

Eau de pluie dans l'espace urbain

Fortes précipitations et gestion des eaux pluviales dans le contexte d'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

Eau de pluie dans l'espace urbain

Fortes précipitations et gestion des eaux pluviales dans le contexte d'un développement urbain adapté aux changements climatiques

Impressum

Éditeurs

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Office fédéral du développement territorial (ARE)

L'OFEV et l'ARE sont des offices du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Équipe de projet

Auteurs :

Cordula Weber (StadtLandschaft GmbH, Zurich, direction du projet), Daniel Baumgartner (Hunziker Betatech AG, Berne), Gerhard Hauber (Ramboll Studio Dreiseitl, Überlingen)

Mandants :

Pamela Köllner (OFEV, direction du projet), Roberto Loat (OFEV),

Damian Dominguez (OFEV), Melanie Gicquel (ARE)

Participation consultative :

Michael Burkhardt (HSR Institut UMETC, Rapperswil), Thomas Oesch et Monika Schirmer-Abegg (HSR Institut ILF, Rapperswil)

Groupe d'accompagnement

Reto Camenzind (ARE), Daniela Bächli (canton d'Argovie), Ugo Bernasconi (ville de Lugano), Raphaël Berthod (ville de Sion), Guido Derungs (canton de Bâle-Ville), Jonas Eppler (canton de Zurich), Stephan Flury (Association suisse Infrastructures communales ASIC), Reto Flury (Holinger SA), Stefan Hasler (Association suisse des professionnels de la protection des eaux VSA), Stefan Hinter (Association suisse des spécialistes du verdissement des édifices ASVE), Frédéric Jaques (ville de Genève), Martin Jordi (Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI), Franz Günter Kari (ville de Zurich), Thomas Lang (canton de Bâle-Campagne), David Risi (Union suisse des services des parcs et promenades USPP), Christian Schuler (canton de Zurich), Roger Strebler (Planungsdachverband Region Zürich und Umgebung RZU), Peter Wullschleger (Fédération suisse des architectes paysagistes FSAP), Dominique Zürcher (ville de Lausanne), Dörte Aller (Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA), Damian Jerjen (EspaceSuisse), Frank Argast (Fédération suisse des urbanistes FSU), Simon Scherrer et Sven Kotlarski (Météo-Suisse)

Référence bibliographique

OFEV/ARE (éd.) 2022 : Eau de pluie dans l'espace urbain. Fortes précipitations et gestion des eaux pluviales dans le contexte d'un développement urbain adapté aux changements climatiques.

Office fédéral de l'environnement (OFEV) ; Office fédéral du développement territorial (ARE). Connaissance de l'environnement n° 2201 : 117 p.

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Graphiques

Atelier Scheidegger, Berne

Mise en page

Funke Lettershop AG

Photo de couverture

Retenue avec écoulement régulé vers la rue

© Ramboll Studio Dreiseitl

Téléchargement du fichier PDF

www.bafu.admin.ch/uw-2201-f

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication existe aussi en allemand et en italien.

La langue originale est l'allemand.

© OFEV/ARE 2022

Table des matières

| | | |
|--|------------|--|
| Abstracts | 7 | |
| Avant-propos | 9 | |
| 1 Sur ce rapport | 10 | |
| 2 Contexte | 11 | |
| 2.1 Importance grandissante du phénomène de ruissellement | 11 | |
| 2.2 Définition du terme « fortes précipitations » | 11 | |
| 2.3 Exemples d'épisodes de ruissellement | 12 | |
| 2.4 Rôle des assurances face à l'aléa ruissellement | 14 | |
| 2.5 Évolution des fortes précipitations dans le contexte des changements climatiques | 14 | |
| 2.6 Importance d'un cycle de l'eau proche de l'état naturel | 16 | |
| 2.7 Concept de la ville éponge | 17 | |
| 2.8 La ville éponge a besoin de place, mais la partage volontiers | 17 | |
| 2.9 Rôle de la Confédération | 18 | |
| 2.10 Rôle des cantons et des communes | 20 | |
| 3 Bases et outils | 21 | |
| 3.1 Bases légales au niveau fédéral | 21 | |
| 3.2 Instruments d'aménagement du territoire aux niveaux cantonal et communal | 22 | |
| 3.2.1 Lois sur l'aménagement du territoire et sur les constructions | 22 | |
| 3.2.2 Plans directeurs | 23 | |
| 3.2.3 Plans d'agglomération et plans régionaux | 23 | |
| 3.2.4 Plans d'affectation communaux | 23 | |
| 3.2.5 Plans d'affectation spéciaux | 23 | |
| 3.3 Instruments d'aménagement des eaux pluviales | 24 | |
| 3.3.1 Lois cantonales sur les eaux | 24 | |
| 3.3.2 Conceptions et plans sectoriels | 24 | |
| 3.3.3 Documents de base sur les dangers de crues | 24 | |
| 3.3.4 Carte de l'aléa ruissellement | 25 | |
| 3.3.5 Plan régional de l'évacuation des eaux (PREE) | 26 | |
| 3.3.6 Plan général de l'évacuation des eaux (PGEE) | 26 | |
| 3.3.7 Règlement des eaux usées | 27 | |
| 3.4 Directives et normes relatives à l'aménagement des eaux pluviales | 27 | |
| 3.4.1 Directive du VSA « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » | 28 | |
| 3.4.2 Norme SN 592 000 « Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds » de suissetec/VSA | 28 | |
| 3.4.3 Normes SIA | 28 | |
| 3.4.4 Normes VSS | 28 | |
| 3.5 Bases disponibles en Allemagne | 29 | |
| 3.6 Outils interactifs en ligne et planification assistée par logiciel | 30 | |
| 3.7 Bilan | 31 | |
| 4 Stratégies de gestion des eaux pluviales et des fortes précipitations | 33 | |
| 5 Recommandations : processus et principes de planification | 46 | |
| 5.1 Processus de planification | 46 | |
| 5.2 Principes de planification | 48 | |
| 6 Mesures | 51 | |
| 6.1 Mesures préventives à l'extérieur de l'espace urbain | 56 | |
| 6.2 Topographie et revêtement des surfaces | 60 | |
| 6.3 Mesures au niveau des plans d'eau et des cours d'eau | 64 | |
| 6.4 Mesures dans le milieu non bâti et l'espace routier | 68 | |
| 6.5 Mesures dans le sous-sol | 76 | |
| 6.6 Mesures sur les bâtiments | 82 | |
| 6.7 Mesures temporaires | 86 | |
| 6.8 Mesures de protection des objets | 93 | |
| 7 Anchage et application | 96 | |
| 7.1 Instruments formels | 96 | |
| 7.2 Instruments informels | 99 | |
| 7.3 Mise en œuvre à travers le conseil et la promotion | 101 | |
| Annexe 1 Documents de base et projets en Suisse | 103 | |
| Annexe 2 Exemples de bonnes pratiques d'autres pays | 107 | |
| Annexe 3 Informations spécialisées complémentaires | 110 | |
| Annexe 4 Table des illustrations et crédits photographiques | 111 | |
| Annexe 5 Glossaire | 117 | |
| Annexe 6 Abréviations | 119 | |

Abstracts

Climate change is leading to heavier and more frequent precipitation. In urban areas, where development means the total impervious surface area is increasing, there is a growing risk of flooding from surface run-off after heavy rainfall. In climate-adapted and risk-based urban development, there is an increasing need to manage rainwater resources sustainably. The concept of 'sponge cities', which focus on increasing evaporation, infiltration, retention, controlled temporary flooding and providing emergency waterways, is a planning solution to prevent damage from surface run-off and to reduce the effects of heat. This report details strategies and measures to achieve this, with numerous practical examples.

Du fait des changements climatiques, les fortes précipitations deviennent plus intenses et plus fréquentes. En milieu toujours plus imperméable en raison de l'urbanisation vers l'intérieur, le risque d'inondation lié au ruissellement après des pluies intenses augmente. Le développement urbain adapté aux changements climatiques et fondé sur les risques intègre la gestion durable des eaux pluviales. Conjuguant évaporation, infiltration, rétention, inondation temporaire et corridors d'écoulement de secours, le concept de ville éponge se veut une approche intégrée visant à prévenir les dommages provoqués par le ruissellement et à atténuer l'impact de la chaleur. Le présent rapport indique des stratégies et des mesures et les étoffe par des exemples de mise en œuvre.

Mit dem Klimawandel werden Starkniederschläge intensiver und häufiger. Im Siedlungsgebiet, wo die Innenentwicklung vielerorts zu zusätzlicher Versiegelung führt, steigt deshalb das Überschwemmungsrisiko durch Oberflächenabfluss nach Starkregen. In der klimaangepassten und risikobasierten Siedlungsentwicklung wird die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Regenwasser immer wichtiger. Das Schwammstadtkonzept, das auf Verdunstung, Versickerung, Retention, temporären Flutungen und Notwasserwegen beruht, ist ein integraler Lösungsansatz zur Vermeidung von Schäden durch Oberflächenabfluss und zur Verminderung der Hitzebelastung. Der vorliegende Bericht zeigt dazu Strategien und Massnahmen auf und illustriert sie mit zahlreichen Umsetzungsbeispielen.

Con il cambiamento climatico, le precipitazioni persistenti diventeranno più intense e frequenti. Negli insediamenti urbani, il cui sviluppo interno comporta in molti luoghi ulteriori impermeabilizzazioni, aumenta pertanto il rischio di inondazione causato da ruscellamenti superficiali dovuti a precipitazioni persistenti. Nello sviluppo di insediamenti adattato ai cambiamenti climatici e basato sui rischi, la gestione sostenibile della risorsa «acqua piovana» diventa pertanto sempre più importante. Il concetto di città spugna, basato su evaporazione, infiltrazione ritenzione, inondazioni temporanee o percorsi d'emergenza, costituisce una soluzione integrata volta a prevenire danni da ruscellamento superficiale e a ridurre l'impatto della canicola. Questo rapporto illustra le relative strategie e le misure e le correda con numerosi esempi di attuazione.

Keywords:

climate change, rainwater management, sponge city, heavy precipitation, surface run-off, drought, urban planning, settlement development, adaptation

Mots-clés:

changements climatiques, gestion des eaux pluviales, ville éponge, fortes précipitations, ruissellement, sécheresse, planification urbaine, développement urbain, adaptation

Stichwörter:

Klimawandel, Regenwasserbewirtschaftung, Schwammstadt, Starkniederschlag, Oberflächenabfluss, Trockenheit, Stadtplanung, Siedlungsentwicklung, Anpassung

Parole chiave:

cambiamento climatico, gestione dell'acqua piovana, città spugna, precipitazioni persistenti, ruscellamento superficiale, siccità, pianificazione urbana, sviluppo degli insediamenti, adattamento.

Avant-propos

Ce rapport sur l'adaptation aux changements climatiques traite des dangers liés aux fortes précipitations et au ruissellement, et il présente plusieurs stratégies de protection possibles dans l'espace urbain. La gestion des eaux pluviales joue un rôle important dans ce domaine.

D'après les scénarios climatiques pour la Suisse CH2018, les quantités de précipitations lors d'événements extrêmes ont augmenté de 12 % depuis 1901. Cette augmentation s'est confirmée récemment dans plusieurs régions, comme en témoignent les sinistres survenus à Zofingue en 2017 et à Lausanne en 2018. En Suisse, près de la moitié de tous les dégâts dus aux crues sont occasionnés par le ruissellement. Selon les scénarios climatiques, la tendance à des épisodes de fortes précipitations plus fréquents et plus intenses va se poursuivre.

Comme les épisodes estivaux de canicule et de sécheresse s'intensifient eux aussi, l'eau se fait tantôt trop abondante, tantôt trop rare. Pour cette raison, il est important de la collecter lors des fortes précipitations et de la restituer pendant les périodes de sécheresse – à la manière d'une éponge.

Ce rapport présente des stratégies et des instruments permettant de s'attaquer au problème de la canicule et de la sécheresse et d'améliorer la sécurité en cas de crues. Les inondations temporaires contrôlées, les corridors d'écoulement de secours et les mesures de protection d'objets comptent parmi les mesures possibles.

Dans les grandes villes du monde entier, y compris en Suisse, le concept de la « ville éponge » possède un indéniable potentiel. La réalisation de ce potentiel dépend grandement de la collaboration entre les différents acteurs que sont, entre autres, les responsables de l'évacuation des eaux urbaines et de la protection contre les crues, les spécialistes de l'urbanisme et du développement urbain, les architectes, les responsables de l'aménagement paysager, les maîtres d'ouvrage, ainsi que les femmes et les hommes politiques, et de leur capacité à concevoir et à mettre en œuvre des solutions communes. Des bases importantes et des instruments de planification existent déjà dans les domaines des dangers naturels, de l'évacuation des eaux urbaines et de l'aménagement du territoire.

Grâce au concept de la ville éponge, notre espace urbain devient plus sûr et l'eau en tant que ressource est utilisée de façon plus durable. Il est ainsi possible de garantir que demain nos villes continueront d'offrir un niveau élevé de sécurité et de qualité de vie, y compris dans le contexte d'un climat en plein changement.

Katrin Schneeberger, directrice
Office fédéral de
l'environnement (OFEV)

Maria Lezzi, directrice
Office fédéral du
développement territorial (ARE)

1 Sur ce rapport

Le rapport « Eau de pluie dans l'espace urbain » contient des informations et des recommandations destinées aux personnels administratifs, aux aménagistes, aux acteurs politiques et aux propriétaires fonciers qui s'intéressent à l'adaptation aux changements climatiques et en particulier au ruissellement et à l'aménagement du territoire.

En complément du rapport « Quand la ville surchauffe »⁷, le présent rapport donne une vue d'ensemble des principes, des stratégies et des mesures concrètes permettant de s'adapter aux épisodes de fortes précipitations, plus fréquents et plus intenses, et formule des recommandations pour la gestion des eaux pluviales dans le milieu urbain en Suisse.

S'adressant à toutes les personnes qui, dans le cadre de leur activité professionnelle, se penchent sur des questions liées à la gestion des eaux pluviales et aux fortes précipitations, à l'aménagement du territoire et à l'adaptation aux changements climatiques, il intéresse les responsables et les spécialistes de l'évacuation des eaux urbaines et de l'aménagement des cours d'eau, de l'urbanisme et du développement urbain, de l'architecture et de l'architecture paysagère, ainsi que les maîtres d'ouvrage, les ingénieurs, les représentants des services de secours et les professionnels du bâtiment et de l'assurance.

Le rapport se concentre sur la gestion des fortes précipitations et des eaux pluviales : les autres événements de précipitations (p. ex. chutes de neige, fonte, pluie tombant sur la neige) ne sont pas traités ici, car l'expérience montre qu'ils sont de moindre importance pour les grands espaces urbains du Plateau. Les dangers liés à la grêle ne sont pas détaillés non plus ; ce type de précipitations a fait l'objet du projet « Climatologie de la grêle en Suisse »¹⁸.

Le chapitre 2 « **Contexte** » décrit l'impact des changements climatiques sur les fortes précipitations et sur l'évacuation des eaux urbaines et il établit des rapprochements avec les phénomènes de canicule et de sécheresse. Le danger est illustré par une série d'exemples provenant de communes touchées.

Le chapitre 3 donne une vue d'ensemble sur les **bases** et les instruments de planification dont disposent les pouvoirs publics dans les domaines des dangers naturels, de l'évacuation des eaux urbaines et de l'aménagement

du territoire, et ce, à différents échelons. Il présente des normes et des directives émises par des associations ou des fédérations, ainsi que des **outils** et des aides. Une comparaison entre les bases disponibles en Suisse et la situation à l'étranger permet de tirer des conclusions pertinentes.

Pour influer fondamentalement sur la gestion des eaux pluviales, il faut une **stratégie** d'urbanisme et d'aménagement du territoire. Sur la base des expériences faites à Copenhague, à Hambourg, à Berlin, à Reutlingen, à Lyon et à Rennes, le chapitre 4 apporte un éclairage et une réflexion sur différentes stratégies envisageables. Il présente également diverses approches stratégiques adoptées en Suisse.

Le chapitre 5 formule des **recommandations** concernant les principes et les processus de planification ayant fait leurs preuves.

Les **mesures** décrites au chapitre 6 sont autant d'actions possibles pour maîtriser les risques liés au ruissellement et promouvoir la gestion décentralisée des eaux pluviales. Pour chaque mesure, le degré d'efficacité, les potentiels de synergie et les domaines d'application sont illustrés graphiquement, et les défis ainsi que les conflits d'objectifs sont cités. Des exemples de réussite observés tant en Suisse qu'à l'étranger concrétisent les différentes mesures et montrent les réalisations possibles.

Les tableaux du chapitre 7 font le point sur la façon dont les exigences peuvent être **ancrées et mises en œuvre** à travers les instruments formels et informels de l'aménagement du territoire.

L'**annexe** contient, outre la table des illustrations et des sources, des informations complémentaires spécialisées. Les notes de fin insérées dans la présente publication se réfèrent à ces informations annexées et ne sont donc pas numérotées en continu comme il est d'usage.

2 Contexte

Par le passé, la gestion de l'eau de pluie dans l'espace urbain a été trop peu considérée dans la prévention des dangers naturels et la planification générale de l'évacuation des eaux. Les sinistres majeurs causés ces dernières années par le ruissellement en ont fait un phénomène de premier plan. Au vu des changements climatiques en cours, l'intensité et la fréquence des pluies vont continuer de croître, et donc également le potentiel de risque qui en découle. Pour autant, l'eau de pluie ne doit pas être considérée uniquement comme un problème à résoudre : il s'agit avant tout d'une ressource précieuse pour diminuer l'impact de la chaleur et de la sécheresse dans les villes et les agglomérations, deux tendances qui s'intensifieront avec les changements climatiques. Une végétation urbaine alimentée par l'eau de pluie est en capacité de créer un climat agréable à l'intérieur de la ville. Pour que le climat reste agréable pendant les périodes sèches, il faut que l'eau précipitée soit collectée autant que possible, comme cela se produit dans le cycle naturel de l'eau.

2.1 Importance grandissante du phénomène de ruissellement

Le ruissellement est la part de l'eau de précipitation qui s'écoule directement à la surface du sol. Depuis peu, il est considéré comme un processus à part entière, distinct des débordements de cours d'eau. Il peut se former à l'intérieur de l'espace urbain si les installations de canalisation, de rétention et d'infiltration sont en surcharge et si la capacité d'absorption des surfaces entièrement ou partiellement perméables est dépassée. Il peut aussi se former à l'extérieur de l'espace urbain, par exemple sur des surfaces agricoles alentour, puis s'écouler jusque dans la ville.

Lors de plusieurs événements de précipitations survenus ces dernières années, on a observé qu'une part importante des dégâts s'était produite en dehors des zones de danger délimitées sur la carte des dangers de crues, comme à Zofingue en 2017 (fig. 1 ; cf. point 2.3). Comme les fortes précipitations vont continuer de s'intensifier en raison des changements climatiques (cf. point 2.5) et comme le développement urbain vers l'intérieur va engendrer davantage de surfaces imperméabilisées et de constructions souterraines, la vulnérabilité de l'espace urbain et le potentiel de dégâts vont eux aussi augmenter. Il faut donc s'attendre à ce que les sinistres deviennent plus fréquents à l'avenir.

Le fait que la problématique du ruissellement dépende à la fois de la protection contre les crues et de l'évacuation des eaux urbaines constitue un véritable défi puisque les processus de planification qui, jusqu'à présent, étaient traités indépendamment les uns des autres doivent

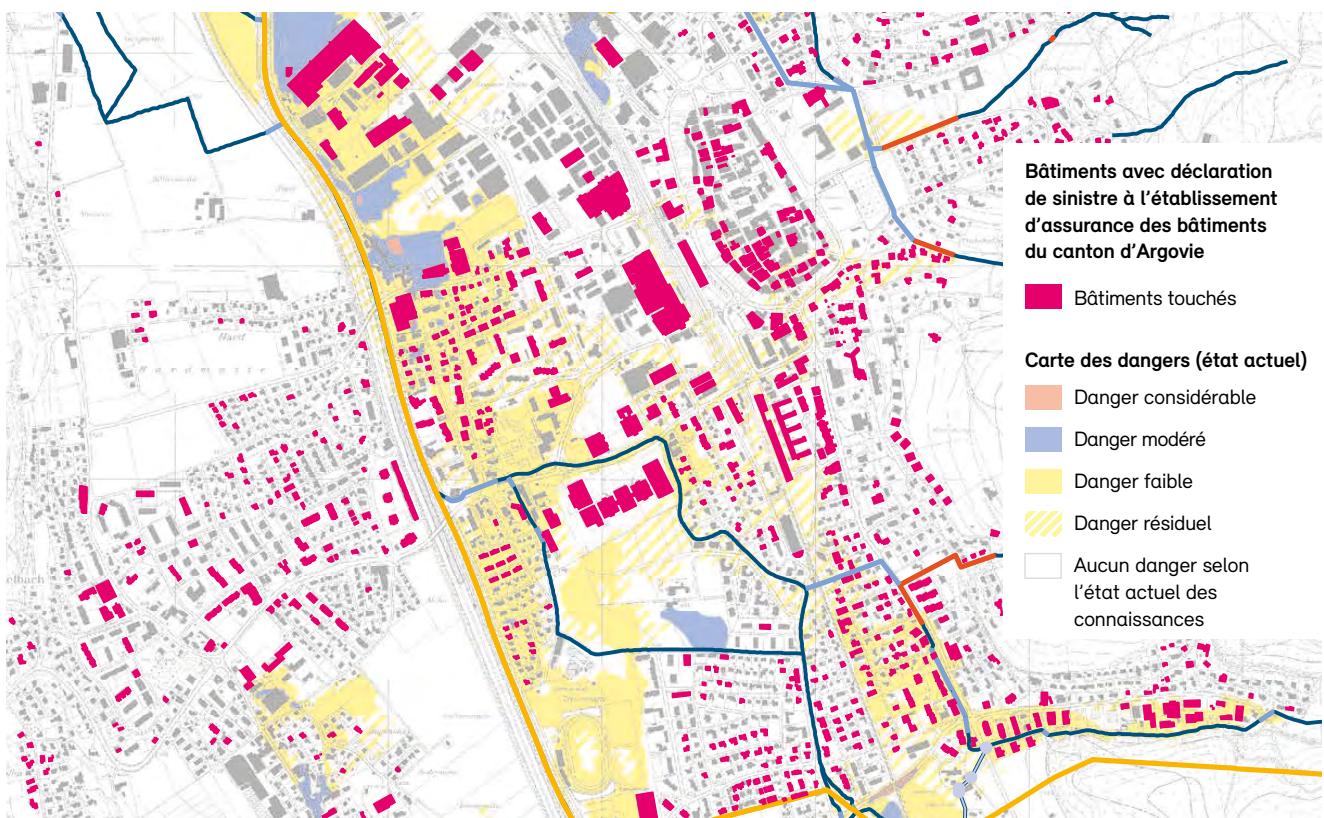
désormais faire l'objet d'une prise en compte intégrale. La gestion du ruissellement suppose de trouver des solutions durables dans le cadre d'une gestion décentralisée des eaux pluviales déployée autant que possible à la surface du sol, ce qui, dans un espace urbain de plus en plus dense, peut conduire à des conflits d'utilisation. Les instruments d'aménagement du territoire des villes et des communes doivent donc être axés sur les principes et les grandes lignes de la gestion des fortes précipitations et les faire intervenir dès le début des processus correspondants (cf. chap. 5).

2.2 Définition du terme « fortes précipitations »

L'Atlas hydrologique de la Suisse définit les fortes précipitations (ou précipitations intenses) comme suit : « eaux de précipitation présentant une forte intensité par rapport à leur durée et ne survenant que rarement. Les précipitations intenses durent en général entre dix minutes et cinq jours et se produisent de manière isolée au cours de l'année. Ce sont surtout les cours d'eau à petits bassins versants qui sont soumis à des crues lors de précipitations intenses. Celles-ci provoquent alors très rapidement une forte érosion des sols, des glissements de terrain et des coulées de boue. »

Le présent rapport s'intéresse à un spectre restreint de fortes précipitations, en l'occurrence à celles qui occasionnent un ruissellement. Ces précipitations ne durent que quelques minutes, voire quelques heures tout au plus, et se distinguent par une intensité particulièrement élevée. L'intensité de précipitation exprime le temps nécessaire

Fig. 1 : Carte des dangers de crues, avec signalisation des bâtiments touchés par les intempéries de 2017 à Zofingue et à Strengelbach



à une certaine quantité d'eau de pluie pour s'abattre. La fréquence à laquelle surviennent certaines intensités varie très fortement d'une région à l'autre : d'après les analyses des valeurs extrêmes¹⁷ de MétéoSuisse, une intensité de pluie de 21 mm en dix minutes est dépassée en moyenne une fois tous les cinq ans à Lugano, mais seulement une fois tous les quatorze ans à Zurich et une fois tous les 130 ans à Sion.

Ces épisodes de fortes précipitations, courts et intenses, sont souvent trop localisés et trop peu volumineux pour déclencher la crue d'un grand cours d'eau, mais ils surchargent localement la capacité d'absorption des sols et des systèmes d'évacuation des eaux urbaines. Le ruissellement qui en résulte peut causer des dégâts par érosion ou par inondation. En Suisse, les réseaux d'égouts sont généralement dimensionnés pour une période de retour de cinq à dix ans ; ce qui arrive dans le cas d'un épisode de pluie moins fréquent n'est pas étudié de façon systématique lors de la planification de l'évacuation des eaux.

Dans le sens du présent rapport, les fortes précipitations s'entendent comme des événements d'une durée de quelques minutes à plusieurs heures ayant une période de retour de plus de cinq à dix ans.

2.3 Exemples d'épisodes de ruissellement

En raison des dégâts causés lors de récentes intempéries, le ruissellement est devenu un sujet de préoccupation pour les autorités comme pour les spécialistes. Ces dégâts n'étaient pas prévisibles sur la base des cartes de dangers existantes, puisque celles-ci fournissent des indications relatives aux cours d'eau mais ne montrent pas le phénomène de ruissellement. Voici trois exemples récents d'épisodes de ruissellement majeurs.

Le 2 mai 2013, le **canton de Schaffhouse** a subi un violent orage lors duquel près de 50 mm de pluie se sont abattus, dont plus de 30 mm en seulement dix minutes (fig. 2). Bien que cet événement ait une périodicité moyenne estimée entre 30 et 50 ans et que des précipitations équivalentes

Fig. 2 : Épisode de ruissellement du 2 mai 2013 au niveau du Service des travaux publics de Schaffhouse



se soient déjà produites par le passé, l'épisode de 2013 a causé des dégâts d'une ampleur exceptionnelle, dont le coût a été d'environ 20 à 25 millions de francs.

L'épisode a touché la moitié du territoire cantonal, à des degrés toutefois très variés. Une analyse complète de l'événement a permis d'établir que près de 90 % des dégâts n'ont pas été causés par des débordements de cours d'eau mais par le ruissellement de l'eau de pluie sur les champs, les prairies et les routes. Le phénomène s'est manifesté tout particulièrement à Stetten : dans cette ville qui n'est pourtant traversée par aucun cours d'eau, un bâtiment sur sept a été endommagé par l'eau. Dans la ville de Schaffhouse également, la plupart des dégâts aux bâtiments ont été causés par le ruissellement. D'après le compte rendu de l'analyse d'événement, les conditions architecturales de nombreuses constructions étaient insuffisantes pour faire face à un épisode de ruissellement : entrées de maison en contrebas, pentes défavorables, système d'évacuation inadapté, ouvertures en sous-sol. De plus, le constat a été formulé que, souvent, la planification et la construction des bâtiments ignoraient le phénomène de ruissellement, le sous-estimaient ou le négligeaient.

À plusieurs reprises par le passé, des épisodes de fortes précipitations ont causé des inondations à **Zofingue**. Le 8 juillet 2017, il est ainsi tombé dans les bassins versants des cours d'eau traversant Zofingue des cumuls de 85 à 90 mm (par bassin) en l'espace de trois heures. La période de retour d'un tel événement est estimée à plus de 300 ans. Cet événement a causé d'intenses ruissellements, en particulier parce que les bouches d'égout étaient obs-

Fig. 3 : Intempéries de 2017 à Zofingue



truées par des grêlons. La surcharge du réseau d'égouts a eu pour effet que des caves ont été inondées via les raccordements souterrains des maisons, une coupure de courant empêchant le fonctionnement des pompes de décharge du collecteur régional principal. Avec un effet légèrement retardé, les cours d'eau locaux ont débordé eux aussi, principalement parce que les déversoirs étaient obstrués par des matériaux charriés. Le cours d'eau principal de Zofingue, la Wigger, n'a pas été concerné par cet épisode de fortes précipitations ; la très faible augmentation de son niveau d'eau n'a occasionné aucune inondation. La plupart des bâtiments endommagés se situent en dehors des zones menacées figurant sur la carte des dangers de crues, autrement dit dans des secteurs de couleur blanche. Le montant total des dégâts a atteint près de 90 millions de francs (fig. 3).

Fin mai 2018, un autre épisode de pluie accompagné de grêle a de nouveau inondé des caves. D'après les enregistrements de la station d'épuration de la région de Zofingue (ERZO), ce second événement a été court et intense, avec une période de retour nettement supérieure à celle du précédent. La ville de Zofingue a identifié tous les biens immobiliers touchés par ces deux épisodes et élaboré un concept de mesures adapté³⁷.

Le 11 juin 2018, **Lausanne** a été le théâtre d'un violent orage au cours duquel 40 mm de pluie se sont abattus en seulement dix minutes, ce qui correspond pour Lausanne à un événement d'une périodicité nettement supérieure à 100 ans. Le réseau d'égouts s'est ainsi retrouvé en surcharge sur une grande partie du territoire de la ville. Des phénomènes de cette ampleur ne s'étaient produits qu'exceptionnellement par le passé. Les anciens

cours d'eau de la ville aujourd'hui convertis en canaux d'évacuation et qui forment l'épine dorsale du réseau d'assainissement municipal n'ont pas atteint leurs limites de capacité ; ce sont les conduites surchargées et les bouches d'égout obstruées par des matériaux charriés qui ont causé un ruissellement en surface, qui a dévalé les pentes de la ville jusqu'aux points les plus bas.

Le montant total des dégâts a atteint près de 30 millions de francs (fig. 4). Sur la base des sinistres déclarés auprès de l'établissement d'assurance des bâtiments, des rapports établis par les services de secours et de la carte de l'aléa ruissellement, Lausanne a identifié depuis les biens de la ville les plus fortement menacés et a étudié diverses mesures d'amélioration. Sa stratégie comprend la création de couloirs de ruissellement dans les rues de la ville, destinés à diriger l'écoulement de surface vers les collecteurs principaux et vers le lac.

2.4 Rôle des assurances face à l'aléa ruissellement

En Suisse, environ deux tiers des bâtiments sont potentiellement concernés par l'aléa ruissellement. Sur la carte des dangers de crues, près de la moitié d'entre eux sont situés dans une zone de couleur blanche, c'est-à-dire dans une zone exempte de danger. En moyenne, les crues provoquent chaque année quelque 270 millions de francs de dégâts. À lui seul, le ruissellement représente près de la moitié des cas de sinistre et plus d'un quart du montant total des dégâts⁵². C'est ce que montre également l'étude

« Fortes précipitations et planification d'engagement du service de protection et de sauvetage de Zurich »¹⁵.

Le système suisse d'assurance est dual : 19 cantons disposent d'un établissement cantonal d'assurance, tandis que les sept autres cantons ont recours à des sociétés d'assurance privées. Le système de protection des assurances est structuré autour de trois activités : l'assurance en tant que telle, la prévention et l'intervention. Considérant la nécessité d'agir, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a lancé en collaboration avec l'Association Suisse d'Assurances (ASA) et l'Association des établissements cantonaux d'assurance (AECA) un projet de partenariat public-privé visant à mettre rapidement à disposition une base de planification de grande qualité sous la forme d'une « carte de l'aléa ruissellement »⁵ (cf. point 3.3.4). Les travaux ont été accompagnés par un groupe composé entre autres de représentants des services cantonaux spécialisés, du secteur des assurances, des associations professionnelles VSA (Association suisse des professionnels de la protection des eaux) et SIA (Société suisse des ingénieurs et des architectes).

2.5 Évolution des fortes précipitations dans le contexte des changements climatiques

Les analyses des valeurs extrêmes¹⁷ de MétéoSuisse fournissent des informations détaillées sur les fortes précipitations dans le contexte climatique actuel. L'influence des changements climatiques sur les précipitations intenses n'est pas encore clairement établie pour tous les types d'événement ni toutes les échelles de temps. Pour les épisodes de longue durée (un jour ou plus) survenant une à trois fois par an, plus de 90 % des séries d'observations couvrant la période de 1901 à 2015 en Suisse mettent en évidence une augmentation de la fréquence (fig. 5, à gauche ; +30 % en moyenne) et de l'intensité (fig. 5, à droite ; +12 % en moyenne). Pour les événements plus rares, il n'existe encore aucune indication suffisamment claire quant à leur évolution. De même, il est impossible de formuler des conclusions fiables quant aux changements affectant les événements de moins d'une journée. S'agissant du phénomène de sécheresse, il existe des données suggérant que la sécheresse estivale s'est intensifiée principalement au cours des dix à vingt dernières années,

Fig. 4 : La Place centrale à Lausanne le 12 juin 2018



notamment en raison de la hausse des températures et d'une plus grande évaporation. Toutefois, les tendances sont souvent non significatives statistiquement⁹.

Les scénarios climatiques pour la Suisse CH2018¹⁶ apportent un éclairage sur l'évolution future des fortes précipitations et de la sécheresse estivale. Malgré quelques grandes incertitudes inhérentes aux modèles, il est possible d'avancer plusieurs affirmations solides : de nombreuses tendances observées aujourd'hui vont continuer de progresser à l'avenir ; l'ampleur des changements attendus dépend significativement de l'intensité des émissions de gaz à effet de serre ; en cas d'augmentation effrénée des émissions mondiales, il faut s'attendre à ce que les plus fortes précipitations hivernales sur une journée soient plus intenses d'environ 10 % d'ici le milieu du siècle et de 20 % d'ici la fin du siècle (fig. 6) ; en été, l'augmentation sera d'environ 10 %. Même les précipitations extrêmes, qui ne surviennent qu'une fois tous les 100 ans environ, se renforceront elles aussi considérablement ; l'augmentation, similaire pour toutes les saisons, sera de 10 à 20 % d'ici le milieu du siècle et de l'ordre de 20 % d'ici la fin du siècle. L'intensification concernera toutes les catégories d'événements, des précipitations d'une heure jusqu'aux précipitations sur plusieurs jours. L'augmentation des dommages potentiels causés par les précipitations extrêmes ne sera pas uniquement due à la quantité de précipitations. La hausse de la limite pluie-neige augmentera la part des précipitations liquides, en particulier en hiver, accélérant ainsi l'écoulement.

Fig. 5 : Évolution de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations sur un jour survenant trois fois par an, de 1901 à 2015

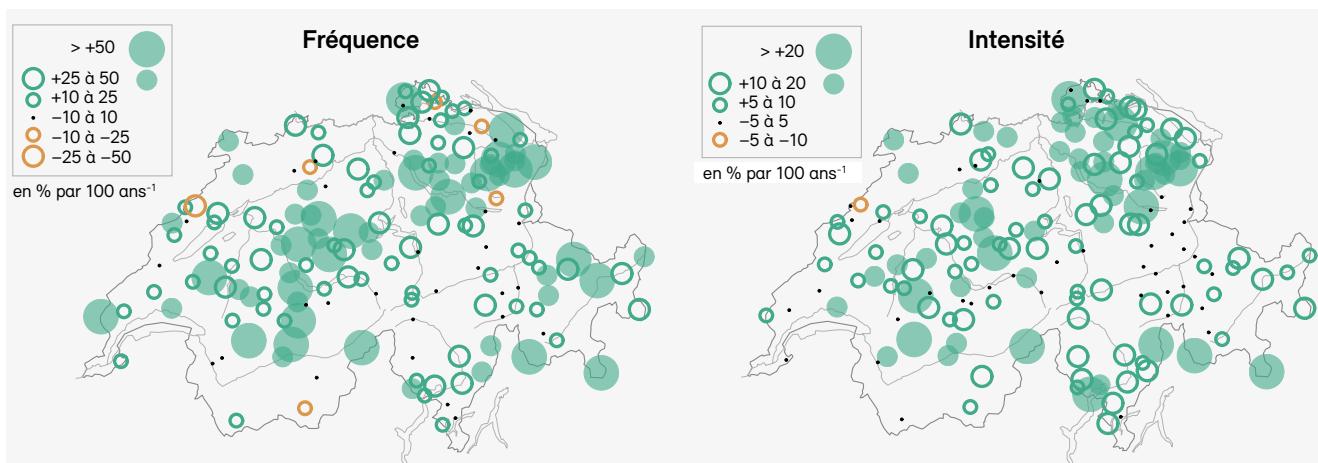
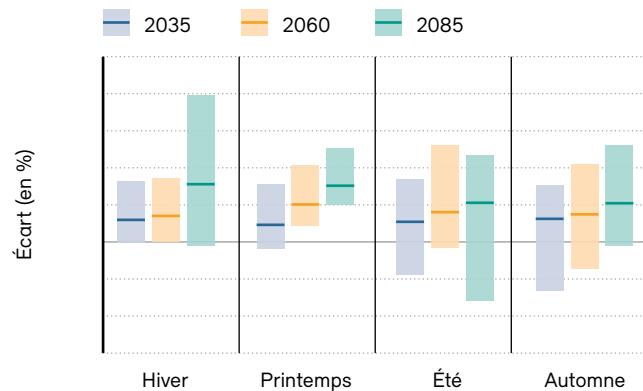


Fig. 6 : Évolution attendue des précipitations maximales sur un jour (%) dans le nord-est de la Suisse en cas d'émissions effrénées de gaz à effet de serre (modèle climatique RCP 8.5) pour trois périodes



L'intensification des fortes précipitations telle qu'elle est décrite concernera également les mois d'été, pour lesquels il faut s'attendre à l'avenir à un net recul des précipitations totales. De manière générale, les précipitations estivales se répartiront sur un plus petit nombre de journées, ce qui signifie que les jours sans pluie seront plus nombreux. Au milieu du siècle, la plus longue période sans précipitations pourrait durer en moyenne une semaine de plus qu'aujourd'hui. Si le changement climatique ne fléchit pas et si les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas freinées, la tendance à la sécheresse s'accentuera encore : vers la fin du siècle, une sécheresse qui survient actuellement une à deux fois tous les dix ans pourrait survenir une année sur deux.

2.6 Importance d'un cycle de l'eau proche de l'état naturel

La gestion naturelle des précipitations faibles à modérées est essentielle à la maîtrise des épisodes de fortes pluies et de sécheresse. La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) vise notamment à assurer le fonctionnement naturel du régime hydrologique. Les composantes du cycle de l'eau sont représentées sur la figure 7, pour une surface perméable (à gauche) et pour une surface imperméabilisée (à droite). Tandis que la question de l'infiltration de l'eau de pluie est traitée dans la LEaux, l'évaporation en tant que composante majeure du cycle naturel de l'eau est à peine prise en considération dans le système suisse d'évacuation des eaux urbaines. L'évaporation et l'infiltration évitent que l'eau précipitée lors de pluies faibles ruisselle à la surface du sol et sollicite les capacités des réseaux d'égouts et des cours d'eau.

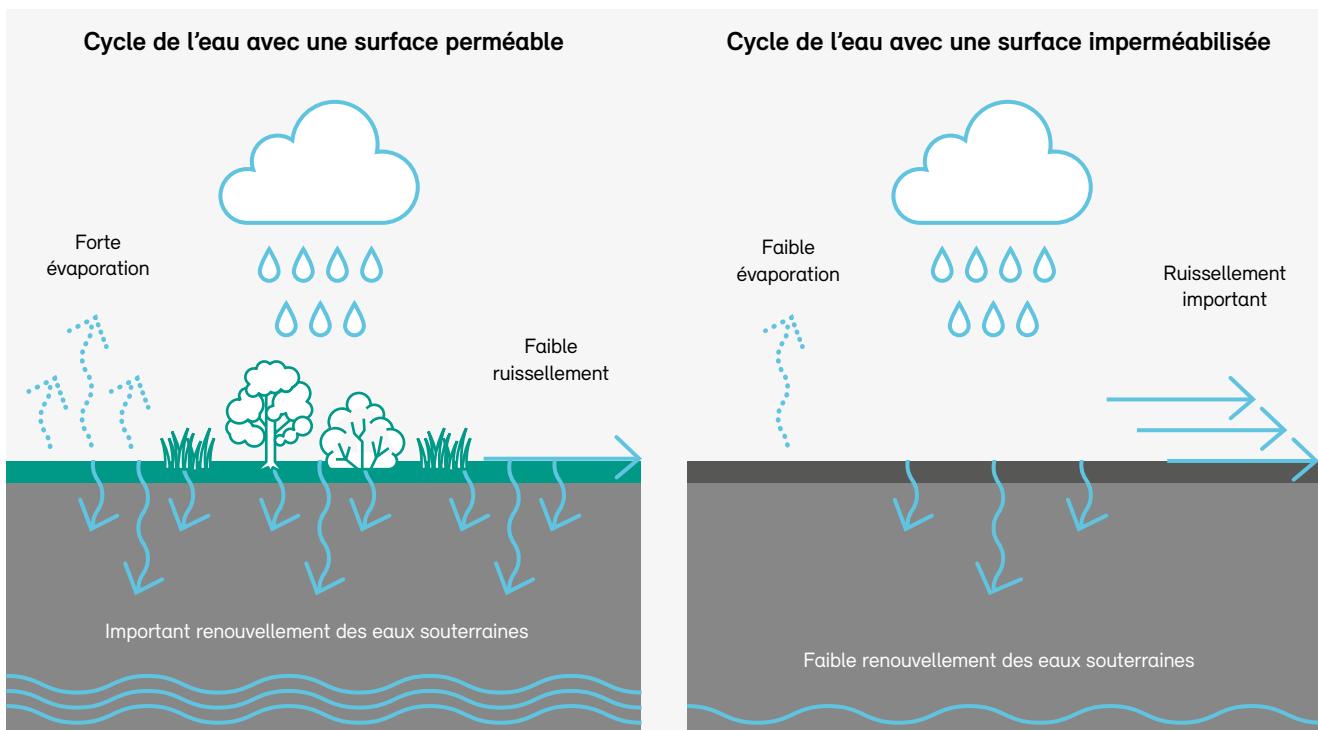
La gestion décentralisée des eaux pluviales est indispensable au phénomène d'évaporation (encore plus qu'au phénomène d'infiltration), car l'évaporation se

produit via des surfaces ouvertes et principalement via la végétation. Les arbres sont particulièrement importants pour le processus d'évaporation et le climat urbain (cf. rapport « Quand la ville surchauffe »⁷). Afin qu'ils puissent remplir leur fonction de régulation du climat, il leur faut une alimentation en eau suffisante, ce qui induit des synergies avec l'infrastructure d'évacuation des eaux urbaines. Comme les phases de sécheresse ne cessent de s'allonger, il est de plus en plus important d'utiliser l'eau de pluie comme une ressource pour alimenter les espaces verts de la ville.

La gestion décentralisée des eaux pluviales peut également réduire le potentiel de danger lors d'une pluie intense en diminuant la quantité d'eau ruisselée et en atténuant les débits de pointe.

La figure 8 illustre la fonction d'une gestion des eaux pluviales dimensionnée pour toutes les intensités de précipitation. En cas de fortes pluies, une mesure particulièrement prometteuse est la possibilité d'inonder de manière contrôlée des surfaces habituellement réservées à un autre usage. Cette mesure permet de créer de façon

Fig. 7 : Cycle de l'eau avec ou sans imperméabilisation du sol



temporaire et flexible, en particulier dans les espaces verts, des volumes de rétention supplémentaires qui contribuent à empêcher les débits de pointe – sans pour autant entrer en concurrence avec les autres utilisations de ces surfaces. Cette alternance temporaire d'utilisations est appelée « multicodage ». Grâce à une bonne mise en œuvre, l'eau de pluie n'est plus perçue par les habitants comme un problème à résoudre mais comme une valeur ajoutée. Ainsi, des mesures de protection d'objets demeurent nécessaires uniquement pour les événements extrêmes et elles ne servent alors qu'à limiter les dégâts.

2.7 Concept de la ville éponge

La ville éponge est un concept d'aménagement qui, dans les espaces urbains de plus en plus densifiés, entend relever les deux grands défis de l'adaptation aux changements climatiques que sont l'intensification des fortes précipitations et l'intensification des périodes de sécheresse et de canicule. L'idée de base est illustrée sur la figure 9. La ville est conçue comme une éponge qui absorbe l'excédent de pluie et le restitue lentement lorsque nécessaire.

Dans une ville éponge végétalisée et peu imperméabilisée, l'eau précipitée en cas de pluie faible est stockée près de la surface du sol, puis s'évapore directement depuis

les surfaces mouillées ou via la transpiration végétale. En cas de pluie modérée, une partie de l'eau précipitée s'infiltra dans les couches inférieures du sol, où elle alimente les eaux souterraines. En cas de pluie forte, un ruissellement se forme en plus à la surface du sol ; même avec un régime hydrologique proche de l'état naturel, comme c'est le cas dans une ville éponge, ce ruissellement doit faire l'objet d'une gestion permettant son déversement dans le réseau d'égouts ou – en cas d'événement extrême – dans des corridors d'écoulement en surface.

Le concept de la ville éponge utilise l'eau de pluie comme une ressource contribuant à un cadre de vie de grande qualité en milieu urbain et constitue la base d'une gestion des eaux pluviales visant à réduire les dégâts autant qu'il est possible.

2.8 La ville éponge a besoin de place, mais la partage volontiers

Afin que l'eau précipitée puisse s'accumuler près de la surface du sol et s'évaporer, l'espace urbain doit lui réservé des surfaces adaptées, parfois appelées « infrastructures vertes et bleues ». Si l'excédent de pluie doit en sus s'infiltrer dans le sol, il faut veiller à ce que le sous-sol soit perméable (p. ex., il ne servirait à rien de prévoir une

Fig. 8 : Mesures phares pour différents événements de pluie

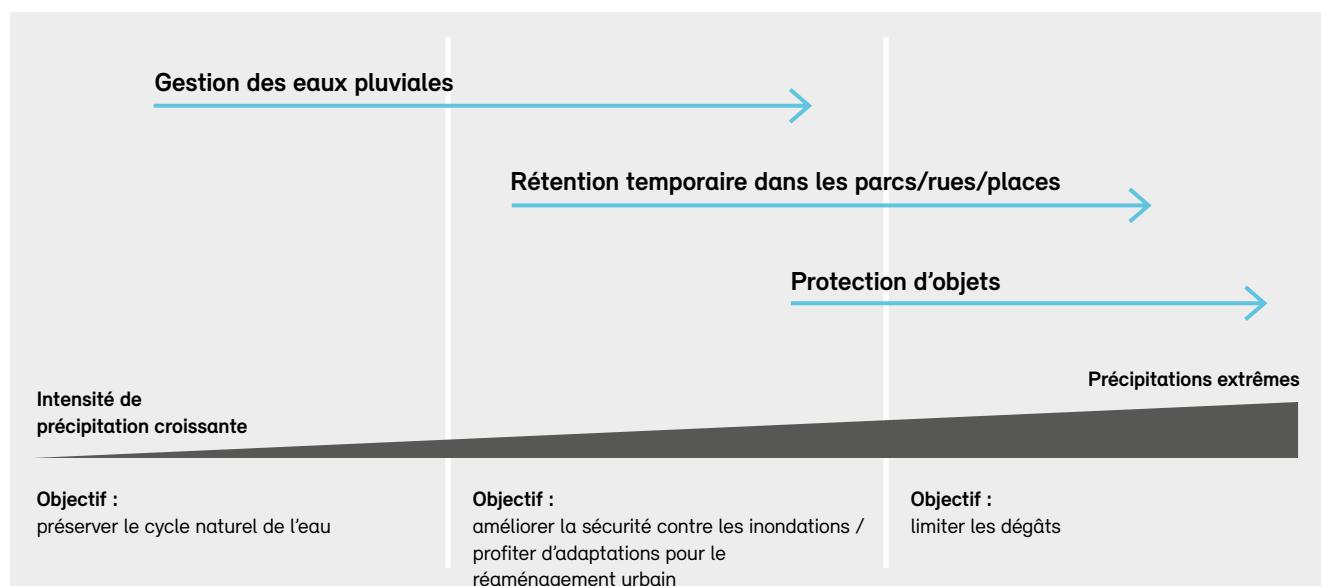
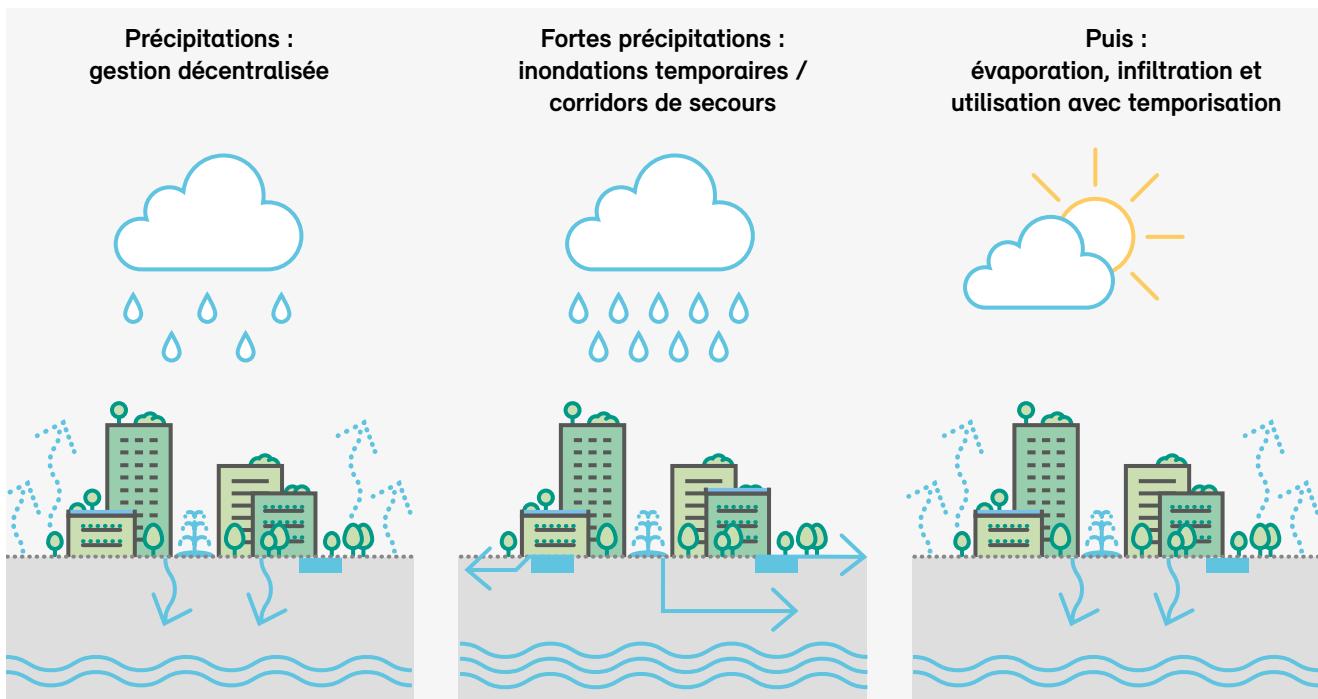


Fig. 9 : Le concept de la ville éponge



dépression de terrain au-dessus d'un parking souterrain). La densification du milieu bâti, souhaitée du point de vue de l'aménagement du territoire, et la multiplication des constructions souterraines compliquent passablement la mise en place d'un régime hydrologique proche de l'état naturel. Sans compter que les espaces ouverts nécessaires à un tel régime sont convoités également pour d'autres utilisations (détente, préservation de la biodiversité, etc.). Il est absolument indispensable que la gestion des eaux pluviales soit intégrée dans le processus de planification le plus tôt possible, afin que l'infrastructure bleue vienne s'ajouter aux deux autres infrastructures, imposées par la construction urbaine et l'aménagement du paysage, l'objectif étant de trouver au plus tôt des solutions convenant à l'ensemble des domaines concernés (fig. 10).

Les objectifs d'une stratégie globale, dans le sens d'une ville éponge, sont multifonctionnels et porteurs de synergies. Ainsi, la protection des eaux créée par exemple des habitats de meilleure qualité et de l'espace pour la biodiversité. La négociation sur le partage et l'utilisation de l'espace disponible doit donc s'inscrire dans une vision d'ensemble et faire l'objet d'une pesée des intérêts. Les objectifs qu'il convient de conjuguer autant que faire se

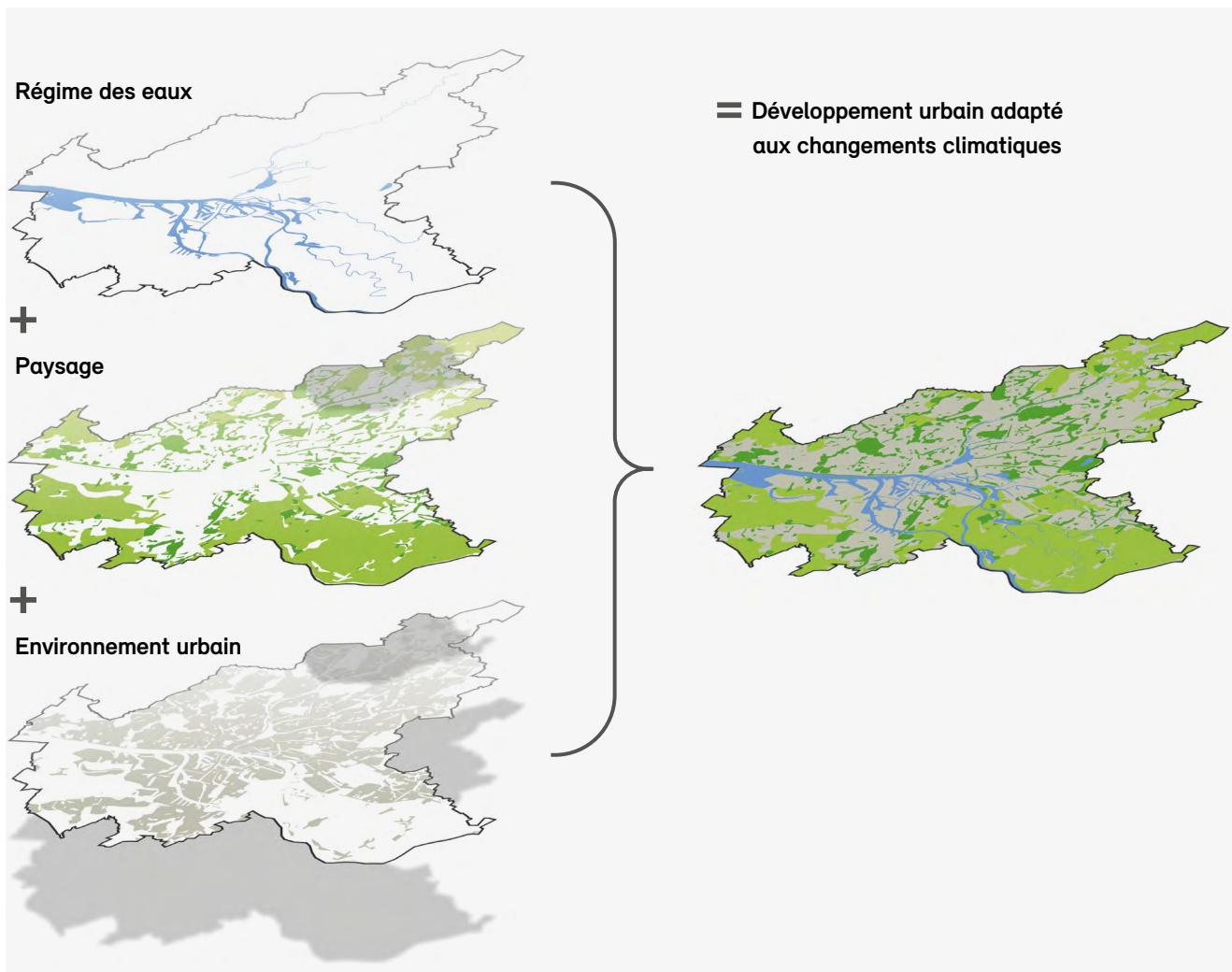
peut lors d'un développement de projet sont illustrés sur la figure 11.

2.9 Rôle de la Confédération

La Confédération oriente la politique climatique de la Suisse par le biais de la loi sur le CO₂. Elle assume par ailleurs un rôle de coordination dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques – domaine dont les objectifs, les défis et les champs d'action ont été définis par le Conseil fédéral dans sa stratégie « Adaptation aux changements climatiques en Suisse »¹, adoptée en 2012. Les mesures visant à mettre en œuvre cette stratégie sont décrites dans un plan d'action² qui prévoit, entre autres, l'élaboration du présent rapport de base et la rédaction d'une fiche d'information sur les changements climatiques venant compléter le Guide de la planification directrice¹² de l'Office fédéral du développement territorial (ARE).

Pour engager la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation aux niveaux local, régional et cantonal, l'OFEV a lancé le programme pilote « Adaptation aux changements climatiques ». Depuis 2018, la seconde phase du programme

Fig. 10 : Consolidation des infrastructures verte, bleue et grise comme fondement d'un développement urbain adapté aux changements climatiques, d'après le projet RISA (RegenInfraStrukturAnpassung, Hambourg)



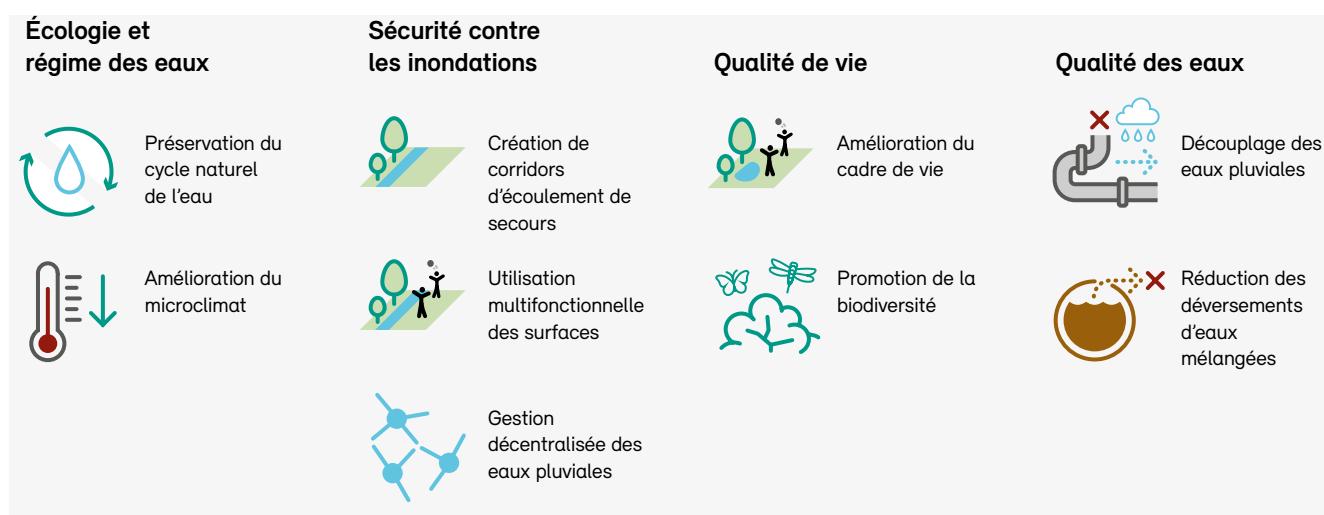
pilote est en cours⁴. Les premiers résultats seront disponibles d'ici la fin 2022.

Dans le domaine des dangers naturels, un changement culturel a amené la Suisse à passer d'une simple défense contre les dangers à une véritable gestion intégrée des risques. Le rapport du Conseil fédéral « Gestion des dangers naturels en Suisse »⁶ de 2016 décrit l'état actuel de la gestion, identifie les actions à mener pour mettre en œuvre la gestion intégrée des risques et définit diverses mesures en vue de pallier les déficiences, compte tenu également des changements climatiques attendus. Ce rapport inclut des mesures de prévention dans les domaines de l'aménagement du territoire fondé sur

les risques, de l'évacuation des eaux urbaines et de la gestion des eaux pluviales. Parmi elles, trois mesures se rapportant à la gestion intégrée des eaux pluviales (GIEP) sont actuellement examinées de manière approfondie avec l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) et étendues aux thèmes de la ville éponge et de l'infrastructure verte et bleue :

- cahier des charges type PGEE (plan général de l'évacuation des eaux) (2021 – 2023) ;
- concept général pour les données de pluie (2019 – 2021) ;
- ruissellement en cas de forte pluie (2020 – 2021).

Fig. 11 : Objectifs possibles dans le cadre d'un développement de projet



La Confédération encourage et soutient par ailleurs l'échange d'expériences et la mise en œuvre de la stratégie, en particulier via la plate-forme nationale « Dangers naturels » PLANAT⁴⁸ et grâce à l'élaboration de bases et d'aides au travail. La carte de l'aléa ruissellement (cf. point 3.3.4) constitue notamment une base importante pour la prévention des dégâts liés aux fortes précipitations.

À travers ses projets-modèles pour un développement durable, la Confédération soutient également une série de projets innovants émanant des communes, des régions, des agglomérations et des cantons¹⁴. Dans le cadre des projets d'agglomération, elle cofinance aussi des infrastructures de transport en phase avec un développement urbain et paysager durable¹¹.

L'OFEV a analysé les impacts de la canicule de l'été 2018 sur l'homme et sur l'environnement⁸. La ville de Bâle, à titre d'exemple, a dû abattre après l'été 2018, ce malgré un système d'irrigation, près de 40 arbres victimes de dégâts liés à la sécheresse et de pertes de branchages. Plusieurs communes, dont Sursee, ont souffert d'une pénurie d'eau et ont dû appeler leur population à économiser cette ressource. En période de canicule et de sécheresse, la disponibilité de l'eau est en effet une problématique centrale.

2.10 Rôle des cantons et des communes

Les cantons et les communes ont pour mission de préciser et de mettre en œuvre les exigences ancrées dans le droit fédéral, ce qui en fait des acteurs essentiels dans ce domaine. La gestion des eaux pluviales est ainsi réglementée par un grand nombre de lois, d'ordonnances et d'instruments de planification aux niveaux cantonal et communal (cf. chap. 3). Les premières adaptations allant dans le sens d'une gestion intégrée des eaux pluviales ont déjà été entreprises dans certains endroits (cf. chap. 7).

Quelques villes et cantons ont par ailleurs développé des stratégies visant à appréhender la thématique dans sa globalité (cf. chap. 4). Cela inclut aussi l'adaptation à la canicule qui, dans plusieurs cantons et communes, est déjà largement prise en considération en matière d'aménagement et, parfois même, inscrite dans les actes normatifs (cf. chap. 7). Par mesure d'anticipation, il serait bon que ces actes intègrent également la problématique des fortes précipitations et la gestion des eaux pluviales.

3 Bases et outils

L'exécution du développement urbain adapté aux changements climatiques repose sur des exigences légales, des instruments de planification, des normes et des directives. Dans ce domaine, la nouvelle carte de l'aléa ruissellement est un outil important qui a déjà fait la preuve de son efficacité. Il s'agit désormais d'harmoniser entre eux les différents instruments de planification et de les orienter vers des objectifs ciblés.

Les principales bases formelles de la gestion des fortes précipitations et des eaux pluviales sont les législations fédérales sur l'aménagement du territoire, sur l'aménagement des cours d'eau et sur la protection des eaux, ainsi que le code civil (CC). Elles servent de fondement aux instruments de planification que les cantons et les communes utilisent en matière d'exécution (cf. point 7.1) : lois sur l'aménagement du territoire et sur les constructions, plans directeurs et plans d'affectation, carte des dangers de crues, plan général de l'évacuation des eaux (PGEE) et règlement des eaux usées. Ces instruments de planification sont complétés par des directives et des normes émises par les associations professionnelles. Des outils tels que la carte de l'aléa ruissellement⁵, le Portail des dangers naturels de la Confédération¹⁹ et diverses autres sources d'informations soutiennent aujourd'hui déjà le traitement interdisciplinaire du phénomène de fortes précipitations ou de la gestion des eaux pluviales.

3.1 Bases légales au niveau fédéral

Le ruissellement en tant que conséquence notable d'une forte pluie est considéré comme un processus de danger à part entière depuis seulement quelques années. De fait, la question le concernant est encore peu abordée dans le droit actuel. À l'inverse, la gestion des eaux pluviales et des processus en résultant – en particulier les crues – bénéficie d'une réglementation complète. Les principales bases légales au niveau fédéral sont les suivantes.

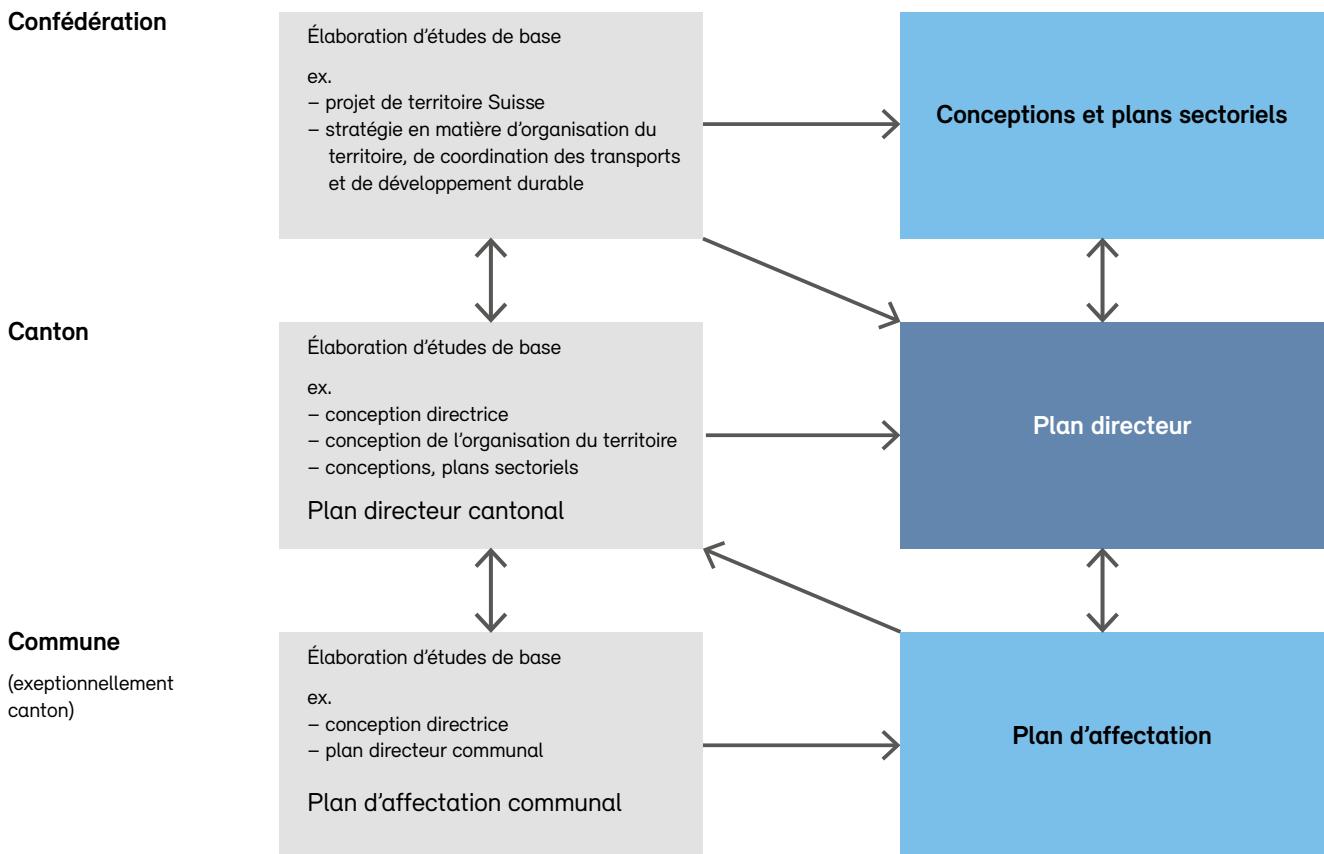
La loi fédérale du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (RS 721.100) et **l'ordonnance du 2 novembre 1994 sur l'aménagement des cours d'eau** (OACE, RS 721.100.1) contraignent les cantons à élaborer des cartes des dangers de crues et à les prendre en compte dans leurs plans directeurs et leurs plans d'affectation ainsi que dans d'autres activités ayant des effets sur l'organisation du territoire. Le phénomène de ruissellement n'y est

pas mentionné explicitement. Dans la pratique actuelle, il est toutefois traité de façon analogue aux autres dangers de crues, et des subventions fédérales peuvent être accordées pour des mesures de protection en ce sens. La loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau est en cours de révision et devrait entrer en vigueur en 2025. Le ruissellement y est considéré au même titre que tous les autres dangers de crues. L'aménagement du territoire fondé sur les risques et l'obligation faite aux cantons d'élaborer des planifications globales doivent également être ancrés dans la nouvelle loi.

La loi du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (LAT, RS 700) garantit une utilisation judicieuse et mesurée du sol et une occupation rationnelle du territoire (fig. 12). En vue d'établir leurs plans directeurs, les cantons doivent élaborer des études de base dans lesquelles ils désignent entre autres les parties du territoire qui sont gravement menacées par des forces naturelles (art. 6, al. 2, let. c, LAT). Dans les plans d'affectation, de nouveaux terrains peuvent être classés en zone à bâtir uniquement s'ils sont propres à la construction (art. 15, al. 4, let. a, LAT), ce qui nécessite de prendre en considération les dangers naturels et les risques qui en découlent – parmi lesquels les processus de crue et de ruissellement. La recommandation « Aménagement du territoire et dangers naturels »¹³ énonce par ailleurs des principes pour les plans directeurs, les plans d'affectation et les permis de construire s'agissant des dangers naturels et de la gestion des risques.

La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) vise à assurer le fonctionnement naturel du régime hydrologique. Elle exige que l'eau de précipitation soit en premier lieu évacuée par infiltration et, en second lieu seulement, déversée dans des eaux superficielles avec autant de temporisation que possible. Ces obligations diminuent jusqu'à un certain point le ruissellement dans l'espace urbain.

Fig. 12 : Les instruments de l'aménagement du territoire d'après la feuille d'information de l'ARE



Conformément à l'ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol, RS 814.12), quiconque exploite un sol doit prendre des mesures en cas d'érosion causée par les eaux de ruissellement concentrées (érosion des thalweg).

La Confédération concrétise les prescriptions légales à travers les ordonnances correspondantes, mais aussi par le biais d'aides à l'exécution, de plans sectoriels, de conceptions, de guides et d'aides au travail (fig. 12).

L'exécution relève principalement de la compétence des cantons et des communes. La Confédération assume un rôle de coordination et approuve les plans directeurs des cantons.

3.2 Instruments d'aménagement du territoire aux niveaux cantonal et communal

Les cantons et les communes sont responsables de la mise en œuvre des prescriptions légales de niveau supérieur. Ils disposent pour cela de plusieurs instruments d'aménagement du territoire, décrits brièvement ci-après.

3.2.1 Lois sur l'aménagement du territoire et sur les constructions

Le droit qui prime pour l'élaboration des plans d'affectation communaux est la législation cantonale exécutant la LAT. Cette législation contient notamment des précisions quant à la façon de gérer les dangers naturels. Certaines législations cantonales révisées, comme celle du canton de Zurich, intègrent désormais des dispositions relatives à l'adaptation aux changements climatiques.

3.2.2 Plans directeurs

Les plans directeurs sont élaborés principalement au niveau cantonal, mais peuvent l'être également au niveau régional ou communal. Un plan directeur est un instrument d'organisation spatiale, de coordination et de prévention. Il s'agit intrinsèquement d'un plan de conception et de coordination, qui se situe donc entre la conception directrice et le plan d'affectation. Le plan directeur est contraignant pour les autorités. Sans aller jusqu'à l'échelle de la parcelle, il détermine l'orientation future de la planification et de la collaboration sur la base d'une pesée complète des intérêts et définit les mesures nécessaires en ce sens. Des planifications cantonales comparables, par exemple des conceptions directrices d'aménagement du territoire, remplissent aussi ces fonctions.

Le Guide de la planification directrice¹² (1996) de l'ARE aborde les thèmes de la protection des eaux souterraines, de la qualité du milieu bâti, des dangers naturels et de l'élimination des eaux usées. Le ruissellement et l'importance majeure de l'eau de précipitation dans l'espace urbain, qui exige de fait une approche globale, ne sont pas explicitement évoqués et sont donc encore largement absents des plans directeurs cantonaux et communaux. Le guide sera désormais complété par une fiche d'information sur le thème du climat.

3.2.3 Plans d'agglomération et plans régionaux

Les plans d'agglomération et les plans régionaux déterminent les stratégies de développement, coordonnent les acteurs impliqués et définissent des mesures concrètes pour la mise en œuvre des stratégies.

De niveau supérieur (communes, régions, cantons), les projets d'agglomération coordonnent efficacement le développement des transports et celui de l'urbanisation. À travers le Programme en faveur du trafic d'agglomération (PTA), la Confédération participe au financement d'infrastructures de transport dans les villes et les agglomérations. Cette participation requiert l'existence d'un projet d'agglomération¹¹. Les projets d'agglomération contiennent des stratégies partielles, coordonnées entre elles, concernant le trafic, l'urbanisation et le paysage et parfois aussi des mesures spécifiques en faveur du paysage.

La collaboration supracommunale ne cesse de gagner en importance. Elle requiert des régions qu'elles coordonnent

leurs plans et leurs intérêts au niveau supracommunal et qu'elles définissent ensemble des conceptions de développement à long terme, par exemple sous la forme de conceptions d'organisation du territoire.

Les plans d'agglomération et les plans régionaux offrent la possibilité de planifier et d'inscrire à un niveau supérieur des mesures de lutte contre le ruissellement et de promotion de la gestion décentralisée des eaux pluviales.

3.2.4 Plans d'affectation communaux

Les plans d'affectation communaux sont contraignants pour les propriétaires fonciers. Ils contiennent des règlements et des plans de zones à l'échelle de la parcelle, que les communes utilisent pour déterminer les affectations autorisées sur leur territoire ainsi que les restrictions et les charges y relatives. Concernant l'eau de précipitation, ils peuvent par exemple fixer des exigences pour la construction des toitures et l'aménagement des abords (végétalisation, désimperméabilisation, etc.) ou lister les preuves à fournir pour attester d'une protection suffisante contre les crues ou le ruissellement.

Le plan d'affectation doit intégrer et concrétiser, avec un caractère contraignant pour les propriétaires, les exigences supérieures, émanant par exemple du plan directeur, et les documents de base disponibles, tels que les cartes de dangers ou la carte de l'aléa ruissellement.

Bon nombre de communes s'emploient actuellement à orienter leur plan d'affectation vers le développement urbain adapté aux changements climatiques et vers la gestion décentralisée des eaux pluviales (cf. point 7.1).

3.2.5 Plans d'affectation spéciaux

Les plans d'affectation spéciaux (plans de quartier, plans d'aménagement, etc.) sont des instruments qui – dans des conditions spéciales (topographie, protection des monuments, équipement, bruit, zones de réaffectation, etc.) et pour des projets de construction spéciaux – permettent de déroger aux exigences du règlement d'affectation. Ils offrent la possibilité d'intégrer dans le processus de planification, à un stade précoce, des principes de gestion des eaux pluviales en adéquation avec la situation locale (cf. point 7.1).

3.3 Instruments d'aménagement des eaux pluviales

Constatant qu'il n'existe pas de terme générique pour désigner les planifications liées au domaine de la gestion des eaux pluviales, le présent rapport utilise le terme « aménagement des eaux pluviales » (par analogie avec « aménagement du territoire ») pour désigner toutes les activités de planification de la protection contre les crues et de l'évacuation des eaux urbaines qui sont nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des eaux pluviales.

3.3.1 Lois cantonales sur les eaux

Les cantons précisent dans leurs propres lois et ordonnances les tâches qui leur sont attribuées par le droit fédéral. Le nombre de lois traitant de la problématique de l'eau peut différer d'un canton à l'autre, tout comme la répartition des compétences pour l'exécution des différentes tâches (p. ex. canton ou commune).

3.3.2 Conceptions et plans sectoriels

Au niveau cantonal également, les conceptions et les plans sectoriels sont des instruments contraignants pour les autorités. Ils servent à planifier et à coordonner les activités ayant une incidence sur le territoire et sur l'environnement. Les plans sectoriels des cantons de Berne et de Soleure constituent à cet égard des exemples intéressants.

3.3.3 Documents de base sur les dangers de crues

L'OACE constraint les cantons à élaborer des cartes des dangers de crues et à les prendre en compte dans leurs plans directeurs et leurs plans d'affectation.

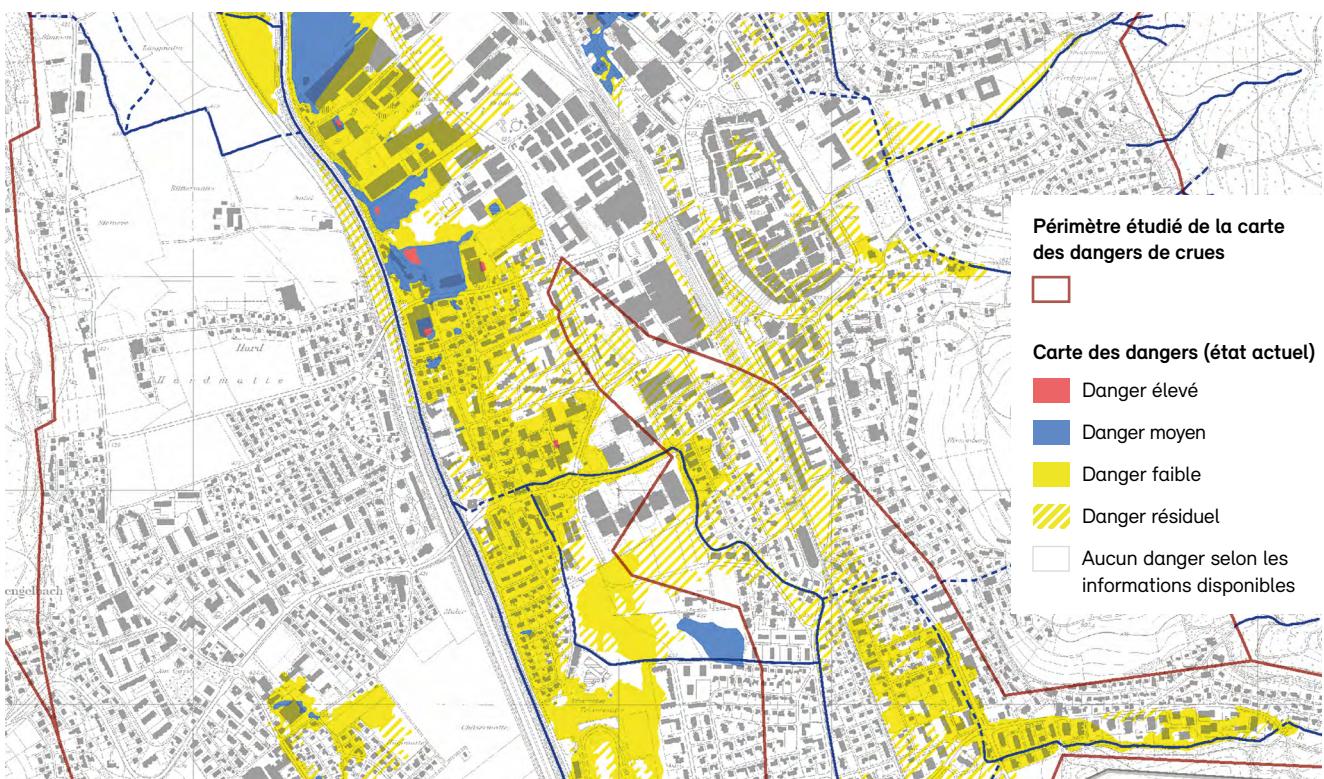
Les **cartes de dangers**, avec les cartes d'intensité correspondantes, donnent un aperçu détaillé de la menace locale en zone urbanisée. Elles fournissent des indications sur la nature des dangers, sur leur distribution spatiale et sur leur degré de menace (niveaux de danger « rouge », « bleu », « jaune », « hachuré jaune et blanc » et « blanc ») (fig. 13). Les cartes d'intensité qui complètent l'élaboration des cartes de dangers indiquent pour différentes périodes de retour (30 ans, 100 ans, 300 ans, événement extrême) les surfaces touchées ainsi que l'intensité des processus de danger à laquelle on peut s'attendre (p. ex. hauteur

d'eau et vitesse d'écoulement en cas d'inondation). Elles constituent une base importante pour le dimensionnement des mesures de protection.

Au moment d'élaborer les plans d'affectation, les cartes de dangers servent à délimiter les zones de danger contraignantes pour les propriétaires fonciers, à planifier et à formuler des exigences de construction favorisant la protection des objets et/ou à garantir des corridors d'écoulement. À l'avenir, la mise en œuvre des cartes de dangers dans l'élaboration des plans d'affectation doit être davantage fondée sur les risques (cf. point 5.2, paragraphe « Aménagement du territoire fondé sur les risques et axé sur leur gestion »).

En complément aux cartes de dangers détaillées, les **cartes indicatives des dangers** représentent les zones de danger potentielles hors agglomération. Ces cartes contiennent des estimations grossières basées sur la modélisation des surfaces maximales touchées en cas d'événements extrêmes ; en règle générale, elles ne fournissent toutefois aucune information quant à l'intensité des processus en jeu. Dans quelques cantons, le ruissellement figure déjà sur les cartes indicatives, mais seulement sur la base d'expériences et de sinistres antérieurs. Les cartes indicatives couvrant l'ensemble du territoire constituent une base importante pour l'octroi des permis de construire hors agglomération. Selon le cas, la situation en matière de danger doit alors faire l'objet d'un examen plus détaillé.

Fig. 13 : Extrait de la carte des dangers de crues de Zofingue et Strengelbach



3.3.4 Carte de l'aléa ruissellement

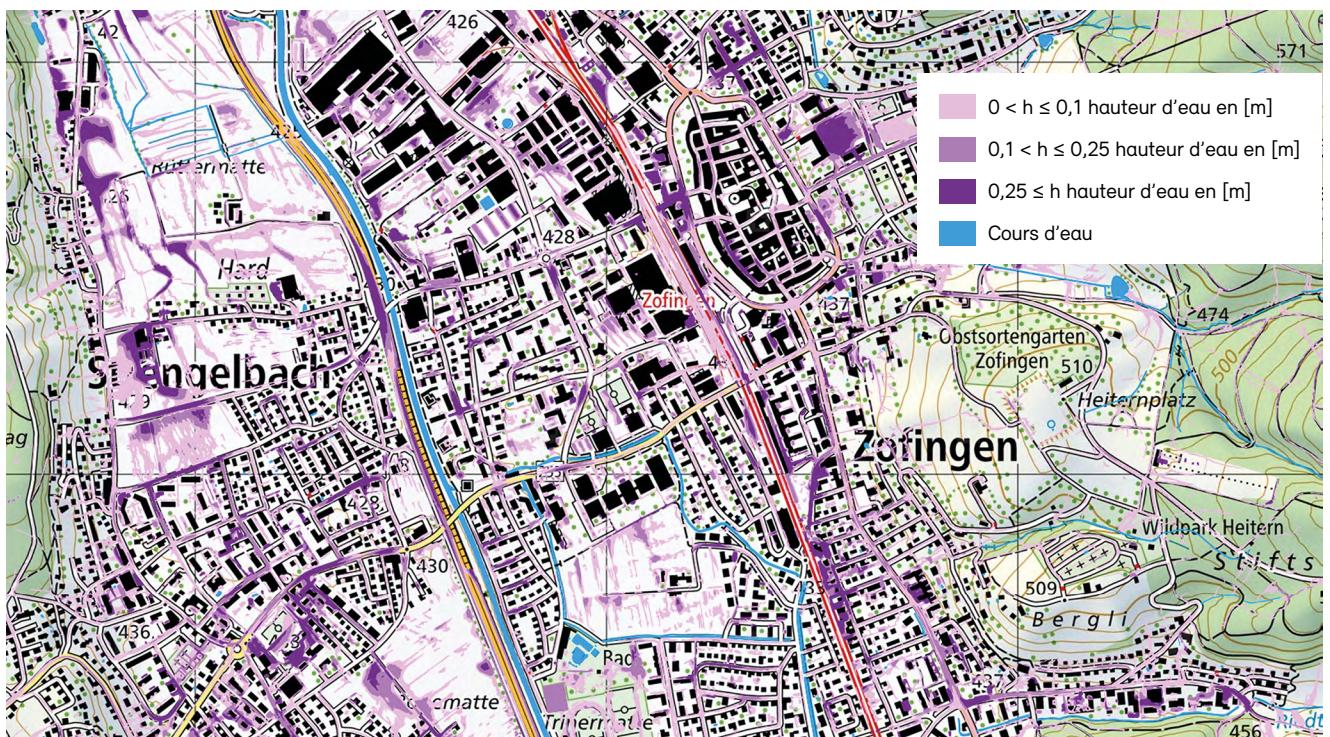
Disponible depuis 2018, la carte numérique de l'aléa ruissellement montre les zones du territoire suisse potentiellement menacées par le ruissellement ainsi que les différentes hauteurs d'eau qui sont à craindre⁵. Malgré son caractère purement informatif, elle est un complément important aux données de base existantes sur les dangers, en particulier aux documents de base sur les dangers de crues (cf. point 3.3.3). La carte permet une évaluation rapide des risques présentés par le ruissellement. Comme la modélisation a la même précision qu'une carte indicative des dangers, les données relatives aux surfaces touchées et aux hauteurs d'eau doivent être vérifiées sur place avant d'être utilisées comme grandeurs de planification et de dimensionnement. Il convient de noter également que la durée, l'intensité et le volume du ruissellement ne sont pas représentés sur la carte et doivent être déterminés au cas par cas. Comme le montrent des comparaisons, le calcul par modélisation coïncide bien avec le tableau des dégâts survenus jusqu'à présent.

La carte représente les surfaces qui sont potentiellement touchées par le ruissellement en cas d'événement pluvieux rare à très rare (période de retour supérieure à 100 ans, événement d'une heure). Elle ne prend pas en compte l'évacuation des eaux urbaines, et les zones concernées par les débordements des cours d'eau ou la montée des eaux souterraines ne sont pas représentées.

D'une part, la carte sert de base aux spécialistes (architectes, maîtres d'ouvrage, urbanistes, autorités, forces d'intervention) qui souhaitent se faire rapidement une idée des dangers possibles et prendre sans délai les mesures de protection qui s'imposent (fig. 14). D'autre part, elle est utile au grand public en ce qu'elle sert à sensibiliser, à évaluer la menace et à planifier des mesures de protection possibles et aide à limiter les dégâts. Comme la carte couvre aussi les secteurs non urbanisés, elle peut être utile à l'agriculture pour prendre des mesures de protection des sols.

La carte de l'aléa ruissellement complète les cartes de dangers existantes. Si quelques communes et cantons en

Fig. 14 : Extrait de la carte de l'aléa ruissellement5 de Zofingue et Strengelbach



tiennent déjà compte dans leurs procédures d'autorisation de construire en tant qu'élément contraignant ou indicatif, d'autres sont encore incertains quant à la façon de l'intégrer. Bien que toutes les questions concernant l'utilisation de la carte de l'aléa ruissellement ne soient pas encore clarifiées, il convient d'en tenir compte dans la planification en tant que document de base.

3.3.5 Plan régional de l'évacuation des eaux (PREE)

Lorsqu'ils doivent harmoniser des mesures de protection des eaux dans une région limitée formant une unité hydrologique, les cantons veillent à établir un plan régional de l'évacuation des eaux (fig. 15) conformément à l'art. 4 de l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201). Ce plan tient compte de toutes les atteintes, conditions spécifiques et utilisations affectant les eaux, afin d'établir l'état de celles-ci. Un PREE est établi uniquement s'il est besoin d'harmoniser entre eux les plans de mesures de différents secteurs (agriculture, protection contre les crues, évacuation des eaux urbaines, etc.). Pour l'heure, l'utilisation de cet instrument par les cantons est encore timide. Mais le risque croissant de ruissellement en cas de forte pluie ainsi que le manque

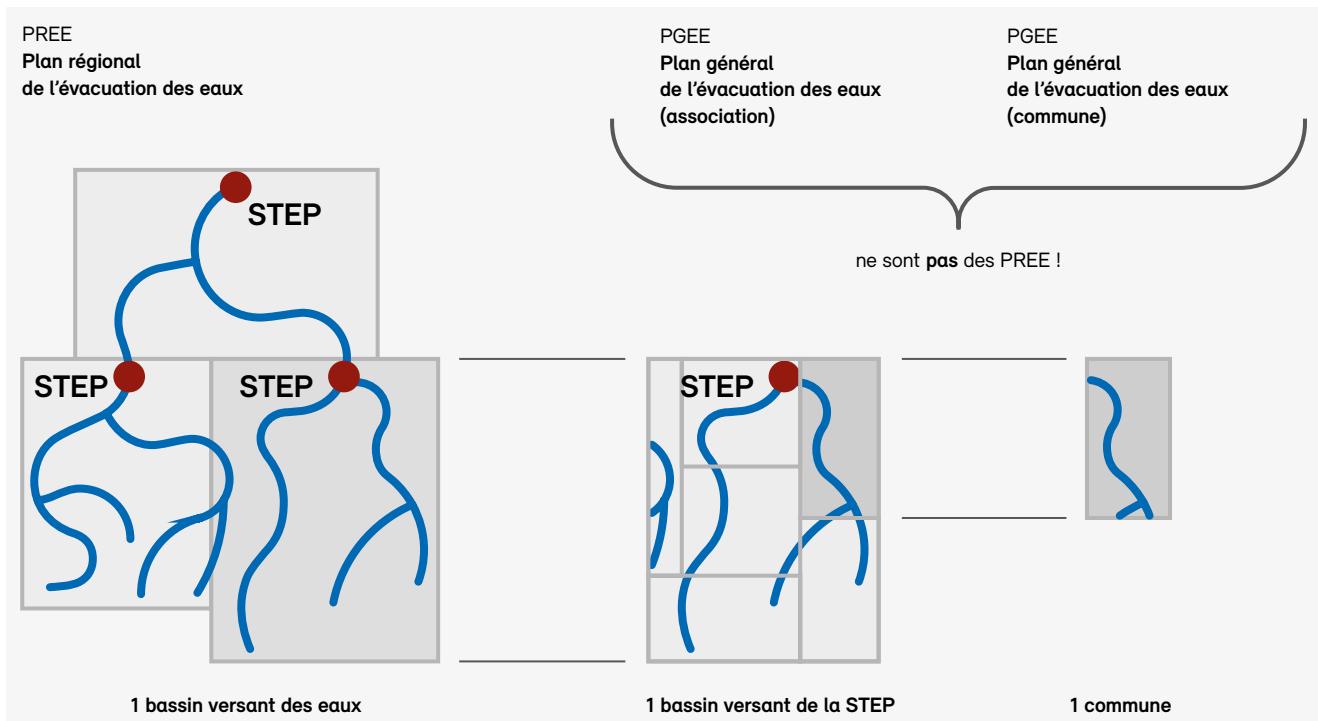
d'eau et l'élévation des températures dans les cours d'eau augmentent aujourd'hui la nécessité de planifier et de coordonner les mesures à un niveau supérieur.

3.3.6 Plan général de l'évacuation des eaux (PGEE)

Conformément à l'art. 5 OEaux, les cantons veillent à l'établissement de plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) qui garantissent dans les communes une protection efficace des eaux et une évacuation adéquate des eaux en provenance des zones habitées. Dans la plupart des cantons, les communes et les associations des eaux usées établissent le PGEE sur la base du « Cahier des charges type PGEE » (2010) du VSA.

Le PGEE comprend entre autres le contrôle probant de la capacité hydraulique du réseau d'égouts, qui doit tenir compte également des afflux d'eau significatifs en provenance du bassin versant naturel. La périodicité (ou période de retour) pour laquelle le réseau est dimensionné n'est pas imposée ; de manière générale, les communes se basent sur une périodicité de cinq à dix ans. L'objectif de protection est normalement le même pour tous les secteurs, indépendamment de l'utilisation. L'examen de

Fig. 15 : Instruments de planification pour la protection des eaux



la surcharge en cas de fortes pluies n'est pas exigé de manière systématique, raison pour laquelle le ruissellement à l'intérieur de l'espace urbain est rarement étudié. Comme la carte des dangers de crues est établie pour des périodicités nettement supérieures, il peut y avoir des divergences avec le PGEE si la part de ruissellement des eaux pluviales à évacuer provenant de l'assainissement urbain est importante pour un cours d'eau donné. Le VSA prévoit de réviser son cahier des charges type d'ici à 2023 afin d'y intégrer ces aspects.

Le PGEE est contraignant pour les autorités (et aussi pour les propriétaires fonciers dans trois cantons) et doit être mis en œuvre dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. Il est généralement actualisé après une révision du plan d'aménagement local, afin de tenir compte de celle-ci. Dans l'autre sens, il est encore fréquent aujourd'hui que les conditions de l'assainissement urbain ne soient pas intégrées de façon systématique dans les révisions de l'aménagement local et dans les zonages.

3.3.7 Règlement des eaux usées

Le règlement des eaux usées (ou règlement d'assainissement, ordonnance sur l'évacuation des eaux usées, etc. selon le canton) précise au besoin les exigences du PGEE et du plan d'affectation relatives à la gestion des eaux pluviales et règle les taxes correspondantes. La façon de concevoir le modèle de taxes sur les eaux usées est l'un des moyens permettant de promouvoir une bonne gestion des eaux pluviales.

3.4 Directives et normes relatives à l'aménagement des eaux pluviales

Les cantons et les communes concrétisent les exigences de la Confédération dans leurs propres législations d'exécution, actes, fiches d'information et guides. Ils se réfèrent pour cela à des normes et des directives émises par les associations professionnelles, par exemple la directive « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » du VSA. Les publications des associations n'ont en soi aucune valeur juridique, mais elles en obtiennent de facto le statut lorsqu'un acte renvoie à l'état de la technique, autre-

ment dit aux normes et aux directives. Les directives sont établies pour un secteur en particulier et ne pèsent donc presque jamais les intérêts des autres secteurs, ce qui peut empêcher de trouver des solutions englobant tous les aspects de la planification.

Plusieurs normes et directives seront prochainement révisées, ce qui offrira à leurs auteurs l'occasion d'y intégrer la problématique des fortes précipitations et de la bonne gestion de l'eau. Les principaux aspects s'y rapportant sont décrits brièvement ci-après.

3.4.1 Directive du VSA « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie »

Cette directive concrétise les exigences de l'OEAux concernant la gestion des eaux pluviales à évacuer. Elle a remplacé en 2019 la directive du VSA « Évacuation des eaux pluviales » et les instructions de l'OFEV « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication ». L'une de ses nouveautés principales est l'obligation d'évaluer dans quelle mesure le ruissellement des eaux pluviales et leur contamination par des substances polluantes peuvent être empêchés ou réduits avant l'entrée en action des modes d'évacuation ancrés dans l'OEAux (infiltration, déversement dans une eau superficielle, déversement dans une canalisation d'eaux mélangées), le but étant de favoriser la rétention et l'évaporation de l'eau de pluie.

La gestion des fortes précipitations n'est pas l'objet de cette directive. Dans ce domaine, le VSA⁴⁶ élabore actuellement une méthodologie (niveau de sécurité visé, données de base pour le dimensionnement) qui viendra s'intégrer dans le cahier des charges type PGEE.

3.4.2 Norme SN 592 000 « Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds » de suissetec/VSA

Cette norme de 2012 sert de base à la planification, à la réalisation et à la réception d'installations pour l'évacuation des eaux des biens-fonds. Elle concrétise les exigences de la directive « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » en ce qui concerne la conception, le dimensionnement et la construction de stations d'épuration dans le domaine des biens-fonds. Elle ne contient pas encore l'obligation de prévenir le ruissellement. Elle contient cependant certaines dispositions qui empêchent

une bonne gestion des eaux pluviales, par exemple l'interdiction de déverser sur le sol d'un terrain public les eaux provenant d'un terrain privé. Par ailleurs, les eaux pluviales de surfaces perméables ne doivent être prises en compte que dans certains cas justifiés, et la question de l'eau s'écoulant sur un terrain depuis l'extérieur n'est pas abordée. Cette norme sera prochainement actualisée.

3.4.3 Normes SIA

Plusieurs normes SIA⁵¹ établissent des bases importantes pour la mise en œuvre de mesures. Elles sont périodiquement révisées afin de s'adapter aux nouvelles circonstances. Aux normes SIA s'ajoutent aussi des normes internationales que la Suisse a intégrées dans son propre cadre normatif. Deux normes SIA concernent plus particulièrement le thème du présent rapport.

La **norme SIA 312 « Végétalisation de toitures »** (2013) se réfère aux connaissances (actuelles à l'époque) relatives à l'étude et à l'exécution des toitures végétalisées. Elle contient également des éléments spécifiques à l'environnement tels que l'effet produit par la rétention des eaux météoriques ou la compensation écologique et elle décrit des substrats et des plantations appropriés. Une actualisation est prévue.

La **norme SIA 261/1 « Actions sur les structures porteuses – Spécifications complémentaires »** porte sur l'intégration des dangers naturels gravitaires dans la conception et le dimensionnement des structures porteuses. S'agissant du danger de crues, elle préconise la prise en compte d'un événement avec une périodicité de 300 ans (y compris son ruissellement) et un surhaussement supplémentaire en fonction de la classe d'ouvrages. À l'aide de figures, de photographies et d'exemples, les **lignes directrices SIA 4002** relatives à la norme SIA 261/1 expliquent comment la norme s'applique au danger de crues. La documentation **SIA D 0260 « Intégration des dangers naturels dans la conception et la planification de bâtiments »** explique la démarche.

3.4.4 Normes VSS

L'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) gère une collection complète de normes relatives à la route et aux transports. Les normes concernant l'évacuation des eaux de chaussée se réfèrent aux

exigences du VSA, mais elles n'intègrent pas encore l'obligation de prévenir le ruissellement telle qu'elle figure dans la directive « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie ». La gestion des eaux pluviales n'est qu'un aspect secondaire du cadre normatif⁵⁰ de l'association VSS, dont le point de vue est fortement sectoriel.

3.5 Bases disponibles en Allemagne

L'aménagement des eaux pluviales, la gestion des dangers naturels et la définition de mesures de mise en œuvre pour les différents acteurs concernés sont des activités ayant pour base des législations, des instruments, des directives et des normes. Une comparaison avec les bases disponibles en Allemagne permet d'apprécier la situation en Suisse.

Conformément au par. 5, al. 1, de la loi fédérale allemande sur l'aménagement des ressources en eau (WHG), il y a lieu d'éviter toutes les mesures ayant des incidences négatives sur les cours d'eau, de maintenir les capacités du régime des eaux et d'empêcher toute augmentation et accélération de l'écoulement des eaux. Les eaux doivent faire l'objet d'une gestion durable dont les objectifs sont notamment de prévenir de possibles conséquences des changements climatiques (par. 6, al. 1, ch. 5, WHG) et de garantir pour les eaux superficielles des conditions d'écoulement aussi naturelles et non dommageables que possible, en évitant en particulier que l'eau retenue sur une surface ait des conséquences défavorables en matière de crue (ch. 6). La gestion des eaux pluviales doit favoriser l'infiltration à travers la couche vivante du sol, sous réserve du niveau de contamination de l'eau de pluie par des substances polluantes (par. 36a de la loi berlinoise sur les eaux, p. ex.). Conformément au par. 57 WHG, le déversement d'eaux usées (eaux pluviales) dans un cours d'eau ne peut être autorisé que si le volume et la nocivité des eaux déversées peuvent être maintenus aussi bas que le permet l'état actuel de la technique.

En plus des aspects classiques de la gestion des eaux pluviales, les changements climatiques et donc aussi les fortes précipitations interviennent de plus en plus dans les procédures de planification et d'autorisation, au point que leur prise en compte est désormais courante. La norme

DIN 1986-100 (2016) exige ainsi que chaque terrain d'une surface supérieure à 800 m² soit en capacité de gérer sans dommage un épisode pluvieux d'une période de retour de 30 ans – un déversement sur les terrains voisins étant interdit.

Fiche de travail DWA-M102 *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer* (pas encore en vigueur)

Cette fiche de travail décrivant les principes de gestion et de traitement des écoulements par temps de pluie se déversant dans les eaux superficielles s'intéresse en priorité à deux biens dignes de protection : la sécurité de l'élimination (évacuer de manière sûre et sans inondation les eaux usées, les eaux mélangées et l'eau de précipitation) et la protection des eaux (empêcher ou réduire dans des limites acceptables les pollutions d'eaux liées aux précipitations).

Le fait de séparer du réseau d'égouts certaines surfaces ayant un impact sur l'écoulement est une solution efficace pour réduire la charge hydraulique du système, pour améliorer la protection contre les inondations et pour réduire la pollution des eaux liée aux écoulements par temps de pluie (DWA 2007). On entend par « débit de crue potentiellement proche de l'état naturel » (HQn) l'écoulement qui se forme dans un secteur non imperméabilisé exempt d'interventions modifiant l'écoulement. La conservation ou la remise en état de la dynamique d'écoulement naturelle doit être attestée.

Notice DWA-M 119 *Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen* (novembre 2016)

Cette notice relative à la prévention communale des inondations (prévention des risques touchant aux systèmes d'évacuation des eaux en cas de fortes précipitations) établit une différence entre la prévention des inondations telle qu'elle est techniquement et économiquement raisonnable et la prévention générale des inondations en tant que tâche communale relevant d'un intérêt commun.

Il est communément admis que pour atteindre l'objectif de « protection raisonnable contre les inondations »,

le seul fait d'augmenter les capacités souterraines de déversement et d'agrandir les installations centrales de rétention n'est pas pertinent pour des raisons techniques et économiques et n'est d'ailleurs aucunement l'intention visée par la norme DIN EN 752. En complément de mesures décentralisées de gestion des eaux pluviales, il est donc de plus en plus judicieux d'utiliser au profit de la protection contre les inondations la configuration des constructions en surface (pour créer des retenues temporaires et évacuer l'eau de pluie sans dommage) ainsi que la protection ciblée de certains objets (mesures de protection touchant à la construction).

Globalement, la législation et les normes DIN (y compris les notices DWA) relatives à la gestion des eaux pluviales et aux fortes précipitations sont bien orientées vers l'adaptation aux changements climatiques. L'accent mis sur une gestion décentralisée, un bilan hydrique potentiellement naturel et des possibilités temporaires de stockage intermédiaire en surface dessinent un cadre clair.

3.6 Outils interactifs en ligne et planification assistée par logiciel

Différents outils émanant des pouvoirs publics ou du secteur privé apportent une aide à la planification dans le domaine de la gestion conceptuelle des eaux et de l'adaptation aux changements climatiques et soutiennent les activités de traitement interdisciplinaire et de lecture transversale. Le fait de savoir à un stade précoce du processus de planification quels sont les leviers de réduction de la chaleur ou de gestion des eaux qu'il faut actionner pour répondre aux exigences spécifiques du site ou du projet modifie sensiblement le processus de planification dans son ensemble. Pour cela, il existe déjà de nombreuses bases de connaissances ainsi que des outils d'analyse propres à un site.

Pour les activités concrètes de planification de projet, il existe une vaste palette de logiciels facilitant la gestion des eaux pluviales, l'étude des inondations, l'élaboration de stratégies pour l'utilisation des eaux pluviales et le cycle de l'eau (utilisation des eaux grises, utilisation des eaux noires, etc.) et l'analyse des microclimats. Ces programmes sont nécessaires pour traduire les grandes

stratégies en plans concrets susceptibles d'être approuvés. Ils s'adressent à des professionnels spécialisés. Des informations plus détaillées sont disponibles auprès des associations professionnelles (p. ex. VSA, DWA, FbR) et auprès des fabricants de ces outils d'aide, dont voici quelques exemples.

- MétéoSuisse publie sur le portail « Analyses des valeurs extrêmes »¹⁷ des cumuls de précipitations pour des durées de pluie de dix minutes à cinq jours et pour des périodes de retour de 2 à 300 ans. À l'aide d'outils interactifs et de cartes, il est possible de contextualiser les événements pluvieux observés ou d'apprécier à des fins de dimensionnement des épisodes de pluie appropriés.
- Le Portail des dangers naturels est le site web de l'administration fédérale fournissant des informations sur les dangers naturels actuels en Suisse.¹⁹
- La plate-forme « Protection contre les dangers naturels »⁴⁷ gérée par les acteurs principaux de la protection des bâtiments en Suisse met à disposition un outil de check-up des dangers naturels et de nombreux liens vers des informations de fond et des services spécialisés. Cette source d'information autorise les demandes par localisation et propose des affichages différents selon que les utilisateurs sont des maîtres d'ouvrage/propriétaires, des architectes/projeteurs spécialisés ou des ingénieurs/spécialistes. L'outil en ligne « Prevent Building » permet d'évaluer financièrement les mesures de protection envisagées pour protéger un bâtiment contre les dangers naturels.⁴⁹
- En 2022, l'OFEV mettra en ligne un outil qui aidera les communes à identifier les risques liés aux changements climatiques et à prendre les mesures d'adaptation qui conviennent.
- Le service allemand de météorologie DWD met à disposition un portail d'information sur l'adaptation aux changements climatiques (INKAS)⁸². Cet outil de conseil basé sur Internet s'adresse aux services de planification des villes et des régions ainsi qu'à tous les citoyens intéressés.
- S'agissant déjà d'un projet concret, l'outil de planification assisté par logiciel « GreenScenario » permet d'évaluer à un stade précoce les performances et les coûts des mesures d'adaptation aux changements climatiques, dans le cadre d'un processus de planification transparent et interdisciplinaire⁸⁷.

- « Greenpass » est un logiciel développé à partir de plusieurs projets de recherche, qui couvre principalement le domaine spécifique du microclimat mais considère également d'autres aspects tels que la réduction de l'écoulement et la séquestration du CO₂⁸⁸.

3.7 Bilan

En Suisse, la gestion des eaux pluviales est déjà largement encadrée au niveau supérieur : la législation fédérale est concrétisée par des directives et des normes émanant d'associations professionnelles, et les cantons et les communes ont développé une pratique de l'exécution qui leur permet de mettre en œuvre les exigences dans le cadre du PGEE, de l'aménagement des cours d'eau et des autorisations de construire. Afin qu'il soit possible de relever les défis de demain, les instruments existants doivent encore être complétés de manière ponctuelle et ils doivent être mieux harmonisés entre eux, aux niveaux tant de leur contenu que du déroulement concret de la planification. La révision de la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau, la rédaction prochaine d'une fiche d'information sur le changement climatique venant compléter le Guide de la planification directrice¹² de l'ARE et la révision du « Cahier des charges type PGEE » du VSA vont déjà dans ce sens.

En principe, les bases légales et les instruments existants permettent déjà d'assurer une bonne gestion des eaux pluviales.

- D'après une expertise réalisée dans le canton de Vaud, il est essentiel pour la gestion du ruissellement que l'aménagement du territoire et la procédure d'autorisation de construire intègrent tous les documents de base sur les dangers et en tiennent dûment compte. Cela vaut également pour la carte de l'aléa ruissellement. Une intégration préalable dans les cartes de dangers n'est pas nécessaire.
- La loi fédérale actuelle sur l'aménagement des cours d'eau permet déjà d'obtenir des subventions fédérales pour des mesures de protection contre le ruissellement, mais ces subventions sont rarement sollicitées. La révision de cette loi va permettre de subventionner également les mesures d'aménagement du territoire qui règlent la gestion des dangers naturels.

- La directive du VSA « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » considère la prévention de l'écoulement comme la « priorité 0 », la plaçant ainsi devant les priorités de l'OEaux que sont l'infiltration et l'évacuation de l'eau de pluie.
- Les règlements de plusieurs villes et communes sur les constructions et sur les eaux usées imposent la réalisation de mesures réduisant l'écoulement (p. ex. toitures végétalisées) et accompagnent parfois ces mesures d'aides financières.
- De manière générale, les efforts actuels basés sur l'OEaux se concentrent davantage sur l'infiltration que sur l'évaporation. Par rapport à l'évacuation, l'infiltration décentralisée contribue déjà à rendre l'eau de pluie disponible pour les végétaux, avec des avantages connexes pour le microclimat, le bilan hydrique, etc.

Au niveau des instruments, l'Allemagne a déjà normalisé deux éléments importants, qui sont encore loin d'être la règle en Suisse.

- La priorité est donnée d'abord à la rétention décentralisée et à l'évaporation de l'eau de pluie, puis à l'infiltration et ensuite à l'évacuation.
- La gestion des fortes précipitations, fondée sur les risques et échelonnée, s'appuie sur la configuration des constructions en surface pour créer des retenues (temporaires) et évacuer l'eau de pluie sans dommage.

Des efforts sont en cours pour introduire les éléments manquants susmentionnés dans les bases légales et les instruments existants (cf. point 5.1).

- Il est prévu d'ancrer le ruissellement et l'aménagement du territoire fondé sur les risques dans la future loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau (révision en cours).
- Conformément au plan d'action « Adaptation aux changements climatiques en Suisse » (mesure PA1-dt1²), le Guide de la planification directrice¹² de l'ARE doit être complété par une fiche d'information sur le thème du climat. Cette fiche est l'occasion d'introduire des principes pour la gestion des eaux pluviales.
- Plusieurs cantons profitent de la révision de leurs modèles d'actes relatifs à l'évacuation des eaux urbaines et aux taxes sur les eaux usées pour y intro-

duire des obligations et des incitations promouvant la gestion décentralisée des eaux pluviales.

- Le VSA⁴⁶ élabore actuellement, avec le soutien de l'OFEV, un « concept général pour les données de pluie » qui contiendra entre autres une méthodologie pour la gestion des fortes pluies et du ruissellement, fondée sur les risques. Cela comblera la lacune conceptuelle qui existe aujourd’hui entre la protection contre les crues et l’évacuation des eaux urbaines. Ces aspects seront également repris dans le Cahier des charges type PGEE, dont une version actualisée doit être publiée en 2023.
- D’autres normes et directives seront prochainement révisées, par exemple la norme SN 592 000 « Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds » de suissetec/VSA et la norme SIA 312 « Végétalisation de toitures ».⁵¹ Les normes de l’association VSS⁵⁰ sont révisées en moyenne tous les cinq ans ; les travaux de révision devraient être l’occasion de considérer également les aspects supraserectoriels de la bonne gestion des eaux pluviales, qui font actuellement défaut.

Faute d’une harmonisation systématique entre l’aménagement du territoire et l’aménagement des eaux pluviales, il n’est pas possible à ce jour d’introduire dans les instruments d’aménagement du territoire les surfaces et les principes de planification nécessaires à une gestion décentralisée des eaux pluviales (cf. point 5).

4 Stratégies de gestion des eaux pluviales et des fortes précipitations

L'adaptation aux changements climatiques dans l'espace urbain nécessite une planification précoce et intégrale. Cette planification doit s'appuyer sur des stratégies consolidées qui permettent d'ancrer des contenus et des méthodes à un échelon supérieur et d'encourager la collaboration entre les instances spécialisées. En Suisse, le domaine de l'aménagement ne dispose pas encore de stratégies standard pour la gestion décentralisée des eaux pluviales (selon le concept de la ville éponge) ni pour la gestion des fortes précipitations. La Suisse a beaucoup à apprendre de certaines villes étrangères fortement touchées par la problématique.

Les incidences des changements climatiques sont aujourd'hui connues, et la nécessité de résoudre les problèmes autrement que par le passé (changement de paradigme) n'est plus à démontrer. Il existe aujourd'hui un nombre suffisant d'approches permettant de trouver des solutions à ces problèmes. Les pratiques actuelles d'aménagement urbain sensible à l'eau offrent un large éventail de mesures éprouvées permettant de gérer l'eau de pluie directement sur place. Le volume d'eau en excédent, non géré, peut être maîtrisé grâce à la création d'une topographie favorisant son évacuation, c'est-à-dire par l'inondation ciblée de surfaces adaptées en cas d'épisode extrême. Un tel système ne peut toutefois fonctionner que s'il est pris en compte suffisamment tôt dans le processus de planification et mis en œuvre dans son intégralité. De nombreuses synergies sont alors possibles dans différents domaines (résilience accrue, meilleure protection de la santé, amélioration de la qualité de vie, mise en réseau écologique, etc.). Les exemples de bonnes pratiques ci-après donnent une vue d'ensemble des idées et des expériences en matière de stratégie de gestion.

Copenhague

La «stratégie de gestion des averses» de la ville de Copenhague est un masterplan contraignant axé sur la réduction des écoulements d'eaux pluviales (30 % d'ici à 2030), dont le but est de créer une topographie continue d'évacuation dans laquelle des parcs et des rues secondaires peuvent être provisoirement inondés. Cette mutation a été engagée sur la base d'un calcul de coûts ayant démontré que les solutions vertes et bleues sont nettement moins coûteuses qu'un dispositif classique d'évacuation par canalisations.

Les catastrophes sont souvent l'occasion de changer les choses, et Copenhague en fait la démonstration. Le 2 juillet 2011, la capitale du Danemark a affronté simultanément un épisode de pluies diluviales et une onde de tempête (élévation du niveau de la mer). De grandes parties du centre-ville, dont la topographie est plate, ont été inondées en un temps extrêmement court. Des rues, des caves, des magasins, des habitations et des infrastructures importantes ont subi des dégâts considérables, la facture totale avoisinant le milliard d'euros. Suite à ce sinistre et dans la crainte de voir les épisodes extrêmes s'intensifier à l'avenir, la ville a dû chercher activement des solutions adaptées à sa situation. Le concept né de cette réflexion repose sur quatre piliers⁶¹ :

1. réduire globalement l'écoulement pluvial (au moins 30 % d'ici 2030) ;
2. garantir le stockage intermédiaire de l'eau de pluie et son transfert vers des rues secondaires, des parcs et des places publiques en cas d'événement extrême ;
3. mettre à profit la transformation urbaine pour améliorer la qualité de vie et la résilience aux changements climatiques ;
4. étendre le réseau des déversoirs souterrains dans le bassin portuaire.

Le masterplan de Copenhague couvre une superficie d'environ 35 km². Il a donné lieu en 2013 à la conception d'une topographie favorisant l'évacuation des eaux pluviales (fig. 16). Des zones de rétention temporaire ont été identifiées, des rues-rivières ont été désignées (fig. 17) et des tunnels de liaison vers la mer ont été conçus pour le pire des scénarios. Au terme d'un vaste processus participatif et malgré les coûts importants qu'il entraîne, ce plan a été

approuvé en 2015 par la population de la ville. Outre le fait que les investissements vont améliorer l'infrastructure d'évacuation, la population a été convaincue également par la perspective d'autres bénéfices collatéraux, notamment une transformation urbaine plus durable et des économies en matière d'assurances contre les inondations. Depuis, ce support de planification est devenu contraint pour tous les nouveaux projets. Plus de 300 projets de toutes tailles doivent désormais être mis en œuvre d'ici à 2030. Les premières réalisations sont déjà visibles.

Facteurs de réussite

- Une grande attention est portée à la problématique par toutes les parties impliquées dans la planification, les investisseurs, l'autorité communale et la population.
- Il existe une exigence politique claire. L'autorité communale a créé un bon cadre légal et l'a rendu obligatoire.
- Le financement est garanti par l'augmentation du prix de l'eau et, en partie également, par une taxe pour le climat.
- D'autres processus de planification sont intégrés à un stade précoce et prennent en considération les thématiques liées à l'eau.
- L'adaptation aux changements climatiques apporte des avantages supplémentaires, concernant par exemple la qualité de vie, la résilience aux changements climatiques, l'éducation à l'environnement et le domaine social.
- La stratégie suscite un degré d'acceptation élevé parmi la population, car elle est définie comme un objectif climatique important (branding de Copenhague).

Fig. 16 : Le plan « à cinq doigts » montre de quelle façon l'eau s'écoule en cas de fortes précipitations

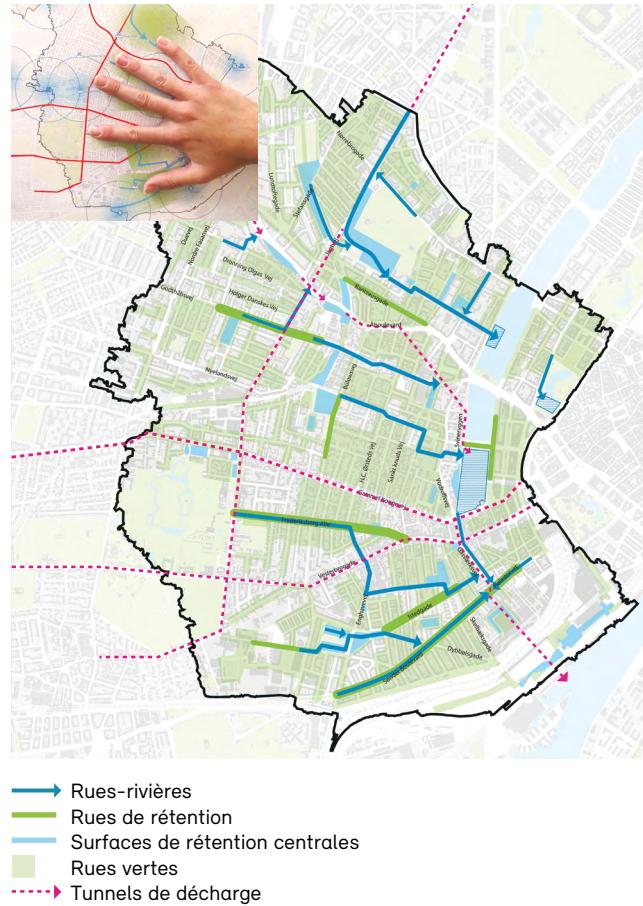


Fig. 17 : Une rue-rivière par temps sec et lors d'une forte pluie



Obstacles

- Le masterplan à l'échelle 1:10 000 n'était pas assez précis ; il a fallu le retravailler sur des zones plus petites.
- L'idée des rues-rivières est très difficile à mettre en œuvre ; la façon de raccorder les différents tronçons n'est pas claire et, souvent, tous les tronçons ne sont pas réalisables.
- Beaucoup de constructions sont souterraines, car plus simples à réaliser et souvent moins chères.
- La souveraineté en matière de planification et le financement font l'objet de discussions incessantes, car de nombreux domaines de compétences différents sont touchés.
- Jusqu'à présent, la formation du personnel dans les administrations et du côté des planificateurs est souvent insuffisante.

Il s'agit globalement d'une stratégie ambitieuse, qui va assurément rendre la ville de Copenhague plus résiliente aux changements climatiques. Elle va par ailleurs modifier peu à peu le visage de la capitale, et ce branding positif va hisser Copenhague au rang des villes pionnières en matière d'adaptation au climat.

Reutlingen

Sur la base d'une évaluation des risques touchant à la gestion des fortes précipitations, et partant du constat que les ouvrages de génie civil et l'élargissement des canalisations n'apportent pas les solutions souhaitées, la ville allemande de Reutlingen a élaboré un guide pour la gestion des eaux pluviales. Conformément à ce guide, chaque mesure de construction doit tenir compte de l'eau de pluie à un stade précoce de son élaboration, et les écoulements en cas de fortes précipitations doivent être empêchés ou maîtrisés.

L'approche adoptée par la ville de Reutlingen est moins globale, mais très efficace et en développement constant. En raison de sa localisation géographique (proximité de versants abrupts et fond de vallée peu étendu), cette ville de 115 000 habitants est fréquemment aux prises avec des épisodes de pluies intenses. À ce titre, elle est l'une des premières communes du Land de Bade-Wurtemberg à s'être investie dans la gestion des fortes précipitations. Dès 2008, des cartes signalant les dangers de

fortes pluies ont été créées pour les secteurs menacés, en complément des cartes classiques des dangers de crues. Leur analyse a permis d'élaborer d'une part des mesures d'urgence – par exemple des systèmes d'alerte précoce (dont une application mobile avertissant la population), des plans d'intervention pour les pompiers et des fiches techniques pour la protection d'objets – et d'autre part des mesures de prévention, par exemple des exigences constructives favorisant la gestion des eaux pluviales à la parcelle, ancrées dans la législation sur l'aménagement du territoire. Au début, ces questions étaient principalement portées par la société d'évacuation des eaux urbaines, qui prenait très au sérieux le danger croissant lié aux fortes pluies. Mais il est vite apparu que la prévention des risques ne pourrait être efficace que si d'autres services l'intégraient également dans leur planification de projets, notamment le service de l'urbanisme et celui des espaces verts.

Comme les bassins de rétention centralisés ou d'autres infrastructures techniques sont chers, statiques et sans effets de synergie réels, il a été décidé en 2019 de viser une approche décentralisée, de sorte que l'eau puisse être gérée directement à l'endroit où elle tombe, c'est-à-dire avant de ruisseler. Et parce que, dans les villes, il devient de plus en plus pressant de mettre à profit des synergies avec d'autres aspects relatifs à la chaleur et au caractère durable de la qualité de vie dans l'espace urbain, Reutlingen a élaboré à partir de 2019 son propre guide pour la gestion des eaux pluviales⁷⁵. Ce guide définit une approche grâce à laquelle la gestion de l'eau et la planification urbaine peuvent être considérées de manière intégrée. Il décrit concrètement des méthodes de planification ainsi que des mesures, délimite la garantie relevant de la législation sur l'aménagement du territoire et initie des projets-exemples servant à éprouver le processus de planification interdisciplinaire et à contrôler les succès de la mise en œuvre. Il en résulte un processus de planification et de mise en œuvre en amélioration continue, basé sur la vision d'une ville sensible à l'eau et résiliente aux changements climatiques.

Facteurs de réussite

- Focalisation importante : jusqu'à trois membres du personnel municipal travaillent au développement continu de la stratégie mise en place.

- Paquet de mesures alliant l'analyse des risques, la prévention, la défense contre les dangers et la planification des interventions.
- Participation à des projets de recherche et des initiatives du Land de Bade-Wurtemberg.
- Après l'analyse des dangers et la défense contre les dangers, l'attention se focalise désormais sur l'élaboration de lignes directrices pour la gestion des eaux (selon le concept de la ville éponge).
- Le plan d'accompagnement relevant de la législation sur l'eau apporte une contribution spécialisée au plan de construction juridiquement contraignant (encore très peu utilisé en Allemagne)

Obstacles

- La collaboration entre les services est compliquée : le service de l'urbanisme et celui des espaces verts continuent de considérer qu'il s'agit là d'une tâche incomptant au service en charge de la gestion des eaux, et non d'une tâche globale.
- Un manque de clarté quant aux compétences et au financement des mesures d'investissement et d'entretien ralentit le processus et sa mise en œuvre.

Hambourg

Le projet RISA (RegenInfraStrukturAnpassung, adaptation des infrastructures aux fortes précipitations) est une stratégie élaborée qui mise sur la décentralisation et l'intégration précoce de la gestion des eaux pluviales, définit des processus de planification clairs et met à disposition de nombreuses connaissances. Il ne lui manque à ce jour qu'une mise en œuvre conséquente.

Un développement urbain important, un réseau d'égouts saturé et le changement climatique obligent la ville de Hambourg à s'intéresser elle aussi à la gestion des eaux pluviales et des pluies extrêmes. En 2009, l'autorité en charge du développement urbain et de l'environnement (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, BSU) s'est associée avec le prestataire de distribution et d'assainissement de l'eau de la ville hanséatique, HAMBURG WAS-SER, pour concevoir le projet RISA⁵⁹. L'objectif était alors de développer des bases pour la mise en œuvre d'une ges-

tion intégrée des eaux pluviales (GIEP) visant à long terme trois grands objectifs opérationnels :

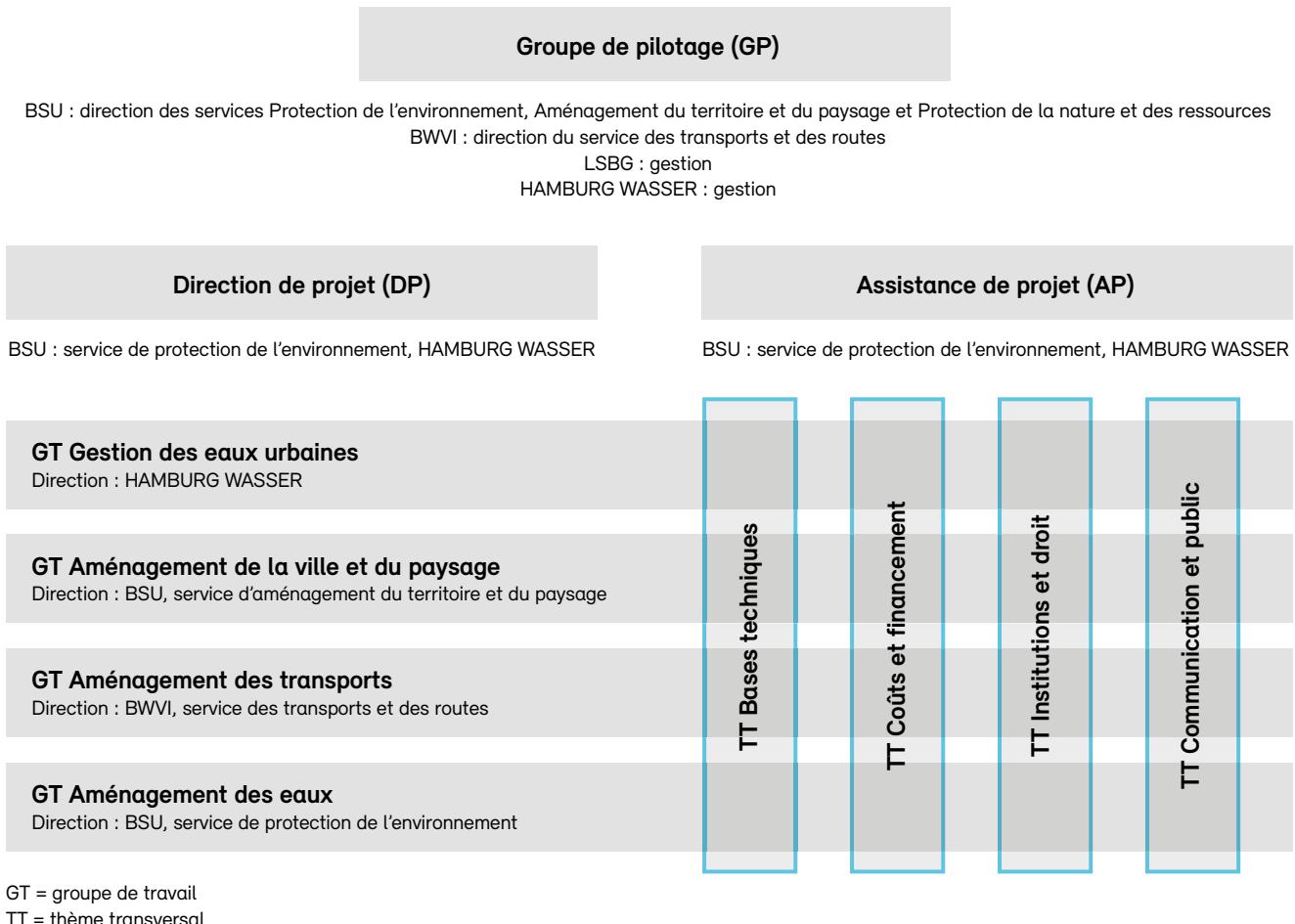
- un régime local des eaux proche de l'état naturel ;
- une protection des eaux plus vaste ;
- une protection appropriée contre les inondations et les crues intérieures.

Grâce à une collaboration transversale, la structure de projet mise en place devait couvrir tous les aspects de la gestion des eaux pluviales – des questions techniques et juridiques jusqu'à la mise en œuvre de projets pilotes, en passant par la planification interdisciplinaire. La structure des parties au projet et de leur organisation est illustrée sur la figure 18.

Jusqu'à l'achèvement du projet en 2015, la thématique complexe de la gestion des eaux pluviales a bénéficié d'éclairages approfondis, et des solutions ont été développées spécifiquement pour la ville d'Hambourg. Des instruments de planification permettant d'instaurer une participation coordonnée et harmonisée et d'intégrer des aspects de la gestion des eaux dans le processus de planification de la ville ont été présentés. Le « plan Eaux », élaboré à l'échelle de la ville tout entière, et le « plan d'accompagnement pour la gestion des eaux », élaboré à l'échelle du plan de construction (juridiquement contraignant), comptent parmi ces instruments. On a également cherché des projets pilotes dans lesquels il était possible de mettre en œuvre des solutions innovantes pour une utilisation en commun dans le domaine de la gestion des eaux. À des fins de mise en œuvre, ces différents résultats ont été intégrés dans le parcours de transformation « Adaptation aux changements climatiques » de l'actuel Plan pour le climat de la ville d'Hambourg. Ce plan a pour but de concrétiser sous la forme d'une action continue les processus initiés dans le cadre du projet RISA. Il s'agit notamment de faire en sorte que l'intégration dans le développement urbain de certaines préoccupations liées à la gestion des eaux soit suffisamment institutionnalisée pour que sa mise en œuvre soit standardisée dans toute la ville.

Après l'achèvement du projet RISA, les anciens membres des groupes de travail et les collaborateurs des bureaux de district ont été questionnés sur les actions à mener pour poursuivre la mise en œuvre des contenus (enquête réalisée en 2016). Il en est ressorti que le plan structurel était encore très peu appliqué dans les districts et dans les services

Fig. 18 : Structure de projet complète de la stratégie RISA



spécialisés, car les personnels manquaient cruellement de connaissances sur la façon dont les contenus pouvaient être transposés dans la pratique des districts, particulièrement en matière d'urbanisme et d'aménagement du paysage. Des documentations essentielles telles que les « Consignes pour un aménagement de l'espace routier sensible à l'eau » publiées par l'autorité en charge de l'économie, des transports et de l'innovation (Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, BWVI) et la brochure sur la « Prévention des inondations et de la chaleur dans les quartiers de la ville d'Hambourg » étaient à peine connues de ces personnels. Il est également apparu que seul un petit nombre de projets pilotes avait été réalisé. Sur la base de ce constat, il a été décidé de mettre l'accent sur la transmission des connaissances, notamment en créant une brochure qui montrerait comment mettre en application différentes mesures recensées dans le catalogue de l'infrastructure verte et bleue.

Facteurs de réussite

- Stratégie interdisciplinaire complète, couvrant différents niveaux de planification.
- Formulation concrète de consignes d'action sur différents thèmes.
- Dialogue régulier avec la population.

Obstacles

- L'accent n'est pas mis sur la mise en œuvre.
- La transmission des connaissances et l'aide proposée sont insuffisantes.
- Il existe un conflit entre le niveau du Land (masterplan RISA) et le niveau du district (mise en œuvre).
- La stratégie se focalise encore trop peu sur les synergies inhérentes à l'adaptation aux changements climatiques dans son ensemble.

Berlin

La limitation des déversements d'eaux pluviales mise en place dans la capitale allemande impose à chaque nouveau projet de construction de prendre en considération la prévention contre les fortes précipitations. Des projets pilotes en nombre, une nouvelle agence de l'eau pluviale et des sinistres coûteux sont autant de facteurs qui accélèrent la mise en œuvre.

Le développement urbain durable et adapté aux changements climatiques est une problématique sur laquelle la ville de Berlin se penche depuis très longtemps. Dans les années 1990 déjà, elle a développé des projets – notamment le projet « Urbane Gewässer » (eaux urbaines) sur la Potsdamer Platz – dont le but est de gérer l'eau de pluie à la parcelle et ainsi d'éviter son écoulement jusqu'à une canalisation mixte en surcharge. Grâce au plan de développement urbain (STEP) décidé par le sénat de Berlin en 2011, l'urbanisme sensible à l'eau et la gestion des fortes précipitations bénéficient désormais d'un ancrage stratégique.⁵⁴ Ce plan et surtout sa version complétée en 2016 (« Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET ») mettent en évidence des synergies avec le développement urbain, la gestion de la chaleur, l'énergie et les circuits d'eau fermés et ils montrent de nombreux projets pouvant servir d'exemple. En 2018, la société de distribution d'eau Berliner Wasserbetriebe (BWB) a créé la « Regenwasseragentur » (agence de l'eau pluviale) qui, en tant qu'institution de coordination, œuvre en faveur d'un développement urbain sensible à l'eau qui touche toute la ville. En 2018 également, une limitation des déversements d'eaux pluviales a été rendue contraignante pour tous les futurs projets de construction : 10 litres par seconde et hectare pour l'évacuation vers un cours d'eau de premier ordre (grands cours d'eau suprarégionaux, qui sont généralement des voies navigables fédérales) ou vers une canalisation, et 2 litres par seconde et hectare pour l'évacuation vers un cours d'eau de second ordre (cours d'eau régionaux). Il incombe au propriétaire foncier de veiller à ce que le volume d'eau de pluie dépassant cette limite soit stocké sur l'emprise du bien-fonds sans causer de dégâts, garantissant ainsi une protection contre les inondations en cas de fortes précipitations. L'eau de pluie ne doit pas être déversée dans l'espace routier ni sur les biens-fonds voisins ou causer des dégâts à des tiers. Pour les biens-fonds de plus de 800 m², il convient de fournir la preuve d'une

protection contre les inondations au sens des réglementations techniques en vigueur (pour un événement avec une période de retour de 30 ans et de 100 ans).

Le sénat de Berlin (gouvernement municipal) a mis sur pied un service chargé de faire avancer la gestion des risques liés aux fortes précipitations, qui est doté de deux effectifs en équivalent plein temps depuis 2020/2021. En outre, un atlas des submersions (basé sur des interventions de pompiers, des avis de dérangement, des données topographiques numériques, etc.) est en cours de préparation, ainsi que des cartes indicatives des risques, basées sur des modèles hydrauliques et tenant compte du réseau d'égouts.

Il est également envisagé d'élaborer des plans de mesures à un stade précoce de la planification, dans le cadre d'une collaboration coordonnant l'urbanisme, la planification des transports, la planification environnementale, les fournisseurs des infrastructures, l'agriculture, la sylviculture, les entreprises artisanales, le public en général, etc., ce afin de négocier des solutions globales et intégrées.

Facteurs de réussite

- La limitation des déversements d'eaux pluviales crée des règles claires et juridiquement contraignantes.
- Le travail de collaboration entre la sphère politique (sénat) et la société de distribution d'eau BWB (instance délivrant les autorisations) aboutit à des procédures et des objectifs clairement définis.
- Le fait que la ville de Berlin se préoccupe de la question depuis déjà longtemps lui permet de disposer d'une grande expérience et de bons projets pilotes et/ou exemplaires.
- Le niveau de qualité de plusieurs projets de recherche pertinents (dont SAMUWA⁸⁴ et KURAS⁸⁵) et des aides à la mise en œuvre (brochures, agence de l'eau pluviale, etc.) est élevé.

Obstacles

- La mise en application depuis le sénat jusqu'aux districts prend beaucoup de temps.
- La limitation imposée est purement quantitative ; elle ne fixe aucune exigence qualitative pour la mise en œuvre des mesures.

Lyon

La ville de Lyon mise sur des spécifications aussi claires que possible et facilement compréhensibles (niveaux de service), sur des dispositifs de subventions et sur une transmission des connaissances accessible à chaque citoyen.

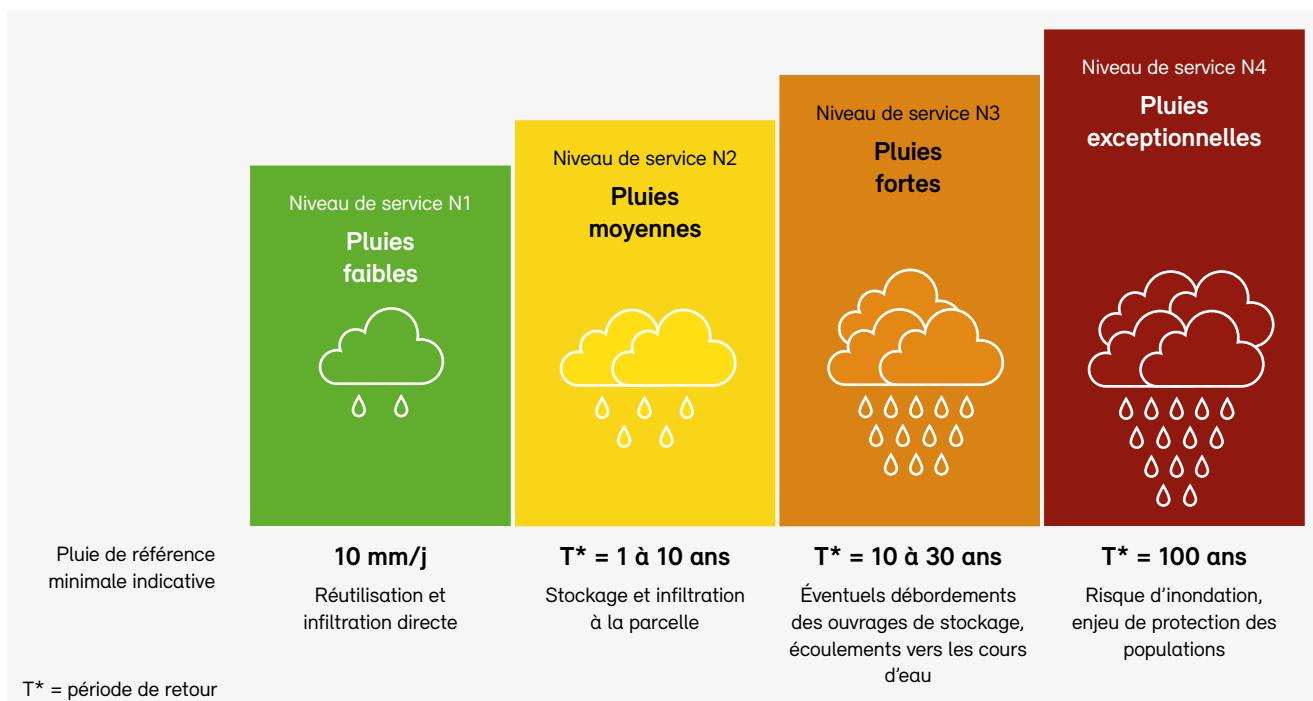
En France, la gestion des eaux pluviales repose sur les prescriptions de la loi sur l'eau. Dans cette loi, les dispositions relatives à la gestion des eaux pluviales sont principalement liées à la protection des ressources en eau et aux espaces terrestres et aquatiques de protection de la nature. Ce qui est intéressant dans le cas de la France, c'est qu'à l'échelon suivant, les administrations régionales (circonscriptions administratives de bassin) ne sont pas délimitées par des frontières politiques mais par des frontières hydrologiques. En région Grand-Est, les principes de la gestion des eaux pluviales et des fortes précipitations sont les suivants⁵³ :

- éviter l'imperméabilisation, le ruissellement et le rejet au réseau d'assainissement ;

- réduire l'impact des pluies plus fortes en stockant, en tamponnant et en maîtrisant le débit de fuite ;
- compenser l'imperméabilisation des surfaces par la désimperméabilisation d'autres parcelles ;
- anticiper l'écoulement des eaux pluviales pour les très fortes pluies, ainsi que les éventuelles contraintes géotechniques ou risques de pollution.

Il est également précisé que la gestion des eaux pluviales doit être intégrée dans le plan d'occupation des sols et que les synergies avec la biodiversité et avec l'adaptation aux changements climatiques doivent être prises en considération. La « Note de doctrine relative à la gestion des eaux pluviales en Région Grand-Est » définit quatre niveaux de service (N1 à N4) assortis d'exigences très concrètes : au niveau N1, une pluie courante (épisode de pluie avec une période de retour d'un an, soit une hauteur de pluie cumulée de 10 mm) doit pouvoir être infiltrée ou réutilisée à la parcelle dans un délai de 24 heures ; au niveau N2, une pluie moyenne (épisode de pluie avec une période de retour jusqu'à dix ans) doit pouvoir être entièrement gérée à la parcelle ; pour le niveau N3, il faut apporter la preuve qu'une pluie forte ne peut causer aucun dégât aux bâtiments ou aux infrastructures ; pour le niveau N4, qui correspond à

Fig. 19 : La gestion des eaux pluviales de la ville de Lyon se réfère à des niveaux de service



une pluie avec une période de retour centennale, des rues et d'autres surfaces peuvent être inondées (fig. 19).

La ville de Lyon s'emploie à encourager la réalisation de projets grâce à la transmission de nombreuses connaissances et à un soutien financier. Elle propose par ailleurs un outil d'information et de conseil disponible en ligne, qui calcule également le volume de pluie pour la parcelle désignée et formule des propositions de gestion.⁶⁸

Facteurs de réussite

- Des directives claires et des exigences compréhensibles, concrétisées par des niveaux de service.
- Grande focalisation sur les épisodes de pluies faibles (qui représentent souvent 80 % du volume de pluie annuel).
- La protection contre les inondations doit être démontrée.

Obstacles

- Les autorités et les planificateurs spécialisés manquent souvent de formation et d'un savoir spécifique.
- Les investisseurs exercent une forte pression afin que les principes soient mis en œuvre dans l'espace public plutôt que sur les parcelles privées.

Rennes

La ville de Rennes développe actuellement une topographie favorisant l'évacuation des eaux pluviales. Dans le quartier de la Courrouze, elle met à profit les espaces naturels (p. ex. des zones humides) et les vestiges industriels de manière à ce que les eaux pluviales puissent être gérées entièrement à l'intérieur du quartier et qu'un volume de rétention suffisant soit disponible en cas de fortes précipitations. Ce projet favorise en même temps une grande diversité biologique.

La Courrouze⁷⁴ est une ancienne friche industrielle à la périphérie de la capitale bretonne. Couvrant une superficie d'environ 115 ha, le quartier comptera à terme quelque 10 000 habitants. Le projet porté par Rennes Métropole a été lancé en 2003 dans le cadre d'un concours international et il est aujourd'hui réalisé pour moitié. Son achèvement est prévu en 2028.

Conformément à la loi française sur l'eau, la part de l'écoulement de surface dans le cas d'une nouvelle construction ne doit pas augmenter par rapport à l'état antérieur. S'agissant de la Courrouze, cela signifie qu'il a fallu limiter l'écoulement à 3 litres par seconde et hectare pour un épisode de pluie d'une période de retour de dix ans, le dimensionnement ayant même été effectué sur la base d'une périodicité de vingt ans. Le parcours des eaux pluviales est l'un des éléments centraux du projet de développement. La nécessité de limiter et de temporiser l'écoulement dès le départ a été l'occasion de conserver le caractère unique du paysage au moyen d'un système d'espaces verts, ce malgré un changement d'affectation. L'idée étant de faire vivre l'eau, il reste à trouver des solutions durables, simples, faciles d'entretien et peu coûteuses autorisant les utilisations les plus variées. De manière générale, les grandes surfaces de prairie et les cuvettes sont tout indiquées pour ce projet, car elles peuvent être inondées temporairement.

Le projet poursuit actuellement trois stratégies.

1. Toute l'eau de précipitation est gérée dans l'espace public. Cela entraîne moins de coûts pour les propriétaires fonciers, qui n'ont pas à déployer une infrastructure idoine.
2. Les surfaces imperméabilisées sont réduites au minimum, au profit des espaces verts et des revêtements semi-perméables.
3. L'eau chemine autant que possible en surface, via un réseau de fossés et de dépressions de terrain interconnectés. Cette solution se substitue en sus à l'irrigation artificielle des espaces verts. En cas de surcharge, les rues servent de corridors d'écoulement de secours, de sorte que les parcelles privées sont protégées contre les inondations dans le cas d'un événement de pluie avec une période de retour jusqu'à 100 ans.

Grâce à ces mesures, Rennes Métropole est également en mesure de satisfaire aux exigences de prévention contre les fortes précipitations auxquelles elle est soumise en tant qu'organisme responsable, à savoir : empêcher ou atténuer les débits de pointe, protéger le réseau d'égouts contre les surcharges et les biens-fonds contre les dégâts dus aux inondations. Ces mesures agissent par ailleurs contre la formation d'îlots de chaleur. Dans le projet de la Courrouze également, les changements climatiques donnent à ces objectifs un caractère d'urgence supplémentaire.

Les stratégies poursuivies ne considèrent pas l'eau de pluie comme un problème à résoudre mais comme un outil permettant de structurer un paysage urbain diversifié. Elles donnent naissance à des zones de végétation qui diffèrent selon le degré d'humidité et l'intensité souhaitée en matière d'entretien, qui se fondent les unes dans les autres et qui évoluent avec le temps.

Facteurs de réussite

- La limitation des déversements d'eaux pluviales crée des règles claires.
- L'exigence de l'organisme public quant à un développement urbain durable a conduit à l'élaboration d'une stratégie supérieure de gestion des eaux pluviales couvrant l'ensemble de l'aire de développement.
- Depuis 2018, les intercommunalités telles que Rennes Métropole sont compétentes dans le domaine des eaux et de la protection contre les crues. Cela permet d'appréhender de façon intégrale cette tâche antérieurement répartie entre plusieurs autorités.
- À partir d'une friche industrielle partiellement reconquise par la nature, il a été possible de développer un quartier tout entier en tenant compte de ses caractéristiques naturelles et de son histoire.
- Les installations dédiées à la gestion des eaux pluviales se trouvent principalement dans l'espace public (peu coûteux pour les maîtres d'ouvrage privés).

Obstacles

- Habituellement, la rétention et l'infiltration se produisent sur les terrains privés, si bien que les coûts de construction et d'entretien des installations sont supportés par les investisseurs. À la Courrouze, les installations se trouvent dans l'espace public. Seule l'autorité publique est donc compétente, ce qui devra être évité lors d'un prochain projet. Il n'existe pas de stratégie de coûts établie à long terme.

Canton de Genève

Dans le canton de Genève, le mandat pilote « Eau en ville » met la gestion de l'eau au centre du développement urbain. Des projets de construction cantonaux montrent la voie mais peinent à convaincre les maîtres d'ouvrage privés.

Le plan climat 2018-2022 du canton de Genève exige l'élaboration d'un concept d'intégration de l'eau dans la ville. Le secteur pilote du mandat est l'ancien quartier industriel Grosselin (commune de Carouge)²⁸. Ce quartier est au centre du projet de développement territorial PAV (Praille Acacias Vernets), dont les 230 hectares s'étendent sur les territoires des villes de Genève, Carouge et Lancy²². Le quartier Grosselin sera utilisé à terme comme une zone d'habitation (3700 logements) et une zone mixte. Son développement intervient dans le cadre d'une démarche participative à laquelle tous les groupes d'intérêts sont amenés à prendre part. Un permis de construire a déjà été accordé pour un premier projet.

« Eau en ville » veut mettre l'eau au cœur du quartier Grosselin, en ce qu'elle constitue un élément capable non seulement de contrer les conséquences négatives des changements climatiques, mais aussi de remplir de nombreuses fonctions au profit de la population et de l'écosystème. Au niveau du plan de quartier, il a été défini un paquet de mesures possibles allant dans le sens du concept de la ville éponge et de la prévention contre les fortes précipitations (fig. 20).

Le canton a également publié un guide à l'attention des communes genevoises, afin de les aider à intégrer la protection du climat et l'adaptation aux changements climatiques dans leurs activités ayant un impact sur l'organisation du territoire²⁰. Pour les communes en tant qu'instances de planification, ce guide identifie le plan directeur communal, le plan de quartier et la demande de permis de construire comme des leviers importants. La commune peut en effet exercer une influence directe partout où elle est elle-même maître d'ouvrage. Des fiches thématiques (évacuation des eaux urbaines, gestion des eaux pluviales, arborisation, gestion des îlots de chaleur) fournissent des instructions concrètes pour des actions à mener dans les différents domaines concernés.

Facteurs de réussite

- Approche intégrale et suprasectorielle.
- Développement de la stratégie sous la forme concrète d'un quartier pilote.
- En raison de ses particularités administratives et territoriales, le canton de Genève assume traditionnellement des tâches pour lesquelles – dans d'autres cantons –

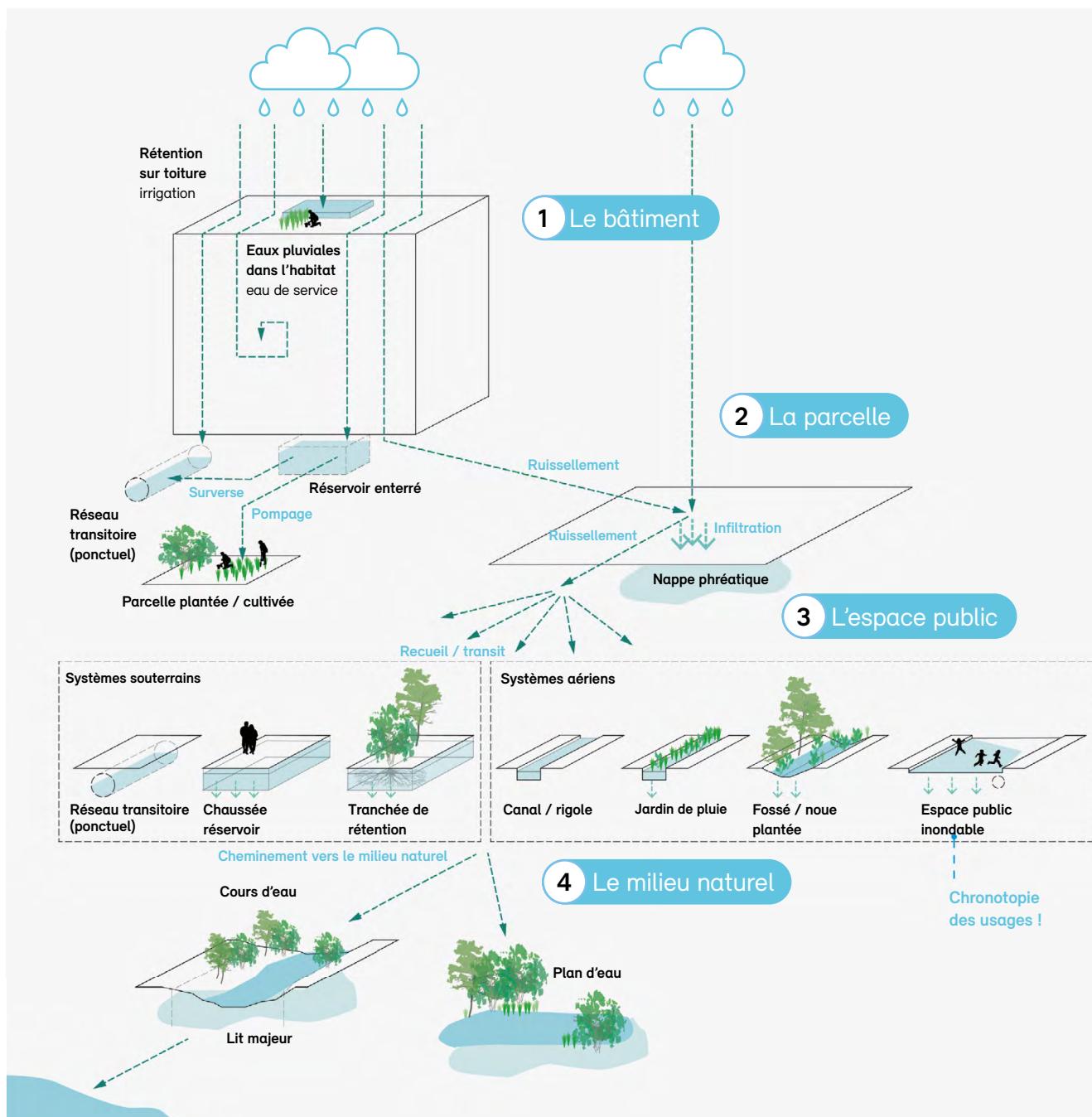
les communes sont compétentes. Cela facilite l'harmonisation au niveau supracommunal telle qu'elle est indispensable dans les agglomérations.

- Le projet fait prendre conscience à tous les acteurs qu'une adaptation aux changements climatiques est nécessaire, en particulier dans le domaine de la gestion des eaux pluviales.

Obstacles

- Démarche exigeante et fastidieuse qui doit être coordonnée avec les communes et les groupes d'intérêts privés.
- Les acteurs (ingénieurs, architectes, responsables techniques du canton et des communes) doivent se former afin de modifier leurs pratiques en matière de gestion des eaux pluviales et de protection contre les crues.

Fig. 20 : Mise en réseau des cheminements de l'eau, d'après la stratégie « Eau en ville » du canton de Genève



- La gestion décentralisée des eaux pluviales et l'arborisation entraînent des coûts supplémentaires, en particulier pour le déplacement de conduites.

Berne

Le masterplan pour le développement du secteur Viererfeld/Mittelfeld prévoit entre autres de collecter et d'utiliser l'eau de pluie au lieu de l'évacuer, dans le sens d'une adaptation aux changements climatiques. En cas de fortes précipitations, les ruelles et les rues servent de corridors d'écoulement de secours.

Le Viererfeld et le secteur voisin du Mittelfeld sont des sites actuellement utilisés à des fins agricoles, qui ne sont pas bâties, mais sont très bien équipés. Il est prévu d'y construire un nouveau quartier vivant et polyvalent, pouvant accueillir près de 3000 habitants.

Ce masterplan²⁶ accorde une grande importance aux différentes dimensions du développement durable, à commencer par un climat urbain sain et un régime des eaux proche de l'état naturel (fig. 21). Dans le périmètre du projet,

l'infiltration de l'eau de pluie est pour ainsi dire impossible compte tenu des propriétés du sol, et les capacités de déversement sont limitées. Parallèlement, l'intensification des périodes de chaleur et de sécheresse parle en faveur d'une solution visant à retenir et à stocker l'intégralité de l'eau précipitée. Des dépressions ainsi que des cuvettes et des surfaces de rétention doivent donc collecter l'eau de pluie et la laisser s'évaporer. L'eau tombant sur les toitures des petites constructions doit être collectée puis évacuée vers des citernes réparties de manière décentralisée, conjointement avec l'excédent d'eau provenant des puits et des installations de rétention. Ces citernes servent ensuite à irriguer les jardins de ville et les arbres et, en période de forte chaleur, à humidifier les surfaces. L'eau tombant sur les toitures des autres bâtiments doit être retenue le temps de son évaporation ou être utilisée pour l'irrigation des façades végétalisées.

Dans le parc, le modelage ciblé du terrain (p. ex. dans le secteur des haies) doit guider le ruissellement et éventuellement le temporiser. En cas de pluies intenses, les rues résidentielles, la rue principale et la Mittelfeldstrasse servent de corridors d'écoulement de secours.

Fig. 21 : Gestion des eaux pluviales d'après le masterplan



Facteurs de réussite

- Planification globale et précoce d'une grande zone de constructions nouvelles.
- Hautes exigences de la ville de Berne en matière de développement durable.

Obstacles

- On est encore loin d'une mise en œuvre par les propriétaires fonciers privés.

Ostermundigen

Maintenir l'eau de pluie sur les terrains au lieu de l'évacuer et d'étendre le réseau de canalisations, telle est la stratégie d'incitations financières pratiquée avec succès par la commune d'Ostermundigen depuis 2006.

Ostermundigen, commune de l'agglomération bernoise, a constaté lors de l'élaboration du PGEE de 2001 que son réseau de canalisations, dont la croissance est partiellement organique, présentait plusieurs goulets d'étranglement.³³ Au lieu d'étendre davantage le réseau, la commune a commencé à promouvoir l'infiltration de l'eau de pluie directement sur les biens-fonds. Depuis 2006, l'obligation d'infiltration est ainsi ancrée de manière explicite dans le règlement des eaux usées. Quiconque ne déverse pas d'eaux pluviales dans le réseau ne paie ni la taxe unique de raccordement ni la taxe annuelle de traitement des eaux pluviales. Si la nature du sous-sol rend impossible l'infiltration de l'eau de pluie, cela doit être attesté par un essai d'infiltration. En fonction de la charge locale du tronçon de canalisation, le débit de pointe doit alors être réduit par l'intermédiaire d'une installation de rétention. Cet effort est récompensé par une réduction de 50 % sur le tarif par mètre carré de surface drainée. Cette stratégie a pour effet qu'aujourd'hui les nouvelles constructions évacuent seulement une part infime de leurs eaux pluviales.

Pour atteindre un résultat notable, il a fallu inciter également les propriétaires de bâtiments existants à délester le réseau. Pour cela, la commune a misé sur le principe d'opportunité : chaque opération d'assainissement sur des canalisations publiques a été l'occasion de vérifier également l'état des conduites de raccordement privées et, si nécessaire, d'obliger les propriétaires privés à les remettre

en état. La commune a alors conseillé aux propriétaires de vérifier s'il leur était possible de construire un système d'infiltration et, ainsi, d'économiser les coûts d'assainissement des conduites de raccordement. Elle leur a également présenté l'intérêt écologique d'une telle mesure, un argument qui a convaincu de nombreux propriétaires.

Avec la révision du règlement des eaux usées en 2018, Ostermundigen a franchi une étape supplémentaire : dans le cas des bâtiments existants, la taxe de raccordement est remboursée au tarif actuel pour les surfaces qui sont découpées du réseau. Le remboursement est limité à 50 % du coût de construction du système d'infiltration requis. En particulier pour les grands biens-fonds tels que les immeubles résidentiels, cet investissement peut être amorti en très peu de temps, d'autant qu'il entraîne par la suite la suppression de la taxe annuelle de traitement des eaux pluviales. Dans le cas d'une nouvelle construction, il peut être intéressant pour toutes les parties concernées de créer un système d'infiltration commun pour le nouveau bâtiment et les bâtiments voisins existants et, ainsi, de profiter de coûts spécifiques peu élevés.

Facteurs de réussite

- Des incitations financières motivent les propriétaires privés à laisser l'eau de pluie s'infiltrer sur place au lieu de l'évacuer.
- La possibilité d'obtenir le remboursement de la taxe de raccordement étend la promotion de l'infiltration aux constructions existantes.
- La commune économise les coûts qu'aurait engendrés l'extension du réseau de canalisations.

Obstacles

- Le travail administratif nécessaire pour relever et tenir à jour les surfaces drainées et pour contrôler les systèmes d'infiltration ne doit pas être sous-estimé. Dans une commune de 18 000 habitants comme Ostermundigen, ce travail correspond à un équivalent plein temps.
- La stratégie de promotion se limite à l'infiltration de l'eau de pluie. Elle n'intègre pas explicitement la rétention en proximité de surface et l'évaporation, ni la gestion des cas de surcharge.

Bilan

Dans quelques villes et cantons de Suisse, les premières stratégies supérieures de gestion globale des eaux pluviales sont en cours de réalisation. Le plus souvent, il s'agit d'approches locales ou limitées à un secteur géographique. Les initiateurs sont généralement des acteurs qui ont une exigence particulière à satisfaire en matière de développement durable et qui profitent de l'occasion pour intégrer également la question de l'eau. Parfois, l'une des motivations principales est bien la prévention contre les fortes précipitations – principalement dans les localités où des sinistres importants se sont déjà produits.

Dans beaucoup d'endroits, l'infrastructure d'évacuation existante, conçue pour l'infiltration et le déversement des eaux pluviales, est en bon état ou dans un état acceptable et il n'y a pas de nécessité à agir, du moins tant qu'aucun grand développement urbain n'est prévu.

Comme les périodes de sécheresse et les épisodes de fortes pluies s'intensifient également en Suisse et que ces derniers peuvent se produire partout et à tout moment, le temps de l'action est venu. Les exemples de Copenhague, de Reutlingen et de Hambourg (aussi différents soient-ils) montrent qu'il n'est pas pertinent de se concentrer uniquement sur la prévention des dégâts. Tous les exemples visent à mettre en place un concept grâce auquel l'aménagement des eaux pluviales peut être renforcé et intégré le plus tôt possible dans l'aménagement du territoire. Tous les efforts vont dans le sens d'une gestion décentralisée des eaux pluviales, basée sur des surfaces et des volumes flexibles pouvant être activés en cas de fortes pluies. Personne ne mise sur une stratégie purement technique fondée sur des volumes construits ou sur de grandes capacités de déversement (souterrain) : les coûts sont trop élevés, l'espace disponible est limité (y compris dans le sous-sol) et ce mode d'évacuation des eaux urbaines n'apporte aucun bénéfice supplémentaire.

La solution qui a fait ses preuves à ce jour est l'association adéquate d'exigences légales clairement définies (telles que la limitation des déversements d'eaux pluviales mise en place à Berlin) et d'un paquet de mesures d'accompagnement (processus intégral de planification, formation des planificateurs, des acteurs communaux et

des spécialistes, réalisation de projets pilotes, travail de sensibilisation du public, etc.). Sans un soutien politique en faveur de la gestion intégrale et durable des risques et des eaux, l'adaptation prendra trop de temps.

5 Recommandations : processus et principes de planification

Les présentes recommandations pour des processus et des principes de planification s'appuient sur les enseignements tirés de l'analyse et de la recherche, en Suisse comme à l'étranger, et se réfèrent à la situation actuelle en Suisse. Elles dessinent une approche prometteuse, qui doit permettre d'intégrer la gestion des eaux pluviales dans l'aménagement du territoire à un stade plus précoce, de façon plus étroite et dans le sens du concept de la ville éponge. Les principes de planification découlent des facteurs de réussite identifiés dans les exemples de projets d'adaptation aux changements climatiques et peuvent à ce titre soutenir les activités de planification et les développements de projet.

5.1 Processus de planification

À ce jour, l'adaptation aux changements climatiques et, en particulier, la gestion du ruissellement et l'exigence d'une gestion décentralisée des eaux pluviales ne sont ancrées dans les instruments de planification formels et informels que de façon ponctuelle. Pour produire un impact durable, il est besoin d'adapter les prescriptions actuelles et d'intégrer l'aménagement des eaux pluviales plus en amont dans le processus d'aménagement du territoire.

Le développement urbain adapté aux changements climatiques est une tâche transversale, qu'il est possible de réaliser en particulier grâce à une planification stratégique et intégrale. Les bases préparées par la Confédération (p. ex. les scénarios climatiques pour la Suisse CH2018¹⁶ et les scénarios hydrologiques Hydro-CH2018³), la carte de l'aléa ruissellement, les documents de base sur les dangers élaborés par les cantons, ainsi que les normes publiées par les associations, constituent ensemble le fondement des activités de planification et doivent absolument être pris en compte.

L'un des principaux facteurs de réussite de la bonne gestion des eaux pluviales est l'intégration précoce et conséquente de la thématique dans les procédures d'aménagement du territoire et d'octroi des permis de construire. Cela suppose de développer d'une part des stratégies régionales et communales pour la gestion globale des eaux pluviales, qui serviront de base pour les plans directeurs et les plans d'affectation, et d'autre part des concepts de gestion des eaux pluviales propres au site, qui feront partie intégrante des plans d'affectation

spéciaux. La réussite passe également par l'obligation de fournir, à un stade précoce de la procédure d'autorisation de construire, des indications relatives à des circuits décentralisés d'eaux pluviales : l'action conjointe des mesures prises au niveau du bâtiment et de ses abords en faveur d'un circuit d'eau décentralisé doit être démontrée. La figure 22 propose une démarche apte à coordonner entre eux, le plus tôt possible, l'aménagement des eaux pluviales et l'aménagement du territoire.

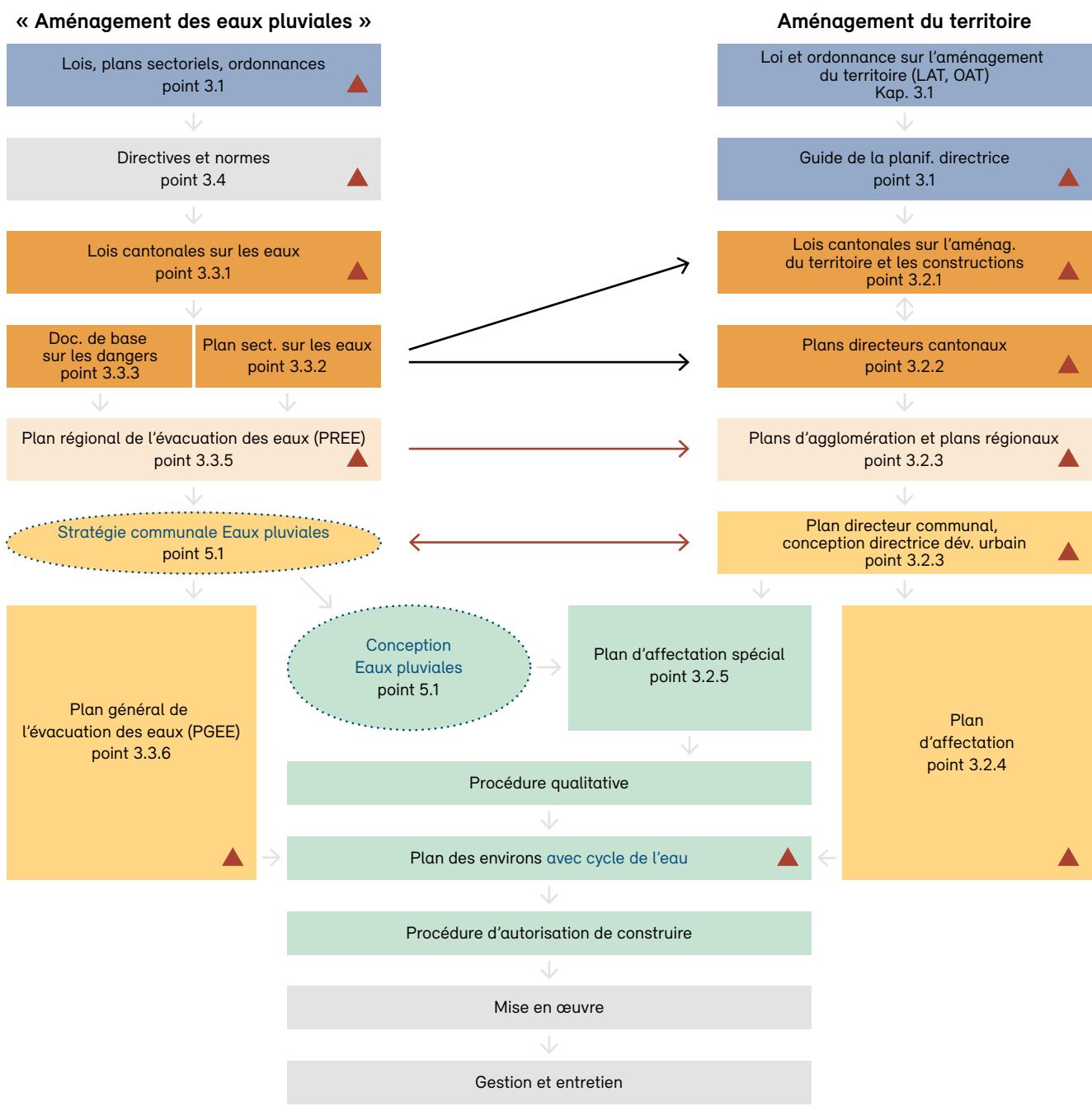
Rendre les objectifs de gestion des eaux pluviales contraints pour les autorités a pour effet que les projets de construction dans le domaine des transports et des routes sont eux aussi soumis à une pesée des intérêts et au principe selon lequel l'administration est liée par ses actes. Ce processus n'est donc pas expliqué séparément ici.

L'intégration de la planification des interventions de prévention et de réparation des dégâts n'est pas représentée sur la figure. Des recommandations s'y rapportant sont formulées au point 5.2 (Principes de planification).

Les adaptations à apporter aux instruments existants et les plans recommandés pour la gestion des eaux pluviales sont décrits ci-après

En général, les documents de base et les instruments qui encadrent actuellement l'aménagement des eaux pluviales et du territoire ne sont pas axés sur les changements climatiques ni sur la gestion décentralisée des eaux pluviales. Des **adaptations** sont donc nécessaires. Les attitudes fondamentales recommandées au point 5.2 (Principes de planification) doivent si possible être

Fig. 22 : Démarche recommandée pour intégrer l'aménagement des eaux pluviales dans l'aménagement du territoire



□ Bases et instruments existants

▲ Besoin d'adaptation aux changements climatiques

● Plans et contenus recommandés

→ Besoin de consolidation ou d'ancrage

→ Anchage

Niveau de planification, acteurs

Confédération

Canton

Région, agglomération

Commune

Coopération et procédure d'autorisation

Tiers (associations, planificateurs, maîtres d'ouvrage, propriétaires fonciers)

implantées, en particulier dans les directives, les normes, les lois cantonales sur les eaux et le PGEE. La Confédération prévoit par ailleurs la rédaction d'une fiche d'information sur les changements climatiques venant compléter le Guide de la planification directrice¹². Elle demandera à l'avenir une réflexion sur le sujet partout où celle-ci n'est pas encore engagée. Il faudra également opérer des adaptations ciblées dans les instruments d'aménagement du territoire aux niveaux cantonal et communal, afin de produire à moyen ou long terme un développement urbain adapté aux changements climatiques – qui comprend également la gestion des eaux pluviales (cf. point 3.7).

Les recherches montrent qu'il est possible d'accélérer l'orientation vers une gestion intégrale en ajustant efficacement les instruments établis à l'aide de **compléments** et de **nouvelles planifications**. Les recommandations formulées ci-après se réfèrent à des démarches prometteuses qui ont déjà été éprouvées dans certaines villes de Suisse.

Élaborer une **stratégie communale de l'eau** permet de définir les objectifs généraux de la gestion des eaux pluviales et de présenter des approches possibles. Une telle stratégie doit tenir compte des impératifs de la protection contre les crues et de l'évacuation des eaux urbaines, et son ampleur doit son ampleur doit convenir aux besoins réels de la commune. Elle peut délimiter des zones prioritaires pour la gestion des eaux pluviales (p. ex. des zones où la rétention est particulièrement importante pour garantir un bon climat urbain), localiser de possibles surfaces de rétention et des corridors d'écoulement pour prévenir les dangers en cas de fortes précipitations (p. ex. certaines rues et certains cours d'eau) et procéder à une première harmonisation avec les exigences des services de secours. Une stratégie communale de l'eau permet de consolider la planification dans le domaine du développement urbain et d'ancrer les impératifs dans le plan directeur communal, le plan d'affectation et le PGEE, le plus tôt possible et de façon contraignante pour les autorités. Il peut alors être utile et efficace de s'associer à des communes voisines pour définir une stratégie régionale de gestion des eaux pluviales, avec l'accompagnement technique du canton.

Afin que les principes généraux d'évacuation des eaux soient optimisés à temps et correctement pour des études de projet, la ville de Zurich ancre si besoin, dans ses plans

d'affectation spéciaux, l'obligation de créer un concept de drainage des surfaces. Ce concept doit être présenté avant la première demande de permis de construire et doit être développé pendant la suite du projet jusqu'à devenir un plan de drainage des surfaces de plus en plus concret. La ville obtient ainsi l'assurance que les charges qu'elle impose sont respectées. En contrepartie, le maître d'ouvrage se voit garantir la sécurité de la planification. Un **concept de gestion des eaux pluviales** propre au site est utile pour transposer la gestion décentralisée des eaux pluviales dans des plans d'affectation spéciaux en misant sur les opportunités. Ce concept doit être axé sur la fermeture décentralisée du cycle de l'eau et doit inclure la problématique du ruissellement dû aux fortes pluies.

Il est également conseillé aux cantons et aux communes d'introduire en tant qu'élément obligatoire de la demande et de l'octroi du permis de construire un **plan des environnements contenant des indications relatives à la gestion des eaux pluviales et au ruissellement**. Ce plan doit être disponible le plus tôt possible dans le processus et ne peut plus être omis ou remis ultérieurement, au risque que la construction conforme aux règlements ne puisse pas, ou pas en temps opportun, être axée sur la réalisation de circuits d'eau fermés.

5.2 Principes de planification

Les enseignements tirés d'une part de discussions menées avec des spécialistes et, d'autre part, de l'analyse des stratégies et des projets déployés avec succès dans les différentes villes étudiées, en Suisse et à l'étranger, sont autant de recommandations générales qui peuvent fournir des indications précieuses sur la gestion des eaux pluviales. Pour vos projets et vos activités, reposez-vous sur les principes de planification suivants.

L'évaporation avant l'infiltration, l'infiltration avant l'évacuation

Veillez à ce que l'eau puisse en priorité s'évaporer sur place et, sinon, s'infiltrer dans le sol. Favorisez autant que possible la rétention, en prévision des périodes de chaleur et de sécheresse. L'eau de pluie est une ressource rare : elle doit rester disponible pour l'irrigation et le rafraîchissement et ne causer aucun dégât en cas de fortes

précipitations. Dès le départ, vous devez donc prendre en compte les situations extrêmes, qui sont de plus en plus fréquentes avec les changements climatiques, et baser votre planification sur le concept de la ville éponge.

Garantir sur place des circuits d'eau fermés

Considérez l'eau de pluie comme une ressource qui sera encore plus précieuse à l'avenir et concevez des circuits de petite taille. Utilisez cette eau efficacement sur place et prévoyez dans votre planification les situations de pénurie et de surabondance. Changez de paradigme en passant d'une stratégie des eaux pluviales axée sur l'élimination à une stratégie globale ayant une approche des cas de surcharge fondée sur les risques. Que vous soyez un spécialiste de la planification ou un propriétaire foncier, ne considérez pas les eaux pluviales comme un problème : utilisez-les comme une chance de contribuer à un développement urbain adapté aux changements climatiques et intégrez-les dans l'entretien des surfaces.

De l'approche individuelle à l'adaptation systématique

En tant qu'autorité, développez le plus tôt possible des stratégies supérieures ou des conceptions directrices territoriales relatives au cycle de l'eau et à la gestion des pluies intenses, pour servir de base aux projets de planification et de construction. Pour les plans d'affectation spéciaux, exigez qu'un concept de gestion des eaux pluviales soit élaboré dès le début de la planification et avant la demande de permis de construire. Vous créez ainsi les conditions d'une gestion des eaux pluviales décentralisée et plus fiable, qui s'insère dans un concept global.

Une planification intégrale axée sur l'efficacité est porteuse de solutions

Inversez la démarche de planification : faites intervenir la gestion des eaux pluviales dès le début afin de permettre l'élaboration de solutions innovantes. Votre pensée doit être globale et couvrir l'ensemble des disciplines et des groupes d'intérêts qui sont pertinents. Définissez les fonctions et les rôles propres aux différents processus de planification et gardez les ressources nécessaires. Les prestations de mandataires pour une gestion des eaux pluviales (prestations d'intégration, de coordination et d'intermédiation pour les différents planificateurs) sont exigeantes. Il faut les attribuer, les programmer dans le temps et aussi les payer. Il peut être judicieux de préparer

pour cela un cahier des charges avec des tâches et des procédures définies.

Multicodage d'espaces ouverts, y compris d'espaces de transports

Dans l'espace urbain, les surfaces ouvertes sont un bien extrêmement rare. Elles doivent donc pouvoir répondre à plusieurs besoins d'utilisation et, Supprimer aussi la première virgule apporter temporairement leur contribution à la prévention des dégâts. De manière générale, utilisez les espaces verts et ouverts comme des surfaces d'infiltration ou des surfaces de rétention temporaire et stockez l'eau de pluie sur des toitures plates. En tant qu'autorité publique, intégrez l'espace routier dans votre conception supérieure et faites en sorte qu'en cas de fortes précipitations des tronçons routiers puissent servir de corridors d'écoulement de secours ou de zones de retenue temporaire (cf. points 6.4 et 6.7). Planifiez et entretenez les espaces ouverts en visant ces objectifs.

Utiliser les synergies comme des opportunités

Élaborer des planifications prospectives permet d'identifier des interactions positives, de créer une valeur ajoutée mutuelle et d'atténuer les conflits d'objectifs grâce à des pesées d'intérêts – si bien que les projets ont ensuite une assise solide. Une gestion décentralisée des eaux pluviales agit contre la sécheresse, crée d'importants effets de synergie avec le domaine des activités de détente, influence positivement le visage de la ville et contribue à la diversité biologique en tant que structure de mise en réseau. Par conséquent, vérifiez et exploitez les potentiels de synergie disponibles, aussi largement que possible et en saisissant toutes les opportunités, indépendamment de l'initiateur de la planification. La pesée des intérêts doit être négociée de préférence dans le cadre d'un processus de planification et de participation transparent (cf. chap. 6).

Aménagement du territoire fondé sur les risques et axé sur leur gestion

Les mesures de protection contre les crues se focalisent sur les secteurs présentant un niveau de menace élevé ou moyen. Mais le risque n'est pas déterminé uniquement par la menace qui pèse sur un site ; il est aussi et surtout déterminé par l'utilisation de ce site, sa valeur et sa vulnérabilité. En règle générale, le potentiel de dégâts augmente aussi le risque. Souvent, les plus gros

dégâts surviennent dans des secteurs où le niveau de menace est faible, car ces secteurs sont alors utilisés plus intensivement. Tenez-en compte en veillant à ce que les plans directeurs et les plans d'affectation soient fondés sur les risques et se concentrent davantage sur la sensibilité de l'utilisation et sur le potentiel de dégâts qui y est associé. Selon l'utilisation, il peut être judicieux d'envisager des charges également dans les secteurs avec un faible niveau de menace. Inversement des utilisations moins sensibles, associées à des mesures de protection appropriées, sont possibles également dans des secteurs présentant un niveau de menace élevé ou moyen. Cette approche fondée sur les risques est aussi recommandé pour l'aléa ruissellement. Veillez à ce que les documents de base sur les dangers soient tenus à jour et couvrent les modifications induites par les changements climatiques.

Planification des interventions en cas de danger naturel
Des plans d'intervention sont élaborés par la protection de la population, Supprimer aussi la première virgule dans le cadre de la prévention communale des risques, et les concepts d'intervention sont continuellement adaptés et développés. Ces plans sont fondés sur des sinistres connus, des infrastructures à protéger et des cartes de dangers. La carte de l'aléa ruissellement doit être prise en compte elle aussi, partout où cela n'est pas encore le cas. Utilisez toutes ces informations pour soulagé les régions potentiellement menacées, lors des futures planifications. Souvent, les grandes zones à risque offrent beaucoup de marge de manœuvre, et la nécessité d'agir permet de mettre en œuvre des stratégies de gestion des eaux pluviales intégrées et généralisées. Vous trouverez de l'aide dans le manuel « Planification des interventions en cas de danger naturel gravitaire¹⁰ ».

Axer les bases légales, les réglementations et les stratégies sur l'adaptation aux changements climatiques

Les prescriptions de niveau supérieur constituent le principal levier permettant d'instaurer à long terme un développement adapté aux changements climatiques, en ce qu'elles servent de consignes liant les autorités et exercent une influence sur les évolutions de la construction conforme aux règlements. En tant qu'autorité, veillez à ancrer les impératifs de la gestion des eaux pluviales, qui dispose déjà d'un large éventail de directives et de normes, dans les instruments de niveau supérieur, en les

orientant par anticipation vers les conditions de demain. En tant qu'administration publique, exercez une influence là où vous le pouvez : instaurez des obligations et des systèmes d'incitations en faveur d'une gestion décentralisée des eaux pluviales et considérez le ruissellement dans vos plans directeurs, vos plans d'affectation et votre règlement des eaux usées. Utilisez la marge de manœuvre accrue offerte par les plans d'affectation spéciaux et conseillez les maîtres d'ouvrage (cf. point 7.1).

Prise de conscience et formation, deux aspects fondamentaux

Dans l'esprit de la population et des planificateurs, les risques d'inondation sont liés au débordement des cours d'eau et non au ruissellement des eaux pluviales. Investissez dans l'information de la population et dans la sensibilisation des représentants politiques, et améliorez la formation du personnel administratif spécialisé et des planificateurs afin qu'ils prennent davantage conscience de la menace liée aux fortes précipitations et du potentiel que la gestion décentralisée des eaux pluviales représente pour le développement urbain adapté aux changements climatiques. Cela vous permettra de procéder à une planification prospective dotée d'une solide assise et d'exploiter des synergies. Pensez également à introduire dans vos planifications les enseignements tirés de projets de recherche déjà mis en application (cf. point 7.3).

Des projets phares montrent la voie

Axer la planification sur les conséquences des changements climatiques est un défi. Si, en Suisse, une telle planification intégrale est prévue dans des conceptions et des masterplans, elle n'a été mise en œuvre que pour des aspects isolés (p. ex. la chaleur ou l'infiltration) dans le cadre de projets modèles. Il est donc très précieux que des concepts exemplaires et des projets concrets, en Suisse et à l'étranger, montrent la voie et accélèrent cette évolution. Utilisez toutes les chances qui s'offrent à vous pour lancer des projets phares. Communiquez sur ces projets et exploitez-les comme inspiration pour d'autres planifications. Créez-vous un réseau de contacts pour profiter des expériences des autres (cf. chap. 4 ; exemples de projets au chap. 6 et au point 7.2).

6 Mesures

Ce chapitre présente différentes mesures possibles pour faire face aux fortes pluies et établir une gestion des eaux selon le concept de la ville éponge, deux aspects requis pour s'adapter aux changements climatiques. La description de chaque mesure et de ses effets est étayée par des exemples que l'on peut transposer ou adapter aux besoins spécifiques. Les synergies et les domaines d'application sont systématiquement indiqués, tout comme les défis et les conflits d'objectifs.

Les mesures pour réduire les écoulements des eaux pluviales ne sont pas nouvelles et reposent sur l'observation des processus naturels. Il suffit, pour s'en convaincre, de regarder les processus à l'œuvre en cas de pluie dans un paysage composé de prairies et de forêts : les eaux pluviales sont essentiellement absorbées à l'endroit où elles tombent, arrosant ainsi la flore et alimentant le sol. Si les précipitations sont abondantes, le sol se gorge d'eau, et les processus d'infiltration et d'épuration commencent. Les aquifères sont ainsi alimentés par une eau filtrée et pure. S'il reste de l'eau à la surface, elle peut s'évaporer ou s'infiltrer lentement, voire s'écouler en cas de forte pluie. Le sol et l'eau constituent la base indispensable à la vie des plantes et animaux de toutes espèces.

Les mesures décrites ci-après ont pour objectif non seulement de gérer les eaux pluviales, mais aussi de rendre possibles des synergies avec d'autres domaines, et de contribuer à ce que les villes, les communes et les paysages soient sûrs, dynamiques et vivables. Il s'agit pour la plupart de mesures dites « sans regret », c'est-à-dire pertinentes et bénéfiques quelle que soit l'évolution des changements climatiques. Pour être efficace, chaque mesure doit, conformément à la gestion intégrée du risque, être axée de manière ciblée sur la problématique effective, le risque local et les stratégies générales dans lesquelles elle s'inscrit. L'examen comparatif et la concertation visant à définir une combinaison de mesures optimale et efficace s'effectuent sur la base du risque acceptable. Dans l'optique de développement durable, les mesures choisies doivent viser une intervention aussi réduite que possible ou alors des synergies importantes.

Les mesures présentées ci-dessous ne sont pas classées par ordre de priorité, mais par catégories. La première regroupe les mesures portant sur les espaces situés à l'**extérieur de l'espace urbain**, car il est souvent possible d'y réduire les écoulements avec succès et à moindres frais. La deuxième comprend l'élaboration d'une **topographie favorisant l'évacuation des eaux** et l'évitement des

écoulements grâce au choix du **revêtement des surfaces**. Viennent ensuite les mesures relatives aux **plans d'eau et aux cours d'eau**, et celles mises en place dans le **milieu non bâti et l'espace routier**. Ces quatre premières catégories de mesures constituent la base du concept de la ville éponge et offrent de vastes synergies.

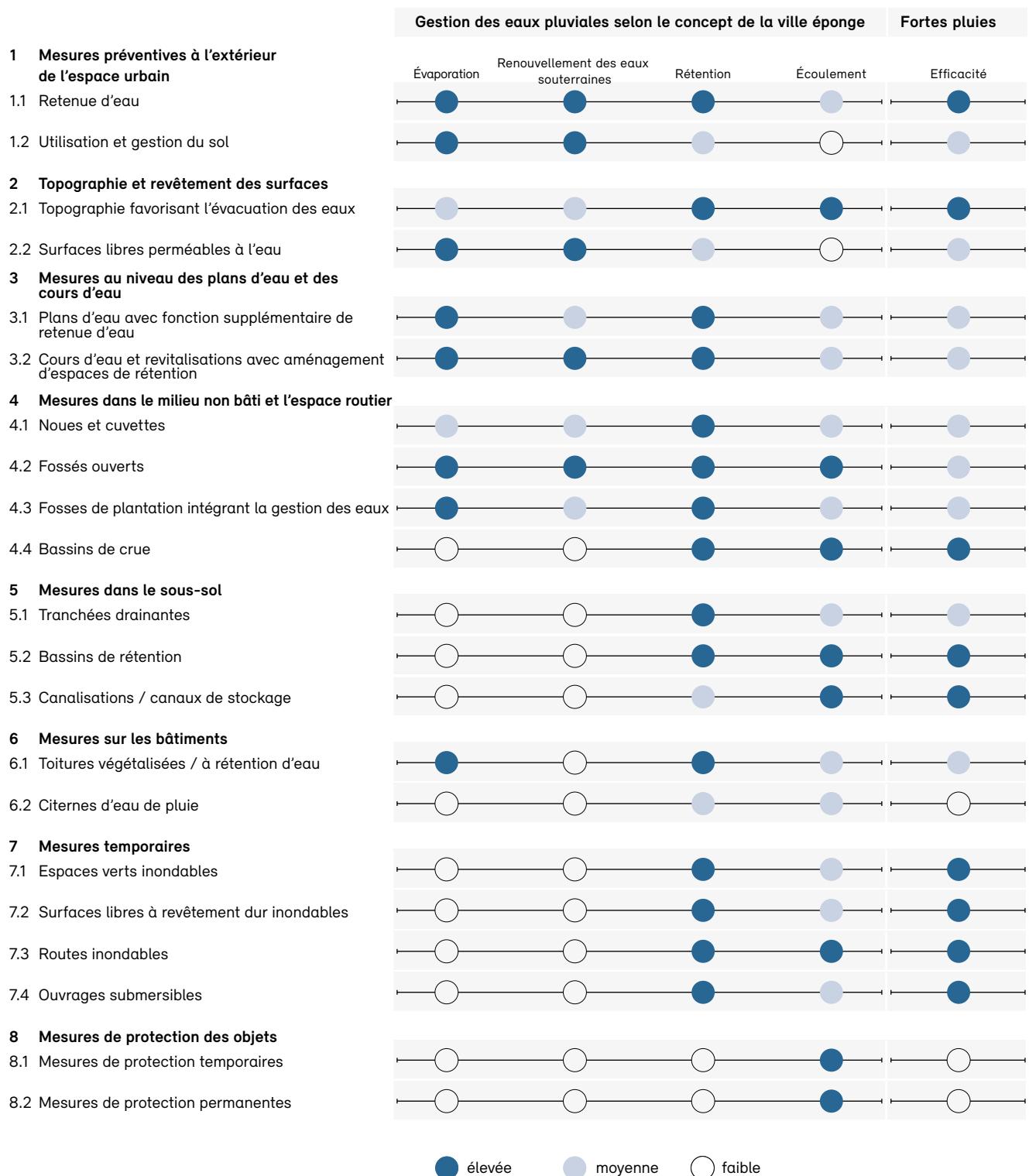
La catégorie suivante englobe les mesures concernant le **sous-sol**. Incontournables dans les espaces urbains, elles ne présentent des synergies que pour l'utilisation de l'eau de pluie recueillie. La sixième catégorie rassemble les mesures **sur les bâtiments**.

Enfin, les deux dernières catégories se concentrent sur une gestion sûre des eaux **en cas de fortes pluies** : l'utilisation de toutes sortes de surfaces pour une **mise en eau temporaire** empêche les dégâts sur et dans les bâtiments ou les infrastructures. Une **protection ciblée des objets** assure la sécurité des infrastructures et des ouvrages importants en cas d'événement extrême.

La figure 23 montre comment sont classées les mesures et fournit une évaluation de leur efficacité pour la gestion des eaux pluviales selon le concept de la ville éponge, ainsi qu'une évaluation de leur efficacité en cas de fortes pluies. Le concept de la ville éponge accorde une grande importance à l'évaporation directe, au renouvellement des eaux souterraines et à la rétention de l'eau en vue des périodes de sécheresse. Il prévoit une évacuation ciblée en cas de fortes précipitations. La colonne « **Fortes pluies** » évalue l'efficacité de la mesure envisagée pour éviter ou réduire le risque d'inondation dû au ruissellement en cas de fortes pluies. L'évaluation porte sur une efficacité à grande échelle dans l'espace urbain et non sur un seul objet.

Les points 6.1 à 6.8 décrivent chacune de ces mesures, en montrant au moyen d'exemples choisis comment elles sont concrétisées, et en évoquant les **défis et les conflits d'objectifs** rencontrés lors de leur mise en œuvre.

Fig. 23 : Vue d'ensemble des mesures et évaluation de leur efficacité pour la gestion des eaux pluviales



Repérer et évaluer les défis et les conflits d'objectifs

Une gestion intégrée des eaux pluviales présuppose de réexaminer et de réévaluer les manières de procéder et les mesures. Si certains défis et conflits d'objectifs sont évidents, d'autres n'apparaissent qu'en y regardant de plus près. Il est important de les repérer, de soupeser les différents intérêts et de prendre des décisions transparentes. Pour chaque mesure présentée, les défis et les conflits d'objectifs sont indiqués en quelques mots. Les principaux conflits sont les suivants.

- **Sécurité contre les inondations versus restrictions d'utilisation** : des inondations temporaires, en cas de pluies extrêmes, de surfaces ayant habituellement une autre utilisation (parcs, routes, terrains de sport, etc.) impliquent une restriction d'utilisation, soit uniquement pendant le temps effectif d'inondation de ces surfaces, soit également après (séchage des pelouses, nettoyage des places publiques, accessibilité réduite, etc.). Plus l'eau est retenue dans ces surfaces multifonctionnelles, plus la restriction d'utilisation dure longtemps, ce qui peut poser problème dans les zones densément peuplées. Les différentes utilisations et l'alternance entre celles-ci doivent être planifiées, expliquées et intégrées dans les processus d'entretien et de maintenance.
- **Surfaces et temps pour l'eau stagnante versus sécurité et santé** : plus l'eau est retenue longtemps dans l'espace urbain, plus elle peut s'évaporer ou s'infilttrer de façon à rester dans le circuit des ressources. Pourtant, à l'heure actuelle, on réutilise généralement le plus vite possible l'eau retenue afin de vider rapidement l'espace de rétention en vue du prochain épisode pluvieux. Une eau stagnante trop longtemps peut en outre être source de problèmes pour la santé et la sécurité : des moustiques apparaissent, les cuvettes sont envahies par la vase, ou l'absence de délimitation avec l'eau s'écoulant à l'air libre soulève des questions irrésolues de sécurité et de responsabilité. Des zones de circulation temporairement inondées doivent donc être signalées. En effet, dans les corridors d'écoulement de secours présentant une déclivité, le débit peut parfois être considérable.
- **Solutions techniques rapides à mettre en œuvre versus approches intégrales plus coûteuses** : il est nettement plus facile de construire des bassins de rétention clôturés en bordure du milieu bâti, des bassins d'accumulation souterrains, des canaux de retenue ou des structures réservoirs, que de projeter une topographie favorisant l'évacuation des eaux et de mettre en place un système décentralisé mais connecté. Si une telle stratégie de planification est plus coûteuse à mettre en œuvre, elle présente incontestablement des synergies importantes et inestimables.
- **Potentiel de stockage versus utilisation de l'eau de pluie** : du point de vue de l'évacuation des eaux urbaines, il est intéressant que les volumes de rétention soient vides. Mais pour prévenir la sécheresse et permettre l'irrigation, il faut aussi stocker de l'eau. La solution peut être d'opter pour des volumes d'eau à réguler de façon dynamique. Les toitures à rétention d'eau dont le volume stocké est utilisé pour l'irrigation peuvent être vidées, sur la base des prévisions météorologiques, avant un épisode pluvieux afin d'offrir un certain volume de rétention. Les citernes de rétention ou les citernes interconnectées sont un autre moyen de disposer de capacités supplémentaires et de volumes variables. À l'avenir, les volumes de rétention devraient être de plus en plus régulés, car l'eau de pluie est une ressource précieuse.
- **Concurrence au niveau des surfaces entre le bâti et le sol** : les surfaces libres sont une denrée de plus en plus rare dans le développement urbain, d'où une concurrence importante au niveau des surfaces entre les différentes exigences. Dans le cadre de la densification du bâti, l'imperméabilisation et les constructions souterraines s'accroissent souvent de manière disproportionnée. La plupart du temps, les constructions souterraines ne sont pas soumises à la réglementation concernant la distance à la limite et sont donc souvent possibles jusqu'à la limite des parcelles. Il existe encore très peu de stratégies relatives aux constructions souterraines et à la protection du sol en place. La forte densité des constructions superficielles et souterraines augmente le potentiel de dommages en cas de fortes précipitations et rend plus difficile – mais aussi d'autant plus nécessaire – une gestion décentralisée des eaux pluviales.
- **Nature versus ville** : ville et nature ne sont pas forcément contradictoires : une application systématique des

principes de la ville éponge modifiera l'image que nous avons de la ville. D'où la nécessité de discuter dès aujourd'hui de cette orientation dans l'urbanisme, ainsi que des modifications, des conflits et des processus d'adaptation prévisibles.

Les paragraphes ci-après évaluent les mesures selon deux critères : leur contribution à la ville éponge et leur efficacité à prévenir les dommages en cas de fortes pluies. Ils mettent en évidence leurs **synergies** et présentent leurs **domaines d'application** aux différents niveaux de planification.

Exploiter les synergies

Une gestion décentralisée des eaux pluviales permet de nombreuses synergies avec d'autres domaines. Celles-ci devraient être exploitées afin de favoriser un développement urbain durable et adapté aux changements climatiques. Les synergies suivantes devraient être examinées, débattues et évaluées lors du processus de planification.

- **Régulation thermique** : le verdissement des villes est l'un des piliers de la régulation thermique. En effet, davantage de végétation signifie moins d'imperméabilisation et plus d'ombre et d'évaporation. Mais cela nécessite aussi de l'eau. Idéalement, la végétalisation peut être combinée avec des réservoirs d'eau de pluie afin d'utiliser sciemment l'évaporation active. Il s'agit là d'une synergie importante qui devrait toujours être prise en considération.
- **Prévention de la sécheresse** : actuellement, de nombreux projets sont lancés dans le but de retenir l'eau en prévision des périodes de sécheresse. Ils visent à mettre à profit à cet égard de vastes réservoirs existants mais non utilisés ou à en prévoir dans le cadre de processus de transformation. Ce domaine présente une synergie avec la rétention de l'eau de pluie.
- **Régime naturel des eaux** : une gestion de la pluie axée sur l'endroit où elle entre en contact avec le sol protège et régénère aussi le régime naturel des eaux. À l'avenir, les modifications du bâti ou les nouvelles constructions ne devraient plus se faire au détriment des systèmes naturels tels que le régime des eaux. L'eau de pluie

doit s'évaporer sur place ou être acheminée jusqu'aux eaux souterraines.

- **Qualité de vie, détente et santé** : la gestion des eaux pluviales, en tant qu'élément transparent et structuré des espaces non construits, apporte beaucoup de verdure et de nature dans l'espace urbain. Les processus naturels dynamiques deviennent visibles à travers l'eau qui s'écoule, stagne ou s'infiltra au sein de l'environnement immédiat, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de la nature. Des espaces libres variés et attrayants améliorent la détente et la santé, aussi bien mentale que physique.
- **Biodiversité** : les mesures relatives aux eaux pluviales, telles qu'une toiture de rétention ou des cuvettes à humidité variable peuvent promouvoir la biodiversité. Si elles sont bien pensées, les bandes riveraines peuvent servir de corridors de déplacement et de connexion. Un réseau hydraulique peut également être un élément de la mise en réseau écologique.

Domaines d'application

Les domaines d'application des diverses mesures peuvent être fondamentalement différents. Ainsi, certaines mesures ne sont pertinentes qu'au niveau général, dans l'espace public ou pour les nouvelles constructions. Habituellement, plusieurs mesures sont utilisées et déployées en cascade dans le cadre de concepts systémiques afin de produire un impact important.

- **Niveau de planification : quartier – site – parcelle** : la base d'un concept de gestion intégrée des eaux pluviales doit être une planification générale du quartier, qui fixe les paramètres de gestion. Le choix des mesures doit dépendre du concept spécifique. Au niveau de la parcelle, il est souvent plus pertinent de ne définir que l'effet visé et de laisser le maître d'ouvrage choisir les mesures à appliquer. Cela permet souvent une marge de manœuvre plus grande et un engagement plus ferme.
- **Propriété foncière : publique – semi-publique – privée** : un système d'eau pluviale continu constitue un réseau. Sa gestion s'effectue indépendamment du caractère privé ou public des surfaces sur lesquelles tombent les précipitations. Il est rare que la législation et les processus en vigueur fournissent des possibilités

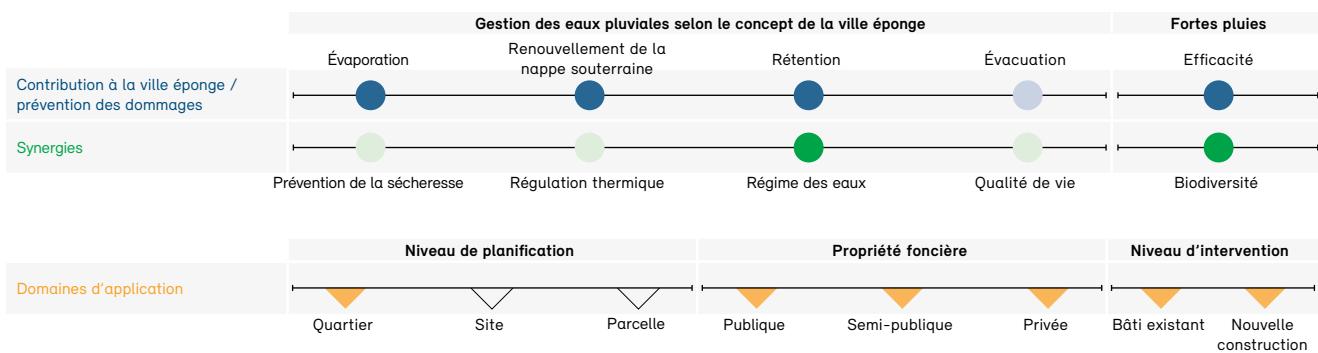
de contraindre les propriétaires privés à des mesures. Il faut donc en faire davantage sur les surfaces publiques, en veillant à peser les intérêts en présence et à répartir judicieusement les charges.

- **Niveau d'intervention : bâti existant – nouvelle construction** : pour les projets de nouvelles constructions, de nombreuses conceptions sont possibles. En revanche, dans le cadre du bâti existant, les améliorations et adaptations sont généralement beaucoup plus difficiles à réaliser sans de vastes interventions sur la construction. Par exemple, une toiture satisfaisant aux exigences posées à une infrastructure verte et bleue et permettant de retenir l'eau ne peut pas être mise en œuvre sur l'existant pour des raisons structurelles. Les mesures doivent donc être considérées également sous cet angle.

La légende est fournie à la dernière page et elle sert d'aide à la lecture.

6.1 Mesures préventives à l'extérieur de l'espace urbain

M 1.1 Retenue d'eau



Le ruissellement provenant du paysage ouvert environnant peut causer des dommages dans l'espace urbain en cas de fortes précipitations. L'analyse, dans le cadre de l'organisation du territoire, de l'ensemble du bassin versant est donc judicieuse pour prendre des mesures nécessaires pour retenir l'eau.

En dotant les zones agricoles et forestières de systèmes d'évacuation des eaux conçus de façon à retenir l'eau et en veillant à moins imperméabiliser les sols, on contribue considérablement à réduire, voire à empêcher, le ruissellement incontrôlé dans les zones urbaines. On peut notamment construire à cette fin de vastes espaces de rétention, des digues avec des noues de rétention, des systèmes de fossés ouverts ou des structures transversales dans les terrains en pente. Ces dispositifs peuvent être utilisés ponctuellement dans les zones à risques ou de manière décentralisée afin de réduire le ruissellement en général. Pour ce faire, il faut procéder à une analyse prenant systématiquement en considération l'ensemble du bassin versant et ne tenant pas compte des limites politiques ou relevant du droit privé. En fin de compte, il faut investir uniquement dans les mesures qui s'avèrent réalisables, efficaces et économiquement viables.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Mesure très efficace, mais disponibilité des surfaces souvent limitée (D).
- Des limites politiques ou foncières empêchent souvent de mettre en œuvre la mesure à l'emplacement le plus efficace (D).
- L'agriculture industrielle convoite des surfaces dégagées sans structures susceptibles de gêner (C).

La petite ville de **Leonding**, en Autriche, a réalisé un projet simple mais très efficace⁶⁵. La carte indicative des dangers pour les fortes pluies montrait clairement qu'un écoulement important provenait des terres en pente situées au-dessus de la ville et faisant l'objet d'une exploitation agricole. Cela provoquait régulièrement des inondations dans l'espace urbain, comme en juin 2016. Forts de ce constat, les responsables ont entrepris des négociations avec les agriculteurs : il a été convenu de transformer environ 5 % des pentes en noues longitudinales et de modifier l'exploitation des surfaces. La ville s'est engagée à compenser les pertes de récoltes durant la période de transition.

À **Lindau** dans le canton de Zurich, le **Buechbach** s'écoule en amont de l'espace urbain dans un passage sous terre trop étroit²⁹. Lors des fortes pluies, le cours d'eau déborde et ruisselle en surface en direction de la périphérie du milieu bâti. Pour résoudre ce problème, un bassin de rétention a été construit dès 1999, et sa digue a été rehaussée une nouvelle fois en 2014 afin qu'elle puisse retenir même une crue centennale (fig. 24). Ce bassin retient également le ruissellement provenant de la zone située à l'ouest du Buechbach, signalé par la carte des dangers (fig. 25). Si l'ouvrage de sortie est obstrué, un trop-plein de sécurité surélevé se charge de conduire l'eau dans le tronçon sous terre en aval du Buechbach. En cas de surcharge, l'excédent d'eau déborde au niveau de la digue avant d'être en partie réacheminé vers les canalisations ou évacué par la route à travers l'espace urbain. Pour réduire encore le risque résiduel, il faudra, lors du prochain assainissement de la route, abaisser la chaussée ou en relever les bordures afin de prévenir toute inondation des immeubles riverains.

Fig. 24 : Digue rehaussée avec l'ouvrage de sortie et le trop-plein de sécurité surélevé

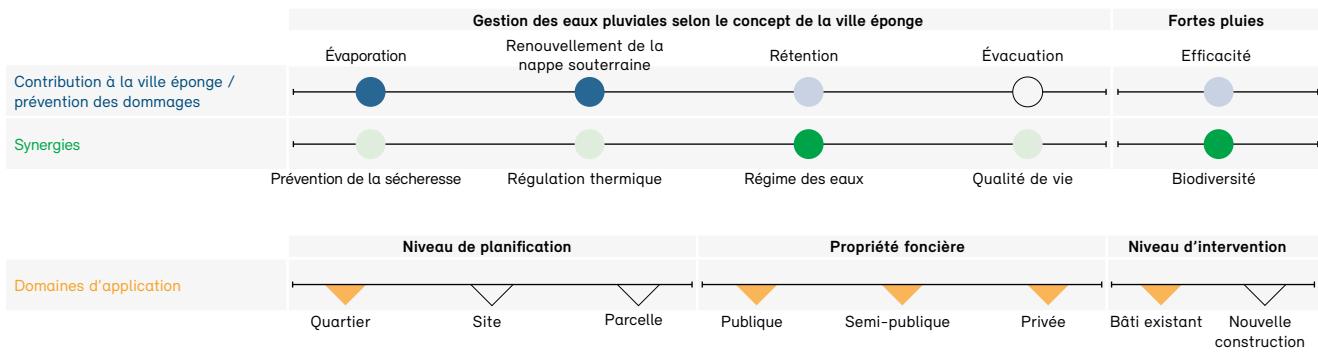


Fig. 25 : En bleu, les tronçons du Buechbach s'écoulant à ciel ouvert ; en violet foncé, le bassin de rétention



6.1 Mesures préventives à l'extérieur de l'espace urbain

M 1.2 Utilisation et gestion du sol



Une utilisation et une gestion adaptées des surfaces agricoles et forestières contribuent, à travers la retenue d'eau et la végétation, à la prévention des dommages et à la protection de l'espace urbain.

Dans les paysages ouverts, une gestion des herbages au moyen de cultures de couverture ou des techniques culturales préservant le sol, tels le semis direct ou le semis sous litière, peuvent réduire le danger pour l'espace urbain, car elles accroissent la capacité du sol à retenir l'eau. Les couches supérieures des sols exploités en agriculture écologique peuvent retenir jusqu'à sept fois plus d'eau que des sols comparables cultivés en agriculture conventionnelle. Des pratiques culturales adaptées, par exemple le labour des champs parallèlement à la pente, peuvent également réduire et freiner l'écoulement des eaux.

La méthode Keyline (littéralement « ligne clé ») consiste à utiliser la topographie en aménageant perpendiculairement à la pente des lignes d'exploitation destinées à retenir et à infiltrer l'eau de pluie (fig. 26 et 27).

Les systèmes agroforestiers, consistant à associer sur une même parcelle cultures agricoles et structures boisées, sont des systèmes parfaits de retenue des eaux. Ils jouent ainsi un rôle important en matière de protection contre les crues, mais aussi pour la prévention de l'érosion et la protection des eaux, des espèces et des biotopes.

En sylviculture, des forêts stables, proches de leur état naturel et richement structurées participent à la protection contre les crues. Les sols forestiers sont en effet capables de retenir une grande partie des précipitations et, ainsi, de réduire fortement le volume écoulé. Par ailleurs, les forêts alluviales situées le long des cours d'eau supportent sans

Fig. 26 : Gestion selon la méthode Keyline

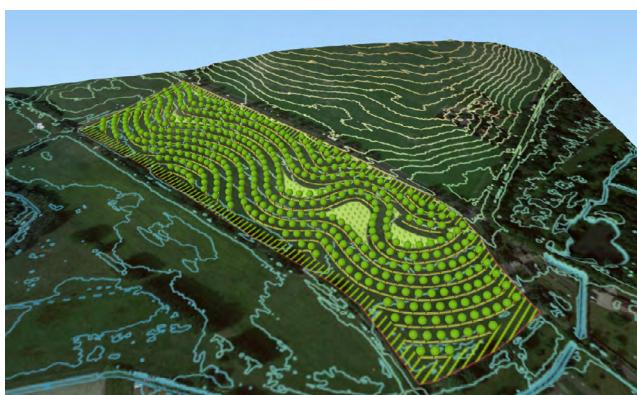
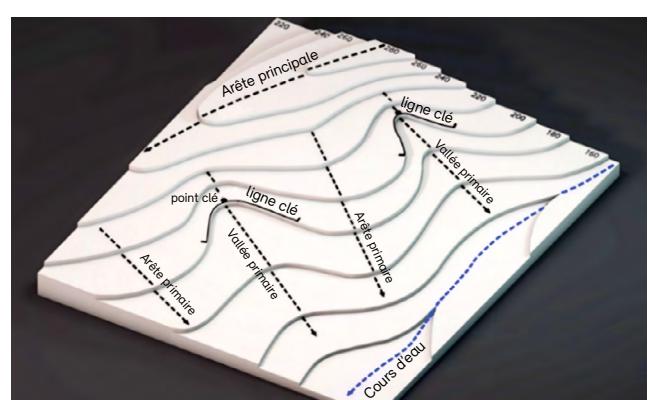


Fig. 27 : Positionnement topographique de lignes clés pour la collecte optimale des eaux pluviales



problème des inondations de longue durée. Le maintien et la multiplication des surfaces forestières peuvent donc constituer un élément essentiel de la protection contre les crues, en particulier dans les régions affectées par des problèmes d'inondation.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Les modifications des modes d'exploitation nécessitent une transmission du savoir et un soutien financier (D).
- Conflit avec d'autres utilisations (développement urbain, agriculture conventionnelle, etc.) (C).

Il existe en Australie, aux États-Unis, en Suède et en Allemagne quelques projets appliquant la méthode Keyline. Cependant, ceux-ci sont mis en œuvre essentiellement selon une perspective agricole. L'application ciblée de cette méthode dans les espaces urbains menacés par les ruissellements doit encore être testée afin d'étudier son efficacité.

En Suisse, le projet agricole solidaire « Minga » de la ville de Meilen (fig. 29) mise sur la méthode des lignes clés afin de mieux retenir et répartir l'eau.

Fig. 28 : Mise en place de lignes clés grâce à de petites buttes réalisées mécaniquement

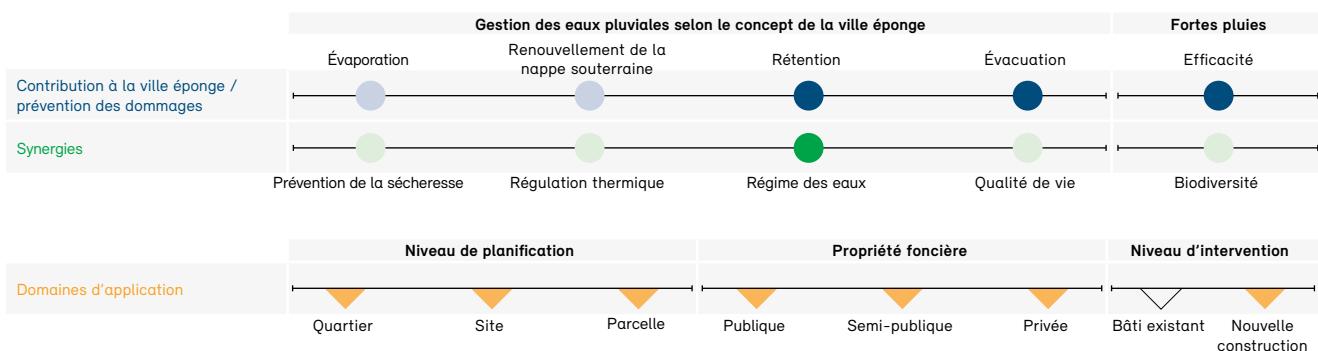


Fig. 29 : Agriculture appliquant la méthode Keyline à Meilen



6.2 Topographie et revêtement des surfaces

M 2.1 Topographie favorisant l'évacuation des eaux



Une utilisation judicieuse de la topographie permet de réduire ou d'éviter les dommages causés par le ruissellement. Des structures d'écoulement continues, des volumes de rétention ou l'aménagement de bordures et de pentes sont à la base de la planification territoriale.

L'analyse topographique, notamment des voies d'écoulement et des dépressions (zones d'accumulation), est essentielle pour gérer le ruissellement. Elle constitue la base déterminante pour la planification territoriale et la gestion des fortes pluies, y compris et surtout à l'échelle de la parcelle. Lorsque les routes, les chemins et les corridors verts s'alignent sur

les voies d'écoulement existantes ou, à défaut, une structure d'écoulement continue nouvellement créée, ils peuvent être conçus de manière ciblée comme des corridors d'évacuation des eaux. La modification des pentes et l'aménagement de bordures sont des moyens de créer des zones de retenue supplémentaires. La prise en compte de surfaces potentielles adaptées sur le plan topographique, telles que les parkings, les installations sportives ou d'autres surfaces pouvant être inondées sans risques, permet d'accroître considérablement le volume de rétention (cf. point 6.7).

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Avant de définir la structure urbanistique, analyse méticuleuse des voies d'écoulement de l'ensemble du bassin versant (D)
- Restrictions éventuelles de l'efficacité de raccordement et de l'utilisation des surfaces (C)

Dans le cadre du projet **Scharnhauser Park à Ostfildern**⁷¹, au sud-est de Stuttgart en Allemagne, les contraintes étaient



Fig. 30 : Plan de Scharnhauser Park et de son système d'évacuation des eaux



les suivantes : il ne fallait pas créer de canalisations d'eaux de pluie, et il n'existait pas de cours d'eau récepteur vers lequel dévier l'excédent d'eau en grandes quantités. De plus, les caractéristiques du sol ne permettaient pas d'infiltration. Il fallait donc gérer l'ensemble des eaux pluviales en surface, y compris dans le bâti existant de l'ancienne caserne militaire. Il en est ressorti un projet avec beaucoup de toits végétalisés, peu de surfaces imperméabilisées et des bassins de rétention multifonctionnels reliés entre eux par des tranchées (fig. 30). L'élément central d'aménagement du paysage, véritable « escalier paysager », est une gigantesque cascade de cuvettes assorties de tranchées, dont le fond est couvert de gravier (fig. 31). Le débordement réduit s'écoule grâce à des rigoles vers d'autres bassins de rétention en périphérie de l'espace bâti. Ces derniers s'évacuent via des colonnes montantes dans la zone humide attenante, afin d'empêcher toute pollution.

Ces mesures permettent d'évacuer les eaux d'un épisode pluvieux quinquennal (déversement ralenti, réduction à hauteur de 90 % des débits de pointe), et d'avoir un

traitement efficace de l'eau grâce à la filtration dans les couches supérieures du sol. Ce système global fonctionne même en cas de fortes pluies : s'il est complètement rempli, la topographie d'évacuation achemine le surplus d'eau en toute sécurité à travers les constructions jusque dans la zone humide attenante.

Le 8 juillet 2017, **Zofingue** a connu un épisode de fortes précipitations tel qu'il n'en survient que tous les 300 ans environ³⁷. Les dégâts occasionnés, chiffrés à quelque 150 millions de francs, étaient dus au débordement de plusieurs cours d'eau, mais aussi en grande partie au ruissellement. Sur la base d'une analyse de la situation, différentes mesures ont depuis été mises en œuvre à l'échelle locale, notamment des modifications topographiques de l'espace routier afin de diriger le ruissellement de manière à éviter les dommages (fig. 32).

La ville de **Steckborn**, dans le canton de Thurgovie, a appliqué le même concept : le seuil de l'espace routier à l'entrée du centre historique dirige le ruissellement, via le corridor d'écoulement souhaité, jusque dans le Talerbach (fig. 33 et 34).

Fig. 32 : Mesure de protection du centre historique de Zofingue contre le ruissellement consistant à bomber le débouché d'une rue. Vue de la pente avant (à gauche) et après (à droite) cette modification topographique

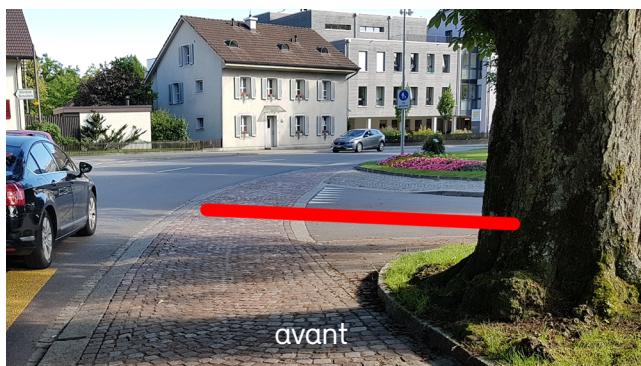


Fig. 33 : Seuil à l'entrée du centre historique visant à dévier le ruissellement à Steckborn

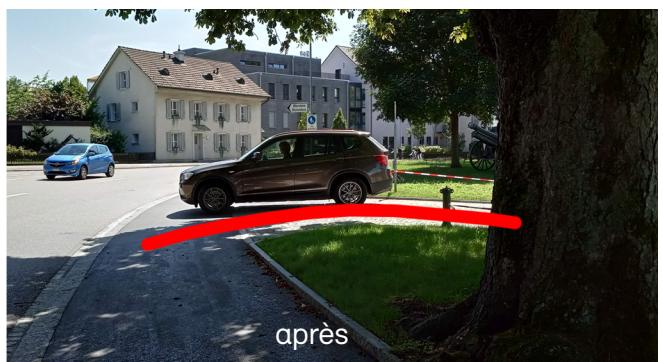
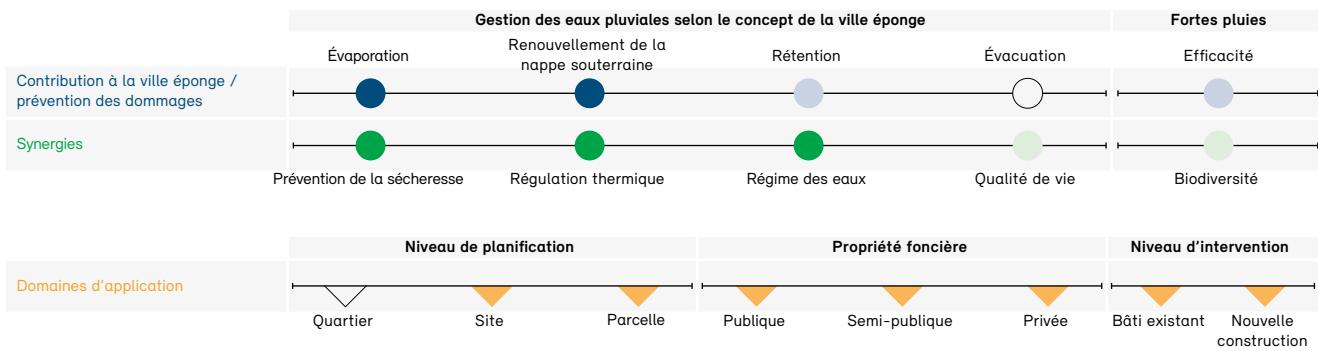


Fig. 34 : Le ruissellement est acheminé dans le Talerbach via la route



6.2 Topographie et revêtement des surfaces

M 2.2 Surfaces libres perméables à l'eau



Des revêtements perméables à l'eau réduisent l'écoulement des précipitations, car au moins une partie de l'eau de pluie peut s'infiltrer ou s'évaporer. Dans les projets de construction, il faut donc veiller à choisir des revêtements appropriés et à respecter un faible niveau d'imperméabilisation et de construction souterraine. Les surfaces libres existantes doivent être désimperméabilisées dès que cela est possible et judicieux.

Outre le maintien des espaces verts, il est recommandé d'utiliser des revêtements partiellement perméables pour les places, les routes et les chemins. Il peut s'agir de revêtements avec des joints perméables, de pavés drainants, de pavés à joints engazonnés ou de gravier-gazon. Des travaux de recherche et de développement sont menés pour trouver des surfaces homogènes, durablement perméables à l'eau et non compactées^{89, 90}. Des couches porteuses et de revêtement mélangées selon des proportions précises et constituées de couches de granulométries différentes ont une perméabilité durable à l'eau, à l'inverse des chaussées classiques. L'objectif des revêtements partiellement perméables est de retarder le ruissellement, d'accroître l'infiltration et l'évaporation et, Supprimer aussi la première virgule de soulager les systèmes d'évacuation. Les coefficients d'écoulement moyens pour les surfaces peuvent ainsi être réduits de 0,9 (= 90 % de ruissellement, comme pour les revêtements en asphalte) à 0,25 (25 % de ruissellement, comme pour les pavés drainants modernes). De plus en plus de surfaces sont couvertes de pavés en béton sans systèmes d'évacuation des eaux. Les joints ainsi que les couches porteuses et de protection contre le gel permettent ainsi la retenue de l'eau à court terme. L'eau de pluie peut, selon le type de sol, s'évaporer ou s'infiltrer ; dans certains cas, la structure doit être drainée. L'espace poral des couches

porteuses peut absorber environ 3 % de leur volume en eau, ce qui correspond à peu près à 15 l/m² (soit à un événement pluvieux de 15 minutes d'une période de retour d'un an).

Un autre avantage des revêtements partiellement perméables est leur effet positif sur le microclimat, car, lors des périodes de chaleur, ils peuvent limiter le réchauffement grâce au refroidissement par évaporation. Bien qu'une désimperméabilisation complète du sol ne puisse être réalisée que dans certaines zones, elle devrait être systématiquement envisagée pour les surfaces peu utilisées.

Le développement croissant des constructions souterraines réduit significativement l'effet bénéfique des revêtements perméables en matière de gestion des eaux. Il faut donc se fixer comme objectif l'élaboration de masterplans souterrains, et les considérer comme une tâche de planification stratégique dans les agglomérations denses. Ces plans doivent, tout en tenant compte des différentes exigences d'affectation, garantir des surfaces suffisantes de sol en place pour la gestion des eaux pluviales et l'infiltration nécessaire. Cela profite également à d'autres objectifs de planification importants, tels que des sites arborés capables de durer.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Peu d'épuration des eaux pluviales avant leur infiltration, ce qui est toutefois acceptable pour les routes secondaires peu fréquentées (D)
- Impact des mesures réduit par les constructions souterraines/garages souterrains (C)
- Entretien/service hivernal plus coûteux pour les surfaces compactées à l'eau ou peu stabilisées (C)
- Garantir la protection des eaux souterraines (C)

Un exemple de projet ayant misé systématiquement sur l'infiltration de l'eau et des revêtements poreux est celui de la **Zollhallenplatz à Fribourg-en-Brisgau**⁵⁷. Cette place a été conçue de façon à ce que l'eau qui ne s'infiltra pas directement par le biais des joints des pavés en pierre naturelle ou des îlots de verdure soit acheminée par des rigoles dans un réservoir souterrain protégé en amont par un filtre technique, où elle peut ensuite s'infiltrer doucement sur une longue période (fig. 35). En cas d'épisode pluvieux extrême, la place peut être submergée et retenir jusqu'à 10 cm d'eau. Elle n'est pas raccordée aux canalisations.

En Suisse aussi, l'utilisation de matériaux poreux bénéficie d'une longue tradition. On y rencontre toutes les variantes : projets avec usage de surfaces gravillonnées, revêtements liés mais perméables pour des aires contiguës de circulation ou des places peu fréquentées, gravier-gazon ou encore pavés perméables à l'eau.

À **Oberdorf** dans le canton de Bâle-Campagne par exemple, les places de stationnement des enseignants et l'abri à vélos ont été recouverts du revêtement perméable Saibro (fig. 36). À **Lugano**, dans le canton du Tessin, la voie piétonne a été pourvue du revêtement Resineo (fig. 37). Les parkings ou les voies de tramway végétalisés apportent eux aussi leur contribution (fig. 38 et 39).

Fig. 35 : Fribourg-en-Brisgau, infiltration sur la Zollhallenplatz

Place adaptée aux fortes pluies

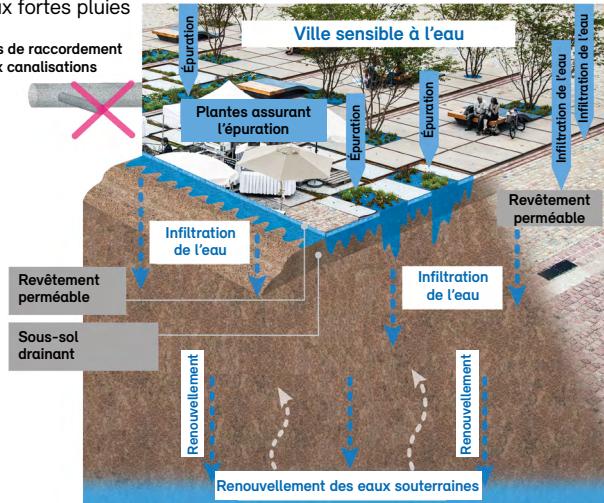


Fig. 36 : Aires contiguës de circulation et préau à l'école secondaire d'Oberdorf (BL)



Fig. 37 : Voie piétonne et parking à vélos à Lugano



Fig. 38 : Horburgstrasse à Bâle, voie de tramway après sa végétalisation

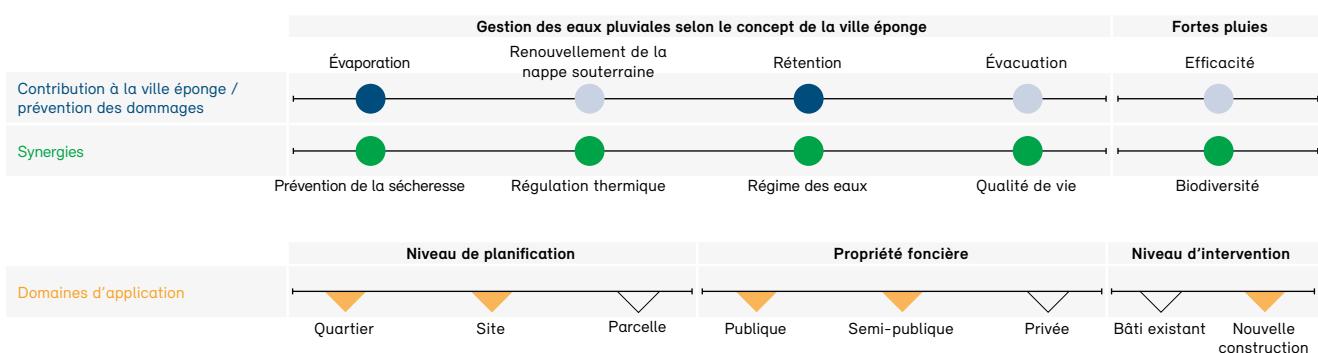


Fig. 39 : Exemple de pavés à joints engazonnés pour les places de stationnement, Lugano Suglio



6.3 Mesures au niveau des plans d'eau et des cours d'eau

M 3.1 Plans d'eau avec fonction supplémentaire de retenue d'eau



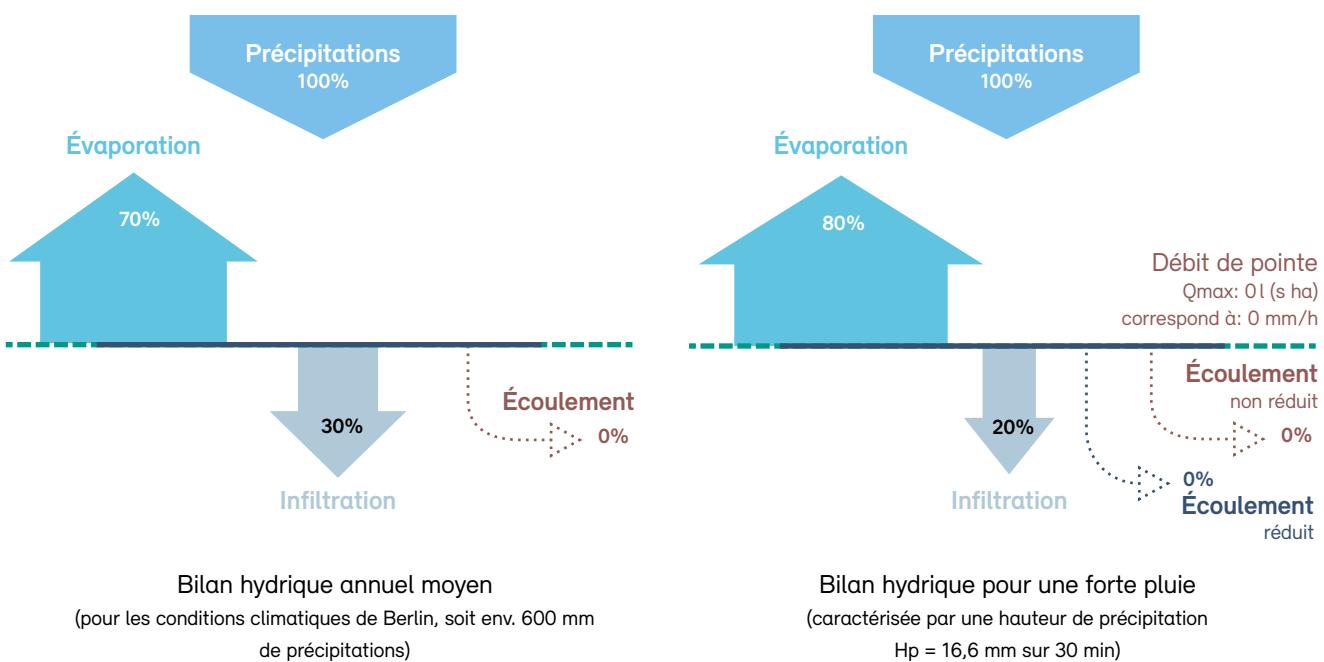
Les plans d'eau existants sont capables de retenir des quantités d'eau supplémentaires dues à de fortes pluies grâce à l'augmentation temporaire de leur niveau d'eau. L'infiltration dans leur zone riveraine et le temps supplémentaire disponible pour l'évaporation renforcent le régime des eaux naturel.

Grâce à leur vaste surface, les lacs et les étangs peuvent facilement offrir d'importants volumes de rétention par une faible augmentation de leur niveau. Ces volumes

servent de réservoirs intermédiaires à écoulement réduit (fig. 40).

Les surfaces de rétention élargies le long des plans d'eau devraient être aménagées dans des dépressions et préservées de toute construction critique. Leur faisabilité dépend donc de la place disponible et de la topographie du terrain. De nombreuses synergies sont possibles avec les zones alluviales proches de l'état naturel ou les zones riveraines inondables, en particulier en matière de biodiversité.

Fig. 40 : Bilan hydrique d'un étang avec surface raccordée de même taille et tranchée de décharge



Si les plans d'eau ouverts constituent un atout dans la gestion des événements pluvieux, ils contribuent également au rafraîchissement de l'espace urbain à travers l'évaporation de l'eau.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Les plans d'eau prennent de la place et peuvent difficilement remplir plusieurs fonctions (D).
- Leur entretien est plus complexe que celui de simples espaces verts (D).
- Ils peuvent être problématiques en matière de sécurité et de santé (délimitation, moustique tigre, etc.) (C).

L'étang de rétention au cœur du **projet de l'écoquartier d'Arkadien à Winnenden³¹, près de Stuttgart** (fig. 41), est un exemple de combinaison réussie entre impératifs fonctionnels et esthétiques. Il crée une atmosphère particulière au sein du quartier, sert d'habitat pour la flore et la faune et peut stocker jusqu'à 90 m³ d'eau de pluie avant que celle-ci ne s'écoule de manière différée dans le cours d'eau voisin (fig. 42). Il est complété par un système de noues et de cuvettes, de sorte que l'ensemble du quartier a pu être réalisé sans aucune canalisation d'évacuation des eaux pluviales.

Un bon exemple suisse de projets de ce type est le **lac aménagé en 2006 dans l'Opfikerpark³² à Opfikon**, dans le canton de Zurich. D'une superficie de 2,3 hectares environ, il est essentiellement alimenté par l'eau s'écoulant des toits des constructions voisines. En cas d'épisode pluvieux extrême, il fait office de bassin de rétention. Au-dessus d'un certain niveau, les eaux pluviales s'écoulent dans la Glatt. Ce lac est un espace naturel et de détente très apprécié, dans lequel

il est même possible de se baigner grâce à la bonne qualité de l'eau.

Le bassin de rétention du **quartier Wigarten³⁶ à Wetzikon**, dans le canton de Zurich, a été aménagé au milieu des années 1990, en même temps que l'équipement et la construction du quartier. Le plan d'évacuation des eaux prévoit un système séparatif pour cette zone. Or la faible perméabilité du sol et la topographie empêchent une bonne infiltration des eaux pluviales, et les cours d'eau voisins, le Vogelsangbach et le Lendenbach, sont déjà saturés. Le bassin de rétention permet de collecter les eaux pluviales tombant sur le quartier et de ralentir leur écoulement vers le cours d'eau. Le quartier est devenu une véritable réserve naturelle d'importance communale grâce sa centaine d'arbres à haute tige, à ses haies et à ses structures périphériques (fig. 43).

Fig. 41 : Quartier Arkadien à Winnenden, plan du site avec l'étang de rétention



Fig. 42 : Exemple d'infrastructure intégrée pour la gestion des eaux pluviales

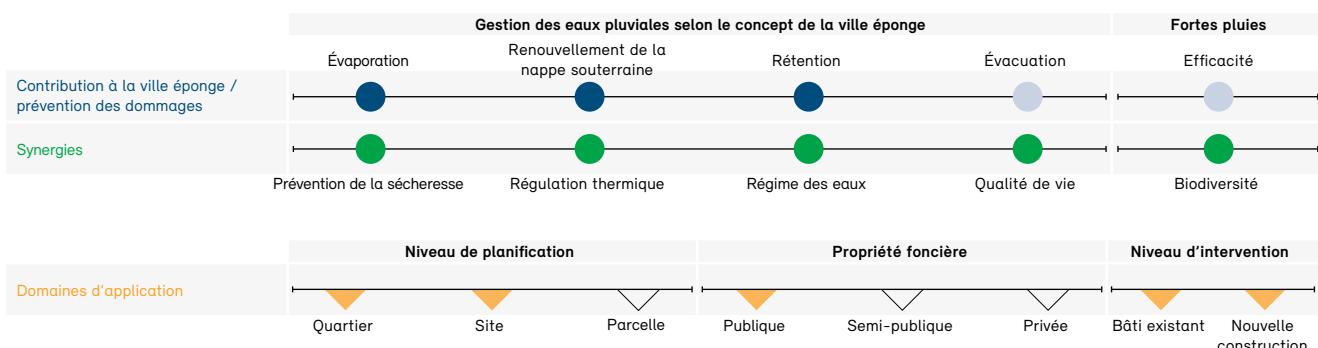


Fig. 43 : Bassin de rétention du quartier Wigarten



6.3 Mesures au niveau des plans d'eau et des cours d'eau

M 3.2 Cours d'eau et revitalisations avec aménagement d'espaces de rétention



Les ruisseaux dont le cours a été rectifié ou mis sous terre ne peuvent pas assumer leur fonction de rétention ou de réduction du débit en cas de fortes précipitations, ou seulement de façon limitée. L'aménagement proche de l'état naturel ou la remise à ciel ouvert des cours d'eau peuvent ralentir la vitesse d'écoulement, créer des zones de rétention et favoriser l'évaporation.

Les cours d'eau sont de véritables artères vitales qui ne profitent pas seulement à la gestion de l'eau dans l'espace urbain. Ils doivent être intégrés ou réintégrés systématiquement avec leurs fonctions naturelles dans le réseau hydrographique local. Les surfaces agricoles ou les autres surfaces voisines temporairement disponibles devraient être prises en compte dans les réflexions afin d'offrir des volumes supplémentaires pour la réduction de l'écoulement. L'objectif est également de mettre ces volumes

à disposition de façon décentralisée afin de diminuer le risque d'inondation en aval.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Les espaces de rétention dans les zones urbaines sont souvent difficilement disponibles et onéreux (C).
- Il faut procéder à un arbitrage entre espace naturel et de détente d'une part et volume de rétention et sécurité d'autre part (C).

Le tronçon de l'**Alna** mis sous terre à **Groruddalen**⁷⁰, une zone industrielle de la banlieue d'**Oslo**, devait être remis à ciel ouvert, tout en aménageant un maximum de volumes de rétention, mais aussi des habitats pour la faune et la flore, où les habitants pourraient se promener et se ressourcer. C'est ainsi qu'a été créée une vallée fluviale, dans laquelle l'**Alna** dispose de suffisamment d'espace

Fig. 44 : Plan de remise à ciel ouvert de l'**Alna** à Oslo



Fig. 45 : Piscine écologique avec rétention et trop-plein



pour s'écouler en méandres (fig. 44). Le projet comportait également une piscine écologique (fig. 45). Toutes les surfaces végétalisées et aquatiques peuvent être inondées, ménageant ainsi des volumes de réserve pour les événements de fortes pluies.

Au cœur de **Singapour** se trouve le **parc de Bishan – Ang Mo Kio**⁷⁹, traversé par le Kallang River, qui relie à la mer les lacs utilisés pour l'alimentation en eau potable. Autrefois, le cours d'eau s'écoulait à côté du parc, dans un canal en béton destiné à évacuer les pluies subtropicales le plus rapidement possible vers la mer. Dans le cadre du réaménagement du parc selon la stratégie consistant à adopter une gestion intégrée des eaux tout en procurant de l'espace aux personnes, à la faune et à la flore, les digues du canal ont été démantelées afin de permettre au cours d'eau de traverser le parc. Le Kallang River offre aujourd'hui un habitat attrayant et s'écoule au milieu d'un

vallon capable de se remplir en cas d'événements pluvieux importants (fig. 46 et 47).

L'**Albisrieder Dorfbach**⁴⁰ à Zurich s'écoule à ciel ouvert sur une longue distance à travers le quartier éponyme, collectant les eaux pluviales issues de l'évacuation des eaux urbaines. Il est mis sous terre pour passer en dessous des routes. Le passage sous la Rautistrasse a sciemment été dimensionné de manière à ce que le parc situé en amont soit temporairement submergé en cas de précipitations (fig. 48 et 49).

Fig. 46 : Le Kallang River renaturé dans le parc de Bishan – Ang Mo Kio en cas de niveau d'eau normal



Fig. 47 : Le Kallang River en cas d'épisode pluvieux vicennal

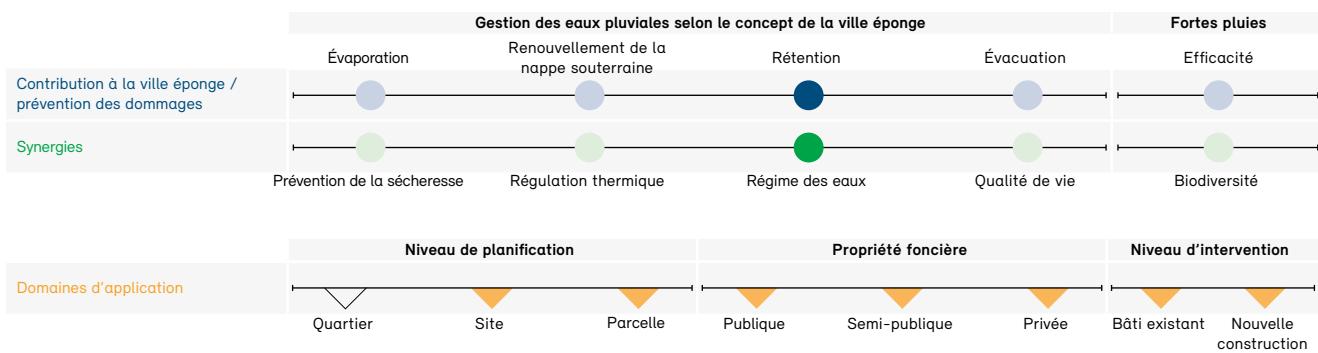


Fig. 48 et 49 : L'Albisrieder Dorfbach en temps normal et à la suite d'un épisode pluvieux



6.4 Mesures dans le milieu non bâti et l'espace routier

M 4.1 Noues et cuvettes



Une solution efficace pour favoriser une infiltration et une évaporation décentralisées sont les noues et les cuvettes végétalisées : sèches en temps normal, celles-ci peuvent stocker de l'eau en cas de fortes précipitations. Elles devraient, dans l'idéal, se vider en l'espace de 24 heures pour éviter les conflits d'objectifs.

Une manière simple, mais tout aussi efficace que naturelle, de gérer les eaux pluviales consiste à aménager des noues ou des cuvettes, c'est-à-dire des dépressions végétalisées, juste à côté des surfaces imperméabilisées, des bâtiments ou de l'espace routier. Les directives du VSA et celles des cantons relatives à l'éventuelle nécessité d'épurer les eaux pluviales doivent être respectées. Les noues et les cuvettes servent à l'infiltration décentralisée de l'eau collectée lorsque l'on dispose d'un espace moyen. Le rapport entre la superficie de la noue ou de la cuvette et celle de la surface raccordée devrait avoisiner 1:10. Il doit être adapté au cas par cas en fonction de la capacité d'infiltration du sol et de la fréquence ou de l'intensité des précipitations. En dehors des épisodes

pluvieux, les noues et les cuvettes sont sèches et végétalisées, en général au moyen d'une couche d'herbe. Leur évacuation s'effectue grâce à l'infiltration de l'eau à travers les couches supérieures du sol et à l'évaporation. Les noues et les cuvettes doivent se vider complètement en l'espace de 24 heures maximum, ce qui nécessite un sol le plus perméable possible. Si le sol n'est pas assez perméable, elles doivent pouvoir se vider lentement au moyen de régulateurs de débit. Le volume de stockage peut être augmenté sous la surface du terrain au moyen de bassins de rétention. On parle dans ce cas de noue avec bassin de rétention. De tels bassins permettent d'économiser de la surface en stockant l'eau sous la noue ou la cuvette et de différer son infiltration dans le sol. Grâce à des écoulements supplémentaires à débit régulé, les bassins de rétention peuvent être aménagés même si le sol est peu perméable.

Il existe un autre type de dépressions, moins répandu : il s'agit des cuvettes d'évaporation. Étanchéifiées, elles servent

Fig. 50 et 51 : Parc des Guillaumes, servant à la fois d'espace naturel, de détente et de rétention d'eau



exclusivement à différer l'évacuation et l'évaporation des eaux de surface. Elles sont surtout employées à côté des routes.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Exigences élevées en matière de technique de construction et d'entretien pour garantir durablement la multifonctionnalité (D)
- Restrictions d'utilisation en cas de pluie (C)

À **Noisy-le-Sec en France**, le **Parc des Guillaumes**⁷³, qui serpente tel un cours d'eau vert à travers le quartier, met à disposition de vastes cuvettes pour l'infiltration et l'évaporation de l'eau ruisselant depuis les habitations et la zone commerciale voisines (fig. 50). Les zones périphériques du parc sont très utilisées (fig. 51), et les surfaces naturelles situées au centre peuvent également offrir un espace de détente lorsqu'il ne pleut pas.

La gestion décentralisée des eaux pluviales, tout à fait exemplaire, du projet pilote pour les 25 hectares du **quartier Les Vergers**³¹ à **Meyrin**, dans le canton de Genève, a été rendue possible grâce au Plan Climat cantonal, dont la mesure no 5.4 vise à « Renforcer les mesures liées au concept de l'Eau

en Ville ». Là encore, on a recours à des noues dans l'espace routier et près des habitations (fig. 52).

La **Turbinenplatz**⁴⁴ est un espace libre central au sein de l'ancienne zone industrielle d'Escher-Wyss à **Zurich**. Les eaux pluviales provenant des surfaces recouvertes et des rues avoisinantes sont acheminées par des rigoles d'évacuation aménagées en surface jusqu'à des noues plantées de fleurs (fig. 53). Afin de protéger le parc technologique attenant, ces dernières sont pourvues d'un trop-plein de sécurité (dimensionné pour un épisode pluvieux décennal) déversant l'excédent d'eau dans les canalisations, pour le cas où le système d'infiltration et d'évaporation, combiné au volume de rétention des noues, s'avérerait saturé.

Pendant des années, la **place Max Bill**⁴³ à Zurich était parsemée de flaques, voire de véritables mares, en cas de fortes de pluies (fig. 54). Il arrivait même d'y voir des canards. Pour résoudre ce problème, une dépression d'infiltration végétalisée a été créée en 2018 afin d'absorber le volume d'eau lors des fortes précipitations. Cette mesure a été accompagnée de la plantation de 30 nouveaux arbres (fig. 55).

Fig. 52 : Noue au sein des jardins du quartier Les Vergers



Fig. 53 : Sur la Turbinenplatz, des noues plantées de fleurs absorbent l'eau en cas de fortes précipitations

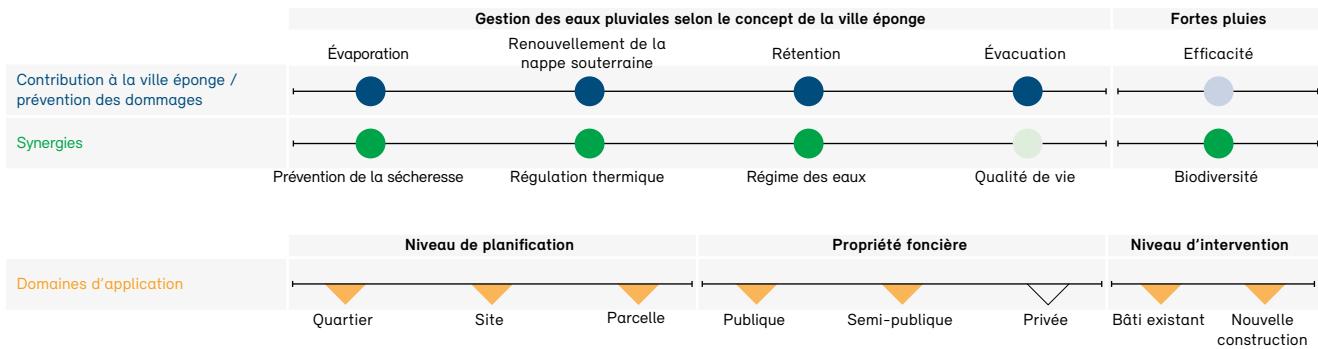


Fig. 54 et 55 : La place Max Bill avant et après son réaménagement



6.4 Mesures dans le milieu non bâti et l'espace routier

M 4.2 Fossés ouverts



Contrairement aux noues, les fossés ouverts charrient généralement de l'eau. Ils l'évacuent, tout en servant à sa rétention et à son évaporation. Ils peuvent constituer de précieux espaces naturels et de détente.

Si la plupart des fossés sont en eau, ils peuvent aussi être utilisés à sec (en tant que noues longitudinales). Tout comme les cuvettes d'évaporation, ils servent principalement à évacuer l'eau, à accroître son évaporation depuis la surface et par le biais des plantes, à retenir l'eau grâce à une variation de niveau et, en fonction de la nature du sol, à assurer l'infiltration.

Les fossés simples sont connus depuis la nuit des temps. D'un coût d'aménagement inférieur à celui de solutions techniques telles que des canalisations, ils permettent en outre de profiter d'une présence visible de l'eau dans l'espace urbain,

tout en offrant un rafraîchissement accru grâce à l'évaporation, ainsi qu'un habitat pour la faune et la flore.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

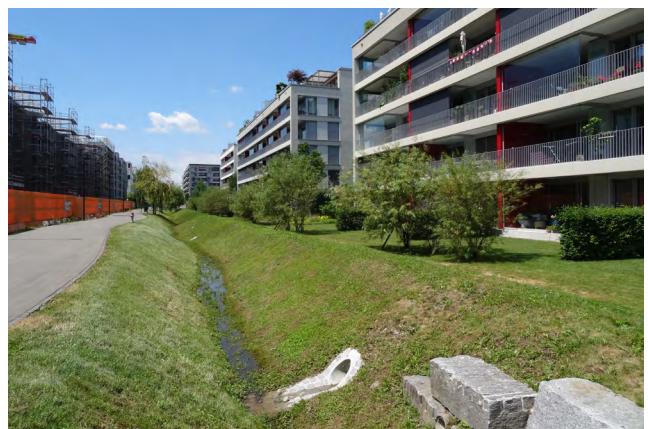
- Nécessité de garantir l'apport d'eau, car l'évaporation est importante en été (D)
- Sécurité et intégration au paysage urbain souvent problématiques (D)
- Limitation du développement de moustiques par le mouvement de l'eau et la présence de prédateurs (D, C)

À Hambourg, l'ancien hippodrome du quartier de Farmsen⁵⁶ a été transformé en un écoquartier résidentiel. Un canal reprend la forme ovale de la piste de trot, devenant ainsi un élément aquatique central de l'espace non bâti (fig. 56). Une partie des eaux pluviales est directement déversée vers le canal, dont le niveau peut aug-

Fig. 56 : Parc résidentiel de l'ancien hippodrome avec son canal d'eau de pluie dans le quartier de Farmsen



Fig. 57 : Les fossés charrient l'eau de pluie ruisselant des immeubles jusqu'au lac de l'Opfikerpark.



menter de 20 cm en cas de fort épisode pluvieux afin de retenir l'eau.

Les fossés sont des éléments de transport des eaux pluviales faciles à aménager. Au sein du Glattpark à Opfikon, dans le canton de Zurich, ils acheminent l'eau de pluie ruisselant des toits jusqu'au lac situé dans l'**Opfiker-park**³² (cf. également point 3.1). Là encore, il est important de planifier cet élément suffisamment en amont pour qu'il soit bien intégré dans le milieu non bâti : dans la figure 57, le fossé pourrait être beaucoup moins creusé si le conduit d'évacuation des eaux pluviales débouchait au niveau du rez-de-chaussée et non sous la dalle de l'immeuble.

Dans l'**aire Labitzke à Zurich**, la gestion des eaux pluviales a été prise en compte dès le début et intégrée dans l'aménagement de l'espace extérieur (fig. 58). Des fossés de rétention creusés tout autour de l'aire récupèrent l'eau de pluie des surfaces environnantes stabilisées, puis permettent son évaporation grâce à une végétation composée de roseaux et d'herbe, ainsi que son infiltration dans les graviers de la Limmat (fig. 59). Ce dispositif rend inutile un raccordement aux canalisations.

Fig. 58 : Dans l'aire Labitzke, l'eau de pluie est déviée vers des fossés de rétention et des surfaces vertes

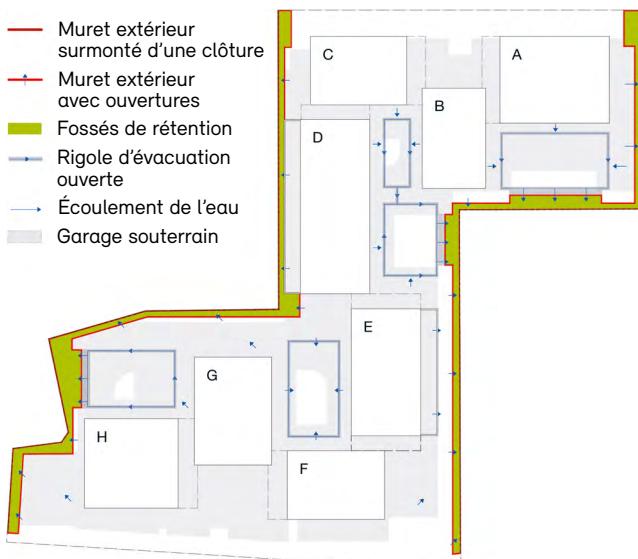
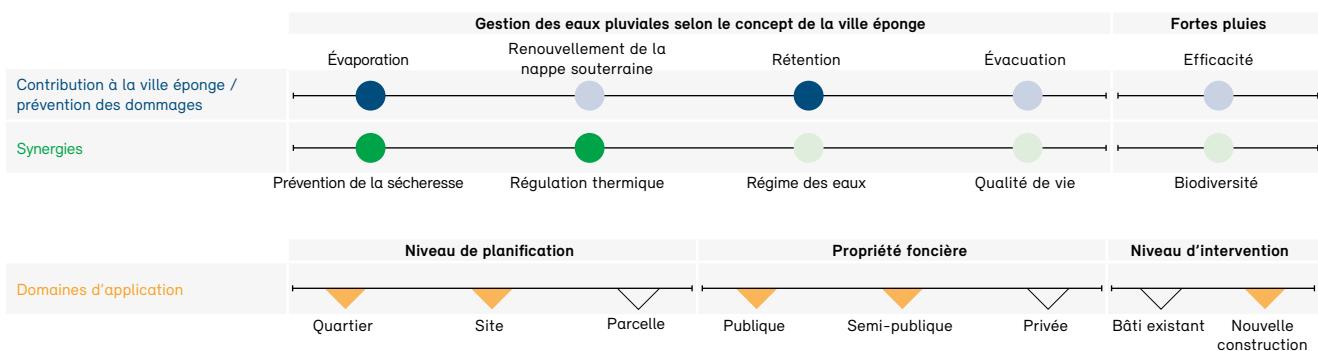


Fig. 59 : Fossés ouverts destinés à l'évaporation et à l'infiltration



6.4 Mesures dans le milieu non bâti et l'espace routier

M 4.3 Fosses de plantation intégrant la gestion des eaux



Placées sous les arbres, les fosses de plantation intégrant la gestion des eaux aident à boucler les cycles hydrologiques localement en fournissant des surfaces pour la retenue et l'infiltration de l'eau. Parallèlement, elles améliorent les conditions de vie des arbres en ville et accroissent leur efficacité contre la chaleur en renforçant la projection d'ombre et l'évaporation.

Le niveau des emplacements d'arbres peut être abaissé volontairement afin d'en faire des surfaces de rétention et d'infiltration. L'eau s'infiltra à travers les couches du sol parcourues de racines jusqu'à un système de structures réservoirs (fosses de plantation intégrant la gestion des eaux). Ces dernières (dont le fond est étanchéifié) constituent une réserve d'eau supplémentaire pour l'arbre. L'eau

peut y être stockée afin d'être absorbée et évaporée par l'arbre en période de sécheresse. Ces fosses peuvent également être prolongées de façon linéaire sous les voies piétonnes ou élargies au niveau des places de stationnement situées le long des routes, offrant ainsi un vaste potentiel pour la gestion des eaux pluviales.

En été, les arbres urbains ont un effet positif sur le micro-climat grâce à l'ombre qu'ils procurent. Parallèlement, durant la période de végétation, ils affichent le plus grand potentiel d'évaporation parmi tous les éléments constitutifs des mesures d'infrastructure verte et bleue. Ils peuvent donc contribuer non seulement à réduire la chaleur, mais aussi à gérer de façon décentralisée les eaux pluviales.

Fig. 60 : Principe des fosses de plantation intégrant la gestion des eaux à Hambourg-Harburg

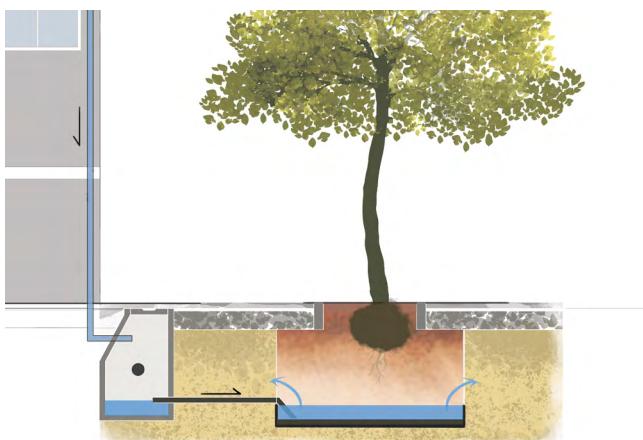
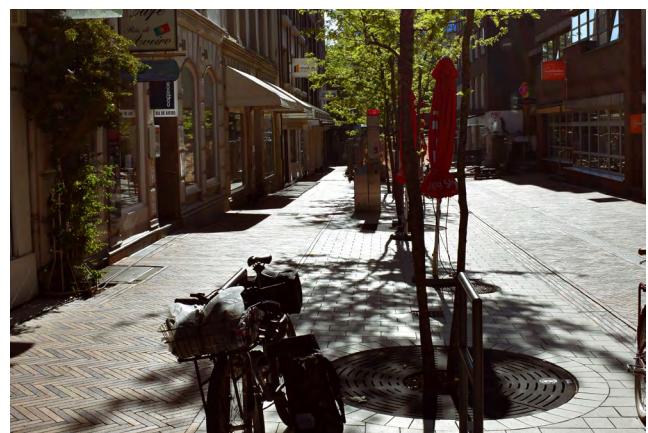


Fig. 61 : Fosses de plantation dans la rue



Ces fosses de plantation améliorent considérablement les conditions de vie des arbres en ville, ce qui est très important : en effet, ce n'est qu'à partir d'un certain âge que les arbres développent pleinement leur potentiel en matière d'évaporation, d'ombrage et d'habitat.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Mode de construction encore relativement jeune et peu étudié (D)
- Problèmes concernant la gestion de l'eau stagnante au niveau de l'espace racinaire et l'apport de polluants dans le sol (D)
- Concurrence pour les surfaces souterraines, besoin en infrastructures (C)

Un exemple très actuel, développé et encadré par l'université HafenCity de Hambourg, est celui des fosses de plantation intégrant la gestion des eaux de la rue **Höltwiete à Hambourg-Harburg**⁶⁰. Dans cette zone piétonne du centre-ville, l'eau en provenance des toits des immeubles bordant la rue est acheminée vers plusieurs fosses de plantation (fig. 60 et 61). Un récupérateur étanche inséré

dans le sol permet de stocker environ 1000 litres d'eau par arbre. Cette eau est ensuite lentement absorbée et évaporée par l'arbre. Un suivi approfondi et des capteurs intégrés doivent permettre d'étudier, au cours des prochaines années, la rétention d'eau, la stabilité du substrat, la teneur en oxygène et en CO₂, ainsi que le stress hydrique de l'arbre.

Un projet de fosses de plantation intégrant la gestion des eaux est également en cours de planification dans la **Scheuchzerstrasse à Zurich**⁴⁵. L'installation d'une nouvelle conduite de chauffage à distance et l'aménagement d'une piste cyclable sont l'occasion de repenser également les plantations d'arbres et la gestion des eaux superficielles. Afin, d'une part, de fournir de meilleurs moyens de subsistance aux arbres et, d'autre part, d'assurer sur place l'évaporation et l'infiltration des eaux pluviales, de généreux volumes de substrat sont disposés en partie sous le trottoir et reliés le plus possible dans le sens longitudinal (fig. 62 et 63). Une couche étanche permet de stocker et de retenir l'eau de pluie ruisselant depuis la route et le trottoir.

Fig. 62 : Coupe longitudinale des fosses de plantation de la Scheuchzerstrasse, avec des noues partiellement reliées

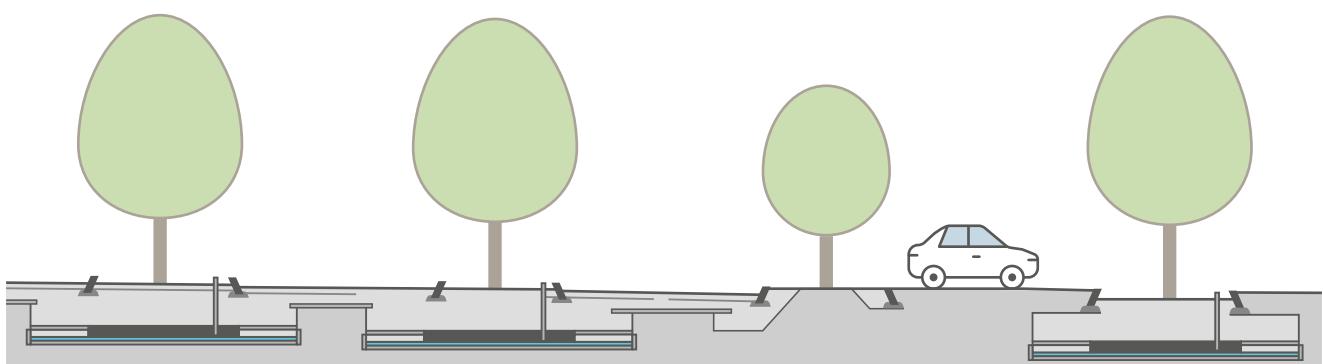
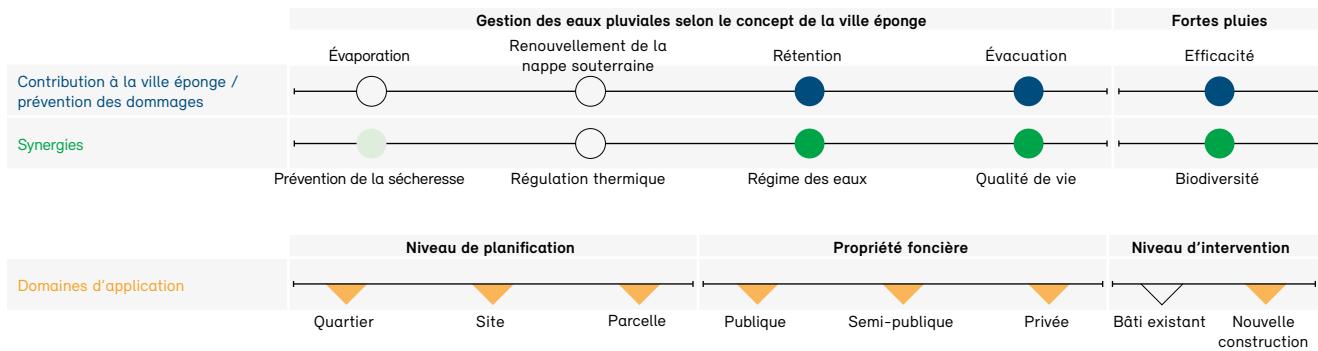


Fig. 63 : Vue verticale



6.4 Mesures dans le milieu non bâti et l'espace routier

M 4.4 Bassins de crue



Les bassins de crue sont, à la différence des noues et des cuvettes décentralisées, de grandes dépressions du terrain aménagées dans le milieu non bâti d'une agglomération. Elles servent d'installations de protection destinées à décharger les cours d'eau lors des crues, car elles peuvent être submergées en cas d'événements extrêmes.

Les bassins de crue sont des dépressions de terrain de grande dimension, naturelles ou artificielles et le plus souvent longitudinales, qui servent à atténuer directement les dommages en cas de crue et d'inondation. Généralement beaucoup plus grands et plus profonds que les noues et les cuvettes décentralisées, ils sont aménagés en tant qu'installations de protection autour de biens-fonds ou de territoires urbanisés, ou encore parallèlement à des cours d'eau. En cas de crue, ils sont les premiers espaces à être inondés et ils absorbent ainsi une partie de la crue avant qu'elle ne provoque des inondations incontrôlées. Ces installations de protection réutilisent souvent des éléments existants du paysage ou des structures historiques auxquelles on affecte aujourd'hui un nouvel usage. Mais il peut aussi s'agir de dépressions créées spécifiquement à cet effet. Leur fonction repose sur une vaste analyse des paramètres hydrologiques et des écoulements en cas d'épisodes de fortes pluies.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Nécessité de prendre en compte à grande échelle les propriétés topographiques et les voies d'écoulement (D)
- Planification anticipative d'un usage multifonctions (D)
- En cas de planification de grande ampleur, nécessité de garantir la surface en temps opportun (D)
- Concurrence au niveau des surfaces (C)

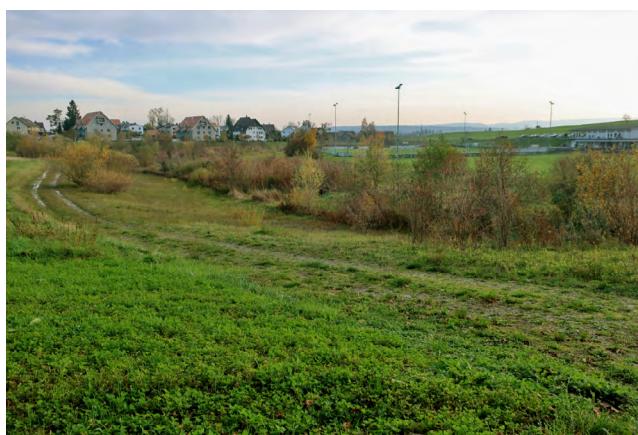
Un bon exemple de bassin de crue est celui de **Landshut**⁶⁴ en Bavière. Il sert avant tout à protéger le centre historique des inondations en cas de crue de l'Isar, mais reçoit également les eaux pluviales excédentaires en cas de fortes précipitations (fig. 64).

Fig. 64 : Bassin de crue de Landshut



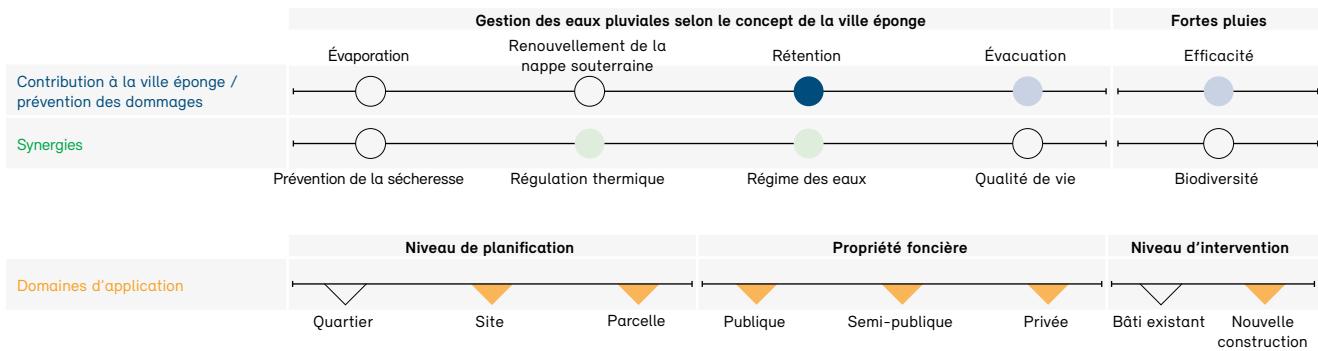
Par le passé, l'**Abistbach**³⁰ a souvent provoqué des inondations dans la commune de **Marthalen**, dans le canton de Zurich. Conformément au plan communal de protection contre les crues, lors de l'aménagement du cours d'eau, la capacité de débit n'a pas été dimensionnée en fonction du débit de crue prévisible, car la superficie requise près du village pittoresque lui aurait fait perdre son cachet. Un bassin a donc été construit pour atténuer la pointe de crue de façon à ce que la capacité d'écoulement de l'Abistbach au sein du village suffise. Les débits importants sont endigués et retenus dans le bassin de crue, qui est vidé en quelques heures après le début de la décrue. Deux terrains de football sont intégrés à celui-ci : grâce à des digues de faible hauteur, ils sont protégés contre les petites crues et ne sont inondés qu'en cas d'épisode de grande ampleur peu fréquent. Quant à la partie du bassin régulièrement submergée, elle s'est transformée en une précieuse zone humide traversée par le cours d'eau revitalisé (fig. 65).

Fig. 65 : Le bassin de crue de Marthalen



6.5 Mesures dans le sous-sol

M 5.1 Tranchées drainantes



En tant qu'ouvrages souterrains, les tranchées drainantes sont des réservoirs intermédiaires flexibles. Principalement utilisées en cas de manque de place, de sol peu perméable ou de niveau élevé des eaux souterraines, elles sont combinées autant que possible avec des solutions en surface.

Les tranchées drainantes sont des réservoirs souterrains enrobés d'un géotextile ou d'une bâche, qui prennent parfois la forme d'installations d'infiltration composées de matériaux formant des cavités (fig. 66). Il peut s'agir par exemple d'éléments en plastique (espace poral disponible supérieur à 90 %) ou de gravier homogène (espace poral disponible de 30 % max.) (fig. 67). Le ruissellement peut y être stocké provisoirement et, après avoir été fil-

tré et épuré conformément aux directives du VSA ou des cantons, s'infiltrer dans le sous-sol sur une grande étendue. Les tranchées drainantes peuvent être combinées à des installations d'infiltration en surface telles que des noues ou des emplacements d'arbres. Lorsqu'elles sont en sus équipées d'un tuyau de drainage avec régulation de l'écoulement, elles peuvent être employées même dans des sols peu perméables ou lorsque le niveau des eaux souterraines est trop élevé. En tant qu'installation mono-fonctionnelle nécessitant une surveillance particulière, les tranchées drainantes ne devraient être utilisées que si les autres mesures superficielles de gestion des eaux pluviales s'avèrent impossibles ou insuffisantes.

Fig. 66 : Construction d'une tranchée drainante



Fig. 67 : Les couches inférieures sont constituées d'éléments en plastique (utilisation comme eau d'extinction) et les autres couches, de lave (espace poral élevé)

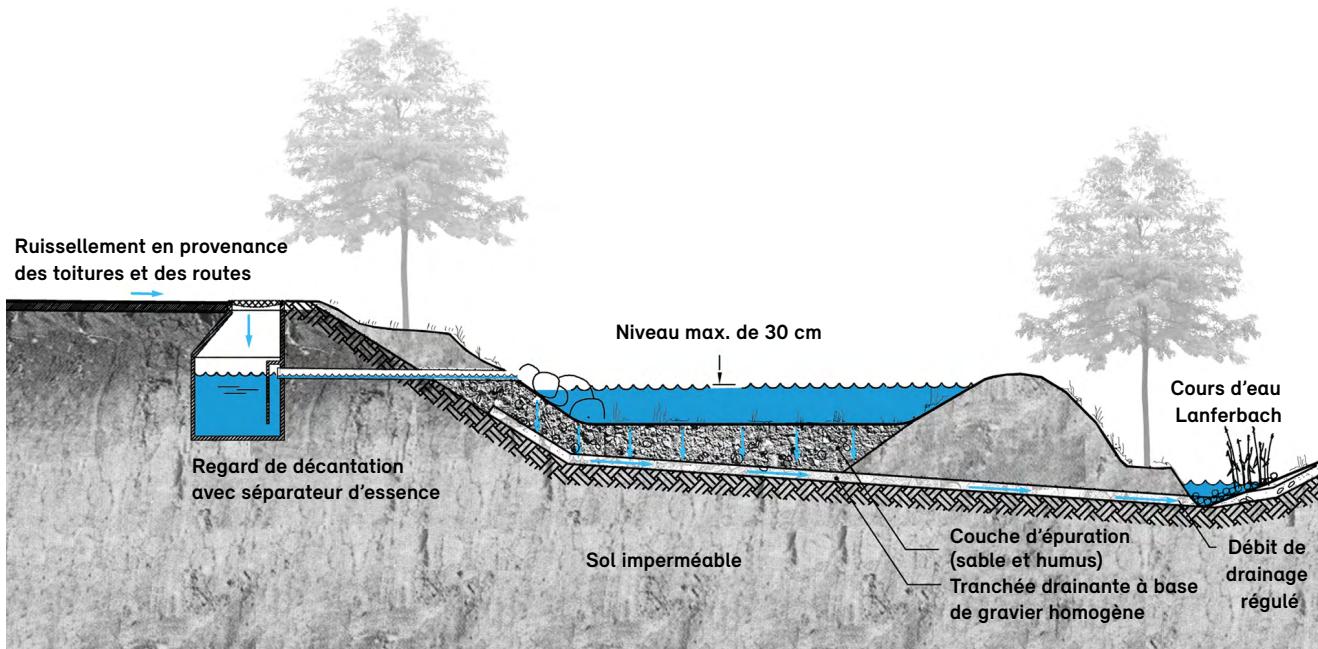


Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- À n'utiliser qu'après avoir envisagé toutes les mesures en surface (D).
- Ouvrage facile à construire, mais uniquement artificiel et souterrain, de sorte que peu de synergies avec d'autres domaines que l'évacuation des eaux urbaines sont possibles (C).

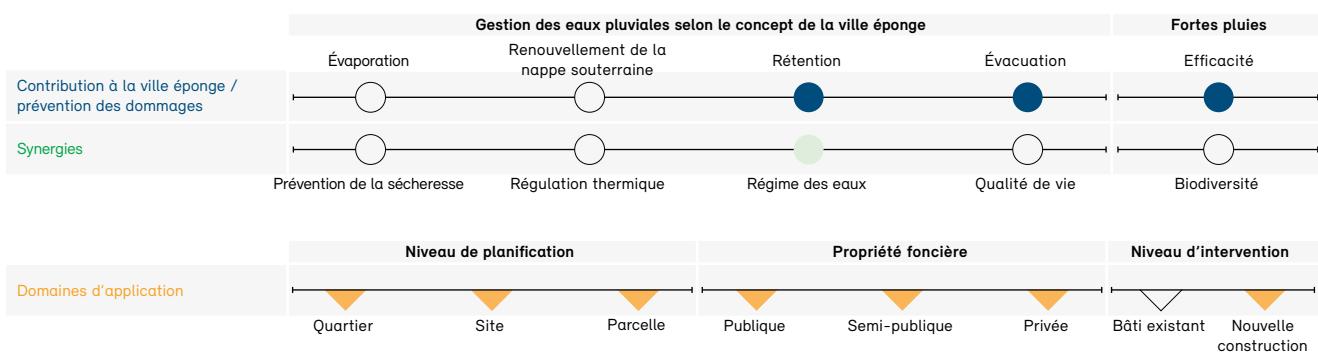
Les tranchées drainantes peuvent être très bien combinées aux noues. De cette manière, l'eau épurée par le sol est acheminée dans les tranchées et peut ensuite soit s'infiltrer, soit être évacuée vers le cours d'eau récepteur (fig. 68). À **Gelsenkirchen**, en **Rhénanie-du-Nord-Westphalie**, les eaux en provenance de l'agglomération sont gérées et épurées par le biais d'un tel système, et alimentent ainsi de façon irrégulière le cours d'eau **Lanferbach**⁵⁸. Cela a permis l'apparition d'un nouveau biotope humide.

Fig. 68 : Coupe longitudinale d'une nouse avec tranchée drainante



6.5 Mesures dans le sous-sol

M 5.2 Bassins de rétention



Les bassins de rétention ont pour fonction de recueillir l'eau pour une durée limitée en cas d'épisode de fortes pluies afin d'affaiblir le débit de pointe. Le reste du temps, ils sont à sec et n'ont pas d'autre usage.

Les bassins de rétention employés dans l'espace urbain sont des constructions artificielles de grande taille, le plus souvent souterraines. (Les bassins de rétention en surface, généralement utilisés pour l'agriculture et courants dans l'aménagement de cours d'eau, sont traités dans la mesure M 1.1.) En cas d'épisode de fortes pluies, l'eau est collectée centralement dans ces bassins. Après le déclin de l'épisode pluvieux, elle s'écoule de manière contrôlée de façon à vider les bassins et à rendre leur volume de stockage de nouveau disponible. La planification en amont de tels volumes permet souvent de les aménager facilement et à moindres frais. Par exemple, il est possible de mettre à profit des travaux d'excavation devant de toute façon être

Fig. 69 : Coupe schématique du garage souterrain avec le volume de rétention



effectués ou d'exploiter des volumes de construction peu utilisables autrement. Il est également envisageable de chercher des solutions au-delà des limites de l'immeuble ou du bien-fonds et de créer des bassins de rétention centralisés, qui peuvent parfois être mis en place plus facilement et à moindres coûts. Les bassins de rétention sont mono-fonctionnels et ne présentent quasiment pas de synergies.

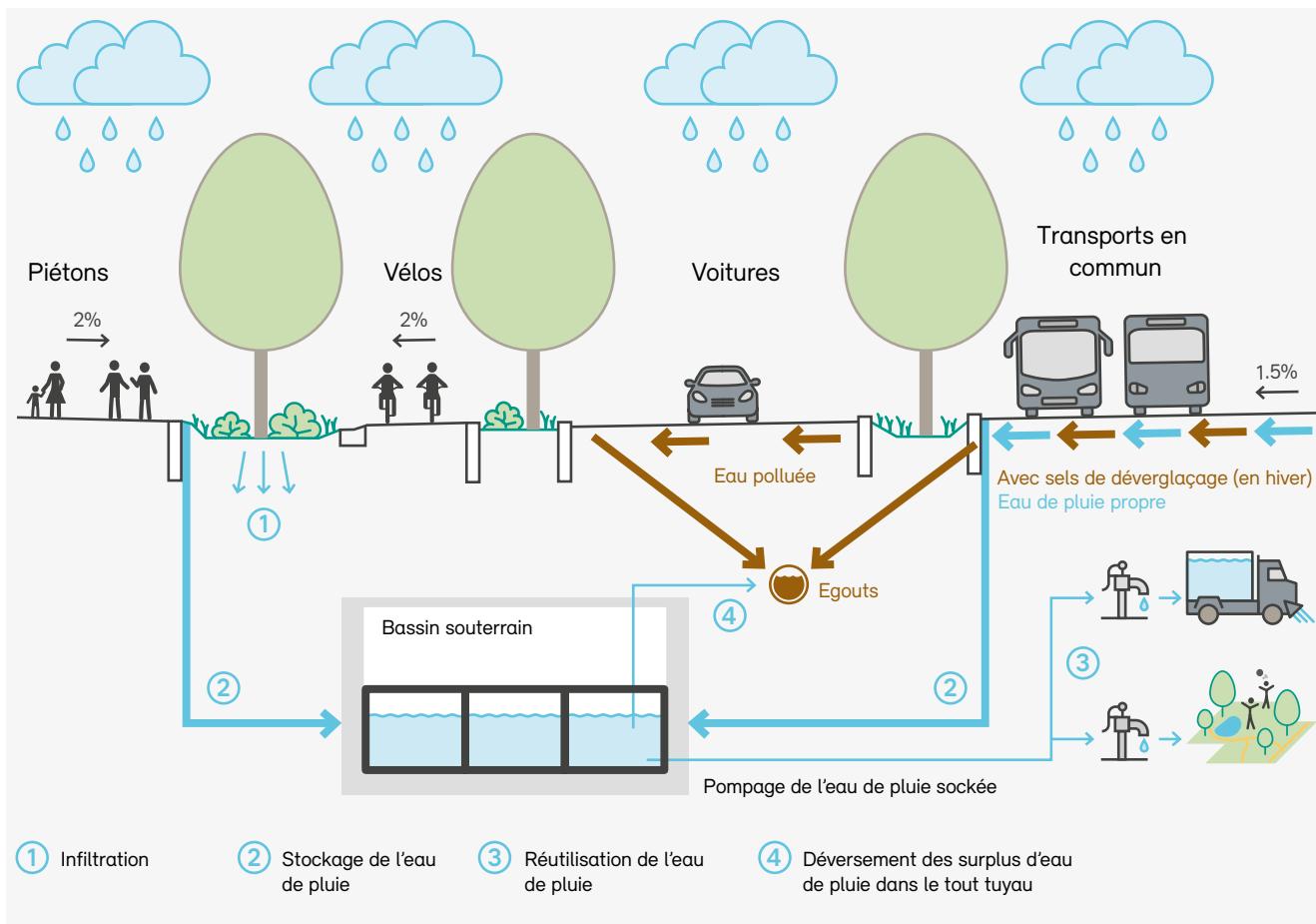
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Réservoirs souterrains monofonctionnels à ne mettre en œuvre qu'en dernier recours (D)
- Rechercher des synergies pour l'utilisation de l'eau (D)
- Besoin d'espace et concurrence au niveau des utilisations dans le sous-sol (C)
- Nécessité de souperer les atteintes aux eaux souterraines (D, C)

À Rotterdam⁷⁷, la construction d'un garage souterrain pour le parc des Musées a été l'occasion d'aménager, en prévision des épisodes de fortes pluies, un bassin de rétention qui faisait défaut jusqu'alors (fig. 69). Situé sous la rampe d'accès, il offre un volume de rétention d'environ 10 000 m³.

À Lyon, l'ancienne autoroute urbaine de la **rue Garibaldi**⁶⁶ a été transformée en une route urbaine normale. Toutes les surfaces adjacentes telles que les voies piétonnes et les places ont été conçues de façon à ce que l'eau de pluie soit évacuée vers des nœuds d'infiltration, et l'eau polluée en provenance de la chaussée vers les égouts. En cas de pluies importantes ou très importantes, l'excédent d'eau remplit des bassins de rétention aménagés à partir d'an-

Fig. 70 : Transformation des passages souterrains en bassins de rétention

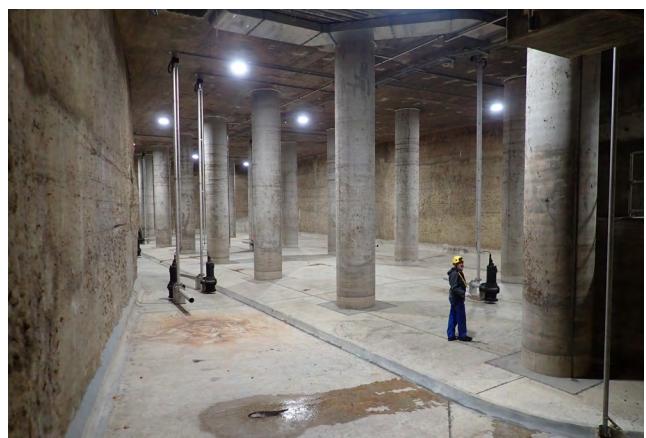


ciens passages souterrains (fig. 70). Cette eau est utilisée pour nettoyer les rues et arroser les espaces verts.

Les bassins de rétention font partie des infrastructures onéreuses construites notamment dans la seconde moitié du XX^e siècle et que presque plus personne ne remarque de nos jours. Si « sitem-insel », le centre de compétences médicales de recherche et de développement mis en service en 2019 à **Berne**, est un projet phare, peu de monde en revanche sait qu'il se trouve au-dessus du bassin de rétention de la Zieglerstrasse. Créé en 1974 et d'une capacité utile de 6000 m³, soit environ le volume d'une salle de gymnastique de taille moyenne (fig. 71), ce bassin a été aménagé parce que les débits maximaux affluant vers l'Inselplatz étaient bien supérieurs à la capacité d'évacuation et qu'un agrandissement des canalisations était impossible en raison du manque de place dans la Zieglerstrasse. Le bassin de rétention réduit le débit et stocke l'excédent d'eau jusqu'à ce que le réseau de canalisation

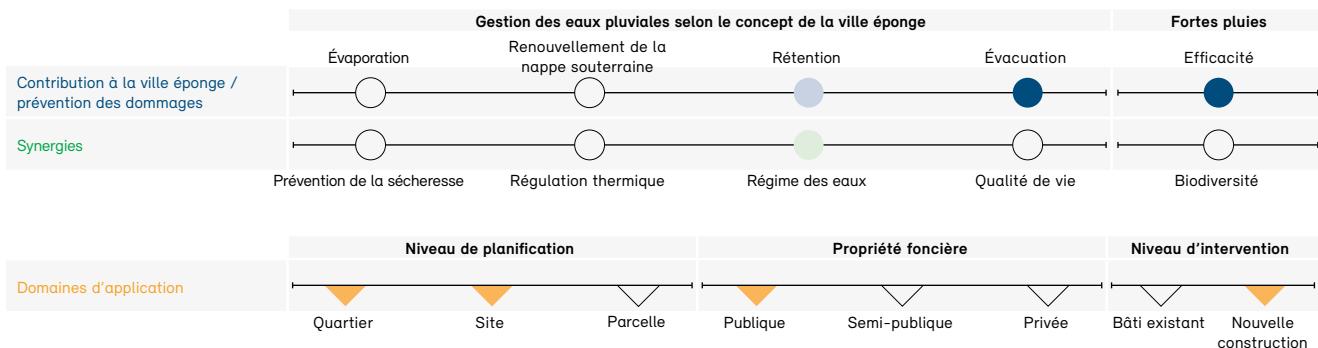
affiche de nouveau la capacité requise. Le volume du bassin est prévu pour un événement pluvieux décennal. En cas de surcharge, un trop-plein de sécurité évacue l'eau vers les canalisations. Par nature, le bassin de rétention ne recueille de l'eau que quelques fois par an.

Fig. 71 : Bassin de rétention de la Zieglerstrasse



6.5 Mesures dans le sous-sol

M 5.3 Canalisations / canaux de stockage



L'utilisation du volume de rétention des canalisations peut compléter judicieusement les systèmes installés en surface et apporter à moindres frais des sécurités supplémentaires pour les épisodes de fortes pluies.

Les conduites des canalisations sont un moyen rapide et efficace d'évacuer les eaux pluviales. Ces systèmes éprouvés ne sont pas toujours entièrement exploités et peuvent donc constituer un complément pertinent aux systèmes de surface, en particulier en tant qu'installations de décharge. Si le système d'évacuation en surface atteint ses limites de capacité, l'excédent d'eau peut être évacué dans les canaux de stockage afin d'éviter ou de limiter les inondations dans l'espace urbain.

En particulier dans les grandes villes, les vastes réseaux de canalisations présentent d'importants potentiels de rétention, qu'un contrôle judicieux pourrait permettre d'exploiter à un coût raisonnable.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Complexité de la saisie des données, de la planification et du dimensionnement (D)
- Nécessité de développer un dispositif de contrôle sans interrompre l'exploitation (D)
- Risque que ces modifications d'un système qui fonctionne bien dans l'ensemble génèrent de nouveaux problèmes (C)

Le projet de recherche KURAS⁸³ (concept pour une exploitation urbaine des eaux pluviales et des systèmes d'évacuation des eaux) mené à Berlin propose de gérer les barrages de canalisation équipés d'un contrôle motorisé

de manière à mettre à disposition plus de volume de stockage dans les canalisations en cas de fortes pluies. Une simulation hydraulique du réseau de canalisation a permis de déterminer les meilleurs emplacements pour ces barrages. Si la phase de test est encore en cours, il a déjà pu être prouvé que les canalisations berlinoises présentent plusieurs milliers de mètres cubes de volumes de stockage non utilisés : un potentiel pouvant être exploité facilement.

Dans la commune de **Köniz**, dans le canton de Berne, le bassin de décharge des eaux pluviales (BDP) Morillon assure le traitement préalable des eaux mélangées avant leur déversement dans l'Aar en cas de fortes précipitations. En raison de la pente du canal de près de 4 % dans le tronçon inférieur, les eaux à évacuer arrivant dans le bassin développent une énergie qui, en cas de surcharge de ce dernier (un cas de figure qui ne s'est pas encore produit), pourrait endommager l'ouvrage et entraîner des

Fig. 72 : Canal d'aménée à Köniz avec dispositif de régulation. Le tube noir contient une sonde destinée à mesurer le niveau d'eau



fuites d'eau. Un risque qui menace les biens-fonds situés sur les pentes surplombant l'Aar. Afin de réduire les risques au strict minimum, des dispositifs de régulation statiques destinés à diminuer la capacité de débit ont été posés dans la partie supérieure du canal d'amenée (fig. 72). Cela permet, lors de fortes pluies, d'utiliser d'abord le volume du canal encore disponible. En cas d'événement extrême, un remous d'exhaussement vers les biens-fonds raccordés et la surface est possible, mais grâce aux dispositifs de régulation, l'eau reflue sur un terrain plus plat et avec une intensité réduite.

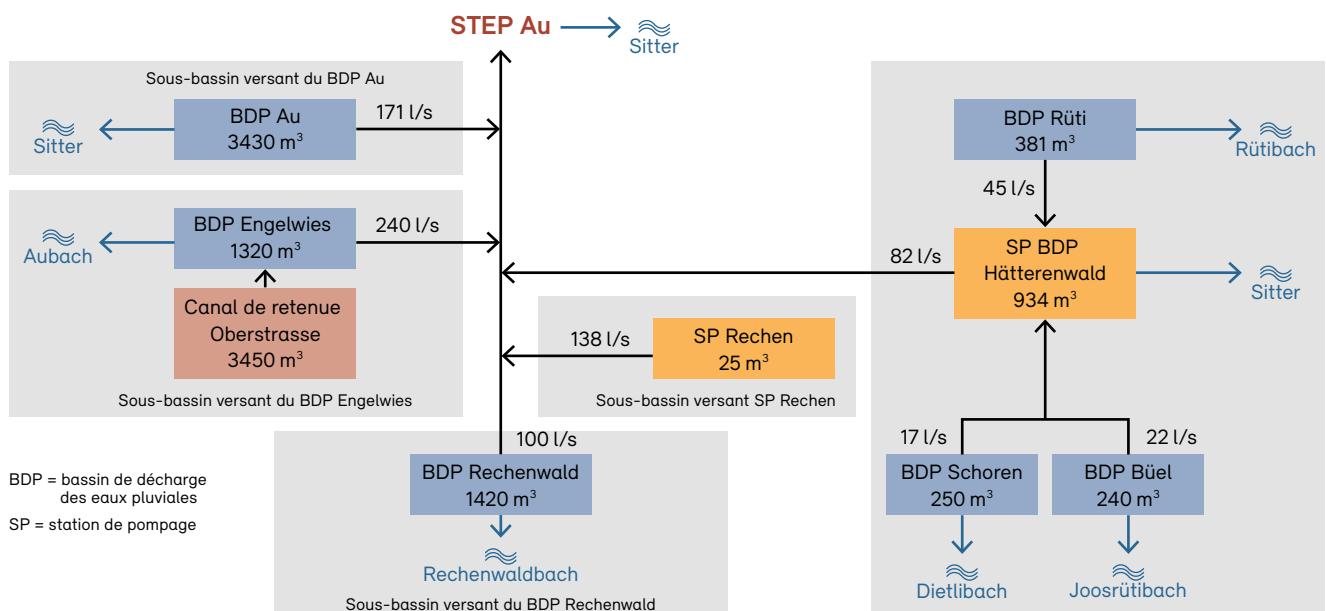
Cette solution économique a pu être choisie, car le canal d'amenée, dimensionné pour l'état attendu, présente actuellement encore de considérables réserves de capacité. En cas de hausse significative du débit, les dispositifs de régulation devraient être retirés et des mesures nettement plus coûteuses devraient être prises au niveau du bassin de décharge des eaux pluviales.

La ville de **Saint-Gall** a progressivement mis en place au cours des dernières années, dans le bassin versant de la STEP Au, une gestion combinée du réseau d'égout (fig. 73). Dans l'optique de la protection des eaux, l'objectif est d'optimiser les déversements d'eaux mélangées requis par le système en cas de précipitations. Sur la base des débits et des niveaux d'eau dans les divers bassins de

décharge des eaux pluviales, les volumes d'eau redirigés sont régulés par une commande centrale au moyen de dispositifs motorisés. L'objectif est d'exploiter au maximum les volumes de stockage existants et de garantir que les éventuels déversements inévitables aient lieu dans les tronçons de cours d'eau les moins sensibles. En 2019, la ville de Saint-Gall a reçu pour ce projet le « Smart City Innovation Award » du programme SuisseEnergie.³⁵

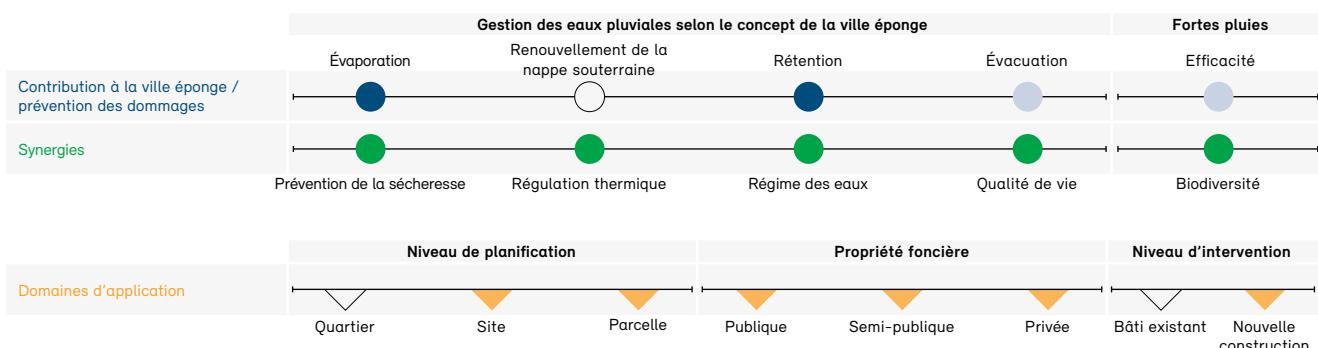
Le système n'est pas conçu pour les fortes précipitations, car, lors de tels épisodes, les bassins et les canaux sont largement utilisés, et les rapports de dilution dans les cours d'eau sont généralement bons. Toutefois, ce système de régulation du réseau de canalisations pourrait aussi être mis à profit pour réduire le risque de dommages en cas de fortes précipitations, comme le fait la commune de Köniz au moyen de dispositifs de régulation statiques dans l'exemple décrit ci-dessus. Il s'agirait cependant d'un véritable défi en matière de technique de mesure, de commande et de régulation : les fortes précipitations sont très variables dans le temps et dans l'espace, ce qui nécessite une grande densité de capteurs de mesure et des temps de réaction très courts, par exemple pour la fermeture des dispositifs. De plus, le système doit rester sûr même lors des pannes de courant, fréquentes en cas de gros orage.

Fig. 73 : Schéma du bassin versant de la STEP Au, avec les ouvrages extérieurs intégrés dans le système de gestion combinée



6.6 Mesures sur les bâtiments

M 6.1 Toitures végétalisées / à rétention d'eau



Les toitures végétalisées présentent un fort potentiel d'évaporation. Lorsqu'elles sont pourvues d'un système de rétention d'eau, elles offrent en outre un volume de stockage supplémentaire pour retenir l'eau en cas de fortes précipitations ou pour la stocker en vue des périodes de sécheresse.

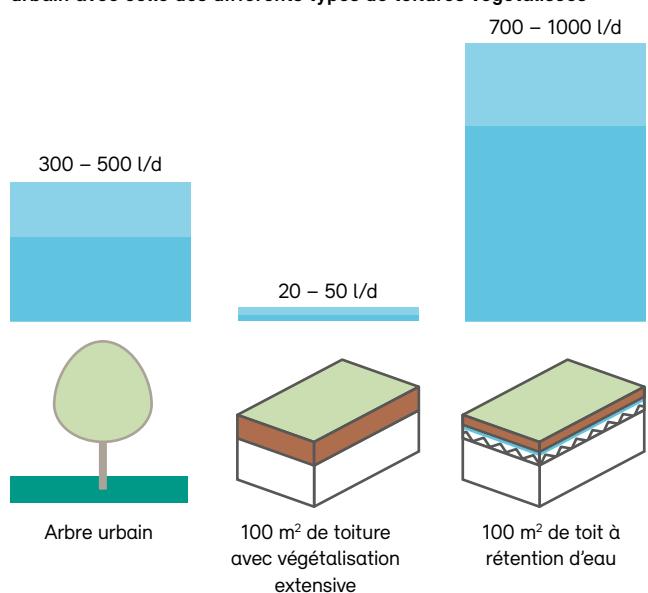
La surface totale des toits est élevée dans les zones fortement peuplées. Il faut donc mieux utiliser ces surfaces pour la gestion des eaux pluviales. La végétalisation des toitures permet de réduire et de retarder le ruissellement des toits, tout en favorisant l'évaporation par les plantes. Les toits verts ont un aspect positif sur le microclimat, ils réduisent les apports de polluants dans le ruissellement pluvial et servent de protection et d'isolation thermique pour les bâtiments. Une végétation diversifiée crée des habitats pour la faune et la flore.

Il existe deux types de végétalisation pour les toitures : la végétalisation extensive et la végétalisation intensive. La végétalisation extensive se traduit par un substrat de faible épaisseur et constitue donc un terrain maigre recouvert d'une végétation rase (p. ex. toits de sedum et de mousse). Elle nécessite moins d'entretien, affiche une capacité de stockage de l'eau limitée et peut se dessécher. La végétalisation intensive se caractérise par une plus grande épaisseur de substrat (25 à 150 cm), une plus grande hauteur et une flore plus diversifiée. Plus dense, elle réduit davantage le coefficient d'écoulement et se rapproche de l'état naturel. Si les toitures à végétalisation intensive sont plus exigeantes en matière d'entretien que celles à végétalisation extensive, elles

offrent également une meilleure performance d'évaporation et, par conséquent, une meilleure fonction de rafraîchissement en cas de chaleur. En revanche, elles nécessitent beaucoup plus d'entretien que celles à végétalisation extensive.

Les toits à rétention d'eau, qui permettent en général de stocker les eaux pluviales sous la couche végétalisée, peuvent apporter une contribution réelle à la gestion des eaux. Ils sont combinés à des systèmes d'irrigation par capillarité afin d'accroître encore l'évaporation (fig. 74). S'ils sont en outre équipés d'un système de contrôle des volumes de rétention en fonction des conditions météorologiques,

Fig. 74 : Comparaison de la performance d'évaporation d'un arbre urbain avec celle des différents types de toitures végétalisées



l'évaporation, le stockage et la rétention des eaux en cas de fortes précipitations peuvent être optimisés davantage.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Les toitures végétales peuvent être optimisées en vue de l'évaporation des eaux pluviales (D).
- Il est souvent délicat, sur le plan statique, d'adapter l'existant (C), mais une planification en amont est très efficace (D).
- Concurrence au niveau des surfaces avec la production d'énergie (D, C)
- Impératifs contradictoires entre la nécessité de remplir les volumes de rétention en vue de l'irrigation lors des périodes de sécheresse et celle de les maintenir vides en vue des fortes précipitations (C)
- Exigences en matière de biodiversité en faveur de la végétalisation extensive et dispositions en ce sens dans les règlements sur les constructions, mais les végétalisations extensives présentent un bénéfice moins important que les végétalisations intensives pour l'évaporation (C).

Le quartier Goethe à Offenbach⁶⁹ est un exemple de végétalisation systématique des toitures dans le but de gérer les eaux pluviales (fig. 75). Au total, 7500 m² de toits et 5600 m² de surfaces au-dessus de garages souterrains ont été pourvus de divers systèmes de rétention d'eau. Une simulation à long terme a révélé que le complexe immobilier pouvait supporter aussi bien la pluie de référence qu'un épisode pluvieux centennal et qu'en moyenne annuelle, 78 % des eaux pluviales s'évaporent. Un taux habituellement atteint par les surfaces vertes non bâties. Les 22 % restants peuvent s'infiltrer sur les surfaces dépourvues de constructions souterraines, ce qui rend inutile le raccordement aux canalisations. Un **système motorisé de régulation du débit**,

Fig. 75 : Toitures végétalisées dans le quartier Goethe à Offenbach



réglable en fonction des conditions météorologiques⁸⁵, permet de vider rapidement le volume d'eau stocké pour l'irrigation du toit végétal lorsque des précipitations sont annoncées. Cela permet de résoudre le conflit d'objectifs entre la nécessité de maintenir libre le volume de rétention et celle de stocker l'eau en vue de l'arrosage.

Ces systèmes contrôlables semblent être une solution d'avoir compte tenu de l'évolution générale vers des « bâtiments intelligents » (fig. 76).

Le **Toni-Areal**, situé dans un quartier densément bâti de Zurich, accueille le campus de la Haute école des arts. Afin d'assurer une haute qualité de séjour, les toitures accessibles et visibles depuis la partie plus élevée de l'immeuble ont été systématiquement végétalisées (fig. 77). Les îlots pourvus d'une végétation intensive possèdent un substrat d'une épaisseur de 50 cm avec des tapis de rétention assurant le drainage. Les surfaces recouvertes d'un revêtement reposent elles aussi sur une couche de substrat qui absorbe l'eau de pluie. Cela permet de respecter la limitation de déversement dans les canalisations urbaines.

Fig. 76 : Système contrôlable combinant volume de rétention et volume de stockage pour l'irrigation

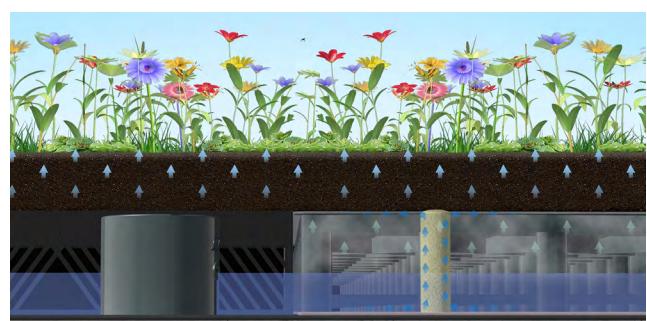
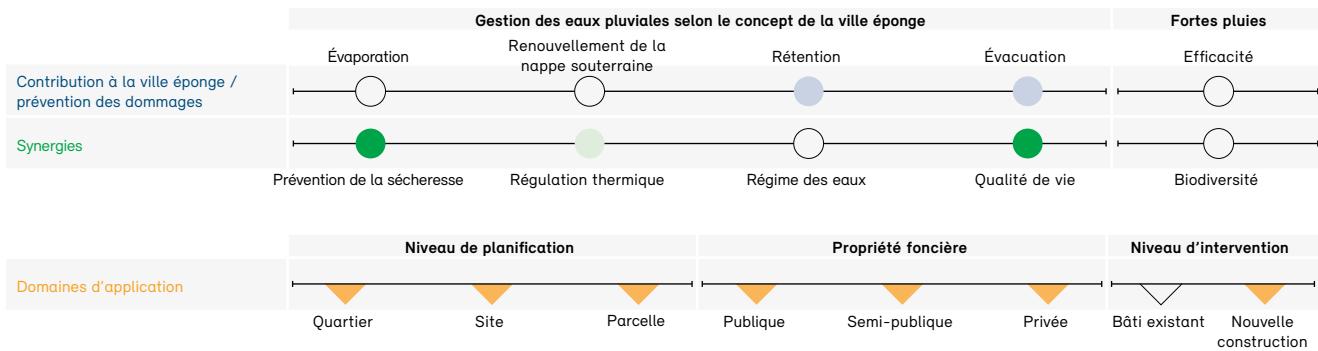


Fig. 77 : Toiture à végétalisation intensive sur le Toni-Areal à Zurich



6.6 Mesures sur les bâtiments

M 6.2 Citerne d'eau de pluie



Les citernes servent à stocker l'eau de pluie pour une utilisation ultérieure. Lorsque leur volume de stockage est suffisant, elles permettent aussi de diminuer le ruissellement lors de fortes précipitations.

Les citernes stockent les eaux pluviales pour des usages spécifiques – alimentation de chasses d'eau ou irrigation, par exemple. En raison des changements climatiques, les périodes de sécheresse vont se multiplier, accentuant encore les besoins en arrosage des espaces verts, en particulier lorsque le sol n'est pas naturel – comme dans le cas d'un îlot de verdure sur un garage souterrain. Les citernes permettent non seulement de réduire le volume de ruissellement en cas de fortes précipitations, mais aussi de réduire la consommation d'eau potable grâce au stockage de l'eau de pluie. Afin de pouvoir exploiter leur potentiel en matière de prévention des dommages, il faut qu'une

partie du volume soit destinée à la rétention d'eau de pluie et vidée systématiquement après remplissage. On parle alors de citerne de rétention.

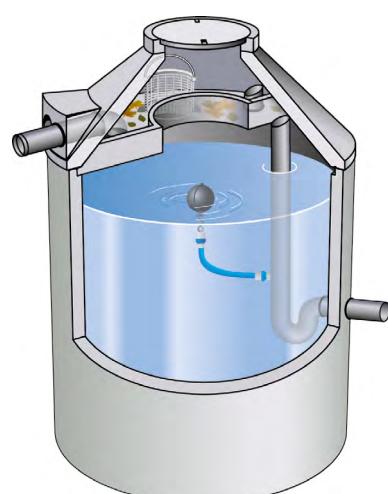
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Lorsqu'elle n'est pas obligatoire, la mise en œuvre de ce dispositif nécessite beaucoup de travail de conseil et de persuasion (D).
- Les volumes de rétention et de stockage pour l'utilisation des eaux pluviales sont souvent encore considérés et mis à disposition séparément (D, C).
- Mise en place coûteuse : en raison du faible prix de l'eau, le temps d'amortissement est long, de sorte que l'installation des citernes n'est pas encore assez rentable économiquement (C).
- L'efficacité augmente avec le nombre de citernes (D).

Fig. 78 : Une noue d'infiltration filtre l'eau de pluie avant qu'elle ne s'écoule dans la citerne



Figure 79 : Citerne avec volume de rétention et de stockage



Le projet **Neckarpark⁸⁰** à **Bad Cannstatt près de Stuttgart** mise sur les citernes d'eau de pluie, entre autres mesures. Cette nouvelle zone résidentielle et commerciale de 22 hectares, construite sur le site de l'ancienne gare de marchandises, accueille quelque 2000 habitants depuis 2021. Elle compte 850 logements, des surfaces commerciales, des parcs, des places et des rues. Le concept de gestion des eaux pluviales comprend des toits végétalisés et des citernes (830 m³ au total), conformément aux directives en matière de construction, des nœuds de rétention dans le parc central, une citerne avec circulation d'eau (circulation permanente garantissant l'évaporation et l'infiltration de l'eau de pluie collectée) (fig. 78 et 79), des pavés drainants sur toutes les places et rues secondaires, et un volume de stockage souterrain supplémentaire au sein des canaux de stockage et des bassins de rétention. Une simulation sur 30 ans a démontré qu'en moyenne annuelle, plus de 80 % des eaux pluviales s'évaporent et moins de 10 % ruissent. La citerne est dimensionnée pour un événement quinquennal correspondant à un ruissellement naturel de 10 litres par seconde et hectare, soit un volume de rétention de 7 m³/1000 m² de terrain.

Un autre concept intéressant est celui de **Langenau, près d'Ulm⁶³**. Dès le début des années 1990, le système d'assainissement unitaire était saturé par l'urbanisation croissante. La ville a donc décidé d'instaurer une taxe d'assainissement, calculée, pour la partie concernant les eaux pluviales, en fonction des surfaces effectivement raccordées. Ainsi, la taxe est proportionnelle à la quantité d'eau de pluie déviée vers le réseau d'assainissement. La ville a également décidé que toutes les constructions futures devraient prévoir une citerne (11 m³ au total, dont 7 m³ pour la rétention). Cette stratégie s'est avérée adaptée pour la commune, car elle a permis de conserver une infrastructure d'évacuation des eaux modeste et peu coûteuse. Il faut toutefois mentionner que tant la taxe d'assainissement que l'intégration des citernes n'ont pu être mises en place qu'avec d'importants efforts d'explication et d'encadrement auprès des habitants.

Le bâtiment administratif de la Confédération, situé sur la Guisanplatz à **Berne²⁷** et mis en service en 2019, possède un bassin de collecte des eaux de pluie de 2500 m³. Ce bassin a été aménagé en raison de l'obligation imposée par la ville, prévoyant que la quantité d'eaux pluviales

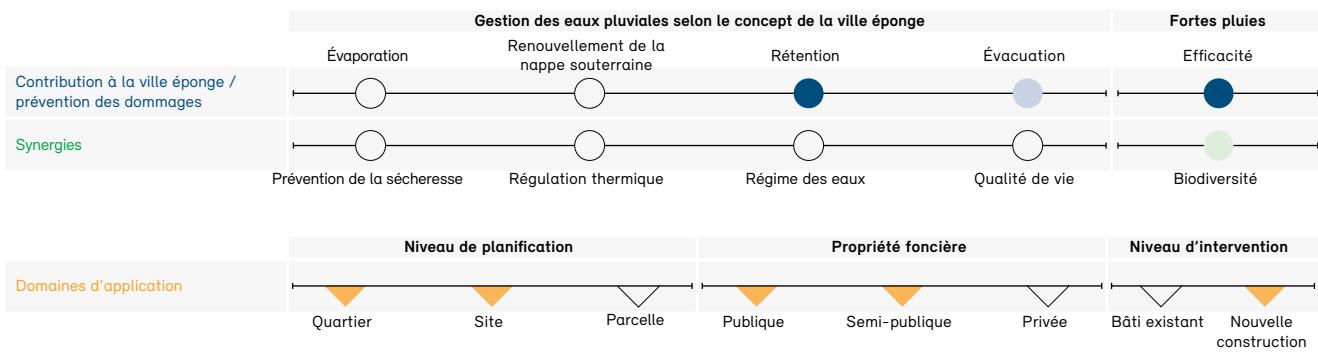
acheminée vers les canalisations urbaines ne doit pas dépasser 96 l/s. Il a été dimensionné de façon à comporter, en plus du volume requis pour la rétention des eaux de pluie, un volume destiné à la mise à disposition d'eau d'usage pour le refroidissement du bâtiment et les chasses d'eau. L'eau d'usage est stockée dans la partie inférieure du bassin : elle parvient par le biais d'une chambre de décantation dans le bassin principal, d'où elle est injectée dans le réseau d'eau d'usage au moyen de pompes immergées, après être passée par une installation d'ultra-filtration. La technique d'installation requise et le double réseau de distribution d'eau ont toutefois leur prix : si trop peu d'eau de pluie est disponible, il faut utiliser de l'eau potable. Pour l'installation de refroidissement, celle-ci doit être traitée par un procédé d'adoucissement et d'osmose inverse. Le volume de rétention se trouve dans la partie supérieure du bassin de collecte : après un épisode pluvieux, il se vide en déversant l'eau dans le réseau d'assainissement via un régulateur de débit (fig. 80). Il est ainsi rapidement disponible pour le prochain événement pluvieux. Le bâtiment administratif de Guisanplatz est le premier projet de construction à s'être vu décerner le label « Platine », la plus haute distinction du Réseau Construction durable Suisse (NNBS).

Fig. 80 : À droite, le régulateur de débit, et à gauche, le trop-plein du volume de rétention.



6.7 Mesures temporaires

M 7.1 Espaces verts inondables



Les espaces verts qui peuvent être inondés temporairement offrent un gros potentiel pour atténuer les débits de pointe. Ils devront être à l'avenir conçus et planifiés comme des espaces multifonctionnels, et entretenus en conséquence.

Les espaces verts tels que les parcs ou les terrains de sport sont en général répartis de façon décentralisée sur le milieu bâti. Ils offrent ainsi, dans les situations extrêmes, un gros potentiel en tant que volume de stockage temporaire des eaux pluviales excédentaires. Des zones abaissées par rapport à leur environnement peuvent être utilisées sans restriction comme aires de détente par temps sec. En cas de fortes précipitations, l'eau de pluie peut y être acheminée. En général, cette eau est peu polluée, car les premières gouttes de pluie ont nettoyé les surfaces en emportant la pollution dans le système conventionnel d'évacuation des eaux. Cependant, il peut y avoir un phénomène d'érosion et de dépôt de sédiments charriés par les eaux. Lors de la planification, il est absolument essentiel de respecter une hauteur maximale de submersion, de prévoir des moyens sûrs d'évacuer l'eau de la zone, et d'informer ou d'avertir les utilisateurs et la population.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- L'inondation de l'espace vert ne doit entraîner aucun danger (D).
- L'entretien, le nettoyage et la maintenance des surfaces doivent être effectués régulièrement et après chaque épisode de submersion (D).
- Informer les utilisateurs que l'inondation n'est pas un problème ni un défaut de conception, mais au contraire un effet attendu et planifié (D).
- Les possibles restrictions d'utilisation doivent être expliquées en tant qu'élément à part entière d'un concept global de gestion des eaux pluviales (D, C).

Fig. 81 : Le lieu de rencontre de proximité « Grüne Mitte »



Un exemple d'application de ces stratégies est le projet **Sonnensiedlung Egert à Esslingen**⁵⁵, en Allemagne. Sur la base d'une topographie favorisant l'évacuation des eaux, l'eau de pluie excédentaire par rapport à la pluie de référence est acheminée à travers les rues via des rigoles jusqu'à des bassins de rétention décentralisés. L'un des volumes de rétention utilisables de façon temporaire en cas de fortes pluies est le « Grüne Mitte » (littéralement le « Centre vert », fig. 81) : cette zone utilisée en temps normal comme lieu de rencontre de proximité et comme aire de jeux est abaissée de 30 cm et le mur qui la sépare de la rue est pourvu d'éléments de régulation du débit (cf. photo de couverture). L'escalier sert à la fois de trop-plein de sécurité et de canal pour dévier l'eau vers le deuxième bassin de rétention aménagé en contrebas.

Fig. 82 : Terrain de jeu et de football à Fribourg avec, dans le coin au fond, l'ouvrage d'écoulement vers la canalisation



Fig. 83 : Le parking à vélos de la piscine de Zofingue avant (à gauche) et après (à droite) la modification du terrain



Il est encore plus facile d'intégrer de telles mesures aux installations sportives, comme le montre le projet **Portes des Alpes à Lyon**⁶⁷. Les eaux pluviales de cette vaste zone sont entièrement évacuées en surface par le biais d'un lac et de plusieurs bassins de rétention et de filtration, car le sol est imperméable et empêche toute infiltration. Le terrain de football, utilisé comme volume submersible de secours, est inondé en cas d'événements pluvieux importants.

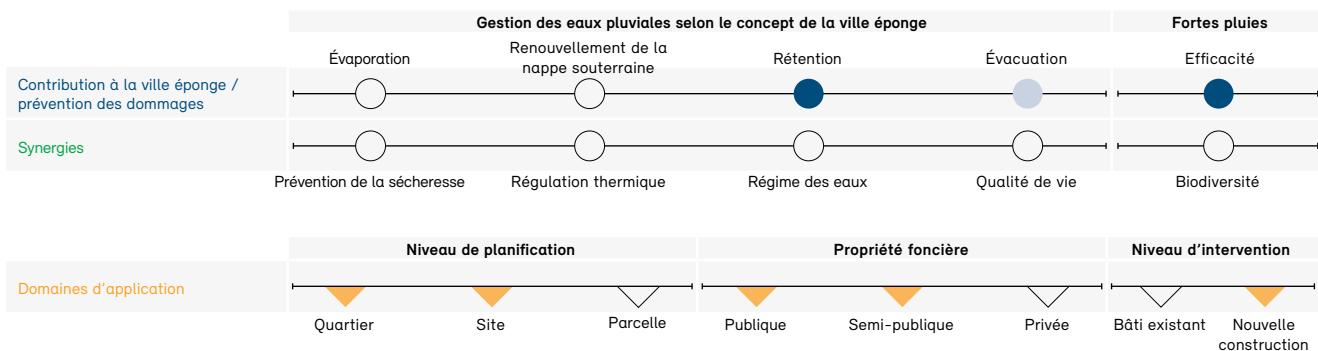
Le quartier Bourguillon, en périphérie de **Fribourg**, possède un système séparatif évacuant les eaux dans un petit ruisseau. Pour protéger ce dernier des débits de pointe, le terrain de jeu a été aménagé de façon à servir également de bassin de rétention (fig. 82). Un dispositif régule l'écoulement, de sorte que de grandes quantités d'eau sont retenues temporairement sur le terrain en cas de fortes précipitations. Les expériences d'exploitation sont positives. Hormis les petits dépôts de sable qui apparaissent parfois autour de l'ouvrage d'écoulement et doivent être retirés, aucun entretien n'est requis après les épisodes pluvieux, car les eaux pluviales ne sont que très peu polluées.

À **Zofingue**³⁷, le parking à vélos situé devant la piscine se transforme lui-même en patugeoire en cas de fortes pluies : grâce à une modification du terrain, cet espace peut assurer temporairement la rétention de l'eau de pluie ruisselant en surface et son infiltration (fig. 83). Les bâtiments environnants sont ainsi protégés contre des dégâts liés aux eaux.



6.7 Mesures temporaires

M 7.2 Surfaces libres à revêtement dur inondables



Les surfaces libres à revêtement dur pourront à l'avenir de plus en plus être aménagées de manière ciblée comme des réservoirs temporairement inondables afin de réduire les dommages incontrôlés en cas d'événement extrême.

Les surfaces à revêtement dur telles que les places des villes ou les zones de stationnement peuvent être utilisées comme des réservoirs provisoirement inondables lors des épisodes de fortes précipitations. Dans ce cadre, l'eau ne s'infiltre pas dans le sol : elle est uniquement stockée afin de s'écouler ensuite, de manière différée, via des dispositifs de régulation. Lorsqu'ils sont utilisés stratégiquement et bien répartis sur l'ensemble du territoire, ces volumes peuvent contribuer à atténuer temporairement les débits de pointe. Souvent, un décalage de 20 à 30 minutes suf-

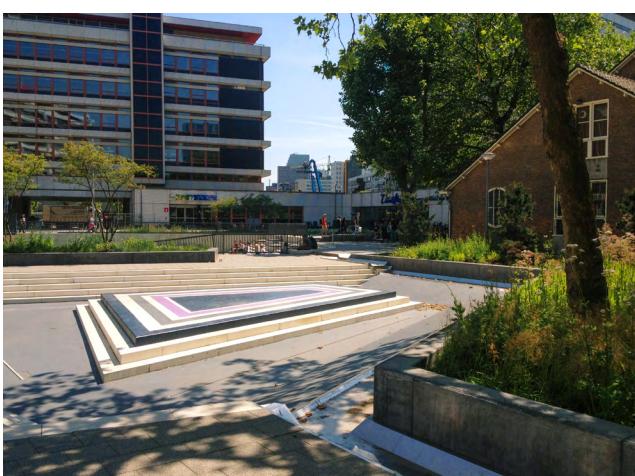
fit pour réduire les importants dommages causés par des débordements incontrôlés.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Veiller en amont à ce que les utilisateurs comprennent le système (D).
- Utilisation restreinte en cas d'inondation (C).
- La sécurité doit toujours être garantie (D, C).
- L'entretien et la disponibilité des surfaces sont importants pour que celles-ci puissent exercer leur fonction ; le nettoyage doit être effectué régulièrement et après chaque épisode de submersion (D).

Un exemple précurseur en la matière est la place **Benthemplein à Rotterdam**⁷⁸ : les réservoirs provisoires y font

Fig. 84 : Place Benthemplein par temps sec (à gauche) et durant une forte pluie (à droite)



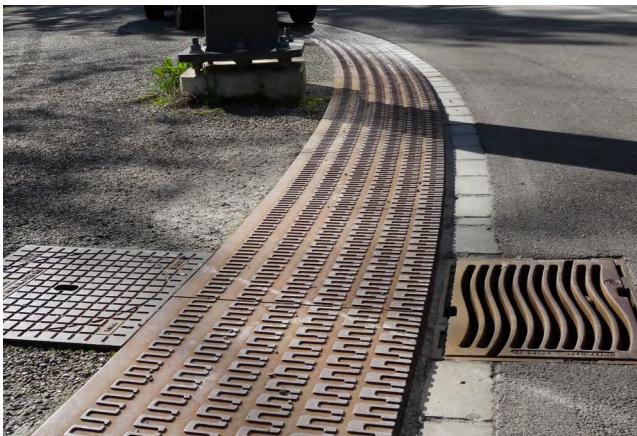
partie intégrante d'un concept global de gestion des fortes pluies (fig. 84).

À Roskilde, au Danemark⁷⁶, des volumes de rétention supplémentaires ont dû être aménagés afin de poursuivre le développement urbain de l'ancienne zone industrielle du quartier de Musicon. Un concours a fait émerger une idée originale : raccorder le bassin de rétention au moyen d'un canal de décharge des eaux pluviales de près de 500 m de long faisant office de skatepark (fig. 85). Les bassins de rétention eux-mêmes ont été pensés comme des espaces multifonctions servant soit de lac de loisir, soit de skate bowl (fig. 86). Ce système permet de gérer en toute sécurité plus de 32 000 m³ d'eau en cas de fortes pluies. La multifonctionnalité est garantie par un plan d'alerte et d'information établi spécialement à cet effet.

Fig. 85 : À Roskilde, le canal alimentant le bassin de rétention sert aussi de skatepark



Fig. 87 : Bord de la place avec bordure de 3 cm de haut



La **Vulkanplatz** à **Zurich** est un exemple de place submersible discrète, mais efficace (fig. 87). Revêtue d'une surface gravillonnée, elle peut contenir 3 cm d'eau avant de déborder (fig. 88). L'eau s'infiltra à travers les gravillons et, si elle s'accumule et n'est plus absorbée, une légère pente la dirige vers les zones plantées d'arbres afin qu'elle puisse s'y infiltrer. La plupart des précipitations étant inférieures à 30 mm, cet aménagement permet de gérer de façon décentralisée, sans avoir recours au réseau d'assainissement, environ 80 % des épisodes pluvieux. La petite bordure est adaptée aux besoins des personnes handicapées et ne constitue pas un obstacle dans l'espace urbain.

Fig. 86 : Bassin de rétention aménagé comme un lac proche de l'état naturel

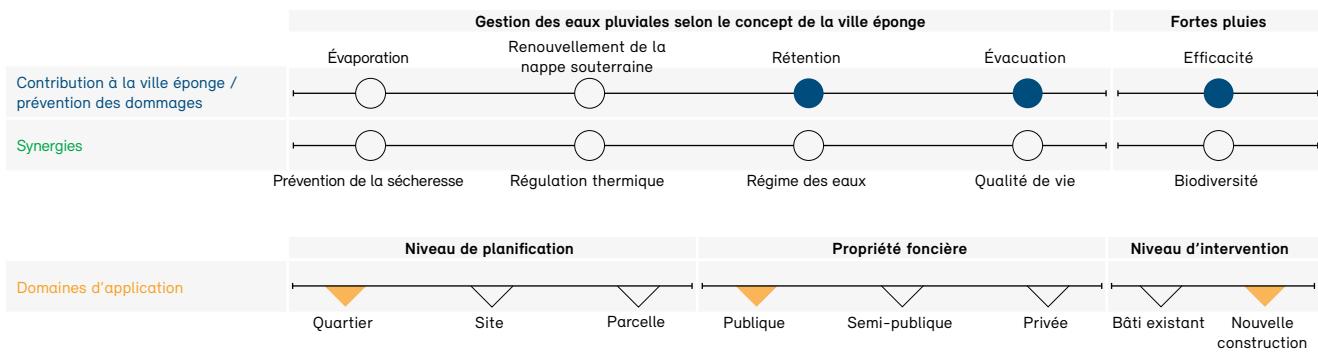


Fig. 88 : La Vulkanplatz, un espace multifonctions



6.7 Mesures temporaires

M 7.3 Routes inondables



Le développement ciblé d'un réseau continu de corridors d'écoulement de secours et de volumes de rétention dans l'espace routier est une mesure destinée à répondre à l'accroissement des événements extrêmes sans recourir à de coûteuses constructions souterraines.

Les routes sont depuis toujours utilisées comme un élément des systèmes de secours d'évacuation des eaux. Cette stratégie n'est pas nouvelle et elle est employée dans le monde entier. Ce qui est nouveau, c'est de créer un réseau de voies submersibles et de volumes de rétention dans les routes, et de le développer afin d'en faire, idéalement, un système continu à l'échelle d'une ville entière, comme commence à le faire Copenhague. Si les synergies sont ici évidentes, cette transformation des villes peut permettre d'intégrer également d'autres mesures et impératifs actuels, tels que des voies cyclables, des voies de bus, des fosses de plantation ou d'autres éléments indispensables. De plus, elle offre l'avantage de ne pas investir dans une infrastructure grise, coûteuse et invisible en sous-sol.

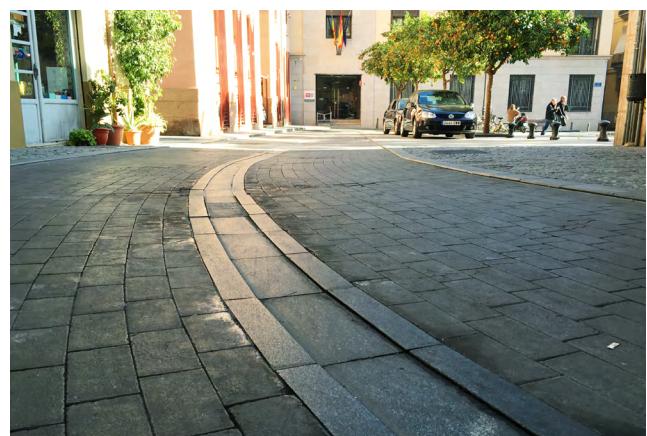
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Les restrictions d'utilisation provisoires doivent être communiquées et expliquées en amont (D).
- La transformation des routes existantes en un réseau continu est une activité complexe et chronophage (D).
- De nombreux états « intermédiaires », c'est-à-dire entre deux phases de réalisation, sont nécessaires ; la planification doit bien les anticiper (D).
- Offrir une garantie sur le long terme est une tâche exigeante (D).

- Il est nécessaire d'entretenir les surfaces concernées et de maintenir libres les corridors d'écoulement de secours (D).
- L'aménagement de corridors d'écoulement de secours est contraire à l'exigence d'un aménagement sans barrières (C).

À **Valence**, la forte imperméabilisation des quartiers du centre historique ne pose pas beaucoup de problèmes malgré une infrastructure souterraine d'évacuation des eaux insuffisante, car les ruelles sont pensées, là où c'est nécessaire, comme des systèmes d'évacuation des eaux pluviales (fig. 89).

Fig. 89 : Centre historique de Valence, avec ses rigoles d'évacuation des eaux



Des projets similaires voient actuellement le jour à **Copenhague**. L'un d'eux est la place **Sankt-Annæ**⁶², pourvue en son centre d'une bande verte aménagée en parc et servant de corridor d'écoulement de secours par lequel l'excédent d'eau est détourné vers le bassin portuaire en cas de fortes précipitations (fig. 90 et 91).

Ce que l'on ne rencontre encore que très rarement dans les villes suisses est déjà employé à grande échelle en dehors des zones urbanisées. Suite à la crue dévastatrice de 1987, la protection contre les crues a été consolidée le long de la Reuss. Entre Attinghausen et Seedorf, dans le **canton d'Uri**, la Reuss s'écoule si près de l'autoroute A2 que le canal de décharge, faute de place, n'a pu être dimensionné que pour une période de retour de 50 ans. Afin d'éviter que la digue ne se rompe en cas de débits

encore plus importants, on a aménagé au niveau d'Altdorf une installation de décharge²³. Cet ouvrage laisse d'importantes masses d'eau franchir la digue pour se déverser sur l'autoroute de manière contrôlée. L'autoroute se transforme ainsi en canal de décharge – bien entendu, uniquement après fermeture et évacuation des voitures (fig. 92).

La ville de **Lausanne** poursuit actuellement un concept analogue. Suite aux précipitations catastrophiques de 2018, elle prévoit de créer grâce aux routes des corridors d'écoulement afin de détourner le ruissellement vers les canalisations principales ou vers le lac (cf. point 2.1).

Fig. 90 : Coupe transversale de la place Sankt-Annæ, avec la bande verte plus basse

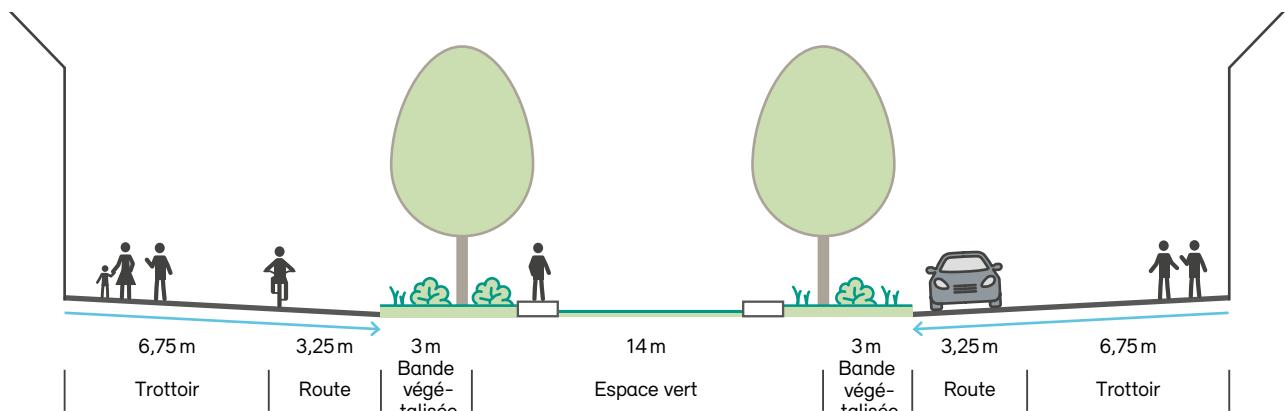


Fig. 91 : Vue de la place Sankt-Annæ

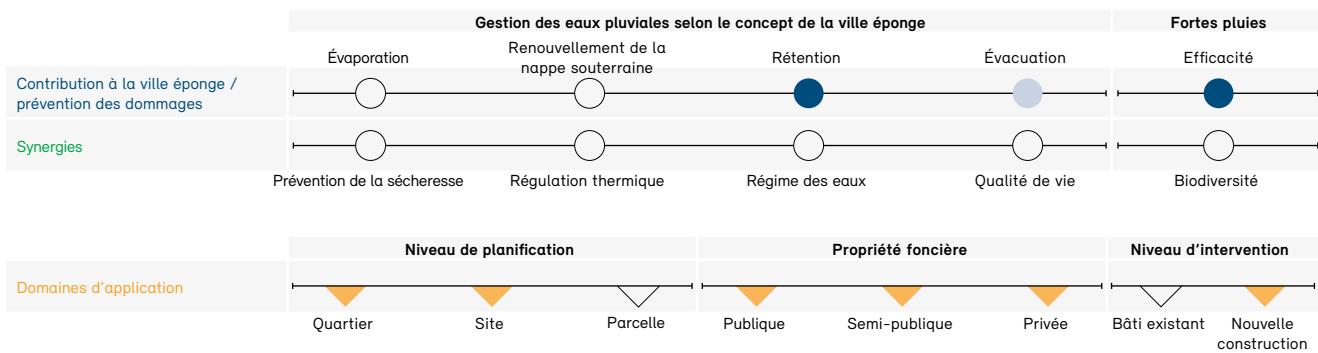


Fig. 92 : Tronçon submersible de l'autoroute A2 entre Attinghausen et Seedorf, dans le canton d'Uri, pendant la crue d'octobre 2020



6.7 Mesures temporaires

M 7.4 Ouvrages submersibles



Les ouvrages spécialement prévus à cet effet offrent un gros potentiel de volume de rétention temporaire et permettent d'économiser beaucoup de place. Leur planification et l'élaboration d'un concept garantissant leur disponibilité permanente, leur curage et leur maintenance sont cependant très complexes.

En raison de leur volume important et de leur situation en contrebas, les ouvrages tels que les passages souterrains, les tunnels, les caves inutilisées voire, dans certains cas, les garages souterrains, peuvent se prêter à la rétention des eaux pluviales s'ils peuvent être fermés ou évacués en un laps de temps raisonnable. L'avantage de cette deuxième utilisation en tant que bassins de rétention lors des épisodes pluvieux est un gain de place. Toutefois, cet usage doit être précisé dans un plan d'urgence afin d'éviter que des personnes ou des objets ne se trouvent dans l'ouvrage au moment des fortes précipitations. L'étanchéité et la statique des ouvrages doivent être garanties conformément aux exigences applicables. Un concept de nettoyage et d'entretien est requis afin de rendre l'ouvrage de nouveau utilisable après ces événements.

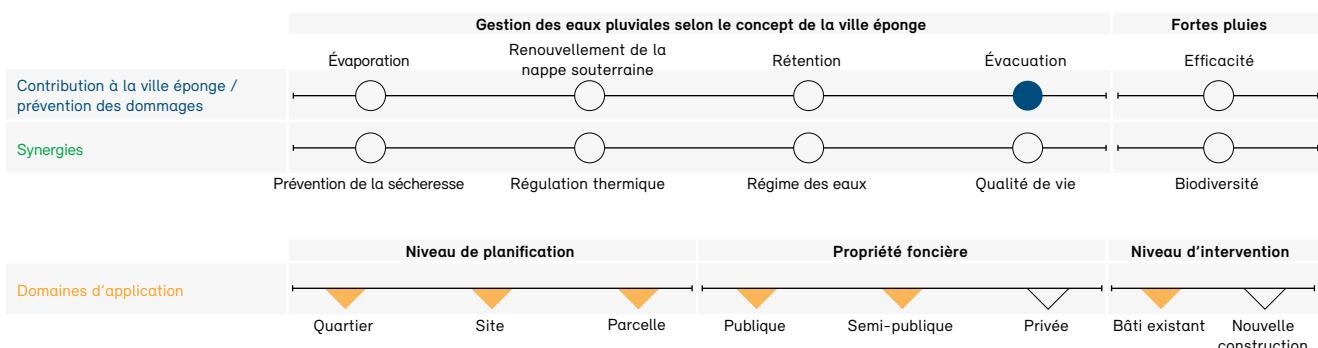
Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Garantir que les volumes puissent être évacués à temps en cas d'urgence (D)
- Planification et construction onéreuses, car l'ouvrage doit être conçu pour supporter un tel événement (C)
- Aspects liés à la sécurité (C)

Il n'existe à l'heure actuelle encore aucune mesure (connue) de ce type dédiée explicitement aux épisodes de fortes pluies. En revanche, de telles mesures sont appliquées dans le domaine de la protection contre les crues. Conjuguées aux systèmes de gestion des cas extrêmes de plus en plus souvent numériques, ces options sont parfaitement appropriées et peuvent compléter efficacement d'autres mesures moins coûteuses.

6.8 Mesures de protection des objets

M 8.1 Mesures de protection temporaires



Les mesures de protection temporaires peuvent prendre la forme de barrières mobiles ou fixes contre le risque de crue, afin de protéger de manière ciblée les infrastructures critiques. Elles nécessitent une alerte précoce ainsi qu'une planification efficace des interventions, et visent uniquement à réduire les dommages.

Les mesures de protection temporaires contre les inondations consistent généralement en des barrières provisoires, destinées à protéger pour une durée limitée certaines zones ou des infrastructures critiques contre les crues ou le ruissellement. Ces systèmes n'étant pas structuraux, ils n'occupent pas de place dans l'espace public durant les périodes sèches. Ils doivent néanmoins être entreposés à portée de main afin d'être disponibles sans tarder sur le lieu concerné. Les barrières sont faciles et rapides à monter ; elles peuvent être employées de manière flexible en fonction de la survenue et du lieu de la crue.

Dans le cadre de la protection contre les crues au moyen de mesures mobiles, il est essentiel de donner l'alerte à temps et de disposer d'un plan d'intervention efficace. Ces mesures ne garantissent pas la protection des objets en cas d'événements spontanés de fortes pluies ou de crues subites. Les systèmes à déclenchement automatique sont encore très peu répandus et ils nécessitent une maintenance régulière pour être prêts à s'activer à tout moment. Les barrières, quant à elles, ne sont que des mesures de limitation des dommages, qui n'ont pas d'influence sur l'événement de crue en lui-même. Ainsi, elles ne peuvent pas atténuer le débit de pointe, par exemple.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Un temps d'alerte et de réaction suffisant doit être garanti (D).
- Mesures servant uniquement à protéger et à dévier les eaux : d'autres zones peuvent s'en trouver plus fortement touchées. Déplacement du problème (C).
- Possibilité de conflits temporaires entre l'utilisation et la garantie de l'accès pour les personnes handicapées (C).

Si un événement de fortes pluies aux abords d'infrastructures importantes est annoncé suffisamment tôt, des digues de protection remplies d'eau peuvent constituer une protection rapide et efficace (fig. 93).

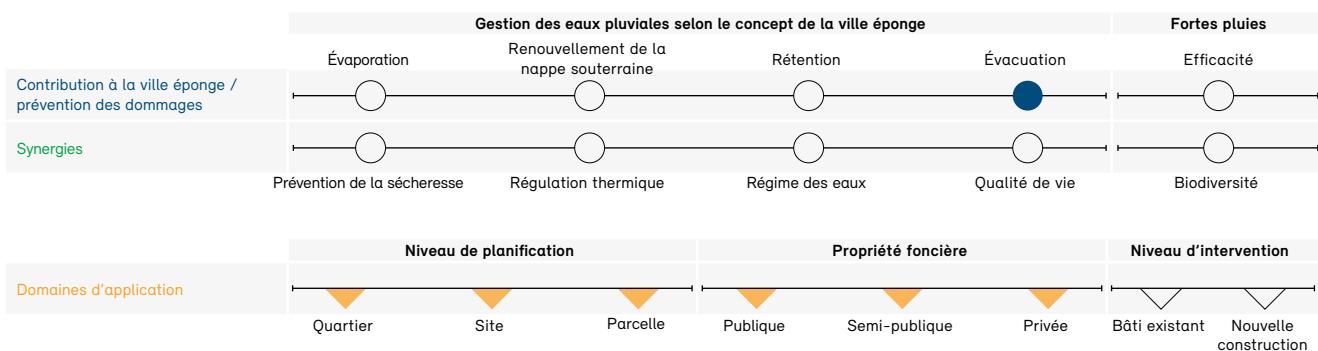
De nombreux exemples de mesures mobiles de protection des objets sont fournis dans la **SIA 4002 Crues – Lignes directrices de la norme SIA 261/1**, parue en 2020.

Fig. 93 : Digue de protection mobile remplie d'eau



6.8 Mesures de protection des objets

M 8.2 Mesures de protection permanentes



Les bâtiments et infrastructures menacés peuvent être sécurisés de manière ciblée au moyen de mesures techniques ou de conception intégrées à l'utilisation et, ainsi, être protégés en permanence contre les inondations. Les mesures de protection relevant de la conception et celles impliquant des éléments permanents ou partiellement amovibles visent uniquement à dévier et/ou à réacheminer les eaux.

L'expérience et des cartes de dangers permettent d'identifier les bâtiments, infrastructures ou autres éléments menacés à protéger. Un plan de protection est élaboré en fonction de la classe de danger et de l'importance systémique de l'objet. La priorité est donnée aux mesures de conception, telles que le choix du site adapté pour le bâtiment. Les possibilités structurales et techniques des mesures de protection doivent être bien abouties et vont de l'écran de protection à l'inondation ciblée de certaines parties d'un bien-fonds ou d'un bâtiment, en passant par l'acheminement de l'eau à travers l'objet à protéger. Les clapets anti-retour dans les canalisations, les fenêtres, portes et façades étanches ou encore les murs de protection en sont quelques exemples.

Défis (D) et conflits d'objectifs (C)

- Intégrer les mesures au niveau urbanistique (D)
- Établir des plans d'utilisation et des concepts de sécurité (D)
- Garantir l'accessibilité ainsi qu'une construction sans seuil et adaptée aux besoins des personnes handicapées (D, C)
- Les mesures de protection et d'évacuation des eaux ne doivent pas accroître le risque de façon disproportionnée pour les ouvrages voisins (déplacement du problème) (D, C)

Une évolution importante des ouvrages de protection contre les crues et les fortes pluies consiste à définir la bonne combinaison de mesures de conception, d'éléments permanents ou partiellement amovibles et de compléments flexibles pour les cas extrêmes. Comment ces aspects peuvent-ils contribuer à la qualité urbaine et ne pas rester uniquement des ouvrages de protection technique à usage monofonctionnel ? Cela est illustré de façon claire et systématique par le projet **The Big U⁷² à Manhattan**. Bien qu'élaboré avant tout pour la protection contre les crues, ce concept montre des idées et une approche intégrée qui peuvent également servir d'exemple pour les situations de fortes précipitations. Les usages urbanistiques requis ont été intégrés dans la planification des infrastructures (fig. 94). Ainsi, un escalier a été construit en dessous et à côté

de la High Line afin de servir de digue protectrice. En cas d'événements particulièrement intenses, un mur de protection peut être abaissé (fig. 95).

La **directive SIA 4002**, parue en 2020, ainsi que les **normes SIA 261/1 et SIA 0260** proposent de nombreux exemples de mesures de protection des objets. Celles-ci étant déjà largement répandues dans la pratique, elles ne sont pas illustrées ici par des exemples suisses.

Fig. 94 : Usage multifonctions et intégration urbanistique des mesures de protection à New York

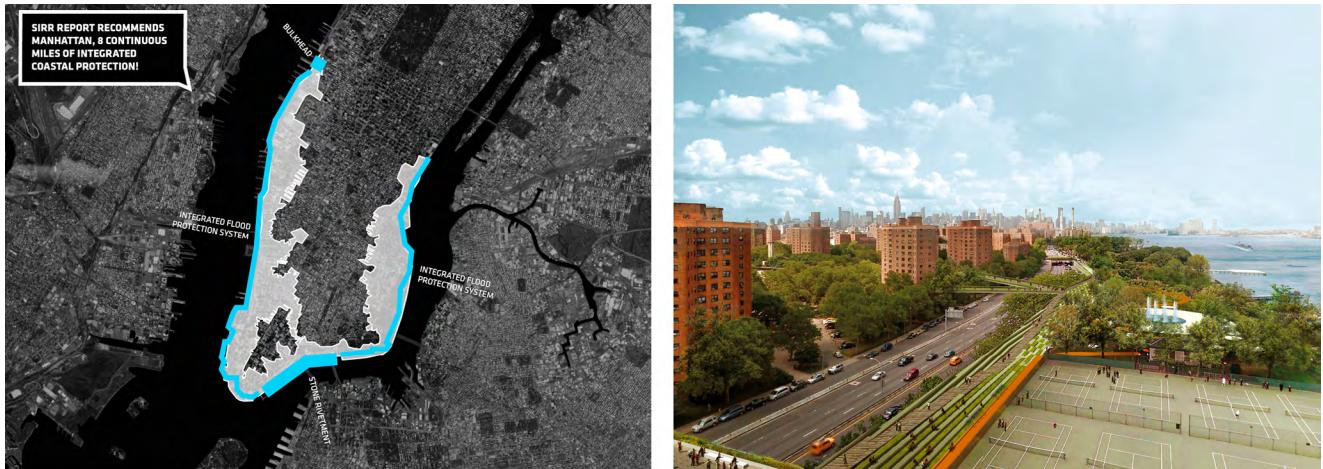


Fig. 95 : Mur de protection abaissé lors d'un épisode de fortes pluies (visualisation)



7 Ancrage et application

Les instruments formels et informels, tout comme un conseil et une sensibilisation ciblés de l'administration publique, revêtent une grande importance pour ancrer la gestion décentralisée des eaux pluviales et l'adaptation aux changements climatiques dans les planifications, et pour réduire les dommages liés au ruissellement.

Les exigences et les objectifs en matière de gestion globale et décentralisée des eaux pluviales et de prévention contre les dommages causés par les fortes précipitations doivent être ancrés dans les bases légales formelles, les instruments de planification, les normes et les directives, tel qu'indiqué au point 3.7. C'est là une étape essentielle pour renforcer le développement urbain adapté aux changements climatiques et pour faciliter son exécution dans les processus de planification et d'autorisation de construire. Cet ancrage est donc réclamé instamment par les spécialistes. L'approche basée sur les risques et visant à prévenir les dommages provoqués par le ruissellement doit être inscrite dans les bases légales. Les questions en suspens concernant l'aspect multifonctions des surfaces et des infrastructures doivent être clarifiées. Pour l'instant, l'orientation vers le concept de la ville éponge, prévoyant l'évaporation sur place et le stockage de l'eau en vue des périodes sèches, n'est pas ou que partiellement ancrée.

Si les normes et les directives des associations professionnelles documentent l'état de la technique et revêtent ainsi indirectement, dans une certaine mesure, un caractère juridiquement contraignant, l'administration publique dispose, elle, d'un vaste éventail de possibilités pour ancrer plus fortement et de façon plus précoce la gestion décentralisée des eaux pluviales et la prévention contre les inondations dues au ruissellement dans les planifications (cf. chapitre 5). Ce chapitre montre les marges de manœuvre à ce sujet : des instruments formels et informels au conseil, à la sensibilisation et à la participation actifs.

7.1 Instruments formels

Les adaptations des instruments formels comprennent l'orientation, par les autorités et la sphère politique, des **lois, des directives contraignantes pour les autorités et des dispositions contraignantes pour les propriétaires fonciers** (tab. 1). Les exigences relatives au développe-

ment urbain adapté aux changements climatiques doivent y être intégralement prises en considération : la prévention contre les inondations, la sécheresse et la chaleur requiert une gestion prudente et intégrale des eaux pluviales.

L'adaptation de directives formelles nécessite une longue préparation. L'effet sur les dispositions contraignantes pour les propriétaires fonciers et sur la mise en œuvre dans l'espace urbain n'est donc pas immédiat, mais il est de grande ampleur. Par conséquent, la nécessité d'adopter une approche globale et de créer des circuits fermés doit être citée explicitement dans les modifications des directives de niveau supérieur pour exiger et stimuler un ancrage à l'échelon communal. Le rôle des cantons est ainsi essentiel. En tant qu'organes compétents pour l'exécution de l'évacuation des eaux urbaines et de l'aménagement des cours d'eau, ils peuvent exiger que les communes intègrent la bonne gestion des eaux pluviales et la prévention intégrale des dangers dans leurs instruments de planification. Grâce à des modèles d'actes normatifs (lois sur les constructions, règlements d'assainissement, etc.), ils peuvent favoriser, au sein des communes, l'ancrage juridiquement contraignant pour les propriétaires fonciers de principes efficaces, tels que des taxes conformes au principe de causalité pour l'évacuation des eaux pluviales via les canalisations publiques, taxes qui ne sont pas à payer en cas d'infiltration ou d'évaporation décentralisées.

Il est recommandé aux communes d'ancrer les exigences en matière de gestion décentralisée des eaux pluviales et de ruissellement non seulement dans le PGEE, mais aussi dans leurs plans d'utilisation du sol et, le cas échéant, dans leurs plans directeurs. Un « concept de gestion des eaux pluviales » peut permettre, en cas de construction d'une surface, de fixer les exigences relatives à la gestion des eaux pluviales et de les concrétiser, avec le maître d'ouvrage, dans les différentes étapes de planification. Cela évite de régler tous les détails en amont au niveau des plans d'affectation spéciaux, ce qui est souvent consi-

déré comme inadapté aux différents échelons. La ville de Zurich a déjà réalisé de bonnes expériences avec cette façon de faire. Par ailleurs, un plan de quartier comprenant des informations sur la gestion décentralisée des eaux pluviales devrait devenir un élément contraignant

de la procédure de demande de permis de construire afin de coordonner les exigences en amont. Les contrats sont une autre possibilité d'ancrer les exigences en matière de gestion décentralisée des eaux pluviales.

Tab. 1 : Solutions pour ancrer formellement une gestion des eaux pluviales favorisant un développement urbain adapté aux changements climatiques. Exemples fournis à titre d'information et de suggestion

| Lois et ordonnances aux niveaux fédéral et cantonal | | |
|--|--|---|
| Confédération | Loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau | Art. 1, 3, 6. Révision prévue, notamment pour intégrer le ruissellement |
| | Loi / ordonnance sur le CO ₂ | Art. 8 / art. 15 |
| | Ordonnance sur l'aménagement des cours d'eau (OACE) | Art. 21, 27 |
| | Loi sur l'aménagement du territoire (LAT) | Art. 3, 6, 15 |
| | Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) | Art. 6, 7, 11, 36a |
| | Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) | Art. 5, 11, 13 |
| | Ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol) | Art. 6 |
| | Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture (OPD) | Art. 16, 17 |
| | Code civil (CC) | Art. 689 |
| | Loi sur les forêts (LFO) | Art. 36 |
| | Ordonnance sur les forêts (OFO) | Art. 17, 39 |
| Cantons | Lois sur l'aménagement du territoire et les constructions | <ul style="list-style-type: none"> • Bâle-Ville : BPG (loi sur les constructions et la planification) : les problématiques des crues et du ruissellement doivent être prises en compte dans la refonte de la loi. • Zurich : révision 2020 de la PBG (loi sur la planification et la construction) ; paquet A sur le développement urbain adapté aux changements climatiques en cours d'élaboration • Argovie : loi sur les constructions ; l'art. 118 relatif au régime des eaux dans l'espace urbain mentionne l'infiltration. |
| | Lois sur l'eau | <ul style="list-style-type: none"> • Bâle-Ville : loi actuellement retravaillée à la lumière de l'adaptation aux changements climatiques • Bâle-Ville : directives relatives à la gestion des surfaces assolées sur les versants concernés |
| | Ordonnances | Zurich, AWEL : le règlement relatif aux eaux usées de l'ordonnance sur l'évacuation des eaux urbaines (SEVO) est actuellement en cours d'élaboration afin de servir de règlement type. Encouragement de l'évaporation et de la désimperméabilisation. Prise en compte de l'infiltration dans les taxes. |

Dispositions contraignantes pour les autorités (tous échelons confondus)

| | | |
|---------------|---|---|
| Confédération | OFEV : conventions-programmes 2020-2024, partie 6 (ouvrages de protection et données de base sur les dangers) | Le ruissellement est un processus dangereux donnant droit à des subventions (subventionnement à hauteur de 35 % pour les systèmes d'alerte précoce et les mesures techniques de protection, et de 50 % pour les données de base sur les dangers). |
| | Guide de la planification directrice ¹² | Il est prévu d'ajouter les aspects liés à l'adaptation aux changements climatiques (notice). |

Dispositions contraignantes pour les autorités (tous échelons confondus)

| | | |
|----------|--|--|
| Cantons | Plans directeurs cantonaux | <ul style="list-style-type: none"> Genève : « Concept de l'aménagement cantonal », dans cette partie stratégique de la planification directrice genevoise, l'intégration de l'eau dans la ville en tant qu'élément structurant est citée comme objectif. Argovie : point L1.2 relatif aux crues – parmi les défis figurent l'infiltration, la désimperméabilisation, ou encore une agriculture et une économie forestière adaptées au site. Zurich : révision partielle en cours. Concept de la ville éponge repris dans le projet 2020 |
| | Plans sectoriels cantonaux | Berne : le plan sectoriel pour l'évacuation des eaux urbaines définit comme priorité la nécessité d'agir, de la part des communes, au sujet de tous les thèmes liés à l'évacuation des eaux urbaines. |
| | Plan régional de l'évacuation des eaux (PREE) | Berne, Bâle-Campagne, Bâle-Ville, Jura et Soleure : PREE de la Birse |
| | Instructions relatives aux plans directeurs communaux et aux aspects climatiques | Canton de Genève : « Programmes urbains », fiche « Gestion de l'eau » ²⁰ |
| Régions | Plans directeurs régionaux | Plan directeur régional de la ville de Zurich : climat urbain et régime des eaux équilibré |
| Communes | Règlements communaux | Règlement de la ville de Zurich, art. 2 : garantie active d'espaces verts publics dans tous les quartiers ; prise de mesures pour protéger les terres non imperméabilisées ; usage multifonctions des espaces verts |
| | Plans directeurs communaux | Sion : chapitre sur le développement urbain prévoyant des espaces ouverts destinés à contribuer à l'adaptation aux changements climatiques, en particulier à la protection contre les crues et la chaleur |
| | Carte des dangers d'inondation | Il manque encore un règlement de niveau supérieur édicté par la Confédération à l'intention des cantons au sujet de la prise en compte du ruissellement. |
| | Plan général d'évacuation des eaux (PGEE) | <ul style="list-style-type: none"> Cantons de Soleure et de Berne : sous-projet relatif au ruissellement dans le modèle de cahier des charges du PGEE. Dans certains cantons, le PGEE est contraignant pour les propriétaires fonciers. Canton de Bâle-Ville : certains PGEE communaux présentent des zones assorties d'une obligation d'infiltration et de rétention. |

Dispositions contraignantes pour les propriétaires fonciers au niveau communal

| | | |
|---------------------|--|---|
| Plans d'affectation | Prévention des dangers | <ul style="list-style-type: none"> Lyss : article sur la protection contre les crues dans le règlement sur les constructions comme base pour un plan de zones basé sur les risques avec prise en compte du ruissellement Diverses communes argoviennes, telles que Herznach, § 22 : prendre en considération la protection contre l'écoulement de surface, exiger des expertises techniques Ville de Lucerne : art. 38 sur les dangers naturels, art. 41 sur la zone de réglementation pour les eaux |
| | Infiltration, aménagement des abords | <ul style="list-style-type: none"> Baden, § 60 : infiltration ou évacuation des eaux pluviales vers des cours d'eau ; dans les grands espaces bâties, décharge des canalisations des eaux de surface au moyen d'un volume tampon suffisant, si possible sous forme de surface aquatique naturelle Dübendorf, art. 38a : surfaces permettant l'infiltration, végétalisation de toitures-terrasses afin de décharger les égouts, plan de quartier Buchs (AG), projet de révision du règlement sur les constructions, art. 55 relatif à l'aménagement des abords : évaporation, infiltration, plans d'eau ouverts Ville de Berne, art. 13 ou BPG de Bâle, § 52 et 55 : végétalisation des cours et des distances à la limite Canton de Genève : « Schéma directeur de gestion d'évacuation des eaux » comme annexe au plan de quartier, déterminant la manière de gérer les eaux pluviales ainsi que l'infrastructure publique et privée correspondante |
| | Taux d'espaces verts et ouverts | Reinach (BL) : comptabilisation de la végétalisation des bâtiments dans le taux d'espaces verts et ouverts |
| | Constructions souterraines, imperméabilisation | <ul style="list-style-type: none"> Ville de Lucerne : art. 33 de l'aménagement des abords, stipulant que 40 % des surfaces ouvertes ne doivent pas faire l'objet de constructions souterraines. Les surfaces ouvertes doivent être aménagées de façon à laisser l'eau s'infiltrer. Ville de Berne : travail en cours sur des modèles de textes relatifs au degré maximum d'imperméabilisation et à la végétalisation en fonction de la densité de construction |
| | Végétalisation de toitures-terrasses | <ul style="list-style-type: none"> Winterthour, projet de révision du règlement sur les constructions et l'aménagement (BZO), art. 74a relatif à la végétalisation de toitures-terrasses : végétalisation permettant de stocker l'eau, avec une couche porteuse suffisamment épaisse ; les installations solaires ne dispensent pas en principe de cette obligation. Kriens, art. 9 : capacité de rétention de l'eau d'au moins 45 l/m² ; pour les surfaces de plus de 200 m², remise d'un plan d'aménagement de la toiture avec précision des élévations du substrat |

| Dispositions contraignantes pour les propriétaires fonciers au niveau communal | | |
|--|--|---|
| Ordonnances | Taxes | Ville de Zurich : refonte actuelle de l'ordonnance sur les taxes ; il est prévu de l'étendre aux exigences en matière de gestion des eaux pluviales. |
| Plans d'affectation spéciaux | Exigences qualitatives et quantitatives | Lausanne, ville de Zurich et nombreuses autres communes : revêtements perméables, végétalisation des toits, taux d'évacuation maximaux |
| Plans d'aménagement (GP) | Directives pour la gestion des eaux pluviales | Ville de Zurich : volonté d'ancrer le concept d'évacuation des eaux de surface dans les plans de quartier ou d'aménagement afin de garantir en amont de l'espace nécessaire pour la rétention et/ou l'infiltration. Le processus a déjà été appliqué avec des résultats satisfaisants (cf. chap. 5). |
| Règlements | Ordonnance sur l'évacuation des eaux urbaines / règlement d'assainissement | <ul style="list-style-type: none"> Dübendorf, GP Giessen³⁸, art. 10 et 15 : empêcher les débits de pointe dus aux précipitations grâce à des toitures végétalisées pourvues d'un volume de rétention et de systèmes d'écoulement de l'eau de toiture avec régulation du débit. Un plan de quartier contraignant doit être remis avec la demande de permis de construire : il doit notamment fournir des précisions sur la rétention et la végétalisation des toitures. Ville de Zurich, plan d'aménagement privé GP Koch Areal : art. 11 et 47 relatifs à l'évacuation et à la rétention des eaux, rapport 3.2.1 à 3.2.3 au sujet de la rétention, de l'évaporation et de l'évacuation des eaux³⁹ Ville de Zurich, GP GreenCity Manegg⁴¹ : quasiment aucun écoulement d'eaux pluviales ne doit se produire en provenance de la zone. 60 % de rabais sur la taxe d'assainissement si l'eau de toiture s'infiltra à 100 %. Zurich, GP Avaloq⁴², art. 18 : concept d'évacuation des eaux exigé préalablement à la demande de permis de construire ; directives pour l'infiltration des eaux météoriques sur la zone ; toiture végétale avec fonction de stockage d'eau Reinach (AG), GP Voco-Areal : intégration, dans l'aménagement des espaces libres, du thème de la rétention de crue sur de grandes étendues |
| Procédure d'autorisation de construire | | Ville de Bâle : le requérant / le propriétaire doit confirmer qu'il a vérifié la mise en danger de la parcelle. |
| Contrats | Contrats de superficie | Ville de Zurich : Koch Areal ³⁹ |
| | Contrats d'urbanisation | |
| | Contrats de droit privé | Ville de Zurich : plan de développement Leutschenbach, garantissant des « jardins intérieurs » avec les propriétaires des terrains limitrophes |

7.2 Instruments informels

Des conceptions directrices et des stratégies intégrales en matière de développement territorial ainsi que des stratégies et des concepts sectoriels spécifiques fixent, sous forme d'instruments de planification informels, l'orientation à moyen terme des autorités. Ils ont, selon les cas, un caractère contraignant ou simplement consultatif pour les autorités. Les planifications doivent soupeser les risques et tenir compte des dangers. Il faut donc à l'avenir planifier la rétention, les inondations temporaires et les corridors d'écoulement de secours pour les épisodes de fortes précipitations. L'évaporation et le stockage de l'eau sont deux autres aspects de plus en plus importants lors des périodes de canicule et de sécheresse.

Des projets **intégraux** tels que celui du quartier pilote Praille Acacias Vernets à Genève favorisent et garantissent une vision globale ainsi qu'un développement durable grâce à la prise en compte précoce des exigences.

Des planifications **sectorielles** spécifiques permettent un examen approfondi et posent les bases pour la collaboration interdisciplinaire. Par exemple, la « stratégie communale de l'eau » recommandée au point 5.1 est déjà appliquée dans le canton de Genève à travers le projet « Eau en ville », qui sert de fondement pour un vaste débat interdisciplinaire sur le développement urbain futur, sur les qualités visées et sur l'ancrage dans la planification direc-

trice qui en découle. Cela permet de soupeser les intérêts en toute transparence, tout en promouvant la compréhension mutuelle.

Les indicateurs, les valeurs et les normes définies étaient la planification, facilitent l'évaluation du développement et servent au suivi. À l'heure actuelle, il n'existe quasiment pas de normes définies à ce sujet.

Tab.2 : Exemples de solutions pour l'ancrage informel de la gestion des eaux pluviales favorisant un développement urbain adapté aux changements climatiques

Stratégies, plans, conceptions directrices et projets intégraux

| | | |
|--------------------------|--|--|
| Programmes de l'exécutif | Objectifs de législation, plans d'action | Canton de Soleure : plan d'action pour l'adaptation aux changements climatiques |
| | Programmes prioritaires | Programme ACCLIMATASION ³⁴ |
| Stratégies territoriales | Stratégies de développement territorial | <ul style="list-style-type: none"> • Canton de Zurich : stratégie de développement territorial à long terme (LaRES) avec un sous-projet dédié au climat local • Ville de Zurich : plan de développement de Sihl-Manegg⁴¹ |
| | Masterplans | Ville de Berne : masterplan Viererfeld / Mittelfeld, partie dédiée au climat urbain ²⁶ |
| | Projets pilotes | <ul style="list-style-type: none"> • Ville de Genève : quartier pilote Praille Acacias Vernets 2020²⁸ • Ville de Lucerne : l'ewl Areal comme quartier modèle en matière de planification et de gestion décentralisée des eaux |

Stratégies et concepts sectoriels spécifiques

| | |
|---|---|
| Dangers naturels / planifications de l'eau | <ul style="list-style-type: none"> • Rapport du Conseil fédéral « Gestion des dangers naturels en Suisse »⁶ • Canton de Zurich : projet de révision de la carte des dangers naturels • Riehen : masterplan « Gesamtentwässerung Moostal » (Évacuation générale des eaux de la vallée Moostal), vision intégrale du réseau de drainage, de la protection contre les crues et du ruissellement • Canton de Genève : concept visant à assurer l'intégration optimale de l'eau dans la ville²¹ • Zofingue : concept de mesures contre les fortes précipitations³⁷ |
| Protection du climat / adaptation aux changements climatiques | Canton de Genève : Plan climatique cantonal. Volet 2, mesure n° 5.3 « Eau en ville » ²¹ |
| Environnement | <ul style="list-style-type: none"> • Canton de Zurich : plan de mesures pour l'adaptation aux changements climatiques²⁴ • Winterthour : document de principe sur les changements climatiques, aspects c et e ainsi que le défi 5 (HR5) • Ville de Zurich : concept de conseil en matière d'espaces libres, éviter les constructions souterraines, gérer les eaux météoriques, utiliser l'humidité pour lutter contre la surchauffe |

Indicateurs, valeurs, normes

| | | |
|-------------------------------|----------------------------|---|
| Indicateurs | Degré d'imperméabilisation | Canton de Bâle-Ville : portail des indicateurs : imperméabilisation du sol, crues |
| Valeurs cibles et indicatives | | |

7.3 Mise en œuvre à travers le conseil et la promotion

La fonction de modèle et l'influence qu'exercent les pouvoirs publics en matière de construction ne sont pas les seuls moyens de soutenir un développement urbain adapté aux changements climatiques sur le plan des fortes précipitations et de la gestion décentralisée des eaux pluviales. À travers le **conseil, la sensibilisation, ou un soutien et une promotion actifs**, il est possible de donner l'impulsion aux planificateurs et aux particuliers et de les aiguiller vers le développement souhaité. Les aides à l'exécution et les notices guident les planifications, tandis que les programmes, les systèmes d'incitation et une coopération ciblée de l'administration permettent d'apporter un soutien actif.

Les campagnes et l'inclusion des parties prenantes, par exemple par le biais de procédures participatives, ancrent les préoccupations d'un développement adapté aux changements climatiques au sein de la population, favorisent la compréhension et augmentent l'acceptation des mesures tout comme des inondations temporaires.

La Confédération promeut de nouvelles approches et méthodes grâce à des projets-modèles et à des programmes pilotes ou d'agglomération portant sur l'adaptation aux changements climatiques. Des acteurs locaux, régionaux et cantonaux sont ainsi incités à développer des solutions dans le cadre des axes prioritaires fixés par la Confédération et à les tester localement. Les résultats obtenus et les connaissances acquises doivent être actés et servir d'exemple pour d'autres projets.

Tab. 3 : Offres pour le conseil, la sensibilisation ainsi que le soutien et la promotion actifs en matière de développement urbain adapté aux changements climatiques

| Conseil, sensibilisation | | |
|--|--|---|
| Aides à l'exécution | Agriculture | OFEV et OFAG : « Protection des sols dans l'agriculture », aide à l'exécution |
| | Protection contre les crues | OFEV et ARE : « Recommandation. Aménagement du territoire et dangers naturels » ¹³ |
| | Règlement sur les constructions et régime d'affectation | Chalon d'Argovie : modèle de règlement. « Leitfaden Siedlungsentwicklung » (Guide pour le développement urbain) |
| | Carte des dangers | Chalon d'Argovie : recommandation pour la mise en œuvre dans la planification de l'utilisation du sol avec prise en compte du ruissellement |
| | PGEE | Divers cantons (tels que LU, AG et SO) : modèle de cahier des charges |
| | Ordonnance sur l'évacuation des eaux urbaines / règlement d'assainissement | Divers cantons (tels que BE, ZH) : modèles d'actes normatifs |
| Pratique en matière d'autorisation de construire | Notices et check-lists | <ul style="list-style-type: none"> Ville de Zurich : aide concernant l'infiltration³⁸, check-list pour la végétalisation des toitures Chalon de Zoug : « Merkblatt Versickerung und Retention von Regenwasser im Liegenschaftsbereich » (Notice sur l'infiltration et la rétention de l'eau de pluie aux abords des immeubles) |
| | Guides | Chalon de Zurich : « Leitfaden Naturgefahren Hochwasser / Oberflächenabfluss » (Guide sur les dangers naturels, partie relative aux crues et au ruissellement) |
| | Normes | Chalon de Bâle-Ville : normes pour le Service des espaces verts ²⁵ |
| | Conseil en bâtiment | Ville de Zurich : aire Labitzke |
| Participation | Procédure participative | Carouge, quartier Grosselin : ateliers et forum sur le développement du quartier ²⁸ |
| Campagnes | Eau et climat | Chalon de Genève : « Eau en ville » ²¹ |
| | Écologie | Lausanne : Réseau écologique urbain |

| Soutien et promotion actifs | | |
|---|---|--|
| Programmes d'agglo-mération | Quatre premières générations | Aspects du développement urbain adapté aux changements climatiques / stratégie de l'eau non traitée jusqu'à présent |
| Projets-modèles | Développement territorial durable | Projets 2020-2024 : stratégies intégrales, paysage ¹⁴ |
| Programmes pilotes | Adaptation aux changements climatiques | Phase I : ACCLIMATASION ³⁴ Phase II : projets sur le risque de crue, la sécheresse estivale ² |
| Systèmes d'incitation | Confédération | OFEV : subventions pour les mesures de prévention contre les dangers liés au ruissellement |
| | Cantons | <ul style="list-style-type: none"> • Canton de Zurich : dans le modèle de SEVO (ordonnance sur l'évacuation des eaux urbaines), § 14 : contributions communales pour les investissements dans des mesures de séparation des eaux de pluie • Canton de Berne : modèle de règlement, taxe sur les eaux pluviales aux art. 28, 30 et 31 |
| | Communes | <ul style="list-style-type: none"> • Ostermundigen : règlement d'assainissement, art. 31 / Baden : règlement d'assainissement, § 48 : remboursement de la taxe de raccordement en cas de désimperméabilisation / de construction d'un système d'infiltration pour les terrains existants³³ • Baden : règlement d'assainissement, § 55 : exonération de taxe en cas d'utilisation de l'eau de toiture pour les chasses d'eau ou autre • Lausanne : subventions pour la végétalisation de toitures et la réutilisation de l'eau de pluie • Écublens : contributions pour les systèmes d'infiltration • Ville de Zurich : réduction des taxes d'assainissement conformément à l'ordonnance sur les prix de la gestion des eaux usées (VPA) en cas d'infiltration de l'eau de toiture et de faible taux d'imperméabilisation |
| Participation aux planifications privées (parallèlement aux plans d'affectation spéciaux) | Procédures qualitatives, planifications tests, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Ville de Zurich : réaménagement du ZHA Boulevard Campus Hönggerberg, cahier des charges prévoyant l'infiltration et la rétention. Mise en œuvre du concept « Wassermanagement Hönggerberg » (Gestion de l'eau à Hönggerberg) de l'EPF Zurich • Ville de Zurich : aire Hunziker, ensemble résidentiel « Mehr als Wohnen » (Bien plus qu'une habitation) |
| Collaboration avec les associations professionnelles | Bases et concepts | <ul style="list-style-type: none"> • OFEV – VSA : dangers naturels en Suisse, concept général pour les données de pluie, actualisation du cahier des charges type du PGEE • OFEV – AECA : carte de l'aléa ruissellement |
| | Élaboration de normes et de directives | Norme SN 592 000 Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds, élaborée conjointement par le VSA et suissetec |

Annexe 1 Documents de base et projets en Suisse

Confédération

Conseil fédéral

1

Adaptation aux changements climatiques en Suisse :
stratégie du Conseil fédéral
www.bafu.admin.ch/climat-strategie-adaptation

2

Adaptation aux changements climatiques en Suisse :
Plan d'action 2020-2025
www.bafu.admin.ch/ui-2022-f

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

3

Scénarios hydrologiques Hydro-CH2018
www.nccs.admin.ch/hydro

4

Programme pilote « Adaptation aux changements climatiques »
www.bafu.admin.ch/adaptation-climat-programme-pilote

5

Carte de l'aléa ruissellement en Suisse
www.bafu.admin.ch/ruissellement

6

Gestion des dangers naturels en Suisse
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/naturgefahren/dossiers/umgang_mit_naturgefahrenin-derschweiz.pdf.download.pdf/gestion_des_dangersnaturelsuisse.pdf

7

Quand la ville surchauffe
www.bafu.admin.ch/uw-1812-f

8

La canicule et la sécheresse de l'été 2018
www.bafu.admin.ch/uz-1909-f

9

Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures.
www.bafu.admin.ch/uz-2013-f

10

Manuel Planification des interventions en cas de danger naturel gravitaire
<https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/naturgefahren/fachinfo-daten/leitfaden-einsatzplanung-gravitative-naturgefahren.pdf.download.pdf/Manuel%20pour%20la%20planification%20des%20interventions.pdf>

Office fédéral du développement territorial (ARE)

11

Directives programme trafic d'agglomération (DPTA)
www.are.admin.ch/pta

12

Guide de la planification directrice
<https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-territoire/strategie-et-planification/plans-directeurs-cantonaux.html>

13

Recommandation – Aménagement du territoire et dangers naturels
www.are.admin.ch/dangers-naturels

14

Projets-modèles pour un développement territorial durable
www.projets-modeles.ch

| | |
|--|--|
| Office fédéral de la protection de la population (OFPP) | 22 |
| 15 | Transformation urbaine de l'agglomération PAV www.ge.ch/dossier/praille-acacias-vernets-pav |
| Fortes précipitations et planification d'engagement du service de protection et de sauvetage de Zurich www.babs.admin.ch/fr/publikservice/downloads/gefri-siken.html | |
| => Protection de la population et changement climatique | |
| Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) | 23 |
| 16 | Notentlastung Reuss auf Autobahn A2 www.ur.ch/themen/2786 |
| Scénarios climatiques CH2018 www.scenarios-climatiques.ch | |
| 17 | Communes |
| MétéoSuisse : analyses des valeurs extrêmes https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/analyses-des-valeurs-extremes.html | |
| 18 | Bâle |
| Climatologie de la grêle en Suisse www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/le-nccs/themes-prioritaires/climatologie-grele-suisse.html | 24 |
| | Richtlinien und Standards (Bäume, Grünflächen, Beläge) www.stadtgaertnerei.bs.ch/ueber-uns/geschaeftpartner/richtlinien-standards/standards.html |
| Services spécialisés dangers naturels de la Confédération | Berne |
| 19 | 25 |
| Portail des dangers naturels www.dangers-naturels.ch | Richtlinien und Standards (Bäume, Grünflächen, Beläge) www.stadtgaertnerei.bs.ch/ueber-uns/geschaeftpartner/richtlinien-standards/standards.html |
| | 26 |
| | Entwicklung Viererfeld/Mittelfeld www.bern.ch/themen/planen-und-bauen/stadtentwicklung/stadtentwicklungsprojekte/viererfeld |
| | 27 |
| | Verwaltungsgebäude Guisanplatz |
| | www.bbl.admin.ch/bbl/de/home/bauten/bauwesen/aktuelle-baprojekte/verwaltungszentrum-am-guisanplatz-1-in-bern.html |
| Cantons | |
| Colombes | |
| Geneve | |
| 20 | Carouge |
| Planification territoriale communale et climat www.ge.ch/document/planification-territoriale-communale-climat | 28 |
| | Quartier Grosselin www.ge.ch/dossier/praille-acacias-vernets-pav/quartiers/grosselin |
| 21 | Lindau |
| Eau en Ville www.ge.ch/document/eau-ville-gestion-eaux-pluviales-changement-pratiques | 29 |
| | Buechbach www.lindau.ch/pressemittelungen/239298 |

| | | |
|--|--|--|
| Marthalen | | Ereignisbericht Hochwasser 8. Juli 2017 https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu/umwelt-natur-landschaft/hochwasserschutz-gewaesser/hochwasserschutzmassnahmen/ereignisbericht-2017 |
| 30 | | |
| Hochwasserschutz | | |
| www.krene.ch/download.php?doc=MzM1MzQzLjY4 | | |
| Meyrin | | Zurich |
| 31 | | 38 |
| Écoquartier Les Verges | | Arbeitshilfe Versickerung in Stadträumen |
| www.lesvergers-meyrin.ch/ecoquartier/ | | www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/taz/fachunterlagen/richtlinien.html#arbeitshilfen_versickerung |
| Opfikon | | 39 |
| 32 | | Koch-Areal |
| Glattpark | | www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/Projekte/laufende-projekte/koch-areal.html |
| www.glattpark.ch/opfikerpark | | |
| Ostermundigen | | 40 |
| 33 | | Albisrieder Dorfbach |
| Kostengünstige Alternative zum Ausbau der Abwasserkanäle | | www.portal.zh-affoltern.ch/files/zh-affoltern/images/quartierinfo/SW_Bachkonzept_1306.pdf |
| https://vsa.ch/wp-content/uploads/2020/04/Kostenguenstige_Alternative_zum_Ausbau_der_Abwasserkanaele.pdf | | |
| Sion | | 41 |
| 34 | | Entwicklungsplanung Manegg |
| ACCLIMATASION | | www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau/planung/entwicklungsgebiete/manegg.html |
| www.sion.ch/acclimatasion | | |
| Saint-Gall | | 42 |
| 35 | | Avaloq-Areal |
| Verbundsteuerung | | www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau/planung/entwicklungsgebiete/manegg/projekte_geplant/avaloq.html |
| www.energieschweiz.ch/page/de-ch/EnergieSchweiz-vergibt-ersten-Smart-City-Innovation-Award-in-Basel | | |
| Wetzikon | | 43 |
| 36 | | Max-Bill-Platz |
| Wigarten | | www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-erleben/park-und-gruenanlagen/parkanlagen-von-az/max-bill-platz.html |
| https://m.wetzikon.ch/index.php?apid=15998681&jsr=1 | | |
| Zofingen | | 44 |
| 37 | | Turbinenplatz |
| Schadenfälle durch Starkniederschläge in Zofingen | | www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-erleben/park-und-gruenanlagen/parkanlagen-von-az/turbinenplatz.html |
| www.zofingen.ch/public/upload/assets/5238/Bericht%20Starkregen%20Analyse%20und%20Massnahmen.pdf ainsi que | | |

45

Pilotprojekt Scheuchzerstrasse
www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/taz.html

Associations, institutions, médias et outils

46

Association suisse des professionnels de la protection des eaux VSA
www.vsa.ch

47

Plate-forme « Protection contre les dangers naturels » proposant des informations de base, une fonction de recherche par emplacement, des listes de produits pour la protection contre les crues et des exemples de bonnes pratiques
www.protection-dangers-naturels.ch/proprietaire.html

48

PLANAT : Plate-forme nationale Dangers naturels.
Stratégie 2018 « Gestion des risques liés aux dangers naturels »
www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/Strategie2018/Strategie_fr.pdf

49

Prevent-Building : évaluation de l'économie des mesures de protection
www.protection-dangers-naturels.ch/specialiste/service/couts.html

50

Normes VSS
www.vss.ch

51

Normes SIA
www.sia.ch/fr/services/sia-norm

en particulier la norme 261/1 « Actions sur les structures porteuses : Spécifications complémentaires » et ses lignes directrices 4002 « Crues », tout comme la documentation 0260 « Intégration des dangers naturels dans la conception et la planification de bâtiments » (ainsi que d'autres normes, notamment 318, 190, 271/272, 2050)

52

Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe
<https://naturwissenschaften.ch/service/publications/107224-werkzeuge-zum-thema-oberflaechenabfluss-als-naturgefahr---eine-entscheidungshilfe>

Annexe 2 Exemples de bonnes pratiques d'autres pays

États et régions

53

Région Grand Est

www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/eaux-pluviales-r7012.html et
www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/doctrine_pluviale_grand_est-compresse.pdf

Farmsen

56

Trabrennbar

<https://trabrennbahn-farmsen.de> und
www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/NSP/SharedDocs/Projekte/WSProjekte_DE/Hamburg_Farmsen_Wohnpark_Trabrennbahn.html

Villes et communes

Berlin

54

STEP Klima KONKRET

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

Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung

www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/SenStadt_Regenwasser_dt_bfrei_final.pdf

Schuhmacher-Quartier

www.schumacher-quartier.de

Begrenzung der Einleitung von Regenwasser

www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/regenwasser/de/Hinweisblatt-BReWa-BE.pdf

Esslingen

55

Sonnensiedlung

www.dreiseitl.com/de/portfolio?typology=gew%C3%A4sser#residential-area-egert

Fribourg-en-Brisgau

57

Zollhallenplatz

www.dreiseitl.com/de/portfolio?region=deutschland#zollhallen-plaza

Gelsenkirchen

58

Lanferbach

www.rvr.ruhr/fileadmin/user_upload/01_RVR_Home/02_Themen/Umwelt_Oekologie/Emscher_Landschaftspark/PDFs/2010_Masterplan_Emscher_Landschaftsplan.pdf

Hambourg

59

Projekt RISA

www.risa-hamburg.de

60

Hölertwiete Hamburg-Harburg

www.hcu-hamburg.de

Copenhague

61

Climate resilience programme for storm water and sewer services

www.hofor.dk/wp-content/uploads/2016/09/climate_resilience_programme_faktaark_2016.pdf

| | |
|--|--|
| 62 | Offenbach |
| St.-Annæ-Platz | 69 |
| https://stateofgreen.com/en/partners/schonherr/solutions/sankt-annae-square | Goethequartier www.offenbach.de/leben-in-0f/planen-bauen-wohnen/wohnen/wohnungsbauprojekte/_/goethequartier/_/goethequartier13.09.2017.php |
| Langenau près d'Ulm | Oslo |
| 63 | 70 |
| Gesplittete Abwassergebühr www.verwaltungsverband-langenau.de/wissenswertes/gesplittete-abwassergebuehr | Groruddalen www.dreiseitl.com/de/portfolio#holalokka |
| Landshut | Ostfildern |
| 64 | 71 |
| Flutmulde www.wwa-la.bayern.de/hochwasser/hochwasserschutzprojekte/flutmulde/index.htm | Scharnhauser Park www.ostfildern.de/Stadt+_+Geschichte/Ostfildern+entdecken/Scharnhauser+Park.html |
| Leonding | New York |
| 65 | 72 |
| Überschwemmungsschutz https://ib-humer.at/ueberschwemmungsschutz-in-leonding | The Big U www.rebuildbydesign.org/our-work/all-proposals/winning-projects/big-u |
| Lyon | Noisy-le-Sec |
| 66 | 73 |
| Eaux pluviales www.roannaise-de-leau.fr/competences/eaux-pluviales | Parc des guillaumes www.urbanwater.fr/?projects=france-noisy-le-sec-parc-des-guillaumes |
| Rue Garibaldi www.grandlyon.com/actions/lyon-rue-garibaldi.html | Rennes |
| 67 | 74 |
| Porte des Alpes www.graie.org/OMEGA2/IMG/pdf/Rapport_Final_Constance_Thual.pdf | L'écoquartier La Courrouze www.lacourrouze.fr/decouvrir-le-projet-urbain/l-ecoquartier |
| 68 | |
| Parapluie-Hydro https://parapluie-hydro.com/grandlyon sowie www.grandlyon.com/services/gestion-des-eaux-pluviales.html | |

Reutlingen

75

Das Beste für Wasser

www.ser-reutlingen.de/willkommen sowieLeitfaden Regenwasser und Hochwasserrisiko-
managementwww.stadtverwaltung-reutlingen.de/programme/RIS/ris_web.nsf/xsp/download?documentId=6669834F721449ABC125861E004C6858&file=Vorlage_Infrastrukturanpassung%20der%20SER%20infolge%20des%20Klimawandels%20Leitfaden%20Regenwasser%20und%20Hochwasserrisikomanagement%20in%20der%20Stadt%20Reutlingen.pdf**Roskilde**

76

Musicon

[https://ghb-landskab.dk/projekter/musicon-en-musisk-bydel](http://ghb-landskab.dk/projekter/musicon-en-musisk-bydel)**Rotterdam**

77

Museumpark

[https://paulderuiter.nl/projects/museumpark](http://paulderuiter.nl/projects/museumpark)

78

Bentheimpark

www.db-bauzeitung.de/db-themen/db-archiv/temporaer-geflutet**Singapour**

79

Bishan – Ang Mo Kio Park

www.nparks.gov.sg/gardens-parks-and-nature/parks-and-nature-reserves/bishan---ang-mo-kio-park**Stuttgart**

80

Bad Cannstatt, Neckarpark

www.stuttgart.de/leben/stadtentwicklung/neckarpark.php

81

Winnenden

<https://de.ramboll.com/projects/germany/arkadian-winnenden>**Institutions**

82

Informationsportal Klimaanpassung in Städten INKAS des Deutschen Wetterdienstes DWD

www.dwd.de/DE/leistungen/inkas/inkasstart.html

Annexe 3 Informations spécialisées complémentaires

Gestion décentralisée des eaux pluviales / villes éponges : recherche et pratique

83

KURAS – Konzept für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme

www.kuras-projekt.de

84

SAMUWA – Verbundforschungsvorhaben

<https://hawam-inis.de/de/inis-projekte/samuwa>

Végétalisation de bâtiments

85

Optigrün

www.optigruen.de/fileadmin/05-prospekte/dachbegruener/dachbegruener-2017-01.pdf

86

Dübendorf, Gestaltungsplan Giessen

www.duebendorf.ch/_docn/2368973/5_Factsheet.pdf et
www.duebendorf.ch/newsarchiv/283806

87

GreenScenario

www.dreiseitl.com/de/news/green-scenario

88

Greenpass

<https://greenpass.io/de>

89

Interreg Projekt Verdeval – verde e clima urbano

<https://verdevale.eu>

90

Auszeichnung Blauer Kompass 2020 für Firma
HanseGrand:

www.youtube.com/watch?v=sRZQNFrel7I

Annexe 4 Table des illustrations et crédits photographiques

Figures

Figure 1

Carte des dangers de crues, avec signalisation des bâtiments touchés par les intempéries de 2017 à Zofingue et à Strengelbach

Source : Stadt Zofingen, Ressort Tiefbau

Figure 2

Épisode de ruissellement du 2 mai 2013 au niveau du Service des travaux publics de Schaffhouse, sur la Schweizerbildstrasse

Source : Urs Gyseler, Amt für Geoinformation des Kantons Schaffhausen, urs.gyseler@sh.ch

Figure 3

Intempéries de 2017 à Zofingue

Source : Stadt Zofingen, Ressort Tiefbau

Figure 4

La Place centrale de Lausanne le 11 juin 2018

Source : 345307193 KEYSTONE/ Valentin Flauraud

Figure 5

Évolution de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations sur un jour survenant trois fois par an, de 1901 à 2015

Source : Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniiger M. A., Croci-Maspoli M., Knutti R. 2016 : Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 2626–2637, <https://doi.org/10.1002/2015JD024634>

Figure 6

Évolution attendue des précipitations maximales sur un jour (%) dans le nord-est de la Suisse en cas d'émissions effrénées de gaz à effet de serre (modèle climatique RCP 8.5) pour trois périodes

Source : NCCS (éd.) 2018 : CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse. National Centre for Climate Services, Zurich.

Figure 7

Cycle de l'eau avec ou sans imperméabilisation du sol
Source : illustration de l'OFEV

Figure 8

Mesures phares pour différents événements de pluie
Source : illustration de l'OFEV

Figure 9

Le concept de la ville éponge
Source : illustration de l'OFEV

Figure 10

Consolidation des infrastructures verte, bleue et grise comme fondement d'un développement urbain adapté aux changements climatiques, d'après le projet RISA (RegenInfraStrukturAnpassung, Hambourg)
Source : projet RISA (adapté)

Figure 11

Objectifs possibles dans le cadre d'un développement de projet
Source : Ramboll Studio Dreiseitl (adapté)

Figure 12

Les instruments de l'aménagement du territoire d'après la feuille d'information de l'ARE
Source : ARE (adapté)

Figure 13

Extrait de la carte des dangers de crues de Zofingue et Strengelbach
Source : Gefahrenkarte Hochwasser, Geoportal Kanton Aargau, 1^{er} octobre 2021

Figure 14

Extrait de la carte de l'aléa ruissellement de Zofingue et Strengelbach
Source : swisstopo, OFEV

Figure 15

Instruments de planification pour la protection des eaux

Source : illustration de l'OFEV

Figure 16

Le plan « à cinq doigts » montre de quelle façon l'eau s'écoule en cas de fortes précipitations

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 17

Une rue-rivière par temps sec et lors d'une forte pluie

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 18

Structure de projet complète de la stratégie RISA

Source : plan de structure RISA (adapté)

Figure 19

La gestion des eaux pluviales dans la région Grand-Est se réfère à des niveaux de service

Source : Région Grand-Est

Figure 20

Mise en réseau des cheminements de l'eau, d'après la stratégie « Eau en ville » du canton de Genève

Source : BASE-ATM et État de Genève, « Eau en Ville – Gestion des eaux pluviales : vers un changement de pratiques ? », <https://www.ge.ch/document/20618/telecharger>

Figure 21

Gestion des eaux pluviales d'après le masterplan

Source : Masterplan Viererfeld/Mittelfeld; Stadtplanung-samt Bern, 20 mai 2020

Figure 22

Démarche recommandée pour intégrer l'aménagement des eaux pluviales dans l'aménagement du territoire

Source : illustration de l'équipe de projet

Figure 23

Vue d'ensemble des mesures et évaluation de leur efficacité pour la gestion des eaux pluviales

Source : illustration de l'équipe de projet

Figure 24

Digue rehaussée avec l'ouvrage de sortie et le trop-plein de sécurité surélevé

Source : Hunziker Betatech AG

Figure 25

En bleu, les tronçons du Buechbach s'écoulant à ciel ouvert ; en violet foncé, le bassin de rétention

Source : swisstopo

Figure 26

Gestion selon la méthode Keyline

Source : Philipp Gerhardt, <http://baumfeldwirtschaft.de/>

Figure 27

Positionnement topographique de lignes clés pour la collecte optimale des eaux pluviales

Source : Humadesign.org,

<http://crkeyline.ca/what-is-keyline-design/>

Figure 28

Mise en place de lignes clés grâce à de petites buttes réalisées mécaniquement

Source : Regrarians.org

Figure 29

Agriculture appliquant la méthode Keyline à Meilen

Source : Urs Ambühl

Figure 30

Plan de Scharnhauser Park et de son système d'évacuation des eaux

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 31

Cuvettes de rétention de Scharnhauser Park

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 32

Mesure de protection du centre historique de Zofingue contre le ruissellement consistant à bomber le débouché d'une rue. Vue de la pente avant (à gauche) et après (à droite) cette modification topographique

Source : Stadt Zofingen, Ressort Tiefbau

Figure 33

Seuil à l'entrée du centre historique visant à dévier le ruissellement à Steckborn

Source : Hunziker Betatech AG

Figure 34

Le ruissellement est acheminé dans le Talerbach via la route

Source : Huntziker Betatech AG

Figure 35

Infiltration sur la Zollhallenplatz, à Fribourg-en-Brisgau

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 36

Aires contiguës de circulation et préau à l'école secondaire d'Oberdorf (BL)

Source : SAIBRO – revêtement perméable

(producteur Saibro GmbH)

Photo : H. Imholz / 2011

Figure 37

Voie piétonne et parking à vélos à Lugano

Source : Giorgio Benicchio

Figure 38

Horburgstrasse à Bâle, voie de tramway après sa végétalisation

Source : Kanton Stadt-Basel, Planungsamt, S&A

Figure 39

Exemple de pavés à joints engazonnés pour les places de stationnement, Lugano Suglio

Source : Studio Rodel, architecte paysagiste, Lugano

Figure 40

Bilan hydrique d'un étang avec surface raccordée de même taille et tranchée de décharge

Source : Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH

Figure 41

Quartier Arkadien à Winnenden, plan du site avec l'étang de rétention

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 42

Exemple d'infrastructure intégrée pour la gestion des eaux pluviales

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 43

Bassin de rétention du quartier Wigarten

Source : OST ILF, Thomas Oesch

Figure 44

Plan de remise à ciel ouvert de l'Alna à Oslo

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 45

Piscine écologique avec rétention et trop-plein

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 46

Le Kallang River renaturé dans le parc de Bishan – Ang Mo Kio en temps normal

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 47

Le Kallang River en cas d'épisode pluvieux vicennal

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 48

L'Albisrieder Dorfbach en temps normal

Source : Entsorgung und Recycling Zürich

Figure 49

L'Albisrieder Dorfbach à la suite d'un épisode pluvieux, avec rétention

Source : Entsorgung und Recycling Zürich

Figure 50

Parc des Guillaumes, servant à la fois d'espace naturel, de détente et de rétention d'eau

Source : Urbanwater, Paris

Figure 51

Parc des Guillaumes, servant à la fois d'espace naturel, de détente et de rétention d'eau

Source : Urbanwater, Paris

Figure 52

Noue au sein des jardins du quartier Les Vergers
Source : État de Genève, Théo Gardiol

Figure 53

Sur la Turbinenplatz, des noues plantées de fleurs absorbent l'eau en cas de fortes précipitations
Source : Niculin Cathomen, ERZ

Figure 54

La place Max Bill avant son réaménagement
Source : Pia Meier / « Zürich Nord »

Figure 55

La place Max Bill après son réaménagement
Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 56

Parc résidentiel de l'ancien hippodrome avec son canal d'eau de pluie dans le quartier de Farmsen
Source : bgmr Landschaftsarchitekten GmbH

Figure 57

Les fossés charrent l'eau de pluie ruisselant des immeubles jusqu'au lac de l'Opfikerpark
Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 58

Dans l'aire Labitzke, l'eau de pluie est déviée vers des fossés de rétention et des surfaces vertes
Source : Schmid Landschaftsarchitekten GmbH

Figure 59

Fossés ouverts destinés à l'évaporation et à l'infiltration
Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 60

Principe des fosses de plantation intégrant la gestion des eaux à Hambourg-Harburg
Source : BlueGreenStreets, HCU, créée avec brusheezy.com

Figure 61

Fosses de plantation dans la rue
Source : HCU, Michael Richter

Figure 62

Coupe longitudinale des fosses de plantation de la Scheuchzerstrasse, avec des noues partiellement reliées
Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 63

Vue verticale
Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 64

Bassin de crue de Landshut
Source : Klaus Leidorf,
www.Leidorf.de
www.Leidorf-aerial.com

Figure 65

Bassin de crue de Marthalen
Source : OST ILF, Thomas Oesch

Figure 66

Construction d'une tranchée drainante
Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 67

Les couches inférieures sont constituées d'éléments en plastique (utilisation comme eau d'extinction) et les autres couches, de lave (espace poral élevé)
Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 68

Coupe longitudinale d'une noue avec tranchée drainante
Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 69

Coupe schématique du garage souterrain avec le volume de rétention
Source : Paul de Ruiter

Figure 70

Transformation des passages souterrains en bassins de rétention
Source : Luce Ponsar, Métropole de Lyon (adapté)

Figure 71

Bassin de rétention de la Zieglerstrasse

Source : Tiefbauamt der Stadt Bern

Figure 72

Conduite d'amenée à Köniz avec dispositif de régulation.

Le tube de protection noir contient une sonde destinée à mesurer le niveau d'eau

Source : Gemeindebetriebe Köniz

Figure 73

Représentation schématique du bassin versant de la STEP Au de Saint-Gall, avec les ouvrages extérieurs intégrés dans le système de gestion combinée

Source : Entsorgung St. Gallen

Figure 74

Comparaison de la performance d'évaporation d'un arbre urbain avec celle des différents types de toitures végétalisées

Source : ZinCo

Figure 75

Toitures végétalisées dans le quartier Goethe à

Offenbach

Source : Büro Landes&Partner

Figure 76

Système contrôlable combinant volume de rétention et volume de stockage pour l'irrigation

Source : Optigrün international AG

Figure 77

Toiture à végétalisation intensive sur le Toni-Areal à Zurich

Source : Studio Vulkan, Zürich

Figure 78

Une noue d'infiltration filtre l'eau de pluie avant qu'elle ne s'écoule dans la citerne

Source : Thomas Wagner

Figure 79

Citerne avec volume de rétention et de stockage

Source : Mall AG

Figure 80

À droite, le régulateur de débit, et à gauche, le trop-plein du volume de rétention

Source : OFCL, Rudenz Flühmann

Figure 81

Le lieu de rencontre de proximité « Grüne Mitte »

Source : Ramboll Studio Dreiseitl

Figure 82

Terrain de jeu et de football à Fribourg avec, dans le coin au fond, l'ouvrage d'écoulement vers la canalisation

Source : OST ILF, Thomas Oesch

Figure 83

Le parking à vélos de la piscine de Zofingue avant (à gauche) et après (à droite) la modification du terrain

Source : Stadt Zofingen

Figure 84

Place Bentemplein par temps sec (à gauche) et durant une forte pluie (à droite)

Source : MUST Städtebau

Figure 85

À Roskilde, le canal alimentant le bassin de rétention sert aussi de skatepark

Source : GHB

Figure 86

Bassin de rétention aménagé comme un lac proche de l'état naturel

Source : GHB

Figure 87

Bord de la place avec bordure de 3 cm de haut

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 88

La Vulkanplatz, un espace multifonctions

Source : StadtLandschaft GmbH

Figure 89

Centre historique de Valence, avec ses rigoles d'évacuation des eaux

Source : Ramboll Danemark

Figure 90

Coupe transversale de la place Sankt-Annæ, avec la bande verte plus basse

Source : Ramboll/Schonherr

Figure 91

Vue de la place Sankt-Annæ

Source : Ramboll

Figure 92

Tronçon submersible de l'autoroute A2 entre Attin-ghausen et Seedorf, dans le canton d'Uri, pendant la crue d'octobre 2020

Source : Valentin Luthiger

Figure 93

Digue de protection mobile remplie d'eau

Source : Hydrobaffle – Mobiler Damm

Figure 94

Usage multifonctions et intégration urbanistique des mesures de protection à New York

Source : Rebuild by Design/The BIG Team

Figure 95

Mur de protection abaissé lors d'un épisode de fortes pluies (visualisation)

Source : Rebuild by Design/The BIG Team

Tableaux (source : équipe de projet)**Tableau 1**

Solutions pour ancrer formellement une gestion des eaux pluviales favorisant un développement urbain adapté aux changements climatiques. Exemples fournis à titre d'information et de suggestion

Tableau 2

Exemples de solutions pour l'ancrage informel de la gestion des eaux pluviales favorisant un développement urbain adapté aux changements climatiques

Tableau 3

Offres pour le conseil, la sensibilisation ainsi que le soutien et la promotion actifs en matière de développement urbain adapté aux changements climatiques

Annexe 5 Glossaire

Aménagement des eaux pluviales

Toutes les activités de planification en matière de protection contre les crues et d'évacuation des eaux urbaines qui sont nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des eaux pluviales.

Coefficient de ruissellement (ou indice de ruissellement)

Constante traduisant le rapport entre l'eau de pluie précipitée et l'eau de pluie ruisselée. On distingue le coefficient de ruissellement de pointe (rapport entre le volume maximal d'eau précipitée et le volume maximal d'eau ruisselée pour une durée de précipitation donnée) et le coefficient de ruissellement moyen ou coefficient de ruissellement global (rapport entre le volume d'eau précipitée et le volume d'eau ruisselée).

Eaux de ruissellement

Part des eaux de précipitation s'écoulant à la surface. Le ruissellement se produit lorsque celles-ci ne peuvent pas s'infiltrer en raison des caractéristiques du sol (p. ex. surfaces imperméabilisées, sol compacté) ou après saturation du sol.

Fortes précipitations

Épisode présentant une forte intensité de précipitations par rapport à sa durée et ne survenant que rarement. Le présent rapport s'intéresse aux fortes précipitations (ou précipitations intenses) qui occasionnent un ruissellement. Ces précipitations ne durent généralement que quelques minutes, voire quelques heures, et se distinguent par une intensité très élevée (définition sous 2.2).

Gestion décentralisée des eaux pluviales

Approche visant à retenir et à utiliser les eaux de précipitation sur place, à les laisser s'évaporer pour améliorer le climat local et s'infiltrer pour alimenter les eaux souterraines, à les décontaminer par filtration alluvionnaire et, le cas échéant, à les rejeter de façon régulée dans un plan d'eau ou une canalisation.

Infrastructure verte et bleue

Réseau planifié de manière stratégique, composé de plans d'eau, de cours d'eau et d'espaces verts artificiels proches de l'état naturel. L'infrastructure verte et bleue fournit des services écosystémiques importants en ce qui concerne la gestion des eaux de précipitation, la protection contre les inondations et la régulation thermique.

Multicodage

Alternance opportune d'utilisations mettant en relation des intérêts différents ou des fonctions différentes. Grâce au multicodage, les surfaces libres et les espaces verts peuvent répondre à plusieurs besoins d'utilisation (multi-fonctionnalité), parmi lesquels le besoin d'adaptation aux changements climatiques : en cas d'événement extrême, ils peuvent par exemple retenir temporairement de fortes précipitations (saturation) ou détourner l'eau de manière ciblée (dérivation de secours) dans le cadre de la gestion des eaux pluviales.

Pluie de référence

Épisode pluvieux historique ou modélisé servant de référence pour démontrer les performances hydrauliques d'un ouvrage existant ou planifié.

Refroidissement par évaporation

Phénomène survenant lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état d'agrégat gazeux (vapeur d'eau). L'énergie thermique nécessaire à l'évaporation est retirée au liquide et à son environnement, ce qui a pour effet de créer un refroidissement.

Résilience climatique

Capacité d'un système social ou écologique à réagir aux perturbations du climat et, ce faisant, à préserver sa structure et son fonctionnement, sa capacité à se réorganiser et sa faculté d'adaptation aux atteintes et aux changements.

Tranchée drainante

Dispositif de rétention et d'infiltration des eaux de précipitation évacuées, généralement souterrain, dont le fond est couvert de gravier ou d'autres matériaux résistant à l'érosion de contact.

Ville éponge

Concept de la planification du milieu bâti visant à aménager l'espace urbain de sorte qu'il absorbe les eaux de précipitation à l'instar d'une éponge pour les restituer ensuite de façon différée. Cette approche permet d'éviter des inondations dues à de fortes précipitations, de stocker l'eau précipitée en vue des périodes de sécheresse, d'améliorer le climat urbain et de réduire les fortes chaleurs grâce à l'évaporation.

Annexe 6 Abréviations

AEAI

Association des établissements cantonaux d'assurance incendie

AECA

Association des établissements cantonaux d'assurance

ARE

Office fédéral du développement territorial

ASA

Association suisse d'assurances

ASAE

Association suisse pour l'aménagement des eaux

ASVE

Association suisse des spécialistes du verdissement des édifices

DWA

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (association allemande de l'eau, des eaux usées et des déchets)

FbR

Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V. (association allemande pour les eaux industrielles et les eaux pluviales)

OFEV

Office fédéral de l'environnement

OFPP

Office fédéral de la protection de la population

PGEE

Plan général de l'évacuation des eaux

PREE

Plan régional de l'évacuation des eaux

RISA

RegenInfraStrukturAnpassung, Hambourg (adaptation des infrastructures aux fortes précipitations)

SIA

Société suisse des ingénieurs et des architectes

SSIGE

Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux

VSA

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

VSS

Association suisse des professionnels de la route et des transports

Aide à la lecture des mesures

Contribution à la ville éponge et efficacité à prévenir les dommages en cas de fortes pluies

- élevée
- moyenne
- faible

Synergies

- élevées
- moyennes
- faibles

Domaines d'application

- ▼ application prépondérante
- ▽ application peu pertinente