

## Quantification des impacts des revêtements perméables – Modélisation et étude in situ de pavés en béton drainants

Quantifying impacts of permeable pavement systems –  
Modelling and field study of porous concrete pavers

O. Cortier<sup>1,2</sup>, D.H. Nguyen<sup>1</sup>, M. Boutouil<sup>1</sup>, O. Maquaire<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ESITC Caen - 1 rue Pierre et Marie Curie, 14610, Épron, France

Email : [olivier.cortier@esitc-caen.fr](mailto:olivier.cortier@esitc-caen.fr)

<sup>2</sup> LETG Caen, Géophen, UMR6554 CNRS - Campus 1, Bâtiment A, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex 5, France

### RÉSUMÉ

Les revêtements perméables se développent en France et à l'étranger comme une technique d'avenir en réponse aux enjeux de la protection des sols et l'amélioration du cycle de l'eau en milieu urbain. Le développement de pavés drainants au sein du laboratoire de l'ESITC Caen a mis en évidence le besoin de quantifier les apports des revêtements perméables pour répondre aux attentes des acteurs locaux et favoriser l'utilisation de ces techniques par les aménageurs. Dans ce but, la modélisation des mécanismes hydrologiques des revêtements perméables permettra de quantifier leurs bénéfices en termes de réduction du ruissellement pluvial, protection des sols par infiltration de l'eau ou encore réduction de la chaleur urbaine par échange hydro-thermique. L'utilisation d'un modèle informatique permettra également de quantifier l'impact des différentes caractéristiques des structures à revêtement perméable sur leurs performances. Ce travail de recherche sera couplé avec un suivi in situ du fonctionnement hydraulique de plusieurs places de parking perméable. Les résultats de ce suivi constitueront une base de données qui servira pour caler et valider le travail de modélisation.

### ABSTRACT

Permeable pavements are one of the most promising techniques that can answer the issue of restoring ground water flows and improve the water cycle in urban areas. The development of pervious concrete pavers at ESITC Caen has highlighted the need to quantify the contribution of permeable surfaces to the water cycle. This quantification could help to meet the expectations of local authorities and encourage the use of these techniques by urban planners. The modelling of the hydrological mechanisms of permeable pavements will quantify their benefits in terms of rainwater runoff reduction, groundwater recharge and reduction of the urban heat island effect by hydrothermal exchange. It will also quantify the impact of the structural characteristics on the system performances. This research project will be coupled with a field study of a permeable car park in which the hydrologic performances will be monitored. These monitoring data will constitute a database that will be used to build and validate the simulation model.

### MOTS CLÉS

Eaux pluviales, Infiltration, Modélisation, Parkings drainants, Revêtements perméables

## 1 INTRODUCTION

L'urbanisation entraîne une augmentation de l'imperméabilisation des sols naturels et la perturbation du cycle hydrologique de l'eau en réduisant les capacités d'infiltration des sols et en augmentant le ruissellement. Elle participe, entre autres, à des inondations plus fréquentes, à des surcharges épisodiques des réseaux et à la pollution des milieux récepteurs par lessivage en temps de pluie (Zhou, 2014).

La protection des sols et de leurs fonctionnalités ainsi que l'amélioration de la gestion des eaux de pluie sont des enjeux pour l'aménagement urbain (CERTU, 2003). Les revêtements perméables sont une des solutions à ces problématiques et suscitent un intérêt certain en France comme à l'international (Tennis et al., 2004). Un intérêt qui invite à apporter des réponses concrètes et quantifiées quand aux bénéfices et aux limites des revêtements perméables, pour combattre les idées reçues sur l'infiltration (Chocat, 2015) et favoriser leur utilisation par les aménageurs.

En réponse à ces enjeux, un programme de recherche a été initié au sein du laboratoire de l'ESITC Caen et du laboratoire Géophen (Université de Caen-Normandie), il a pour objectif de quantifier les impacts et les bénéfices des revêtements perméables sur les enjeux liés à l'urbanisation. Ce programme de recherche se situe dans la continuité du projet VECOP (Boutouil et Nguyen, 2014) et en parallèle avec le projet VECOPEXP, qui a pour but de suivre in situ des pavés perméables sur plusieurs chantiers expérimentaux.

Cette quantification s'appuiera sur un travail de modélisation pour analyser l'utilisation et le comportement hydrologique des structures de revêtements perméables et leur intégration dans les aménagements urbains.

Le travail de modélisation global sera conduit en trois étapes, présentées schématiquement ci dessous.

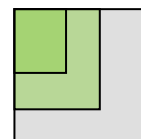
1–Modélisation 2D Verticale



2–Modélisation 2D Horizontale, couplée avec le modèle 2D Vertical



3–Application à des études de cas en Basse Normandie.



Construction de différents scénarios pour quantifier les impacts

Les travaux présentés ici concernent la première étape, la modélisation verticale du comportement hydrogéologique des revêtements perméables. Elle a pour objectif de proposer une simulation fidèle du fonctionnement de ces ouvrages et d'étudier l'influence de leur conception sur leurs performances.

## 2 METHODES

Pour mener à bien ce travail, la modélisation sera construite en lien étroit avec des études in situ dans le cadre du projet 'VECOPEXP' et s'appuiera sur des expériences en laboratoire.

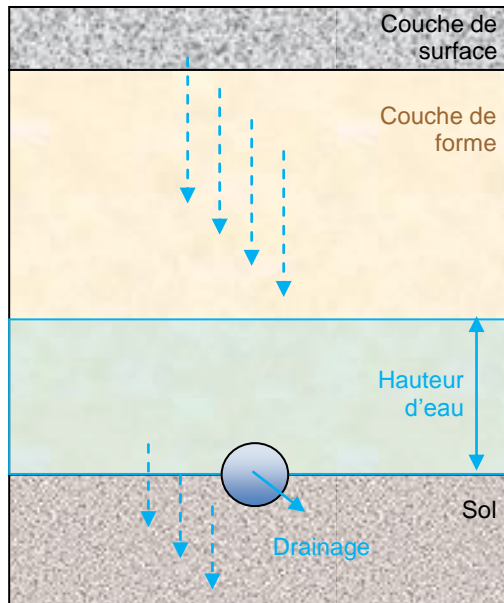
### 2.1 Méthodologie de la modélisation

Afin d'évaluer l'influence des caractéristiques de la structure sur son fonctionnement, la modélisation sera construite à partir d'un modèle à base physique permettant de prendre en compte les connaissances des mécanismes hydrologiques (Cosandey et Robinson, 2000) ainsi que leur formulation mathématique (de Marsily, 2004).

Le modèle devra permettre de définir en entrée les paramètres clefs de l'ouvrage tels que le type de revêtements perméable en surface, les épaisseurs des différentes couches, la porosité et la conductivité hydraulique de la couche de surface, ainsi que celles de la couche de forme (Hunt et Collins, 2008). L'état initial de la teneur en eau dans l'ouvrage et les conditions météorologiques (pluie, température, etc.) seront également des données d'entrée du modèle.

En sortie, l'objectif est que le modèle fournisse notamment ; le débit drainé, le débit infiltré, les pertes par évaporation et interception, la circulation et le stockage de l'eau dans l'ouvrage.

Figure 1 - Schématisation de la structure et des mécanismes à modéliser



1 – Modélisation des écoulements au travers de la couche de surface (Volume intercepté, infiltré, stocké).

2 – Modélisation des écoulements dans la couche de forme (Vitesse de déplacement, humidité au cours de l'évènement pluvieux, humidité par temps sec, etc.)

3 – Modélisation de la hauteur d'eau dans l'ouvrage au cours d'un évènement pluvieux ou d'une suite d'évènements.

4 – Modélisation du temps de vidange par drainage, par infiltration dans le sol et par système combiné.

5 – Modélisation des écoulements par infiltration dans le sol en dessous de l'ouvrage (saturation, réalimentation des nappes).

6 – Modélisation des interfaces (Air-couche de surface, couche de surface/ couche de forme, couche de forme/sol).

7 – Modélisation des échanges hydrodynamique (évaporation, variation de la température dans la structure, etc.)

Afin de caler le modèle, les caractéristiques des ouvrages de parking perméables installés sur le site de l'ESITC Caen seront utilisées en données d'entrée. Le modèle sera calé en utilisant les données de débit sortant et de hauteur d'eau dans l'ouvrage collectées via la station de suivi pour plusieurs séries d'évènements pluvieux correspondants à différentes périodes de retour. Par la suite l'utilisation de jeux de données différents, issus de nouveaux évènements pluvieux, permettra de valider le modèle.

En complément du suivi in situ, des essais en laboratoire seront conduits en utilisant un banc d'essai instrumentalisé simulant un évènement pluvieux sur une structure avec un revêtement perméable (Illgen et al., 2007). Ces données permettront de vérifier la justesse des résultats du modèle pour différentes caractéristiques de l'ouvrage ou du sol (variation du type sol ou de la composition de la couche de forme par exemple).

## 2.2 Méthodologie du suivi in situ

Dans le cadre de l'agrandissement de l'ESITC Caen des places de parkings perméables vont être réalisés à l'aide des pavés drainants développés dans le cadre du projet VECOP. Deux d'entre elles seront instrumentalisées avec une station de suivi, voir figure 1.

Les stations seront réalisées conformément au schéma de la figure 2. Des tensiomètres et des TDR seront également installés à intervalles réguliers dans la structure pour suivre la teneur en eau et la tension en continu.

Les places de parkings suivies seront isolées des places adjacentes par des membranes verticales imperméables, l'une d'entre elle sera également isolée du sol dans le but de récupérer l'ensemble du débit dans le drain, la seconde sera équipée d'une membrane perméable pour permettre l'infiltration partielle dans le sol (sol :  $k = 3,2 \cdot 10^{-7}$  m/s).

La fin des travaux est prévue pour mars 2016, l'acquisition des données en continu se fera dès la mise en place de l'équipement dans les stations.

En plus des données sur les transferts hydriques, les stations de suivi permettront, par prélèvement d'échantillon et analyses en laboratoire, de quantifier les transferts de polluants au travers de l'ouvrage pour évaluer le risque de pollution du sol et des eaux souterraines dû aux revêtements perméables.

Figure 2 - Implantation des parkings perméables et des deux stations de suivi

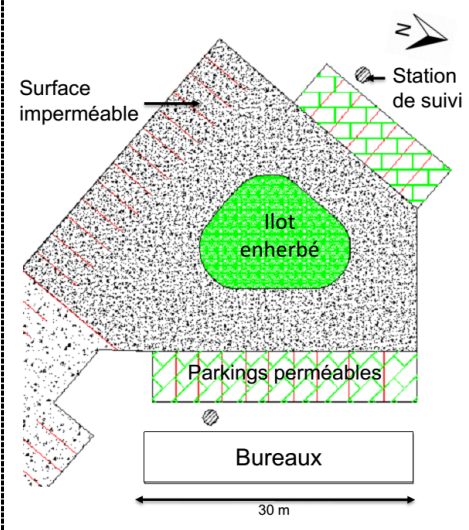
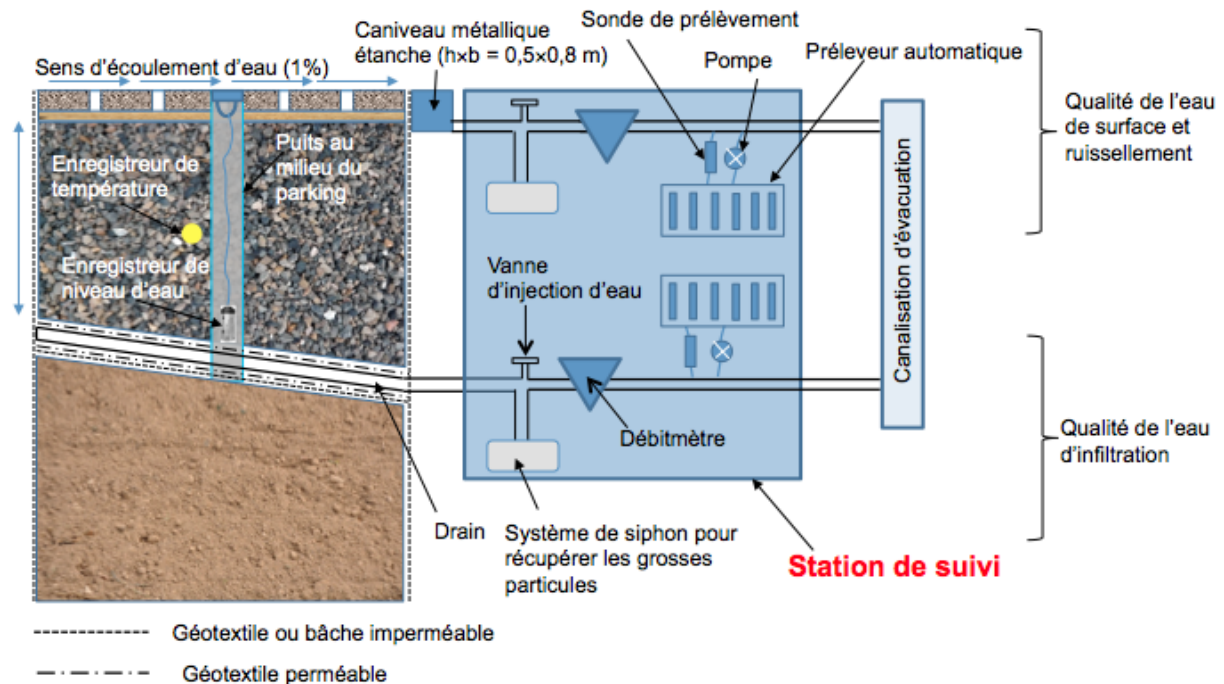


Figure 3 – Schéma des stations de suivi



### 3 RESULTATS ATTENDUS

Le premier objectif du travail de modélisation est de construire un modèle qui représente fidèlement le fonctionnement des ouvrages suivis in situ. La modélisation ainsi développée apportera une connaissance fine des processus hydrologiques d'évacuation de l'eau de pluie. L'infiltration et l'évaporation seront particulièrement étudiées pour quantifier les impacts des revêtements perméables sur la réalimentation en eaux des sols et la réduction du phénomène de chaleur urbaine via les échanges hydrodynamiques entre la structure et l'air.

Cette modélisation permettra également de quantifier l'influence de chaque paramètre d'une structure de revêtements perméables sur son fonctionnement.

- Influence du type de revêtement perméable : quantifier les différences de résultats obtenus en faisant varier les caractéristiques de la couche de surface pour représenter un pavé en béton perméable, un béton perméable coulé sur place, des pavés imperméables avec des joints perméables, etc.
- Influence de la couche de forme : granulométrie, porosité, conductivité hydraulique composition, etc.
- Influence du colmatage sur les performances de l'ouvrage.
- Influence des propriétés du sol sur le drainage des structures par infiltration.
- Influence de la finalité de l'utilisation de l'ouvrage sur son fonctionnement : structure d'infiltration, de drainage ou de stockage de l'eau en vue d'une réutilisation.

Ces résultats permettront dans la suite du travail de thèse de passer à une modélisation horizontale pour quantifier les apports des revêtements perméables à l'échelle d'un projet urbain en s'intéressant notamment à la réduction du ruissellement des eaux de pluie et des inondations.

### 4 CONCLUSION

Ce travail de recherche, inscrit dans le cadre d'une thèse à l'ESITC Caen et au laboratoire LETG Caen 'Géophen', doit permettre de quantifier les apports des structures perméables pour apporter des éléments de connaissance et de réponse tant sur le plan scientifique que vis à vis des décideurs locaux. Il bénéficiera de la collaboration étroite avec un projet de suivi in situ de parkings perméables équipés de pavés en béton drainant. Les résultats attendus devraient permettre de quantifier les bénéfices de ces revêtements en terme de protection des sols et d'amélioration de la gestion des eaux de pluie en milieu urbain ainsi que d'évaluer l'importance des différentes caractéristiques de ces structures sur leur fonctionnement.

## BIBLIOGRAPHIE

- Boutouil, M., Nguyen, D.H. (2014). *Rapport technique final du rapport VECOP - Valorisation dE COProduits coquilliers marins en ECO-Pavé drainant*. ESITC Caen, Caen.
- CERTU. (2003). *La ville et son assainissement principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau*. Centre d'études sur les réseaux les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Lyon.
- Chocat, B. (2015). *Faut-il infiltrer les eaux pluviales en ville*, Méli Mélo, Graie. Lyon.
- Cosandey, C., Robinson, M. (2000). *Hydrologie continentale*. A. Colin, Paris.
- Marsily (de), G. (1981). *Hydrogéologie quantitative*, Masson. Paris.
- Hunt, W.F., Collins, K.A. (2008). *Permeable Pavement: Research update and design implications, urban Waterways*. North Carolina State University. Raleigh.
- Illgen, M., Harting, K., Schmitt, T.G., Welker, A. (2007). *Runoff and infiltration characteristics of permeable pavements – Review of an intensive monitoring program*. Novatech 2007. Lyon.
- Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J. (2004). *Pervious concrete pavements*. Portland Cement Association and National Ready Mixed Concrete Association. Skokie, Illinois.
- Zhou, Q. (2014). *A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts*. Water 6, 976–992.