



**HAL**  
open science

## Un outil pour évaluer l'adaptation des villes au changement climatique: la Matrice Bleue-Verte

Loé Maire, Sabine Chamoun, Giovanni De Cesare

### ► To cite this version:

Loé Maire, Sabine Chamoun, Giovanni De Cesare. Un outil pour évaluer l'adaptation des villes au changement climatique: la Matrice Bleue-Verte. Novatech 2023, Graie, Jul 2023, Lyon, France. hal-04187465

**HAL Id: hal-04187465**

**<https://hal.science/hal-04187465v1>**

Submitted on 18 Sep 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Un outil pour évaluer l'adaptation des villes au changement climatique: la Matrice Bleue-Verte

### A tool to assess the adaptation of cities to climate change: the Blue-Green Matrix

MAIRE Loé<sup>1</sup>, CHAMOUN Sabine<sup>2</sup>, DE CESARE Giovanni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – loe.maire@sfr.fr

<sup>2</sup> BG Ingénieurs Conseils SA – sabine.chamoun@bg-21.com

<sup>3</sup> Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – giovanni.decesare@epfl.ch

#### RÉSUMÉ

La majorité des zones urbaines à travers le monde sont fréquemment touchées par le changement climatique, notamment à travers les effets d'îlots de chaleur ou l'augmentation de la fréquence des inondations. Les villes éponges, concept développé en Chine en 2013, font l'objet de nombreuses publications depuis quelques années. Il est aujourd'hui acquis que « la ville éponge » est une solution réalisable et efficace pour la mise en place de zones urbaines résilientes aux effets du changement climatique. Toutefois, il y a un manque de méthodologies permettant d'évaluer le degré d'adaptabilité des villes face au changement climatique. Ainsi, cette étude a pour but d'élaborer un outil permettant de quantifier et qualifier la résilience des villes de manière simple, rapide et précise, et de leur proposer des solutions proportionnées. Appelée Matrice Bleue-Verte, cet outil est composé de huit indicateurs, basés sur les trois objectifs climatiques des villes : la gestion des eaux pluviales, la préservation de la biodiversité et le confort thermique. Le cas d'étude appliqué au campus de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), en Suisse, montre que la matrice élaborée permet de déterminer les aspects qui sont les plus urgents à améliorer, mais permet aussi de voir l'évolution des indicateurs suite à la modélisation de chaque scénario d'infrastructures.

#### ABSTRACT

Most urban areas around the world are frequently affected by climate change through heat island effects or increased flooding. The Sponge City Concept, introduced in China in 2013, has been the subject of numerous publications in recent years. It is now established that the sponge city is a feasible and effective solution for building urban areas that are resilient to the climate change. However, there is a lack of methodology to assess how far cities are from their potential to adapt. Thus, this study aims to develop a methodology to quantify and qualify the resilience of cities using a simple, quick and accurate tool: the Blue-Green Matrix. It's composed of eight indicators, based on the three cities' climate goals: stormwater management, biodiversity conservation, and thermal comfort. The case study applied to the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), in Switzerland, shows that the matrix allows to determine which aspect is the most urgent to improve, as well as allows to see the evolution of the indicators as a result of the modelling of each scenario of infrastructures.

#### MOTS CLÉS

Adaptation, changement climatique, indicateurs, résilience, ville éponge.

---

# 1 L'ÉTAT DE L'ART ET DU MARCHÉ

## 1.1 Les villes éponges: une solution d'adaptation

Aujourd'hui les villes doivent faire face à une augmentation du changement climatique et donc des événements extrêmes de plus en plus violents et fréquents. Ainsi les zones urbaines doivent être repensées afin de devenir plus résilientes au changement climatique et parallèlement réduire leur empreinte carbone à l'aide d'infrastructures plus durables [Brears, 2018]. En 2013, le gouvernement chinois a mis en place l'initiative "Sponge City" (ville éponge) afin de développer une stratégie plus durable du contrôle des ruissellements urbains et de l'urbanisation. Ce principe de ville éponge cherche à se différencier de l'approche traditionnelle des écoulements rapides des eaux de pluies vers les canalisations ou en surface (infrastructures grises) pour une utilisation de procédés plus naturels, telle une "éponge résiliente" [Jia et al., 2015].

Appelés "infrastructures bleues-vertes", ces procédés plus naturels concilient deux domaines d'action. Le premier, le bleu, représente l'importance de la gestion physique de l'eau c'est-à-dire les fonctions hydrauliques. Le deuxième, le vert, fait le lien entre les fonctions hydrauliques urbaines et les systèmes de végétation urbains lors de l'aménagement des villes. Les infrastructures bleues-vertes offrent donc des bénéfices socio-économiques et permettent de conserver les fonctions des écosystèmes naturels [Wouters et al., 2016]. Depuis les années 2000 il est donc devenu évident que la planification durable des villes ne se réfère plus seulement aux espaces "verts" mais s'étend aux espaces "bleus" [Xiu et al., 2015].

Les infrastructures bleues-vertes et les villes éponges de manière générale offrent donc de nombreux bénéfices dans des domaines variés. Elles permettent aussi bien de réduire les risques d'inondation et le débit de pointe des ruissellements que de réduire les îlots de chaleur, maintenir la biodiversité en milieu urbain ou améliorer la santé des citoyens. La figure 1 montre les bénéfices de différentes infrastructures bleues-vertes. De manière générale les villes éponges permettent donc de restaurer le cycle naturel de l'eau et ses fonctions écologiques au sein d'une zone urbaine [Wang et al., 2021].

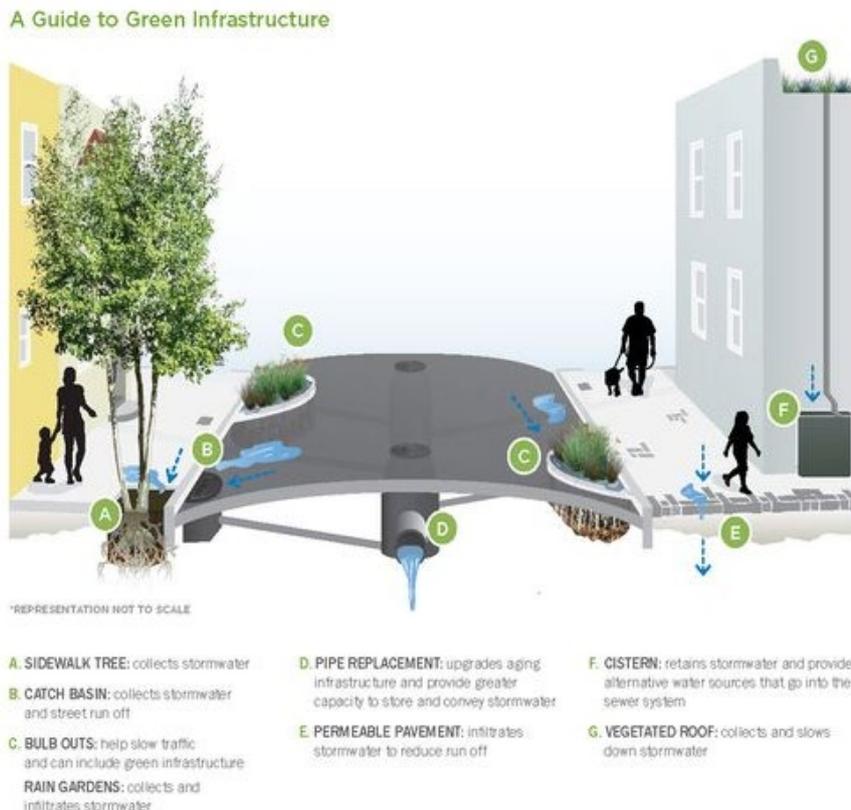


Figure 1 : Schéma montrant les bénéfices de différents aménagements bleus-verts [praja, 2019].

## 1.2 Le manque d'outil pour aider les villes

Bien que de nombreuses publications sur les villes éponges et sur les co-bénéfices de ces infrastructures existent, il y a un manque de méthodologies permettant de visualiser la proportion d'infrastructures bleues-vertes nécessaire dans les villes et les endroits où elles doivent être installées.

Aujourd'hui de nombreux plans climat sont rédigés par les politiciens pour mettre en place des objectifs en terme de développement durable dans les villes. Il est alors nécessaire de connaître la distance entre l'état actuel de la ville et les objectifs des plans climat qui ont généralement une vision à 2050. Les nombreux entretiens réalisés avec des représentants de diverses collectivités montrent que celles-ci connaissent ces nombreuses infrastructures bleues-vertes et leurs atouts. Cependant, ces communes ont besoin d'un outil ayant une vision globale et qui leur permettrait de savoir précisément où il faut implémenter des infrastructures durables pour améliorer leur résilience au changement climatique. Jusqu'ici les communes profitaient des travaux d'entretiens réalisés régulièrement pour implémenter des infrastructures plus durables, mais elles ne réalisaient pas de travaux dans le but de mettre en place ces infrastructures. Généralement aucun diagnostic n'est réalisé avant de mettre en place des mesures, elles sont implémentées simplement là où il y a une opportunité de mettre en place une nouvelle infrastructure bleue-verte plutôt que là où il y a un réel besoin.

## 2 LA MATRICE BLEUE-VERTE

### 2.1 Un outil d'évaluation

Afin de combler le manque de diagnostic lors de l'installation d'infrastructures bleues-vertes dans les villes, une méthodologie de quantification et qualification du degré d'adaptation des villes au changement climatique a été mise en place. Cette méthodologie, sous la forme d'un outil d'aide à la décision, pourrait être utilisée lors d'un pré-projet pour faire le diagnostic de la situation actuelle. Ce diagnostic est réalisé sur la base de la comparaison entre l'état actuel et l'état attendu de la ville en 2050 dans le cas où les objectifs des plans climat sont respectés. Afin de pouvoir appliquer cette méthodologie à la globalité des villes, un outil simple d'utilisation, avec des paramètres connus facilement dans la plupart des villes, rapide d'utilisation, mais donnant aussi des résultats précis a été développé. Les données nécessaires à l'utilisation de cet outil sont généralement présentes dans les plans d'aménagements des villes, comme par exemple la surface des différents types de sols (végétation, gravier, pavé, béton, ...), la surface de canopée, la hauteur des bâtiments, les types et dimensions des ouvrages de rétention et stockage des eaux de pluies.

### 2.2 Une vision holistique

Cet outil, sous la forme d'une matrice, appelée Matrice Bleue-Verte, a été conçu avec une vision holistique. En effet, en accord avec les nombreux plans climat et les problématiques auxquelles les villes devront faire face, cette matrice regroupe trois thématiques : la gestion des eaux de pluies, la préservation de la biodiversité et le confort thermique. Avec cette composition, la Matrice Bleue-Verte offre une vision globale de l'état actuel des villes et des aménagements nécessaires. Afin de quantifier le degré d'adaptation actuel des villes au changement climatique, plusieurs indicateurs ont été mis en place pour chaque thématique (figure 2).

En ce qui concerne la gestion des eaux de pluie en milieu urbain, les indicateurs doivent qualifier et quantifier des problématiques différentes : la diminution des inondations, la diminution du débit de pointe et l'apport régulier en eau en période de fortes chaleur [Etat de Vaud, 2020]. Afin d'atténuer le risque d'inondations l'infiltration locale de l'eau de pluie dans les sols permet de réduire la quantité d'eau ruisselante [Nehls et al., 2020]. Le débit de fuite d'un bassin versant peut être atténué grâce à des systèmes de rétention environnementaux ou artificiels [Li, 2019]. Finalement, la problématique de la raréfaction croissante de l'eau dû au changement climatique nécessite de collecter et stocker l'eau de pluie pour pouvoir la réutiliser par la suite. Les trois indicateurs sont donc l'infiltration, la rétention et le stockage de l'eau de pluie.

La thématique de la biodiversité est difficile à appréhender. Depuis des années, chercheurs et chercheuses étudient la biodiversité en milieu urbain afin de comprendre ce qui est bénéfique pour son maintien dans les villes. Aujourd'hui il est encore difficile d'énoncer la quantité de végétation nécessaire

au maintien de la biodiversité en milieu urbain. Toutefois, des paramètres sont déjà connus et importants. Le premier indicateur est la connectivité des espaces verts en milieu urbain afin de garantir le déplacement et la reproduction de la faune et la flore [Kindlmann et al. 2008]. Le second est la diversité dans les milieux verts (gazon, prairie non fauchée, potagers, ...).

Finalement, mesurer le confort d'une ville semble primordial dans l'étude de l'adaptation des villes au changement climatique, notamment avec le phénomène grandissant d'îlots de chaleur. Cette notion dépend de paramètres tels que l'ombre et l'albedo qui sont des mesures phares dans l'adaptation des villes aux fortes températures. Pour cette raison ce seront deux indicateurs. Finalement le confort en termes d'infrastructures sera abordé afin d'analyser si la quantité des aménagements extérieurs est suffisante, et surtout si leur qualité répond toujours aux besoins des usagers.

Pour chaque indicateur, une variable servant de comparaison entre l'état actuel et l'état théorique a été instaurée, avec une méthodologie de quantification de celle-ci. Par exemple pour l'indicateur de rétention, le volume de rétention existant actuellement sera comparé au volume de rétention nécessaire pour assurer la gestion d'une pluie forte en 2050, sans inondations. Afin de qualifier le degré d'adaptation de la ville au changement climatique, une échelle à quatre niveaux d'adaptation a été mise en place (figure 2). Le niveau d'adaptation optimal au changement climatique correspond à l'état attendu en 2050 selon les plans climat. La figure 2 montre un exemple de résultat de Matrice Bleue-Verte pouvant être obtenu, où un niveau d'adaptation est attribué à chaque indicateur sur la base de la comparaison de la variable de l'état actuel et la variable simulant l'état théorique.

Thématique	Indicateur	Résultat
Gestion des eaux de pluies	Infiltration	Très faible
	Rétention	Faible
	Stockage	Faible
Biodiversité	Continuité écologique	Moyen
	Diversité des milieux	Moyen
Confort	Albedo	Moyen
	Ombre	Très faible
	Mobilier urbain	Elevé


Très faible    Faible    Moyen    Elevé

Figure 2: Exemple de Matrice Bleue-Verte pouvant être obtenue pour l'étude d'une ville [Maire, 2022].

### 2.3 Scénarios d'aménagements

Une fois que le diagnostic de la situation actuelle de la ville a été réalisé, il est possible de proposer des solutions d'aménagements. Un catalogue regroupant toutes les infrastructures bleues-vertes existantes a été conçu. Il indique notamment, pour chaque infrastructure, les différents indicateurs de la Matrice Bleue-Verte qui peuvent être améliorés. En effet, chaque infrastructure joue un rôle dans l'amélioration du niveau d'adaptation de plusieurs indicateurs appartenant à diverses thématiques. Cette démarche permet donc de mettre en avant les effets synergiques des aménagements plurifonctionnels. Divers scénarios d'aménagements peuvent être envisagés où chaque aménagement est dimensionné à l'aide des résultats de la matrice qui donne les dimensions optimales pour atteindre les objectifs des plans climat de 2050.

Le niveau d'adaptation au changement climatique de ces scénarios d'aménagements peut être modélisé avec la Matrice Bleue-Verte. En effet en insérant dans la matrice les paramètres et dimensions des infrastructures des scénarios envisagés, la Matrice Bleue-Verte donnera la distance entre le scénario envisagé et l'état attendu en terme d'adaptation au changement climatique. Ainsi cet outil permet de savoir quels sont les scénarios les plus résilients et visualiser l'évolution du niveau d'adaptation de chaque indicateur pour chaque scénario. Ainsi, en dernière étape, il en revient à la ville de choisir le scénario qu'elle veut mettre en place selon les indicateurs qu'elle préfère mettre en avant.

## 2.4 Validation de la Matrice Bleu-Verte : un cas d'application

Afin de tester, affiner et valider la Matrice Bleu-Verte, celle-ci a été appliquée au campus de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), en Suisse.

La matrice a permis de modéliser précisément les dimensions des infrastructures bleues-vertes nécessaires et donc d'envisager plusieurs scénarios d'aménagements. Ce cas d'étude montre que l'analyse de divers scénarios avec la matrice Bleu-Verte permet de mettre en relief l'évolution de chaque indicateur pour chaque scénario. La figure 3 représente les résultats de la matrice pour l'état actuel ainsi que pour les scénarios d'adaptation d'une zone du campus de l'EPFL. Cette figure montre dans un premier temps que ces aménagements bleus-verts sont bénéfiques en terme d'adaptation au changement climatique mais aussi que selon le scénario choisi les objectifs finaux ne seront pas les mêmes. En effet chaque scénario améliore le niveau d'adaptation de différents indicateurs. Finalement, ce cas d'application a pu mettre en avant le fait que la mise en place d'un seul aménagement peut entraîner l'amélioration de plusieurs indicateurs, donc confirmer les effets synergiques des infrastructures bleues-vertes.

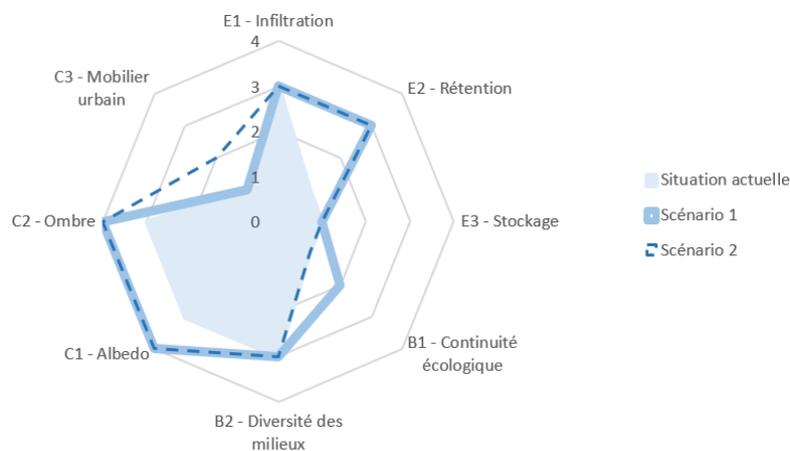


Figure 3 : Exemple de diagramme en radar représentant la situation actuelle d'une zone du campus de l'EPFL ainsi que deux scénarios d'aménagements envisagés [Maire, 2022].

## BIBLIOGRAPHIE

- Brears, R. (2018). *Blue and Green Cities. The role of blue-green infrastructure in managing urban water resources*. Palgrave macmillan.
- Etat de Vaud (2020). *Stratégie du Conseil d'Etat vaudois pour la protection du climat*.
- Jia, H., Yu, S. (2015). *China's ambitious sponge city alternative : a monumental effort for green:gray infrastructure integration*. EWRI Contents, Vol.17, 4.
- Kindlmann, P., Burel, F. (2008). *Connectivity measures : a review*. Landscape Ecol, 23 :879–890.
- Li, Q. (2019). *Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction : A case study in Guangxi, China*. Journal of Environmental Management, 231 :10–20.
- Maire, L. (2022). *Adaptation des villes au changement climatique : un campus EPFL bleu-vert*. Thèse de master EPFL.
- Nehls, T., Peters, A. (2020). *Water dynamics at the urban soil-atmosphere interface - rainwater storage in paved surfaces and its dependence on rain event characteristics*. Journal of soils and sediments, 21 :2025–2034.
- praja (2019). *Fear and Tender S.U.R.E.*
- Wang, S., Palazzo, E. (2021). *Sponge City and social equity : Impact assessment of urban stormwater management in Baicheng City, China*. Urban Climate, 37.
- Wouters, P., Dreiseitl, H., Wanschura, B., Wörten, M., Moldaschl, M., Wescoat, J., Noiva, K. (2016). *Blue-Green Infrastructures as tools for the management of urban development and the effects of climate change*. Ramboll environ.
- Xiu, N., Ignatieva, M., Bosch, C.V.D. (2015). *The challenges of planning and designing urban green networks in Scandinavian and Chinese cities*. Journal of Architecture and Urbanism, 40, 163-176.