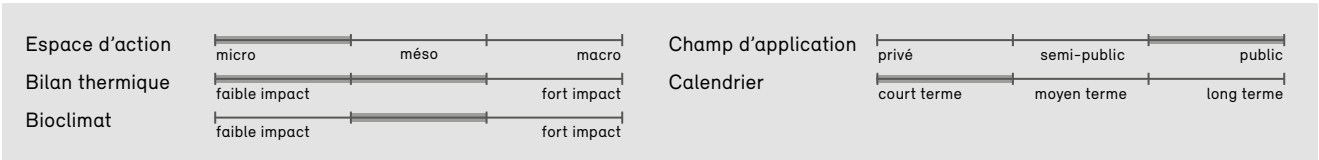
Figure 41
Nouvelles bandes de verdure dans la rue Garibaldi, Lyon



Figure 42
Îlot central végétalisé à Østerbro, Copenhague



Figure 43
Surface résiduelle devenue aire de verdure – zone d'accès à un bâtiment à Østerbro



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



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

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

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

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

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

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

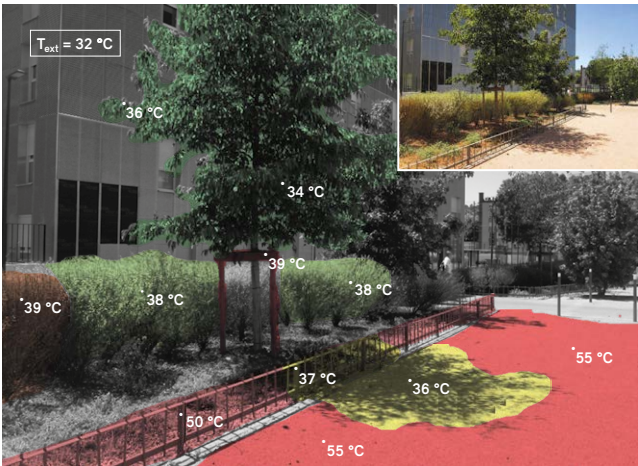
- Facteurs de stress pour les arbres (chaleur, organismes nuisibles, sel de déneigement, etc.) et choix d'essences et de variétés d'arbres robustes (voir aussi annexe A4) (D)
- Charge d'entretien croissante (irrigation, lutte contre les nuisibles, etc.) (D)
- Dégager les issues de secours et de sauvetage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

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

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

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

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



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

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

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

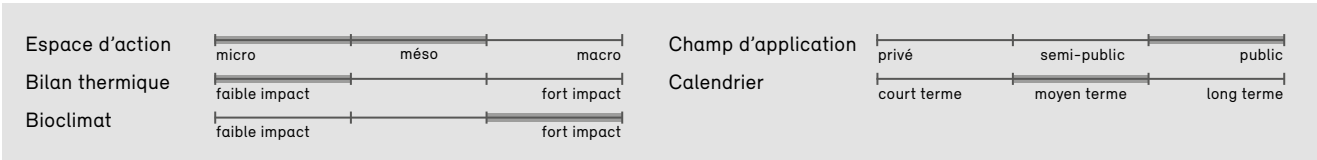
Fig. 45 : Large bande de verdure et nouveaux arbres à Karlsruhe



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



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



M 1.7 Végétaliser les infrastructures de transport et les ombrager avec des arbres

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Les voies ferrées peuvent être transformées en artères vertes et les parkings, où l'élément minéral est omniprésent, en nouvelles surfaces de régulation thermique. Le transfert sous terre des routes et des lignes ferroviaires ou leur mise en tranchée couverte permettent çà et là de créer des aires de verdure efficaces sur le plan de l'écologie climatique en milieu urbain.

La végétalisation de voies ferrées ou de places de stationnement et leur ombrage avec des arbres réduisent le réchauffement du sol et, partant, le rayonnement thermique. Avec le refroidissement supplémentaire par évapotranspiration, la végétalisation contribue à améliorer la situation bioclimatique dans l'espace urbain (Fig. 48). Tandis que les voies ferrées couvertes de ballast sombre présentent l'été des températures de surface supérieures à 50 °C, la végétation n'atteint que 25 à 30 °C^{A4.53}. Les routes larges à grande circulation ou les lignes de chemin de fer tendent en particulier à une chaleur excessive. Si elles sont enterrées ou mises en tranchées couvertes,

cela donne de nouveaux espaces qui peuvent contrer la chaleur. Des espaces de délasserment et des chemins sont créés pour la population, qui, le jour, font office de *cool spots* et, la nuit, de surfaces de production d'air froid et de couloirs d'air frais.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

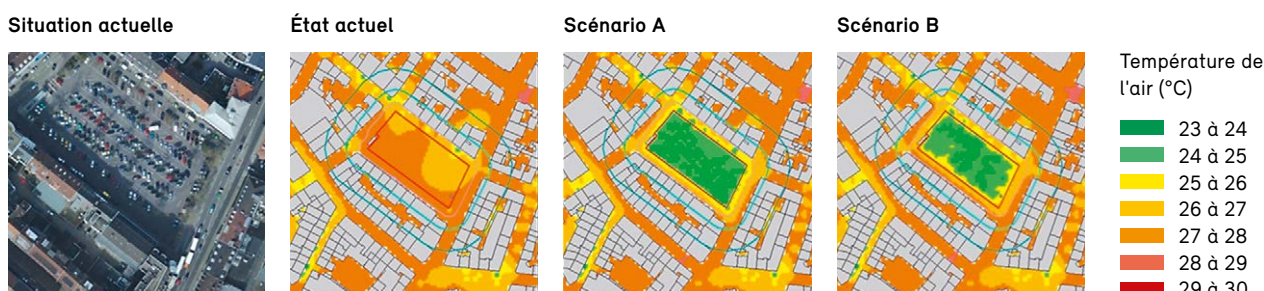
- Facteurs de stress pour les plantes dans l'environnement en surchauffe (D)
- Concentration de polluants accrue de manière ponctuelle à la sortie des tunnels et des cheminées d'évacuation (D, C)
- Éviter les obstacles d'écoulement (D, C)

Tracé du tram de la Glattalbahn, couverture de l'A7 à Hambourg et mise en tranchée couverte à Schwamendingen : l'infrastructure verdit

De longues voies ferrées végétalisées ont un impact positif sur le paysage urbain, les courants d'air froid et la situation thermique dans le milieu urbain. Des tracés

Figure 48

Comparaison de l'impact de deux scénarios de végétalisation avec un nombre d'arbres différent à la Beethovenplatz à Sarrebruck (résultats modélisés pour l'après-midi)



verts exemplaires ont par exemple été réalisés pour la Glattalbahn^{A4.50} dans le canton de Zurich (Fig. 49).

À l'ouest de Hambourg et à Zurich Schwamendingen, deux projets de transport exemplaires à l'échelle européenne sont en train de voir le jour : de nouveaux *cool spots* sont créés dans le cadre de l'élargissement de l'autoroute A7 par le biais de tunnels^{A3.15} et de la mise en tranchée couverte de l'A1 (« Überlandpark »)^{A4.51}. Ces deux projets prévoient une végétalisation des infrastructures qui, grâce aux nouvelles aires de verdure, améliore la qualité de vie et réduit la chaleur (Fig. 50 et 51).

Figure 49
Le tracé de la Glattalbahn est végétalisé et ombragé par des arbres



Figure 50
Couverture prévue de l'A7, vue du tronçon Schnelsen



Figure 51
Mise en tranchée couverte prévue de l'Überlandpark à Schwamendingen, visualisation



Espace d'action	micro	méso	macro
Bilan thermique	faible impact		fort impact
Bioclimat	faible impact		fort impact
Champ d'application	privé	semi-public	public
Calendrier	court terme	moyen terme	long terme

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



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

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

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

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

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

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

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

- Protection contre les crues (D)

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

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

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

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

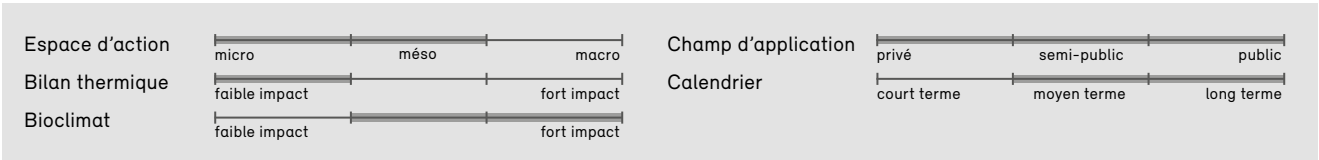
Figure 52
Ville de Siegen : parkings sur la rivière, projet et accès aux berges après la revalorisation



Figure 53
Nouveau lac dans l'Opfikerpark



Figure 54
Miroir d'eau rafraîchissant devant la Bourse à Bordeaux



M 2.2 Faire de l'eau une source d'expérience

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

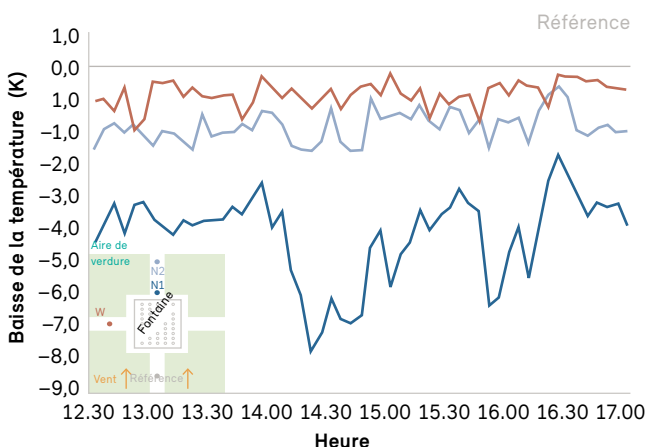
Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Les aménagements d'eau contribuent à améliorer la situation thermique dans l'espace urbain, en particulier les jours de canicule. Le bien-être de la population est encore renforcé par l'expérience directe de l'eau.

Des eaux accessibles et sources d'expérience, comme les fontaines, les jeux d'eau et les piscines en plein air, permettent à la population de se rafraîchir les jours de canicule. Parfois, il est aussi possible de concrétiser des éléments aquatiques lorsque des espaces verts ne sont pas réalisables, par exemple sur des places dont le sous-sol est construit. Il est important que l'eau soit bien accessible et tangible. Quand la peau est aspergée d'eau, le film qui en résulte s'évapore rapidement, ce qui provoque un rafraîchissement agréable. L'eau potable disponible dans l'espace public augmente aussi le confort thermique.

Fig. 55: Effet rafraîchissant d'une fontaine en différents emplacements et en fonction de la direction du vent (mesure à une hauteur de 1,5 m)



Au-delà de l'expérience, nombre d'aménagements d'eau ont aussi un effet de réduction de la chaleur sur les environs : l'évaporation prélève de l'énergie, sous forme de chaleur, à l'air ambiant. La température de l'air diminue. L'eau vive agrandit la surface d'évaporation, si bien qu'il est possible d'obtenir localement un plus grand rafraîchissement que pour les eaux stagnantes. L'effet rafraîchissant d'une fontaine jaillissante peut être ressenti à une distance jusqu'à dix fois supérieure à la hauteur de la fontaine^{A4.82}. Le rafraîchissement est le plus fort dans la direction du vent (Fig. 55).

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Respect des prescriptions d'hygiène (fontaines, jeux d'eau) (D)
- Coûts de construction et d'entretien des installations (D)
- Risque de glissade dû au film d'eau sur les revêtements (D)
- Concurrence en matière d'affectation pour les grands projets (D, C)
- Diminution des réserves d'eau en période de sécheresse (D)

Heidelberg-Rohbach, Île-de-la-Suze à Bienne, remise à ciel ouvert d'un ruisseau à Zurich et fontaine à Vienne : les villes encouragent l'expérience de l'eau

Une simulation à l'aide du modèle à micro-échelle ASMUS_Green a été réalisée pour aménager la réaffectation d'une surface dans le quartier de Rohbach à Heidelberg^{A3.17}. Elle a encore permis de vérifier l'effet de plusieurs mesures en cours de planification, à l'instar d'une fontaine : l'effet rafraîchissant pouvait atteindre jusqu'à 1 °C environ à une distance de quelques mètres et 0,5 °C à une distance d'environ quinze mètres (Fig. 56).

À Bienne, l'occasion s'est présentée, dans le cadre de vastes mesures de développement urbain, de repenser la surface jusqu'ici inaccessible entre la Suze et le canal Stebler et d'aménager un parc public attractif (Fig. 57). Avec ses espaces ouverts, groupes d'arbres, places de jeux, bosquets et petites aires forestières, le parc de l'Île-de-la-Suze^{A4.86} crée des bioclimats très différents tout en établissant un accès à l'eau en de nombreux endroits. Des berges diversement aménagées invitent aux jeux aquatiques et offrent régulation thermique et rafraîchissement pendant les épisodes caniculaires.

Dans le cadre d'une stratégie dédiée aux ruisseaux, la ville de Zurich a ouvert nombre de cours d'eau et les a rendus tangibles, à l'instar du Nebelbach dans un espace routier très minéral (Fig. 58). Sur la place du Sechseläuten, les arbres ne sont plantés et ne donnent de l'ombre qu'à la périphérie en raison des manifestations et des constructions souterraines. Un jeu d'eau veille à la fraîcheur (Fig. 59).

Vienne s'attaque à la régulation thermique et à la prévention de la santé dans l'espace public ouvert par le biais du programme « Trink Wasser! » (Fig. 60). La ville exploite plus de 900 fontaines d'eau potable, principalement dans des lieux très fréquentés comme les carrefours, les aires de jeux ou les parcs, ce qui augmente le confort thermique dans l'espace ouvert.

Fig. 56: Analyse d'impact d'un étang et d'une fontaine dans le quartier de Rohbach à Heidelberg

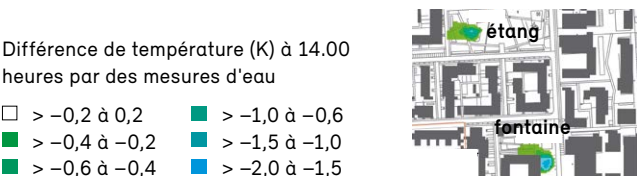


Fig. 57: Accès à l'eau – parc de l'Île-de-la-Suze à Bienne



Fig. 58: Petite et raffinée – l'ouverture du Nebelbach à Zurich



Fig. 59: Jouer et se rafraîchir – la place du Sechseläuten à Zurich



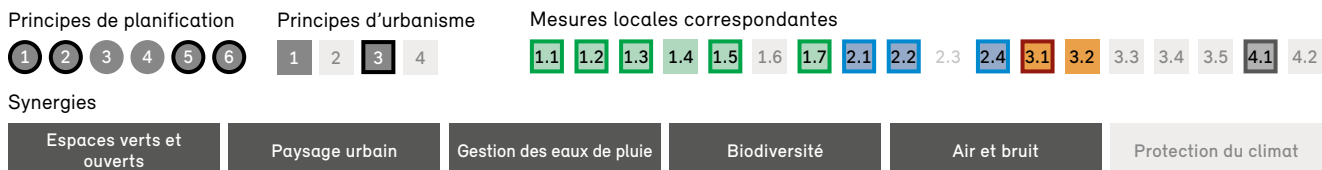
Fig. 60: Fontaine « Trink Wasser! » à Vienne



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

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

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



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

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

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

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

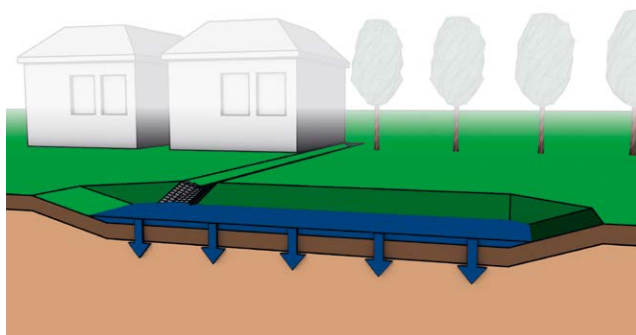
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

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

Figure 61

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



© Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH

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

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

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

Figure 62
Dépression à Sathonay – « tradition de l’infiltration »



Figure 63
Infiltration des eaux de pluie à côté du chemin pour piétons et de la route à Berlin-Adlershof

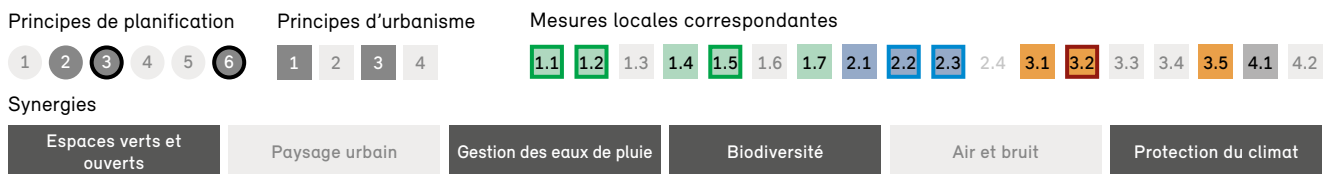


Figure 64
Rétention et infiltration lente à Adlershof



Espace d'action	micro	méso	macro	Champ d'application	privé	semi-public	public
Bilan thermique	faible impact		fort impact	Calendrier	court terme	moyen terme	long terme
Bioclimat	faible impact		fort impact				

M 2.4 Installer une irrigation innovante



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

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

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

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

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

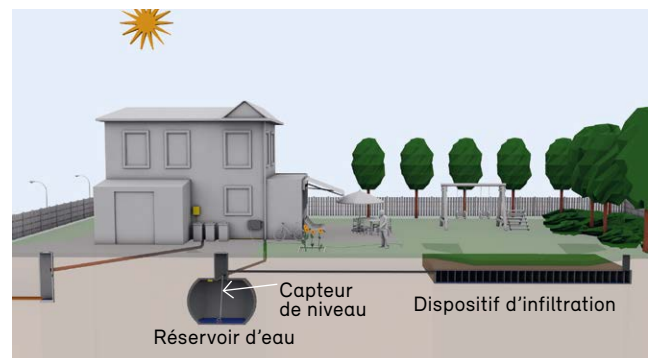
Les stratégies d'irrigation à l'eau de pluie réduisent la consommation onéreuse d'eau potable.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

Figure 65

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



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

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

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

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

Figure 66
Stratégie d'utilisation des eaux de pluie à des fins d'irrigation et comme eaux d'exploitation dans le guide KURAS

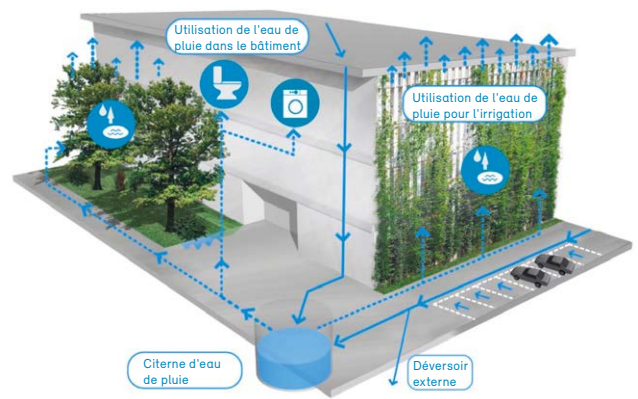
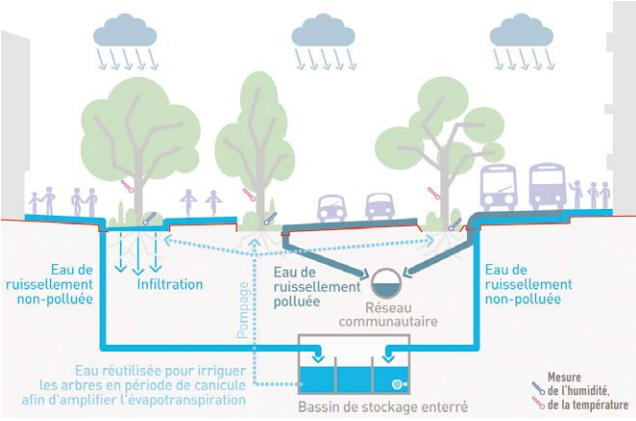


Figure 67
Système de stockage et d'irrigation, rue Garibaldi à Lyon



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

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

M 3.1 Végétaliser les toits

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

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

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

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

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

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

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

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

Figure 68

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

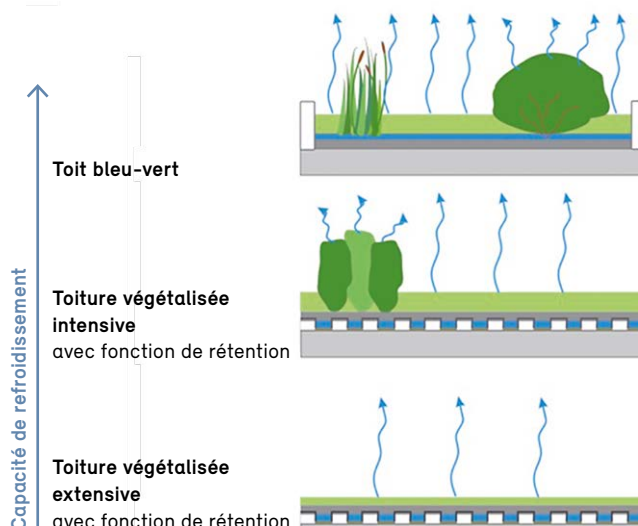


Figure 69

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



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

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

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

Figure 70

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



Figure 71

La ville de Lausanne subventionne les toitures végétalisées



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

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

M 3.2 Végétaliser les façades

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

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

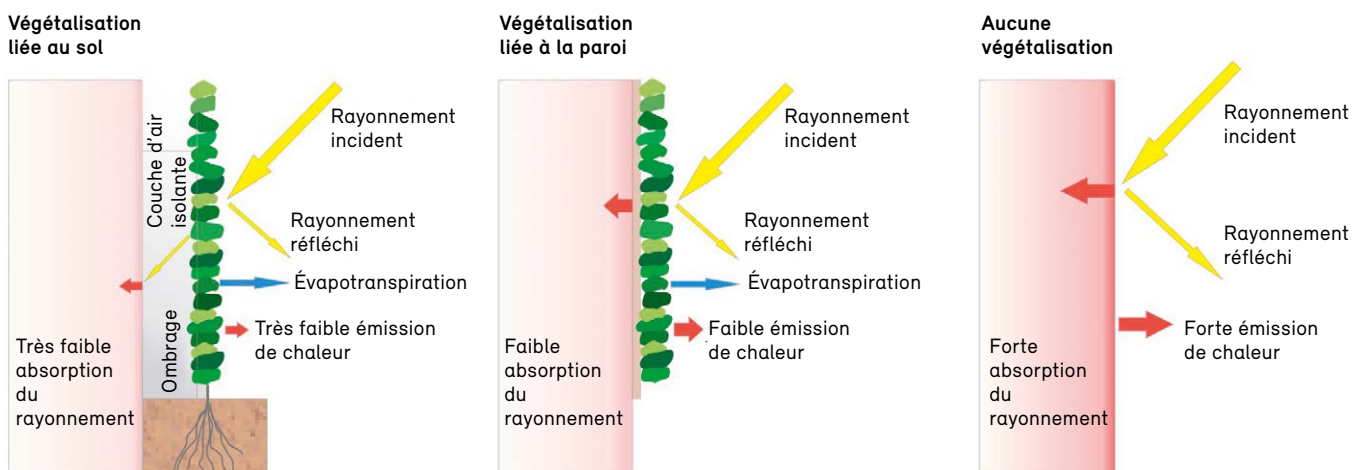
La végétalisation des façades peut se faire par la terre ou les parois (système). La végétalisation depuis la terre est relativement facile d'entretien. Les plantes grimpantes ont directement leurs racines dans le sol et peuvent aussi bien pousser en s'agrippant à la façade qu'à des structures ou à des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

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

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

Figure 72

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



Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

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

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

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

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

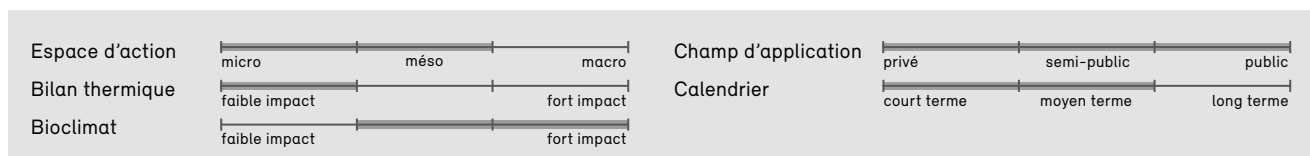
Fig. 73 : Façade végétalisée du «48er-Gebäude» à Vienne



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



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



M 3.3 Ombrager les bâtiments avec des arbres

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Le refroidissement des bâtiments ne doit pas uniquement se faire par le biais de mesures architecturales. L'ombrage des arbres peut aussi diminuer le réchauffement des corps de construction.

Les arbres, les arbustes de haute taille ou les haies projettent leur ombre, qui varie selon la saison et le moment de la journée, temporairement sur le bâtiment en fonction de l'emplacement. L'ombre permet de contrer la chaleur excessive des bâtiments. En principe, tous les feuillus suffisamment hauts et adaptés au site conviennent pour l'ombrage (Fig. 76). Les feuillus et les conifères à feuilles persistantes sont en revanche moins adaptés, car l'hiver, ils empêchent le réchauffement souhaité des rayons du soleil pendant la période de chauffage.

L'été, lorsque l'angle d'incidence des rayons du soleil est le plus grand sur l'ensemble de l'année et que les arbres sont couverts de feuilles, leur projection d'ombre diminue le rayonnement incident à ondes courtes sur le bâtiment. Par conséquent, les ondes du rayonnement thermique émis dans l'espace urbain sont moins longues et le flux de chaleur vers l'intérieur du bâtiment est plus faible. En principe, l'effet est le plus important sur les façades exposées au sud et à l'ouest, mais l'ombrage des parties du bâtiment exposées au nord peut aussi être judicieux en raison du rayonnement diffus dans l'espace urbain. En plus de la projection d'ombre, les structures de verdure ont une capacité d'évapotranspiration, qui prélève de la chaleur à l'air ambiant.

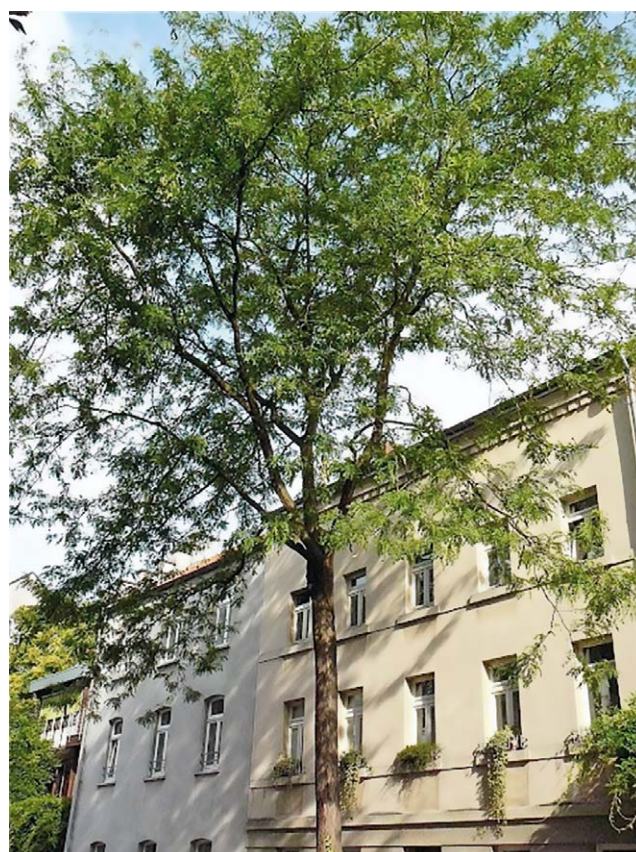
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Place pour la zone d'enracinement et la couronne des arbres (D)

- Facteurs de stress pour les arbres (chaleur, organismes nuisibles, sel de déneigement, etc.) et choix d'essences et de variétés d'arbres robustes (voir aussi annexe A4) (D)
- Charge d'entretien croissante (irrigation, lutte contre les nuisibles, etc.) (D)
- Allergies croissantes au pollen de certaines essences au sein de la population (D)
- Concurrence au niveau des surfaces (D, C)

Figure 76

L'été, les arbres donnent de l'ombre à la façade exposée au soleil – un exemple à Cologne

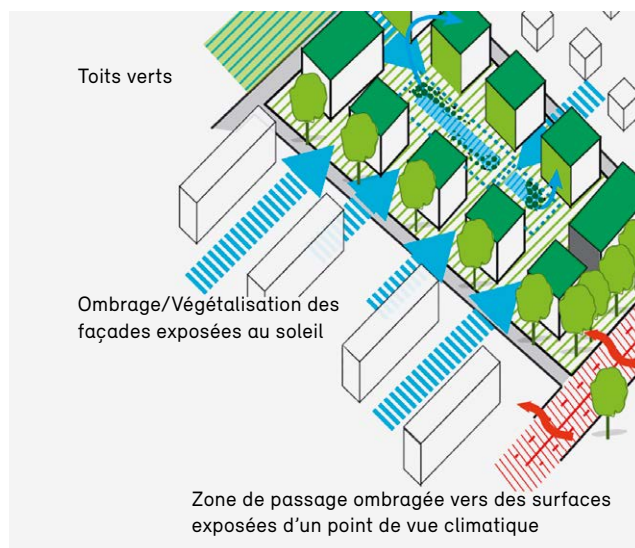


L'ombrage dans le plan de développement urbain pour le climat, Berlin

Les deux plans de développement urbain StEP Klima KONKRET^{A3.1} et StEP Klima^{A3.2} sont des guides d'adaptation urbaine aux changements climatiques. La préservation et la plantation d'arbres dans l'espace urbain y sont identifiées comme une mesure centrale en raison de leur effet ombrageant. Le plan StEP Klima KONKRET mentionne onze stratégies clés d'adaptation aux changements climatiques, dont l'ombrage et la végétalisation. Il donne des recommandations de planification sur des éléments de végétalisation et d'ombrage pour plusieurs types de structures urbaines et de surfaces à Berlin. Pour tous les quartiers résidentiels, indépendamment du type de construction, il recommande d'ombrager les façades exposées au soleil avec des arbres si l'espace le permet (Fig. 77).

Figure 77

Possibilités d'ombrage dans les nouveaux immeubles selon le plan StEP Klima Berlin



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

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

M 3.4 Concrétiser la protection thermique des bâtiments en été

Principes de planification	Principes d'urbanisme	Mesures locales correspondantes
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4	1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2
Synergies		
Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie
		Biodiversité
		Air et bruit
		Protection du climat

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

De nombreuses personnes passent la plus grande partie de la journée dans des espaces fermés. En été, la protection thermique des bâtiments comprend une large palette de mesures qui peuvent améliorer le confort thermique dans les logements et sur le lieu de travail.

En été, la protection thermique des bâtiments cherche à exploiter globalement les potentiels de refroidissement des différents éléments de construction. Les éléments principaux sont les façades, le toit ainsi que les surfaces vitrées et les fenêtres. Les propriétés d'isolation thermique de la façade et du toit dépendent en premier lieu des capacités et des conductivités thermiques spécifiques des matériaux de construction utilisés, des matériaux isolants et de l'épaisseur des murs.

Des éléments de protection solaire extérieurs tels que des marquises, des jalousies, des volets ou des surplombs peuvent être fixés au bâtiment (Fig. 78). Mais les éléments flexibles doivent être actionnés au bon moment pour déployer leur effet. Il est aussi possible d'utiliser des vitrages de protection solaire réfléchissants ou absorbants. Toutes les mesures de construction visent à ce que le rayonnement solaire direct ou diffus qui entre dans le bâtiment soit aussi minime que possible. Une protection solaire peut donc être judicieuse aussi bien sur la face sud et sud-ouest, mais aussi sur toutes les façades et fenêtres. Les techniques de vitrage actuelles permettent une grande transparence tout en réduisant l'échange énergétique global^{A4.10}.

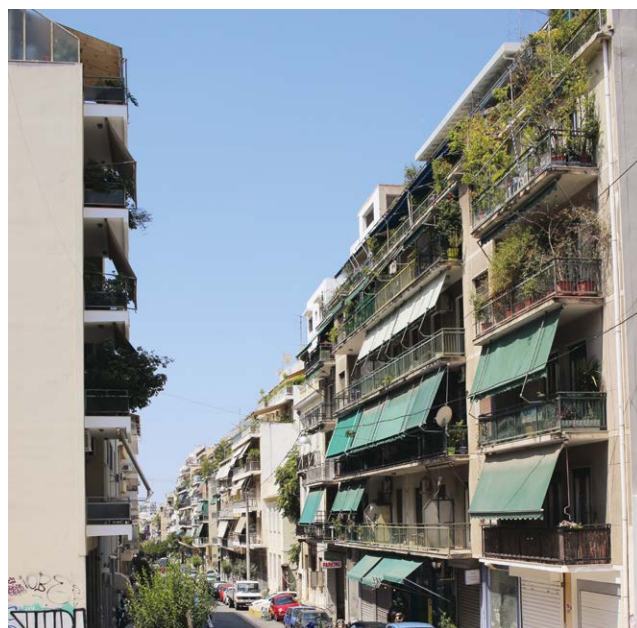
Dans l'ensemble, les évaluations basées sur des mesures ou des modélisations en sont encore à leurs débuts pour les mesures portant sur l'espace intérieur des bâtiments.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur les constructions sur terrain privé (D)
- Apport réduit de chaleur solaire à l'intérieur des bâtiments l'hiver (D, C)
- Protection des monuments historiques (C)

Figure 78

Protection thermique sur des balcons à Athènes



Espace d'action	micro méso macro	Champ d'application	privé semi-public public
Bilan thermique	faible impact fort impact	Calendrier	court terme moyen terme long terme
Bioclimat	faible impact fort impact		

M 3.5 Rénover énergétiquement les bâtiments et les refroidir dans le respect du climat

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Le choix des matériaux de construction avec une faible capacité thermique et le recours à l'isolation des bâtiments ont un impact positif l'été aussi bien sur le climat extérieur qu'intérieur.

Outre le choix de matériaux adéquats pour les nouvelles constructions, il est possible de rénover les bâtiments existants pour réguler la chaleur. S'agissant de la façade, les matériaux naturels tels que le bois ou la pierre naturelle sont préférables au béton, à l'acier ou au verre, car les premiers présentent une plus faible capacité thermique. Ils se réchauffent moins pendant la journée et dégagent donc moins de chaleur la nuit. Plus la peinture et la couleur du matériau sont claires, plus la part du rayonnement solaire absorbé est faible.

La rénovation énergétique (ou thermique) désigne la modernisation d'un bâtiment afin de minimiser la consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'eau chaude et la ventilation. L'isolation des parois extérieures et du toit de même que la rénovation des fenêtres sont des mesures de régulation thermique. Les mesures de rénovation permettent de perdre moins de chaleur vers l'extérieur l'hiver (Fig. 79) tandis que l'été, il est possible de réduire le transfert de chaleur vers l'intérieur du bâtiment et, ainsi, la concentration de chaleur.

Les mauvaises constructions sur le plan énergétique utilisent souvent des climatisations pour refroidir les espaces intérieurs, qui rejettent à leur tour de la chaleur dans l'environnement et contribuent aux fortes chaleurs. L'installation d'une climatisation ne peut être une mesure de rénovation durable que si l'on recourt à des solutions respectueuses du climat et de l'environnement, telles que la récupération du froid ou l'utilisation des eaux pluviales à des fins de refroidissement.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Influence sur les constructions sur terrain privé (D)
- Protection des monuments historiques (C)

Figure 79

Bilan thermique : façade assainie (à droite) et non assainie



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

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

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

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts

Paysage urbain

Gestion des eaux de pluie

Biodiversité

Air et bruit

Protection du climat

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












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

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

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

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

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

Toit	 Goudron et gravillon 0,03 – 0,18	 Tôle ondulée 0,10 – 0,15	 Tuiles 0,10 – 0,35	 Toit fortement réfléchissant 0,60 – 0,70
Mur	 Mur en couleurs 0,15 – 0,35	 Brique/Pierre naturelle 0,20 – 0,40	 Mur blanc 0,50 – 0,90	
Sol	 Asphalte 0,05 – 0,20	 Béton 0,10 – 0,35	 Herbe 0,25 – 0,30	 Arbres 0,15 – 0,18

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

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

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

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

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

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

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

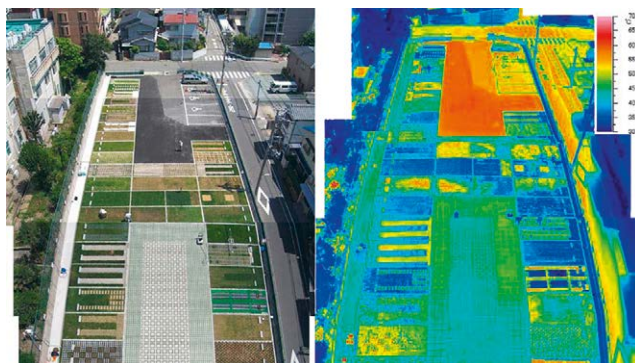


Fig. 82 : Repeindre une rue avec un enduit réfléchissant permet de réduire la chaleur qu'elle restitue – Le projet pilote « Cool Pavement » à Los Angeles



Fig. 83 : Projet pilote ACCLIMATASION à Sion

Désimperméabilisation et conception superficielle adaptée au climat – l'Espace des Remparts avant et après la transformation.



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

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

M 4.2 Autres solutions pour rafraîchir les espaces ouverts

Principes de planification

1 2 3 4 5 6

Principes d'urbanisme

1 2 3 4

Mesures locales correspondantes

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 4.1 4.2

Synergies

Espaces verts et ouverts	Paysage urbain	Gestion des eaux de pluie	Biodiversité	Air et bruit	Protection du climat
--------------------------	----------------	---------------------------	--------------	--------------	----------------------

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

Lorsque des structures de verdure ne peuvent pas être utilisées pour rafraîchir les environs en raison d'une concurrence au niveau des surfaces ou d'autres obstacles, des solutions techniques offrent une alternative pour ombrager et refroidir les espaces ouverts.

Nombre de mesures individuelles entrent dans les solutions techniques. Elles peuvent être classées sommairement en éléments d'ombrage (pergolas, toits aériens, pavillons, toiles solaires, etc.) et en techniques liées à l'eau (p.ex. installations de brumisation ou irrigation de la chaussée). Cette large palette permet de réagir de manière flexible à la situation et aux restrictions correspondantes. Pour une utilisation temporaire, par exemple pendant des manifestations, des dispositifs techniques mobiles peuvent être une bonne variante (Fig. 84 et 85).

Fig. 84 : Ombrage créatif dans la station thermale polonaise de Bad Polzin



Fig. 85 : Voiles d'ombrage artistiques temporaires au-dessus du Münsterhof à Zurich pendant l'été 2017



Les différentes mesures techniques visent l'ombrage ou le refroidissement par évaporation. En raison de ce mode d'action unidimensionnel, il faudrait toujours privilégier d'un point de vue climatique, dans la mesure du possible, des structures de verdure aux solutions techniques.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Échange d'air vertical réduit du fait des éléments d'ombrage (D, C)
- Exigences relatives au site et à l'aménagement du fait du paysage urbain et de la protection des monuments historiques ou d'ensemble (D, C)
- Consommation d'eau accrue (C)

« L'Ombrière » à Marseille, rue de la Buire à Lyon et « City Tree » : des solutions particulières, fonctionnelles et esthétiques

Des solutions architecturales et techniques remarquables nous viennent de France pour réduire la concentration de chaleur :

Au Vieux Port de Marseille, des mesures de végétalisation ne sont pas envisageables, notamment parce qu'il s'agit d'un site classé. Pour réguler la chaleur, la ville a installé l'«Ombrière»^{A3.36}, un objet d'art d'un genre particulier que l'on ne remarque presque pas, bien qu'il projette une ombre massive. L'Ombrière est un plafond miroir géant soutenu par des supports filigranes. Il ombrage et offre des perspectives intéressantes d'images connues par un jeu de miroirs. Même si elle est un «corps étranger» d'énorme dimension, l'Ombrière s'intègre parfaitement dans l'ensemble et invite à passer du temps dans la fraîcheur ou à l'abri de la pluie (Fig. 86).

Dans la rue de la Buire^{A3.31}, la ville de Lyon expérimente avec succès un système de refroidissement pour les surfaces d'asphalte surchauffées. La chaussée est mouillée par le biais de buses installées dans la bordure du trottoir avec de l'eau de pluie stockée dans le parc de la Buire voisin. L'effet de refroidissement mesuré à la surface est très élevé, jusqu'à 8 °C, et l'effet au niveau des piétons (0,5 °C) est encore nettement mesurable et perceptible (Fig. 87 et 88).

Une solution technique innovante, mais onéreuse, quand les plantations d'arbres ne sont pas envisageables, est par exemple testée par les CFF pour végétaliser les gares : la paroi végétale autonome «City Tree»^{A4.66} produit, sur une surface de 3 m², l'effet purificateur de 275 arbres. Ce faisant, elle refroidit les environs et augmente le confort thermique (Fig. 89).

Fig. 86 : L'Ombrière à Marseille



Fig. 87 : La rue de la Buire à Lyon



Fig. 88 : Parc de la Buire und Temperatursensor in der Rue de la Buire

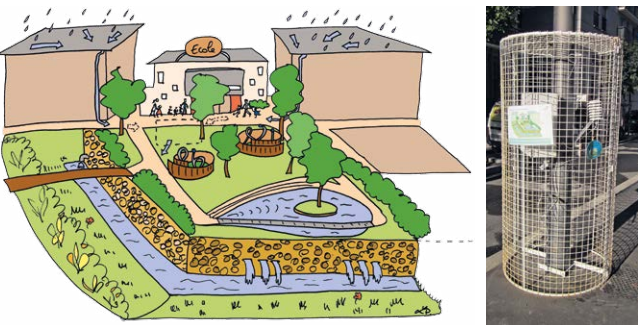


Fig. 89 : Un «City Tree» à la gare de Zurich-Altstetten pendant l'été 2017



Espace d'action	micro	méso	macro
Bilan thermique	faible impact		fort impact
Bioclimat	faible impact		fort impact
Champ d'application	privé	semi-public	public
Calendrier	court terme	moyen terme	long terme

MP Mesures processuelles

La réduction de la concentration de chaleur constitue une tâche transversale qui présente de grands potentiels de synergie. Les procédures administratives internes, les processus de planification, la prise en compte des parties prenantes, le conseil et la sensibilisation y sont donc d'une grande importance.

MP 1 Optimiser les processus et la planification intégrée au sein de l'administration

MP 1.1 Désigner un centre de coordination sur le thème transversal de la régulation thermique, clarifier les responsabilités et mettre tous les acteurs en relation

Une approche intégrée s'impose si l'on veut faire de la régulation thermique un thème transversal pluridisciplinaire axé sur les opportunités et si l'on veut exploiter les synergies en découlant. Le développement urbain, l'aménagement des espaces ouverts et l'économie des eaux jouent ici un rôle central. Désignez un service responsable prêt à s'engager et définissez les compétences. Le travail au sein d'équipes de projet interdisciplinaires aide à faire comprendre les enjeux d'une urbanisation adaptée aux changements climatiques et crée les compétences nécessaires. Une culture administrative ouverte et une acceptation politique sont des conditions préalables importantes. Influencez-les et façonnez-les par le biais de processus internes.

MP 1.2 Intégrer les objectifs d'adaptation aux changements climatiques dans les processus de planification à tous les niveaux

Définissez les objectifs d'adaptation aux fortes chaleurs. Abordez-les de manière adaptée aux différents niveaux de planification pour favoriser une compréhension commune au sein de l'administration et avec les partenaires de planification.

MP 1.3 Développer des instruments formels et informels et les appliquer systématiquement

Définissez des exigences qualitatives et quantitatives, telles la part d'espaces verts ou de surfaces imperméabilisées ou l'affectation de la compensation de la plus-value, dans les instruments formels de l'aménagement du territoire en veillant à ce qu'elles soient aussi contraignantes que possible. Des stratégies de développement et des recommandations concrètes à l'intention des propriétaires fonciers privés soutiennent efficacement l'objectif de la régulation thermique. Soyez conséquents dans la mise en œuvre et faites preuve d'opportunisme, en veillant en particulier à ce que les projets du secteur public aient valeur d'exemples (chap. 9).

MP 1.4 Identifier et utiliser les projets collaboratifs et les processus créant des synergies

Les synergies avec des planifications spécifiques offrent de grandes opportunités et peuvent être utilisées efficacement pour l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre d'une collaboration intégrée et précoce. Abordez aussi les éventuels conflits d'objectifs relatifs aux exigences en matière de qualité ou de surfaces dans le processus de planification et prenez des décisions transparentes. Planifiez ensemble des infrastructures «vertes, grises et bleues», car elles offrent une plus-value. La régulation thermique ne doit pas représenter une tâche supplémentaire. Parlez des gains de synergie!

MP 1.5 Ancrage politique et prise en compte des décideurs

Introduisez la thématique de la régulation thermique au plus haut niveau politique possible, par exemple dans les programmes de législature ou les programmes prioritaires. Les personnalités politiques qui défendent le sujet peuvent jouer un rôle moteur. Mais le thème de la régulation thermique peut aussi être mis en place par l'administration, dans le cadre d'une approche de bas en haut. Sollicitez l'adhésion des décideurs!

MP 2 Encourager les planifications coopératives et participatives

MP 2.1 Planifier des projets avec les propriétaires fonciers, garantir une plus-value pour la population

Les planifications coopératives sont des procédures éprouvées entre les propriétaires fonciers et les pouvoirs publics. Grâce à des échanges intensifs, tâchez de vous entendre sur des objectifs communs pour encourager efficacement un développement adapté aux changements climatiques. Veillez à une plus-value pour la population, par exemple dans les parcs conçus comme des *cool spots*, pour apporter une contribution à la régulation thermique.

MP 2.2 Prendre en compte la population, faire des personnes concernées des acteurs

Associez la population sous une forme appropriée et utilisez ce contact pour la transmission du savoir pour favoriser une prise de conscience et sensibiliser les groupes à risque au thème de la chaleur. Vous obtiendrez sûrement de précieux retours de la part des personnes concernées sur la manière dont elles ressentent les pics de chaleur. Mettez en œuvre les mesures développées de manière participative si possible conjointement, et informez les acteurs de ces développements.

MP 2.3 Initier des systèmes d'incitation

Les systèmes d'incitation sont de puissants leviers pour faire progresser la qualité dans les planifications privées. Et leur impact est large. Utilisez ces possibilités, qui peuvent aller de distinctions uniques décernées à des solutions exemplaires à des programmes d'encouragement à long terme incluant possiblement des aspects financiers. Présentez des projets phares ! Ils ont un grand rayonnement, permettent une bonne communication et font des émules.

MP 3 Accroître l'influence dans la procédure de demande d'autorisation de construire et par le biais d'un conseil actif

MP 3.1 Influencer dans la procédure de demande d'autorisation de construire

Concrétisez les prescriptions du règlement sur les constructions de manière appropriée. En votre qualité d'acteur du secteur public, présentez aux propriétaires fonciers et aux aménagistes de nouvelles options et les mesures de régulation thermique pertinentes pour chaque projet de construction afin de créer des espaces extérieurs où il fait bon vivre.

MP 3.2 Ancrer les demandes auprès des aménagistes et des propriétaires fonciers par le biais d'un conseil actif

Entrez en contact assez tôt avec les propriétaires fonciers avant que les projets ne soient mis au point. Si les propriétaires fonciers prennent conscience du problème des concentrations de chaleur et que des options leur sont présentées, cela permet de respecter et de concrétiser les exigences auxquelles le développement de projet doit satisfaire.

MP 4 Sensibiliser, contrôler l'impact

MP 4.1 La sensibilisation et la communication sont des facteurs de succès

Inscrivez le thème de la chaleur dans les instruments de communication et les activités d'éducation à l'environnement, à l'instar de visites guidées. Entamez le dialogue avec la population et les aménagistes et profitez-en pour sensibiliser vos interlocuteurs. Montrez des solutions exemplaires et valorisez-les !

MP 4.2 Contrôler et documenter l'évolution et l'impact

Documentez l'évolution de la chaleur et contrôlez l'impact des mesures prises sous une forme appropriée. Communiquez les résultats et les succès.

9 Ancrage, mise en œuvre et controlling

Selon les aménagistes et les experts, il est grandement nécessaire de mieux ancrer la problématique de la chaleur dans le développement urbain. Il faut pour cela non seulement créer les bases juridiques dans l'aménagement du territoire, mais aussi saisir de manière ciblée les opportunités résultant des marges de manœuvre informelles, qui vont des stratégies et projets territoriaux à la transmission du savoir et à la sensibilisation, en passant par un travail d'influence ciblé sur certaines surfaces. Des contrôles d'efficacité sont aussi en cours de constitution dans certaines villes pionnières en matière de bonnes pratiques.

Les exigences relatives à la régulation thermique recèlent un grand potentiel de synergie et peuvent être ancrées et concrétisées dans une large mesure à travers les thèmes des espaces verts et ouverts, de la biodiversité, de l'espace réservé aux eaux, de l'évacuation des eaux urbaines et de l'irrigation. Les tableaux synoptiques ci-après ne font donc pas la distinction entre les motifs d'ancrage.

Ancrage dans les instruments formels de l'aménagement du territoire

Il ressort que le plus grand besoin se situe au niveau de l'amélioration des **lois** et des définitions contraignantes pour les propriétaires fonciers. Mais quelles sont les marges de manœuvre effectivement disponibles ?

En tant que planificateurs du secteur public, vous pouvez exercer une influence déterminante si vous œuvrez à la préservation et au développement de structures adaptées aux changements climatiques et ancrez les exigences relatives à la régulation thermique dans les instruments formels de l'aménagement du territoire. Nous vous recommandons de mentionner explicitement le climat urbain dans les lois et les planifications directrices contraignantes pour les autorités au niveau de planification les plus hauts possible afin de permettre un ancrage contraignant pour les propriétaires fonciers

dans les règlements communaux sur les constructions et l'aménagement. Les *inventaires* aident à maintenir les qualités existantes dans les espaces publics (engagement) et l'influence sur les surfaces privées. Les *normes* et *règlements* sectoriels équivalent souvent à des bases légales dans l'application.

Référez-vous aux principes (chap. 7) et ancrez des prescriptions comme :

- une structure de construction et une densité adaptées aux changements climatiques ;
- la préservation, la création et la mise en relation d'espaces verts ;
- la préservation et le développement d'un peuplement d'arbres aptes au vieillissement ;
- la garantie d'une part de verdure de qualité satisfaisante sur la parcelle ;
- une réglementation sur l'imperméabilisation et les constructions souterraines ;
- des prescriptions sur les constructions (matériaux utilisés, protection thermique en été, végétalisation, etc.).

Le tableau ci-dessous montre les marges de manœuvre de l'ancrage formel à différents niveaux et avec un degré d'obligation variable. Les indications sur la mise en œuvre dans les communes et les cantons (principalement alémaniques) sont données à titre d'exemple. Elles ne se fondent pas sur une recherche approfondie.

Tableau 2

Ancrage des instruments formels

Prescriptions légales, ordonnances et exemples		
Confédération	Loi sur le CO ₂ , ordonnance sur le CO ₂ ; loi sur l'aménagement du territoire (LAT) ; autres : loi sur la protection de l'environnement, loi sur la protection de la nature et du paysage	art. 8, art. 15 art. 1, 3, 5, 8
Cantons	Lois sur l'aménagement du territoire et les constructions ; lois sur l'énergie, la protection de la nature, de l'environnement, du paysage, etc.	BS : art. 120 BPG Mehrwertabgabe zweckgebunden für öff. Grünräume BS : art. 8 EnV sommerlicher Wärmeschutz
Communes	Règlements d'organisation ; Règlements sur les constructions et l'aménagement	RO cf. Zurich 2017 : acceptation du contre-projet à l'initiative pour une ville verte par 79,9 % des voix (prescriptions sur la conservation d'espaces ouverts, l'imperméabilisation, etc.)
Définitions contraignantes pour les autorités		
Plans directeurs	Échelle cantonale ; échelle régionale ; échelle communale	GE : les îlots de chaleur sont thématiques Région ville de Zurich : 8 m ² d'espace ouvert par habitant comme valeur indicative Guide sur la planification directrice communale dans le canton de Bâle-Campagne : prescription sur la prise en compte de l'analyse climatique Reklip
Définitions contraignantes pour les propriétaires fonciers		
Plan de zones	Prescriptions territoriales	Zones non affectées et vertes, zones de déassement, zones de protection des arbres, etc.
Dispositions sur la construction	Densité, taux d'occupation du sol ; taux d'espaces verts et ouverts ; protection des arbres ou obligation de planter des arbres ; imperméabilisation, construction souterraine ; végétalisation des toits ; exigences en matière d'aménagement ; compensation écologique ; protection-incendie	Ville de Lucerne (d'après la loi cantonale PBG, art. 25) Olten : zones vertes et équivalent en arbres Lausanne : art. 53 et 56 à 60 PPA Plantation obligatoire et protection Berne : art. 73 BO Aaretal, art. 75 et Baumschutzreglement Lucerne : art. 33 BZO Umgebungsgestaltung Plusieurs villes Bâle : art. 52 et 55 BPG Gärten hinter der Baulinie Bâle : art. 9 NLG p. ex. projet Skyline à Uster : limitations de la végétalisation des façades sur la base de dispositions relatives à la propagation du feu
Plans d'affectation spéciaux	Plans d'aménagement ; plans de quartier	Zurich : art. 4 BZO Gestaltungsplanpflicht
Contrats	Contrats d'urbanisation ; contrats de superficie	Bienne : contrats de droit privé pour l'Île-de-la-Suze (Previs et Swatch)
Inventaires		
Nature	Espèces, habitats, arbres, mise en relation, etc.	Inventaire des structures naturelles à Bâle : remplacement au sens de l'art. 18 LPN et art. 9 NLG BS
Paysage	Espaces paysagers et verts, corridors verts, etc.	Ville de Zurich : Inventaire des objets communaux de protection de la nature et du paysage (KSO)

Inventaires

Conservation des monuments historiques	Constructions, installations ; espaces verts, jardins ; sites construits, etc.	Ville d'Aarau : inventaire des jardins et parcs historiques
--	--	---

Normes et règlements

Bâtiment	Normes SIA	Norme 180 sur la protection solaire, l'accumulation thermique, le refroidissement nocturne, norme 270 sur l'étanchéité et l'évacuation des eaux, etc.
Construction de routes	Normes VSS	Plusieurs normes sur les espaces verts, p. ex. 640 677 ou 640 678a (arbres d'alignement)
Évacuation des eaux des biens-fonds	VSA	SN 592 000 Évacuation des eaux des biens-fonds

Ancrage dans des instruments informels

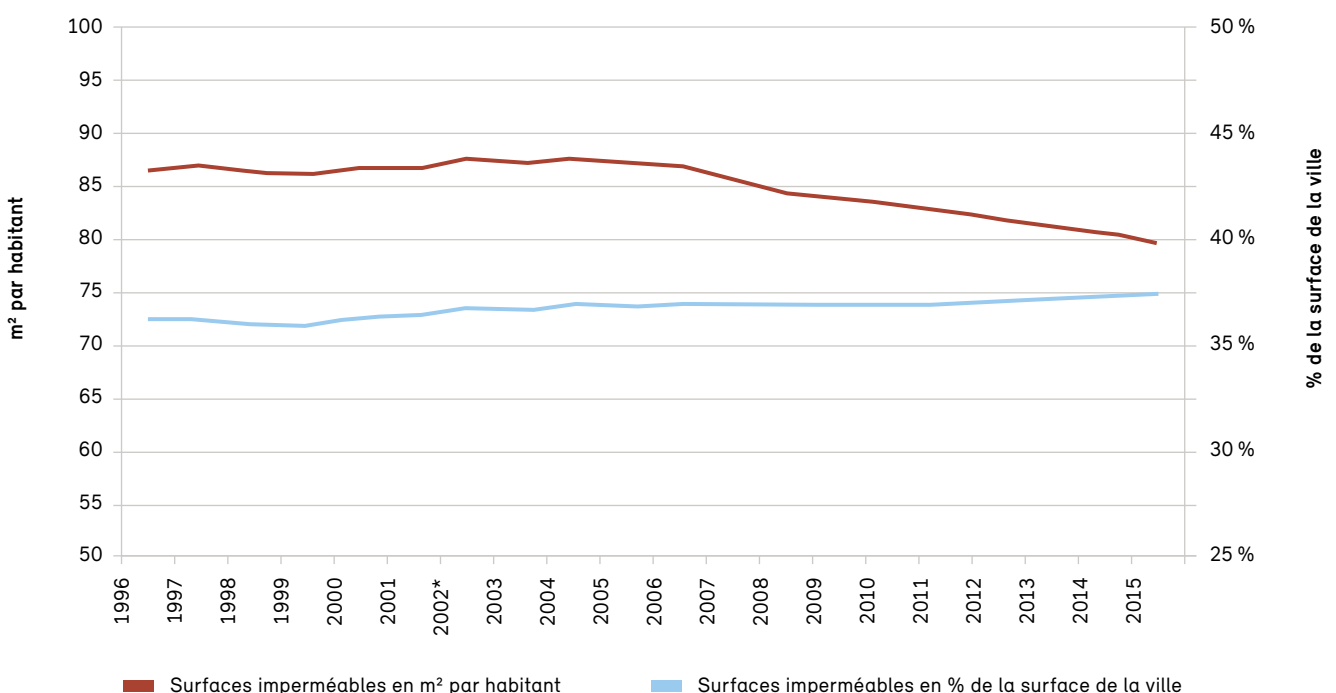
En tant qu'instruments de planification informels, les *stratégies, plans ou conceptions directrices* prescrivent des objectifs à moyen terme. En plus des plans d'adaptation aux changements climatiques et de régulation thermique, les stratégies visant les infrastructures vertes et bleues offrent de grands potentiels de synergie.

Saisissez l'occasion pour discuter largement des objectifs en matière de climat urbain et intégrez directement ou indirectement le thème de la régulation thermique. Visez la plus haute instance possible de l'exécutif pour adopter l'instrument. Les définitions contraignantes pour les autorités n'entraînent pas d'obligations de mise en œuvre – mais les décisions de haut niveau augmentent le caractère contraignant : il est nécessaire de procéder

Figure 90

Monitoring du développement durable de la ville de Zurich : évolution des surfaces imperméables ^{A2.33}

m² par habitant / part (en %) de la surface de la ville.



à une pesée d'intérêts et de justifier les divergences (section 4.3, facteurs de succès).

Il n'existe encore guère d'indicateurs, de valeurs ou de normes concrets sur la chaleur dans l'espace urbain. En tant que thèmes où s'opèrent des synergies, le développement durable ou la biodiversité traitent néanmoins souvent de l'aspect de l'imperméabilisation (Fig. 90). Les modèles d'analyse sur l'accès de la population aux espaces de délasserment comprennent des valeurs indi-

catives sur les besoins et l'accessibilité des espaces verts. Les deux aspects vont en grande partie dans le sens de l'exigence de désimperméabilisation et d'espaces verts pour réduire les îlots de chaleur (chap. 7, principes de planification).

Les fiches d'information ou les listes de contrôle soutiennent la procédure d'autorisation de construire et fixent, en tant que pratique courante, des exigences standard pour les projets dans chaque commune.

Tableau 3

Ancrage dans des instruments informels

Stratégies des cantons, des agglomérations et des communes		
Programmes de l'exécutif	Objectifs de législature, plans d'action; programmes prioritaires	Plan d'action pour l'adaptation aux changements climatiques du canton de Soleure ACCLIMATASION à Sion
Stratégies territoriales intégrées	Stratégies de développement; programmes d'agglomération	Plusieurs villes comme Zurich RES, Lucerne REK Projet-modèle « Développement intégré de l'espace ouvert dans l'agglomération de Schaffhouse »
Stratégies spécifiques	Climat; Espaces ouverts; Mobilité; Espaces publics	Masterplan sur le climat urbain à Zurich (en cours d'élaboration) Livre vert de la ville de Zurich Trafic urbain 2015 de la ville de Zurich Stratégie sur les espaces urbains de la ville de Zurich
Plans, conceptions directrices et projets		
Plans d'urbanisme intégrés, conceptions directrices et projets	Plans de développement territoriaux; projets d'agglomération	Klybeckplus ou plan de développement Dreispitz, Bâle Vision de développement 3Land (Bâle, Weil, Huningue) Avenir de la gare Nord Regensdorf
Plans sectoriels, conceptions directrices et projets spécifiques	Espaces ouverts, allées, biodiversité; Eaux Mobilité	Plan d'allées à Winterthur Plan d'espaces verts et ouverts à Gundeldingen et plan visant à renforcer la qualité de vie et la sécurité dans l'espace public, Bâle Réseau écologique urbain Lausanne, Bachkonzept ville de Zurich Glattalbahn Zurich (tracés verts)
Indicateurs, valeurs, normes		
Indicateurs	Climat, développement durable, espaces ouverts, etc.	Monitoring du développement durable de la ville de Zurich (imperméabilisation)
Valeurs cibles et indicatives	Climat, développement durable, espaces ouverts, etc.	Accès aux espaces ouverts: plusieurs villes comme Bâle, Zurich, Berne, Lucerne
Pratique en matière de permis de construire	Fiches d'information et listes de contrôle	Liste de contrôle sur les toitures végétalisées, ville de Zurich

Influence sur la mise en œuvre

En tant qu'acteur des pouvoirs publics, vous pouvez définir une exigence de qualité **sur vos propres espaces** par le biais de principes de planification, procédures, actions ou programmes transparents. Les labels et standards existants fixent des objectifs avec un facteur de synergie élevé et soutiennent ainsi vos activités. Les espaces des pouvoirs publics ont une fonction de modèle.

Exploitez les possibilités qui s'offrent à vous pour **influencer sur les surfaces de tiers**. Conseillez les maîtres d'ouvrage en insistant sur les effets et les opportunités et mettez en avant la régulation thermique, même sans un ancrage explicite dans le règlement sur les constructions et l'aménagement, par exemple par le biais de plans d'affectation spéciaux.

L'instrument des procédures qualitatives revêt de l'importance: présentez les critères de l'adaptation aux changements climatiques de manière ciblée, réclamez

des messages spécifiques dans les projets sur la gestion de la chaleur et évaluez la thématique au sein des jurys. L'expérience montre que les grands arbres plantés dans les projets lauréats avec un ancrage naturel au sol disparaissent souvent dans la version remaniée – pour des raisons de coûts et en faveur de constructions souterraines. Il faut accorder plus de poids au caractère contraignant dans la mise en œuvre.

Les systèmes d'incitation se révèlent souvent efficaces pour concrétiser des objectifs de qualité sur des surfaces privées et obtenir un large impact (chap. 8, MP 2.3). Dans le cadre de sa stratégie de toitures végétalisées^{A4.20}, la ville de Lausanne octroie par exemple des subventions aux propriétaires fonciers privés à hauteur de 40 francs par mètre carré (chap. 8, M 3.1) et la commune d'Ecublens soutient une action privée durable^{A4.31}. L'offre pour la mise en œuvre de mesures individuelles de revalorisation sur des surfaces privées s'est toutefois révélée exigeante dans le cadre du projet pilote ACCLIMATATION^{A2.30} et a connu une faible demande.

Tableau 4

Mise en œuvre par le biais d'instruments informels – influence sur les surfaces

Influence sur les propres espaces – prise en compte exemplaire dans les processus et mise en œuvre		
Principes de planification	Position de base pour les projets d'urbanisme	Planification et construction en harmonie avec le climat urbain, ville de Zurich Protection thermique estivale (Tool1), ville et canton de Zurich
Procédures qualitatives	Concours, planifications tests	Analyse climatique pour la planification test Thurgauerstrasse West, ville de Zurich
Projets de construction	Bâtiments administratifs; espaces publics verts et ouverts; infrastructures de transport	Stade du Letzigrund, toiture végétalisée Transformation du square de Chantepoulet, Genève Rénovation complète à Hirschmatt, Lucerne (renouvellement des arbres)
Soins et entretien	Bâtiments et surfaces non bâties	« Naturnahe Pflege », ville de Zurich
Actions et programmes	Bâtiments et espaces verts; participation à des programmes pilotes de la Confédération	Concours « Lausanne Jardin », « Nature en ville », canton de Genève Projet Urban Green & Climate Bern dans le cadre du programme pilote de l'OFEV
Labels et standards	Cité de l'énergie; VILLEVERTE SUISSE; Fondation Nature & Économie	418 cités de l'énergie en Suisse (état : mars 2017) Certifications 2017 : Lucerne, Winterthour Parcs publics comme les écoles Zopf et Kopfholz, ville d'Adliswil

Influence sur les surfaces de tiers		
Procédures de demande d'autorisation de construire	Aménagement des bâtiments et des espaces ouverts	Protection thermique estivale, Service des constructions de la ville de Zurich Fiche d'information « Freiraumgestaltung in Siedlungen », Winterthour
Procédures qualitatives	Participation chez des particuliers	Concours d'urbanisme Erlenmatt à Bâle
Offre de conseil actif	Conseil des propriétaires fonciers et des aménagistes	Projet de conseil « Freiraumqualität im Wohn- und Arbeitsplatzumfeld », ville de Zurich
Systèmes d'incitation	Concours ; contributions financières	Ökostadt Basel sur les cours intérieures, concours « Nature en ville » à Lausanne Subventions pour des toitures végétalisées à Lausanne

La **transmission du savoir** est d'une grande importance dans la mise en œuvre et l'ancrage d'un développement urbain adapté à la chaleur. C'est un facteur de succès qui doit être pondéré en conséquence (section 4.3).

Dans l'évaluation du projet pilote ACCLIMATASION^{A2.30}, la ville de Sion recommande d'augmenter les échanges avec les spécialistes d'autres villes, car ils apportent de précieuses informations sur les solutions et les enseignements qui peuvent être adaptés aux besoins locaux

et aux intérêts publics. Une approche pragmatique et la communication avec la population par le biais de projets de mise en œuvre concrets ont fait leurs preuves, car la thématique de la chaleur n'est pas facile d'accès. La qualité de projet pilote a offert des marges de manœuvre. Le travail de sensibilisation auprès de la population et des spécialistes est jugé fondamental pour faire comprendre et accepter les mesures, mais il a requis plus de ressources que prévu.

Tableau 5

Mise en œuvre par le biais d'instruments informels – transmission du savoir

Information, formation, sensibilisation		
Mise à disposition d'informations spécialisées	Fiches d'information, brochures, lettres d'information, etc.	Végétalisation de façades Dreiländereck, Bâle
Formation pour un large public	Campagnes, travail médiatique, revues spécialisées, visites guidées, cours, formation pour les élèves	Calura senza paura, canton du Tessin Histoires climatiques, canton de Soleure Concours dans le cadre du projet pilote ACCLIMATASION à Sion
Recherche	CTI, projets de recherche	« Horizon 2020 » – projet de recherche sur les flux urbains : ville de Bâle
Échange professionnel	Associations professionnelles et groupes d'intérêt ; échange d'expériences entre administrations	Projet pilote ACCLIMATASION avec l'association vlp-apsan Union des villes suisses (UVS)

Controlling

Pour mesurer systématiquement les succès obtenus dans la mise en œuvre des objectifs et des stratégies d'adaptation aux changements climatiques et l'efficacité des mesures, ou du moins pour les évaluer, nous vous proposons les instruments suivants :

- les analyses coûts-utilité ;
- les bilans d'application et d'impact ;
- les comptes rendus.

Il est nécessaire de développer des indicateurs de controlling spécifiques pour les espaces sous revue et d'analyser régulièrement leur pertinence.

Les courses de mesure ou les modélisations peuvent servir à démontrer l'efficacité des mesures de revalorisation (Fig. 91 et 92). Les stations de mesure garantissent un suivi grâce à des valeurs de comparaison à long terme.

Figure 91

Baisse de la température de l'air avec des mesures d'adaptation, modélisation avec ASMUS

L'ombrage avec des arbres et les surfaces claires ont le plus grand impact^{A3.30}.

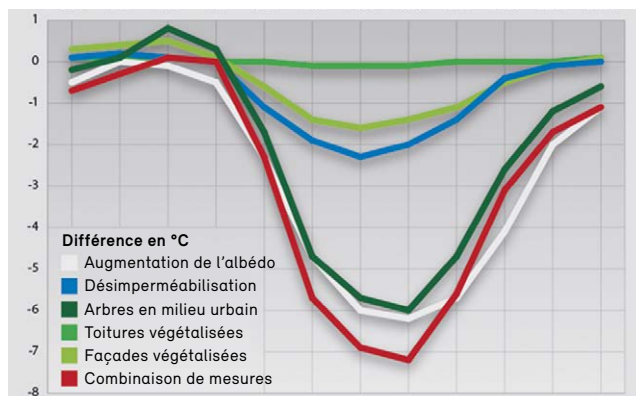
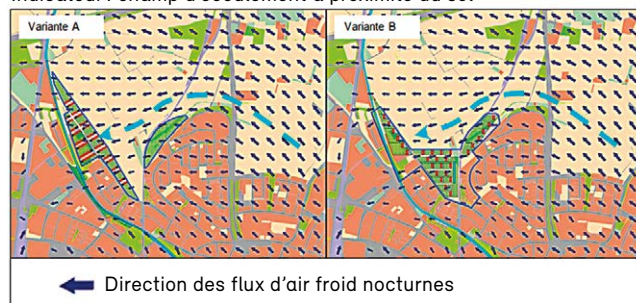


Figure 92

Évaluation des conséquences de différentes variantes de plans (A et B) sur le climat pour un projet résidentiel à Ettlingen

Les critères d'évaluation sont ici la modification du champ d'écoulement à proximité du sol et la concentration de chaleur nocturne (indicateur: nombre de nuits tropicales).

Indicateur: champ d'écoulement à proximité du sol



Indicateur: nombre de nuits tropicales

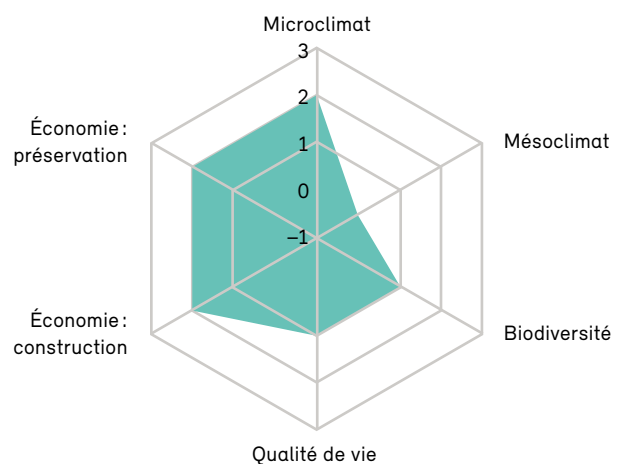


Le controlling n'en est encore qu'à ses balbutiements, y compris dans les villes phares en matière de bonnes pratiques. Des processus correspondants y ont certes été planifiés ou réalisés en partie, mais ce travail ne fait que commencer :

- En 2016, Berlin a mis sur pied un monitoring des conséquences climatiques au niveau du land A3.4, qui doit aussi être axé sur le développement urbain dans une prochaine étape.
- Dans le cadre d'un projet qui devrait avoir valeur d'exemple pour de nombreuses communes, la ville de Potsdam prévoit de mesurer et d'évaluer des indicateurs définis et de déterminer la réalisation des objectifs.
- Vienne est l'une des rares villes à évaluer l'impact des mesures et de leurs coûts (Fig. 93)^{A3.46}, mais elle ne contrôle l'impact effectif après la mise en œuvre que de manière isolée (p. ex. végétalisation des façades).

Figure 93

Diagramme en toile d'araignée pour la mesure relative aux feuillus, Vienne



En 2013, la ville de Vienne a par ailleurs mené des enquêtes auprès de la population sur la faisabilité des mesures de régulation thermique^{A3.46} : une large majorité de 86 % a considéré que les arbres étaient une mesure appropriée pour réduire la concentration de chaleur. Une majorité de 54 % s'est prononcée en faveur du message « Plus d'arbres et moins de places de stationnement dans mon arrondissement ».

Avec un portail d'information sur l'adaptation aux changements climatiques dans les villes (INKAS)^{A3.57}, le Service météorologique allemand propose un outil en ligne pour estimer l'efficacité des mesures d'adaptation aux changements climatiques. Une approche prometteuse qui se révèle encore peu pratique en vue d'une application à plus large échelle.

Depuis 2015, la Confédération exige des cantons un rapport périodique sur leurs mesures d'adaptation. Pour contrôler régulièrement l'avancée dans la mise en œuvre des mesures et l'effet obtenu dans chaque canton, l'OFEV recommande une analyse périodique de l'exécution et des effets de l'adaptation aux changements climatiques. La ville de Bâle rend compte de manière exemplaire de l'état de sa mise en œuvre^{A2.21}.

Annexe 1 Glossaire et abréviations

Adaptation

Initiatives et mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques effectifs ou prévus.

Air froid

Couche d'air à proximité du sol qui se forme en raison du refroidissement nocturne du sol et qui est plus froide et donc plus lourde que les masses d'air au-dessus. L'air froid circule déjà en aval dans les faibles pentes (dès 1 °C) et conduit à la ventilation et au refroidissement des zones urbaines exposées sur le plan thermique. La surface de la terre et l'air à proximité du sol peuvent rapidement refroidir, en particulier pendant les nuits de ciel dégagé. Les taux élevés de production d'air froid surviennent dans les zones rurales avoisinantes.

Albédo

Pouvoir réfléchissant d'une surface (degré de réflectance du rayonnement à ondes courtes). Rapport entre la quantité de lumière réfléchie par un objet et la quantité de lumière qu'il reçoit. L'albédo dépend de la nature de la surface irradiée et de la zone spectrale du rayonnement incident.

Analyse climatique

Une analyse climatique permet une estimation géographiquement détaillée de la situation climatique des zones urbaines sur la base de la concentration de chaleur dominante. Elle révèle par ailleurs le potentiel de régulation thermique des espaces verts et ouverts et les processus d'échange d'air. Elle peut être réalisée pour des communes, des villes ou même des régions. Le résultat de l'analyse est consigné dans la carte d'analyse climatique et la carte indicative de planification.

Bioclimat

Décrit les influences directes et indirectes des conditions météorologiques et du climat (conditions atmosphériques environnantes) sur les organismes vivants dans les différentes parties du paysage, en particulier sur l'être humain.

Campagne de mesures

Suite de mesures météorologiques limitées dans le temps visant à collecter des données ponctuelles et/ou linéaires afin de mieux estimer les conditions climatiques sur le terrain. Elles peuvent aussi servir pour une comparaison avec les résultats des modélisations.

Capacité d'adaptation

L'ensemble des capacités, des ressources et des institutions d'un pays ou d'une région lui permettant de mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces.

Charge thermique

Sensation d'inconfort provoquée par une entrave à l'émission de chaleur du corps. La charge thermique survient principalement l'été en cas de zones de haute pression, par fort rayonnement et avec des températures élevées, une humidité de l'air élevée et une faible circulation d'air (chaleur étouffante).

Climatope

Dans l'écologie du paysage, les climatopes désignent des surfaces aux propriétés climatiques uniformes dont la taille est d'ordinaire de l'ordre du kilomètre carré. Ils forment la base pour établir les cartes régionales des fonctions climatiques.

Compensation

Les échanges d'air ou la circulation de l'air à l'échelle locale entre l'espace de compensation et le champ d'action permettent d'obtenir une influence positive sur les conditions bioclimatiques et d'hygiène de l'air.

Couloir d'air frais

Les couloirs d'air frais facilitent, à l'instar des couloirs de ventilation, les échanges d'air horizontaux dans la ville grâce à la faible rugosité du sol, à une orientation linéaire et à une certaine largeur. Contrairement aux couloirs de ventilation, ils fournissent de l'air frais (peu pollué) dans les espaces de régulation thermique. La qualité de l'air aussi bien à la source des masses d'air qu'au cours de l'acheminement est déterminante pour prévoir les couloirs d'air frais.

Couloir d'air froid

Les couloirs d'air froid sont des surfaces linéaires à faible rugosité du sol et d'une certaine largeur qui servent au transport des masses d'air froid des zones rurales avoisinantes jusqu'à dans les zones urbaines pour les réguler sur le plan thermique. Les routes en ligne droite, les espaces ouverts ou les rivières en sont des exemples.

Couloir de ventilation

Les couloirs de ventilation facilitent les échanges d'air horizontaux dans la ville grâce à la faible rugosité du sol et à une certaine largeur. Les routes en ligne droite ou les espaces ouverts en font par exemple partie.

Débit d'air froid

Le débit d'air froid est le produit de la vitesse d'écoulement de l'air froid, sa dimension verticale (épaisseur de la couche) et la dimension horizontale de la section traversée (largeur du débit). Il décrit ainsi la quantité d'air froid en m³ qui s'écoule chaque seconde par la section, par exemple d'une pente ou d'un couloir.

Échange d'air

Transport de masses d'air aux caractéristiques déterminées par diffusion turbulente. Une distinction est faite entre les situations de faibles échanges avec des vitesses de vent $\leq 1,5$ m/s et les situations de forts échanges avec des vitesses de vent $\geq 5,5$ m/s.

Écologie climatique

L'écologie climatique étudie les relations fonctionnelles entre les éléments climatiques et l'écosystème paysager. Elle évalue l'impact du climat sur l'équilibre énergétique, le bilan des matières et les biocénoses dans un écosystème. L'impact du sol, du relief et de la végétation spécifiques sur le climat local est par ailleurs pris en considération.

Espace de compensation

Surface non bâtie à dominante verte et relativement préservée qui est limitrophe d'un champ d'action ou en relation avec un tel champ par le biais de structures peu rugueuses (couloirs). L'espace de compensation contribue à la réduction ou à l'élimination de la charge thermique dans le champ d'action grâce à la formation d'air plus froid et plus frais et par le biais d'échanges fonction-

nels. Avec ses propriétés favorables au niveau climatique et de l'hygiène de l'air, il offre un confort thermique particulier à la population.

Fonctions climatiques

Processus et effets dans le paysage qui influent sur le climat local et augmentent ou réduisent les atteintes aux organismes dues à des conditions climatiques particulières.

Îlot de chaleur (îlot de chaleur urbain, ICU)

L'effet d'îlot de chaleur désigne le réchauffement de l'espace urbain par rapport aux zones rurales avoisinantes. L'ICU est le plus fort le soir et la nuit. Dans ces zones, les températures moyennes annuelles sont supérieures de 0,5 à 1,5 °C à celles des zones rurales avoisinantes.

Microclimat

Climat localement dominant de la couche d'air proche du sol dans une zone prédéfinie, qui est déterminé par les conditions locales (sol, imperméabilisation, végétation, géométrie urbaine, etc.) et des processus à petite (micro-) échelle. Des disparités dans le terrain et la végétation peuvent en effet déjà contribuer à des différences dans la température ou l'écoulement de l'air dans un espace restreint.

Modèle climatique

Représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, leurs processus d'interaction et de rétroaction. Les modèles climatiques sont des outils de recherche utilisés pour l'étude et la simulation du climat, mais également dans des buts opérationnels, notamment des prévisions climatiques mensuelles, saisonnières et interannuelles.

SIG

Systèmes d'information géographique pour la saisie, le traitement, l'organisation, l'analyse et la présentation de données spatiales. La notion comprend le matériel, le logiciel, les données et les applications nécessaires en l'espèce.

Période de référence climatique

La période de référence climatique ou climatologique est en général la période de 30 ans qui sert à définir les éléments statistiques des différents paramètres climatologiques avec une précision satisfaisante.

PET

La température physiologique équivalente (physiological equivalent temperature) est un indice du bien-être thermique d'un individu qui découle de paramètres météorologiques (comme la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et la température de rayonnement). Les propriétés physiologiques du corps humain sont aussi prises en considération pour le calcul, en plus des variables d'environnement. L'âge des personnes, leur habillement et le type d'activité sont variables dans le calcul / la modélisation de la température physiologique équivalente. La PET est indiquée en °C et va des valeurs de « stress extrême de froid » à « stress extrême de chaleur ».

Processus d'air froid

Ce terme réunit aussi bien les procédés de formation d'air froid que la diffusion de l'air froid dans les quartiers alentours.

Refroidissement par évaporation

Refroidissement de l'air par évaporation à partir des plantes (refroidissement par évapotranspiration) et à partir des sols et des étendues d'eau (évaporation). Le processus d'évaporation prélève de l'énergie à l'air ambiant sous forme de chaleur.

Refroidissement par évapotranspiration

L'évaporation de l'eau à partir des plantes (évapotranspiration) prélève de l'énergie dans l'air ambiant sous forme de chaleur pour le refroidir. Le même effet a lieu lors de l'évaporation de l'eau à partir des sols et des étendues d'eau.

Taux de production d'air froid

La quantité d'air froid en m³ qui est générée sur une surface de 1 m² en l'espace d'une heure.

UTCI

L'indice universel du climat thermique (universal thermal climate index) est un indice du bien-être thermique d'un individu qui découle de paramètres météorologiques (comme la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et la température de rayonnement). Les propriétés physiologiques du corps humain sont aussi prises en considération pour le calcul, en plus des variables d'environnement. L'indice part de l'hypothèse d'un « individu normalisé » (âge : 35 ans, poids : 75 kg, taille : 1,75 m, activité : station debout). L'avantage de l'UTCI par rapport à d'autres indices réside dans le fait qu'il est valable dans toutes les zones climatiques à toutes les saisons.

Vulnérabilité

La vulnérabilité en termes de climat urbain et de stress thermique signifie une forte probabilité d'occurrence d'une charge thermique sur une surface en raison de sa nature et de sa situation. Des facteurs tels que le type de construction, la proximité et la nature des aires de verdure déterminent la vulnérabilité des quartiers d'habitation et de travail.

Annexe 2 Projets et documents de la Confédération, des cantons, des villes et des institutions en Suisse

Confédération

Conseil fédéral

A2.1

Stratégie du Conseil fédéral de l'adaptation aux changements climatiques en Suisse

www.bafu.admin.ch > *Thèmes* > *Thème Climat* > *Informations pour spécialistes* > *Stratégie du Conseil fédéral*

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

A2.2

Informations pour spécialistes « Adaptation aux changements climatiques »

www.bafu.admin.ch > *Thèmes* > *Thème Climat* > *Informations pour spécialistes* > *Adaptation aux changements climatiques*

A2.3

Städtischer Wärmeinsel-Effekt, Grundlagenarbeit für die Klimarisikoanalysen 2060 (2015)

www.bafu.admin.ch/adaptation-climat-analyse-risques > *sous Documents*

A2.4

La canicule et la sécheresse de l'été 2015. Impacts sur l'homme et l'environnement.

www.bafu.admin.ch/uz-1629-f

Office fédéral du développement territorial (ARE)

A2.5

Adaptation aux changements climatiques

www.are.admin.ch/are/fr/home/espaces-ruraux-et-regions-de-montagne/strategie-et-planification/adaptation-aux-changements-climatiques.html

Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)

A2.6

Climat : passé – présent – futur (scénarios climatiques)

www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/scenarios-climatiques.html

A2.7

Swiss Climate Change Scenarios: CH 2011 et CH 2018

www.ch2011.ch et www.ch2018.ch

A2.8

Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz

www.meteosuisse.admin.ch/home/service-et-publications/publications.subpage.html/fr/data/publications/2016/8/der-hitzesommer-2015-in-der-schweiz.html

Office fédéral de la santé publique (OFSP)

A2.9

Changement climatique et santé

www.hitzewelle.ch

A2.10

Swiss TPH: Effet des canicules sur la mortalité et mesures d'adaptation possibles

www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/adaptation-aux-changements-climatiques/programme-pilote-adaptation-aux-changements-climatiques/projets-pilotes-adaptation-aux-changements-climatiques--cluster-2/projet-pilote-adaptation-aux-changements-climatiques--effet-des-.html

Office fédéral de topographie (swisstopo)

A2.11

Vaste offre de données de base

www.swisstopo.admin.ch

Office fédéral de la statistique (OFS)

A2.12

GEOSTAT – Géodonnées de la statistique fédérale

www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/services/geostat.html

Cantons

Bâle-Ville

A2.20

Klimaanalyse der Region Basel (KABA)

<https://geoview.bl.ch> > Klimafunktionskarten

A2.21

Berichte über den Umsetzungsstand der Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im Kanton Basel-Stadt, 2011 und 2017

www.aue.bs.ch/weitere-themen/klimawandel.html

A2.22

Arealentwicklung Erlenmatt

www.planungsamt.bs.ch/arealentwicklung/erlenmatt.html

A2.23

Mehrwertabgabefonds

www.stadtgaertnerei.bs.ch/stadtgruen/mehrwertabgabefonds.html

Genève

A2.24

Stratégie Climatique Cantonale

www.ge.ch/document/plan-climat-cantonal-volet-1

Soleure

A2.25

Klimaanalyse und Planungshinweiskarte

<https://mcr.unibas.ch/projects2/DUP/index.dt.htm> und www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt

A2.26

Klimageschichten – Strategie Klimawandel – Aktionsplan 2016

<https://klimageschichten.so.ch/startseite>

Zurich

A2.27

Klimaanalyse und Planungshinweiskarten

<http://maps.zh.ch>

Villes

Sion

A2.30

Projet ACCLIMATASION

www.sion.ch/fr/admin/prestations/?dienst_id=35803&highlight=acclimatasion

Zurich

A2.31

Klimaanalyse KLAZ

www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltpolitik/klimapolitik.html

A2.32

Regionaler Richtplan der Stadt Zürich (Stadtklima, Freiraumversorgung, Versiegelung)

www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau_u_planung/planung/richtplanung0/richtplanung.html

A2.33

Nachhaltigkeitsmonitoring

www.stadt-zuerich.ch/portal/de/index/politik_u_recht/stadtrat/weitere-politikfelder/nachhaltigkeit.html#nachhaltigkeit_messencercleindicateurs

A2.34

Räumliche Entwicklungsstrategie der Stadt Zürich

www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau_u_planung/planung/raeumliche_entwicklungsstrategie.html

Institutions

A2.40

Haute Ecole de Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève, FH/hes hepia

Projet CityFeel

www.leea.ch/pluxml/index.php?article33/cityfeel

A2.41

Klimabündnis Schweiz

www.klimabuendnis.ch

A2.42

IPCC Schweiz

[https://naturwissenschaften.ch/organisations/proclim/
ipcc/about_ipcc_switzerland](https://naturwissenschaften.ch/organisations/proclim/ipcc/about_ipcc_switzerland)

A2.43

OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques

www.occ.ch

A2.44

Plante & Cité Suisse

www.plante-et-cite.ch

A2.45

ProClim – Sciences naturelles Suisse: Coup de projecteur sur le climat suisse 2016

[https://naturwissenschaften.ch/organisations/proclim/
activities/brennpunkt](https://naturwissenschaften.ch/organisations/proclim/activities/brennpunkt)

Annexe 3 Bonnes pratiques à l'étranger

Villes (et agglomération)

Berlin

A3.1

StEP Klima KONKRET

www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf

A3.2

StEP Klima – Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern.

www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_broschuere.pdf

A3.3

Umweltatlas Berlin, Fachthema Klima (mit Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte)

www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_04.htm

A3.4

Klimafolgemonitoring

www.berlin.de/senuvk/klimaschutz/klimawandel/de/klimafolgenmonitoring.shtml

A3.5

Regenwassermanagement Adlershof

www.adlershof.de/news/adlershof-fuer-starkregen-bestens-gewappnet

Bordeaux

A3.6

Projet « Miroir d'Eau »

www.bordeaux-tourisme.com/Decouvrir-Bordeaux/Incontournables/Le-Miroir-d-Eau

Ettlingen

A3.7

Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Ettlingen, 2010

www.ettlingen.de/Lde/startseite/Die+Stadt/Klimaschutzkonzept.html

Fribourg-en-Brisgau

A3.8

Städtebauliches Konzept zur Klimaanpassung (Handlungsfeld Hitze)

www.freiburg.de/pb/Lde/208108.html, www.freiburg.de/klimaanpassungskonzept

A3.9

Fledermausleitstrukturen als Wegbeschattung bei Hitze, Gewerbegebiet Haid Gaede und Gilcher Landschaftsplaner, Freiburg i. Br. / Stadt Freiburg i. Br. (non disponible en ligne)

Graz

A3.10

Stadtklima-Analysen Graz, 1986, 1996, 2004, 2011

www.graz.at/cms/beitrag/10282564/7759359/Stadtklimaanalysen.html

Hambourg

A3.11

Stadtklimaanalyse und Klimaprognosen als Beiplan zum Landschaftsprogramm Hansestadt Hamburg

www.hamburg.de/hamburg-ist-gruen/3519286/stadtklima

A3.12

KLIMZUG-Nord : Kursbuch Klimaanpassung – Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg, 2014

http://edoc.sub.uni-hamburg.de/klimawandel/files/867/TuTech_Kursbuch_Komplett_20140320_web.pdf

A3.13

HafenCity Universität Hamburg (HCU) : Stadtentwicklung und Klimaanpassung. Hamburg, 2014.

<http://klimzug-nord.de/file.php/2014-03-26-Kruse-E.-Zimmermann-T.-Kittel-A.-Dickhaut-W.-Knieling>

A3.14

Gründachstrategie

www.hamburg.de/gruendach

A3.15

Hamburger Deckel A 7

www.hamburg.de/fernstrassen/a7-deckel**Heidelberg****A3.16**

Klimaanalyse Heidelberg

www.heidelberg.de/hd/Lde/HD/Leben/Stadtklima+Heidelberg.html**A3.17**

Wirkanalyse (Entwicklung von Konversionsflächen)

LUBW (Landesamt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg) (2017): Planungsempfehlungen für die (stadt-)klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg

www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/projektbeschreibung-klimopass**Hilden****A3.18**

Klima- und immissionsökologische Funktionen im Stadtgebiet Hilden, 2009

www.hilden.de/sv_hilden/Sch%C3%B6ner%20wohnen/Bauen%20und%20Wohnen/Stadtplanung/Rahmenpl%C3%A4ne/Rahmenpl%C3%A4ne%20und%20Fachkonzepte/Klima-%20und%20immissions%C3%B6kologische%20Funktionen%20im%20Stadtgebiet%20Hilden**Karlsruhe****A3.19**

Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung Karlsruhe, 2015

www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung.de**A3.20**

KLIMOPASS – Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg

<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimawandel/in-baden-wuerttemberg/klimaforschung/klimopass>**A3.21**

Räumliches Leitbild Karlsruhe

www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/leitbildhaupt.de**A3.22**

City Park

www.karlsruhe.de/b3/bauen/publikationen/karlsruhe_city_park/HF_sections/content/ZZm8ke21wsTQGz/ZZm8keTWnAmo9l/Teil%204.pdf**A3.23**

Knielingen 2.0

www.fortbildung-klimawandel.de/wp-content/uploads/2016/12/4.Seminar_Vortrag6-AKK-Klima-Oberrhein_01-12-2016_Rahmenplan_Klimaanp_Freiraum-Gr%C3%BCnpl_mr-red_reduced.pdf**A3.24**

Projekt «Zukunftsbäume» der Stadtgärtnerei Karlsruhe

https://presse.karlsruhe.de/db/stadtzeitung/jahr2017/woche12/tag_des_baumes_klima_verlangt_nach_neuen_baumarten.html**Cologne****A3.25**

Klimawandelgerechte Metropole Köln, 2013

www.lanuv.nrw.de/klima/stadtklima/klimawandelgerechte-metropole-koeln/veroeffentlichungen**Copenhagen****A3.26**

Copenhagen Climate Adaptation Plan, 2011

<https://international.kk.dk/artikel/climate-adaptation> et http://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen_adaption_plan.pdf

Copenhagen Climate Plan, 2012

http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/983_%20jkP0ekKMyD.pdf**A3.27**

Klimaquartier Østerbro

<http://klimakvarter.dk>

Lyon**A3.28**

Plan Climat Grand Lyon – Diagnostic Climat de l'Agglomération Lyonnaise. Grand Lyon, 2009.

<http://blogs.grandlyon.com/plan-climat/download/3412>

A3.29

Plan d'actions partenarial. Grand Lyon, 2012.

<http://blogs.grandlyon.com/plan-climat/download/3469>

A3.30

SCOT 2030 – Le Projet d'Aménagement et de Développement Durables. Lyon, 2010.

www.scot-agglolyon.fr/wp-content/uploads/2017/10/PADD_SM.pdf

A3.31

Lyon, Rue Garibaldi, nouvelles bandes de verdure et gestion innovante de l'eau, présentation de Luce Ponsar le 7.6.2016 à Berne

https://naturwissenschaften.ch/uuid/3f9c7302-3446-52f9-aa3e-08ef5a770fbf?r=20170706115333_1499301506_d9aee11a-b6af-555a-aa9c-faa8cf5f70a6

A3.32

Charte de l'Arbre

www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/environnement/arbres/20111214_gl_chartearbre.pdf

Mannheim**A3.33**

Förderprogramm zur Begrünung von Dach-, Fassaden- und Entsigelungsflächen

www.mannheim.de/sites/default/files/page/69564/160607_broschure_forderprogramm_begrunung.pdf

Marseille**A3.34**

Le Plan Climat de Marseille Provence Métropole. Marseille, 2012.

www.marseille-provence.fr/index.php/documents/plan-climat

A3.35

Euroméditerranée ECOCITÉ Marseille

Geiling, F. et al. : Euroméditerranée-Marseille : Un Projet Urbain Face au Changement Climatique, in : Jean-Jacques Terrin (Hrsg.) : Villes et changement climatique – Îlots de chaleur urbains.

www.euromediterranee.fr

A3.36

« L'Ombrière » am Vieux Port Marseille

www.fosterandpartners.com/projects/marseille-vieux-port

Montréal**A3.37**

CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLAN 2015 – 2020 – Les Constats – Les Mesures – Synthèse. Montreal, 2015.

http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PACCAM_SYNTHESE_2015.PDF

A3.38

Plan d'action canopée 2012 – 2021. Montreal, 2012.

https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF

Rome**A3.39**

« Climate Vulnerability Map of Rome 1.0 » – Présentation S. Ombuen

www.isprambiente.gov.it/files/eventi/eventi-2015/le-grandi-sfide-urbane-cambiamenti-climatici-e-qualita-ambientale/PresentazioneOmbuen_31_3_2015.pdf

A3.40

Ombuen, S. et al. : Changements climatique et Îlots de chaleur à Rome, in : Jean-Jacques Terrin (Hrsg.) : Villes et changement climatique – Îlots de chaleur urbains, S. 156 – 173

Sarrebruck/Sarre**A3.41**

Klimaanalyse für das Stadtgebiet

www.saarbruecken.de/de/leben_in_saarbruecken/umwelt_und_klima/klimakarten

A3.42

Landeshauptstadt Saarbrücken: Städtische Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmassnahmen. Saarbrücken, 2012.

www.saarbruecken.de/rathaus/stadtentwicklung/klimaanpassungsmassnahmen

A3.43

Klimawandel und Raumentwicklung im Saarland 2012
www.saarland.de/dokumente/thema_stadt_und_land/C-Change_Endbericht_Saarland.pdf

A3.44

Klimaanpassung in der Regional- und Stadtentwicklung 2012
www.saarland.de/dokumente/thema_stadt_und_land/Regionalpark-Forum_5.pdf

Singen**A3.45**

Klimaanalyse
www.in-singen.de/Klimaanalyse.812.html

Vienne**A3.46**

Magistrat der Stadt Wien: Urban Heat Islands – Strategieplan Wien. Wien, 2015.
www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/uhi-strategieplan.html

A3.47

«TrinkWasser» Wien
www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/brunnen.html

A3.48

Fassadenbegrünung «48er-Gebäude» Wien
www.green4cities.com/?p=284&lang=de

A3.49

In Zukunft Stadt | In Zukunft Wien 2009
www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008075a.pdf

Administrations fédérales et des Länder, institutions en allemande**Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung bbsr****A3.50**

Klimastadtraum – Informationsportal zu Klimawandel und Raumentwicklung
www.klimastadtraum.de

A3.51

Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region, 2016
www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2016/anpassung-klimawandel.html

A3.52

Stadtklima 2015: Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung
www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2015/DL_UeberflutungHitzeVorsorge.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Umweltbundesamt**A3.53**

Tatenbank
www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank

A3.54

Klimalotse, der Leitfaden zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels
www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/klimalotse-der-leitfaden-zur-anpassung-an-die

Deutsches Institut für Urbanistik difu**A3.55**

Klimaschutz & Klimaanpassung – Wie begegnen Kommunen dem Klimawandel? Beispiele aus der kommunalen Praxis
<https://difu.de/publikationen/2015/klimaschutz-klimaanpassung.html>

A3.56

Kommunale Strukturen, Prozesse und Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel in den Bereichen Planen, Umwelt und Gesundheit

<https://difu.de/publikationen/2013/kommaklima-hinweise-1.html>

Deutscher Wetterdienst DWD

A3.57

Informationsportal KlimaAnpassung in Städten INKAS

www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/inkas/inkas_node.html

Annexe 4 Sélection de liens vers des informations pour spécialistes, par mots clés

Les présentations servant de base aux ateliers d'experts consacrés à un développement urbain adapté aux changements climatiques (en allemand) peuvent être consultées en ligne :

www.bafu.admin.ch > Thèmes > Thème Climat > Informations pour spécialistes > Adaptation aux changements climatiques > Adaptation dans les secteurs

1. Atelier du 28.11.2016 : bases et stratégies
2. Atelier du 29.3.2017 : mesures et controlling

Thèmes spécialisés

Arbres

A4.1

Projet Urban Green & Climate Bern avec Klimafit-Stadtbaum-Index
www.bafu.admin.ch/adaptation-climat-programme-pilote

A4.2

Villeverte Suisse : Feuille d'information sur la gestion durable des arbres en ville
www.gruenstadt-schweiz.ch/images/merkblaetter/FT_GestionDurableArbresdeVille_160118-F.pdf

A4.3

Bund Schweizer Landschaftsarchitektinnen und Landschaftsarchitekten BSLA : Positionspapier Bäume und bauliche Entwicklung
www.vssg.ch/documents/Positionspapier_Baeume.pdf

A4.4

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz GALK : Arbeitskreis Stadtbäume
www.galk.de

A4.5

Citree. Gehölze für urbane Räume. Planungsdatenbank.
<https://citree.de/>

A4.6

KLimaArtenMatrix für Stadtbaumarten (KLAM-Stadt)
www.die-gruene-stadt.de/klimaartenmatrix-stadt-baeume.pdf?forced=true

A4.7

Stadtgrün 2021 : Neue Bäume braucht das Land! (Klimaangepasste Stadtbaumarten)
www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085113/index.php

A4.8

The role of soil water content for microclimatic effects of green roofs and urban trees, Günther Robert (2014)
www.muk.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/journal_of_heat_island_inst_int_9-2_2014_guenther.pdf

→ Voir aussi Montréal^{A3.38}, Lyon^{A3.31}

Mesures techniques (de construction)

A4.10

BauNetz Media
www.baunetzwissen.de/sonnenschutz

A4.11

Sommerlicher Wärmeschutz, Stadt und Kanton Zürich
www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/beratungen_bewilligungen/ugz/bauberatung/baubewilligung/fachthemen/energieeffizienz.html

Toitures végétalisées**A4.20**

Toitures végétalisées de la ville de Lausanne

www.lausanne.ch/toitures-v%C3%A9g%C3%A9tales%C3%A9es

A4.21

Dachbegrünung Kanton Basel-Stadt

www.stadtgaertnerei.bs.ch/eigene-garten/baugesuche/dachbegruenungen.html

A4.22

Dachbegrünung Stadt Zürich mit Checkliste

www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/angebote_u_beratung/beratung/dachbegruenungen.html

A4.23

Photovoltaik und Dachbegrünung

www.vese.ch/pv-dachbegrueung

→ Voir aussi Gründachstrategie Hambourg^{A3.14}, Berlin StEP Klima KONKRETA^{3.1}, Karlsruhe^{A3.19}, Copenhague^{A3.27}, Vienne^{A3.46}

Désimperméabilisation**A4.30**

Aktion «Grüner Innenhof» Ökostadt Basel

www.oekostadtbasel.ch/index.php/news-reader/items/aktion-gruener-hinterhof.html

A4.31

Ecublens, Fonds durable, Elements naturels et paysagers

www.ecublens.ch/services/administration/batiments-epuration-energie/developpement-durable

→ Voir aussi : Copenhague^{A3.26}, Berlin StEP Klima KONKRET^{A3.1}, Karlsruhe^{A3.19}

Façades végétalisées**A4.40**

Vertikalbegrünung Stadt Zürich

www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/angebote_u_beratung/beratung/vertikalbegrueung.html

A4.41

Begrünte Fassaden – mehr Lebensqualität in der Stadt. Grenzüberschreitender Naturkorridor.

www.stadtgaertnerei.bs.ch/eigene-garten/baugesuche/fassadenbegruenungen.html?footeropen=publications

A4.42

Fassadenbegrünung. Stiftung Natur & Wirtschaft.

www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassadenbegr%C3%BCnungJE.pdf

A4.43

Leitfaden Fassadenbegrünung Stadt Wien

www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegrueung-leitfaden.pdf et www.irbnet.de/daten/baufo/20128035673/Kurzbericht.pdf

A4.44

Fassaden und Pflanzen. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Master Thesis Nicole Pfoser, 2016.

<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587>

A4.45

Bundesministeriums für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Autoren: Nicole Pfoser et al., TU Darmstadt.

www.baufachinformation.de/literatur.jsp?bu=2014129014941

A4.46

Bosco Verticale à Milan

https://fr.wikipedia.org/wiki/Bosco_Verticale

→ Voir aussi : Vienne^{A3.48}

Végétalisation de l'infrastructure**A4.50**

Glattalbahn

www.glattalbahn.ch/index.php/projektierung-bau/thematische-umsetzung/umwelt und

www.vbg.ch/images/stories/pdf/themenblaetter/vbg_gtb_themenblatt_03.pdf

A4.51

Überlandpark – Einhausung Schwamendingen
www.einhausung.ch

A4.52

Überdeckung N11 in Opfikon
www.opfikon.ch/dl.php/de/54afc6b0ee825/Neujahrsblatt_2005_neuzeitlich.pdf

A4.53

Grüngleisnetzwerk (2012): Wirkung und Funktion grüner Gleise
www.gruengleisnetzwerk.de

→ Voir aussi Hambourg A7^{A3.15}, Karlsruhe A3.19, Vienne A3.46

Climat urbain – changement climatique

A4.60

MVI (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg): Städtebauliche Klimafibel
www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/Klimafibel-2012.pdf

A4.61

KLIMAMORO, Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel
www.klimamoro.de

A4.62

Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten – KLIMZUG
www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektatalog/klimzug-klimawandel-in-regionen-zukunftsfahig

A4.63

Handbuch Stadtklima NRW (Kurzfassung)
www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/handbuch_stadtklima_kurzfassung.pdf

A4.64

Deutscher Städtetag, Positionspapier Anpassung an den Klimawandel
www.staedtetag.de/fachinformationen/umwelt/059004/index.html

A4.65

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung IÖR: Stadtnatur: Klimawandel – noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel.
www.ioer.de/projekte/abgeschlossene-projekte/p-282

A4.66

City Tree von Greencity solutions
<https://greencitysolutions.de>
CFF
www.sbb.ch/fr/bahnhof-services/bahnhoefe/kampagnen/citytree.html

→ Voir aussi MétéoSuisse^{A2.7}

Modèles climatiques (numériques)

A4.70

Was sind Klimamodelle? Klimanavigator.
www.klimanavigator.de/dossier/artikel/011977/index.php

Eau

A4.80

Leitfaden wassersensible Stadt- und Freiraumplanung, SAMUWA 2016
www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf

A4.81

Notwasserbrunnen Stadt Zürich
www.stadt-zuerich.ch/dib/de/index/wasserversorgung/wasserverteilung/Notwasserversorgung.html

A4.82

Xue F., Li X., Ma J., Zhang Z. (2015): Modeling the influence of fountain on urban microclimate, Building Simulation.

A4.83

KURAS-Projekt und -Leitfaden
www.kuras-projekt.de/projekt/schwerpunkt-regenwasserbewirtschaftung

A4.84

Stadt Siegen – auf zu neuen Ufern
www.siegen-zu-neuen-ufern.de

A4.85

Opfikerpark in Opfikon

www.glattpark.ch/opfikerpark

A4.86

Parc de l'Île-de-la-Suze à Bienne

www.biel-bienne.ch/iledelasuze

→ Voir aussi Lyon^{A3.31}, Copenhague^{A3.27}, Berlin Adlershof^{A3.5}, Bordeaux^{A3.6}, Heidelberg^{A3.17}, Karlsruhe^{A3.23}

Environnement résidentiel et professionnel

A4.90

Konzept Freiraumberatung Grün Stadt Zürich

www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/planung_u_bau/konzepte_und_leitbilder/freiraumberatung--wohn--und-arbeitsplatzumfeld-.html

Annexe 5 Table des illustrations et crédits photographiques

Illustrations

Figure 1

Forme de l'effet d'îlot de chaleur : thermographie infrarouge de Bâle, prise le 12.8.2000

Source : Parlow et al. : The urban heat island of Basel – seen from different perspectives. Die Erde 2014, vol. 145, No. 1 – 2

Figure 2

Nombre de jours tropicaux (température ≥ 30 °C) à Sion

Source : MétéoSuisse

Figure 3

Nombre annuel de vagues de chaleur d'au moins sept jours consécutifs

Source : MétéoSuisse

Figure 4

L'analyse climatique de la région de Bâle (KABA) a déjà permis d'intégrer des aspects climatiques locaux dans le développement territorial durable d'Erlenmatt par le biais d'une mise au concours architecturale.

Source : Juri Junkov

Figure 5

Température de l'air pendant une nuit d'été à vent faible (à 2 m du sol). Canton de Zurich, modélisation avec FITNAH – carte de base de l'analyse climatique.

Source : canton de Zurich, AWEL

Figure 6

Système de régulation thermique dans le plan-cadre de Karlsruhe. Un système de chemins et d'endroits ombragés mène les habitants des zones très exposées à des espaces de délasserment bioclimatiques.

Source : ville de Karlsruhe, 2015

www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung

Figure 7

Optimisation climatique contextuelle et densification ultérieure à la périphérie des immeubles, StEP Klima KONKRET Berlin

Source : Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin, et bgmr Landschaftsarchitekten, 2016
www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf

Figure 8

Les modules du rapport et les schémas décisionnels possibles en un diagramme

Source : équipe du projet

Figure 9

Nachtigallenwäldeli à Bâle : les coûts de la transformation et de la démolition du parking ont été couverts par le fonds alimenté par le produit de la taxe sur la plus-value.

Source : canton de Bâle-Ville

www.stadtgaertnerei.bs.ch/stadtgruen/paerke-gruenanlagen/nachtigallenwaeldeli.html

Figure 10

La ville de Zurich influe, par le biais d'une offre de conseil, sur la qualité des espaces extérieurs privés.

Source : Grün Stadt Zürich

www.stadt-zuerich.ch/epaper/TED/GSZ/Freiraeume-im-Wohn-und-Arbeitsumfeld_output/web/flipviewerxpress.html

Figure 11

Changements de température passés et futurs pendant les mois d'été

Source : MétéoSuisse

Figure 12

Station de mesure au centre-ville d'Osnabrück

Source : GEO-NET Umweltconsulting

Figure 13

Mesures CityFeel à Genève le 15.8.2016 – parcours 1 à 5 (à gauche), température (au milieu), humidité (à droite)
Source : hes hepia, LEEA, 2017

Figure 14

Illustration d'un appareil de mesures CityFeel
Source : LEEA à partir de hes hepia, LEEA, 2017

Figure 15

Carte de l'analyse climatique de la ville de Heidelberg (détail), sur la base des résultats d'une modélisation à méso-échelle avec FITNAH
Source : ville de Heidelberg, 2015
www.heidelberg.de/hd/Lde/HD/Leben/Stadtklima+Heidelberg.html

Figure 16

Modélisation à micro-échelle avec ASMUS (résolution de 8 m) dans le cadre du projet de recherche KURAS pour le site modèle de Pankow, Berlin
Source : GEO-NET Umweltconsulting, à partir de Matzinger Andreas et al. (2017) : Zielorientierte Planung von Massnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin. Illustration modifiée.
www.kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung

Figure 17

Avenue du Bietschhorn à Sion : mise en œuvre directe
Source : ville de Sion et Fondation pour le développement durable des régions de montagne (FDDM)

Figure 18

Stratégie globale à Copenhague
Source : ville de Copenhague, 2011
http://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen_adaption_plan.pdf

Figure 19

Tåsinge Plads dans le Klimakvarter Østerbro
Source : Klimakvarter Østerbro
<http://klimakvarter.dk/projekt/tasinge-plads>

Figure 20

Plan d'adaptation de Montréal
Source : ville de Montréal, 2017
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro_fr/media/documents/paccam_2015-2020_lesconstats.pdf

Figure 21

Montréal, plan d'action canopée
Source : ville de Montréal, 2012
https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF

Figure 22

Plan-cadre de Karlsruhe, une stratégie globale intégrée
Source : modifiée d'après la ville de Karlsruhe, 2015
www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung

Figure 23

Graz, principe de construction dans les pentes
Source : Stadtklima-Analyse 1986, 1996, 2004 & 2011. Stadtplanung & Stadtvermessung Graz
Institut für Geografie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz
www.graz.at/cms/beitrag/10282564/7759359/Stadtklimaanalysen.html

Figure 24

Différences dans la densification de quartiers dont l'orientation favorise l'écoulement d'air frais selon la charge thermique environnante, StEP Klima Berlin
Source : modifiée d'après Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin, et bgmr Landschaftsarchitekten, 2016
www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf

Figure 25

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

Source : ville de Zurich, Amt für Städtebau, 2012
www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau/The-menhefte/publikation_dichter.html

Figure 26

Euroméditerranée ECOCITÉ Marseille : la structure des bâtiments s'ouvre sur le parc central linéaire.

Source : Euroméditerranée

Figure 27

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

Source : équipe du projet

Figure 28

Mesures locales correspondantes

Source : équipe du projet

Figure 29

Taux de production d'air froid dans le centre-ville de Rastatt en lien avec l'utilisation du sol (détail)

Source : ville de Rastatt, 2017

Figure 30

Karlsruhe, nouvel espace vert dans le City Park

Source : ville de Karlsruhe, Stadtplanungsamt
www.karlsruhe.de/b3/bauen/publikationen/karlsruhe_city_park/HF_sections/content/ZZm8ke21wsTQGz/ZZm8keyhR7Uqdl/Teil%202.pdf

Figure 31

Knielingen : le parc central est en même temps une surface de rétention.

Source : ville de Karlsruhe, Gartenbauamt
www.fortbildung-klimawandel.de/wp-content/uploads/2016/12/4.Seminar_Vortrag6-AKK-Klima-Oberrhein_01-12-2016_Rahmenplan_Klimaanp_Freiraum-Gr%C3%BCnpl_mr-red_reduced.pdf

Figure 32

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

Source : Wende W. et al., 2014

http://regklam.de/fileadmin/Daten_Redaktion/Publikationen/REGKLAM-Reihe_Heft6_download.pdf

Figure 33

Jardin du futur Askøgade dans le Klimakvarter Østerbro, planification

Source : LabLand and Niels Lützen landscape architects

<http://klimakvarter.dk/projekt/vognmandsmarken/#tekniske-detajler>

Figure 34

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

Source : Klimakvarter Østerbro, Åbne Haver

<http://klimakvarter.dk/projekt/aabne-haver>

Figure 35

Utilisation mixte efficace sur le plan climatique – ferme urbaine Østerbro

Source : Klimakvarter Østerbro, Tagfarmen Østerbro

<http://klimakvarter.dk/projekt/tagfarmen>

Figure 36

Stadtpark Südost à Karlsruhe : le nouveau parc offre une diversité microclimatique.

Source : ville de Karlsruhe, photographie : Fränkle

http://presse.karlsruhe.de/db/stadtzeitung/jahr2017/woche22/stadtpark_sudost_eroffnet_naherholung_und_begegnung.html

Figure 37

Projet pilote ACCLIMATASION, revalorisation du Cours Roger Bonvin, avant et après

Source : ville de Sion et Belandscape Sàrl, Bevaix

Figure 38

Efficacité des arbres dans l'espace urbain, simulation avec ASMUS : l'après-midi à Munich

Source : ville de Munich, 2015

Figure 39

« Urban Green & Climate » définit les facteurs environnementaux urbains et les conséquences qui en découlent pour les arbres en milieu urbain.

Source : GEO-NET Umweltconsulting d'après Rolof A., 2013, à partir de Blaser J. et al., 2016
www.hafl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung_Dienstleistungen/Waldwissenschaften/Schlussbericht_Urban_Green.pdf

Figure 40

Plantations de remplacement et nouvelles plantations dans le quartier de Hirschmatt, Lucerne

Source : ville de Lucerne, Alfons Gut

Figure 41

Nouvelles bandes de verdure dans la rue Garibaldi, Lyon

Source : Jacques Leone, Métropole de Lyon

Figure 42

Îlot central végétalisé à Østerbro, Copenhague

Source : Klimakvarter Østerbro, Grøn trafikalløsninger på Æbeløgade
<http://klimakvarter.dk/projekt/groen-trafikloesning>

Figure 43

Surface résiduelle devenue aire de verdure – zone d'accès à un bâtiment à Østerbro

Source : Klimakvarter Østerbro, Grønt indgangsparti
<http://klimakvarter.dk/projekt/groent-indgangsparti>

Figure 44

Influence de l'ombre des arbres sur la température de surface, mesures à Lyon

Source : Cyprien Jolivet, Métropole de Lyon

Figure 45

Large bande de verdure et nouveaux arbres à Karlsruhe

Source : berchtoldkrass space & options

Figure 46

Structure guide pour les chauves-souris qui ombrage un chemin à Fribourg-en-Brigau

Source : Gaede und Gilcher Landschaftsplaner, Fribourg-en-Brigau, et ville de Fribourg-en-Brigau

Figure 47

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

Source : Stefano Iori

www.arcinfo.ch/articles/regions/neuchatel-et-littoral/les-pins-parasols-s-installent-au-bord-du-lac-de-neuchatel-734307

Figure 48

Comparaison de l'impact de deux scénarios de végétalisation avec un nombre d'arbres différent à la Beethovenplatz à Sarrebruck (résultats modélisés pour l'après-midi)

Source : ville de Sarrebruck, 2012 : Analyse de l'impact climato-écologique de mesures de planification (vertes) sur les places de la ville de Sarrebruck

Figure 49

Le tracé de la Glattalbahn est végétalisé et ombragé par des arbres.

Source : VBG Verkehrsbetriebe Glattal AG, photographie : Rainer Klostermann
www.glattalbahn.ch/index.php/projektierung-bau/thematische-umsetzung

Figure 50

Couverture prévue de l'A7, vue du tronçon Schnelsen

Source : DEGES/V-KON.media, Ville libre et hanséatique de Hambourg
www.hamburg.de/fernstrassen/a7-deckel

Figure 51

Mise en tranchée couverte prévue de l'Überlandpark à Schwamendingen, visualisation

Source : Office fédéral des routes OFROU, photographie : Raumgleiter GmbH, Zurich
<http://einhausung.ch>

Figure 52

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

Source : Herbert Bäumer, D-Netphen (photographie a) et Atelier Loidl, Berlin (photographies b et c)
<http://www.atelier-loidl.de>

Figure 53

Nouveau lac dans l'Opfikerpark

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 54

Miroir d'eau rafraîchissant devant la Bourse à Bordeaux

Source : Pline, Wikimedia

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:XDSC_7643-Effet-brouillard-Miroir-d-eau-quai-de-la-Gironde.jpg

Figure 55

Effet rafraîchissant d'une fontaine en différents emplacements et en fonction de la direction du vent (mesure à une hauteur de 1,5 m)

Source : GEO-NET Umweltconsulting d'après Xue F. et al., 2014

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12273-014-0210-7>

Figure 56

Analyse d'impact d'un étang et d'une fontaine dans le quartier de Rohbach à Heidelberg

Source : modifiée d'après Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg LUBW, 2017

www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/projektbeschreibung-klimopass

Figure 57

Accès à l'eau – parc de l'Île-de-la-Suze à Bienne

Source : Fontana Landschaftsarchitektur, Bâle

www.biel-bienne.ch/files/pdf9/beu_infra_Abschlussbroschure-Schussinsel_d_f.pdf

Figure 58

Petite et raffinée – l'ouverture du Nebelbach à Zurich

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 59

Jouer et se rafraîchir – la place du Sechseläuten à Zurich

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 60

Fontaine «Trink Wasser!» à Vienne

Source : ILEN Institut für Landschaftsplanung – BOKU : Brigitte Alex, Florian Reinwald

www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uh-strategieplan.pdf

Figure 61

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

Source : Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH

www.kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung

Figure 62

Dépression à Sathonay – « tradition de l'infiltration »

Source : Elisabeth Sibeud, Métropole de Lyon

www.indura.fr/file-storage/view/s%C3%A9minairestragique2016/AmenagementUrbain&TransitionClimatique-LucePONSAR-GrandLyon

Figure 63

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

Source : Berliner Wasserbetriebe, Gerald Schmidt

www.berlin.de/sen/uvk/presse/weitere-meldungen/2017/artikel.614468.php

Figure 64

Rétention et infiltration lente à Adlershof

Source : WISTA MANAGEMENT GmbH, Alexander Seiffert

www.adlershof.de/news/adlershof-fuer-starkregen-bestens-gewappnet

Figure 65

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

Source : modifiée d'après Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker

www.sieker.de/de/produkte-und-leistungen/product/intelligente-zisterne-6.html

Figure 66

Stratégie d'utilisation des eaux de pluie à des fins d'irrigation et comme eaux d'exploitation dans le guide KURAS
Source : Rambol Studio Dreiseitl d'après Matzinger A. et al., 2017 : Zielorientierte Planung von Massnahmen der Regenwasserbewirtschaftung

Figure 67

Système de stockage et d'irrigation, rue Garibaldi à Lyon
Source : modifiée d'après Luce Ponsar, Métropole de Lyon

Figure 68

Possibilités de toitures végétalisées avec fonction de rétention et leur capacité de refroidissement
Source : GEO-NET Umweltconsulting d'après Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin, et bgmr Landschaftsarchitekten (2016)
www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf

Figure 69

Stratégie de toits végétalisés à Hambourg : vision pour le quartier d'Altona
Source : Ville libre et hanséatique de Hambourg. Visualisation © BUE, TH Treibhaus Landschaftsarchitektur
www.hamburg.de/gruendach

Figure 70

Toiture végétalisée intensive au-dessus du garage souterrain de l'Administration de l'environnement et de l'énergie à Hambourg
Source : Ville libre et hanséatique de Hambourg. Crédit photographique © BUE/Isadora Tast
www.hamburg.de/gruendach

Figure 71

La ville de Lausanne subventionne les toitures végétalisées
Source : ville de Lausanne, Toitures végétalisées
www.lausanne.ch/thematiques/nature-parcs-et-domaines/politique-ecologique/toitures-vegetalisees/politique-municipale.html

Figure 72

Bilan thermique et de rayonnement sur des façades diversement végétalisées par rapport à une façade non végétalisée
Source : GEO-NET Umweltconsulting d'après Bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2013
www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf

Figure 73

Façade végétalisée du «48er-Gebäude» à Vienne
Source : ville de Vienne, Magistratsabteilung 48, photographie : Felicitas Matern

Figure 74

Tours résidentielles avec «forêt verticale» à Milan
Source : Margrith Göldi Hofbauer, Winterthour

Figure 75

Zones expérimentales sur le terrain du Service des espaces verts à Zurich
Source : StadtLandschaft GmbH
www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/angebote_u_beratung/beratung/vertikalbegruenung.html

Figure 76

L'été, les arbres donnent de l'ombre à la façade exposée au soleil – un exemple à Cologne.
Source : A. Kahmen / lemondedekitchi.blospot.com
<https://lemondedekitchi.blogspot.de/2013/08/mein-freund-der-baum-gleditschie.html>

Figure 77

Possibilités d'ombrage dans les nouveaux immeubles selon le plan StEP Klima Berlin
Source : Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin, et bgmr Landschaftsarchitekten, 2016
www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf#page=1&zoom=auto,-178,842

Figure 78

Protection thermique sur des balcons à Athènes
Source : GEO-NET Umweltconsulting

Figure 79

Bilan thermique : façade assainie (à droite) et non assainie
Source : Ingo Bartussek. [stock.adobe.com / Deutsche Umwelthilfe e. V., 2013](https://stock.adobe.com/Deutsche-Umwelthilfe-e-V-2013)

www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/Gebaeude/DUH-Hintergrundpapier_Geb%C3%A4udesanierung_050913.pdf

Figure 80

Valeurs d'albédo de différentes surfaces

Source : Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, 2011, photographies : Mayang et Back

www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/download.shtml

Figure 81

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

Source : Moriyama Laboratory Department of Architecture and Civil Engineering, Kobe University, à partir de Baumüller J. und Ahmadi Y., 2016

www.samuwa.de/img/pdfs/baumueller_ahmadi_2016_rwb_massnahmen_und_stadtklima.pdf

Figure 82

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

Source : Los Angeles Bureau of Street Services. Photographie : Nate Berg

<https://gizmodo.com/the-radical-plan-to-cool-down-la-as-the-world-heats-up-1797711611>

Figure 83

Projet pilote ACCLIMATASION à Sion, désimperméabilisation et conception superficielle adaptée au climat – l'Espace des Remparts avant et après la transformation
Source : ville de Sion

Figure 84

Ombrage créatif dans la station thermale polonaise de Bad Polzin

Source : Elżbieta Sikora

Figure 85

Voiles d'ombrage artistiques temporaires au-dessus du Münsterhof à Zurich pendant l'été 2017

Source : berchtoldkrass space & options

Figure 86

L'Ombrière à Marseille

Source : Nigel Young, Foster + Partners

Figure 87

La rue de la Buire à Lyon

Source : Luce Ponsar, Métropole de Lyon

Figure 88

Parc de la Buire et capteur de température dans la rue de la Buire

Source : Luce Ponsar, Métropole de Lyon

Figure 89

Un «City Tree» à la gare de Zurich-Altstetten pendant l'été 2017

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 90

Monitoring du développement durable de la ville de Zurich : évolution des surfaces imperméables

Source : ville de Zurich, Stadtentwicklung
www.nachhaltigkeitsmonitoring.ch/neu/natur-und-landschaft.

Figure 91

Baisse de la température de l'air avec des mesures d'adaptation, modélisation avec ASMUS. L'ombrage avec des arbres et les surfaces claires ont le plus grand impact.

Source : Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, 2011

www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/download.shtml

Figure 92

Évaluation des conséquences de différentes variantes de plans (A et B) sur le climat pour un projet résidentiel à Ettlingen. Les critères d'évaluation sont ici la modification du champ d'écoulement à proximité du sol et la concentration de chaleur nocturne (indicateur : nombre de nuits tropicales).

Source : Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung du Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2012

Figure 93

Diagramme en toile d'araignée pour la mesure relative aux feuillus, Vienne

Source : Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung, MA 22

www.ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/03_Aktivitaeten/Klimatag/Klimatag2014/Poster_15.Klimatag/P33_Allex_Klimatag14_UHI_neu.pdf

Tableaux (Source : équipe de projet)

Tableau 1

Villes exemplaires et raisons pour lesquelles elles figurent dans ce rapport

Tableau 2

Ancrage dans des instruments formels

Tableau 3

Ancrage dans des instruments informels

Tableau 4

Mise en œuvre par le biais d'instruments informels – influence sur les surfaces

Tableau 5

Mise en œuvre par le biais d'instruments informels – transmission du savoir

Aide à la lecture des fiches

Principes de planification (chap. 7)

- 1 Développer une structure urbaine et des espaces ouverts en réseau en fonction du climat!
 - 2 Les espaces verts sont des *cool spots*!
 - 3 Les arbres en milieu urbain induisent de *grands effets*!
 - 4 L'ombre favorise le *confort thermique*!
 - 5 La désimperméabilisation *apporte de la fraîcheur*!
 - 6 L'eau est *précieuse*!
- 1 interaction forte 1 interaction 1 interaction faible

Principes d'urbanisme (chap. 7)

- 1 Développer un système optimal de circulation de l'air frais
 - 2 Optimiser la position et la typologie des bâtiments sous l'angle climatique
 - 3 Considérer la densification comme une opportunité d'optimisation climatique
 - 4 Optimiser l'interaction des bâtiments et des espaces ouverts
- 1 interaction forte 1 interaction 1 interaction faible

Mesures locales (chap. 8)

- 1.1 Développer les espaces verts publics
 - 1.2 Développer des espaces verts dans l'environnement résidentiel et professionnel
 - 1.3 Augmenter la diversité microclimatique dans les espaces ouverts
 - 1.4 Préserver et planter des arbres dans les espaces routiers
 - 1.5 Préserver et aménager des aires de verdure et des arbustes dans les espaces routiers
 - 1.6 Ombrager les espaces non bâtis et les chemins avec des arbres
 - 1.7 Végétaliser les infrastructures de transport et les ombrager avec des arbres
 - 2.1 Protéger, agrandir et aménager des plans d'eau
 - 2.2 Faire de l'eau une source d'expérience
 - 2.3 Désimperméabiliser les surfaces et intégrer la gestion des eaux de pluie
 - 2.4 Installer une irrigation innovante
 - 3.1 Végétaliser les toits
 - 3.2 Végétaliser les façades
 - 3.3 Ombrager les bâtiments avec des arbres
 - 3.4 Concrétiser la protection thermique des bâtiments en été
 - 3.5 Assainir énergétiquement les bâtiments et les refroidir dans le respect du climat
 - 4.1 Aménager les surfaces extérieures en vue d'une optimisation thermique
 - 4.2 Autres solutions pour rafraîchir les espaces ouverts
- 1.1 interaction forte 1.1 interaction 1.1 interaction faible

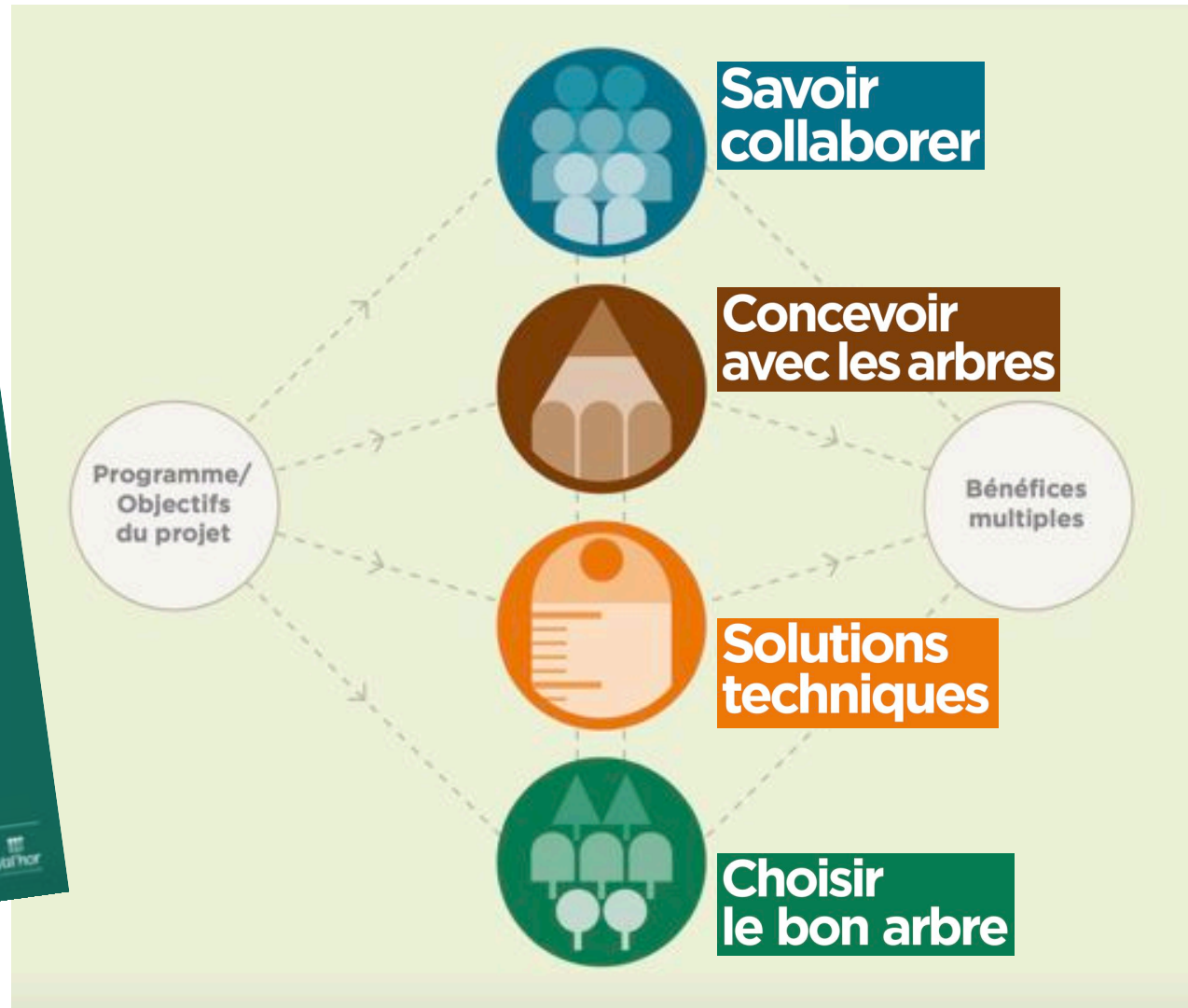
Synergies

Espaces verts et non ouverts	très pertinentes	Espaces verts et non ouverts	peu pertinentes
------------------------------	------------------	------------------------------	-----------------

Pour de plus amples explications sur les synergies, voir la p. 40.

Gérer les eaux de pluie avec le Système de Stockholm

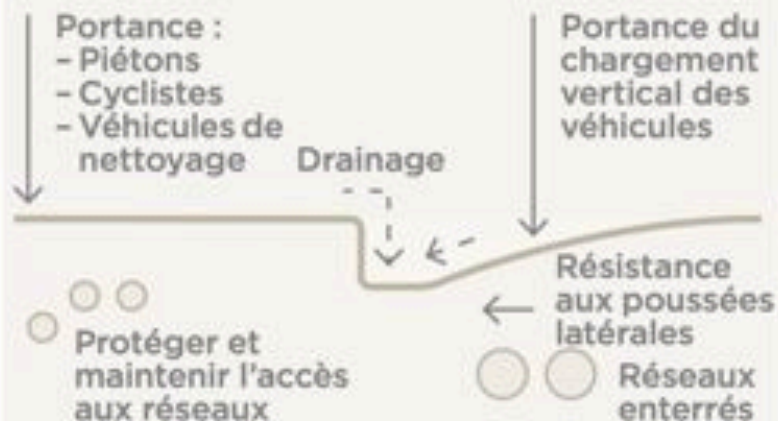
Anne Jaluzot | 32^{ièmes} Arborencontre de Seine et Marne



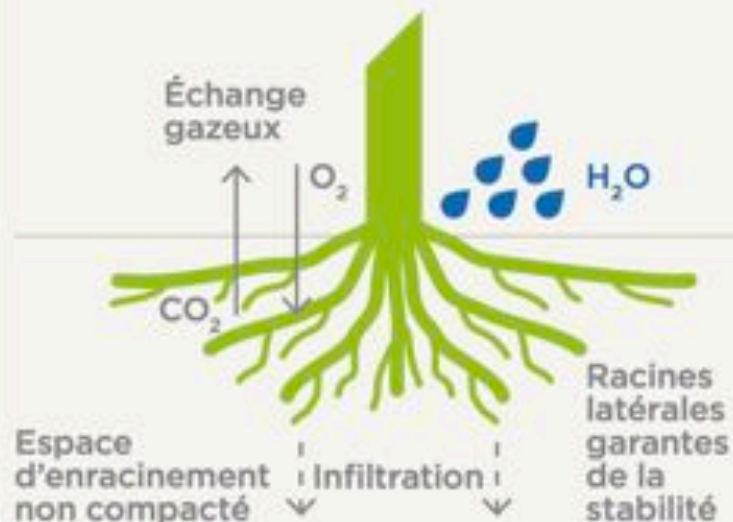
Arbres : une composante à part entière des infrastructures urbaines

Facteurs clés pour une intégration réussie des arbres en milieu urbain

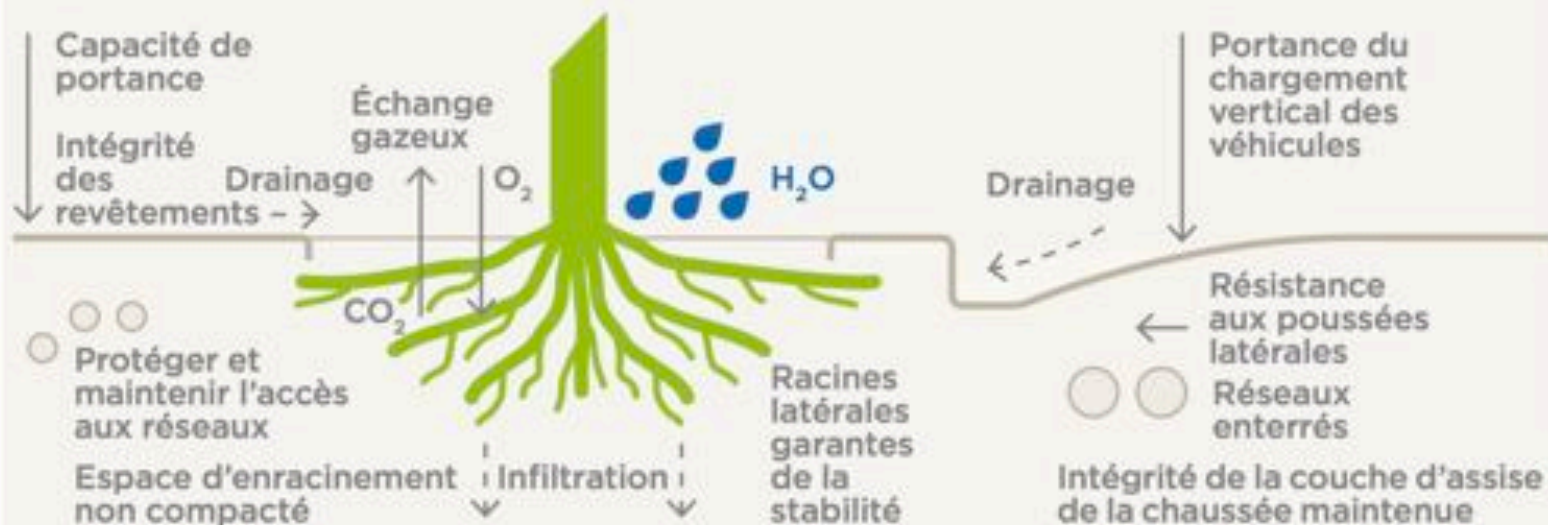
Besoins de la chaussée



Besoins de l'arbre



Cahier des charges à remplir



Ex : Matelas alvéolaires

Un exemple d'utilisation de matelas alvéolaire : RAF Bomber Command Memorial



Systèmes flottants



All images courtesy of
Jeremy Barrell





Image courtesy of
Jeremy Barrell

Le système de Stockholm



Mélanges
terre-pierre




Stockholm

Plus de 2000 fosses
de plantations
réalisées avec le
"système de
Stockholm"



Björn Embrén

The background image shows a street scene in Stockholm. In the foreground, there is a cobblestone path. In the background, there is a multi-story building with a light-colored facade and several windows. A large, arched stone structure, possibly a tunnel entrance or a large archway, is visible on the right side of the building. The text is overlaid on a semi-transparent brown rectangular area in the center of the image.

“What is the Stockholm system? Tree-rooting environments built with large stones where we infiltrate stormwater and ensure the gas exchange works”

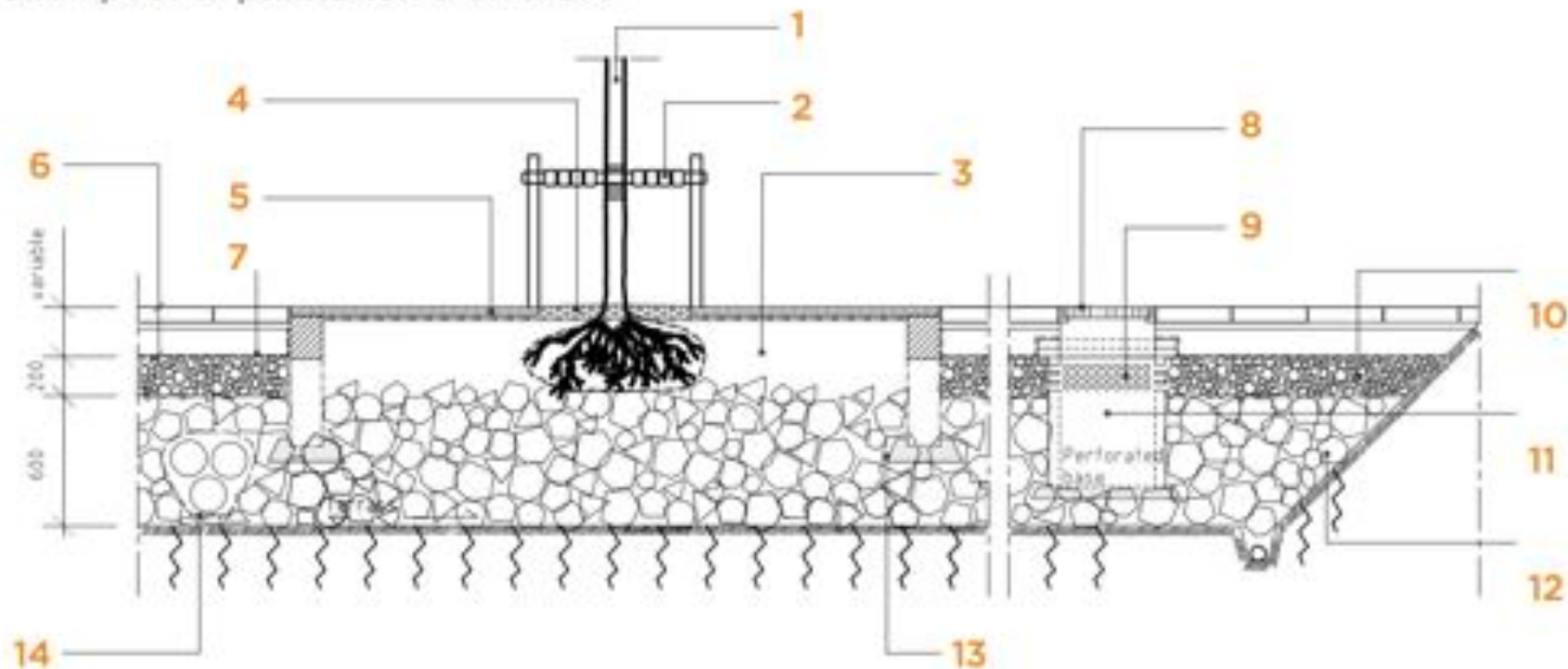
Björn Embrén
Arboricultural Manager, Municipality of Stockholm



Les eaux de ruissellement des toitures et trottoirs sont dirigées vers des puits ayant une double vocation : optimiser l'échange gazeux et permettre une infiltration des eaux de pluie.



Section pour la plantation d'un arbre



1. Arbre nouvellement planté - force 20 à 25 mm
2. Lien au tuteurage
3. Terre végétale
4. Mulch minéral de 4 à 8 mm de calibre sur une épaisseur de 50 mm
5. Grille de pied d'arbre (dimensions : 1400 X 2800 mm)
6. Revêtement de surface et ses couches de fondation
7. Géotextile
8. Bouche du puits - Point bas des rigoles de collecte des eaux de pluie
9. Perforations du puits à hauteur de la couche d'aération
10. Couche d'aération
11. Puits pour l'échange gazeux et l'approvisionnement en eau de pluie
12. Mélange terre-pierre installé par couches successives
13. Faible quantité d'engrais intégré à chaque couche du mélange terre-pierre
14. Canalisations intégrées à l'installation entourées d'un géotextile et de graviers

Erik Dahlbergsallén : une 1^{ère} expérience concluante

4,600 m² de surface de toitures et de trottoirs (soumis à 600mm de précipitations par an) déconnectés du réseau d'assainissement.

Env. 2.3 million de Litres par an ainsi gérés par l'espace d'enracinement des arbres.

Env. 2600 €/an de coûts évités pour le traitement des eaux.

Impact réduit sur les pics de crues affectant la Mer Baltique et les lacs de l'Archipel de Stockholm lors de pluies torrentielles.



Erik Dahlbergsallén

A gauche = arbre âgé de 80 ans, à droite = arbre âgé de 6 ans



2004, force =	35-40 cm
2008	60-65 cm
2012	70-83 cm

Arbre existant conservé

Plantation renouvelée







Hornsgatan
Juin 2012





Quercus palustris
3^{ième} saison de croissance



Utilisé également pour la reprise de l'espace d'enracinement d'arbres existants - à gauche : situation en 2002, à droite : même arbre en 2013



2010



2012



Situations limites

Au dessus du métro – seulement 50cm d'épaisseur disponibles pour la matrice terre-pierre (plantations réalisées en 2005)



Situations limites

Au dessus du métro – seulement 50cm d'épaisseur disponibles pour la matrice terre-pierre : possible avec des arbres soumis à une taille régulière

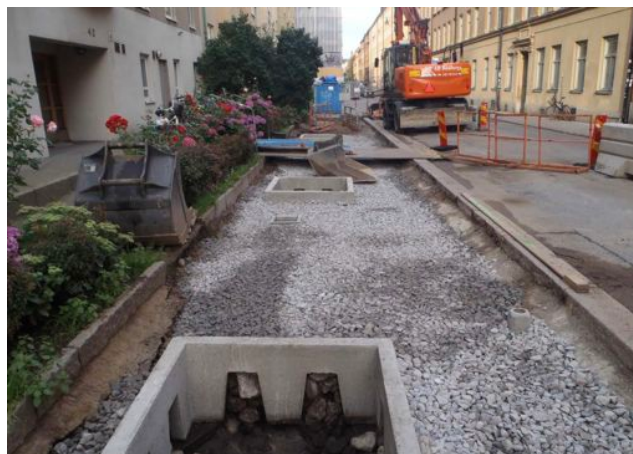



Une observation de Björn à propos du prototype d'Erik Dahlbergsallén,
du contrôle de la maîtrise d'oeuvre et du rôle du chef de chantier...

“He made the effort to understand how the system was intended to work and really forced the contractors to work as per the specifications, without taking any shortcuts...”

Every time I can, I take the opportunity to thank him, because he made that proof of concept into a success. Non of what we've achieved since would have been possible without this.”

Björn Embrén
Responsable Arbres, Ville de Stockholm

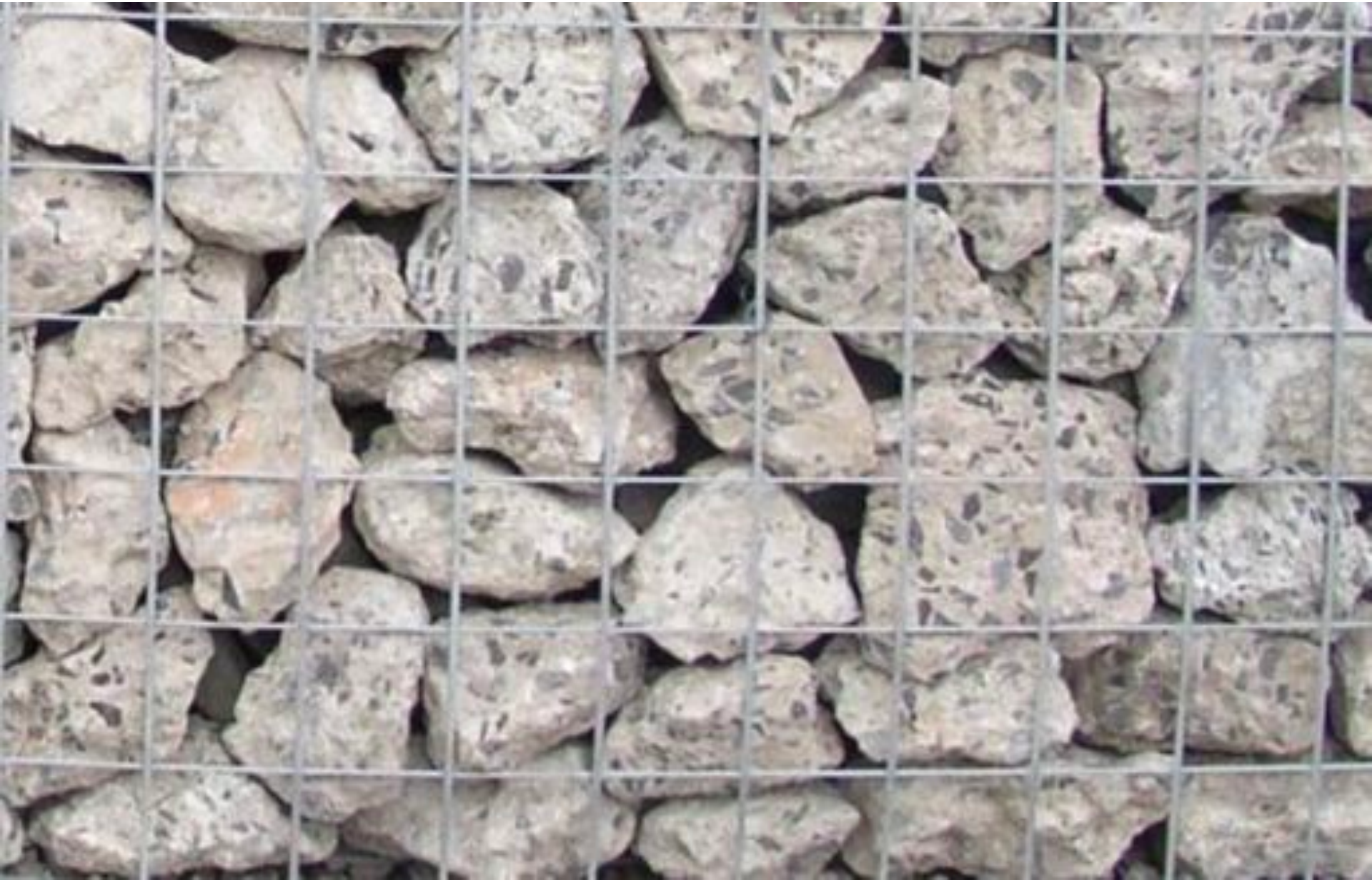


A street scene in a city with colorful buildings and young trees. The buildings are multi-story, with facades in shades of red, orange, and yellow. Young trees with light green foliage are planted along the sidewalk. A white car and a yellow van are visible on the street. The sky is bright and clear.

*Prunus
'Umineko'*

Utilisation de sacs
d'arrosage

Mise en valeur de béton recyclé

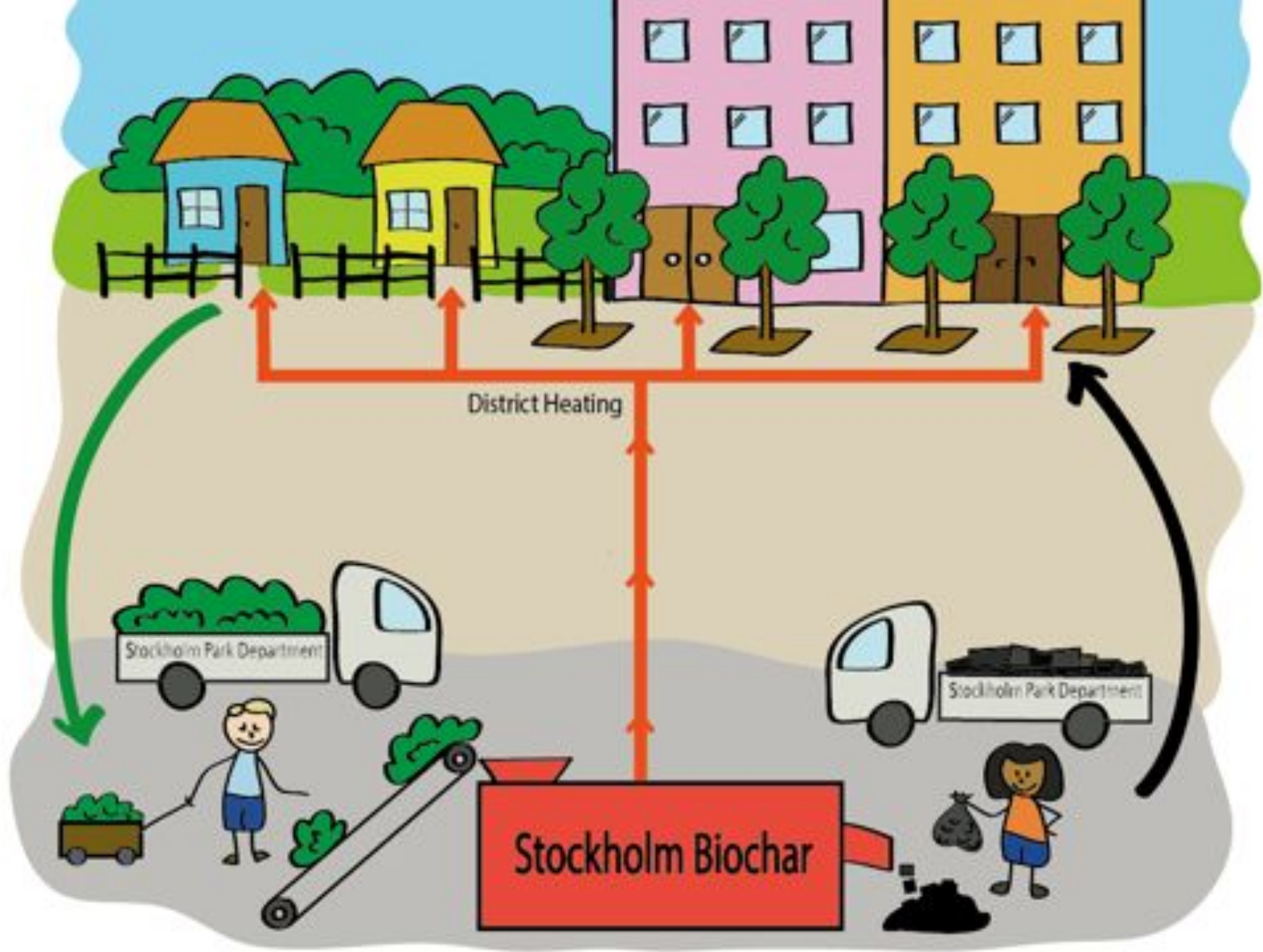




Stockholm Biochar Project

*"we got permission to start investigating the
possibility of producing biochar"*











Site internet : www.tdag.org.uk

Twitter : [@TDAG_TalkTree](https://twitter.com/TDAG_TalkTree)

Me contacter : annejaluzot@gmail.com

VGZ

EXPERTISE DU PATRIMOINE ARBORE

Diagnostic de l'état sanitaire de 23 érables

Rue de Carouge 1205 Genève

Examen *in situ* fait le 07/05/2020

CABINET D'EXPERTISE DES ARTISANS DE L'ARBRE

Diagnostic, Pathologie et Gestion de l'Arbre



Les Artisans de l'Arbre

Route de la Garenne 41
Case Postale 457
1214 Vernier, Genève

+41 22 341 47 70
+41 79 250 66 12
mail@adela.ch
www.adela.ch



O1. SOMMAIRE

01. Sommaire	2
02. Introduction	3
- Objectifs -	3
03. Méthode en bref	4
04. Observations	5
- Localisation et numérotation -	5
- Généralités -	6
- Etat sanitaire et mécanique -	9
- Durée de maintien -	11
- Profil de risque -	12
05. Conclusions	13
- Synthèse des observations -	13
- Discussion et préconisations -	14
- Suivi des arbres -	15
06. Annexe I : Méthode en détail	16
- Stades de développement -	16
- Evaluation des états physiologiques et mécaniques -	17
- VTA : Analyse Visuelle de l'Arbre -	19
- Introduction à la méthode QTRA -	22
- Présentation dans l'inventaire -	29
07. Annexe 2 : Tableaux de synthèse, inventaire, programme de travail	32



02. INTRODUCTION

Cette étude a été commandée par Monsieur Jacques Voeffray du Service des Espaces Verts de la ville de Genève, selon le bon de commande daté du 4 mars 2020. Il s'agit de contrôler l'état sanitaire de 23 érables plantés en alignement, situés le long de la rue de Carouge. Certains de ces arbres montrent des symptômes de dépérissement.

Des questions se posent concernant l'état de santé de ces arbres, leur avenir, leurs soins, et les risques pour le public en cas de rupture.



Fig. 1 / Exemple type de dépérissement. Arbre N° 17-23, arbre en déclin.

- OBJECTIFS -

Les objectifs de l'étude sont :

- Connaître l'état sanitaire et mécanique des arbres.
- De connaître les risques pour le public en cas de chutes d'arbres ou d'une partie d'arbre.
- D'apporter des conseils quant à la gestion du patrimoine arboré à long terme.



03. METHODE EN BREF

La méthode en détail figure en annexe I.

› Diagnostic sanitaire

La méthode de diagnostic sanitaire et mécanique est basée sur les méthodes :

- VTA (analyse visuelle de l'arbre) : Mattheck, C. 2007. Guide pour l'analyse visuelle de l'arbre, révisée. Field guide for visual tree assessment updated. 170p. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. ISBN 978-3-923704-590. En Anglais
- DIA (Diagnostic Intégré de l'Arbre) : (Moore W. 2003. Diagnostic intégré de l'arbre. Une méthodologie pour le diagnostic de l'arbre. Arbres et Sciences, Vol III, No 10).

› Évaluation du risque

L'évaluation du risque est guidée par la méthode QTRA, évaluation quantifiée des risques associés aux arbres (cf. annexe I). Cette méthode propose un seuil pour le risque de dommage significatif à 1/10 000 par an. Nous utilisons ce seuil sauf contre-indication du gérant qui peut, s'il le souhaite, fixer le niveau à un seuil inférieur ou supérieur : *QTRA : Ellison 2005. Evaluation quantifiée des risques associés aux arbres. (Quantified tree risk assessment, used in the management of amenity trees. Version Française Astelle No 10, www.arbre.net.*



04. OBSERVATIONS

- LOCALISATION ET NUMEROTATION -

Les arbres sont numérotés de 1 à 23 selon le plan en Fig. 2.



Fig. 2 / Numérotation des arbres. Rue de Carouge.



- GENERALITES -

› Données de base

Il s'agit de 23 érables de forme semi-libre plantés en alignement.

95 % des sujets sont au stade jeune, dont 82% notés en « Jeune 3 » en fin de phase d'expansion rapide.

› Historique

Des travaux de réfection de la chaussée et de réaménagement de l'espace vital au pied de ces arbres ont eu lieu. Pour une partie de l'alignement un périmètre de protection continu et un apport de substrat a été réalisé avec plantation de plantes à petit développement en couvre sol. Pour les arbres situés en extrémité d'alignement côté Arve (à droite sur plan Fig.2.), les anciennes grilles-gazon en béton, implantées autour des collets ont été supprimées et remplacées par un mélange semi-perméable.

Cet ensemble a donc vu des modifications dans son environnement. Il est à envisager que les changements liés aux travaux de réfection des surfaces puissent être un facteur participant au dépérissement de cette partie de l'alignement.



Fig. 3 / Exemple de périmètre de protection et amélioration du substrat.





Fig. 4 / Exemple de réaménagement des surfaces avec revêtement semi-perméable au collet.



› Gestion actuelle

La gestion actuelle consiste en des interventions d'élagage au besoin.

Au vu du développement des couronnes, certains arbres de l'alignement doivent avoir été plantés en remplacement d'arbres abattus.



Fig. 5 / Vue générale de l'alignement du Nord au Sud.



- ETAT SANITAIRE ET MECANIQUE -

Le tableau 1 montre :

- L'état physiologique général.
- L'état mécanique général qui tient compte uniquement des défauts mécaniques déterminants (voir annexe I : « Un facteur déterminant est un désordre physiologique ou mécanique qui menace de façon significative l'avenir de l'arbre »).
- L'état global (déterminé en appliquant pour chaque arbre la pire des valeurs des états généraux).
- Le symbole « - » indique un problème physiologique ou un défaut mécanique susceptible de se dégrader dans les 5 prochaines années (*Cf. annexe I*).

Tableau 1 / Profil de santé.

État physiologique général			État mécanique général			État global		
État	Nbs	%	État	Nbs	%	État	Nbs	%
A	3	13,04%	A	23	100,00%	A	3	13,04%
B	11	47,83%	Totaux	23	100,00%	B	10	43,48%
B-	1	4,35%				B-	2	8,70%
C	1	4,35%				C	1	4,35%
C-	4	17,39%				C-	4	17,39%
D-	3	13,04%				D-	3	13,04%
Totaux	23	100,00%	Totaux	23	100,00%	Totaux	23	100,00%

› État physiologique

L'état physiologique est jugé bon avec :

- 15 arbres, (soit 65%) notés en « A », excellent » ou en « B », bon. Pour un arbre noté en « B- », une dégradation est possible dans les cinq prochaines années.
- 5 arbres (soit 21%) présentant un état physiologique médiocre, note C. Pour 4 arbres notés en C- une dégradation est possible dans les cinq prochaines années.
- 3 arbres (soit 13%) sont très dépérissants, note D-, ces arbres présentent un état physiologique susceptible de se dégrader dans les 5 prochaines années.

Le faible état physiologique pour les 7 arbres notés en C- et D- est attribué aux modifications de l'environnement direct de ces sujets.

Nous notons la présence de bois mort due au dépérissement.





Fig. 6 / Exemple de dépérissement, arbre N° 19 Cf. Plan Fig. 2.

› État mécanique général

L'état mécanique général des arbres examinés est jugé excellent, note « A ».

L'arbre N° 9 présente une charpentièrre avec porte-à-faux surplombant la voie de tram avec un état mécanique noté en « B- », présentant un risque pour la ligne, avec une note dans le programme de travail pour une taille de réduction légère durant la période de végétation de 2020.



- DUREE DE MAINTIEN -

L'évaluation de la durée de vie pour les érables notés en C- et D- est difficile. En effet, l'évolution de l'affaiblissement physiologique est difficilement quantifiable. Il est conseillé de tenir compte d'une marge d'erreur.

En ce qui concerne l'avenir de ce patrimoine (*Tableau 2*), 56% des arbres présentent une durée de vie évaluée à plus de 20 ans. Les deux arbres dont la durée de maintien est évaluée à moins de 5 ans et ceux dont la durée de maintien est évaluée à moins de 1 an sont les arbres présentant des désordres physiologiques importants notés en facteurs déterminants. Le N° 19 qui présente des risques de dommage trop important pour être maintenu est noté en durée de maintien « Sans objet » car devant être abattu dès que possible.

Tableau 2 / Évaluation de la durée de maintien.

Durée de maintien	Nbs	%
Sans objet	1	4,35%
> 20 ans	13	56,52%
< 20 ans	3	13,04%
< 5 ans	2	8,70%
< 1 an	4	17,39%
Totaux	23	100,00%



- PROFIL DE RISQUE -

Le tableau 3 montre le profil de risque, pour rappel :

Risque de dommage significatif (RDS) :

- 0 : pas de RDS.
- 1 : pas de RDS. Arbre présentant un état nécessitant des examens rapprochés.
- 2 : RDS présent.

Tableau 3 / Profil de risque.

Risque immédiat			Risque : réversibilité		
Risque	Nbs	%	Risque	Nbs	%
0	20	86,96%	0	22	95,65%
2	3	13,04%	2	1	4,35%
Totaux	23	100,00%	Totaux	23	100,00%

Il apparaît que 3 arbres présentent un RDS. Pour un de ces arbres, le risque est jugé irréversible par traitement doux. Le tableau 4 montre un exemple pour l'arbre N° 19.

Tableau 4 / Évaluation QTRA.

Arbre N° 19 Fig. 6	Valeur de la cible	Potentiel d'impact	Probabilité d'échec	Risque de dommage
Série	1	4	2	1/5000
	Piétons 73/HR-720/HR	100-250 MM Diam	1/100 à 1/1000	Par an

Les arbres présentant un risque réversible par traitement doux sont :

- N° 1 et 5, suppression du bois mort



05. CONCLUSIONS

- SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS -

- Patrimoine arboré offrant un impact paysager important, alignement marquant de la rue de Carouge, procurant de l'ombre et de la fraîcheur pour l'environnement.
- Bonne gestion, interventions raisonnées.
- Etat global excellent à bon pour la majorité des arbres. Etat médiocre à mauvais pour les 7 arbres situés en bout d'alignement côté Arve.
- Risque de dommages irréversibles pour 1 arbre.
- Modification des conditions édaphiques induites par les travaux de réaménagement, dont l'impact devra être observé à long terme.



- DISCUSSION ET PRECONISATIONS -

La gestion actuelle peut être poursuivie :

- Conduite en forme semi-libre.
- Taille de réduction pour dégager la façade des bâtiments et mise à gabarit du côté des voies de tram.
- Remplacement des arbres dépérissants avec de nouvelles plantations.



Fig. 7 / Exemple d'arbre concerné par les travaux de mise à gabarit.



- SUIVI DES ARBRES -

Contrôle : vérification de l'état d'un arbre sans diagnostic complet. Par exemple : présence de bois mort, présence de branches cassées ou fissurées, vérification de gabarit, de haubans, gênes pour les réseaux et installations aériennes. Les contrôles peuvent être réalisés par un arboriste-grimpeur compétent.

Examen : examen complet d'un arbre avec mise à jour de l'inventaire. L'examen est à réaliser par un expert en arboriculture ornementale.

En ce qui concerne les contrôles, il est recommandé de :

- Contrôler l'ensemble de l'alignement tous les ans.

Fait à Vernier le 09/06/2020

Charles Zwahlen, Les Artisans de l'Arbre.



06.

ANNEXE I : METHODE EN DETAIL

La méthode de diagnostic est basée sur les méthodes :

- VTA (analyse visuelle de l'arbre) du Prof. Mattheck
- DIA (Diagnostic Intégré de l'Arbre) de William Moore. (Moore W. 2003. Diagnostic intégré de l'arbre. Une méthodologie pour le diagnostic de l'arbre. Arbres et Sciences, Vol III, No 10)

Les échelles pour l'évaluation de la santé de l'arbre et le risque présenté par l'arbre dans la méthode DIA sont annexées à la Norme Française pour le diagnostic des arbres sur les parcours acrobatiques :

AFNOR 1/11/2003. Structures et équipements sportifs. ISBN 2-12-139011-1. Parcours acrobatiques en hauteur, XP S 52-902-1.

Évaluation du risque

L'évaluation du risque est guidée par la méthode QTRA, évaluation quantifiée des risques associés aux arbres. Cette méthode propose un seuil pour le risque de dommage significatif à 1/10 000 par an. Nous utilisons ce seuil sauf contre-indication du gérant qui peut, s'il le souhaite, fixer le niveau à un seuil inférieur ou supérieur.

- STADES DE DEVELOPPEMENT -

Les quatre stades de développement basés sur l'accumulation annuelle de la biomasse (Moore, 2003), sont utilisés pour la définition du stade de développement : juvénile, jeune, adulte et sénéscent (*Fig. 1*). Cependant, comme le stade jeune est assez long et comme la forme et la mensuration de l'arbre évoluent considérablement pendant cette période, il est utile de décomposer cette phase en 3 stades : Jeune 1, début de l'expansion ; Jeune 2, milieu de l'expansion rapide ; Jeune 3, fin de l'expansion rapide.

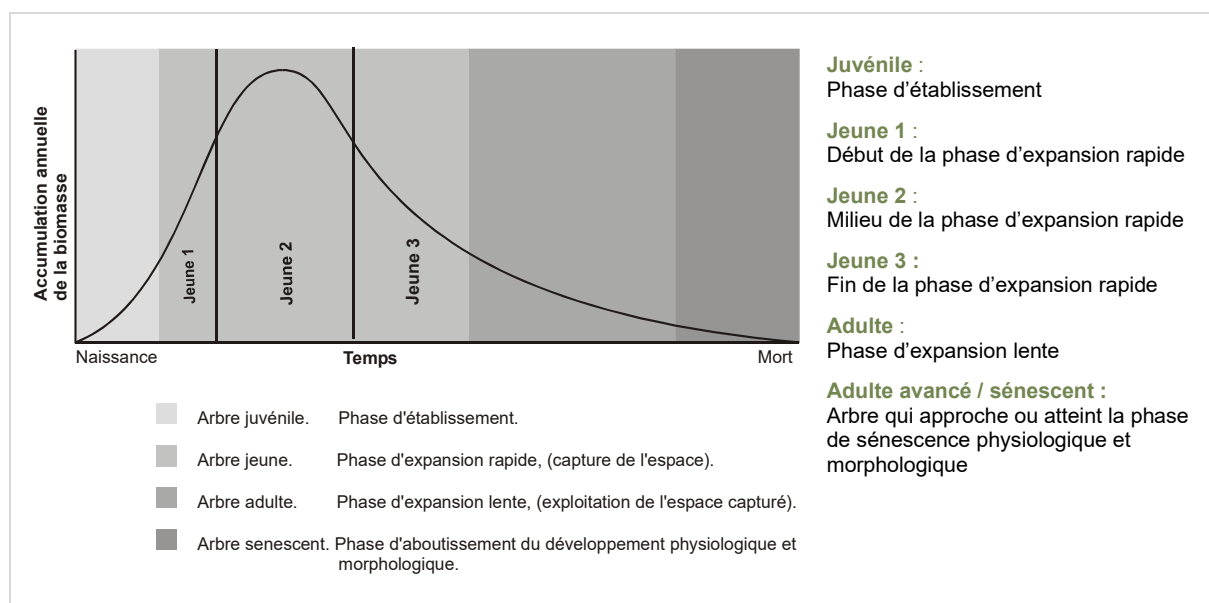


Fig. 8 / Stades de développement (Moore 2002)



- EVALUATION DES ETATS PHYSIOLOGIQUES ET MECANIQUES -

Le dysfonctionnement physiologique

Le dysfonctionnement physiologique est un processus physiologique (par exemple, la photosynthèse, l'absorption de la sève brute, construction de la zone de réaction), qui ne fonctionne pas de façon optimale suite à un changement des conditions de l'environnement ou lorsqu'il est soumis à un facteur stressant. Le dysfonctionnement peut être réversible ou irréversible (*Cf. Tableau 1*).

Le défaut mécanique

Le défaut mécanique est un élément anatomique ou morphologique inhabituel, qui diminue le facteur de sécurité de la partie de l'arbre concernée (*Cf. Tableau 2*).

› **Reconnaissance des facteurs déterminants**

Les facteurs déterminants sont sélectionnés parmi tous les désordres décelés chez l'arbre.

Un facteur déterminant est un désordre physiologique ou mécanique qui menace de façon significative l'avenir de l'arbre.

› **Détermination des états physiologique et mécanique généraux**

Lorsque les facteurs déterminants sont reconnus, il est possible de se prononcer sur l'état physiologique général et l'état mécanique général de l'arbre :

État physiologique général

L'état physiologique général est le bilan des dysfonctionnements physiologiques décelés. Il tient compte uniquement des facteurs déterminants. Lorsqu'il y a plusieurs facteurs déterminants, la plus mauvaise des notes est retenue.

État mécanique général

L'état mécanique général est le bilan des défauts mécaniques décelés. Il tient compte uniquement des facteurs déterminants. Lorsqu'il y a plusieurs facteurs déterminants, la plus mauvaise des notes est retenue.






› **Détermination de l'état de santé global**

État de santé globale

L'état de santé global de l'arbre est le bilan des désordres physiologiques et/ou mécaniques déterminants. Il s'agit de la plus mauvaise note retenue entre celle obtenue pour l'état physiologique général et celle obtenue pour l'état mécanique général.



Tableau 1 / Gradation de l'état physiologique






État physiologique		Exemples
	A Excellent	Pas de désordre significatif.
	B Bon	Désordres liés aux problèmes passagers (défoliation partielle et ponctuelle, stress hydrique ponctuel), ou aux contraintes répétées dans le temps mais qui n'entraînent pas de dépérissement. Arbres ou une partie de l'arbre présentant une baisse dans le niveau de réserves de métabolites.
	C Médiocre	Désordre prononcé et/ou le dépérissement d'un ou des organes. Arbres présentant des réserves de métabolites faibles.
	D Mauvais	Désordre grave affectant tout ou partie de l'arbre. Déclenchement d'un dépérissement de l'ensemble des organes de l'arbre. Arbres présentant une très faible réserve de métabolites.
	E Très mauvais	Arbre ou partie de l'arbre moribond ou mort.

Évolution anticipée

Le symbole « □ » ou « + » indique une possible amélioration dans les 5 ans à venir.

Le symbole « □ » ou « - » indique une possible dégradation de l'état d'un arbre dans les 5 ans à venir.

Tableau 2 / Gradation de l'état mécanique, arbres d'ornement.

Code couleur / état	Facteur de sécurité	Typification du défaut
 A Excellent	Facteur de sécurité intact.	Pas de défaut mécanique ou petits défauts, par exemple petites éraflures de l'écorce, petites cavités pour lesquelles la paroi résiduelle est très éloignée des valeurs critiques.
 B Bon	Facteur de sécurité partiellement diminué. La charge de service est inférieure à la charge de ruine	Cavités symétriques pour lesquelles la paroi résiduelle est encore éloignée des valeurs critiques.
 C Médiocre	Facteur de sécurité totalement diminué. La charge de service est à peu près égale à la charge de ruine.	Cavités symétriques pour lesquelles la paroi résiduelle est très proche des valeurs critiques. La charge de service pourrait engendrer un échec.
 D Mauvais	La charge de service est supérieure à la charge de ruine.	Cavités symétriques pour lesquelles la paroi résiduelle se situe un peu en dessous des valeurs critiques. La charge de service est largement en mesure d'engendrer un échec.
 E Très mauvais	La charge de service est largement supérieure à la charge de ruine.	L'arbre risque de se briser sous son propre poids ou sous l'effet d'une faible contrainte. Cavités pour lesquelles la paroi résiduelle se situe largement en dessous des valeurs critiques.

Note : la charge de service tient compte des conditions météorologiques habituelles et non pas des conditions exceptionnelles.

Lorsque le défaut est éloigné des valeurs critiques, (vert), le facteur de sécurité de l'arbre (charge de service / charge de ruine) est proche de la valeur normale pour un arbre sain. Le facteur de sécurité peut être partiellement diminué, le défaut est encore éloigné des seuils critiques, en ce cas, la partie défectueuse est classée vert clair.

Lorsque la partie défectueuse approche des seuils critiques, le facteur de sécurité est diminué et approche la valeur 1 pour laquelle la charge de service est égale à la charge de ruine, (orange). L'arbre est en difficulté d'adaptation mécanique.

Lorsque le défaut a dépassé les seuils critiques, la charge de service est supérieure à la charge de ruine. L'arbre est en grande difficulté d'adaptation mécanique (rouge et noir).

Evolution anticipée

Le symbole « □ » ou « + » indique une possible amélioration dans les 5 ans à venir.

Le symbole « □ » ou « - » indique une possible dégradation de l'état d'un arbre dans les 5 ans à venir.



- VTA : ANALYSE VISUELLE DE L'ARBRE -

L'analyse visuelle consiste en l'observation de l'ensemble des organes ligneux aériens. Un marteau est utilisé pour « l'écoute de la frappe » et une canne en acier pour sonder des anomalies. D'autres outils simples : couteau, scalpels, loupes... peuvent être employés. Une paire de jumelles est souvent utilisée. Parfois il est nécessaire de procéder à une inspection par grimpe ou par nacelle.

L'état des racines est évalué par déduction en fonction de l'état du collet, des contreforts, de la ramure et de l'architecture, de la vigueur de l'arbre, des conditions édaphiques du site et de l'historique du site. Parfois il est nécessaire de procéder à l'excavation du système racinaire.

L'analyse visuelle doit « déboucher » sur l'identification des problèmes et leur quantification quand c'est possible. Lorsque l'analyse ne permet pas de poser de diagnostic elle précise les types d'investigations approfondies nécessaires.

› Investigations approfondies

Des investigations approfondies sont recommandées lorsque l'analyse visuelle ne permet pas de poser de diagnostic. Elles peuvent être réalisées depuis le sol, en hauteur ou par excavation racinaire. Ces investigations peuvent consister en :

1. Utilisation d'outils spécialisés pour le diagnostic des organes ligneux
2. Étude dendrochronologique
3. Analyse simple du sol
4. Examen par grimpe ou par nacelle.
5. Analyse du sol par laboratoire.
6. Excavation extensive du système racinaire
7. Analyses par des laboratoires spécialisés (mise en culture des échantillons, détection de produits toxiques, identification des parasites).

› Sondage des organes ligneux

L'investigation est approfondie par l'emploi d'outils de diagnostic sophistiqués lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer un symptôme par un moyen simple, par exemple : écoute de la frappe, sondage par tige métallique. Le choix du matériel utilisé s'effectue en fonction des défauts et anomalies recherchés. Lorsque plusieurs outils sont utilisés, l'ordre d'utilisation doit toujours s'effectuer du moins dégradant pour l'arbre vers le plus dégradant, pour se faire les appareils suivants sont utilisés :

1. Tomographe (PICUS).



Fig. 9 / Exemple avec le tomographe Picus



2. Résistographe PD 400.

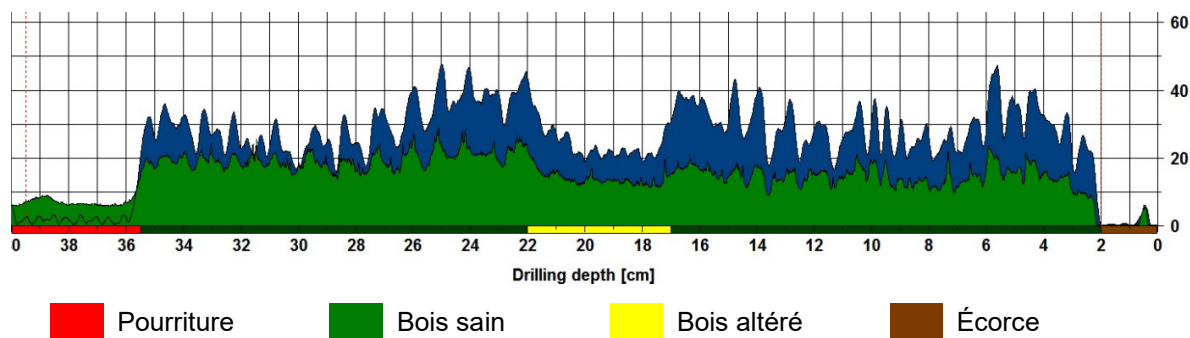


Fig. 10 / Exemple de sondage avec le Résistographe PD 400

3. Tarière de Pressler



Fig. 11 / Exemple de carotte de bois extraite à l'aide d'une tarière de Pressler

4. Fractomètre



Fig. 12 / Fractomètre

› Seuils acceptables pour l'évaluation de défauts mécaniques

En ce qui concerne les seuils acceptables concernant la réduction de la paroi résiduelle de bois sain, les cavités ouvertes et la stabilité racinaire, les seuils fixés par le Professeur Mattheck, Allemagne, sont utilisés ainsi que les seuils figurant dans les livres de l'International Society of Arboriculture. Ces seuils servent maintenant de références en Europe et aux États-Unis.

› Avertissement

Cf. Avertissement du Guide pratique pour l'analyse visuelle de l'arbre (Visual tree assesment, C. Mattheck et Helge Breloer, 1994) :

« Les arbres intacts et en bonne santé ne sont jamais à l'abri d'un déracinement ou d'un bris causé par le vent... Jugement rendu par la Cour Suprême d'Allemagne fédérale le 21 janvier 1965 : « Chaque arbre en



bord de route, même en parfaite santé, présente un risque potentiel, parce que les forces de la nature sont toujours en mesure de le déraciner ou d'en briser certaines parties. D'autre part, son mauvais état de santé n'est pas toujours apparent. Cependant, cet état de fait ne justifie pas l'abattage de tous les arbres en bord de route, parce que les risques présentés par ces arbres sont inhérents aux lois de la nature et font partie des causes naturelles, inévitables et indépendantes de toute activité humaine. »

› Références

Le modèle des zones de l'arbre

Outil de lecture de l'arbre, base de l'élaboration d'un diagnostic de l'arbre.

Article paru dans Arbres et Sciences n°8, Vol. II, 2002.

Diagnostic intégré de l'arbre, 1ère partie

Définition des termes. Elaboration des échelles pour l'évaluation de l'état physiologique et l'état mécanique de l'arbre.

Article paru dans Arbres et Sciences n°10, Vol III, juin 2003.

Diagnostic intégré de l'arbre, 2ème partie

Le protocole DIA, l'outil informatique. Article en cours de publication.

Guide pratique pour l'analyse visuelle de l'arbre

VTA, Visual Tree Assesment, C. Mattheck et Helge Breloer, 1994. Revisé 2008.



- INTRODUCTION A LA METHODE QTRA -

Évaluation quantifiée des risques associés aux arbres QTRA Quantified Tree Risk Assessment

Traduit de l'Anglais par l'Atelier de l'Arbre

© Traduction Française, Atelier de l'Arbre, septembre 2010.

> Introduction

Pour qu'il existe un risque associé à l'échec mécanique d'un arbre, deux critères doivent être remplis. Il doit y avoir un potentiel d'échec, et un potentiel de blessure ou de dommage en résultant. Le propriétaire ou le gestionnaire de l'arbre doit prendre en compte un concours de circonstance selon la combinaison des facteurs suivants :

- L'échec de tout ou de partie de l'arbre
- Les dommages ou préjudices corporels et matériels en résultant
- Le degré de gravité de ces dommages.

Le système (QTRA) permet aux experts d'allouer des valeurs numériques de risque en vue de les comparer à un niveau de risque habituellement accepté.

> Définition des termes

Le risque de dommage significatif :

Le risque de dommage significatif dû à l'échec d'un arbre est une estimation de la probabilité qu'au cours de l'année à venir quelque chose d'une valeur significative sera perdu ou considérablement endommagé suite à la rupture.

Notion de « Risque acceptable »

Nous sommes constamment exposés aux risques de différents degrés et nous les acceptons. Par exemple, si nous désirons le confort donné par la lumière électrique, nous devons accepter que bien qu'ayant mis en place des mesures de protection comme l'isolation, il demeure néanmoins un risque mineur d'électrocution. Il s'agit d'un risque quotidien pris et accepté par des millions de gens.

Compte-tenu du Manuel de la « British Medical Association », « Living with risk (Vivre Avec le Risque) » (1987) et de la mention particulière citée en conclusion : « *peu de gens engageraient leurs propres ressources pour réduire un risque de décès annuel qui était déjà aussi bas que 1/10,000* », Helliwell (1990) suggère que 1/10,000 pourrait être une valeur de base convenable pour définir le seuil de risque acceptable dans le cadre des échecs associés aux arbres. De plus, « *pour les personnes pour lesquelles un risque est imposé dans l'intérêt général du public, The Health and Safety Executive (Inspection du Travail), poserait cette limite à 1/10,000 par an* » (The Health and Safety Executive 1996). Le propriétaire ou le gestionnaire d'un arbre pourrait dès lors adopter le risque acceptable à 1/10,000 ou choisir d'opérer à un niveau plus ou moins élevé.



› Coûts et bénéfices

Les arbres procurent beaucoup d'avantages, ils sont essentiels à notre bien-être et améliorent généralement nos environnements urbanisés comme naturels. Par conséquent on peut penser que supprimer tout arbre pouvant causer un risque entraînerait pour tous un appauvrissement certain en termes de qualité de vie. Il est essentiel de maintenir un équilibre entre les bénéfices et les coûts inhérents à la réduction des risques, pas uniquement sur un plan financier mais également en termes de perte d'agrément et tout autre bénéfice lié aux arbres.

› La valeur « statistique » de la vie

« La valeur statistique de la vie » est une expression utilisée dans l'évaluation du risque pour exprimer la valeur monétaire d'une vie humaine. Elle est utilisée dans la répartition des ressources liée à la réduction du risque. En Grande Bretagne, cette valeur se situe actuellement aux environs de 1,400,000 CHF (1,000,000 £), (The Health and Safety Executive (Inspection du Travail), 1995). Elle est également utilisée dans l'évaluation quantifiée des risques associés aux arbres pour mettre en corrélation la valeur du dommage matériel face à la valeur de la vie humaine. Par exemple, un risque de décès de ½ équivaut à une perte de propriété d'une valeur de 700,000 CHF.

› Appartenance du risque

Lorsqu'un risque est considéré en fonction du grand public, le risque de dommage significatif est la mesure de la probabilité qu'un décès ou qu'un dommage significatif découle de l'échec d'un arbre. Ce risque affecte généralement de nombreux individus qui sont pour la plupart anonymes. Dans ces situations le propriétaire ou le gestionnaire doit prendre une décision avisée, aussi un certain niveau de risque sera imposé au public le plus large pour son plus grand intérêt, à moins que l'arbre ne soit enlevé.

Lorsque le risque de dommage est lié à un individu précis ou un groupe défini d'individus, ceux qui sont exposés au danger sont identifiés. Dans certaines situations comme lorsque les individus n'ont aucun contrôle quant à leur exposition au risque (lorsque qu'un arbre penche vers une habitation située sur une propriété voisine par exemple), il serait raisonnable de permettre aux personnes exposées de donner leur opinion quant au processus de gestion du risque.

› Évaluation quantifiée des risques associés aux arbres

Le système compte trois éléments pour l'évaluation du risque associé à l'échec d'un arbre :

1. la cible
2. le potentiel d'impact
3. la probabilité d'échec.

Le produit de ces probabilités est désigné par l'expression « Risque de Dommage Significatif ».

Un risque de décès de 1/10,000 est considéré par certaines autorités comme étant la limite de risque acceptable pour le public lorsqu'il est imposé dans l'intérêt général (Heath and Safety Executive (Inspection de Travail) 1996). Utilisant la limite de 1/10,000, un risque de décès excédant les 1/10,000 requiert une mesure permettant de réduire le niveau de risque, à moins que le risque ne soit limité à un individu ou à un groupe précis (tel que le propriétaire de l'arbre, qui peut choisir d'accepter un plus ou moins grand risque). De plus, l'arbre peut rapporter des bénéfices qui peuvent être mis en avant face au risque de dommage. On n'entend pas appliquer le seuil de 1/10,000 de façon extrêmement rigide, il inclut nécessairement un degré de flexibilité.



› Évaluation de la cible

Une cible est toute chose de valeur qui pourrait être endommagée dans l'éventualité de l'échec d'un arbre. Une évaluation fréquente des arbres et des risques qui leur sont associés peut être indispensable dans les zones d'accès au grand public ou dans les zones où les arbres pourraient s'abattre sur des personnes ou des biens de valeur. Inversement dans les endroits sans biens et offrant un faible accès au public, l'enquête et l'évaluation des dangers liés aux arbres peuvent se révéler inutiles. Par conséquent la nature de la cible se trouvant sous ou adjacente à un arbre devrait dicter le niveau d'évaluation de risque requis.

Véhicules et piétons cibles ainsi que la valeur du dommage à la propriété sont rassemblés dans le tableau 1. Dans le cas de véhicules, la probabilité d'occupation peut être liée soit à une partie de l'arbre frappant le véhicule ou au véhicule percutant la partie de l'arbre tombée. La vitesse du véhicule influe sur les deux types d'impact. Plus le véhicule roule vite plus la probabilité qu'il soit heurté pendant la chute d'un arbre est moindre, mais plus grande est la probabilité qu'il heurte un arbre au sol. Les distances de sécurité routière et une taille moyenne du véhicule sont utilisées dans le calcul de l'occupation des routes par les véhicules. La probabilité qu'un véhicule occupant n'importe quel point sur la route est le ratio du moment où un point sur la route est occupé par des véhicules - incluant la distance de freinage de sécurité - pour une période d'une journée (24h).

La probabilité que des piétons occupent une cible est calculée sur la base suivante : un individu passera en moyenne cinq secondes à occuper la zone cible, à moins qu'une plus longue durée d'occupation soit rendue probable par une structure habitable, un café en terrasse ou le banc d'un parc. Par exemple, dix piétons par jour chacun occupant la cible cinq secondes constituent une occupation journalière de cinquante secondes, par lesquelles est divisé le total des secondes dans une journée afin de donner une probabilité d'occupation de la cible ($50/86,400 = 1/1,728$).

Lorsque l'on évalue une propriété qui constitue la cible, il est nécessaire de prendre en compte le coût approximatif des réparations ou le remplacement qui pourrait être exigé si l'arbre ou la branche en question se rompait. Les valeurs du tableau 1 représentent le coût probable des réparations ou du remplacement. « Quantified Tree Risk Assessment » Ltd (SA), fournit aux utilisateurs du système détenant une licence, les taux de conversion monétaire annuels qui permettent une application du système au niveau international.

Les séries de valeurs monétaires concernant la propriété utilisées dans le tableau 1 proviennent d'une valeur de « vie hypothétique » de 1,400,000 CHF (1,000,000 £).

Par exemple la série cible 2 représente une probabilité d'occupation piétonne jusqu'à 1/20 ; $1,400,000 \text{ CHF} \div 20 = 70,000 \text{ CHF}$.

Ainsi, la propriété encourra probablement un coût de réparation de 70,000 CHF, ce qui représente un-vingtième de la valeur d'une vie hypothétique, un ratio d'1/20 est réparti.

Les cibles seront généralement enregistrées dans l'enquête en tant que séries (1-6 *Tableau 1*) mais peuvent être plus précisément calculées et enregistrées en tant que ratio là où les circonstances l'imposent.

Souvent la nature du défaut est telle que la probabilité d'échec est plus importante en cas de temps venteux, alors que la probabilité que le site soit occupé durant de telles conditions météorologiques est considérablement réduite, par exemple les zones boisées, les parcs ou jardins privés, réduisant ainsi le risque de dommage dû à l'échec d'arbre. Inversement, les risques peuvent être accrus par le temps comme dans le cas du phénomène connu sous le nom de « chute estivale de branche ». Ce type de rupture se produit chez certaines espèces d'arbres lors d'un temps chaud et sec quand, dans certains endroits, la probabilité que des personnes se trouvent sous les arbres pourrait être accrue. Dans ces deux situations on pourrait appliquer un « Facteur Météorologique » à notre calcul. Le facteur météorologique est une fraction représentant les effets combinés de la météo sur la fréquentation des sites et sur les échecs d'arbres en réduisant ou en augmentant le « Risque de Dommage Significatif ». Exemple un facteur météorologique d'1/2 a pour effet de réduire le risque de dommage significatif de moitié.



Tableau 3

Série cible	Propriété (Réparation ou coût de remplacement) *	Fréquentation piétonne	Exemples de fréquence de Véhicule	Ratio de probabilité (d'occupation ou fraction de valeur de 1,400,000 CHF)
1	>70,000 CHF-1,400,000 CHF	>36 par heure - constant	26,102 véhicules à 110 km/h 32,359 véhicules à 80 km/h 46,702 véhicules à 50 km/h	1/1
2	>19,444 CHF 70,000 CHF	>10 par heure - 36 par heure	1,305 véhicules à 110 km/h 1,617 véhicules à 80 km/h 2,335 véhicules à 50 km/h	1/20
3	>1,944 CHF 19,444 CHF	>1 par heure - 10 par heure	363 véhicules à 110 km/h 449 véhicules à 80 km/h 649 véhicules à 50 km/h	1/72
4	>81 CHF - 1,944 CHF	>1 par jour - 1 par heure	36 véhicules à 110 km/h 45 véhicules à 80 km/h 65 véhicules à 50 km/h	1/720
5	>11 CHF - 81 CHF	> 1 par week-end - 1 par jour	2 véhicules à 110 km/h 2 véhicules à 80 km/h 3 véhicules à 50 km/h	1/17,280
6	≤ 11 CHF	≤ 1 par week-end	Aucun	1/120,960

› Le potentiel d'impact

Il est improbable qu'une petite branche morte de moins de 10 mm de diamètre provoque un dommage significatif, même en cas de contact direct avec la cible. Alors qu'en moyenne la chute d'une branche d'un diamètre supérieur à 150 mm provoquera probablement un dommage significatif dans le cas d'un impact avec tout sauf une cible de plus grande résistance. Le potentiel accru de dommage en relation avec la taille de l'arbre ou de la branche est proportionnel à un certain point. En effet, l'arbre ou la branche atteindra une taille à partir de laquelle la sévérité accrue du dommage n'est plus proportionnelle à l'augmentation de la taille.

De la même façon, la plupart des biens susceptibles d'être affectés par l'échec d'un arbre ne peuvent subir qu'un niveau limité de dommage, de plus amples dommages ne seraient probablement qu'insignifiants, c'est-à-dire que leur ampleur ne peut aller au-delà du montant des réparations financièrement justifiées.

Le système catégorise le 'potentiel d'impact' en fonction du diamètre des troncs et des branches. Une équation de biomasse dérivée de la mesure du poids d'arbres de différents diamètres de tronc, est utilisée pour élaborer un groupe de données (*Tableau 2*) d'estimations comparatives de poids d'arbres et de branches allant d'un diamètre de 10 à 600mm. Un plafond de 600mm a été sélectionné pour représenter un impact potentiel d'1/1 en partant du principe que l'impact d'un arbre ayant un tronc de 600mm de diamètre a une probabilité d'1/1 de provoquer un dommage maximal possible aux cibles les plus fréquemment rencontrées. De ce point, le potentiel d'impact est réduit à 1/23,500 pour une branche ou un arbre de 10 mm. Concernant les évaluations initiales, les probabilités sont regroupées dans les séries 1-5 (*Tableau 3*).



Tableau 4 / Estimations du poids de la biomasse.

Dbh (mm) (diamètre à hauteur de poitrine)	Poids à sec (kg) $y=ax^b$	Fraction de poids sec comme ratio
10	0.11263	1/23,505.722
25	1.0713	1/2,471.6699
50	5.8876	1/449.74
100	32.357	1/81.834
150	87.67	1/30.203
200	177.82	1/14.891
250	307.77	1/8.604
300	481.81	1/5.496
350	703.8	1/3.762
400	977.26	1/2.71
450	1305.5	1/2.03
500	1691.4	1/1.566
550	2138	1/1.24
600	2647	1/1

Source. Tritton & Hornbeck (1982)

x=dbh (cm); y=estimation de poids à sec; a=coefficient allométrique 0.1126294414;
b= coefficient allométrique 2.458309949

Dbh (US - diamètre mesuré à hauteur de poitrine – 1.37 mètres).

Tableau 5 / Potentiel d'Impact

Série d'Impact potentiel	Taille de la partie susceptible d'être la cible d'impact	Impact Potentiel
1	> 450 mm dia.	1/1
2	> 250 mm dia.- 450 mm dia.	1/2
3	>100 mm dia.- 250 mm dia.	1/8.6
4	> 25 mm dia.- 100 mm dia.	1/82
5	10 mm dia.- 25 mm dia.	1/2500

* La série 1 est basée sur un diamètre de 600 mm.



› Probabilité d'échec

Le troisième élément du système, la Probabilité d'Échec, fournit cinq séries. Chaque série représente une gamme de probabilité d'échec se produisant dans une année, comme ratio calculé à partir de la valeur la plus élevée de cette série. La probabilité d'échec devra normalement être enregistrée dans les recensements comme série (1-6 tableau 4), mais peut être évaluée et enregistrée avec plus de précision comme ratio quand les circonstances l'imposent.

Tableau 6

Série de Probabilité d'échec	Ratio de Probabilité
1	1/1
2	1/10
3	1/100
4	1/1,000
5	1/10,000
6	1/100,000
7	1/1,000,000

› Exemple

Un chêne pédonculé (*Quercus robur*), adulte, de 25 mètres de hauteur, diamètre de tronc de 900 mm, est situé dans un bois peu fréquenté avec aucun accès dans les 30 mètres, néanmoins des membres du public pénètrent de façon occasionnelle la zone cible. Il y a une pourriture très étendue du bois du cœur, accompagnée de fissures longitudinales du tronc. L'intégrité mécanique de l'arbre est fortement compromise. La partie la plus significative de l'arbre susceptible de frapper la zone cible est le tronc ou une partie de la cime avec le poids de l'ensemble de l'arbre derrière elle.

Tableau 7

	Cible	Potentiel d'impact	Probabilité d'échec	Risques de dommage
Série	6	1	1	
Probabilité	1/120,960	x 1/1	x 1/1	= 1/120,000

L'absence de structure et le très faible niveau d'accès au public indiquent qu'une évaluation détaillée de l'arbre n'est pas essentielle. Il pourrait être établi qu'appliquer un « facteur météorologique » d'1/4 serait approprié, la probabilité de dommage dans son ensemble serait réduite à 1/483,840.

› Propriété intellectuelle

Ce document et toutes les données qu'il contient sont la propriété de « Quantified Risk Assessment » Ltd. Seuls les détenteurs certifiés d'une licence : ayant reçu une formation de la société Quantified Tree Risk Assessment Ltd ou en France par l'Atelier de l'Arbre SARL, devraient utiliser le système de gestion des risques liés aux arbres.



› Références

- **Henderson, M.1987.** *Living with Risk. The British Medical Association Guide.* (Vivre avec le risque. Guide de l'Association Médicale Britannique). John Wiley end Sons, Chichester.
- **Health and Safety Executive. 1995.** *Generic Terms and Concepts in the Assessment and Regulation of Industrial Risks. Discussion Document.* (Termes Génériques et Concepts dans l'Évaluation et la Régulation des Risque Industriels. Document de Discussion). HSE. Books, Sudbury, Suffolk. 43pp.
- **Health and Safety Executive (Inspection du Travail). 1996.** *Use of Risk Assessment Within Government Departments. Report prepared by the Interdepartmental Liaison Group on Risk Assessment.* (Utilisation de l'Évaluation des Risques dans les Ministères. Rapport élaboré par le Groupe de liaison interministériel sur l'Évaluation du Risque). HSE. Books, Sudbury, Suffolk. 48 pp.
- **Helliwell, D. R. 1990.** *Acceptable Level of Risk Associated with Trees.* Arboric. (Niveau de Risque Acceptable Lié aux Arbres). Jour. Vol. 14 No.2:159-162.
- **Quantified Tree Risk Assessment Ltd**
9 Lowe Street
Macclesfield
SK 11 7NJ
United Kingdom



- PRESENTATION DANS L'INVENTAIRE -

Observations			Conduite minimale		Etat de santé global						
Données de base					Profils de santé, du bois mort et du risque						
15	Essence	Quercus robur									
	C x H	357 x 31					H/D	27			
	Stade	Adulte									
	Forme	Semi - libre									
	Cible										
Conduite minimale : Maintien en forme semi libre											
Observations											
Date	Commentaires		Phys.	FD	Méc.	FD BM	PII	PIR	PRI	PRR	
15/07/04	Zone I						3	2	1	5	1
15/07/04	Tronc	Broussin impressionnant NE.									
15/07/04	Note	Arbre remarquable.									
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre											
Programme de travail											
Année	PP	Intervention	Date réalisée	Ets	Reportée						
2005	3	Suppression bois mort									
2008	3										
Conduite choisie											
Programme de travail, en fonction de la conduite choisie et des observations, organisé par année et par période phénologique.											

Note : les données de base montrent le rapport Hauteur / Diamètre (H/D),

Fig. 13 / Fiches individuelles extraites du Système Expert®

> Le profil de l'état physiologique et mécanique

L'icône en figure 7 est utilisée pour présenter l'état physiologique général de l'arbre et l'état mécanique des parties de support (facteurs déterminants en non déterminants tous confondus). Ceci permet la confrontation de l'état physiologique et des défauts mécaniques.

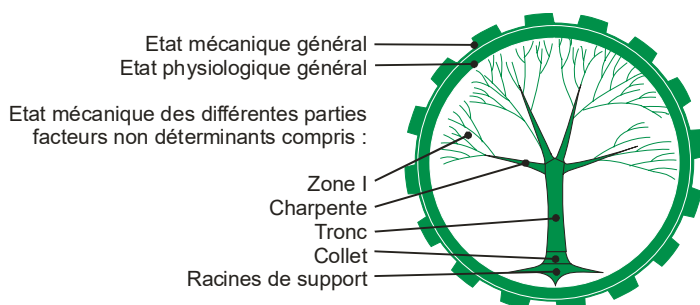


Fig. 14 / Icône pour la présentation du profil de l'état physiologique et mécanique de l'arbre (marque déposée).



> Le profil du bois mort

La présence du bois mort est également présentée à l'aide d'icônes. Les figures 8 et 9 montrent la présence de bois mort (note 1 à 5) en Zone I et au sein de la charpente. La figure 10 illustre 3 exemples d'utilisation.

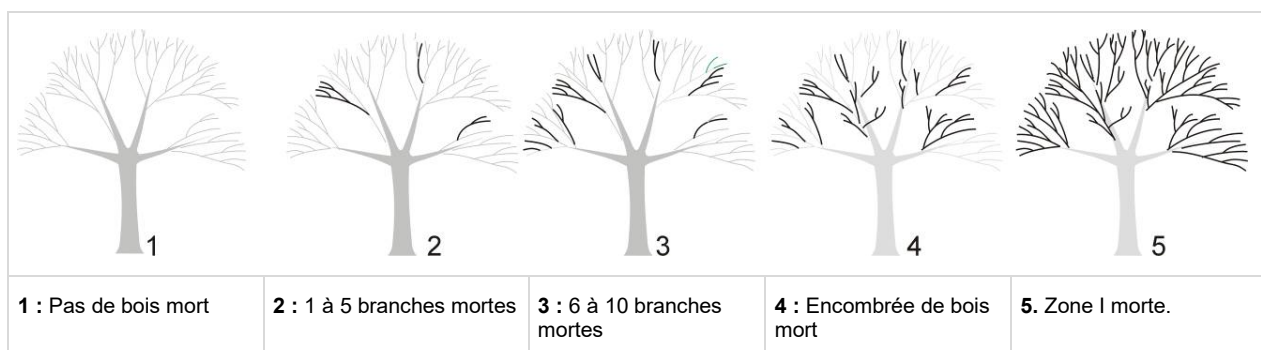


Fig. 15 / Présentation de la présence du bois mort pour la Zone I.

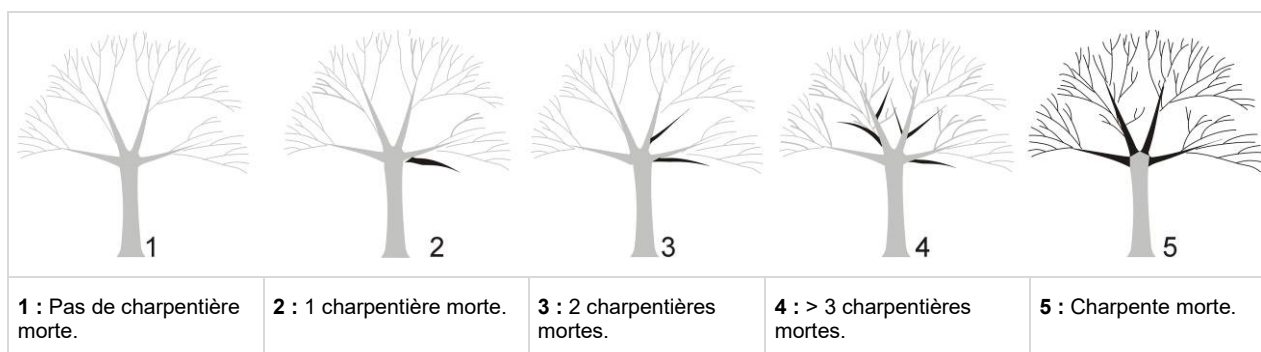


Fig. 16 / Présentation de la présence du bois mort pour la charpente, notes 1 à 5.

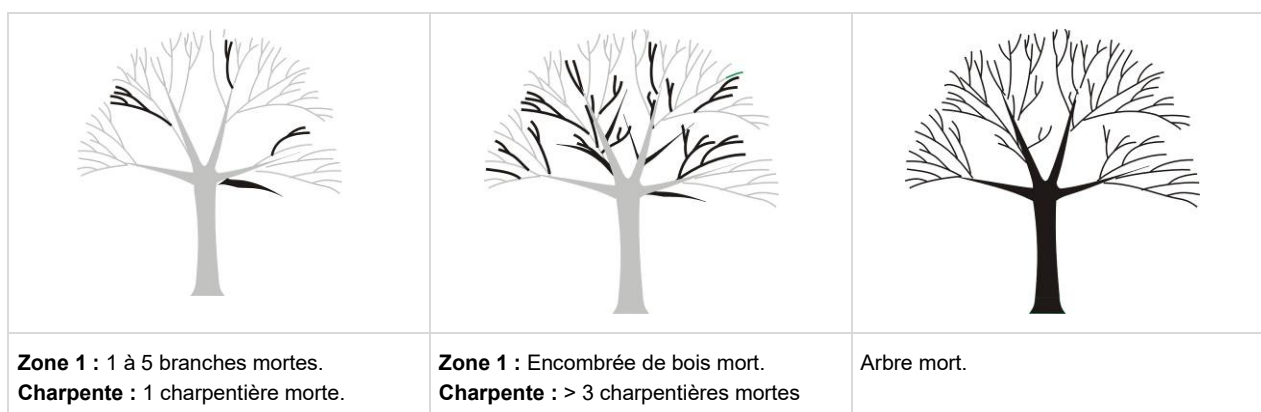


Fig. 17 / Exemples de profils de bois mort.



› Conduite

La notion de « conduite minimale » et de « conduite choisie »

La *conduite minimale* est le type de conduite nécessaire afin de ramener la probabilité de rupture à un niveau acceptable. Le tableau montre quelques exemples.




Tableau 8 / Exemples de types de « conduite minimale »

Maintien en forme semi libre
Maintien en forme libre
Maintien en volume réduit
Maintien en trogne
Maintien en têtes de chats

Lorsqu'il s'agit de plusieurs arbres sur un site ou d'un patrimoine entier, les décisions de gestion et de conduite ne peuvent être prises qu'après analyse des données enregistrées au moment du diagnostic. Il est possible d'interroger une base de données afin de connaître les différents profils d'un ensemble d'arbres. Par exemple: composition des espèces, pyramide des âges, forme, états de santé généraux, état de santé global, profil de bois mort, profil de risque. La *conduite choisie* est fonction des objectifs globaux de gestion et du profil de santé et du profil de risque de l'arbre en question.

› Codification des risques

Tableau 9 / Codification des risques

Valeur	Code	Niveau de risque
0		Il n'y a pas de risque de dommage significatif
1		Il n'y a pas de risque de dommage significatif actuel, mais l'arbre nécessite un suivi rapproché. Par exemple : l'état de l'arbre pourrait se dégrader ; l'arbre a été haubané.
2		Il y a un risque de dommage significatif.

› Icône pour le profil de risque

Le risque immédiat est la pire des valeurs de risque obtenues pour l'ensemble des observations. Le risque immédiat est présenté sous la forme d'un premier triangle (*fig.11*). La réversibilité du risque est présentée par un deuxième triangle à l'extérieur du premier.

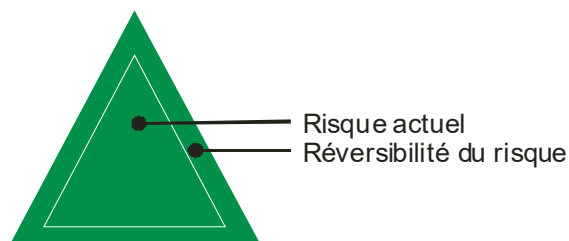


Fig. 18 / Représentation graphique du profil de risque.



07.

ANNEXE 2 : TABLEAUX DE SYNTHÈSE, INVENTAIRE, PROGRAMME DE TRAVAIL



Système expert

« Atelier de l'Arbre[®] »

pour la gestion de patrimoines arborés



Atelier de l'Arbre
La Lèbre, 24150, Lanquais, France
Tél 06 82 87 90 13
email : wmoore@arbre.net

Erables de la rue de Carouge

Examens in situ 7 mai 2020

SOMMAIRE

Tableaux de synthèse	2
Données de base	3
Profil de santé profil de risque. Maintien de risque	4
Conduite	6
Inventaire	9
Plan de travail	40
Synthèse des coûts annuels	40
Programme détaillé par type d'intervention	41
Programme détaillé par arbre	45

Utilisateur agréé :

CABINET D'EXPERTISE DES ARTISANS DE L'ARBRE
DIAGNOSTIC, PATHOLOGIE ET GESTION DE L'ARBRE



Genève

Division en stations

Station Localisation

1 Rue de Carouge

Nbs

23

Total :

23

Tableaux de synthèse : analyse par station

Station 1 Rue de Carouge

Données de bases

Composition : essences

Essence	Nbs	%
Acer platanoides	20	86,96%
Acer pseudoplatanus	3	13,04%
Totaux	23	100,00%

Composition : essences (%)

Essence	Nbs	%
Acer platanoides	20	86,96%
Acer pseudoplatanus	3	13,04%
Totaux	23	100,00%

Stade de développement

Stade	Nbs	%
2 : Jeune 1	1	4,35%
3 : Jeune 2	2	8,70%
4 : Jeune 3	19	82,61%
5 : Adulte	1	4,35%
Totaux	23	100,00%

Forme

Forme	Nbs	%
Semi libre	23	100,00%
Totaux	23	100,00%

Profil de santé

Etat physiologique gén.

Etat	Nbs	%
A	3	13,04%
B	11	47,83%
B-	1	4,35%
C	1	4,35%
C-	4	17,39%
D-	3	13,04%
Totaux	23	100,00%

Etat mécanique gén.

Etat	Nbs	%
A	23	100,00%
Totaux	23	100,00%

Etat global

Etat	Nbs	%
A	3	13,04%
B	10	43,48%
B-	2	8,70%
C	1	4,35%
C-	4	17,39%
D-	3	13,04%
Totaux	23	100,00%

Etat méc. charpente

Etat	Nbs	%
A	22	95,65%
B-	1	4,35%
Totaux	23	100,00%

Etat méc. tronc

Etat	Nbs	%
A	23	100,00%
Totaux	23	100,00%

Etat méc. collet

Etat	Nbs	%
A	23	100,00%
Totaux	23	100,00%

Etat méc. racines

Etat	Nbs	%
A	23	100,00%
Totaux	23	100,00%

Profil de risque

Risque immédiat

Risque	Nbs	%
0	20	86,96%
2	3	13,04%
Totaux	23	100,00%

Risque : réversibilité

Risque	Nbs	%
0	22	95,65%
2	1	4,35%
Totaux	23	100,00%

Durée de maintien

Durée de maintien	Nbs	%
Sans objet	1	4,35%
> 20 ans	13	56,52%
< 20 ans	3	13,04%
< 5 ans	2	8,70%
< 1 an	4	17,39%
Totaux	23	100,00%

Profil de bois mort : synthèse

Veillez noter : si il n'y a pas de tableau sur ce page, la station ne présente pas de bois mort.

Nbs	Zone I	Charp. Tronc
1	4	4 1
4	3	3 1
2	2	2 1
5	2	1 1
2	1	2 1
14		

Profil de bois mort : détail

Risque immédiat : 0

N°Arbre	Essence	Stade	Etat phys	Note bois mort			Risque	
				ZI	Charp. Tronc		Imm. Rév.	
1	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C	2	2	1	0	0
3	Acer platanoides	4 : Jeune 3	B	1	2	1	0	0
4	Acer platanoides	4 : Jeune 3	B	2	1	1	0	0
11	Acer pseudoplatanus	3 : Jeune 2	B	2	1	1	0	0
17	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C-	3	3	1	0	0
18	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C-	3	3	1	0	0
19	Acer platanoides	4 : Jeune 3	D-	4	4	1	0	0
20	Acer platanoides	4 : Jeune 3	D-	3	3	1	0	0
21	Acer platanoides	4 : Jeune 3	D-	3	3	1	0	0
22	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C-	2	1	1	0	0
23	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C-	2	1	1	0	0







Risque immédiat : 2

N°Arbre	Essence	Stade	Etat phys	Note bois mort			Risque	
				ZI	Charp. Tronc		Imm. Rév.	
1	Acer platanoides	4 : Jeune 3	C	2	2	1	2	0
5	Acer platanoides	4 : Jeune 3	B	1	2	1	2	0





Conduit. Détail.

Station : 1 Rue de Carouge







Conduite choisie : A remplacer

N°Arbre	Essence	Stade	Forme	Maintien	Etat : phys / méc	Profil risque
22	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 5 ans	 	 
21	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 1 an	 	 
20	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 1 an	 	 
18	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 1 an	 	 
17	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 1 an	 	 
23	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 5 ans	 	 
Total :		6				

Conduite choisie : A supprimer : dès que possible

N°Arbre	Essence	Stade	Forme	Maintien	Etat : phys / méc	Profil risque
19	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	Sans ob	 	 
Total :		1				

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

N°Arbre	Essence	Stade	Forme	Maintien	Etat : phys / méc	Profil risque
13	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
2	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
3	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
4	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
5	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
6	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
7	Acer platanoides	3 : Jeune 2	Semi libre	> 20 ans	 	 
8	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
9	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
10	Acer pseudoplatanus	2 : Jeune 1	Semi libre	> 20 ans	 	 
1	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 20 ans	 	 
12	Acer pseudoplatanus	4 : Jeune 3	Semi libre	> 20 ans	 	 
14	Acer platanoides	5 : Adulte	Semi libre	> 20 ans	 	 
15	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 20 ans	 	 
16	Acer platanoides	4 : Jeune 3	Semi libre	< 20 ans	 	 
11	Acer pseudoplatanus	3 : Jeune 2	Semi libre	> 20 ans	 	 
Total :		16				

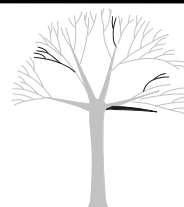
Inventaire

Localité : **Genève**

Station : **1 Rue de Carouge**

No SEVE 1
Essence : **Acer platanoides**
C x H : **96 x 16** H/D: 52
Forme : Semi libre
Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 20ans



Etat global

Conduite minimale : **Maintien en forme semi libre**

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I
07.05.2020 Zone I Descente de cime, réitérations traumatiques dans la couronne.
07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	0	0
A <input type="checkbox"/>	C <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	2	0

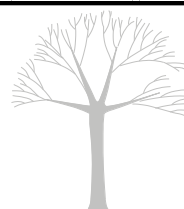
Conduite choisie : **Maintien en forme semi libre**

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	0	Sans objet. Taille d'entretien				
2020	4	Printemps/ét Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.			

No SEVE 2
Essence : **Acer platanoides**
C x H : **109 x 16** H/D: 46
Forme : Semi libre
Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Etat global

Conduite minimale : **Maintien en forme semi libre**

Observations

Date Commentaires

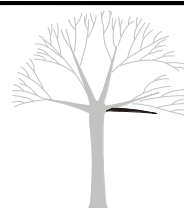
07.05.2020 Etat global

Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>		0	0

Conduite choisie : **Maintien en forme semi libre**

No SEVE 3
Essence : **Acer platanoides**
C x H : **129 x 16** H/D: 39
Forme : Semi libre
Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Etat global

Conduite minimale : **Maintien en forme semi libre**

Observations

Date Commentaires

07.06.2017 Zone I

07.05.2020 Etat global

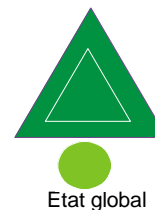
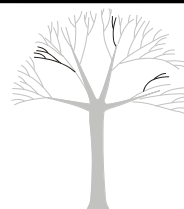
Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	0	0
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>		0	0

Conduite choisie : **Maintien en forme semi libre**

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 114 x 16 H/D: 44
Forme : Semi libre
4 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Etat global

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	0	0
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>		0	0

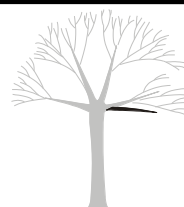
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
			Dégagement de la façade du bâtiment.			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 119 x 16 H/D: 42
Forme : Semi libre
5 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Charpente

07.05.2020 Etat global

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	2	0
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>		0	0

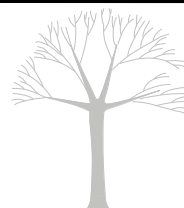
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	0	Sans objet.	Suppression bois mort			
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
			Dégagement de la façade du bâtiment.			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 108 x 16 H/D: 47
Forme : Semi libre
6 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Etat global

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>		0	0

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

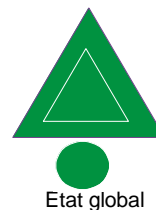
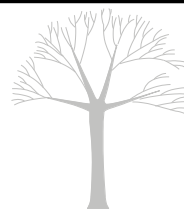
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
			Dégagement de la façade du bâtiment.			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 70 x 11 H/D: 49
 Forme : Semi libre
 Stade : 3 : Jeune 2

Durée de maintien : > 20ans



Etat global

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date	Commentaires
07.05.2020	Notes gén. Conflit avec les câbles du tram à l'Est.
07.05.2020	Etat global

Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0	0
A	A	<input type="checkbox"/>	0	0

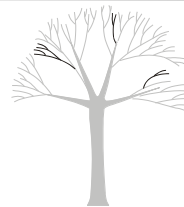
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 150 x 16 H/D: 34
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Etat global

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date	Commentaires
07.05.2020	Etat global

Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
A	B	<input type="checkbox"/>	0	0

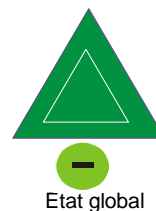
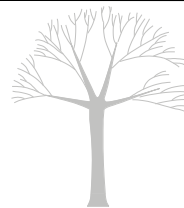
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 140 x 16 H/D: 36
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Etat global

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date	Commentaires
07.05.2020	Charpente Une charpentièrre avec porte-à-faux surplombant la voie de tram.
07.05.2020	Etat global

Etat			Risque	
Méc.f.d.	Phys.f.d	BM	Imm.	Rev.
B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0
A	B	<input type="checkbox"/>	0	0

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

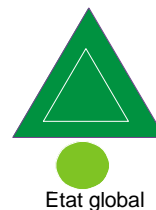
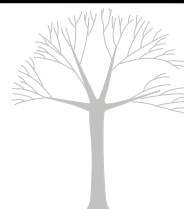
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer pseudoplatanus*
 C x H : 58 x 11 H/D: 60
 Forme : Semi libre
 Stade : 2 : Jeune 1

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date **Commentaires**

07.05.2020 Etat global

Etat		BM	Risque	
Méc.fd.	Phys.fd		Imm.	Rev.
A	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		0	0

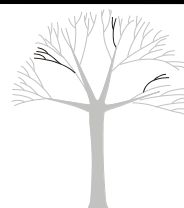
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

No SEVE Essence : *Acer pseudoplatanus*
 C x H : 82 x 16 H/D: 61
 Forme : Semi libre
 Stade : 3 : Jeune 2

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date **Commentaires**

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Etat global

Etat		BM	Risque	
Méc.fd.	Phys.fd		Imm.	Rev.
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2	0	0
A	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		0	0

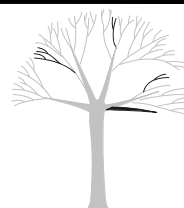
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

No SEVE Essence : *Acer pseudoplatanus*
 C x H : 85 x 16 H/D: 59
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date **Commentaires**

07.05.2020 Etat global

Etat		BM	Risque	
Méc.fd.	Phys.fd		Imm.	Rev.
A	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		0	0

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

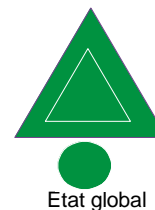
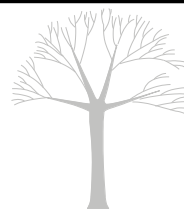
Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 84 x 16 H/D: 60
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : > 20ans

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre



Etat global

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

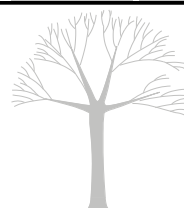
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 102 x 21 H/D: 65
 Forme : Semi libre
 Stade : 5 : Adulte

Durée de maintien : > 20ans

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre



Etat global

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

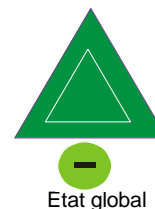
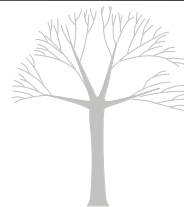
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 76 x 11 H/D: 45
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 20ans

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre



Etat global

Observations

Date	Commentaires	Etat Méc.fd. Phys.fd	BM	Risque Imm. Rev.
07.05.2020	Zone I Cime claire, croissance annuelle faible.	A <input type="checkbox"/> B- <input type="checkbox"/>		0 0

Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

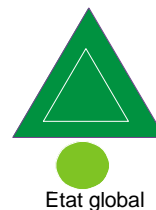
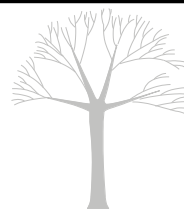
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Réduction légère			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 79 x 11 H/D: 44
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 20ans



Etat global

Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Etat global

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/>	0	0

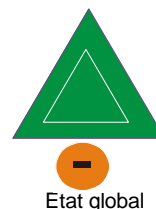
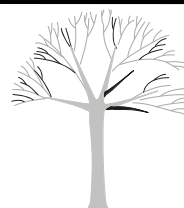
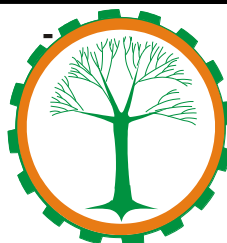
Conduite choisie : Maintien en forme semi libre

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	4	Printemps/ét	Mise à gabarit			
			Dégagement des voies et lignes de tram.			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 100 x 16 H/D: 50
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 1 ans



Etat global

Conduite minimale : A remplacer

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Ensemble de la couronne claire, descente de cime, bois mort en périphérie de la couronne.

07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0
A <input type="checkbox"/>	C- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0

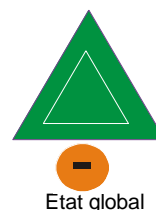
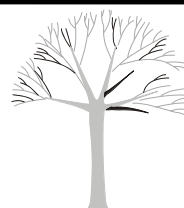
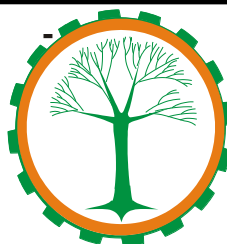
Conduite choisie : A remplacer

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 115 x 16 H/D: 44
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 1 ans



Etat global

Conduite minimale : A remplacer

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Ensemble de la couronne claire, descente de cime, bois mort en périphérie de la couronne.

07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0
A <input type="checkbox"/>	C- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0

Conduite choisie : A remplacer

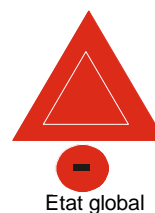
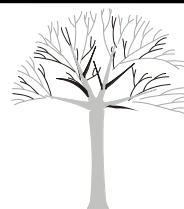
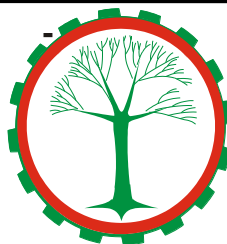
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 87 x 11 H/D: 40
Forme : Semi libre
19 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : Sansans



Etat global

Conduite minimale : A supprimer : dès que possible

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Ensemble de la couronne claire, descente de cime, bois mort en périphérie de la couronne.

07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0
A <input type="checkbox"/>	D- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0

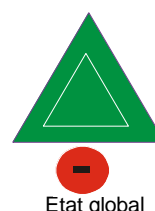
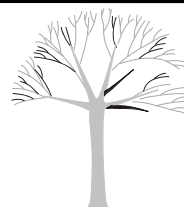
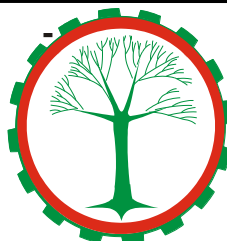
Conduite choisie : A supprimer : dès que possible

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2020	0	Sans objet.	Abattage			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 81 x 11 H/D: 43
Forme : Semi libre
20 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 1 ans



Etat global

Conduite minimale : A remplacer

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Ensemble de la couronne claire, descente de cime, bois mort en périphérie de la couronne.

07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0
A <input type="checkbox"/>	D- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0

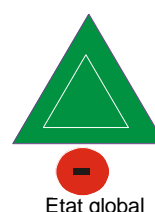
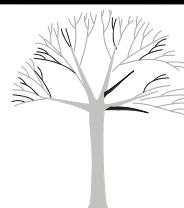
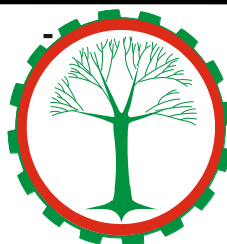
Conduite choisie : A remplacer

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
C x H : 62 x 11 H/D: 56
Forme : Semi libre
21 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 1 ans



Etat global

Conduite minimale : A remplacer

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Ensemble de la couronne claire, descente de cime, bois mort en périphérie de la couronne.

07.05.2020 Charpente

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0
A <input type="checkbox"/>	D- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0

Conduite choisie : A remplacer

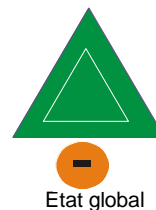
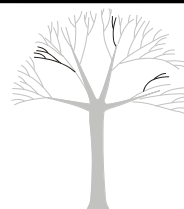
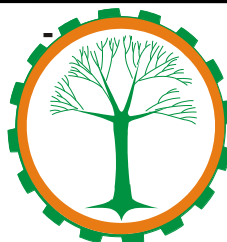
Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

Station : 1 Rue de Carouge

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 100 x 16 H/D: 50
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 5 ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Couronne claire et fragmentée, amorce de descente de cime.

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	0	0
A <input type="checkbox"/>	C- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0

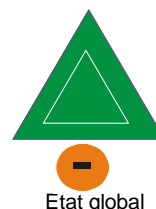
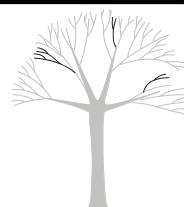
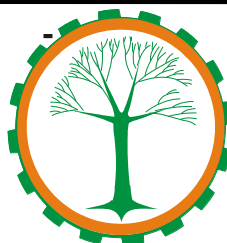
Conduite choisie : A remplacer

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

No SEVE Essence : *Acer platanoides*
 C x H : 96 x 16 H/D: 52
 Forme : Semi libre
 Stade : 4 : Jeune 3

Durée de maintien : < 5 ans



Conduite minimale : Maintien en forme semi libre

Observations

Date Commentaires

07.05.2020 Zone I

07.05.2020 Zone I Couronne claire et fragmentée, amorce de descente de cime.

Etat			Risque	
Méc.fd.	Phys.fd	BM	Imm.	Rev.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	0	0
A <input type="checkbox"/>	C- <input checked="" type="checkbox"/>		0	0

Conduite choisie : A remplacer

Programme de travail en fonction de la conduite choisie et les observations.

Année	Période phéno.	Intervention	Commentaires	Date effectuée	Ets.	Reportée : année
2021	6	Sans objet.	Abattage			

Programme de travail

Synthèse

2020

Localité : Genève

Station : 1 Rue de Carouge

Interventions	Quantité	Prix : Prévu / Réel
Abattage	1	0
Mise à gabarit	8	0
Réduction légère	9	0
Suppression bois mort	1	0
Taille d'entretien	1	0
Total pour la localité :		0

Total pour l'année :	0	
----------------------	---	--

2021

Localité : Genève

Station : 1 Rue de Carouge

Interventions	Quantité	Prix : Prévu / Réel
Abattage	6	0
Total pour la localité :		0

Total pour l'année :	0	
----------------------	---	--

Total général	0	
----------------------	---	--

Plan de travail organisé par intervention

Année : 2020

Localité: Genève

Période phénologique : 0

Description : Dès que possible.

Saison : Sans objet.

Intervention : Suppression bois mort

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
5	<i>Acer platanoides</i>	Suppression bois mort		0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0,00	<input type="text"/>	

Intervention : Abattage

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
19	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0,00	<input type="text"/>	

Intervention : Taille d'entretien

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
1	<i>Acer platanoides</i>	Taille d'entretien		0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0,00	<input type="text"/>	
Total pour la période :				0,00	<input type="text"/>	

Année : 2020

Période phénologique : 4

Description : Croissance secondaire.
Saison : Printemps/été.

Intervention : Mise à gabarit

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
1	<i>Acer platanoides</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	<i>Acer platanoides</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<i>Acer platanoides</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
11	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
12	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
13	<i>Acer platanoides</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
16	<i>Acer platanoides</i>	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0,00	<input type="text"/>	

Intervention : Réduction légère

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
4	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Charpentièrre avec porte-à-faux surplombant la voie de tram.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
14	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Cohabitation avec la façade de l'immeuble.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
15	<i>Acer platanoides</i>	Réduction légère	Cohabitation avec la façade de l'immeuble.	0,00	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0,00	<input type="text"/>	
Total pour la période :				0,00	<input type="text"/>	
Total pour l'année :				0,00	<input type="text"/>	

Année : 2021

Localité: Genève

Période phénologique : 6

Description : Toute période.

Saison : Sans objet.

Intervention : Abattage

Station 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix :		Fait	Reportée (année)
				prévu / réel			
17	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
18	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
20	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
21	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
22	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
23	<i>Acer platanoides</i>	Abattage		0,00			
Total pour la station :				0,00			
Total pour la période :				0,00			
Total pour l'année :				0,00			

Plan de travail organisé par arbre

Localité : Genève

Localité : Genève

Année : 2020

Période phénologique : 0

Description : Dès que possible.

Saison : Sans objet.

N° Station : 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix HT : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
1	Acer platanoides	Taille d'entretien		0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	Acer platanoides	Suppression bois mort		0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
19	Acer platanoides	Abattage		0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0	<input type="text"/>	
Total pour la période :				0	<input type="text"/>	

Période phénologique : 4

Description : Croissance secondaire.

Saison : Printemps/été.

N° Station : 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix HT : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
1	Acer platanoides	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	Acer platanoides	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	Acer platanoides	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	Acer platanoides	Réduction légère	Dégagement de la façade du bâtiment.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	Acer platanoides	Réduction légère	Charpentièrre avec porte-à-faux surplombant la voie de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	Acer pseudoplatanus	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
11	Acer pseudoplatanus	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
12	Acer pseudoplatanus	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
13	Acer platanoides	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
14	Acer platanoides	Réduction légère	Cohabitation avec la façade de l'immeuble.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
15	Acer platanoides	Réduction légère	Cohabitation avec la façade de l'immeuble.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
16	Acer platanoides	Mise à gabarit	Dégagement des voies et lignes de tram.	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total pour la station :				0	<input type="text"/>	
Total pour la période :				0	<input type="text"/>	
Total pour l'année :				0,00	<input type="text"/>	

Localité : Genève

Année : 2021

Période phénologique : 6

Description : Toute période.

Saison : Sans objet.

N° Station : 1 Rue de Carouge

N° Arbre	Essence	Intervention	Notes	Prix HT : prévu / réel	Fait	Reportée (année)
17	Acer platanoides	Abattage		0		
18	Acer platanoides	Abattage		0		
20	Acer platanoides	Abattage		0		
21	Acer platanoides	Abattage		0		
22	Acer platanoides	Abattage		0		
23	Acer platanoides	Abattage		0		
Total pour la station :				0		
Total pour la période :				0		
Total pour l'année :				0,00		

Directives techniques pour TRAM		
Chapitre :	6. INFRASTRUCTURE	
Section :		Version : mai 2016
Article :		

Table des matières du chapitre

	sections / pages
6.1 Généralités	6.1 / 1 à 3
6.2 Pose traditionnelle	
6.2.1 Traverses	6.2 / 1 à 3
6.2.2 Rails	6.2 / 4 à 6
6.2.3 Comparatif des poses de voies courantes	6.2 / 7
6.2.4 Cordon anti-usure	6.2 / 8 à 9
6.2.5 Coupes types	6.2 / 10 à 14
6.2.6 Etapes de construction	6.2 / 15
6.2.7 Evacuation des eaux de surface	6.2 / 16 à 19
6.2.8 Exemples d'exécution	6.2 / 20
6.3 Mesures antivibratoires	
6.3.1 Généralités	6.3 / 1 à 2
6.3.2 Pronostics des vibrations	6.3 / 3 à 11
6.3.3 Choix du type de mesures de protection	6.3 / 12
6.3.4 Exemple avec attaches antivibratoires des rails	6.3 / 13
6.3.5 Exemple d'une dalle flottante légère sur appui surfacique (tapis résilient)	6.3 / 14
6.3.6 Exemple de franchissement d'une chambre située directement sous voie	6.3 / 15
6.3.7 Exemple d'une dalle flottante légère sur appui surfacique	6.3 / 16

Directives techniques pour TRAM		
Chapitre :	6. INFRASTRUCTURE	
Section :		
Article :		Version : mai 2016

sections / pages

6.3.8 Exemple d'une dalle flottante lourde sur appui surfacique (tapis résilient)	6.3 / 17
6.3.9 Exemple d'une dalle flottante lourde sur appuis linéaires	6.3 / 18
6.3.10 Exemple d'une dalle flottante d'inertie en béton sur plots résilients	6.3 / 19
6.3.11 Pose anti-vibratile niveau 1 : amortissement vibratoire – 10 dBv	6.3 / 20

Remarque : Les épaisseurs données dans les profils types le sont à titre indicatif. Elles doivent être déterminées selon les normes VSS et les indications d'un géotechnicien.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.1 / 1
Section :	6.1 Généralités	
Article :		Version : mai 2016

Géotechnique :

- **Avant-projet**

Un bureau de géotechnique sera contacté pour définir les grandes lignes stratigraphiques au droit du tracé envisagé et les zones susceptibles de faire l'objet d'une reconnaissance plus détaillée.

- **Projet définitif**

Il intégrera les données déterminées lors de l'avant-projet.

- **Projet d'exécution et contrôle**

Le géotechnicien contrôlera à l'avancement la qualité des fonds de fouilles (essai de plaques type M_E , petit pénétromètre, etc) et définira, le cas échéant, les mesures complémentaires nécessaires.

Pose ancienne :

La pose sur traverses en bois est abandonnée depuis longtemps

Jusque dans les années 1990 les voies étaient posées sans traverses selon le mode d'exécution suivant :

- Terrassement, réglage et contrôle du fond de fouille
- Calage des deux rails sur des plots en ciment.
- Boulonnage d'entretoises métalliques entre les rails et fixation des semelles d'ancrage en fonte au patin des rails.
- Soudure aluminothermique des rails
- Contrôle de la géométrie
- Bétonnage de la semelle de fondation qui enrobe les ancrages des rails.

Ce mode de pose est abandonné.

Mode de pose traditionnel actuellement utilisé : (voies sans exploitation)

Les voies sont soit prémontées en ateliers par coupons de 18 m de longueur comportant l'ensemble rail – traverses soit montées sur site.

Les traverses sont de types bi-blocs ou monoblocs. Les bi-blocs en béton préfabriqué fretté sont reliés entre eux par une cornière métallique. Le système d'attache est incorporé aux traverses

Dans les zones de branchement, des traverses béton monoblocs de longueur variable sont utilisées. Elles comportent une gorge de fixation sur toute leur longueur (voir 6.2.1 page 2)

Après terrassement et contrôle du fond de fouille une première couche de béton est posée. Lorsque la résistance de cette dernière le permet, les coupons sont amenés sur le chantier au moyen de remorques routières et posés à la grue sur pneus.

Des vérins à vis traversant les traverses permettent le réglage de la voie. Le bétonnage de la deuxième couche d'infrastructure enrobe les traverses (voir 6.2 « Pose traditionnelle »).

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.1 / 2
Section :	6.1 Généralités (suite)	
Article :		Version : mai 2016

Les différents types de traverses mentionnées sous 6.2.1 p. 1 à 3 représentent quelques modèles couramment utilisés.

Il existe plusieurs autres systèmes (consulter la documentation des fournisseurs).

Des traverses à épingles sont moins épaisses et moins lourdes, elles permettent la réalisation de plate-formes de plus faible épaisseur.

Les épingles (armatures en attentes) contribuent à un meilleur ancrage de la voie dans la pose béton. Voir aussi chapitres 10.1.3 à 10.1.5.

Protection des attaches des traverses béton

Les attaches et boulons de fixation du rail seront protégés de tout contact par la mise en place d'un capot plastique résistant et aéré.

Ce capot est réalisé en polypropylène il devra rester stable chimiquement et géométriquement. Le profil de la protection épouse la forme de la traverse, des attaches et de l'écrou. Il permet un montage rapide avec blocage axé sur l'écrou et facilite son incorporation dans la chambre d'éclissage éventuelle.

Il devra résister à l'agression des produits pétroliers, à l'alcalinité des bétons et aux ultraviolets : température de 60° C ainsi qu'aux chocs et aux piétinements des ouvriers.

Cette protection sera mise en place sous revêtements de tous types après graissage des écrous. Les capots plastiques appliqués sous un revêtement enrobé devront résister à une température de 170° C.

Dans les appareils de voie, les capots plastiques seront remplacés par la pose de cabochons sur tous les écrous isolés.

Chambre d'éclissage

Le matériau de remplissage est profilé de manière à s'adapter parfaitement au profil du rail, y compris sur les sections comportant les attaches et boulons de fixation. Les caractéristiques du matériau doivent être données par le fournisseur en compatibilité avec le mode de pose et le revêtement prévu.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.1 / 3
Section :	6.1 Généralités (suite)	
Article :		Version : mai 2016

Les pièces ne doivent pas tourner dans les chambres d'éclissage. Pour cela, elles doivent être maintenues en place par collage sur le rail et entre elles afin d'assurer le jointoiement entre les éléments profilés, de manière à éviter toute migration d'éléments fins du lit de pose de revêtement.

Le collage sur les rails se fait par points avant la mise en œuvre du béton de calage.

Dans les courbes, ces éclisses seront découpées en éléments permettant et acceptant la courbe du rail. Elles s'adapteront au plus près de la forme des capots de protection des attaches après découpage.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 1
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article : 6.2.1	Traverses	Version : mai 2016

1.1 Traverses bi-blocs



Une des particularités de la traverse bi-bloc réside dans une entretoise métallique vrillée qui peut permettre le passage d'un drain central d'assainissement.

Remarque : ces traverses existent aussi avec une entretoise métallique **non** vrillée.



Remarque: voir aussi art. 6.3.9 et 6.3.10

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.2 / 2
Section :	6.2 POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article :	6.2.1 Traverses (suite)	

1.2 Traverses monoblocs

POSE RECOMMANDEE PAR LES TPG



Traverses type « Vigier Rail »

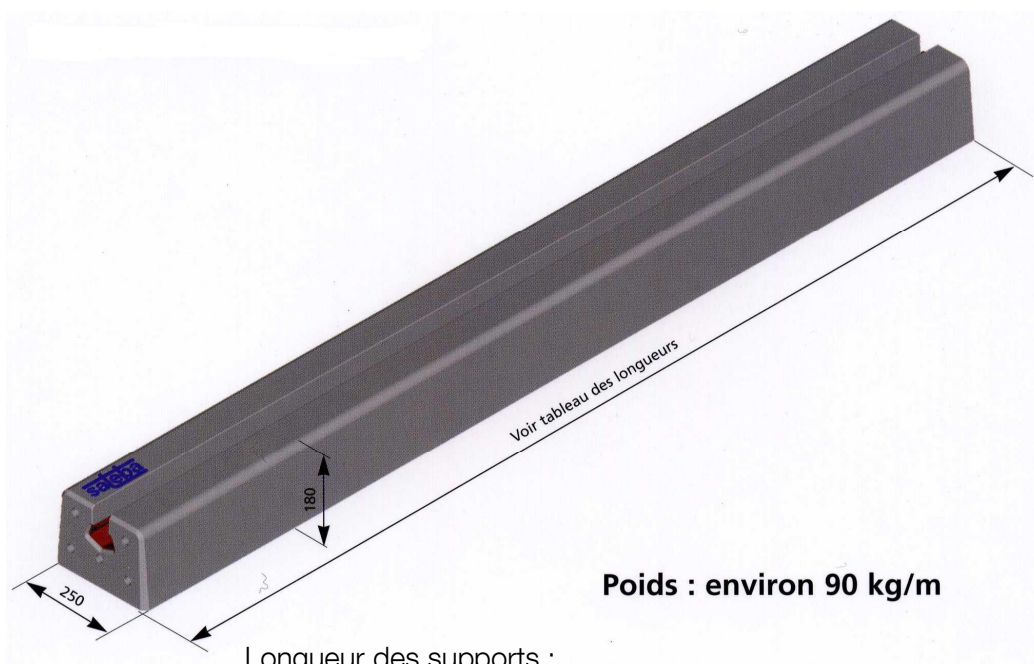
Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 3
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article : 6.2.1	Traverses (suite)	

1.3 Traverses monoblocs type « branchements »

Elles sont utilisées pour la pose des appareils de voie car elles permettent la fixation et le réglage des rails au moyen d'une gorge de fixation, sur toute leur longueur qui est variable.

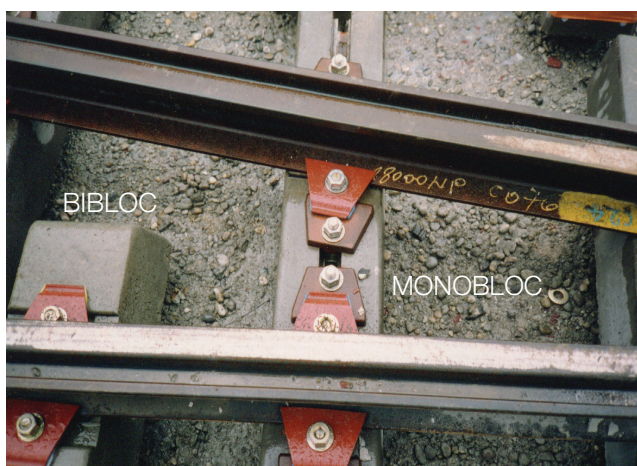
Ces traverses sont généralement précontraintes.

Remarque : la rainure (gorge de fixation) doit être soigneusement colmatée pour éviter toute stagnation d'eau.



Longueur des supports :

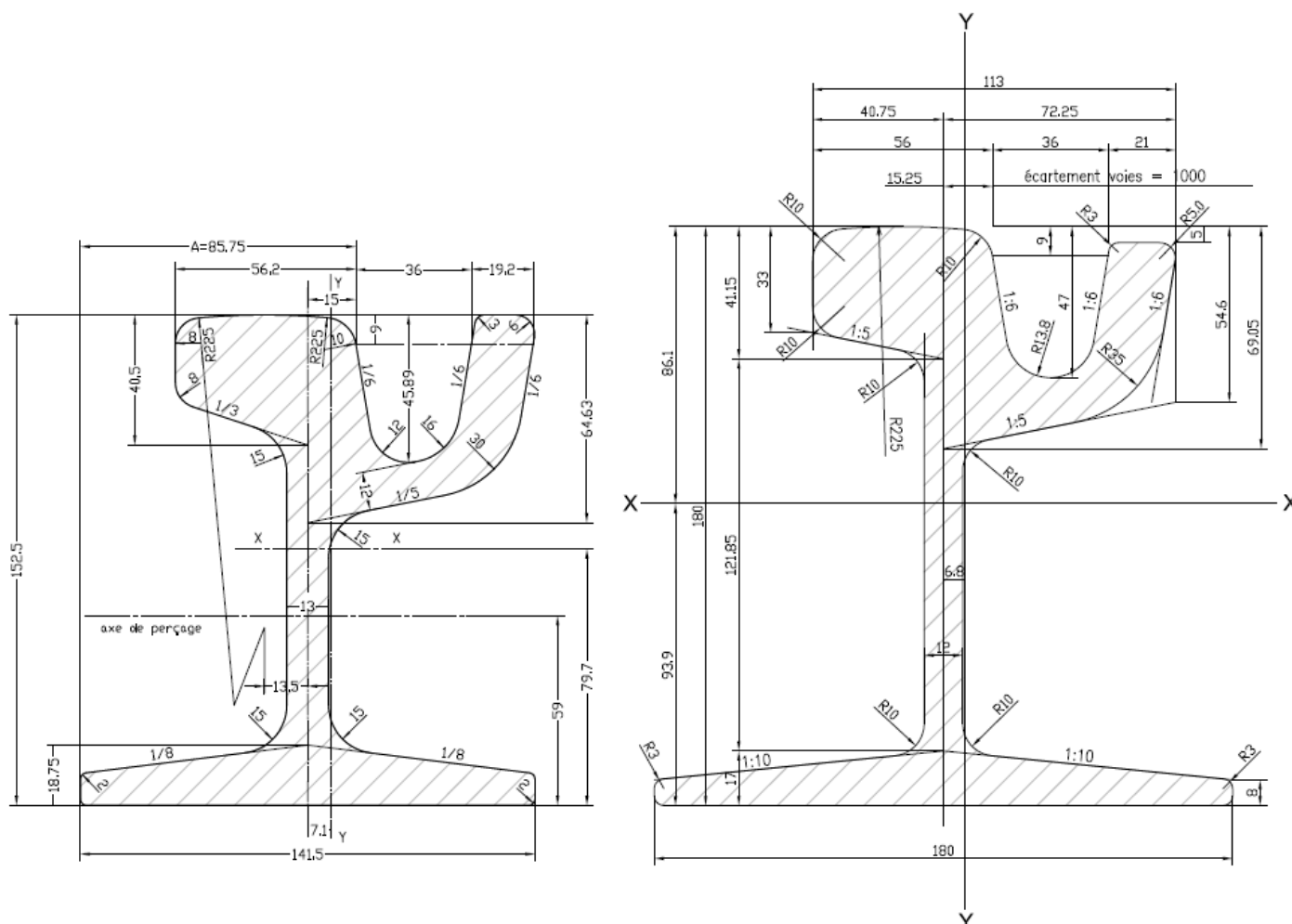
0,88 / 2,38 / 2,63 / 2,88 / 3,38 / 3,63 / 4,13



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 5
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article : 6.2.2	Rails (suite)	

2.2 Types 60-R1 et 55-G1

Profils abandonnés par les TPG à partir du 1er janvier 2016.



cotes en mm

Dénomination	55-G1
Section (mm ²)	6978
Masse (kg/m)	54,78
Ix (cm ⁴)	2076
Iy (cm ⁴)	682
Ix/y (cm ³)	260
Iy/u (cm ³)	88

Dénomination	60-R1
Section (mm ²)	7705
Masse (kg/m)	60.48
Ix (cm ⁴)	3334
Iy (cm ⁴)	884
Ix/y (cm ³)	355
Iy/u (cm ³)	130

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre :	6.	Infrastructure	6.2 / 7
Section :	6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article :	6.2.3 Comparatif des poses de voies courantes		Version : mai 2016

TABLEAU RECAPITULATIF

TYPE DE POSE DE VOIE	Caractéristiques techniques (Rail 55-G2 Corps de plate-forme : béton)	Protection contre les courants vagabonds	Hauteur totale de la plate-forme	Maintenance	Tenue dans le temps
POSE SUR TRAVERSES BETON NOYÉES DANS DU BETON	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	70 cm maxi 55 cm mini	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Très bonne
POSE BALLASTÉE	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Inutile	95 cm	Nivellement à surveiller. Facile mais avec matériel adapté	Bonne
POSE DEPHI POSE DS-ISORAIL	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	70 cm maxi 55 cm mini	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Très bonne pour la voie en cours pour les semelles anti-vibratiles.
POSE TRAVERSES ASP	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	70 cm maxi 55 cm mini	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Très bonne pour la voie en cours pour les semelles anti-vibratiles.
POSE STEDEF	Pose noyée sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Inutile	Sur ouvrage d'art : 45 cm	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Bonne
POSE EDILON CORKELAST	Pose noyée sur appui continu matériau élastique	Par le produit de calage	60 cm	Destruction de l'appui pour tout entretien : rechargement ou changement	Pas de référence de grande longueur en France
POSE DALLE FLOTTANTE SUR TAPIS CONTINU	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	83 cm	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Très bonne
POSE DALLE FLOTTANTE SUR PLOTS INDEPENDANTS	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	80 cm	Plus ou moins aisée en fonction des revêtements	Très bonne
POSE DIRECTE	Pose sur appuis discontinus : (traverse et attache élastique)	Chambre d'éclissage et attaches (butée nylon)	Sur ouvrage d'art : 23 cm	Difficile car associé à des revêtements scellés	Bonne

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 8
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article : 6.2.4	Cordon anti-usure	Version : mai 2016

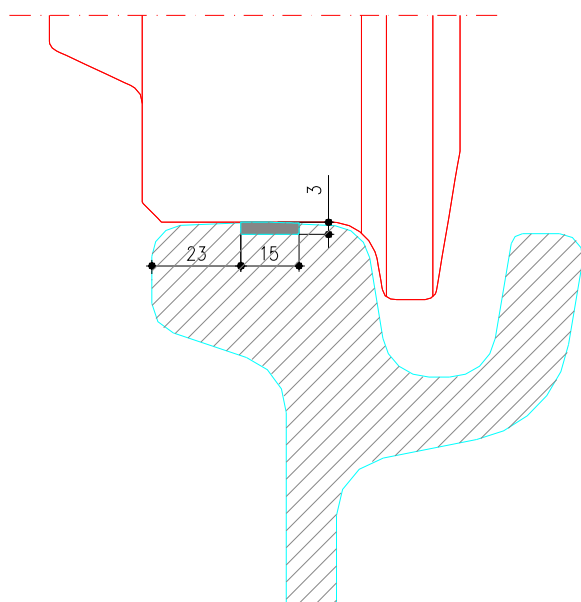
Pour augmenter la longévité des rails, des cordons anti-usures sont réalisés selon le processus suivant :

1. Fraisage du rail.
2. Application du cordon anti-usure au moyen d'un engin ad hoc (voir photo).
3. Meulage des cordons.

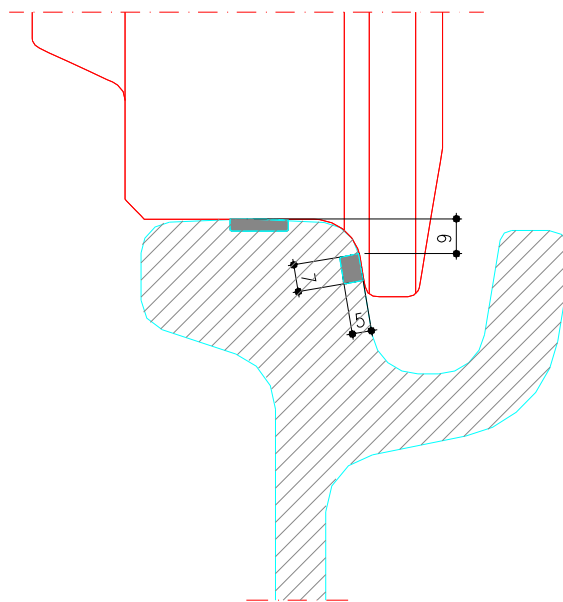
Ce traitement est à réaliser avant la pose des tapis bitumineux définitifs.



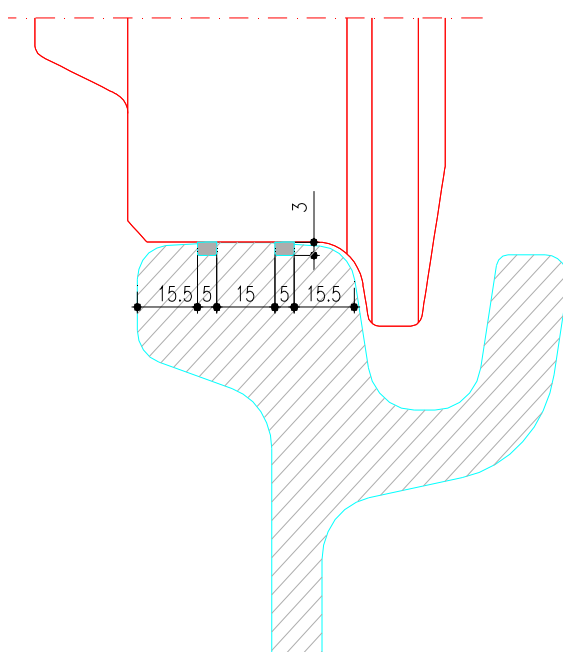
Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.2 / 9
Section :	6.2 POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article :	6.2.4 Cordon anti-usure (suite)	



En alignement



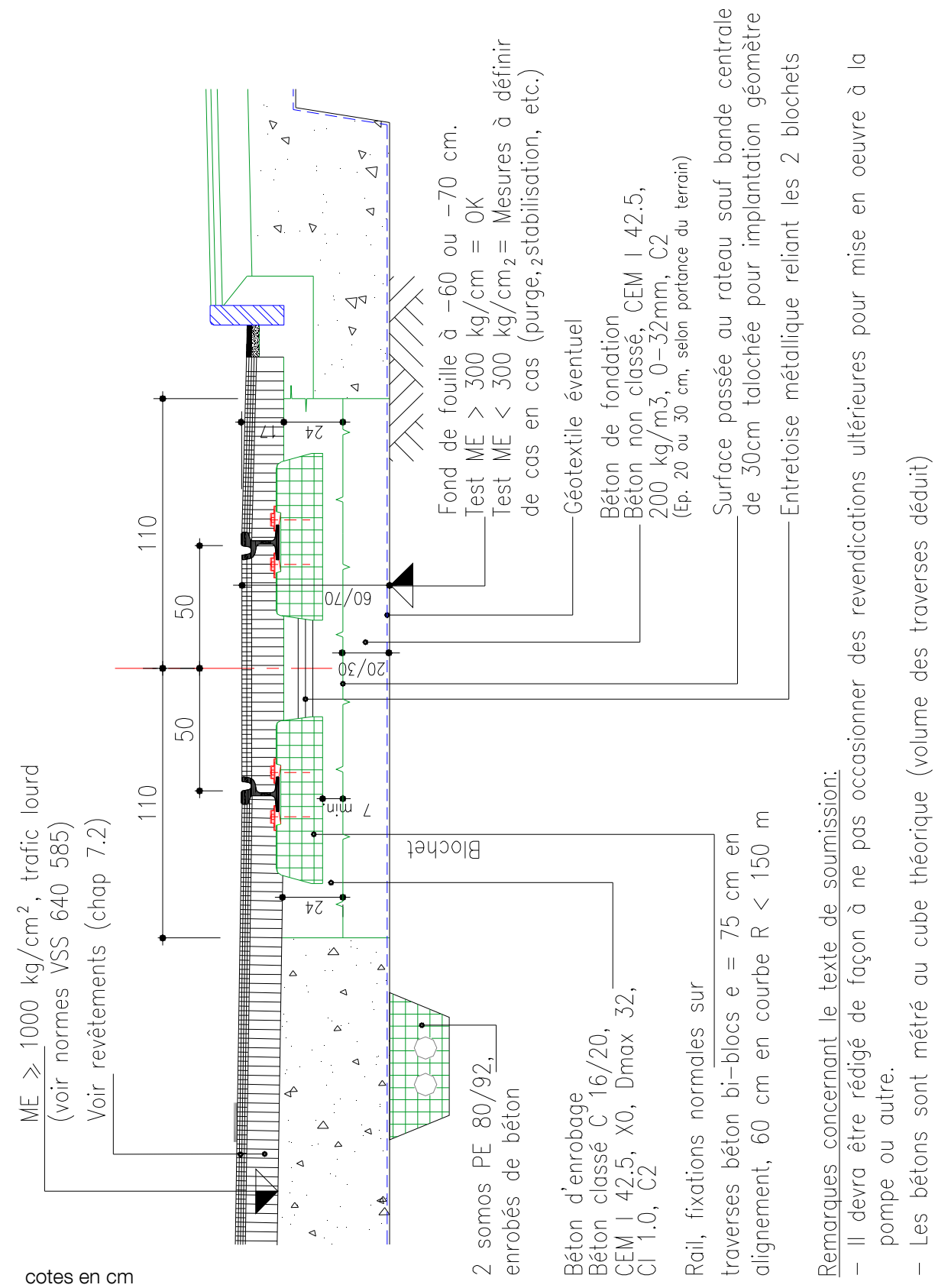
En courbe



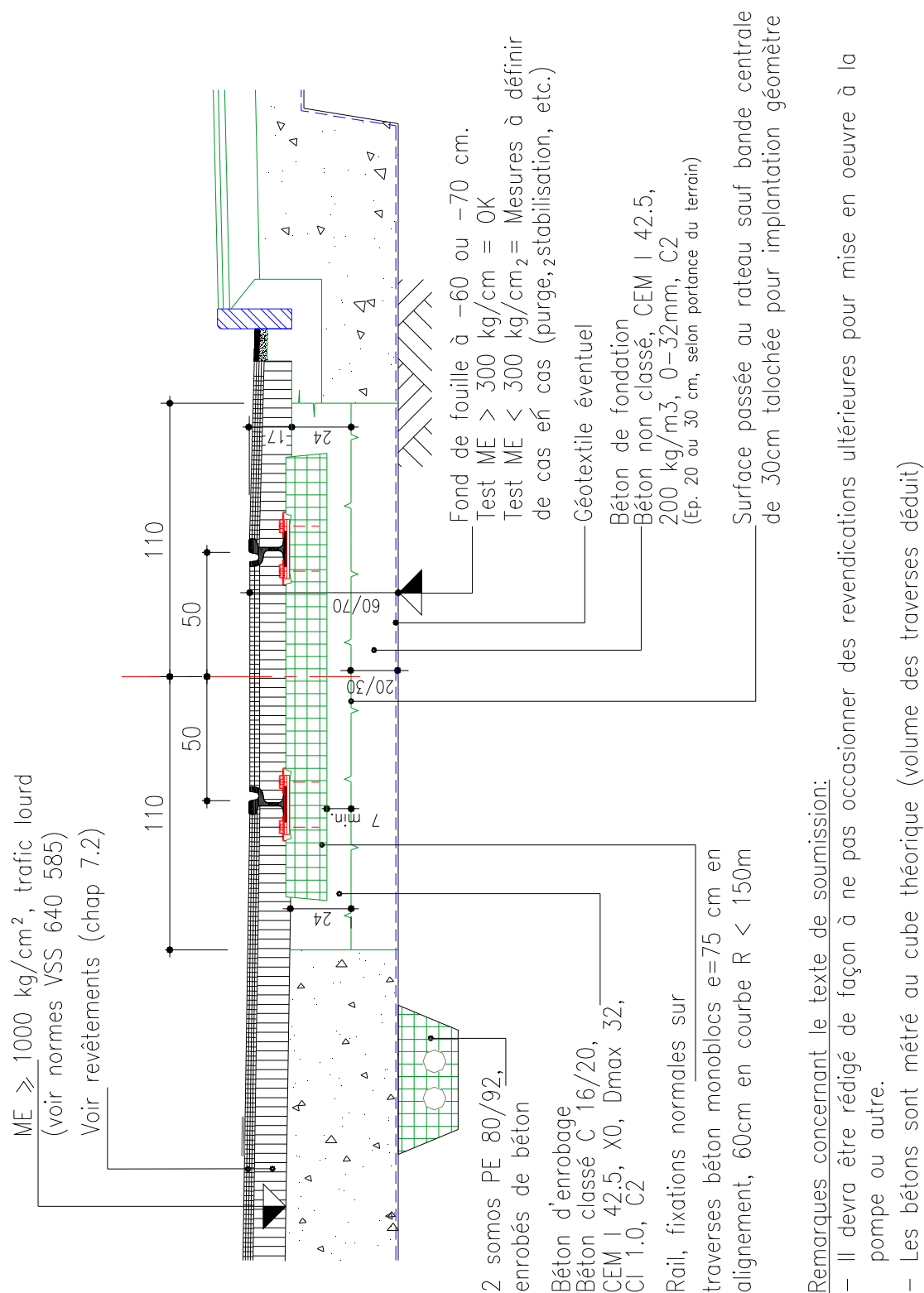
Cordon double

cotes en mm

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 10
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article : 6.2.5	Coupe type avec traverses bi-blocs	Version : mai 2016



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 11
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article : 6.2.5	Coupe type avec traverse monobloc Pose recommandée par les TPG	



cotes en cm

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre	: 6.	Infrastructure	6.2 / 12
Section	: 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article	: 6.2.5	Coupe type (suite)	

Béton de structure :

Les préconisations des épaisseurs indiquées sous 6.2.3 p. 7 sont liées à la préconisation de la traverse. Il existe aujourd'hui des traverses moins épaisses permettant de diminuer l'épaisseur du béton de calage.

Dans le dimensionnement de la structure tramway seule l'épaisseur du béton située sous la traverse est prise en compte, en l'occurrence une épaisseur minimum de 7 cm est indispensable sous la traverse, cette hauteur nous assure une bonne mise en œuvre du béton par vibration sous les traverses. C'est donc pour cette raison que la diminution de l'épaisseur de la traverse a été un gain dans la structure de la plate-forme.

Il convient également de rappeler que ce dimensionnement est basé sur l'utilisation des bétons non armés. Nous avons pu noter dernièrement que l'utilisation des bétons armés ou fibrés nous ont permis de diminuer l'épaisseur totale de la plate-forme. Ce gain en épaisseur ne s'est pas transformé en gain financier du fait de l'utilisation de techniques de génie civil plus sophistiquées.

Concernant la largeur du béton de fondation et du béton de calage des voies, il est souhaitable, dans la mesure du possible, que cette largeur corresponde à la surface des revêtements mis en œuvre sur la plate-forme. Cette préconisation a pour but, dans le cas de revêtements rigides ou semi-rigides, de posséder une seule et unique fondation et d'éviter ainsi des tassements différentiels induits par des structures de plate-forme différentes.

Ces tassements génèrent la plupart du temps des fissures en surface du revêtement. La fondation des bordures délimitant la plate-forme peut aussi reposer sur le fond de forme du terrassement.

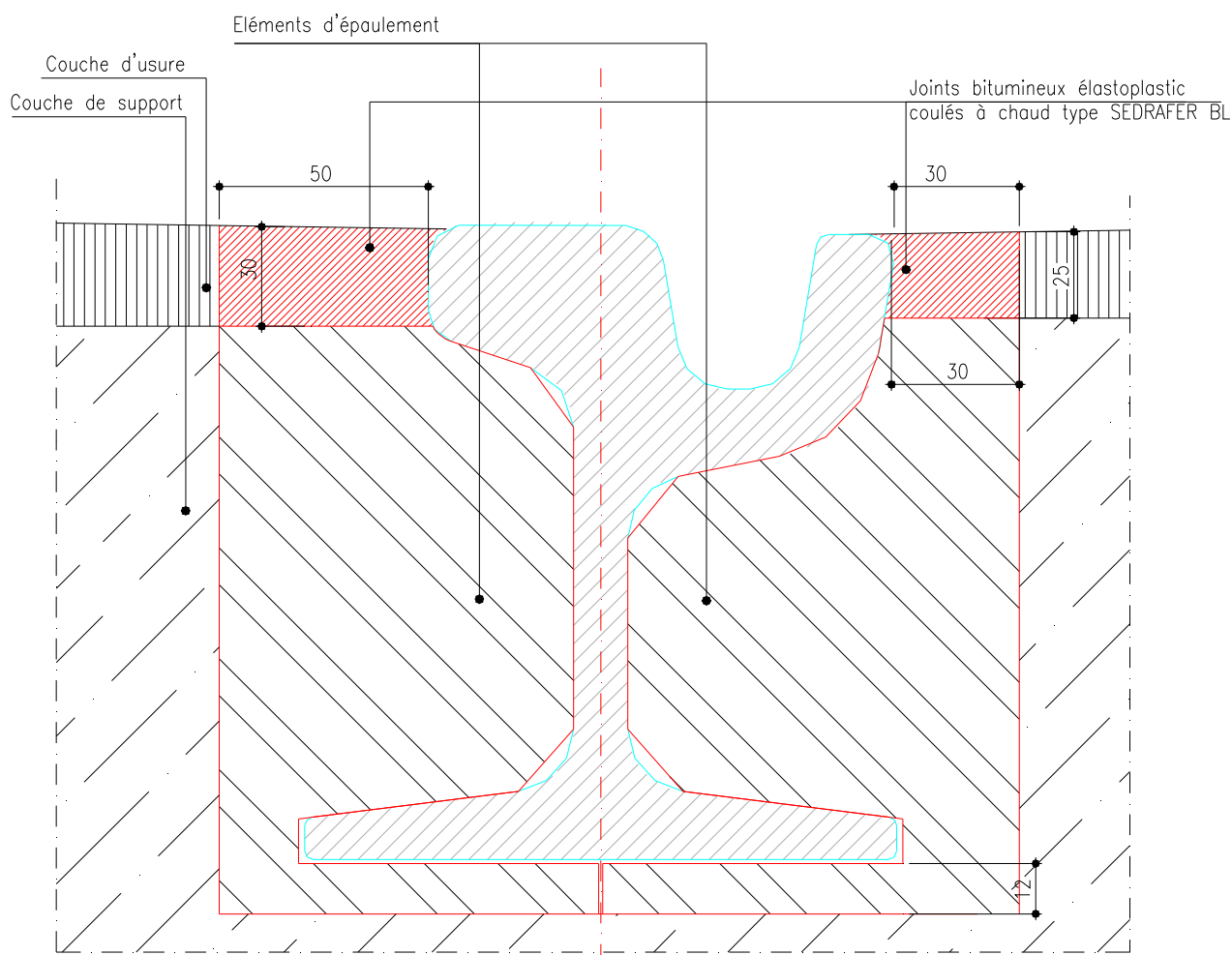
Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre	6.	Infrastructure	6.2 / 13
Section	6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article	6.2.5	Coupe type (suite)	Version : mai 2016

Isolation du rail

Principe d'exécution de joints bitumineux élastoplastique coulés à chaud (Type SEDRA ou similaire).

Des éléments d'épaulement en caoutchouc recyclé peuvent être prévus pour permettre l'absorption des vibrations du rail et empêcher la diffusion des courants vagabonds dans ce cas, afin de pouvoir absorber une flexion du rail, sans provoquer de fissures dans la voirie, un joint spécifique est réalisé, au moyen d'engins ad hoc, selon le processus suivant :

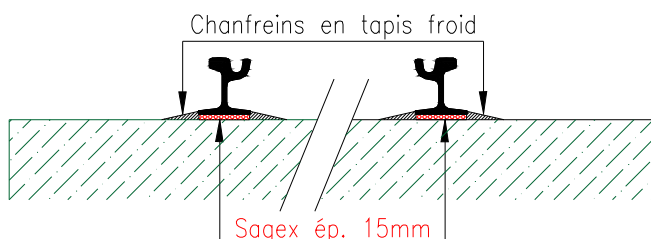
1. Fraisage.
2. Nettoyage du joint.
3. Sablage des flancs extérieurs du rail.
4. Application d'une couche de résine époxy sur les surfaces sablées avec pulvérisation de sable siliceux fin et mise en place d'une couche d'apprêt à haute adhérence SEDRAPIX VHK.
5. Remplissage à chaud avec le mastic de coulage SEDRAFER BL.



Attention : dans le cas d'un « système isolé » contre les courants vagabonds ou autre, les tresses de liaison doivent être noyées dans un système également isolé (type EDILON ou similaire).

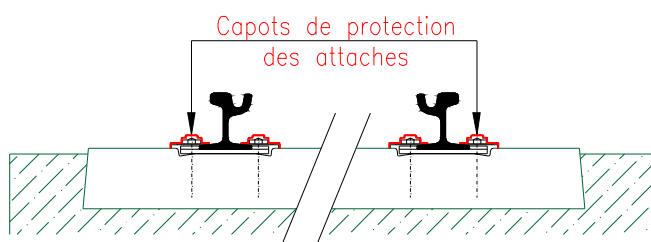
Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre :	6.	Infrastructure	6.2 / 14
Section :	6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article :	6.2.5	Coupe type (suite)	

Entre chaque traverse



Pour que le rail porte de traverse à traverse, il ne faut pas que le rail soit en contact avec la dalle béton. Pour ce faire, des bandes de « sagex » sont scotchées sous le patin du rail avant le bétonnage de la dalle supérieure. Pour éviter que ce « sagex » soit détérioré lors de la mise en place des enrobés bitumineux, un chanfrein de tapis froid est exécuté de part et d'autre du rail.

Au droit de chaque traverse

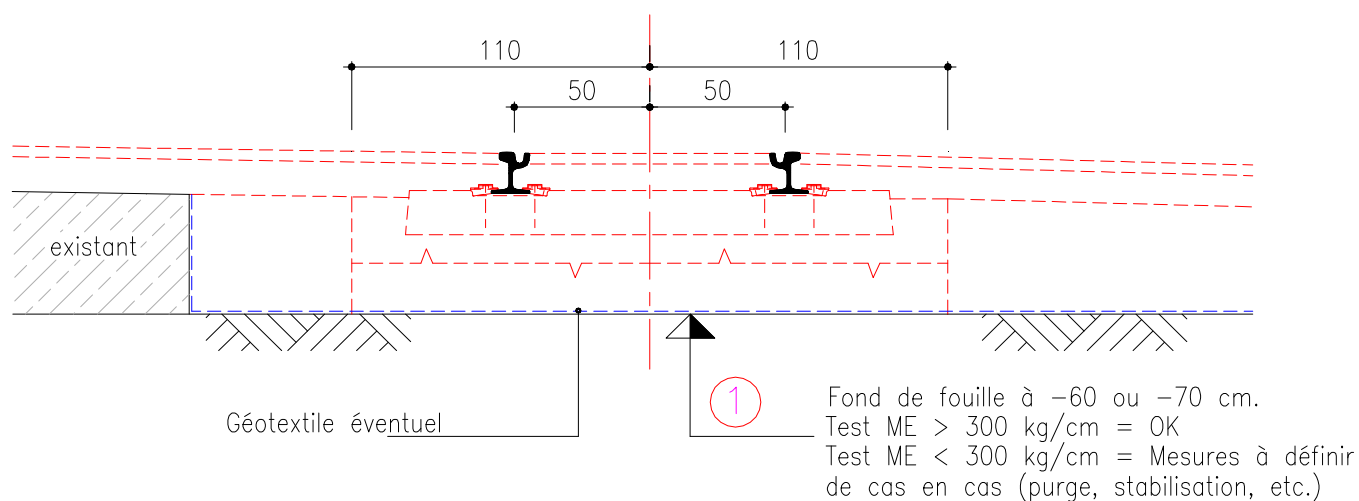


Afin de faciliter l'entretien des voies et de permettre un dévissage rapide des attaches, des capots plastiques sont clipsés sur ces dernières avant le bétonnage de la dalle supérieure.

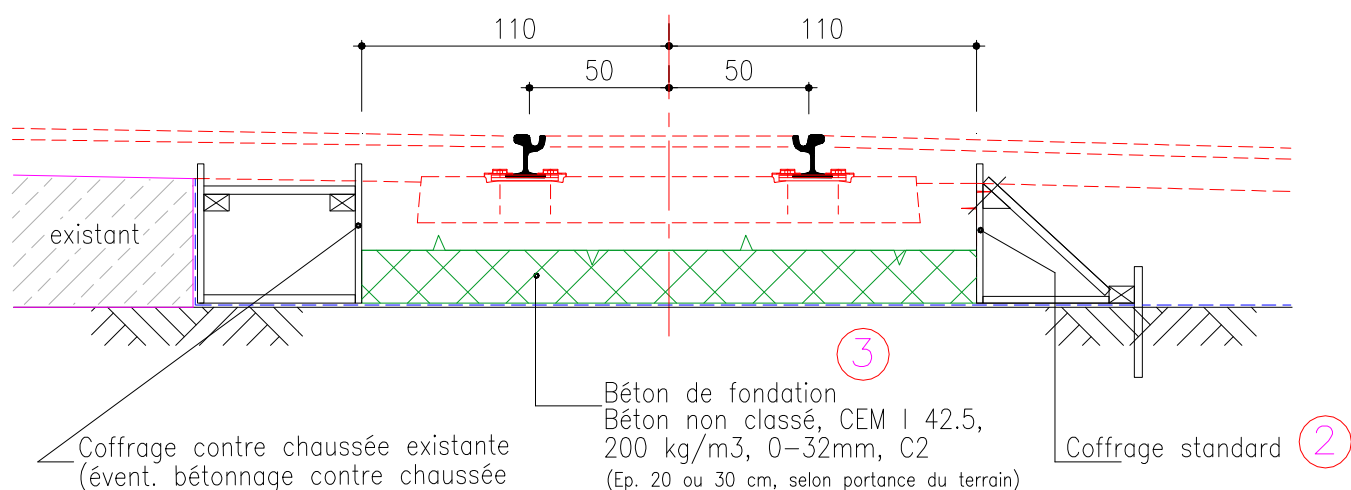


Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 15
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article : 6.2.6	Etapes de construction	

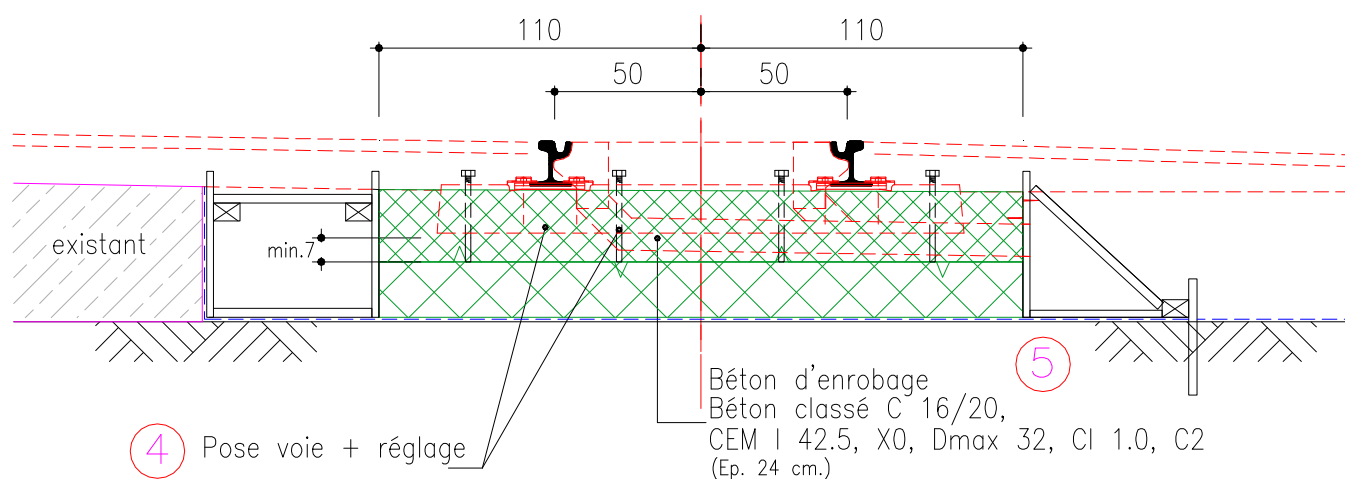
1. PREPARATION DE LA FONDATION



2. BETONNAGE DE LA DALLE DE FONDATION



3. POSE DE LA VOIE, NIVELLEMENT ET ENROBAGE DES TRAVERSES



cotes en cm

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 16
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article : 6.2.7	Evacuation des eaux de surface	Version : mai 2016

Généralités

L'emploi de boîtes de drainage est généralement retenu pour un revêtement tel que l'enrobé et principalement dans les sites banalisés. Dans les sites propres, des caniveaux entre rails sont envisageables.

Evacuation de l'eau en surface de la plate-forme

Principe retenu :

- Les boîtes de drainage écoulent les eaux de la gorge des rails uniquement.
- L'écoulement des eaux de surface de l'ensemble de la chaussée, zone ferroviaire comprise, est assuré par les sacs de la voirie et doivent être conformes aux directives de cette dernière.

Evacuation des eaux d'infiltration

Le captage des eaux d'infiltration s'effectue au niveau du béton de voie, sous le corps du revêtement. Un bon assainissement impose des formes de pentes au béton de voie, et des réservations pour la mise en place de drains agricoles diamètre 50 mm. Les drains se raccordent aux assainissements transversaux, situés tous les 40 mètres environ.

Ce principe s'applique aux revêtements, pavés béton autobloquants posés sur concassé, gazon, stabilisé, bicouche, concassé 30/40, n'apparaît pas nécessaire pour les enrobés réalisés sur grave bitume ou béton et les revêtements scellés du fait de leur très faible perméabilité.

Evacuation de l'eau située dans la gorge des rails

Elle se fait au moyen de lumières réalisées dans la bavette du rail, l'eau se déverse dans des boîtes à eau, des boîtes d'écoulement ou des caniveaux. Cette lumière, réalisée au droit des sacs de route impérativement dans les points bas de profils en long, doit avoir la plus grande section possible et cela en fonction de son réceptacle. Nous notons souvent que les orifices trop petits se bouchent avec quelques feuilles ou mégots, d'où l'intérêt de la pleine section.

L'emplacement précis des points bas et de la lumière revêt une certaine importance afin d'éviter la stagnation en flaque et l'éventualité du gel de l'eau dans la gorge.

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre	: 6.	Infrastructure	6.2 / 17
Section	: 6.2	POSE TRADITIONNELLE	
Article	: 6.2.7	Evacuation des eaux de surface	Version : mai 2016

Boîtes de drainage

S'insérant dans le profil du rail, elles possèdent une attente d'évacuation, diamètre 100 mm extérieur, facilitant l'entretien, qui sera raccordée sur un réseau transversal de section appropriée, ce réseau est noyé dans le béton de fondation de la plate-forme.

Dans la mesure du possible, prévoir un regard de visite permettant un curage efficace du système de drainage.

Caniveaux de drainage entre rails

Envisageables dans les sites propres, ils permettent de collecter des débris de surface éventuels et facilitent l'accessibilité aux drains récupérant les eaux d'infiltration qui seront raccordés dans des pré-marques ou attentes prévues à cet effet. Ils seront réalisés en béton polymère armé de grille inox ou autre. Ils possèdent un fil d'eau horizontal et des pré-marques afin de récupérer les drains servant à collecter les eaux d'infiltration. Les caniveaux proposés doivent présenter des tests de résistance simulant l'effort de freinage d'un véhicule routier circulant sur la plate-forme et la prise en compte des efforts de dilatation. Les grilles de surface seront en fonte ductile carrossable munies d'un système de verrouillage.

Les caniveaux se raccorderont sur un réseau de diamètre 125 mm minimum inséré dans le béton de voie.

Assainissement des appareils de voies

Les appareils de voies s'assainiront de façon identique dans tous les sites, associés à tous les types de revêtements.

Le principe proposé se compose :

- de boîtes de drainage placées de part et d'autre de l'appareil de voie en fonction des pentes.
- d'un carter raccordé contenant le mécanisme de l'appareil de voie.

Dans le cas d'un revêtement non étanche, l'évacuation des eaux d'infiltration se fera toujours par la création de forme de pente sur le béton de calage de la voie. Des drains longitudinaux se placeront dans les réservations prévues à cet effet. Ces drains de section 150 mm se raccorderont, soit dans les fosses, soit dans le réseau de canalisations de la chaussée.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.2 / 18
Section :	6.2 POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article :	6.2.7 Evacuation des eaux de surface	

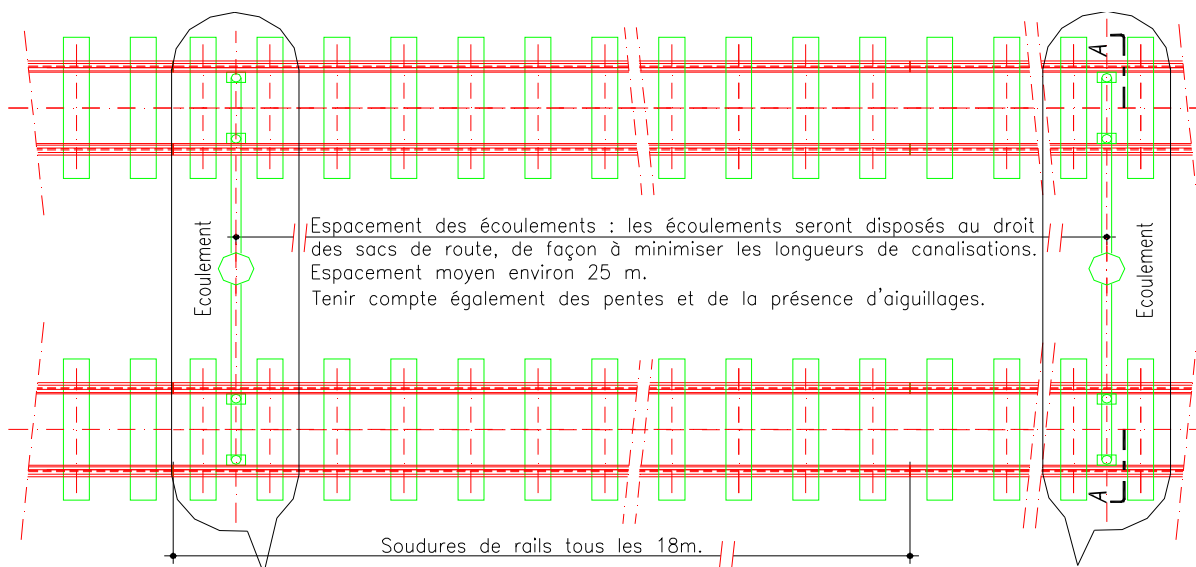
Regard de visite au droit des drainages

Au droit des diverses solutions de captation des eaux de surface, il est préconisé de prévoir un regard de visite permettant le nettoyage du drainage transversal.

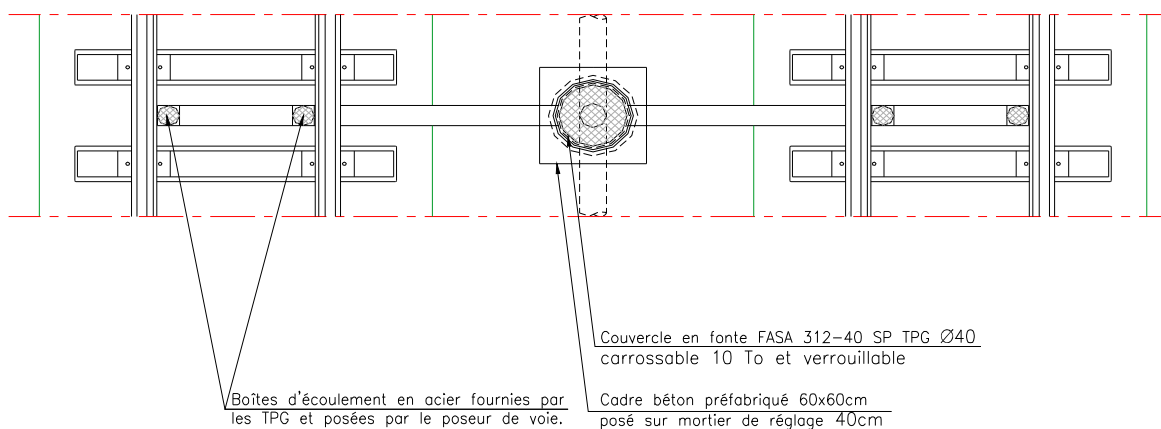
Chaque regard possèdera une décantation, et si possible sera implanté hors distances de sécurité (voir chapitre 5). Il se raccordera au réseau eaux pluviales de la ville.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.2 / 19
Section : 6.2	POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article : 6.2.7	Evacuation des eaux de surface	

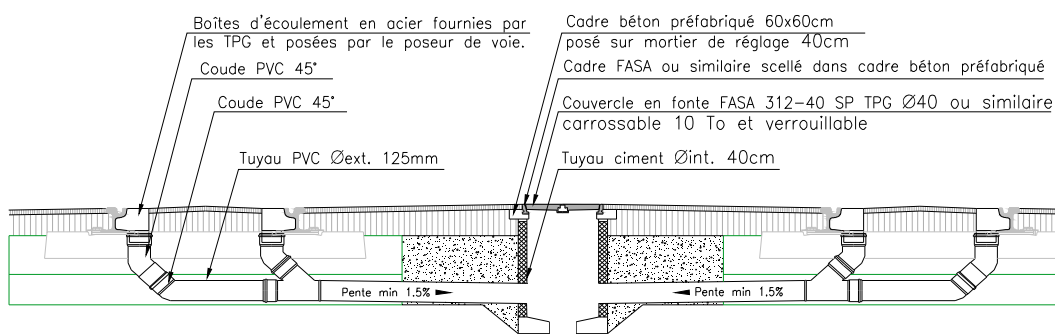
Vue en plan générale



Vue en plan détaillée



Coupe A-A



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.2 / 20
Section :	6.2 POSE TRADITIONNELLE	Version : mai 2016
Article :	6.2.8 Exemples d'exécution	



LIGNE 13 – Bd G.-Favon (traverses bi-blocs)



LIGNE 13 - Place du Cirque (traverses bi-blocs)



LIGNE 15 – Place du 1^{er} Août (traverses monoblocs)

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 1
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.1	Généralités	

1.1 Vibrations et bruit solidien

Les oscillations vibratoires engendrées par le passage d'un tramway se propagent à travers le sol jusqu'aux bâtiments situés au voisinage de la voie. A l'intérieur du bâtiment, ces oscillations sont perçues par le corps humain en tant que « vibrations ». De plus, les planchers et murs oscillants engendrent un mouvement vibratoire de l'air, dit son ou bruit « solidien » ou « régénéré » du fait qu'aux fréquences supérieures à 25 Hz, il est perçu en tant que son par les êtres humains.

Contrairement au bruit dit « aérien » qui est transmis directement par l'air, on ne peut pas se protéger contre le bruit solidien par exemple en fermant les portes et fenêtres.

En règle générale, l'impact des vibrations et du son solidien représente le seul problème environnemental qui peut imposer l'adoption de mesures préventives.

1.2 Cadre légal

A partir d'un certain seuil, ces vibrations ou ce bruit solidien, sont perçus comme nuisances. La limitation de ces nuisances découle de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE) qui, notamment dans son article 11, définit les **mesures préventives** à prendre au moment de la construction de nouvelles installations ou lors de transformation d'installations existantes.

L'article 9 de la LPE définit globalement la procédure de **l'étude d'impact** sur l'environnement.

L'ordonnance fédérale relative à **l'étude de l'impact** sur l'environnement (OEIE) comporte une liste exhaustive des installations qui sont soumises à cette procédure ainsi que leur déroulement.

Alors qu'en matière de protection contre le bruit aérien, l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) est entrée en vigueur en 1987, il n'existe à ce jour aucune ordonnance relative aux vibrations fixant les valeurs limites de nuisances. Par contre, l'office fédéral de l'environnement (OFEV) et l'office fédéral des transports (OFT) ont arrêté, le 04.10.1999, une nouvelle directive pour l'évaluation des vibrations et du bruit solidien, applicable aux installations ferroviaires (y inclus tramway).

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.3 / 2
Section :	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article :	6.3.1 Généralités (suite)	

Cette directive fait référence à la norme allemande DIN 4150, partie 2, édition 1999, en ce qui concerne les vibrations, et contient des valeurs limites pour le bruit solidien.

Il est prévu d'affiner et de compléter cette directive pour qu'elle devienne applicable à tous les cas de vibrations et bruit solidien et de la transformer en ordonnance.

La norme suisse SN 640312a donne les valeurs limites pour ce qui concerne les niveaux des **vibrations** dommageables aux bâtiments et aux structures.

Toutefois, sauf dans des cas très spéciaux, c'est pratiquement toujours la protection de l'humain (norme DIN 4150 + directive) qui est déterminante.

Les valeurs limites dépendent du type de zone traversée (habitation, commerciale, industrielle, mixte) et des plages horaires jour et nuit.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 3
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.2	Pronostics des vibrations	

2.1 Paramètres principaux

Lors du pronostic des nuisances, il faut non seulement se baser sur la distance entre voie et façade, mais tenir compte :

- du type et donc du comportement dynamique des bâtiments le long des tracés - la différence de sensibilité entre deux bâtiments peut compenser une différence de distance par rapport à la voie jusqu'à 10 m ou plus dans les cas extrêmes,
- du mode d'affectation des bâtiments en question, selon lequel les valeurs indicatives de nuit - plus contraignantes - ou de jour sont à respecter.
- de l'exploitation prévue de la future ligne.
- de l'emplacement des appareils de voie, (aiguillages, croisements,...)

2.2 Mesure des émissions vibratoires du tram genevois

Les niveaux de vibrations et de son solidien doivent être pronostiqués dans le cadre des études d'impact pour les nouvelles lignes de tramway. Un élément clé d'un tel pronostic est le spectre d'émission des rames qui circuleront sur la ligne en question. Etant donné l'ampleur des projets de construction de nouvelles lignes de tramway, de nouvelles mesures in situ ont été réalisées dans le but de :

- déterminer (réactualiser) le spectre d'émission du tram genevois,
- mesurer l'émission du nouveau type de rames (Bombardier City Runner série 05),
- déterminer la majoration de l'émission due aux aiguillages,
- déterminer la majoration qui résulte d'une courbure de la voie,
- mettre en évidence l'influence de la nature du sol,
- caractériser l'atténuation en fonction de la distance à la voie.

Des mesures in situ ont été effectuées, lors de l'exploitation normale, à trois différents types d'endroits : lignes droites (Bd James Fazy – rue de la Servette ainsi que rue de Lausanne – rue Rothschild), aiguillages (Eglise Notre-Dame, Bachet de Pesay et Plainpalais) et courbures (rue de Lausanne – av. de France et place des Nations). De plus, des mesures ont été menées en dehors des heures d'exploitation du réseau, avec des rames test, en ligne droite, à Lancy et rue de Lausanne – rue Rothschild.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 4
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.2	Pronostics des vibrations (suite)	

2.3 Variabilité d'un point de mesure à l'autre

La grande quantité de points de mesure auxquels les vibrations émises par le tramway ont été enregistrées permet de mettre en évidence une très grande variabilité d'un point de mesure à l'autre, pour une même distance à la voie, le même type de rame et la même situation de voie. Dans le cadre des pronostics pour les études d'impact, ce constat renforce la justification de toujours mesurer l'émission sur le trottoir en deux points devant le bâtiment, et d'en utiliser la moyenne pour calculer les spectres de transfert du bâtiment.

2.4 Influence du type de rame

Une comparaison des spectres d'émission mesurés, pour les anciennes et nouvelles rames, permet de mettre en évidence les caractères suivants :

- Les anciennes rames produisent plus de vibrations à basse fréquence, autour de 25 Hz, ce qui est plus défavorable pour la perception des vibrations, en particulier quand les fréquences propres des dalles se situent entre 20 et 30 Hz.
- Les nouvelles rames, par contre, produisent plus de vibrations au-delà de 40 Hz. De ce fait, les nouvelles rames génèrent plus de son solidien, qui résulte de l'émission des vibrations haute fréquence.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 5
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.2	Pronostics des vibrations (suite)	

2.5 Atténuation en fonction de la distance à la voie

En théorie de propagation des ondes, l'atténuation de l'amplitude d'une onde viscoélastique s'écrit :

$$A(r) = A_0 (r_0/r)^n e^{-a(r-r_0)} \quad (1)$$

Le terme $(r_0/r)^n$ reflète l'atténuation géométrique, avec $n = 0$ pour l'onde de surface émise par une source linéaire, et $n = 0.5$ pour l'onde de surface émise par une source ponctuelle, et avec :

- A_0 : amplitude à la distance de référence
- r_0 : distance de référence pour laquelle est valable le spectre d'émission
- r : distance à la voie.

Le terme $e^{-a(r-r_0)}$ exprime l'atténuation liée au matériau, avec $a = 2 \pi D f / V$, et

- D : amortissement,
- f : fréquence
- V : vitesse de propagation des ondes.

Il s'agit ici de l'onde de surface se propageant principalement dans la superstructure de la chaussée.

Les paramètres n , D et V ont été ajustés de manière à refléter au mieux l'atténuation mesurée aux sites genevois de Lancy et de la rue de Lausanne. Ainsi, pour les pronostics sur le réseau de tram genevois, il est proposé d'adopter la fonction d'atténuation (1), avec les valeurs $n = 0$ (source linéaire), $D = 0.075$ et $V = 400$ m/s. Ainsi, à ces distances, le champ d'ondes émis par le tram est équivalent à celui d'une source linéaire.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.3 / 6
Section :	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article :	6.3.2 Pronostics des vibrations (suite)	

2.6 Aiguillages, courbures de la voie et vitesse de passage

Lors de la campagne de mesures menée, trois différentes situations de voies ont été étudiées : lignes droites, aiguillages à gorge porteuse et profonde, courbures prononcées de la voie (virage à 90°).

Dans l'ensemble, la comparaison des spectres mesurés lors des passages de tramways sur les aiguillages à gorge porteuse et profonde n'a pas permis de mettre en évidence de différence significativement importante entre ces deux types d'aiguillages.

Pour les fréquences supérieures à 50 Hz, les vibrations mesurées au droit d'une courbure prononcée sont plus faibles que celles mesurées le long d'un aiguillage, qui sont elles-mêmes plus faibles que les vibrations mesurées en ligne droite.

Si la vitesse de passage des tramways était toujours la même, il est clair que les aiguillages produiraient plus de vibrations que le passage en ligne droite. Mais dans la pratique, il s'avère que le tramway franchit les courbures à vitesse réduite, de même que pour les aiguillages qui présentent également une légère courbure du rail, tandis qu'il peut circuler à vitesse plus élevée dans les lignes de droite. De ce fait, les mesures réalisées permettent de mettre en évidence le fait que la vitesse de passage du tramway, réduite en cas de courbure ou d'aiguillage, compense et même réduit le niveau des vibrations émises par le tramway, à haute fréquence.

En revanche, pour les fréquences inférieures à 40 Hz, les aiguillages, puis les courbures, donnent lieu à une émission de vibrations plus fortes que le passage en ligne droite, malgré la vitesse de passage réduite (voir figures 1 et 2).

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.3 / 7
Section :	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article :	6.3.2 Pronostics des vibrations (suite)	

2.7 Influence de la nature géologique du sous-sol

Des mesures comparatives ont été effectuées sur des sites de nature géologique et géotechnique très différente, qui sont représentatifs des dépôts en présence dans le sous-sol genevois :

- Lancy (vers arrêt piscine de Lancy) : 30 à 40 m de dépôts d'argiles grises,
- Intersection rue de Lausanne – rue Rothschild : moraine compacte composée de graviers.

L'observation des spectres mesurés aux deux sites montre clairement une nette influence de la nature des dépôts sur les résultats obtenus, avec les caractéristiques suivantes :

- en dessous de 30 Hz environ, les vibrations émises par le tram, à une distance donnée, sont plus fortes à Lancy qu'à la rue de Lausanne,
- tandis que pour les fréquences supérieures à environ 30 Hz, ce sont les vibrations émises par le tram à la rue de Lausanne qui sont supérieures, toujours à distance égale de l'axe de la voie.

Les spectres d'émission définis lors de la précédente campagne de mesures sont valables pour un sol de type moraine compacte. Dans le cas de sols de type argileux (sur une épaisseur d'au moins 30 m.), il est proposé d'appliquer aux spectres d'émission une fonction de correction, définie à partir du rapport entre les spectres mesurés à Lancy et ceux de la rue de Lausanne. Cette fonction est définie dans le tableau 1, pour la gamme de fréquences considérée. Dans le cas de dépôts argileux de moins de 30 m. d'épaisseur, il convient d'adapter la fonction de correction en conséquence.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre :	6. Infrastructure	6.3 / 8
Section :	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article :	6.3.2 Pronostics des vibrations (suite)	

2.8 Spectres d'émission du tram genevois

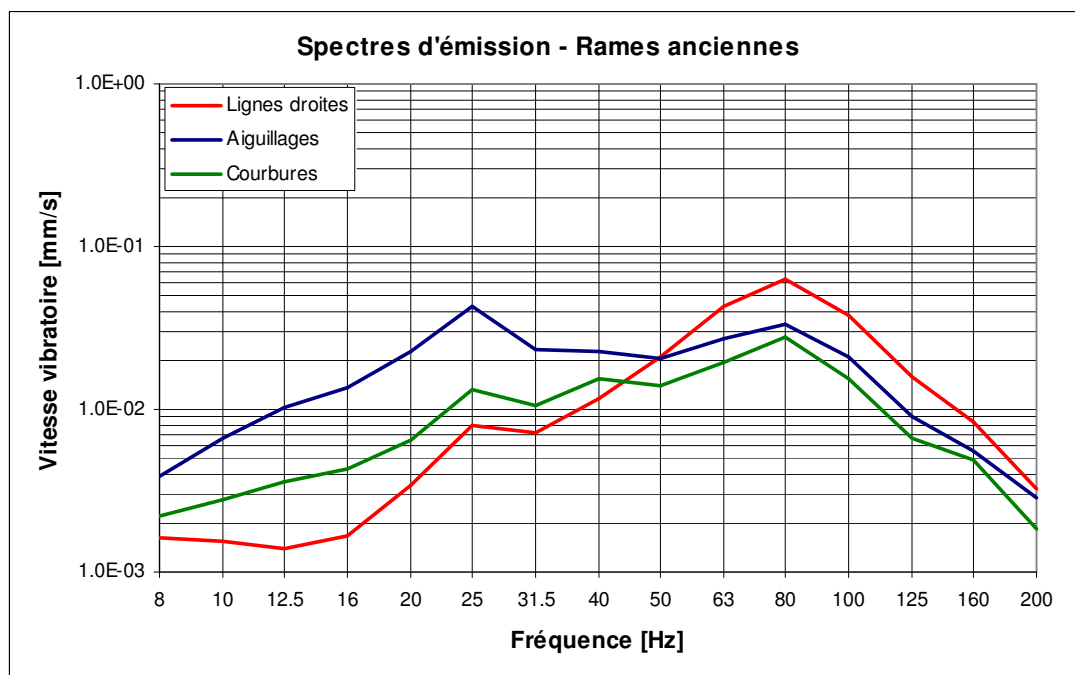
Les spectres moyens, mesurés à une distance de 6 m, en ligne droite sont proposés comme nouveaux spectres d'émission. Dans le cas où les rames anciennes et nouvelles circulent alternativement sur une ligne de tramway, il conviendra de prendre la moyenne (géométrique), pondérée selon la proportion de rames de chaque type, des deux spectres pour les calculs de pronostics.

Les figures 1 et 2 montrent les spectres d'émission ainsi obtenus pour les rames anciennes et nouvelles, respectivement, ainsi que les spectres après application de la fonction de correction pour tenir compte de la présence d'un aiguillage ou bien d'une courbure du rail. Le tableau 1 donne les valeurs des spectres d'émission retenus pour les rames anciennes et nouvelles, ainsi que les facteurs de correction à appliquer pour tenir compte de la présence d'un aiguillage, d'une courbure du rail ou de dépôts de sol argileux.

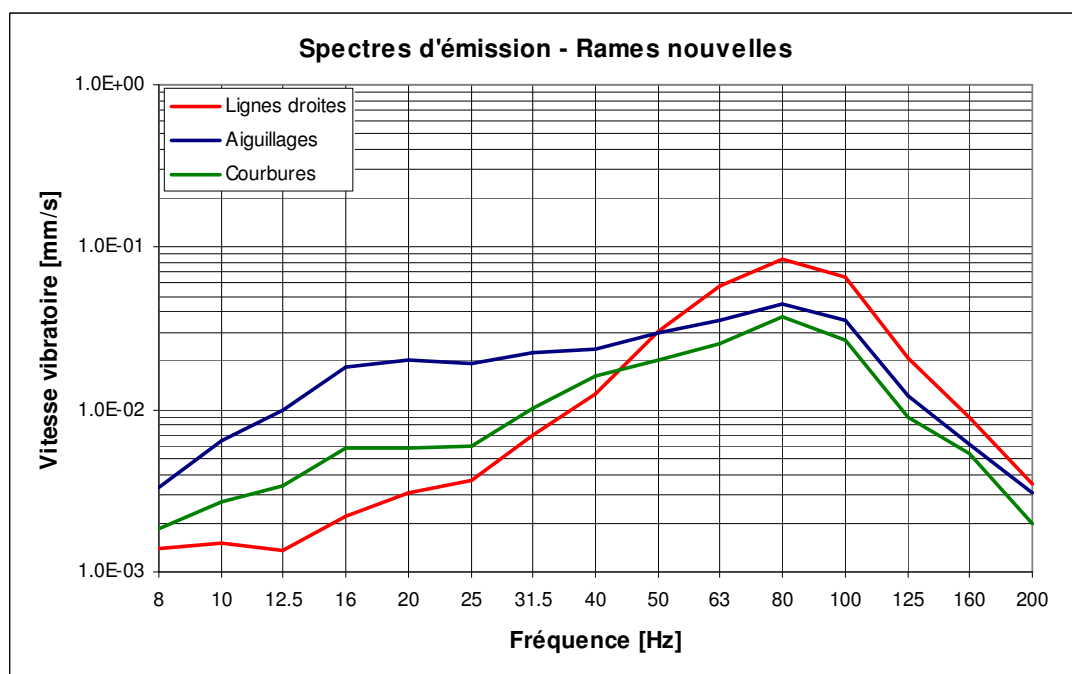
La comparaison des spectres d'émission résultants permet de mettre en évidence le fait que :

- le franchissement des aiguillages et des courbures produit des vibrations, en dessous de 50 Hz, plus gênantes, en tant que telles, car les fréquences propres des dalles se situent souvent en dessous de 40 Hz.
- le passage des rames en ligne droite produit plus de vibrations à haute fréquence et sera donc plus gênant sous la forme de son solidien, par rapport au passage des aiguillages et des zones de courbures du rail.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 9
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.2	Pronostics des vibrations (suite)	



Spectres d'émission pour le tram circulant en ligne droite, à 6 m de distance (en rouge), ainsi que spectre corrigé pour les aiguillages (en bleu) et les courbures du rail (en vert), pour les rames anciennes du tramway genevois.



Spectres d'émission pour le tram circulant en ligne droite, à 6 m de distance (en rouge), ainsi que spectre corrigé pour les aiguillages (en bleu) et les courbures du rail (en vert), pour les rames nouvelles du tramway genevois.

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°	
Chapitre	:	6. Infrastructure	6.3	/ 10
Section	:	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016	
Article	:	6.3.2 Pronostics des vibrations (suite)		

Tableau 1 : Spectres d'émission retenus pour les rames anciennes et nouvelles, et facteurs de correction à appliquer pour tenir compte de la présence d'un aiguillage, d'une courbure du rail, ou de la présence d'un sol de type argileux épais. La différence de vitesse de passage est incluse dans ces corrections.

Fréquence	Emission lignes droites		Facteurs de correction		
	Rames anciennes	Rames nouvelles	Courbure	Aiguillage	Sol argileux
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]			
8	0.0016	0.0014	1.33	2.35	1.87
10	0.0015	0.0015	1.82	4.31	2.83
12.5	0.0014	0.0013	2.53	7.28	4.49
16	0.0017	0.0022	2.58	8.19	4.29
20	0.0034	0.0031	1.91	6.68	3.01
25	0.0080	0.0036	1.64	5.34	2.07
31.5	0.0072	0.0069	1.47	3.24	0.95
40	0.0117	0.0124	1.30	1.92	0.46
50	0.0209	0.0305	0.66	0.98	0.29
63	0.0434	0.0579	0.44	0.62	0.31
80	0.0630	0.0843	0.44	0.53	0.17
100	0.0377	0.0646	0.41	0.55	0.19
125	0.0157	0.0210	0.43	0.58	0.41
160	0.0083	0.0090	0.59	0.67	0.50
200	0.0033	0.0035	0.56	0.88	0.50

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 11
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.3	Choix du type de mesures de protection	

Si les valeurs pronostiquées dépassent les seuils limites, alors des mesures de protection doivent être envisagées.

Les mesures pour réduire le niveau de bruit solidien uniquement sont plus légères et moins onéreuses que celles visant à réduire les vibrations proprement dites.

Les types de pose vont de la simple attache résiliente du rail peu coûteuse au système de la dalle flottante lourde engendrant un surcoût.

Il faut savoir que l'attache résiliente n'apporte qu'une réduction limitée du bruit solidien, alors que le système de dalle flottante permet d'atténuer les vibrations et apporte une réduction importante du bruit solidien.

Entre ces deux extrêmes, il existe des solutions intermédiaires (voir 6.3.4 à 6.3.10).

Très approximativement si la distance D entre l'axe de la voie et la façade de l'immeuble considéré est de :

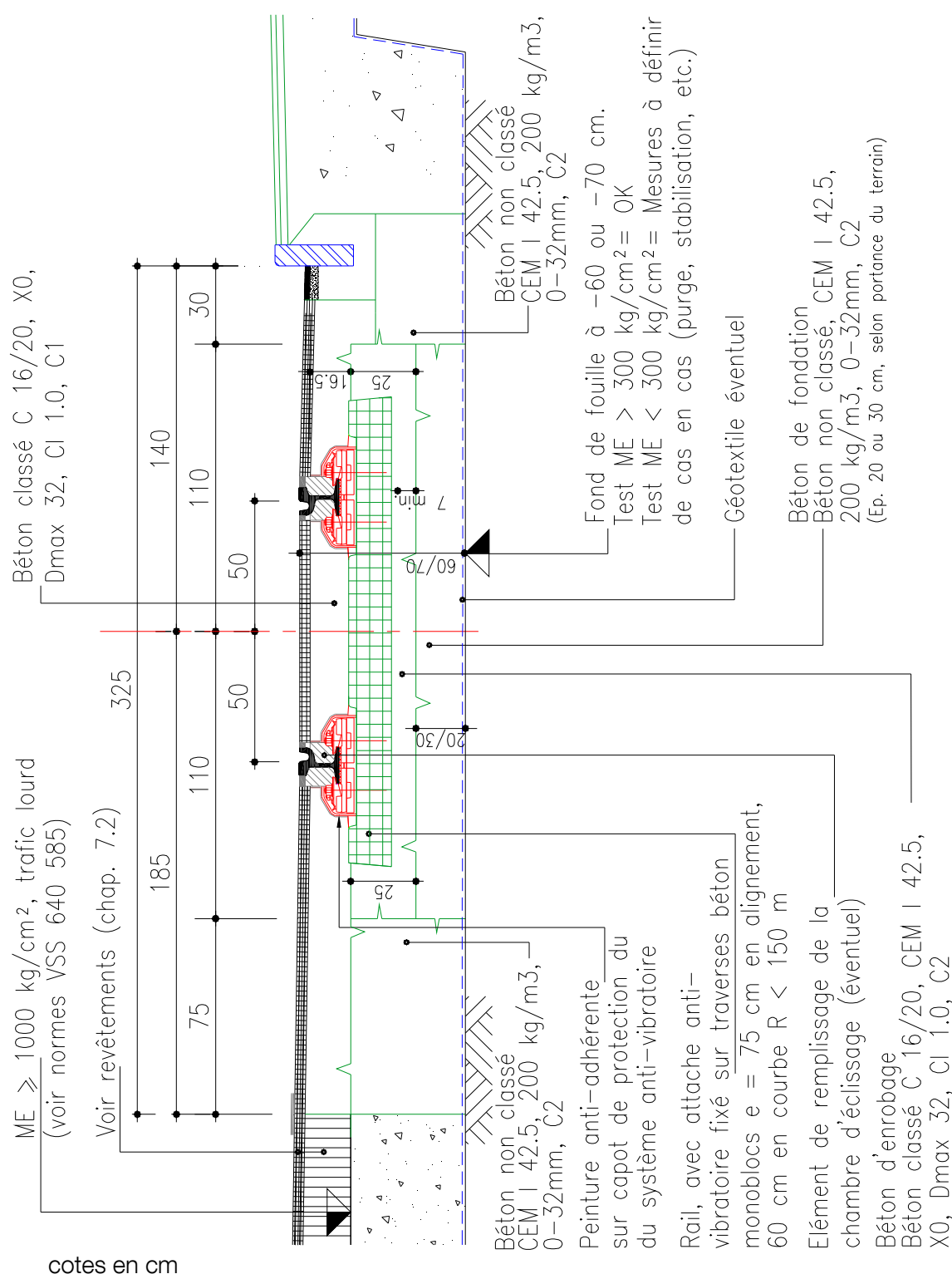
- | | |
|----------------|---|
| D < 5 m | des mesures de protection sont pratiquement toujours nécessaires. |
| 5 m < D < 12 m | des mesures de protection peuvent s'avérer nécessaires en fonction du comportement dynamique du bâtiment. |
| D > 12 m | en règle générale, pas de protections particulières. |

L'optimisation de ces mesures en fonction des conditions particulières relève d'un spécialiste en la matière.

Remarque :

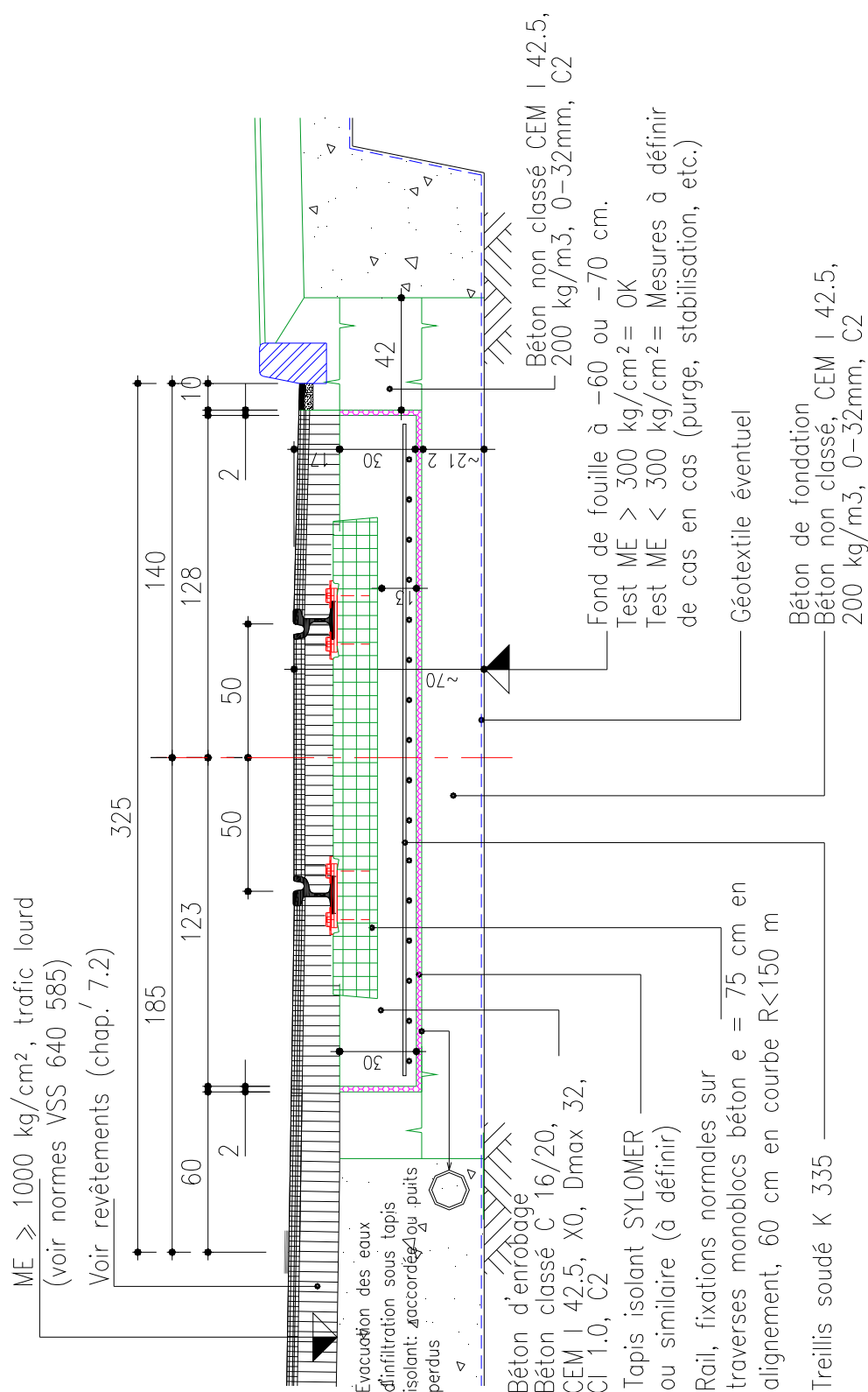
Il faut éviter toute liaison rigide (tuyaux, canalisations, massifs de béton enterrés, etc.) entre le béton d'enrobage des traverses et les immeubles riverains.

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°	
Chapitre	:	6. Infrastructure	6.3	/ 12
Section	:	6.3 MESURES ANTIVIBRATOIRES		
Article	:	6.3.4 Exemple avec attaches anti-vibratoires des rails (traverses ASP)	Version : mai 2016	



- Remarques concernant le texte de soumission:
- Il devra être rédigé de façon à ne pas occasionner des revendications ultérieures pour mise en oeuvre à la pompe ou autre.
 - Les bétons sont métrés au cube théorique (volume des traverses déduit)

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°	
Chapitre	:	6.	Infrastructure	6.3 / 13
Section	:	6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article	:	6.3.5 Exemple d'une dalle flottante légère sur appui surfacique (tapis résilient)		

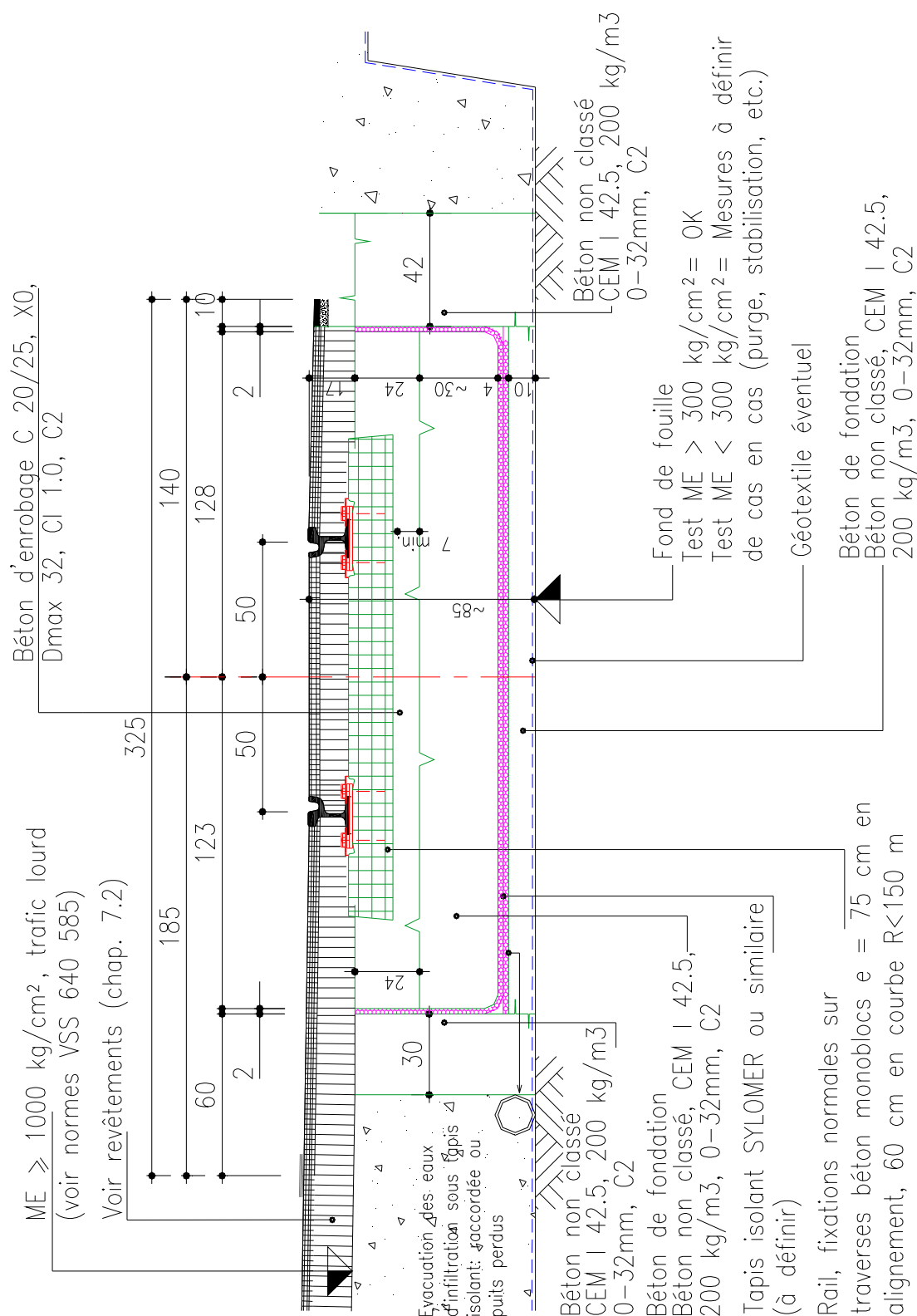


Remarques concernant le texte de soumission:

- Il devra être rédigé de façon à ne pas occasionner des revendications ultérieures pour mise en oeuvre à la pompe ou autre.
- Les bétons sont métrés au cube théorique (volume des traverses déduit)

cotes en cm

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 16
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	
Article : 6.3.8	Exemple d'une dalle flottante intermédiaire sur appui surfacique (tapis résilient)	Version : mai 2016



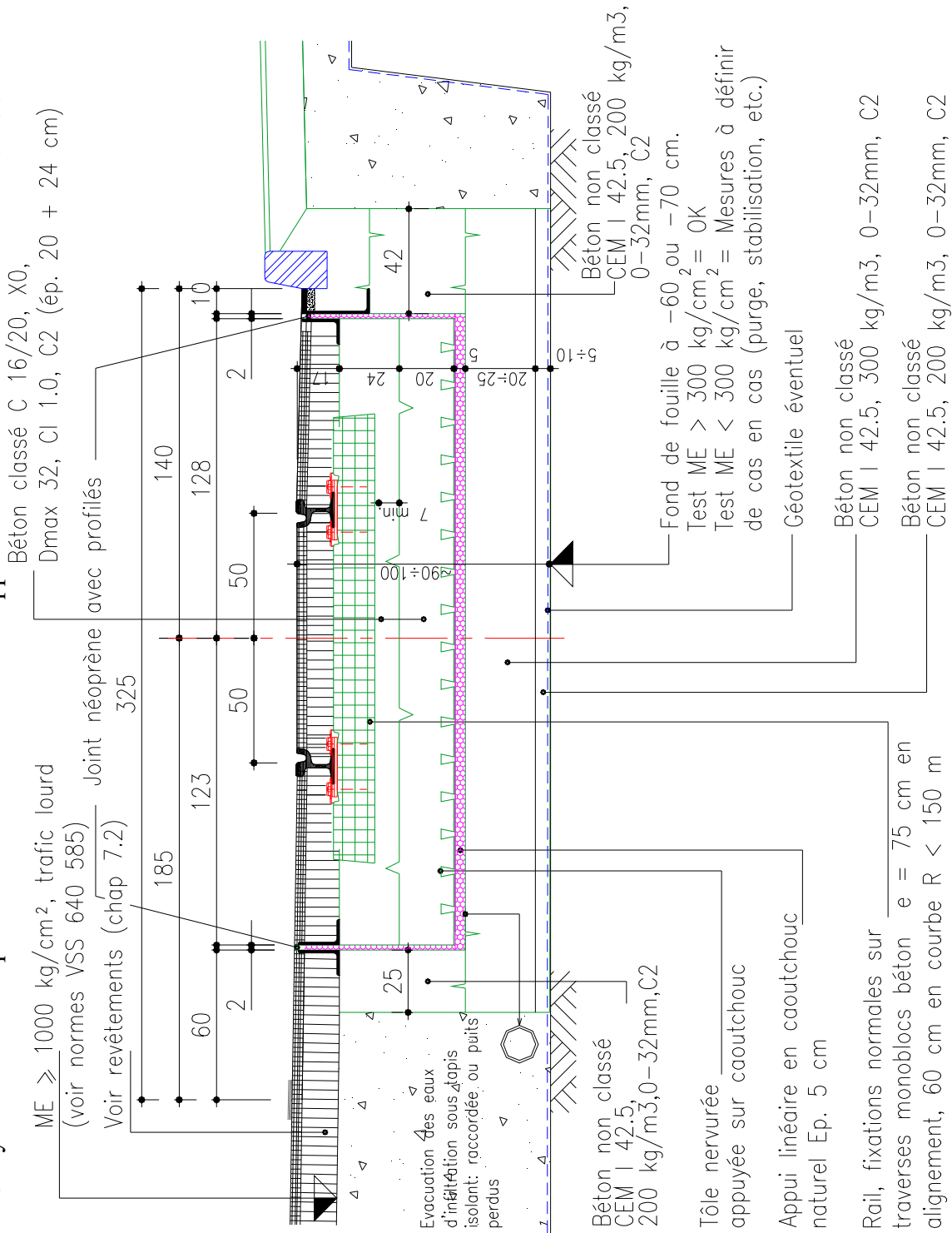
cotes en cm

Remarques concernant le texte de soumission:

- Il devra être rédigé de façon à ne pas occasionner des revendications ultérieures pour mise en oeuvre à la pompe ou autre.
- Les bétons sont métrés au cube théorique (volume des traverses déduit)

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 17
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	
Article : 6.3.9	Exemple d'une dalle flottante lourde sur appuis linéaires	Version : mai 2016

Ce système est techniquement le meilleur réalisable. Il apporte une réduction du son solide de 20 à 30 dB.

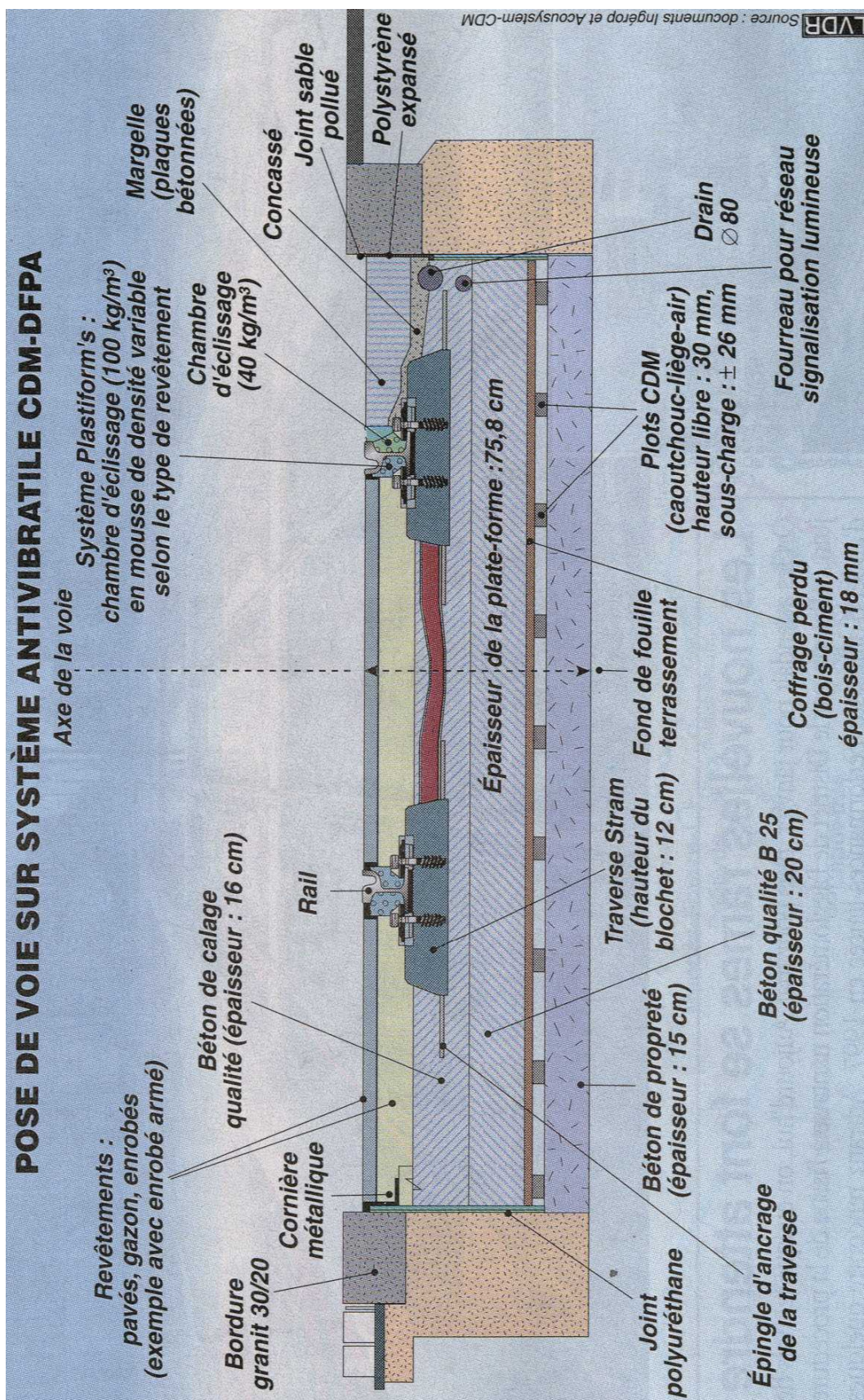


cotes en cm

Remarques concernant le texte de soumission:

- Il devra être rédigé de façon à ne pas occasionner des revendications ultérieures pour mise en oeuvre à la pompe ou autre.
- Les bétons sont métrés au cube théorique (volume des traverses déduit)

Directives techniques pour TRAM			section n° / page n°
Chapitre :	6.	Infrastructure	6.3 / 18
Section :	6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	
Article :	6.3.10 Exemple d'une dalle flottante d'inertie en béton sur plots résilients		Version : mai 2016



Remarque: voir p. 6.2 / 1 pour traverses bi-blocs

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 19
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	Version : mai 2016
Article : 6.3.11	Pose anti-vibratile niveau 1 : amortissement vibratoire - 10 dBv	

Il existe des produits ou techniques similaires à celles présentées ci-avant qui ont obtenu de bons résultats d'amortissement :

- Pose DS iso rail : remplacement des semelles cannelées par des semelles anti-vibratiles de raideur alternée.
- Pose Dephi : remplacement des semelles cannelées par des semelles anti-vibratiles de raideur unique.
- Pose Edilon : rail noyé dans un matériau anti-vibratile (polyuréthane).
- Pose sur traverses STEDEF : un chausson caoutchouc et une semelle anti-vibratile sont disposés autour et sous chaque blochet. Cette pose est principalement retenue sur les ouvrages d'art et les tunnels. Elle peut être combinée avec un revêtement dalle préfabriquées en site protégé. SATEBA, fabricant de ces traverses, à amélioré le système en créant une étanchéité autour des chaussons.

Afin de garantir le bon fonctionnement de ces divers systèmes, le rail sera ensuite habillé de chambre d'écissage en caoutchouc recyclé ou en mousse de polyéthylène réticulé physiquement, le système d'attaches élastiques sera protégé par capots plastiques ou polypropylène afin de permettre une déflexion verticale dynamique de celui-ci. La déflexion est limitée au millimètre tant dans le sens vertical que transversal.

Matériaux anti-vibratiles

Les caractéristiques des matériaux anti-vibratiles doivent être données par les entreprises lors de la consultation afin que le Maître d'œuvre donne son agrément.

L'entrepreneur et/ou son fournisseur fourniront une garantie de 10 ans, à partir de la mise en service, sur l'efficacité des matériaux mis en œuvre.

Des points de mesure pourront être positionnés le long du tracé afin de vérifier pendant les dix années à venir l'efficacité des systèmes.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 6.	Infrastructure	6.3 / 20
Section : 6.3	MESURES ANTIVIBRATOIRES	
Article : 6.3.11	Pose anti-vibratile niveau 1 : amortissement vibratoire - 10 dBv (suite)	Version : mai 2016

Les caractéristiques principales des différents matériaux à renseigner sont données dans le tableau suivant :

PRESCRIPTION	UNITES	
Matériau constituant		
Epaisseur	cm	
Type		
Masse volumique	kg/m ³	
Dureté shore	°A	
Résistance à la traction	MPa	
Allongement à la rupture	%	
Compression set	%	
Absorption d'eau	g/cm ³	
Module d'élasticité E _{stat}	MPa	
Module d'élasticité E _{dyn}	MPa	
Module de cisaillement G _{stat}	MPa	
Module de cisaillement G _{dyn}	MPa	
Résistivité	Ωcm	

Le comportement des matériaux par rapport à son amortissement doit être identique à l'état sec ou humide.