



Axe de recherche R2.1

Hydrologie de la gestion à la source des eaux pluviales – de l'ouvrage à la ville

Animateurs :

Katia Chancibault (katia.chancibault@univ-eiffel.fr)

Jérémie Sage (jeremie.sage@cerema.fr)

CONTEXTE

La **gestion à la source des eaux pluviales** est aujourd'hui largement mise en avant pour limiter les effets de l'imperméabilisation en favorisant localement le stockage, l'évapotranspiration ou l'infiltration dans le sol. Les ouvrages sur lesquels repose cette gestion peuvent ainsi contribuer à la désimperméabilisation des villes et plus largement à la renaturation du cycle de l'eau urbain (Fletcher et al, 2015). Le recours à des **ouvrages de gestion à la source (OGS)** favorise en effet la réduction des volumes de ruissellement dirigés vers les réseaux d'assainissement et les milieux aquatiques superficiels, la recharge des stocks d'eau dans le sol, et la remobilisation de l'eau par la végétation. Plus largement, leur mise en œuvre peut contribuer à la re-fonctionnalisation des sols urbains, et s'inscrire dans le cadre de stratégies plus larges de re-végétalisation de la ville (Bouzouidja et al, 2021). Les OGS contribuent également à l'adaptation de la ville au changement climatique (Depietri et McPhearson, 2017). Ces derniers permettent d'abord de limiter les effets de l'imperméabilisation eux-mêmes susceptibles d'être aggravés par le changement climatique. Ils peuvent également apporter des bénéfices en termes de rafraîchissement urbain en favorisant l'évapotranspiration. Les OGS, a priori plus adaptables que les infrastructures grises classiques, pourraient également constituer un atout face à des évolutions du climat demeurant à l'heure actuelle difficiles à anticiper. Néanmoins, la forte place laissée au végétal dans ces solutions, peut soulever des interrogations quant à leur performance et résilience vis-à-vis des extrêmes climatiques futurs (Farrell et al, 2022).

Si les études se sont multipliées ces dernières années pour mieux comprendre le fonctionnement de ces ouvrages et en particulier leurs performances individuelles, certains processus ou certaines conceptions d'ouvrage ne sont encore pas pleinement maîtrisés. A l'échelle d'un projet, les conséquences hydrologiques de la mise en œuvre de la gestion à la source des eaux pluviales, et les bénéfices qui en découlent, sont par ailleurs fortement dépendants du contexte local (urbain, pédologique, hydrogéologique...). Le choix et le dimensionnement des ouvrages doivent également tenir compte de contraintes urbanistiques, physiques ou géotechniques et d'une diversité d'enjeux dépassant le strict cadre de la gestion des eaux pluviales. Ainsi, bien que des connaissances soient disponibles, la question de l'**adaptation des modalités de gestion des eaux pluviales** (choix et conception des ouvrages) au contexte local demeure difficile à appréhender de façon globale.

A l'échelle d'une ville ou d'un quartier, répondre à la diversité des enjeux et des contraintes techniques nécessite vraisemblablement d'**associer des solutions de différente nature** (grises, bleues, vertes) (Wang et al. 2023). Or, si le fonctionnement des OGS a été évalué individuellement, leurs **performances lorsqu'utilisés en combinaison** (en série ou en parallèle), avec divers types d'ouvrages connectés ou non sur un même bassin versant, restent encore mal connus. Enfin, les multiples co-bénéfices susceptibles d'être apportés par les OGS (confort thermique, énergétique des bâtiments, bien-être, santé...), nécessitent de tendre vers des **approches plus systématiques pour l'évaluation de leur fonctionnement** et de leurs performances.

Ainsi, les connaissances quant au fonctionnement hydrologique des OGS, aux différentes échelles d'intérêt, doivent encore être consolidées pour faire face à la complexité de chaque situation. La traduction opérationnelle de ces connaissances est également nécessaire.

ETAT DES CONNAISSANCES

Fonctionnement hydrologique des ouvrages de gestion à la source

Les recherches menées dans le cadre des précédentes phases d'OPUR, à l'échelle du dispositif, ont contribué à améliorer la compréhension de leur fonctionnement et, en particulier, des facteurs contrôlant leurs performances hydrologiques vis-à-vis des événements fréquents. Au cours des dernières années, les travaux se sont plus spécifiquement concentrés sur des conceptions laissant une large place au végétal et faisant potentiellement intervenir une diversité de composantes (couches de stockage, drains, imperméabilisation...). Progressivement, les questionnements associés à l'étude des OGS, d'abord centrés sur la maîtrise des volumes ruisselés, ont également été élargis au **bilan hydrologique des ouvrages** (évapotranspiration, recharge du stock d'eau dans le sol et le sous-sol...) et au **lien entre fonctionnement et développement du végétal**.

Des avancées méthodologiques ont ainsi été réalisées autour de l'**estimation et la modélisation du flux d'évapotranspiration**, susceptible de jouer un rôle important dans le bilan hydrologique et dans la capacité à fournir différents services

écosystémiques (régulation thermique, support pour le développement du végétal). Toutefois, encore aujourd'hui, sa quantification et sa prise en compte dans le dimensionnement des OGS demeurent difficiles dans des contextes opérationnels (Ebrahimian et al, 2017), en particulier pour des couverts végétaux hétérogènes. Les outils de modélisation usuels ne permettent par ailleurs pas réellement de capturer, à l'échelle de l'ouvrage, les interactions et rétroactions entre évapotranspiration, microclimat local et état de la végétation (Robineau et al. 2022).

Au cours des dernières années, des **suivis météorologiques sur des périodes longues** ont été mis en œuvre afin d'appréhender la variabilité des conditions auxquelles ils sont soumis durant leur période de fonctionnement. Ces expérimentations ont permis d'identifier et d'améliorer la compréhension des déterminants (processus ou choix de conception) de l'efficacité des OGS (Ouédraogo et al. 2022). Toutefois, le lien entre contexte local (climat, sol...), choix de conception des ouvrages, et fonctionnement hydrologique n'est à ce jour pas pleinement maîtrisé.

Enfin, les travaux d'observations et de modélisation des OGS passés se sont pour l'essentiel limités à des conditions non-exceptionnelles, et ne permettent donc pas réellement d'**anticiper le fonctionnement des OGS pour des extrêmes climatiques** – et notamment les extrêmes secs et chauds susceptibles d'affecter les OGS destinés à la gestion des pluies courantes - ni pour les régimes pluviométriques futurs. Il apparaît ainsi nécessaire de s'interroger sur la possibilité de garantir les performances hydrologiques des ouvrages et la survie de la végétation associée sous climat futur (Zhang et al, 2021).

Effets de la gestion décentralisée à l'échelle d'une aire urbaine

Au-delà de l'échelle de l'ouvrage, il existe des études sur les performances des OGS. Cependant, la majorité se limite à l'échelle du bassin versant urbain, dépassant rarement quelques centaines d'hectares (Arvand et al, 2023, Bisht et al, 2016). La diffusion (multiplication) à l'échelle d'un quartier ou à l'échelle d'une agglomération reste difficile à mettre en œuvre. Il n'existe pas de guide exhaustif, ou de procédure qui s'adapte à toutes les situations. Si les services gestionnaires peuvent avoir une idée claire des objectifs à atteindre, selon le secteur aménagé, les diverses contraintes locales à prendre en compte (caractéristiques du sol, contraintes réglementaires, techniques et sociales), en plus des enjeux de gestion des eaux pluviales, complexifient l'exercice. De plus, à cette échelle, il devient primordial d'inclure différents ouvrages dans les configurations étudiées tout en prenant en compte leurs connexions. Encore peu de modèles sont aujourd'hui capables de cela (Saniei et al, 2021). **Identifier les combinaisons optimales d'ouvrages à grande échelle** pose donc la question de la construction des configurations à tester, ou scénarios, question encore peu étudiée aujourd'hui. Croiser les contraintes réglementaires avec les enjeux hydro-climatiques, pour la construction de scénarios sur la base d'une vingtaine d'ouvrages différents est en cours d'étude (Chavez, 2024 et Betou, 2024). La prise en compte de contraintes techniques, pour les toitures végétalisées a aussi été étudiée dans le cadre de projet antérieurs (TVGEP, DRI).

Dans le cadre du programme OPUR5, les enjeux de gestion des eaux pluviales ont déjà été abordés, aux échelles du quartier et de la ville. A l'échelle du quartier, les

effets de l'infiltration à la source sur le cycle de l'eau dans un contexte de nappe peu profonde ont été étudiés pour une diversité de cas d'étude théoriques (Pophillat, 2022), mettant en évidence l'influence des contextes climatiques, hydrogéologiques et urbains ainsi que des modalités de mise en œuvre de l'infiltration sur le devenir des eaux infiltrées.

A l'échelle de la ville, le cadre de modélisation hydro-climatique a été défini et mis en œuvre, à l'échelle du Grand Paris et plus largement, vis-à-vis des enjeux de confort thermique. Une analyse des enjeux du territoire a pu être initiée (Bernard, 2021).

Les ouvrages de gestion à la source sont par ailleurs présents dans nos outils de modélisation hydrologique URBS (noues, toitures végétalisées...) et hydro-climatique TEB (toitures végétalisées, végétation en ville). Pour ce dernier, grâce aux projets OPUR5 et WiseCities (I-SITE FUTURE), une large gamme d'ouvrages infiltrants, stockants, végétalisés ou non, initialement classés à l'aide d'une typologie (Tunqui Neira et al, 2023), sont désormais disponibles. L'évaluation de ces nouvelles paramétrisations est en cours.