



DEVENIR DES MICROPOLLUANTS AU SEIN DES OUVRAGES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES À LA SOURCE OU CENTRALISÉS

Synthèse du projet de recherche **MicroMegas**



Aujourd'hui encore, le bon état chimique des milieux récepteurs n'est assuré que très partiellement. Seulement 40 % des cours d'eau européens atteignent un bon état écologique et 38 % un bon état chimique, selon les données publiées par l'Agence Européenne de l'Environnement en 2018. En 2012, l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse montrait qu'après des efforts importants sur son territoire (notamment la mise en conformité des stations de traitement des eaux usées - STEU), 30 % des points de surveillance n'étaient toujours pas en bon état chimique. L'origine de cette pollution avait été identifiée comme principalement diffuse. L'agence a alors reconnu la pollution pluviale comme une priorité notamment vis-à-vis des polluants prioritaires de la DCE - Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE) dont la plupart sont des micropolluants (MP).

La difficulté est que ces micropolluants sont des molécules susceptibles d'avoir des effets négatifs (effets chroniques, directs ou indirects) sur les organismes vivants d'un milieu donné, à des concentrations infimes, de l'ordre du microgramme par litre (10^{-6} g/L) ou du nano-gramme par litre (10^{-9} g/L). Pour la plupart, leur présence est en grande partie liée à l'activité humaine. De nombreuses substances présentant des propriétés physico-chimiques différentes sont concernées comme les pesticides, les alkylphénols, les PCBs (retardateurs de flamme bromés), le bisphénol A (BPA) ou les phtalates, ... et leur présence est mise en évidence parfois en quantité non négligeable.

De ce fait, les solutions alternatives de gestion des eaux pluviales (EP) sont promues car elles visent à diminuer les flux d'eau et à réduire la contamination de celles-ci : soit par décantation (systèmes centralisés de type bassins), soit par limitation des émissions, du lessivage et/ou par piégeage, par filtration / décantation (systèmes à la source type noues, chaussées à structure réservoir (CSR), toitures stockantes, puits, biofiltres, tranchées, ...).

Mais sont-elles réellement efficaces notamment vis-à-vis des micropolluants ?

L'objectif du programme MicroMegas est d'évaluer et de comparer les systèmes de gestion des eaux pluviales centralisés et les dispositifs à la source (noues, tranchées, parking poreux) en termes d'efficacité vis-à-vis des micropolluants, mais aussi en termes de perceptions/représentations par les usagers et les gestionnaires de ces solutions. Sont-elles perçues comme un danger pour l'environnement et la santé ou comme une opportunité de piégeage ?

Ainsi, le projet met clairement en évidence que les eaux pluviales (avant toute gestion) sont des vecteurs de micropolluants (détectés de toutes les familles étudiées : métaux et métalloïdes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), pesticides y compris ceux interdits d'usage, alkylphénols et PBDE), et confirme des niveaux élevés en concentrations principalement pour les métaux et les HAP. Les flux ainsi rejetés dans les milieux récepteurs peuvent se révéler du même ordre de grandeur que les flux rejetés par les STEU et bien supérieurs par temps de pluie, naturellement. En revanche, les solutions de gestion des eaux pluviales dimensionnées pour gérer les flux d'eau permettent d'agir sur les flux de micropolluants selon deux phénomènes : atténuation des flux émis par une réduction des volumes et piégeage d'une partie de la pollution par filtration mécanique, physico-chimique, biodégradation ou décantation.



Le projet met également en évidence le fait que le maintien des performances des ouvrages nécessite la mise en place d'une politique pérenne de gestion patrimoniale. Cela doit se traduire par une meilleure lisibilité des ouvrages et la mise en place une organisation transversale au sein des services des collectivités (assainissement, espaces verts, voiries) notamment pour leur gestion.



Ces résultats permettent ainsi d'éclairer la prise de décision des maîtres d'ouvrage, en leur apportant des connaissances types sur la qualité des rejets par temps de pluie vis-à-vis des micropolluants et sur les solutions à mettre en œuvre pour bien gérer / connaître ces techniques.

Gestion alternative des eaux pluviales centralisée et décentralisée ?

Lorsque l'on parle de gestion de l'eau en milieu urbain, 4 objectifs sont fortement présents :

- limiter les risques d'inondation,
- limiter les risques de pollution et les risques sanitaires,
- intégrer la gestion des eaux pluviales dans l'aménagement pour en faire un atout,
- protéger le milieu naturel.

Pour répondre à ces objectifs, il n'y a pas de solution unique ni de recette miracle. La gestion de l'eau doit s'adapter à chaque situation et s'appuyer sur la grande diversité de techniques qu'elles soient centralisées ou décentralisées, classiques ou alternatives.

Ainsi, on regroupe sous le nom de techniques alternatives (TA) des ouvrages divers à géométrie variable tels que noues (fossés peu profonds), tranchées d'infiltration, chaussées à structure réservoir, espaces inondables, toitures végétalisées, bassins, ... Ces solutions permettent de maîtriser le ruissellement pluvial sur les zones à aménager, mais aussi à l'aval. Elles redonnent pleinement au sol urbain son rôle régulateur quand elles sont basées sur l'infiltration.

Pour jouer pleinement leurs rôles, elles nécessitent un vrai dimensionnement hydraulique (facilement maîtrisable à l'heure actuelle), et un suivi fin des travaux de réalisation.

EXEMPLES DE TECHNIQUES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES À LA SOURCE

ECOCAMPUS Lyon Tech La DOUA (Villeurbanne 69) :

Tranchée



Noue



Jardin de pluie



EXEMPLES DE TECHNIQUES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES CENTRALISEES

ECOCAMPUS Lyon Tech La DOUA

Bassin d'infiltration IUT (Villeurbanne 69)



Métropole de Lyon

Bassin d'infiltration Minerve (69)



A. Pourquoi MicroMegas ?

MicroMegas est un programme de recherche soutenu par l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques)/ AFB (Agence Française pour la Biodiversité) et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse dans le cadre de l'appel à projets "Innovation et changements de pratiques : lutte contre les micropolluants des eaux urbaines" lancé en 2013. **Centré sur la contamination des eaux pluviales par les micropolluants, l'objectif du projet est de comparer deux stratégies de gestion des eaux pluviales (gestion centralisée / gestion à la source).** Ont été étroitement associés des compétences de recherche et des compétences opérationnelles (DEEP - Laboratoire Déchets Eaux Environnement Pollutions (INSA Lyon), EVS - Laboratoire Environnement, Ville et Société (ENS Lyon), Grand Lyon la Métropole, GRAIE - Groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau, Campus Lyon Tech La Doua, OTHU - Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine et URBIS - réseau d'observatoires en hydrologie urbaine Paris/Nantes/Lyon).

Ce projet a été élaboré et mené en concertation avec deux projets complémentaires relatifs aux

eaux pluviales Roulépur et Matriochkas. Ces trois programmes ont été développés en appui sur les observatoires ONEVU à Nantes, OPUR à Paris et OTHU à Lyon pour MicroMegas.

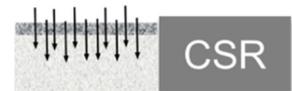
Afin de suivre la contamination des eaux pluviales et leur impact hydraulique, MicroMegas s'est intéressé à 4 types de système : une noue, une tranchée d'infiltration, une chaussée à structure réservoir (CSR) et un bassin de retenue/décantation. Tous font partie de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) basé sur la Métropole de Lyon.

Des enquêtes se sont déroulées : l'une, par entretiens auprès des acteurs de l'eau du Grand Lyon, l'autre par questionnaires auprès d'usagers de l'Eco-campus de la Doua. Une vaste fouille de la littérature a également été menée par analyse de corpus documentaires (revues techniques généralistes et spécialisées : Gazette des communes de 1997 à 2015, TSM de 2007 à 2018).

Micro – Sites expérimentaux de gestion à la source

L'étude s'appuie plus particulièrement sur le suivi de trois sites décentralisés drainant des eaux de ruissellement de parking sur l'Ecocampus Lyon Tech La Doua qui est un laboratoire à ciel ouvert, dédié au développement durable. Deux sont des parkings de même nature de quelques centaines de m² dont les eaux sont évacuées, l'un par une noue végétalisée et l'autre par une tranchée de graves. Le troisième est un parking en CSR et revêtement drainant de 94 m².

Ces ouvrages sont étanchés pour les besoins expérimentaux.



Un parking classique à revêtement imperméable



en béton bitumineux sert de référence (noté « Asphalte » dans la suite).

Mega – Site expérimental centralisé – Bassin de Chassieu Django Reinhardt

Le deuxième grand site (gestion centralisée) est celui de Chassieu. Ce site est instrumenté complètement depuis 2002 dans le cadre de l'OTHU. Il draine un bassin versant urbain de 185 ha imperméabilisé à 70 % environ au moyen d'un réseau séparatif dont la partie pluviale est rejetée en nappe via un bassin de retenue suivi

d'un bassin d'infiltration.

L'avantage du site est qu'il est représentatif d'un milieu urbain, qu'il est déjà instrumenté de manière continue.

Seul le bassin de rétention/décantation (entrée / sortie) est étudié dans MicroMegas.



5 ANS de recherche et d'observations

4 TYPES D'OUVRAGES SUIVIS (Noues, tranchée, chaussée à structure réservoir, bassin de rétention)

130 ÉVÈNEMENTS PLUVIEUX SUIVIS

6 FAMILLES DE MICROPOLLUANTS – 59 SUBSTANCES

sélectionnées du fait de leurs présences dans les eaux pluviales (HAP, métaux, bisphénol A, alkylphénols, pesticides, PBDE)

12 CAMPAGNES D'ANALYSE DE MICROPOLLUANTS

24 ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS / 828 PERSONNES SONDÉES

380 ARTICLES DE PRESSE ANALYSÉS 326 articles Gazette des communes et 54 TSM

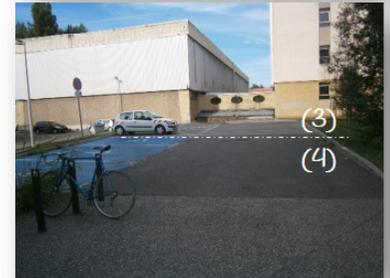
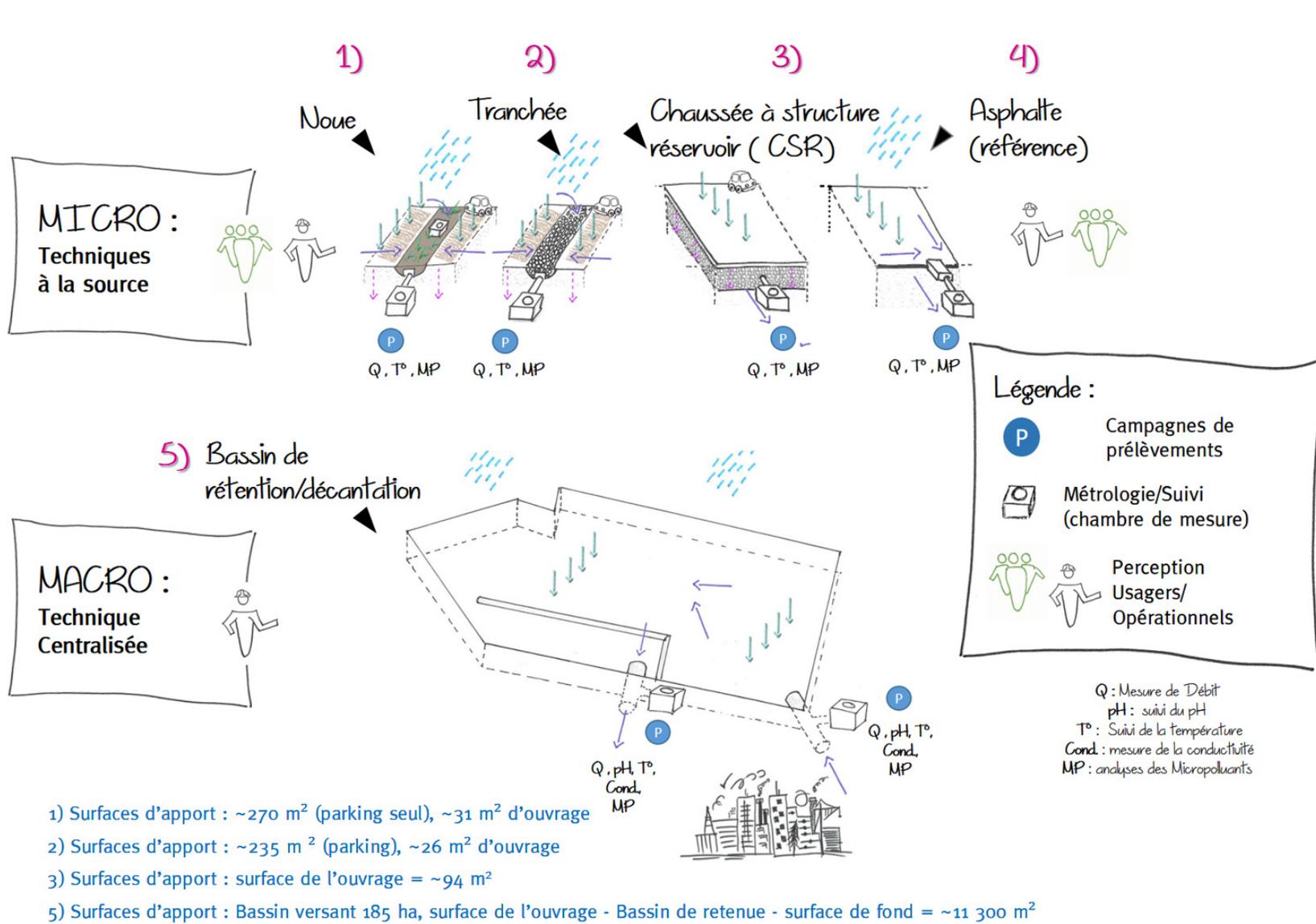


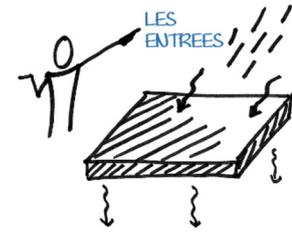
Figure 1. Schématisation des sites expérimentaux, tâches et analyses réalisées dans le programme MicroMegas.

Voir le livrable L2B du programme de recherche MicroMegas – micromegas-lyon.org – Page « les Productions » - pour plus de détails ou Robin (2020).



B. Résultats

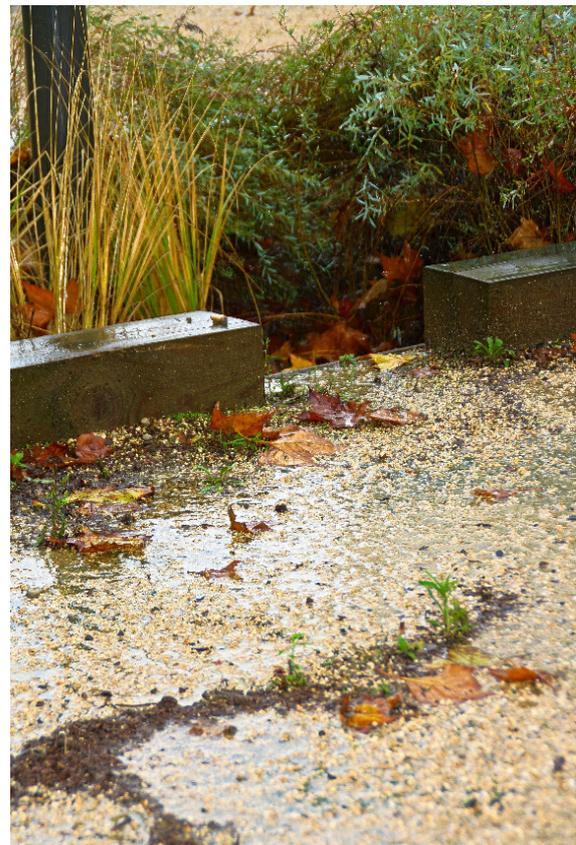
B1 - Les eaux pluviales sont bien des vecteurs de micropolluants avec des niveaux parfois élevés



💧 La contamination des eaux pluviales qui arrive aux ouvrages n'est pas négligeable et reste très variable

Les résultats des campagnes d'analyse menées dans le cadre du projet MicroMegas confirment les résultats d'observations et de recherches antérieures notamment de l'OTHU (ANR Ecopluiés, ANR INOGEV, ...). La pollution des rejets d'eaux pluviales avant transit par ces ouvrages est :

- **non négligeable** : l'origine des polluants contenus dans les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) est multiple: pollution atmosphérique, lessivage des dépôts de temps sec et humide accumulés sur les bassins versants, érosion des matériaux urbains, remise en suspension des polluants présents dans les réseaux d'assainissement. Les concentrations en polluants peuvent être importantes. Du fait des volumes en jeu, les masses rejetées peuvent donc constituer une source majeure d'apport de polluants et de micropolluants aux milieux aquatiques superficiels. Par exemple, sur le bassin de retenue de Chassieu, des flux comparables ont été mesurés pour certains micropolluants (Zn) entre un événement pluvieux et un rejet journalier de la station d'épuration de la Feysine (300 000 EH).
- **très variable** : la caractéristique majeure de la pollution pluviale est sa grande variabilité d'un site à l'autre, d'un événement à l'autre pour un même site sans qu'aucune tendance claire en lien avec les caractéristiques des événements ne puisse être établie. A titre d'exemple, la concentration en cuivre issue du parking imperméable varie selon les événements de 6 µg/L à 91 µg/L.
- **partiellement sous forme particulaire** : les polluants de type métaux, HAP sont principalement sous forme particulaire, et en général adsorbés sur des particules décantables. Le paramètre matières en suspension (MES) est ainsi un paramètre important pour quantifier la pollution particulaire. Ces MES présentent une granulométrie fine ($D^{50} < 50 \mu\text{m}$), mais permettent une bonne décantabilité. Certains micropolluants sont en revanche sous forme fortement dissoute comme les pesticides, le bisphénol A et dans une moindre mesure les alkylphénols,



💧 Des micropolluants de la liste de la DCE sont présents au sein des eaux d'apport aux systèmes centralisés comme décentralisés sans différence majeure

- Sur les 59 substances recherchées dans l'étude, toutes ont été détectées au moins une fois sur un des sites à l'exception du dibenzo(a,h)anthracène.
- Les eaux constituant les apports aux différents dispositifs sont sans surprise **chargées en** : (i) **métaux ou metalloïdes** notamment en As¹, Cr¹, Cu¹, Pb², Zn¹ et de manière moins marquée en Cd³ et (ii) **HAP** notamment lourds (Fluoranthène², Benzo(b)fluoranthène³ ou Benzo(g,h,i) pérylène³) avec des concentrations proches ou dépassant les valeurs de NQE « Norme de Qualité Environnementale ».

Elles sont relativement peu chargées en pesticides ou en alkylphénols (valeurs inférieures aux NQE) et en PBDE, mais souvent présentes ; polluants, qui rappelons le, sont inclus dans la surveillance DCE.

- Globalement, les concentrations mesurées en entrée des ouvrages suivis se situent dans les fourchettes de valeur de la littérature quand ces valeurs existent.

Il n'y a pas de différence majeure entre les gammes de concentrations en entrée des systèmes centralisés et décentralisés. Mais, pour certaines substances, on peut noter des valeurs médianes plus élevées pour les apports du bassin versant de grande taille (Tableau 1).



B2 - Des technologies d'aujourd'hui qui s'avèrent efficaces

💧 L'abattement des volumes : une première mesure pour limiter les rejets de micropolluants

L'efficacité des dispositifs étudiés en termes d'abattement des micropolluants se mesure à leur aptitude à réduire : les concentrations (processus bio-physico-chimiques) et les volumes d'eau. Moins d'eau correspond à moins de polluants associés rejetés. **Ainsi, agir sur les volumes est un premier pas pour limiter les flux polluants sortant des dispositifs.**

La Figure montre les abattements volumétriques des quatre dispositifs. Le bassin de retenue est étanche et fonctionne sur un principe de décantation. Il n'abat pas de volume (le volume entrant lors d'une pluie est



pratiquement le même que celui de sortie et ce, pour les 127 événements mesurés sur la période de 2015 à 2018. La noue, en revanche, absorbe souvent la totalité du volume généré par les pluies observées sur la même période (63 % d'entre elles) montrant le fort pouvoir de rétention d'eau du sol de la noue pour les petites pluies mesurées.

La Figure 3 donne les résultats des efficacités en concentrations et en masses pour la solution qui intercepte le plus d'eau et le bassin qui en intercepte le moins.

¹ Substance à surveiller selon l'arrêté du 17 octobre 2018

² Substance prioritaire selon la Directive Cadre Eau, Dir 2013/39/EU

³ Substance prioritaire dangereuse selon la Directive Cadre Eau, Dir 2013/39/EU

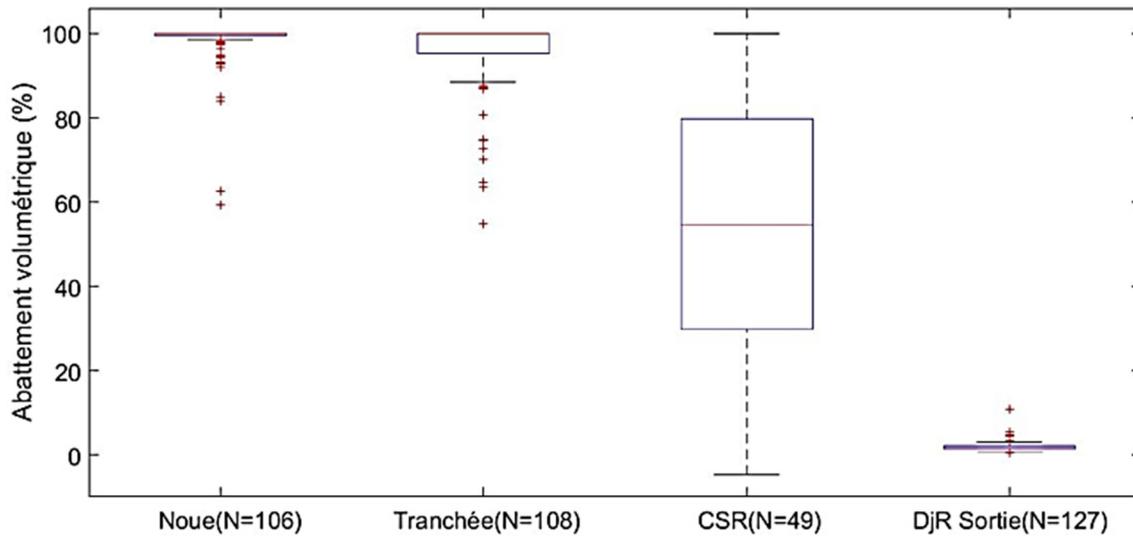


Figure 2. Abattelements des volumes d'eau (Garnier, 2020).

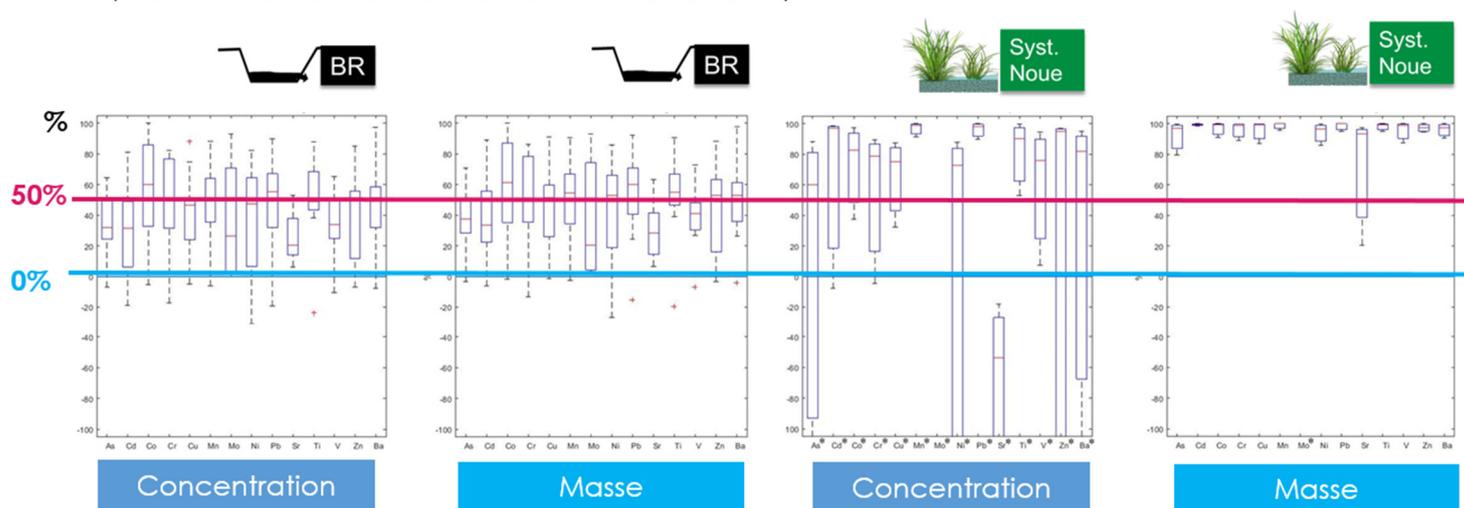
Notons que **tous les dispositifs sont efficaces pour abattre les débits de pointe** (ils ont été dimensionnés en ce sens) : en moyenne 99 % pour le parking muni de la noue, 95 % pour celui muni de la tranchée, 80 % pour la CSR et 76 % pour le bassin de retenue.



Noue - ECOCAMPUS Lyon Tech La DOUA (Villeurbanne 69)



Abatement en concentrations ou en masses/m² actif des rejets en Métaux (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Ba)



Abatement en concentrations ou en masses/m² actif des rejets en PESTICIDES (Car, Atr, Di)

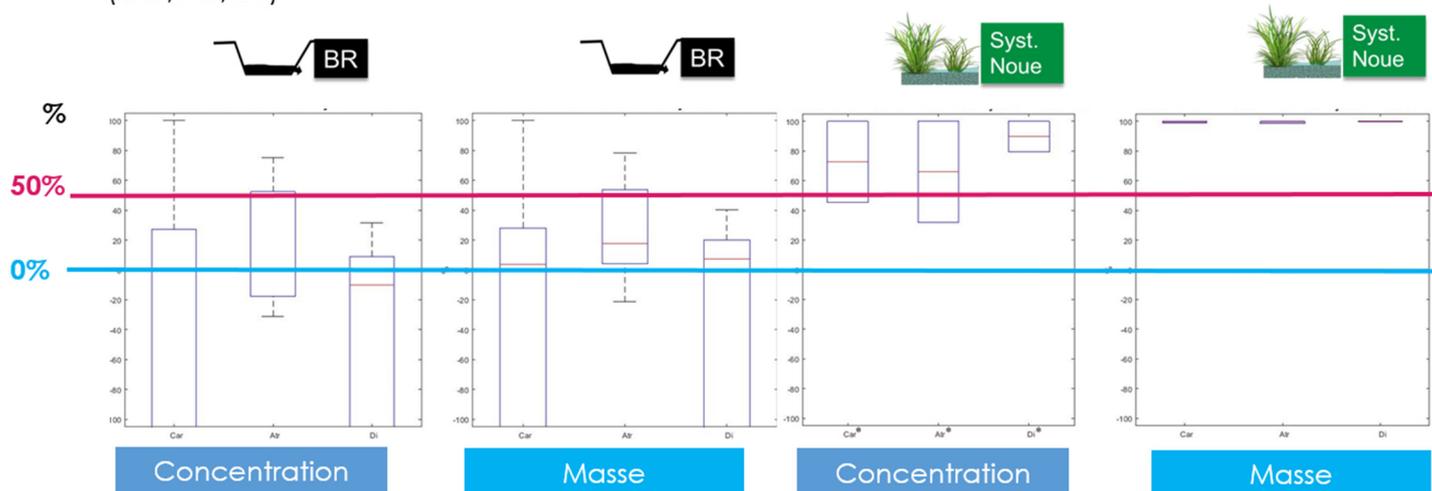


Figure 3. Abatements en concentrations et en masses au m² actif sur (a) le bassin de retenue (système centralisé) et (b) la noue (système décentralisé).

■ A RETENIR ■

L'abatement des volumes est un vrai levier pour la limitation des flux de micropolluants. Il peut donc être judicieux de développer une stratégie de réduction des volumes.

La métropole de Lyon par exemple préconise de déconnecter les eaux du réseau pour les pluies de moins de 15 mm (80 % des pluies annuelles sur son territoire).

Notons qu'il ne s'agit pas de s'appuyer sur un concept de premier flot qui voudrait qu'intercepter « les eaux des 15 premiers mm » soit une stratégie payante car elles sont plus chargées. La littérature a montré que cet effet de premier flot est très loin d'être systématique. Même si l'on observe souvent des pics de concentrations en début du ruissellement, les volumes auxquels correspondent ces concentrations sont minimes, si bien que la masse de polluants apportée au début de la pluie est le plus souvent négligeable par rapport à celle apportée ultérieurement.

💧 Les techniques à la source semblent plus efficaces que les systèmes centralisés pour réduire les micropolluants



- Pour les substances majoritairement fixées aux MES, à savoir métaux, HAP et PBDE, les concentrations sont réduites et ce malgré la grande variabilité des niveaux de pollution observés (Figure 3).
- Pour les substances majoritairement en phase dissoute, comme les pesticides, les concentrations ne sont pas réduites (Figure 3). Pour certains d'entre eux (carbendazime, diuron), des relargages sont observés sur le bassin centralisé et sont parfois plus importants en sortie de la CSR qu'en sortie du parking imperméable de référence. La réduction des émissions passe donc, dans ce cas, par une réduction des volumes émis.
- Pour le bisphénol et les alkylphénols, la spéciation variable (dissous / particulaire) pourrait expliquer des abattements plus erratiques pour le bassin de retenue et la CSR.
- Les efficacités du bassin de rétention restent, pour la quasi-totalité des substances, inférieures à celles des ouvrages de gestion à la source. La capacité de décantation du bassin, si elle impacte de manière non négligeable la pollution en phase particulaire, apparaît toutefois comme moins efficace que les processus intervenant au cours de la percolation de l'eau dans les systèmes de gestion à la source, toute famille de polluants confondue.

Le système végétalisé est particulièrement efficace. Cependant, il ne faut pas tirer de conclusions hâtives sur le rôle joué par la végétation (Voir encart ci-dessous), les abattements viennent principalement du massif végétalisé et non de la végétation seule.

La Figure 4 illustre les abattements en masses des rejets au m² actif sur l'ensemble des sites, et pour les quatre sites et pour les deux familles de micropolluants (HAP et alkylphénols). On trouvera le détail des niveaux de pollution en sortie et des abattements observés dans Garnier (2020) pages 146-149 ou dans le livrable L2B pages 59-61 (Barraud et al., 2019).

La végétation ne joue pas de rôle « épuratoire »,

mais le massif « substrat et végétation » oui !

La végétalisation joue essentiellement un rôle « mécanique » bénéfique favorisant la décantation des polluants particulaires et/ou l'adsorption par le substrat des polluants dissous. Ce ne sont donc pas les plantes en elles-mêmes qui favorisent la dépollution, mais bien le substrat (sol + végétalisation).

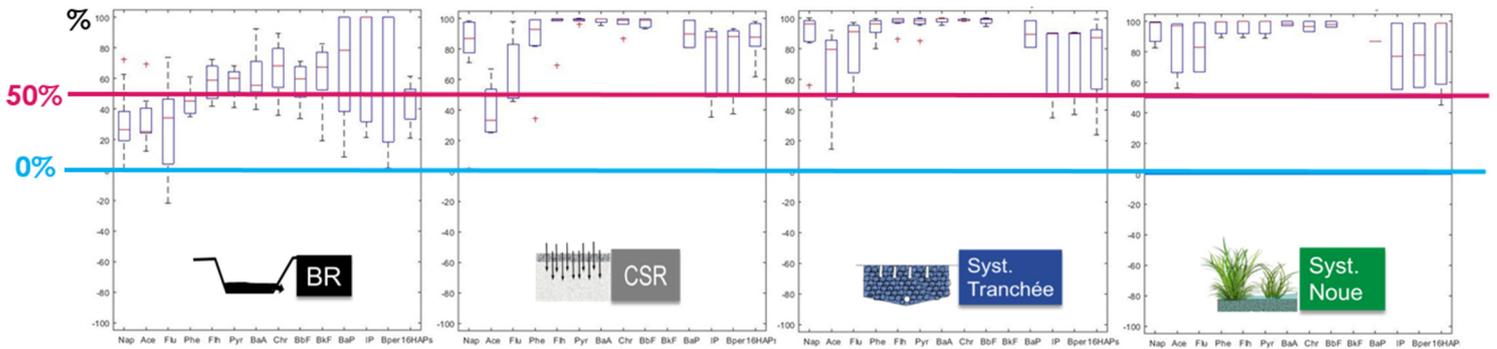
ATTENTION : La « phyto-remédiation » ou même la « phyto-extraction » ne sont pas des phénomènes qui peuvent être mis en avant pour dépolluer les eaux pluviales.

■ A RETENIR ■

L'analyse des résultats sur l'ensemble des campagnes réalisées lors du programme montre que les abattements en masse (volume × concentration) sont bien meilleurs sur la noue (qui abat les volumes) que sur le bassin de retenue/décantation qui n'en abat pas (Figure).

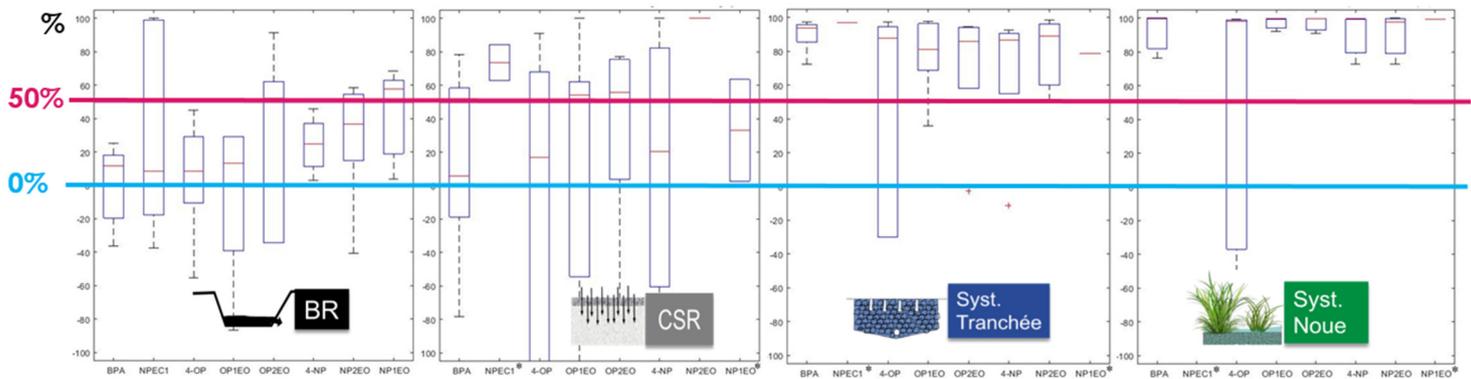
Cela est également vrai pour les autres sites. Ainsi, la noue est la plus efficace quels que soient les micropolluants, vient ensuite la tranchée, puis la CSR et enfin le bassin de retenue.

Abattement en masse /m² actif des rejets en HAPs



Liste des HAPs analysés : Nap | Ace | Flu | Phe | Flu | Pyr | BaA | Chr | BbF | BkF | BaP | IP | Bper | 16HAPs

Abattement en masse /m² actif des rejets en Alkylphénols



Liste des Alkylphénols analysés : BPA, NPEC1, 4-OP, OP1EO, 4-NP, NP2EO, NP1EO

Figure 4. Sorties | Abattements en masses des rejets au m² actif sur l'ensemble des sites et pour les quatre sites et pour les deux familles de micropolluants (HAP et alkylphénols).

💧 Les systèmes centralisés, bien que moins performants vis-à-vis des micropolluants, restent plus efficaces que les systèmes traditionnels de réseaux

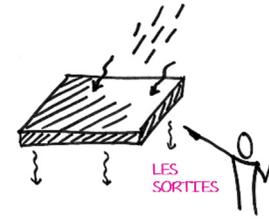
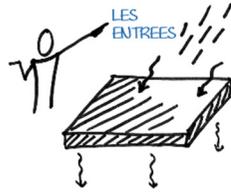
L'utilisation de dispositifs centralisés comme les bassins de rétention basés sur la décantation semble moins pertinente que les systèmes couplant une plus large gamme de processus (filtration mécanique, physico-chimique et/ou dégradation notamment) lié à la percolation de l'eau dans des substrats poreux.

Bien qu'efficaces pour les métaux et les HAP (polluants particulaires), la performance d'un dispositif centralisé pour la gestion d'autres micropolluants comme les alkylphénols, le BPA, et plus encore les pesticides, est loin d'être assurée. Ceci dit, les systèmes centralisés sont plus efficaces que les systèmes traditionnels de réseaux.

Dans certains cas ils restent donc des solutions efficaces !



Tableau 1. Concentrations totales en micropolluants évaluées pour les sites de référence (entrée du bassin rétention/décantation Django Reinhardt (référence site centralisé)) et le parking imperméable (référence sites à la source).



			Mediane des concentrations				NQE	Comparaison à la NQE		Comparaison à la littérature		Mediane des concentrations				NQE	Comparaison à la NQE				Comparaison à la littérature			
			centralisé ENTREE	CV	Asp	CV		centralisé ENTREE	Asp	centralisé ENTREE	Asp	centralisé SORTIE	CSR	Tranchée	Noue		centralisé SORTIE	CSR	Tranchée	Noue	centralisé SORTIE	CSR	Tranchée	Noue
METAUX	ETM	As (µg/L)	1,2	57%	1,8	123%	0,83	x2 (x10)	↙	0,8	1,3	0,8	2,0	0,83	x1 (x1.5)	x1.5	x1 (x2)	x2.5 (x3.5)	-	-	-	-		
		Cd (µg/L)	0,3	89%	0,2	140%	0,45	x1/2 (x4)	↙	0,1	0,0	0,0	0,0	0,83	x1/3 (x3)	x1/20 (x1.5)			↙	Inf	-	-		
		Co (µg/L)	2,5	127%	1,3	120%	-	-	=	1,0	0,1	0,1	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Cr (µg/L)	8,6	50%	10,5	109%	3,4	x2 (x15)	=	4,0	2,6	3,7	6,3	-	x1 (x2)	x2/3 (x1)	x1 (x4)	x2	↗	-	↙	↙		
		Cu (µg/L)	31,8	98%	23,0	97%	1	x30 (x120)	=	19,5	8,2	7,3	11,1	1	x20 (x35)	x8 (x13)			=	↙	↙	↙		
		Mn (µg/L)	58,2	108%	106,6	135%	-	-	↙	31,0	1,4	7,1	20,5	-	-	-	-	-	inf	-	↙	↙		
		Mo (µg/L)	1,7	161%	0,0	-	-	-	=	↙	2,1	0,0	0,4	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ni (µg/L)	8,7	54%	7,5	95%	34	x1/4 (x1)	=	3,3	1,3	2,8	5,2	-	x1/10 (x1/3)	x1/30 (x1/6)	x1/12 (x1/8)	x1/6	-	-	↙	↙		
		Pb (µg/L)	11,3	109%	9,4	126%	13	x1 (x5)	↙	5,5	0,0	1,0	1,8	13	x1/2 (x1)	0	x1/10	x1/10 (x1/3)	inf	inf	↙	↙		
		Sr (µg/L)	74,0	37%	44,1	79%	-	-	↙	50,5	132,0	108,0	175,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ti (µg/L)	60,4	88%	441,7	112%	-	-	=	27,2	2,0	16,6	40,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		V (µg/L)	4,7	47%	10,6	112%	-	-	↙	2,5	2,8	2,3	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Zn (µg/L)	259,2	79%	104,7	104%	7,8	x25 (x115) x3 (x50)	↙	181,0	0,0	12,3	14,8	7,8	x20 (x80)	0 (x2)	x1 (x8)	x1 (x10)	sup	↙	↙	↙				
Ba (µg/L)	53,3	210%	74,3	117%	-	-	=	26,0	7,3	10,4	21,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Car (ng/L)	40,9	48%	29,4	150%	150	x1/5 (x1)	↙	39,0	12,1	2,4	1,0	150	x1/30 (x1.5)			-	-	-	-	-				
Atr (ng/L)	3,3	175%	5,0	150%	2000	x1/50 (x1/15)	↗	4,0	0,0	0,2	4,7	-	0 (x1/4)			-	-	=	=	-				
Di (ng/L)	19,0	92%	0,3	207%	1800	x1/300 (x1/30)	↙	23,1	0,0	0,0	0,0	-	x1/70 (x1/3)	0 (x1/60)			-	-	-	-				
BPA (ng/L)	525,5	25%	157,7	49%	-	-	=	↙	536,6	115,1	66,4	69,4	1800	-	-	-	-	-	-	-				
BISPHENOL A	Bis	NPEC1 (ng/L)	190,4	32%	0,0	171%	2000	x1/10 (x1/6) 0 (x1/30)	=	↙	166,4	18,1	14,8	15,1	2000	x1/10	x1/120 (x1/30)			-	-	-	-	
		4-OP (ng/L)	38,9	57%	18,8	182%	100	x1/5 (x4)	↙	38,0	39,1	17,9	33,8	100	x1/3 (x1)			-	-	↙	=			
		OP1EO (ng/L)	108,5	86%	52,7	46%	100	x1/2 (x2)	↗	86,9	26,7	24,2	16,5	100	x1 (x2)	x1/4 (x1)			-	-	-	-		
		OP2EO (ng/L)	9,1	38%	7,4	38%	100	x1/10 (x1/10)	↙	4,5	2,5	6,5	1,5	100	x1/30 (x1/10)			-	-	-	-			
		4-NP (ng/L)	584,2	55%	329,1	44%	2000	x1/3 (x1/2) 1/6 (1/5)	=	↙	552,6	304,4	247,0	94,3	2000	x1/4 (x1/2)	x1/5 (x1/2)			-	-	=	↙	
		NP2EO (ng/L)	120,7	42%	62,2	66%	2000	x1/20 (x1/13)	↙	73,7	0,0	38,1	37,5	2000	x1/30	0	x1/60 (x1/30)	x1/60 (x1/20)	-	-	-	-		
		NP1EO (ng/L)	215,9	56%	0,0	178%	2000	x1/10 (x1/6) 0 (x1/25)	↙	85,5	0,0	18,3	9,0	2000	x1/25 (x1/10)	x1/130 (x1/40)			-	-	-	-		
		ALKYLPHENOL	AP	NPEC1 (ng/L)	190,4	32%	0,0	171%	2000	x1/10 (x1/6) 0 (x1/30)	=	↙	166,4	18,1	14,8	15,1	2000	x1/10	x1/120 (x1/30)			-	-	-
4-OP (ng/L)	38,9			57%	18,8	182%	100	x1/5 (x4)	↙	38,0	39,1	17,9	33,8	100	x1/3 (x1)			-	-	↙	=			
OP1EO (ng/L)	108,5			86%	52,7	46%	100	x1/2 (x2)	↗	86,9	26,7	24,2	16,5	100	x1 (x2)	x1/4 (x1)			-	-	-	-		
OP2EO (ng/L)	9,1			38%	7,4	38%	100	x1/10 (x1/10)	↙	4,5	2,5	6,5	1,5	100	x1/30 (x1/10)			-	-	-	-			
4-NP (ng/L)	584,2			55%	329,1	44%	2000	x1/3 (x1/2) 1/6 (1/5)	=	↙	552,6	304,4	247,0	94,3	2000	x1/4 (x1/2)	x1/5 (x1/2)			-	-	=	↙	
NP2EO (ng/L)	120,7			42%	62,2	66%	2000	x1/20 (x1/13)	↙	73,7	0,0	38,1	37,5	2000	x1/30	0	x1/60 (x1/30)	x1/60 (x1/20)	-	-	-	-		
NP1EO (ng/L)	215,9			56%	0,0	178%	2000	x1/10 (x1/6) 0 (x1/25)	↙	85,5	0,0	18,3	9,0	2000	x1/25 (x1/10)	x1/130 (x1/40)			-	-	-	-		



			Mediane des concentrations				NQE	Comparaison à la NQE		Comparaison à la littérature		Mediane des concentrations				NQE	Comparaison à la NQE				Comparaison à la littérature			
			centralisé	CV	Asp	CV		centralisé	Asp	centralisé	Asp	centralisé	CSR	Tranchée	Noue		centralisé	CSR	Tranchée	Noue	centralisé	CSR	Tranchée	Noue
			ENTREE					ENTREE		ENTREE		SORTIE					SORTIE				SORTIE			
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES	HAP	Nap	(ng/L)	237,9	110%	211,5	149%	130000	x1/600 (x1/75)	↗	113,3	30,5	66,4	71,9	0 (x 1/100)	0	0	0	-	-	inf	inf		
		Ace	(ng/L)	16,5	62%	5,7	39%	-	-	=	11,3	4,0	7,9	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Flu	(ng/L)	28,8	45%	18,1	50%	-	-	Moy	20,3	8,4	8,4	8,4	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Phe	(ng/L)	92,9	41%	110,2	95%	-	-	Moy	55,9	7,0	23,6	34,4	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Flh	(ng/L)	99,9	48%	110,9	77%	120	x1 (x2)	Moy	45,1	0,5	2,1	11,8	x 1/3 (x 1)	x 1/200 (x1/10)	x 1/100 (x 1/6)	x 1/10 (x1/2)	-	-	-	-		
		Pyr	(ng/L)	93,6	55%	93,1	79%	-	-	↙	42,2	0,4	1,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-		
		BaA	(ng/L)	50,0	34%	31,7	121%	-	-	-	26,0	0,9	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Chr	(ng/L)	47,0	56%	57,5	112%	-	-	↙	22,0	0,7	2,7	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-		
		BbF	(ng/L)	57,7	74%	59,9	116%	17	x4 (x17)	↙	20,1	1,7	6,9	6,9	x 1 (x 5)	-	-*	-	-	-	-	-		
		BkF	(ng/L)	18,8	79%	6,9	0%	17	x1 (x4) x1/2	↙	6,9	1,7	6,9	6,9	x 1/2 (x 1)	-	-*	-	-	-	-	-		
		BaP	(ng/L)	14,9	98%	11,7	118%	270	x1/20 (x1/3)	↙	11,7	2,9	11,7	11,7	x 1/25 (x 1/10)	-	-*	-	-	-	-	-		
		IP	(ng/L)	45,9	50%	40,0	36%	-	-	-	29,8	10,0	40,0	40,0	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Bper	(ng/L)	55,0	47%	40,0	37%	8,2	x6 (x12)	↙	26,6	10,0	40,0	40,0	x 3 (x 10)	-	-*	-	-	-	-	-		
ΣHAP légers	(ng/L)	397,8	79%	411,0	124%	-	-	-	218,3	50,9	119,9	138,0	-	-	-	-	-	-	-	-				
ΣHAP Lourds	(ng/L)	499,7	46%	501,5	74%	-	-	-	264,7	38,8	173,2	178,6	-	-	-	-	-	-	-	-				
Σ16HAP	(ng/L)	1004,8	45%	895,9	92%	-	-	-	475,9	90,0	279,3	304,4	-	-	-	-	-	-	inf	inf				
PBDE	PBDE	B183	(ng/L)	1,8	24%	5,5	84%	-	-	↗	1,6	2,3	1,9	2,2	-	-	-	-	-	-	-			
		B205	(ng/L)	0,4	192%	10,7	176%	-	-	-	0,6	0,9	0,3	0,7	-	-	-	-	-	-	-			
		B209	(ng/L)	60,1	98%	50,0	168%	-	-	↙	29,2	0,0	1,4	5,2	-	-	-	-	-	-	-			
		ΣGPBDE	(ng/L)	8,9	68%	13,8	123%	140	x1/15 (x1/2)	-	5,0	4,7	2,6	3,2	x 1/50 (x 1/10)	-	-	-	-	-	-			
MES	MES	(mg/L)	48,4	88%	191,8	125%	50	x3 (x2,5)	-	20,2	0,6	17,7	25,3	x 1/2 (x 2)	x 1/100 (x 1/2)	x 1/3 (x 1,5)	x 1/2 (x 1,5)	↙	↙	↙	↙			

Nap Naphtalène	Flh Fluoranthène	BkF Benzo(k)fluoranthène	BPA Bisphénol A	OP2EO Octylphénol-di-éthoxylé
Acy Acénaphthylène	Pyr Pyrène	BaP Benzo(a)pyrène	NPEC1 Nonylphénol-1-carboxylé	4-NP 4-Nonylphénol
Ace Acénaphthène	BaA Benzo(a)anthracène	IP Indeno(1,2,3-cd)pyrène	4-OP 4-Tert-Octylphénol	NP2EO Nonylphénol-di-éthoxylé
Flu Fluorène	Chr Chrysène	D(a,h)A Dibenzo(a,h)anthracène	OP1EO Octylphénol-mono-éthoxylé	NP1EO Nonylphénol-mono-éthoxylé
Phe Phénanthrène	BbF Benzo(b)fluoranthène	Bper Benzo(g,h,i)peryène		
A Anthracène				

** Le rapport de la concentration médiane à la NQE (Med / NQE) et entre parenthèse le rapport de la concentration Q90 / NQE (Q90 est le 90^{ème} centile). La présence de deux cases dans cette colonne signifie que les distributions sont statistiquement différentes. Si ces rapports sont >1, la case est en rose, si seul le rapport de Q90/NQE est > 1 la case est en orange, sinon la case est verte.

Comparaison avec la littérature (références disponibles au sein de Garnier, 2020) – Légendes :

↙	Dans la fourchette basse de la littérature	inf	Inferieur à la littérature	=	Identique à la littérature	sup	Superieur à la littérature	↗	Dans la fourchette haute de la littérature
---	--	-----	----------------------------	---	----------------------------	-----	----------------------------	---	--

B3- Un diagnostic complexe à mettre en œuvre et des données de bonne qualité difficiles à acquérir



💧 Le suivi de ces ouvrages est complexe tant en termes de métrologie que de suivi des pratiques ...

Le suivi métrologique des sites de gestion à la source est compliqué à mettre en œuvre et demande de :

- **bien connaître les dispositifs**, notamment la géométrie réelle et leur composition (une imagerie radar a dû être déployée pour maîtriser les dispositifs à la source dans le projet) ;
- **disposer de mesures débitométriques de très bonne qualité** car, d'elles, dépend la qualité des prélèvements permettant d'obtenir des échantillons représentatifs de l'évènement pluvieux (échantillonnage proportionnel aux débits ou volumes nécessitant d'asservir préleveur à la débitmétrie et aux prévisions des pluies) ;
- **mesurer les entrées de ces systèmes bien que cela soit compliqué voire même impossible**. Sur les systèmes à la source, les quantités en jeu sont faibles et

toute interception d'eau en entrée modifie complètement les processus et les quantités d'eau en sortie. Il faut alors définir des zones de référence pour mesurer l'efficacité (c-a-d ouvrage similaire ou comme dans le programme le parking traditionnel imperméable) ;

- **disposer de la place nécessaire pour implanter les appareils de mesure**. Des chambres d'environ 2 x 2 x 2 m ont été implantées pour accueillir la centrale d'acquisition, les débitmètres et les préleveurs. L'alimentation électrique est également un point sensible. La connexion au réseau a été nécessaire, les panneaux solaires photovoltaïques ayant été trop peu fiables pour s'assurer du bon fonctionnement au moment des prélèvements.

Le suivi analytique est délicat et fait face à des incertitudes majeures liées à l'échantillonnage (bonne couverture des évènements, préparation et conservation des échantillons). Il y a nécessité par ailleurs de disposer de laboratoires d'analyses de qualité capables de mesurer des concentrations avec des limites de détection et de quantification compatibles avec les niveaux des micropolluants à observer et les NQE. L'expérience montre que ce n'est pas trivial. Il convient aussi de rappeler qu'il est nécessaire de disposer d'un nombre d'évènements pluvieux (le plus important possible) pour couvrir la plage de variation des concentrations, qu'il est indispensable de faire des blancs permettant de connaître la contamination liée aux équipements de prélèvement. **Cela entraîne des coûts d'analyses importants** (plusieurs dizaines de milliers d'euros sur 4 ans).

L'analyse et la mise en perspective des résultats nécessitent également des compétences à la fois en hydrologie, en chimie (comportement des molécules analysées) et une bonne connaissance des statistiques permettant d'intégrer des résultats présentant une variabilité importante. On se reportera au Guide du Groupe de Liaison InterProjets (MicroMegs, Matriochkas et Roulépur) pour plus de précisions sur les indicateurs de performances (Flanagan *et al.*, 2020).

Le suivi des perceptions et des pratiques est informatif et nécessite également des compétences pour manipuler des méthodes variées (techniques d'enquêtes par questionnaires, entretiens semi-directifs, analyse de corpus documentaires, campagnes photos). **De même qu'on ne s'improvise pas métrologue, on ne s'improvise pas spécialiste des sciences sociales.**

■ A RETENIR ■

Attention, le monitoring de ces systèmes nécessite des investissements conséquents, de la main d'œuvre importante et des compétences accrues. Il est peut-être plus raisonnable de renforcer les dispositifs de mesure existants de manière à alimenter des bases de données plus fournies et qui intègrent le long terme. Le projet MicroMegs, ainsi que les autres projets (Roulépur, Matriochkas, Regard), apportent des éléments de cadrage quant aux concentrations ou aux efficacités rencontrées sur des systèmes assez classiques. Il est conseillé d'utiliser les données acquises et celles qui sont produites dans des conditions scientifiques validées plutôt que de développer soi-même des suivis complémentaires.

Les données de programmes de recherche et d'études scientifiques sont à votre disposition, utilisez-les !

B4 - Des technologies et des micropolluants dont le rôle n'est pas identifié

💧 Les micropolluants sont rarement abordés spontanément dans les entretiens avec les acteurs de la gestion des eaux pluviales

La définition des micropolluants ne va pas de soi. Les acteurs enquêtés citent en moyenne quatre familles (métaux « lourds » et hydrocarbures, pesticides et médicaments, même si ces derniers sont peu associés aux eaux pluviales). Les attentes en matière de connaissances sont fortes (quels impacts sur le milieu, quel niveau de risque liés aux micropolluants ? sont des questions récurrentes).

Il en est de même dans le corpus de littérature technique. Les micropolluants sont rarement cités et quand ils le sont, ils sont associés à la gestion par réseau (déversoir d'orage, réseau unitaire), pas aux techniques alternatives

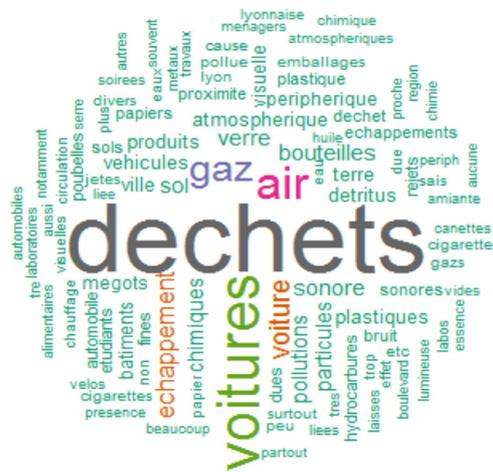


Figure 5. Nuage de mots désignant les pollutions du campus perçues par les usagers (Cofrade C., 2017).

💧 Il y a une vraie culture de site à promouvoir pour expliquer, montrer et former les personnels

Les personnels techniques ou en charge de l'entretien des espaces extérieurs sur le campus ignorent la fonction gestion des EP et considèrent parfois l'eau en surface par temps de pluie comme un dysfonctionnement. Les observations *in situ* croisées avec les entretiens indiquent que le manque de lisibilité (compréhension du fonctionnement des ouvrages) peut être problématique

notamment lors d'épisodes de chantier où une noue végétalisée par exemple est considérée comme une simple pelouse et donc parcourue par les engins, alors que là même située au voisinage, mais présentant une surface en galets, est respectée (Figure 6).

« (En parlant des techniques alternatives). Ben là c'est pareil, on essaye nous en interne, on travaille beaucoup sur la communication, l'acceptation, les changements petit à petit, ça c'est difficile. Là il y a une étude sociale à faire énorme là-dessus parce que les gens, ils ne les voient pas » Personnel du campus.



Figure 6. Illustration de l'importance de la lisibilité des ouvrages de gestion des eaux pluviales sur l'Ecocampus LyonTech La Doua.

💧 Il y a du travail de sensibilisation encore à mener auprès de tous les acteurs notamment les usagers des territoires

La pollution est identifiée par les usagers comme un enjeu important (notamment sur le campus) mais, paradoxalement, la qualité de l'eau n'est pas une préoccupation énoncée (Figure 5).

Les micropolluants ne sont donc pas identifiés comme à fort enjeu aussi bien auprès des gestionnaires que des usagers.

Extrait de l'enquête menée sur l'éco campus de Lyon Tech la Doua lors du projet MicroMegas « La pollution sur l'éco-campus : une préoccupation pour les usagers ? » : Résultat : La perception des micropolluants est donc assez paradoxale : 75% des usagers interrogés n'ont aucune connaissance en matière de micropolluants mais 77% se déclarent préoccupés !

B5 - Le maintien des performances passe par une stratégie de gestion patrimoniale

💧 Le maintien des performances des ouvrages tant sur le plan hydraulique qu'en matière de pollution passe par une conception dans les règles de l'art

Les noues et les tranchées expérimentales utilisées dans MicroMegas ont été construites au lancement du projet. Même si les travaux ont été bien planifiés, des problèmes de

réalisation *in-situ* ont été constatés. Ceci souligne la nécessité de faire un suivi de chantier très fin lors de la réalisation d'ouvrages afin d'éviter les malfaçons.

💧 Maintien des performances passe par la bonne lisibilité et compréhension du fonctionnement des systèmes

La lisibilité des ouvrages par les usagers, les riverains et surtout par les gestionnaires est importante pour la pérennité des dispositifs. Oui, il est normal que par temps de pluie il y ait de l'eau sur cette pelouse en dépression que l'on nomme noue ...

La signalétique paraît aujourd'hui plus que jamais utile.

La lisibilité des ouvrages par les usagers, les riverains, et les gestionnaires est un plus pour un bon respect et une bonne gestion des ouvrages de gestion des eaux pluviales et donc un maintien de ces performances. Cette lisibilité permet de mieux appréhender le rôle des ouvrages par les différents acteurs et évite les mes-usages.



ECOCAMPUS Lyon Tech La DOUA (Villeurbanne 69)

C. Leviers utiles et pistes d'actions

💧 Sensibiliser, former les acteurs en matière de gestion des eaux pluviales – pour mieux connaître et gérer ces ouvrages

La compréhension de la technique est importante pour les gestionnaires. Ils doivent garder la mémoire et la vocation initiale des solutions qui s'intègrent aux aménagements et qui se fondent dans le paysage. Cela permet de mieux gérer les évolutions (fréquentation, usages autres, ...). Pour cela, deux pistes d'action peuvent être avancées :

- sensibiliser et former les différents publics et acteurs à cette gestion, pour accompagner le changement de pratiques et transférer les connaissances ;
- favoriser la transversalité au sein des collectivités ou entre collectivités (par exemple entre service de l'eau / assainissement / voirie / espaces verts/ urbanisme).

💧 Augmenter la lisibilité & la visibilité des ouvrages de gestion des eaux pluviales

L'augmentation de la lisibilité et de la visibilité des ouvrages, depuis leur conception jusqu'à leur mise en « scène », en mettant en avant leur rôle, leur fonction pour la gestion de l'eau est primordiale (Figure 7).



Figure 7. Illustration de l'utilisation de panneaux pour une meilleure visibilité des ouvrages pluviaux.

[[a] au sein d'une noue à la Roannaise de l'eau (42) – [b] Bassin de rétention au centre du parc Kaplan – Métropole de Lyon (69)]

💧 Ne pas oublier que la pollution la plus simple à traiter est celle que l'on n'émet pas !

Les acteurs de l'eau ont un pouvoir de persuasion et des arguments forts pour inciter leurs partenaires à mettre en place des démarches allant dans ce sens (choix des matériaux, stratégie de gestion des espaces verts sans pesticides, ...).

💧 Expérimenter, lancez-vous !

Pour des collectivités, comme nous le signalions précédemment, il n'est pas forcément utile de suivre en continu et finement ces ouvrages centralisés et à la source.

Mais, la culture de l'expérimentation est à entretenir au sein des collectivités en capitalisant les informations déjà acquises issues notamment de programmes scientifiques.

N'hésitez pas à innover, expérimenter en mettant en œuvre des techniques à la source.

Ces solutions techniques à la source présentent moins de risque que des stratégies par réseau pour la gestion des micropolluants.

Ce sont des solutions sans regret !

D. Pour aller plus loin ...

PUBLICATIONS

Flanagan K., Barraud S., Gromaire M.-C., Rodriguez F., Ah Leung S., Bacot L., Ramier D., Varnede L., Honegger A. et Deroubaix J.-F. (2021). Guide Méthodologique pour l'évaluation des performances d'ouvrages de maîtrise à la source des eaux pluviales.

Garnier R. (2020). Systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales : Contribution à l'analyse de performances conjointes en matière d'hydrologie quantitative et de piégeage de micropolluants. Comparaison systèmes à la source – système centralisé. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 318 p.

Comby E., Rivière-Honegger A., Cottet M., Ah-Leung S. et Cossais N. (2019). « Les techniques alternatives » sont-elles envisagées comme un outil de gestion qualitative des eaux pluviales ? », *Développement durable et territoires*, Vol. 10, n°3 | Décembre 2019 | URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/16082>.

Micropolluants et eaux pluviales en ville : vers des solutions efficaces ? (2019) Plaquette GLIP / ARCEAU <http://www.arceau-idf.fr/sites/default/files/Plaquette%20trois%20projets.pdf>.

LIVRABLES MICROMEGAS

(disponibles sur le site web du programme micromegas-lyon.org – [Page « les Productions »](#))

L1A : Méthodologie pour l'évaluation des performances des systèmes
L2A : Définition des protocoles d'expérimentations - et mode d'exploitation des mesures Rendu à 6 mois - (janvier 2017)
L2B : Rapports de suivis des sites (compte rendu et exploitation des résultats) et tendances en termes d'efficacité en lien avec les usages et l'entretien (juillet 2019)
L3A : Résultats de l'enquête de perception auprès des maîtres d'ouvrage et des gestionnaires à Lyon (juillet 2019)
L3B : Résultats de l'enquête par questionnaire auprès du public et des riverains de la zone d'étude à Lyon –mars 2018
L3C : Rapport de synthèse SHS sur l'ensemble du programme (juillet 2019)

SITES WEB :

micromegas-lyon.org | graie.org | eaurmc.fr



REDACTION : par ordre alphabétique

Laëtitia BACOT, GRAIE-OTHU ; Sylvie BARRAUD, INSA Lyon DEEP ;
Anne HONEGGER, UMR 5600 CNRS-EVS, ENS Lyon ; Céline
LAGARRIGUE, AE RMC.

CONTRIBUTIONS :

Sébastien AH-LEUNG, Laboratoire EVS – UMR 5600
CNRS-EVS, INSA Lyon
Hélène CASTEBRUNET, INSA Lyon DEEP
Frédéric CHERQUI, INSA Lyon DEEP / Université Lyon 1
Marylise COTTET, UMR 5600 CNRS-EVS, ENS Lyon
Émeline COMBY, Laboratoire EVS – UMR 5600, INSA Lyon
Nina COSSAIS, Laboratoire CITERES – UMR 7324,
Laboratoire EVS – UMR 5600, Métropole de Lyon
Colchique COFRADE, Laboratoire EVS – UMR 5600
CNRS- EVS, INSA Lyon
Robin GARNIER, INSA Lyon DEEP
Élisabeth SIBEUD et Ronan PHILIPPE, Métropole de Lyon

POUR PLUS D'INFORMATIONS : **graie**

Laetitia.bacot@graie.org



Micro Megas



micromegas-lyon.org

DATE DE PARUTION : Aout 2020

Les FINANCEURS et PARTENAIRES DU PROGRAMME :



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes
CPER 2015-2021