

Qualité physico-chimique des flux produits par un parking en béton poreux en temps de pluie

Runoff quality at the outflow of a parking lot in porous concrete

Bernard Chocat⁽¹⁾, Gilles Lecomte⁽²⁾, Fabien Perez⁽²⁾, Eric Stora⁽²⁾ et Stéphane Vacherie⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université de Lyon, F-69000, Lyon, France ; INSA-Lyon, LGCIE, F- 69621 Villeurbanne, France.

⁽²⁾ Centre de recherche Lafarge ; groupe Microstructure et Durabilité ; L'Isle d'Abeau ; 95 rue du Montmurier ; BP 70 ; 38291 St Quentin Fallavier Cedex ; France.

Bernard.chocat@insa-lyon.fr

Gilles.Lecomte@pole-technologique.lafarge.com

Fabien.Perez@pole-technologique.lafarge.com

Eric.Stora@pole-technologique.lafarge.com

Stephane.Vacherie@insa-lyon.fr

RÉSUMÉ

Le centre de recherche de Lafarge a mis au point une nouvelle formulation de béton poreux utilisable pour les revêtements routiers : Hydromedia™. Une planche d'essai en vraie grandeur a été mise en place à l'INSA avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse. Cette planche est utilisée comme parking. Elle est située à côté d'une planche témoin traitée de façon classique. L'ensemble a été instrumenté afin de mesurer les flux d'eau et de polluants émis pendant les pluies. Le suivi a été réalisé par le LGCIE. Cette publication présente les résultats obtenus après 18 mois d'expérimentation en ce qui concerne la qualité de l'eau.

ABSTRACT

The Lafarge Research Centre has developed a new formulation of porous concrete that can be used for road surfacing: Hydromedia™. A full scale experimental plot has been developed at INSA with the financial support of the Water Agency Rhone-Mediterranean and Corsica. This test area is used as a parking. It is located next to a conventional impervious control plot. The two plots have been equipped in order to be able to measure the flow of water and pollutants emitted during rainfalls. The monitoring is made by the LGCIE. This publication presents the results obtained after 18 months of experimentation with regards to water quality.

MOTS CLES

Béton poreux, Chaussée drainante, Qualité des eaux de ruissellement de parking

1 INTRODUCTION

Les villes s'étendent en imperméabilisant de plus en plus les sols. La conséquence principale en est une modification importante du cycle hydrologique : augmentation de la part ruisselée et diminution de la part infiltrée, avec, pour principales conséquences, une diminution de la recharge des nappes phréatiques et une augmentation des risques d'inondation et de pollution des milieux récepteurs.

Depuis une trentaine d'années, partout dans le monde, se développe une réflexion visant à développer des solutions permettant de limiter ces impacts. Parmi ces solutions, le développement de matériaux poreux ou perméables utilisables pour les chaussées figure en bonne place et cette technique a déjà été bien étudiée. Par exemple, Scholz et Grabowiecki (2006) recensaient déjà plus d'une trentaine d'études dès 2006. Cette solution peut être utilisée aussi bien dans des climats chauds et secs comme l'Espagne (Gomez-Ullate *et al.*, 2011) que dans des climats froids (Drake *et al.*, 2012). Elle est en particulier beaucoup étudiée aux Etats Unis (voir par exemple le site de l'EPA : www.epa.gov/nrmrl qui recense différentes expériences).

Ces techniques restent cependant encore peu utilisées. Conscient du développement actuel de l'intérêt des maîtres d'ouvrage pour ce type de solution, Lafarge a développé un béton poreux de nouvelle génération et a souhaité le tester en vraie grandeur sur un petit parking de façon à étudier ses performances.

La démarche choisie reprend celle d'études antérieures (Brattebo and Booth, 2003 ; Bean *et al.*, 2007 ; Collins *et al.*, 2010 ; Horst *et al.*, 2011, etc.). Elle repose sur la réalisation et le suivi d'un ouvrage dans des conditions réelles d'utilisation.

Dans notre cas, une planche d'essai a été réalisée sur le site de l'écocampus de la Doua (Villeurbanne). Cette planche se divise en deux parties, une partie témoin en enrobé imperméable et une seconde en béton poreux.

L'expérimentation mise en place cherche avant tout à savoir si le béton poreux possède des capacités de filtration des polluants contenus dans les eaux de ruissellement par rapport à un revêtement en enrobé imperméable. L'étude est prévue pour durer deux ans au minimum et se propose de réaliser une comparaison des concentrations moyennes événementielles (CEM) des flux produits par la partie témoin et la partie en béton poreux, sur une trentaine de pluies. Les polluants étudiés sont les indicateurs les plus courants : Matières en suspension (MES), Carbone organique total et dissous (COT, COD), azote total et certaines formes spécifiques (NH₄, NO₃), phosphore total et orthophosphate (PO₄), demande chimique en oxygène (DCO) ; certains métaux toxiques (cadmium, plomb, cuivre, zinc) ainsi que les 16 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) majeurs. Ces contaminants sont ceux les plus souvent trouvés dans les eaux pluviales (Ellis *et al.*, 2005), et les plus étudiés sur les matériaux poreux, même si certaines recherches ont plus focalisé sur les nutriments (Passeport and Hunt, 2009) ou sur la toxicité des effluents (Greenstein *et al.*, 2004).

L'étude vise également à observer l'évolution du matériau dans des conditions d'utilisation réelles, et notamment son vieillissement (usure, colmatage). Enfin un dernier objectif consiste à évaluer son potentiel vis-à-vis de la réduction des îlots de chaleur urbain.

Cette publication ne présente que les résultats relatifs à connaissance des flux de polluants émis. A la date de rédaction de cette communication, 15 pluies ont été analysées.

2 METHODE ET OUTILS

Le parking de 200m² a été réalisé les 16 et 17 septembre 2010 à l'INSA de Lyon, sur le site de l'écocampus de la Doua.

Il permet de recevoir 8 véhicules en stationnement (voir figure 1). La moitié la plus éloignée de l'entrée a été réalisée en enrobé imperméable, l'autre en béton poreux. Les conditions d'utilisation et d'exposition sont considérées comme identiques sur les deux zones, même si on observe un peu plus de stationnement sur la partie poreuse (du fait de la position des places handicapée), laquelle est également davantage circulée car donnant accès à la partie imperméable.

Toutes les précautions ont été prises pour que seule l'eau tombée sur la surface soit récupérée. Aucune contamination d'une partie par l'autre n'est normalement possible.

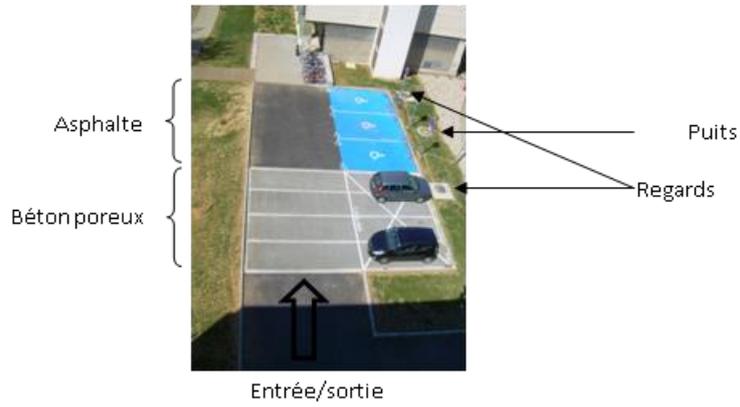


Figure 1 : Vue générale du site expérimental.

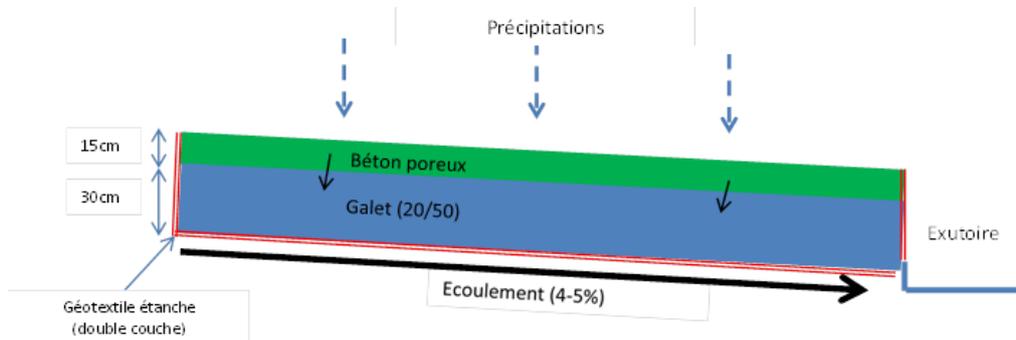


Figure 2 : Coupe de la partie en béton poreux.



Figure 3 : Photo du dispositif expérimental dans un puits de mesure.

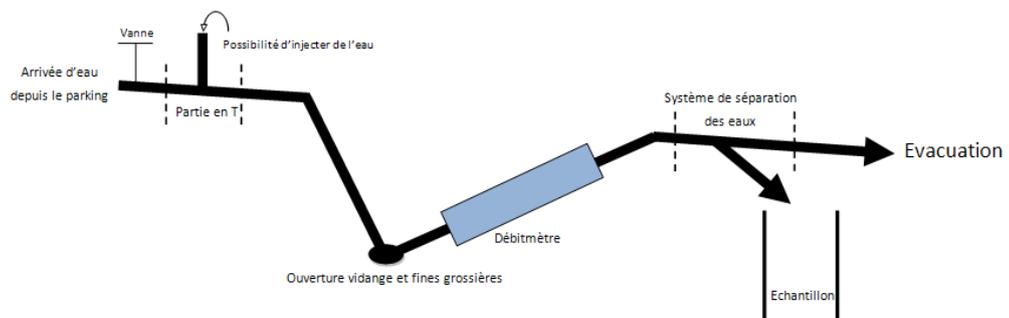


Figure 4 : Schéma du système de mesure.

Le fond de fouille de la partie en béton poreux a d'abord été étanché par une géomembrane (voir figure 2). Une sous-couche de gravier roulé 20/50 de 30 cm a ensuite été mise en place et le béton poreux a été coulé en 4 bandes successives d'une largeur de 1.8m avec une épaisseur de 15 cm. Afin d'assurer la continuité entre les bandes, un joint en ciment a été coulé entre chacune d'entre elles.

Le fond de fouille présente une pente de 4 à 5% de façon à récupérer dans un puits de mesure l'ensemble des eaux qui s'infiltrent à travers le matériau.

La surface de la partie en enrobé imperméable présente une pente de 2 à 3% qui conduit les eaux de ruissellement vers un avaloir situé à l'entrée d'un deuxième puits de mesure.

Sur les deux zones, l'eau est récupérée par une tuyauterie en PVC téflonnée, afin d'éviter une contamination. Ensuite, un système de siphon a été installé afin de pouvoir récupérer les particules les plus grossières et permettre au débitmètre d'être toujours en charge (voir figure 4)

L'eau remonte la pente et passe à travers un débitmètre électromagnétique qui mesure le débit avec un pas de temps de 30s. L'eau s'écoule ensuite vers un répartiteur qui en envoie une partie vers un bidon téflonné de 60L et le reste est évacué (voir figures 3 et 4).

Le répartiteur a été conçu de façon à prélever une partie constante du débit écoulé pendant la totalité de la pluie et garantir ainsi que l'échantillon prélevé soit le plus représentatif possible du volume effectivement écoulé. Pour les pluies produisant les plus forts volumes, il arrive cependant que les bidons se remplissent avant la fin de la pluie. Dans ce cas la fin de l'hydrogramme n'est pas échantillonné, ce qui peut conduire à un certain biais dans les résultats.

3 RESULTATS

Le plan d'expérimentation prévoit d'analyser une trentaine de pluies réparties sur deux années successives pour mesurer une éventuelle évolution temporelle. Nous nous intéressons uniquement aux concentrations moyennes événementielles. Les analyses ont commencé en octobre 2011, soit un peu plus d'un an après la mise en place du parking.

Les analyses sont faites par un laboratoire agréé indépendant (CARSO).

Au moment de la rédaction de cet article, 15 pluies ont été analysées. Au moment de la conférence, la période de test sera presque terminée et les résultats complets seront disponibles et présentés. La première pluie (18/09/2011) n'est pas prise en compte car elle a servi à valider le protocole d'analyse. Les résultats présentés portent donc sur 14 pluies mesurées au cours de la première année entre le 19 octobre 2011 et le 27 septembre 2012.

Les tableaux 1 et 2 synthétisent les résultats obtenus à l'exutoire de la partie en enrobé imperméable et à l'exutoire de la partie en béton poreux.

Le tableau 3 compare les concentrations mesurées à l'exutoire de la partie en enrobé imperméable avec celles habituellement trouvées dans la littérature sur les parkings.

Le tableau 4 et la figure 5 comparent les résultats trouvés à l'exutoire de la partie en enrobé imperméable et de la partie en béton poreux pour les indicateurs de base (COT, COD, MEST, MESO) et pour les nitrates (NO_3).

La pluie du 12 mai 2012 est très particulière. Elle fait apparaître des concentrations extrêmement élevées de DCO, carbone organique, MES, métaux lourds ainsi que du pyrène et du phénanthrène dans les eaux provenant de la partie imperméable du parking alors que les concentrations restent voisines de la moyenne pour les eaux provenant de la partie poreuse. Cette anomalie correspond à la présence sur le parking d'un chantier de découpe de plaques de plâtre dans la journée précédant la pluie. Elle semble également influencer les résultats sur les événements ultérieurs pour lesquels on trouve également des concentrations plus fortes, même si les ordres de grandeur redeviennent normaux.

Du fait de la spécificité de cette pluie, elle n'a pas été prise en compte dans le calcul des moyennes. Ce résultat démontre cependant clairement l'extrême sensibilité des concentrations à des événements locaux.

4 ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Analyse des résultats sur la partie en enrobé imperméable.

Globalement les effluents provenant de la partie en enrobé imperméable sont peu pollués.

Pour les indicateurs de base (MES, DCO, hydrocarbures, azote et phosphore), de même que pour les métaux étudiés, les valeurs moyennes sont dans la fourchette basse de celles habituellement trouvées dans les eaux de parking ou de voirie peu circulées (tableau 3). Les valeurs sont également plus faibles que celles trouvées par Kim *et al.* (2007), Bean *et al.* (2007) ou Wei *et al.* (2010).

Les concentrations sont très souvent inférieures au seuil de détection pour la DCO, l'azote, les hydrocarbures, les métaux et les HAPs.

On note une très forte variabilité de la concentration en MES et une bonne corrélation entre les fluctuations de cette concentration, celle des matières en suspension organique et celle du carbone organique. La part principale des apports en MES semblent donc d'origine végétale. Elle est probablement associée aux tontes des pelouses voisines et à la dispersion des pollens des peupliers proches. Ceci explique peut-être pourquoi les concentrations sont plus importantes pour les dernières pluies analysées qui correspondent à la période estivale que pour les premières pluies qui ont été analysées en hiver.

Les HAPs les plus souvent détectés sont le pyrène et le phénanthrène (détectés pour les 2/3 des événements) et dans une moindre mesure le fluoranthène, le chryzène et les benzo-fluoranthène et benzo-pyrène. Une origine en partie végétale de ces HAPs est probable, ce qui pourrait expliquer qu'ils soient plus souvent détectés lorsque les concentrations en COD et en MESO sont importantes. On ne peut cependant pas exclure que l'augmentation du nombre de détection soit tendancielle et due à une augmentation de l'utilisation du parking, les places réservées aux handicapés et au service étant de moins en moins bien respectées.

4.2 Analyse comparative des résultats entre la partie en enrobé imperméable et la partie en béton poreux.

Le tableau 4 et la figure 5 montrent que le passage dans la structure poreuse améliore fortement la qualité de l'eau sauf pour les nitrates (sans prendre en compte la pluie du 12 mai 2012).

Pour illustrer ce résultat, nous avons calculé un rendement épuratoire moyen pour chaque pluie par la relation :

$$\text{(CEM dans l'enrobé imperméable - CEM dans le béton poreux)} / \text{CEM dans l'enrobé imperméable}$$

Nous avons ensuite fait la moyenne de ces rendements pour l'ensemble des pluies.

La concentration en MES est en moyenne diminuée de 56%, celle en MESO de 70%, celle en COT de 74% et celle en COD de 63%.

En revanche, la concentration en NO₃ est plus que doublée, sans doute du fait de relargage, soit du béton poreux, soit des galets de la sous-couche. L'hypothèse la plus probable est que ces nitrates proviennent de l'eau utilisée comme eau de gâchage du béton. Les concentrations restent cependant très faibles (le maximum est de 9 mg/L alors que la norme de potabilité est de 50 mg/L).

Il est intéressant de noter que, mis à part un très faible dépassement sur les MES pour une pluie (34 mg/L au lieu de 30 mg/L), les effluents respectent pour toutes les pluies et tous les indicateurs la norme de qualité européenne « eau de baignade ». La restitution de ces effluents au milieu naturel ne pose donc aucun problème sanitaire ou environnemental.

Ces valeurs confirment celles trouvées dans des études similaires, en particulier celle de Drake *et al.* (2012) sur le même matériau.

La fréquence d'apparition de micropolluants minéraux (métaux lourds) ou organiques (HAPs) à des concentrations détectables dans les eaux d'écoulement est également diminuée de façon extrêmement sensible après le passage de l'eau dans le béton poreux : 7 détections de métaux lourds au lieu de 24 et 4 détections d'HAPs au lieu de 43.

B1 - REVÊTEMENTS POREUX / POROUS SURFACING

	pluie du 19-10- 2011	pluie du 25-10- 2011	pluie du 7-12- 2011	pluie du 21-12- 2011	pluie du 8-3-2012	pluie du 19-3- 2012	pluie du 4-4-2012	pluie du 12-5- 2012	pluie du 20-5- 2012	pluie du 6-6-2012	pluie du 14-06- 2012	pluie du 20-06- 2012	pluie du 12-9- 2012	pluie du 27-09- 2012	moyenne
COT (mg/l)	6.1	4.1	4.6	1.7	4.6	13	19	2100	31	1.9	8.9	4.9	3.6	3.9	8.25
COD (mg/l)	4.4	2.9	3.3	1.3	6.8	9.3	17	530	2.6	1.9	4.1	4.9	1.1	0.5	4.62
DCO (mg/l)	<30	<30	<30	<30	<30	39	56	8057	112	<30	<30	<30	<30	34	
hydrocarbures (mg/l)	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	3.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
MEST (mg/l)	7.2	4.4	4.4	1	6.2	11	6.4	2050	67	55	66	11	53	33	25.05
MESO (mg/l)	3.5	3.1	3.7	1	5.1	8.5	5.3	1680	42	20	22	1	13	11	10.71
NH4 (mg/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3.7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
NO3 (mg/l)	1	1	0.5	2	1	2	2	5	1	7	2	1	0.5	0.5	1.65
NK (mg/l)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	142	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
PO4 (mg/l)	<0.5	<0.5	<0.5		0.8	<0.5	<0.5	0.8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Cd dissous (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cd total (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cu dissous (mg/l)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.064	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cu total (mg/l)	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.09	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.03
Pb dissous (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.016	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb total (mg/l)	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.053	0.005	0.023	0.018	<0.004	<0.004	0.006	
Zn dissous (mg/l)	<0.010	<0.010	0.011	<0.010	0.02	0.019	0.022	62.3	0.275	<0.010	0.013	0.016	0.011	0.012	
Zn total (mg/l)	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.02	0.04	0.03	104.6	0.86	0.15	0.11	0.02	0.04	0.07	
fluoranthène (ng/l)	<10	18	35	<10	21	<10	<10	<10	49	27	99	<10	35	43	
benzo (b) fluoranthène (ng/l)	<10	15	<10	<10	10	<10	<10	<10	21	<10	56	<10	15	18	
benzo (k) fluoranthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	16	<10	<10	<10	
benzo (a) pyrène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	23	<10	<10	<10	
benzo (ghi) pérylène (ng/l)	<10	<10	<10	13	<10	<10	<10	<10	14	<10	37	<10	15	<10	
benzo (1, 2, 3 cd) pyrène (ng/l)	<10	<10	<10	14	14	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
acénaphthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
chrysène (ng/l)	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	19	<10	68	<10	13	19	
dibenzo (a,h) anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
fluorène (ng/l)	<10	<10	<10	<11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
naphtalène (ng/l)	<10	<10	<10	53	<10	42	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
pyrène (ng/l)	<10	21	26	<10	12	17	<10	41	38	18	92	<10	24	34	
phénanthrène (ng/l)	<10	<10	36	<11	15	29	<10	175	42	27	62	<10	28	35	
acénaphthylène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (a) anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	22	<10	<10	<10	

Tableau 1 : Résultats des analyses pour la partie en enrobé imperméable

	pluie du 19-10- 2011	pluie du 25-10- 2011	pluie du 7-12- 2011	pluie du 21-12- 2011	pluie du 8-3-2012	pluie du 19-3- 2012	pluie du 4-4-2012	pluie du 12-5- 2012	pluie du 20-5- 2012	pluie du 6-6-2012	pluie du 14-06- 2012	pluie du 20-06- 2012	pluie du 12-9- 2012	pluie du 27-09- 2012	moyenne
COT (mg/l)	2.8	1.5	1.3	0.5	2.5	4.2	2.8	3	1.7	0.5	0.5	2.9	0.5	0.5	1.71
COD (mg/l)	2.3	1.2	1.2	0.5	1.5	3.9	2.5	2.6	1	0.5	0.5	2.6	0.5	0.5	1.44
DCO (mg/l)	<30	<30	<30	<30	<30	<30	31	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
hydrocarbures (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
MEST (mg/l)	2.4	4.2	1	1	3.8	3.6	5	5.6	5.6	14	16	4.4	34	9.2	8.02
MESO (mg/l)	1	1	1	1	1	2.1	2.9	1	1	2.4	1	1	1	1	1.34
NH4 (mg/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<1	
NO3 (mg/l)	4	1	2	2	5	4	3	9	2	2	4	8	3	2	3.23
NK (mg/l)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	
PO4 (mg/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Cd dissous (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cd total (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cu dissous (mg/l)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.017	0.013	0.014	<0.01	<0.01	<0.01	0.013	0.017	<0.01	
Cu total (mg/l)	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.03	<0.020	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.020	0.021	
Pb dissous (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
Pb total (mg/l)	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	
Zn dissous (mg/l)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.015	
Zn total (mg/l)	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	
fluoranthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (b) fluoranthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (k) fluoranthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (a) pyrène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (ghi) pérylène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (1, 2, 3 cd) pyrène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
acénaphthène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
chrysène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
dibenzo (a,h) anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
fluorène (ng/l)	<10	<10	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
naphtalène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	65	<10	<10	<10	<10	<10	
pyrène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
phénanthrène (ng/l)	<10	<10	<10	49	<10	45	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
acénaphthylène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
benzo (a) anthracène (ng/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	

Tableau 2: Résultats des analyses pour la partie en béton poreux

	AESN (2012)	AESN (2012)	Chocat <i>et al</i> (2008)	résultats sur enrobé imperméable		
	voirie trafic faible	parking		min	max	moyenne
MES (mg/L)	12 à 117	98 à 150	190	1	67	25
DCO (mg/L)	70 à 368	50 à 199	85	< 30	112	-
Cd (µg/L)	0,4 à 1,4	1,2	2,8	< 2	< 2	-
Cu (µg/L)	47 à 76	6 à 80	145	< 20	30	-
Pb (µg/L)	25 à 535	15 à 137	210	< 40	230	-
Zn (µg/L)	129 à 1956	125 à 526	300	< 20	860	-
Hct (µg/L)	160 à 2277	150 à 1000	1900	< 100	200	-
COT (mg/L)				1,7	31	8,2
COD (mg/L)				1,3	6,8	4,6
azote total (mg/L)			3,2	< 3	< 3	-
PO4 (mg/L)			0,34	< 0,5	< 0,5	-

Tableau 3 : Concentrations événementielles moyennes (CEM) observées à l'exutoire de la partie en enrobé imperméable ; comparaison avec les valeurs de la littérature.

	résultats sur enrobé imperméable			résultats sur béton poreux			BP / EI rapport des moyennes (%)
	min	max	moyenne	min	max	moyenne	
MES (mg/L)	1	67	25	1	34	8	32
MESO (mg/L)	1	42	10.7	1	2.9	1.3	12
COT (mg/L)	1.7	31	8.2	0.5	4.2	1.7	21
COD (mg/L)	1.3	6.8	4.6	0.5	3.9	1.4	30
NO3 (mg/L)	< 3	7	1.65	2	9	3.2	194

Tableau 4 : Comparaison des concentrations événementielles moyennes (CEM) à l'exutoire de la partie en enrobé imperméable et de la partie en béton poreux.

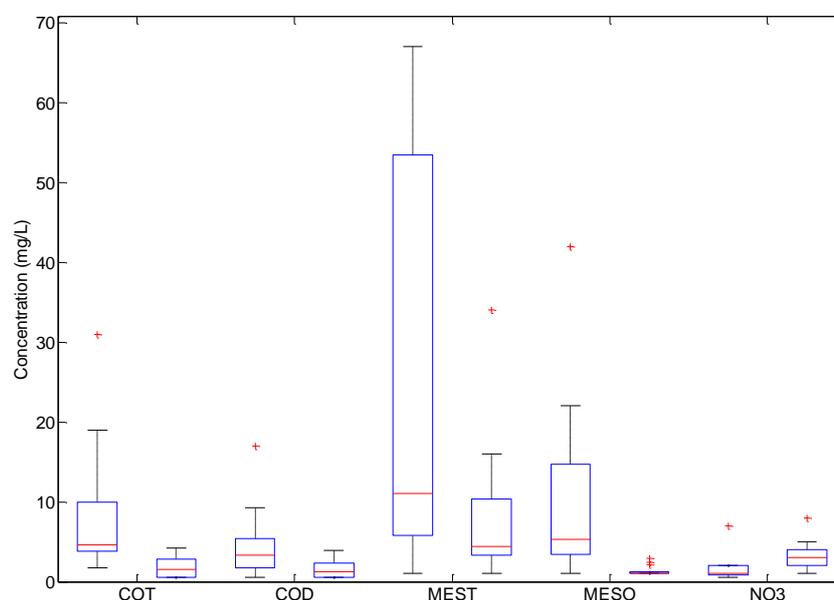


Figure 5 : Comparaison des résultats pour les indicateurs de base entre la partie en enrobé imperméable et la partie en béton poreux. Pour chaque indicateur, les concentrations pour la partie imperméable sont reportées à gauche de la légende et les concentrations pour la partie poreuse à droite. Sont visualisées les concentrations médianes (traits rouges), extrêmes (moustaches), et les quantiles 25% et 75% (boîtes). Les croix correspondent à des outliers.

Les mécanismes de rétention des contaminants dans les milieux poreux commencent à être mieux connus (Hatt *et al.*, 2007, GRAIE, 2009). Ils reposent sur des mécanismes multiples : fixation des polluants sur des particules fines (le plus souvent par adsorption), puis blocage des particules fines dans le corps du matériau ou par sédimentation.

Ces deux premiers mécanismes sont concomitants, et, dans le cas d'un revêtement poreux peuvent se produire tout le long du trajet de l'effluent depuis la surface vers l'exutoire. Certaines zones sont cependant privilégiées : la surface, les zones de changement de perméabilité (interface béton poreux-galets), et le fond de forme (surface de la géomembrane).

Un dernier mécanisme possible est celui de la fixation des métaux lourds sur la pâte de ciment du béton (Serclerat *et al.*, 2000).

Pour l'instant, il n'est pas possible de hiérarchiser l'importance de ces différents mécanismes et en particulier de mesurer le rôle réel que joue le béton poreux, en tant que matériau, dans le mécanisme de rétention.

En fin d'expérimentation, il est prévu de prélever des échantillons sur les différents substrats pour analyser les endroits où les contaminants se sont le plus accumulés.

Il est à noter que le blocage des particules fines dans le corps du matériau s'accompagne d'un colmatage progressif du matériau et d'une diminution de sa porosité. Après plus de deux ans de fonctionnement, et sans aucun entretien, ce colmatage ne pose cependant aucune difficulté de fonctionnement. La capacité d'infiltration reste plusieurs centaines de fois supérieure à celle nécessaire pour évacuer de façon instantanée les pluies les plus intenses.

CONCLUSIONS

L'expérimentation avait pour but d'évaluer la capacité d'un parking en béton poreux à retenir les polluants contenus dans les eaux de ruissellement et de comparer les flux émis à ceux émis par un parking en enrobé imperméable.

A la date de rédaction de cet article les concentrations moyennes événementielles (CEM) ont été mesurées pour une quinzaine de pluies. Les premiers résultats obtenus sont les suivants :

- Quel que soit l'indicateur considéré, les CEM sont faibles, même pour les flux qui ruissellent directement sur l'enrobé imperméable.
- Les effluents récupérés à l'exutoire de la partie en béton poreux ont des concentrations encore plus faibles, avec des taux d'interception des polluants qui varient de 70 à 80% selon les indicateurs, à l'exception des nitrates pour lesquels la concentration est deux fois plus forte que pour la partie imperméable.
- Le nombre de cas où la concentration en métaux toxiques ou en HAPs est supérieure à la limite de détection est également fortement diminué (de 70% pour les métaux et de 90% pour les HAPs).
- Globalement la qualité de l'eau à l'exutoire du parking poreux respecte presque systématiquement les normes de qualité d'une eau de baignade et son rejet au milieu naturel ne présente aucun risque sanitaire ou environnemental.

Les mécanismes de rétention des contaminants n'ont cependant pas été élucidés, et le rôle réel du béton poreux dans cette rétention est à préciser.

Deux ans après sa mise en service, le parking fonctionne d'une façon totalement satisfaisante.

La recherche va se poursuivre au cours des mois à venir et l'ensemble des résultats seront disponibles et présentés lors de la conférence.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette publication remercient l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse pour son soutien financier.

Ils remercient également pour leur aide les techniciens de l'OTHU et du LGCIE et en particulier Dominique Babaud pour les idées apportées dans la conception de l'expérimentation et son implication dans le suivi ainsi que Chris Christidis et Isabelle Dubois-Brugger pour leur aide dans la réalisation et le suivi du parking.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'Eau Seine-Normandie (2012). Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines. Disponible sur le site web de l'AESN : <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=7382>.
- Bean, E. Z., Hunt, W.F. and Bidelspach D.A. (2007). *Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts*. J. of water irrigation and drainage engineering, ASCE. November/December 2007. 583-592.
- Brattebo, B. and Booth, D.B. (2003). *Long term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems*. Water research. (2003) 37. 4369-4376.
- Collins, K.A., Hunt, W.F., Hathaway, J.M. (2010). *Side-by-side comparison of Nitrogen Species removal for four types of permeable pavement and standard asphalt in Eastern North Carolina*. J. of Hydrologic engineering, ASCE. June 2010. 512-521.
- Chocat, B., Barrau, S., Bertrand-Krajewski, J.L. (2008). *Eaux pluviales urbaines et rejets urbains par temps de pluie*. Encyclopédie des techniques de l'ingénieur. Reference 42444210. 20pp.
- Drake, J., Bradford, A. and Seters, T.V. (2012). *Evaluation of permeable pavements in cold climates*. Interim report. University of Guelph, School of Engineering. March 2012. 47pp.
- Ellis, J.B., Marsalek, J. and Chocat, B., (2005). *Urban Water Quality*, Encyclopedia of hydrological Sciences. Edited by M. G. Anderson. John Wiley & Sons, Ltd. 1479-1491.
- Gomez-Ullate, E., Castillo-Lopez, E., Castro-Freno, D. and Bayon, J.R. (2011). *Analysis and contrast of different pervious pavements for management of stormwater in a parking area in Northern Spain*. Water resource Manage. (2011) 25:1525-1535.
- GRAIE (2009). *Recommandations pour la faisabilité la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain*. Guide technique du programme Ecopluiies Version 2 – Janvier 2009. Téléchargeable sur : http://www.graie.org/ecopluiies/delivrables/55729e_guidemodifie_20090203fin6-2.pdf.
- Greenstein, D., Tiefenthaler, L., Bay, S. (2004). *Toxicity of parking lot runoff after application of simulated rainfall*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 47 (2004). 199-206.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D. and Deletic, A. (2007). *Treatment performance of gravel filter media: implications for design and application of stormwater infiltration systems*. Water research. 41 (2007). 2513-2524.
- Horst, M., Welker, A.L. and Traver, R.G. (2012). *Multiyear performance of a pervious concrete infiltration basin BMP*. J. of water irrigation and drainage engineering, ASCE. June 2011. 352-358.
- Kim, L.-H., Ko, S.-O., Jeong, S. and Yoon, J. (2007). *Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm*. Science of the total environment. 376 (2007). 178-184.
- Passeport, E. and Hunt W.F. (2009). *Asphalt parking lot runoff nutrient characterization for eight sites in North Carolina, USA*. J. of Hydrologic engineering, ASCE. April 2009. 352-361.
- Scholz, M., and Grabowiecki P. (2006). *Review of permeable pavement systems*. Building and Environment. 42 (2007). 3830-3836.
- Serclerat, I.; Moszkowicz, P.; Pollet, B. (2000). Retention mechanisms in mortars of the trace metals contained in Portland cement clinkers. Waste management. 20 (2-3). 259-264.
- Wei, Q., Zhu, G., Wu, P., Zhang, K., Zhou, J. and Zhang W (2010). *Distribution of typical contaminant species and their fates during rain events : a case of Xiamen City*. J. of Environmental Sciences. 2010 22(4). 533-539.