



Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines



ROULÉPUR – Maîtrise de la contamination des eaux de voirie

Tâche 6 – Livrable 6

Synthèse des résultats du projet et orientations opérationnelles

Rapport final

Marie-Christine GROMAIRE (Leesu) et Kelsey FLANAGAN (Leesu)

A. BAK (Saint-Dizier Environnement), P. BRANCHU (Cerema), A. BRESSY (Leesu), J.-F. DEROUBAIX (Leesu), L. GARRIGUE-ANTAR (Leesu), J. GASPERI (Leesu), P. GEORGEL (Ecovégétal), S. LEREY (Cerema), C. NEAUD (Cerema), J. LE ROUX (Leesu), R. MOILLERON (Leesu), P. NEVEU (Ville de Paris), J. PAUPARDIN (CD 93), D. RAMIER (Cerema), M. SEIDL (Leesu) et E. THOMAS (CD 77)

Décembre 2020

Partenaires du projet

Ecole des Ponts ParisTech – LEESU

CEREMA

Université Bordeaux 1 – EPOC

Conseil Départemental de Seine-Saint-Denis

Conseil Départemental de Seine-et-Marne

Ville de Paris ; Ecovégétal ; Saint-Dizier Environnement

- **AUTEURS**

Marie-Christine GROMAIRE, directrice de recherche, Leesu-ENPC, marie-christine.gromaire@enpc.fr
Kelsey FLANAGAN, post-doctorante, Leesu-ENPC

- **CORRESPONDANTS**

Stéphane GARNAUD-CORBEL, Office français de la biodiversité, chargé de mission recherche « Eau, biodiversité et aménagement urbain », stephane.garnaud-corbел@ofb.gouv.fr

Pauline CHABANEL-DURRAND, Agence de l'eau de Seine-Normandie, chargée d'études, chabanel.pauline@aesn.fr

Marie-Christine GROMAIRE, directrice de recherche, Leesu-ENPC, marie-christine.gromaire@enpc.fr

- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Alexandre Bak, Ingénieur R & D, Saint-Dizier Environnement, abak@sdenv.fr

Philippe BRANCHU, chercheur, Cerema-TEAM, philippe.branchu@cerema.fr

Adèle BRESSY, chargée de recherche, LEESU-ENPC, adele.bressy@enpc.fr

Laure GARRIGUE-ANTAR, professeur, Leesu-UPEC

José-Frédéric DEROUBAIX, chargé de recherche, Leesu, j.deroubaix@enpc.fr

Johnny GASPERI, maître de conférences, Leesu-UPEC

Pierre GEORGEL, président directeur général, Ecovégétal

Sara LEREY, chargée d'études, Cerema-TEAM, sara.lerey@cerema.fr

Christelle NEAUD, chargée de mission, Cerema-TEAM, christelle.neaud@cerema.fr

Julien LE ROUX, maître de conférences, Leesu-UPEC, julien.le-roux@u-pec.fr

Régis MOILLERON, professeur, Leesu-ENPC, regis.moilleron@u-pec.fr

Pascale NEVEU, chargée de mission, Mairie de Paris, pascale.neveu@paris.fr

Julien PAUPARDIN, chargé d'études en hydrologie urbaine, CD 93, jpaupardin@seinesaintdenis.fr

David Ramier, chargé de recherche, Cerema-TEAM, david.ramier@cerema.fr

Martin SEIDL, chargé de recherche, Leesu-ENPC, martin.seidl@enpc.fr

Eric THOMAS, chef du service études et travaux, CD 77, eric.thomas@departement77.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : régional

Couverture géographique : Ile-de-France

Niveau de lecture : professionnels et experts

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 4 |
| 2. Des eaux pluviales contaminées en micropolluants ? Le cas des eaux de ruissellement de voirie et parking (Roulépur)..... | 4 |
| 2.1. Quels micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et parkings ? 5 | |
| 2.1.1. Screening ciblé..... | 5 |
| 2.1.2. Screening non ciblé | 6 |
| 2.2. A quel niveau de concentration ? | 7 |
| 2.3. Comment la concentration en micropolluants varie-t-elle avec l'importance du trafic ?..... | 8 |
| 2.4. Des micropolluants en phase particulaire ou en phase dissoute ? | 9 |
| 2.5. Quelles sont les sources primaires des micropolluants organiques (bisphénol A, alkylphénols et phtalates) dans les eaux de voiries ? | 9 |
| 3. Quelle écotoxicité des ruissellements de parking et voirie ? Quel effet des dispositifs de traitement sur l'écotoxicité ?..... | 10 |
| 4. Quelle performance des ouvrages de gestion à la source des eaux de ruissellement de voirie/parking pour la maîtrise des flux de micropolluants ?..... | 11 |
| 4.1. Présentation des solutions de gestion à la source étudiées dans Roulépur | 11 |
| 4.2. Efficacité d'abattement des concentrations en MES | 13 |
| 4.3. Efficacité d'abattement des concentrations en micropolluants | 14 |
| 4.4. Efficacité d'abattement des flux de micropolluants restitués aux milieux aquatiques superficiels | 17 |
| 4.5. Impact des surverses non traitées et importance d'un dimensionnement hydraulique suffisant..... | 18 |
| 5. Recommandations pratiques issues du suivi des ouvrages..... | 19 |
| 5.1. Adapter l'ouvrage au potentiel de contamination du site | 19 |
| 5.2. Assurer une interception efficace du flux d'eau et de polluant dans les ouvrages destinés à la maîtrise du flux polluant | 19 |
| 5.3. Favoriser des ouvrages de conception simple et rustiques | 20 |
| 5.4. Considérer l'entretien et la maintenance lors de la conception..... | 20 |
| 5.5. Favoriser la filtration à travers un substrat filtrant végétalisé | 20 |
| 6. Analyse du cycle de vie environnementale des solutions innovantes | 21 |
| 7. Analyse de l'acceptabilité sociale et technique des solutions innovantes | 22 |
| 8. Recommandations en termes de suivi..... | 22 |
| 9. Sigles & abréviations | 23 |

1. Introduction

Le projet Roulépur, financé dans le cadre de l'appel à projet « Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines. Innovations et changements de pratiques », visait à mieux qualifier la contamination en micropolluants des eaux de ruissellement de voirie et parking et à évaluer différentes solutions de gestion à la source de cette contamination.





Nous présentons ici une synthèse des résultats obtenus et leur déclinaison opérationnelle.

2. Des eaux pluviales contaminées en micropolluants ? Le cas des eaux de ruissellement de voirie et parking (Roulépur)

Le projet Roulépur a permis de caractériser la contamination en micropolluants des eaux de ruissellement pour trois sites de voiries, avec des typologies de trafic et des niveaux de fréquentation différents et un parking résidentiel.

Les caractéristiques principales de ces quatre sites d'étude sont synthétisées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 1. Caractéristiques principales des sites d'étude du projet Roulépur.

| Paris (75) | Compans (77) | Rosny-sous-Bois (93) | Villeneuve-le-Roi (94) |
|---|---|--|---|
| Voie sur berge George Pompidou | RD 212, 2x2 voies | Voirie en centre-ville + rejets d'une parcelle | Parking résidentiel |
| Fort trafic (40 000 veh/j) | Fort trafic (2x11000 veh/j) Nombreux poids lourds | Trafic modéré | Faible trafic |
| 1 045 m ² | Proximité aéroport 945 m ² | 3 410 m ² (+ 2 536 m ² parcelle*) | Proximité aéroport 730 m ² |
|  |  |  |  |

* Surface active estimée de la parcelle – les ruissellements de la parcelle stockés dans un bassin végétalisé et restitués à débit régulé.

Les travaux ont porté sur :

- La quantification des concentrations d'une sélection de familles de micropolluants dont la présence dans les eaux de ruissellement de voirie est renseignée dans la littérature, mais pour certains encore peu documentée.
- La recherche ciblée d'un panel plus étendu de micropolluants émergents, dont la présence dans les eaux de ruissellement de voirie était suspectée.
- Une recherche exploratoire, au moyen d'une méthode d'analyse non ciblée.
- Une recherche des sources primaires de phtalates et d'alkylphénols dans les matériaux et consommables automobiles.
- Une évaluation de la toxicité des eaux de voiries vis à vis des écosystèmes aquatiques.

2.1. Quels micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et parkings ?

2.1.1. Screening ciblé

128 micropolluants ont été recherchés incluant des polluants inorganiques (n = 41) dont certains métaux (n = 12) et des polluants organiques (n = 87). Les phases dissoutes et particulaires ont été considérées.

Une grande majorité des polluants recherchés a été détectée dans les eaux de ruissellement (Figure 1), avec des concentrations (fraction dissoute + particulaire) allant de quelques ng/l pour les polluants les moins concentrés comme les retardateurs de flamme bromés (PBDE, HBCDD, TBBPA) ou les composés perfluoroalkylés (PFAS), à plusieurs dizaines de µg/l pour certains éléments comme les métaux. Ce travail a montré que les eaux de voiries peuvent également être contaminées par des benzotriazoles, des terres rares et des composés perfluorés.

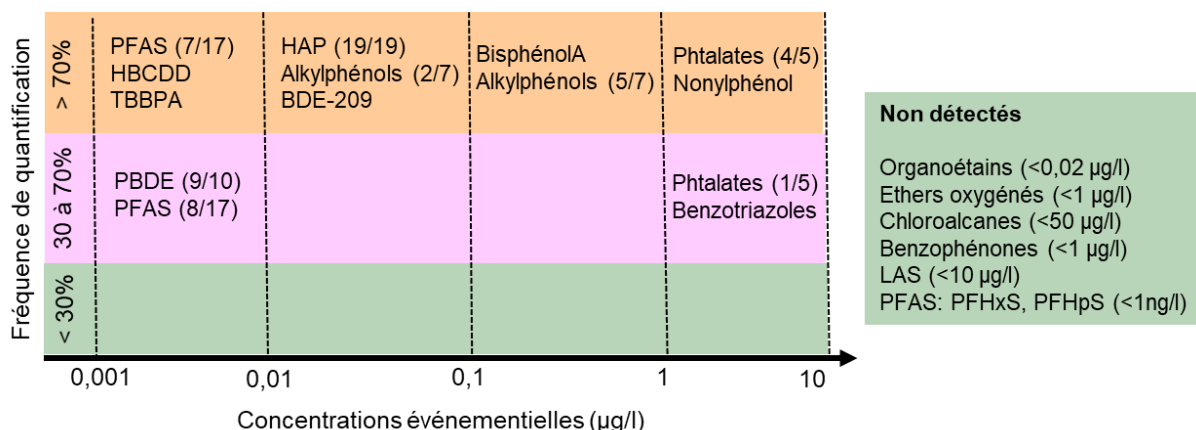


Figure 1. Familles de micropolluants organiques quantifiées dans les eaux de ruissellement de voiries et parkings. Classification en fonction de l'ordre de grandeur des concentrations (moyennes événementielles, fraction dissoute + particulaire) et de la fréquence de quantification (15 à 64 échantillons pour les métaux, 7 à 35 échantillons pour les micropolluants organiques, 3 années de suivi).

Pour les micropolluants faisant l'objet d'une norme de qualité environnement (NQE), les ordres de grandeurs de concentrations moyennes événementielles (CME) mesurées dans les eaux de ruissellement ont été comparés aux NQE exprimées en concentrations moyennes annuelles (NQE-MA). La Figure 2 synthétise les ratios **CME / NQE-MA** pour les différents composés recherchés. A noter que ces ratios sont calculés pour la phase totale dans le cas des micropolluants organiques et pour la phase dissoute dans le cas des métaux. Les ratios les plus élevés correspondent dans le cas des métaux dissous au cuivre (> 10). Pour les micropolluants organiques, **les ratios les plus élevés sont mesurés pour certains HAP : > 100 pour le benzo[g,h,i]pérylène (BPer) et le dibenzo[a,h]anthracène (DahA), entre 10 et 100 pour le fluoranthène (Fluo). Le ratio est également élevé (entre 10 et 100) pour un phtalate, le DEHP.** Dans le cas du zinc, de l'antimoine, de l'arsenic, du bisphénol A, de l'octylphénol, du nonylphénol, de retardateurs de flamme bromés (PBDE, HBCDD), et de deux autres HAP (anthracène et benzo[a]pyrène), les concentrations mesurées sont supérieures aux NQE-MA, mais d'un facteur inférieur à 10.

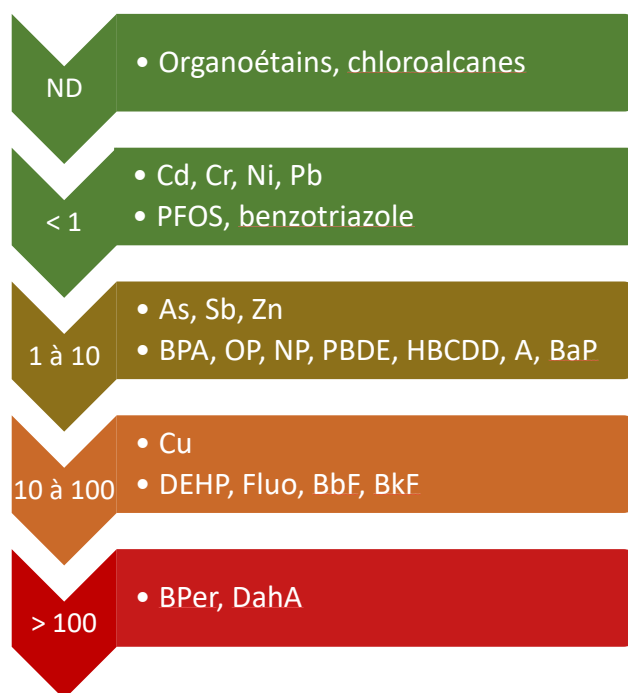


Figure 2. Classification des micropolluants en fonction de l'importance du ratio CME / NQE-MA ou CME / PNEC, avec CME : concentration moyenne événementielle, NQE-MA : norme de qualité environnementale exprimée en concentration moyenne annuelle.

Le niveau de contamination métallique des matières en suspension (MES) transportées par le ruissellement a été évalué par comparaison avec le fond géochimique naturel des sols. La Figure 3 met en évidence des facteurs d'enrichissement modérés (inférieurs à 5) pour le cobalt, le nickel et le chrome, significatifs (5 à 20) pour le plomb, le zinc et l'argent. Les **enrichissements les plus importants (> 20)** sont observés pour le cadmium, le cuivre et l'antimoine.



Figure 3. Facteur d'enrichissement par rapport au fond géochimique – Contamination métallique des MES du ruissellement de voirie et parking.

Dans l'ensemble, **les profils de contamination sont assez similaires entre les sites ; les différences entre sites s'expriment le plus souvent par les niveaux de concentration.**

2.1.2. Screening non ciblé

La plupart des méthodes analytiques sont développées afin de quantifier des composés bien spécifiques. Ce type d'approche, dite ciblée, ne permet de retrouver que les molécules que l'on recherche et ne permet donc pas de détecter des composés émergents ou des produits de dégradation. La spectrométrie de masse haute résolution permet une approche dite non ciblée, en rendant possible la détection de multiples composés présents dans un échantillon et l'identification de molécules grâce à leur masse exacte.

Des échantillons issus des quatre sites du projet Roulépur ont fait l'objet d'un screening non ciblé. Une extraction non sélective de la phase dissoute a été réalisée sur phase solide, puis analysée par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution. Cette technique génère un spectre avec de multiples pics correspondant à des composés dont on ne connaît pas *a priori* l'identité.

Les signatures spectrales de plusieurs échantillons peuvent être comparées entre elles, par exemple pour détecter la présence d'un contaminant particulier dans un échantillon donné. L'identification d'un composé est compliquée et requiert de multiples étapes, nécessitant le croisement des données issues de l'analyse (temps de rétention et spectre de masse du composé) avec des bases de données spectrales.

Le screening non ciblé dans le projet Roulépur a permis de discriminer les différents types d'eau issus des différents sites d'étude, à l'aide d'une analyse en composantes principales. Il met en évidence une **signature similaire entre les eaux de voirie, qui se distingue de la signature des eaux de parking**. Tous les sites ont été discriminés les uns par rapport aux autres et la variabilité intra-site apparaît plus faible que la variabilité inter-sites. Une application opérationnelle de ce résultat est la possibilité d'identifier l'apparition d'une contamination inhabituelle par le suivi temporel régulier d'un site et/ou la comparaison entre sites (ex. amont/aval de rejets, milieu récepteur...).

Les spectres obtenus constituent une véritable archive de la pollution routière. Ils permettront de rechercher ultérieurement la présence de composés d'intérêt, en cas d'évolution de la liste des polluants prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau par exemple, et de reconstruire *a posteriori* l'historique de la présence de tels polluants dans les eaux de voirie.

La **recherche de composés suspects dans les spectres** a déjà permis de mettre en avant la présence de la **1,3-diphénylguanidine**, un composé organique de synthèse employé comme accélérateur de vulcanisation dans la fabrication de caoutchouc (pneus notamment), dans les eaux de ruissellement de voirie, particulièrement à Compans.

2.2. A quel niveau de concentration ?

La Figure 4 synthétise les gammes de concentrations moyennes événementielles (CME) en micropolluants observées dans le cas des eaux de ruissellement des voiries et des parkings. On notera que pour un micropolluant donné, les CME varient souvent d'un ordre de grandeur en fonction des sites et des événements pluvieux. La variation d'un événement pluvieux à l'autre sur un même site est importante et recoupe en partie la variation entre les sites. Les concentrations mesurées dans le cas du parking sont généralement inférieures, ou dans la gamme basse, de celles mesurées sur les voiries.

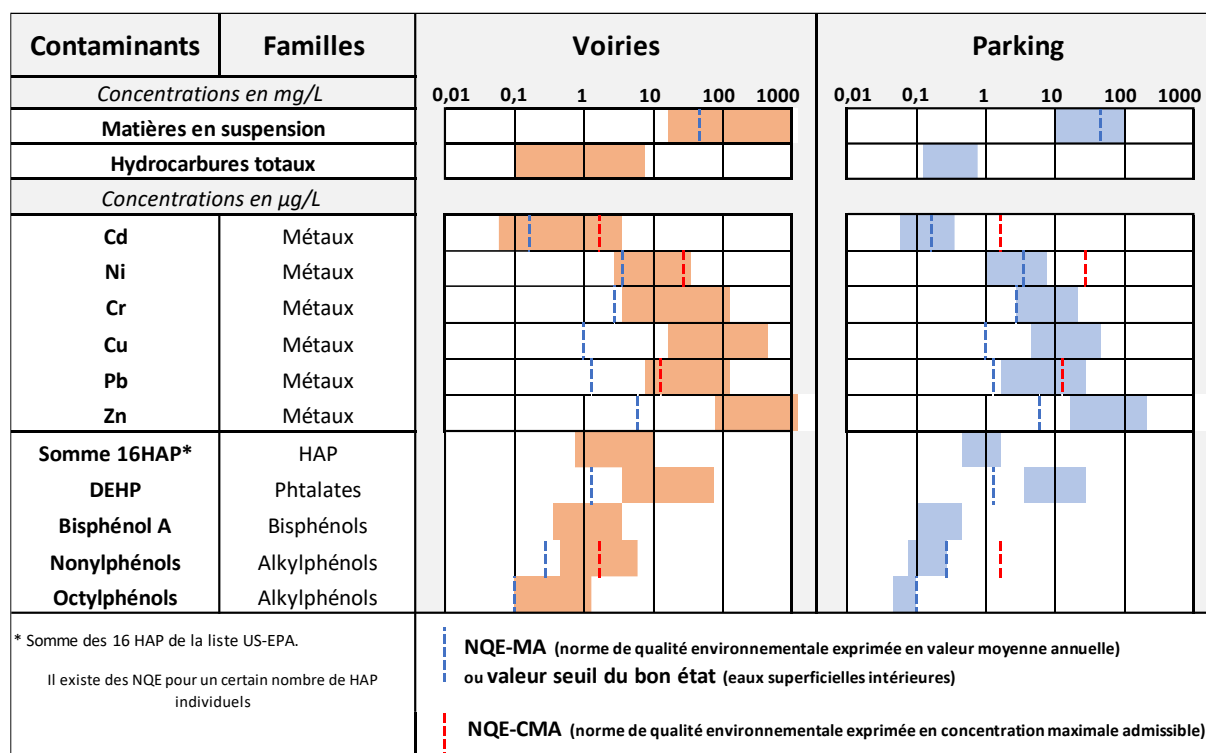


Figure 4. Gamme de variation des concentrations moyennes événementielles (CME) des eaux de ruissellement.

2.3. Comment la concentration en micropolluants varie-t-elle avec l'importance du trafic ?

En dépit d'une forte variabilité inter-événementielle sur chaque site, on observe pour de nombreux micropolluants, que les sites avec les plus fortes densités de trafic (Paris et Compans) présentent les concentrations les plus importantes comparativement aux autres sites. Le parking de Villeneuve-le-Roi apparaît pour un maximum de substances comme le moins contaminé tandis que la voirie urbaine de Rosny-sous-Bois présente dans la plupart de cas des niveaux de concentrations intermédiaires. Cette tendance est particulièrement visible pour les éléments métalliques, les hydrocarbures totaux, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les alkylphénols (AP) et le bisphénol A (BPA) et dans une moindre mesure pour les polybromodiphényléthers (PBDE). Pour les composés perfluoroalkylés, le site de Rosny-sous-Bois se démarque des autres sites avec des concentrations ponctuelles très importantes, mais aussi des profils très différents (Figure 5).

| | Paris voirie | Compans voirie | Rosny voirie | Villeneuve parking |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Traffic | +++++ | ++++ | ++ | + |
| Cd, Ni | + | + | +/- | +/- |
| Cr, Pb | ++ | ++ | + | + |
| Zn | +++ | ++++ | ++ | + |
| Cu | ++++ | ++++ | ++ | ++ |
| HAP, Alkylphenols, PBDE | +++ | +++ | ++ | + |
| Phtalates | +++ | ++ | ++ | + |
| Benzotriazole, HBCDD, TBBPA | + | + | + | +/- |
| PFAS | + | + | ++ | +/- |

Figure 5. Importance relative du niveau de contamination des eaux de ruissellement en fonction du site.

2.4. Des micropolluants en phase particulaire ou en phase dissoute ?

Si pour les HAP, le plomb et le chrome, plus de 75 % de la concentration est associée à la phase particulaire quels que soient le site et l'événement pluvieux, on note que la distribution entre phase dissoute et phase particulaire est beaucoup plus variable dans les eaux de ruissellement de voirie/parking pour les autres micropolluants. Le DEHP, le bisphénol A et les alkylphénols, peuvent se trouver en majorité dans la phase dissoute pour certains événements pluvieux. Dans le cas du cadmium, nickel, cuivre, zinc, la phase particulaire est majoritaire, mais la fraction dissoute reste significative, en particulier sur les sites où les concentrations en MES sont limitées (Figure 6).

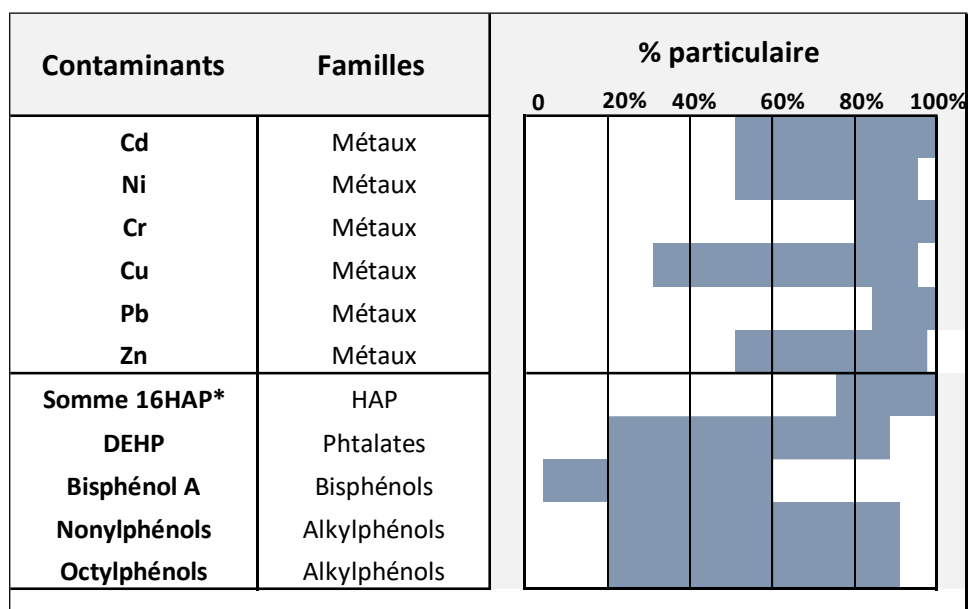


Figure 6. Distribution des polluants entre phases dissoute et particulaire – Gamme de variation des moyennes événementielles.

2.5. Quelles sont les sources primaires des micropolluants organiques (bisphénol A, alkylphénols et phtalates) dans les eaux de voiries ?

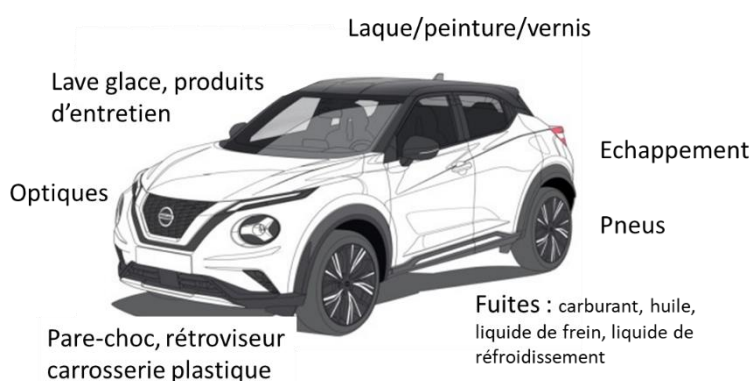


Figure 7. Sources primaires de bisphénol A, alkylphénols et phtalates dans l'automobile.

Les analyses de consommables automobiles et les essais de simulations de pluies confirment la présence ubiquiste des alkylphénols, du bisphénol A et des phtalates dans les fluides automobiles, les pneumatiques et les matériaux de l'enveloppe automobile.

Les gaz d'échappement s'avèrent être la principale source de phtalates émis sous forme particulaire, mais ne contribuent que peu aux émissions d'alkylphénols et BPA. **L'émission de phtalates particulaires par les pneumatiques est également significative** dans le cas de BBP, DNHP, DEHP et DiBP.

Les pneumatiques constituent une source majeure d'alkylphénols. Les teneurs en alkylphénols quantifiés dans les pneus dans cette étude sont cependant inférieures à celles mesurées précédemment par Lenoble *et al.* (2015), ce qui pourrait traduire les efforts des fabricants de pneumatiques pour réduire la présence de ces composés dans leurs produits.

L'analyse des fluides automobiles a permis de quantifier la plupart des composés recherchés dans presque tous les produits. Les concentrations sont dans certains cas très importantes par rapport à celles mesurées dans les eaux de ruissellement, parfois de plusieurs dizaines de mg/l. Cependant, ces fluides n'entrent en contact avec ces eaux que de façon accidentelle, du fait de fuites sur des véhicules en mauvais état. En absence de statistiques sur l'importance de ce type de fuite, il ne nous est pas possible de quantifier les émissions potentielles.

Les résultats de simulations de pluies sur les matériaux de l'enveloppe extérieure du véhicule prouvent cependant que le simple ruissellement de la pluie sur la carrosserie du véhicule ou sur les pneus peut induire une contamination en BPA, DEHP et DiBP avec des concentrations du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le ruissellement de voirie.

3. Quelle écotoxicité des ruissellements de parking et voirie ? Quel effet des dispositifs de traitement sur l'écotoxicité ?

Afin de caractériser le potentiel toxique des eaux de ruissellement issues de voiries et de parkings envers les écosystèmes aquatiques et la capacité des systèmes de traitement étudiés à limiter ces effets, des bio-essais ont été réalisés selon deux approches différentes. Ces deux méthodes, l'une *in vitro* sur microorganismes et cellules eucaryotes, et l'autre *in vivo* sur les larves de poisson zèbre, ont été menées pour des échantillons filtrés et caractérisent l'effet toxique apporté par la pollution dissoute.

Parmi les **essais *in vitro***, qui comportent des tests de toxicité générale, de perturbation endocrinienne, de stress cellulaire et un pack regroupant trois bio-essais réglementaires, **seul le test de toxicité générale a montré de façon récurrente un effet toxique** de ce type d'eau. Les **tests *in vivo*** montrent des taux de mortalité peu élevés comparables à ceux des témoins, mais aussi la **présence de déformations des larves de poisson zèbre** non observées chez les témoins. De plus, les **tests comportementaux** (fuite et stress) ont montré un **effet toxique significatif**. Ainsi, parmi les bio-essais effectués, seuls les tests de toxicité générale, et tests comportementaux de fuite et de stress chez les larves de poisson zèbre sont suffisamment sensibles pour démontrer un impact toxique de ce type d'eau. Ce résultat souligne que tous les tests d'écotoxicologie n'ont pas la même sensibilité ni la même spécificité biologique et qu'il est important de sélectionner un ou plusieurs test(s) adapté(s) au type d'eau étudiée. Pour compléter ces premières approches par bio-essais, un test biochimique d'inhibition du complexe I de la chaîne respiratoire mitochondriale a été testé ; il a montré le potentiel de ces eaux à engendrer une perturbation de la production de l'énergie et du métabolisme cellulaire, pouvant avoir des conséquences délétères sur le fonctionnement à l'échelle de l'organe ou de l'organisme.

Globalement, selon les tests de toxicité effectués, les dispositifs de traitement étudiés ne réduisent pas de façon significative la toxicité des ruissellements associée à la phase dissoute. Certains tests montrent même une augmentation de la toxicité après le traitement. Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus pour les paramètres physicochimiques qui montrent également un faible abattement des polluants dissous et des relargages de certains polluants par les matériaux synthétiques des ouvrages. La « dépollution » semblant difficile à atteindre pour la phase dissoute, la meilleure façon de réduire les effets toxiques dans le milieu aquatique semble être l'abattement des volumes de ruissellement. Le développement de méthodes pouvant être appliquées à des échantillons non filtrés, capables de prendre en compte également l'effet de la pollution particulaire, permettrait une vision plus complète de la performance des ouvrages en termes de toxicité.

4. Quelle performance des ouvrages de gestion à la source des eaux de ruissellement de voirie/parking pour la maîtrise des flux de micropolluants ?

4.1. Présentation des solutions de gestion à la source étudiées dans Roulépur

Le projet Roulépur s'est intéressé à quatre types de solutions de gestion à la source des eaux de ruissellement de voirie / parking correspondant à des concepts, des technologies, des conditions de mise en œuvre et des contextes urbains contrastés (Tableau 2 et Figure 8) :

- Parking perméable végétalisé Ecovégétal, dans un quartier résidentiel à Villeneuve-le-Roi (Val-de-Marne).
- Filtres à sables horizontaux, en centre urbain à Rosny-sous-Bois (Seine-Saint-Denis).
- Accotement filtrant et noue filtrante, en bordure de voie départementale à Compans (Seine-et-Marne).
- Dépollueur compact STOPPOL®, sur une voie sur berge à Paris.

Ces ouvrages sont implantés sur des sites correspondant à des situations contrastées en termes de niveaux de contamination : contamination très importante à Paris et Compans, modérée à Rosny-sous-Bois et faible pour Villeneuve-le-Roi.

Leur niveau de sollicitation hydrologique, c'est-à-dire le volume d'eau qu'ils traitent par an rapporté à la surface au sol de l'ouvrage, est également très différent : minimal dans le cas du parking perméable qui ne gère que la précipitation directe sur le parking, faible dans le cas de la noue filtrante et des accotements, plus importante dans le cas des filtres à sable horizontaux et très forte dans le cas du dépollueur compact qui reçoit le ruissellement d'une surface de 1 000 m² pour une emprise au sol de l'ordre de 1 m².

Tableau 1. Caractéristiques des ouvrages étudiés dans Roulépur.

| | Villeneuve | Rosny | Compans | Paris |
|---------------------------------|---|-----------------------------|---|---------------------------------------|
| Type site | Parking résidentiel | Voirie faible trafic | Voirie fort trafic | |
| Concentration polluants | ● | ●● | ●●●●● | |
| Type ouvrage | Parking perméable végétalisé Ecovégétal® | Filtres à sable horizontaux | Accotement filtrant Noue filtrante | Dépollueur compact STOPPOL® |
| Pression hydrologique | ● | ●●●● | ●● | ●●●●●●● |
| Processus hydrologique dominant | Rétention / Evapotranspiration / Infiltration | Stockage-Régulation | Stockage / rétention / évapotranspiration | - |
| Processus épuratoire dominant | Filtration (adsorption) | Filtration | Filtration / adsorption | Sédimentation (Filtration/adsorption) |

Alors que le dépollueur compact et les filtres à sable horizontaux sont des dispositifs conservatifs en volume (l'intégralité du volume intercepté est restituée au réseau après traitement), la noue filtrante bien que étanchée permet une réduction du volume de ruissellement par rétention capillaire dans le sol, puis évapotranspiration. L'accotement filtrant et le parking perméable végétalisé permettent, en plus des processus de rétention / évapotranspiration, un flux limité (car sol sous-jacent peu perméable) d'exfiltration vers le sous-sol.

Le processus de traitement (i.e. processus permettant de réduire la concentration en polluants) dominant est la sédimentation dans le cas du dépollueur compact, tandis qu'il s'agit de la filtration pour les autres ouvrages. Des processus d'adsorption sont également visés dans le cas du dépollueur compact (pack de filtration/adsorption en sortie de décanteur), de l'accotement et de la noue filtrante (adsorption sur le substrat terre/sable).



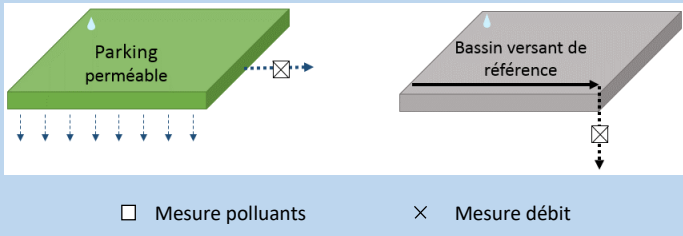

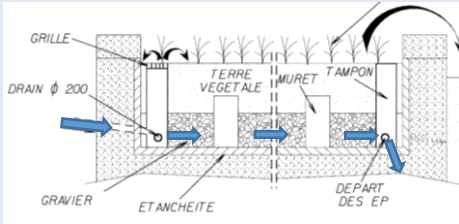
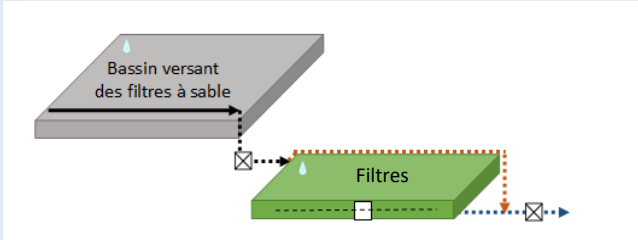

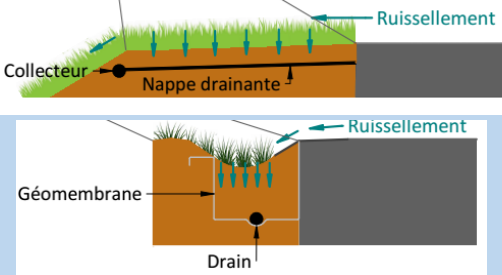
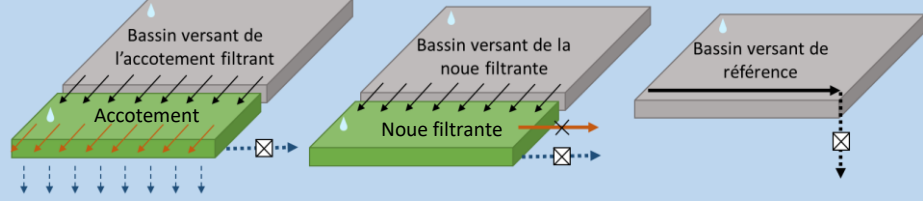

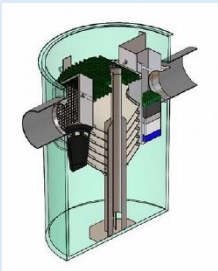
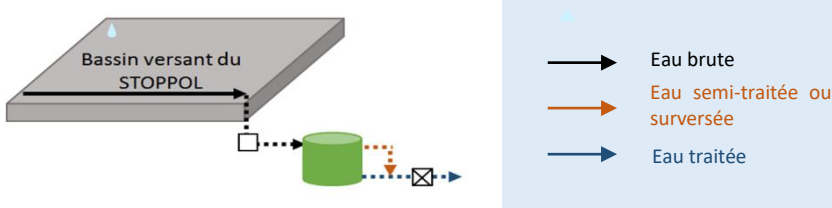
| | Photo | Vue en coupe | Schéma fonctionnel de l'ouvrage |
|---|---|--|---|
| Parking perméable végétalisé Ecovégétal |  |  |  |
| Filtres à sables horizontaux |  |  |  |
| Accotement filtrant et noue filtrante |  |  |  |
| Dépollueur compact STOPPOL® |  |  |  |

Figure 8. Dispositifs de gestion à la source du ruissellement ayant fait l'objet d'un suivi expérimental dans Roulépur.

4.2. Efficacité d'abattement des concentrations en MES

Les quatre dispositifs de gestion à la source des ruissellements de voirie/parking présentent des performances intéressantes d'abattement des concentrations en MES (Figure 9). L'abattement médian des concentrations moyennes événementielles varie entre 45 % pour le dépollueur compact, et 95 % pour les noue et accotement filtrants. Il est à noter que cet **abattement est plus limité, et surtout plus variable** d'un événement à un autre **lorsque** :

- la **concentration en MES est déjà faible en entrée** (cas du parking perméable et, pour une partie des événements pluvieux, du filtre à sable) ;
- la **pression hydrologique sur l'ouvrage est élevée** (i.e. ratio de surfaces BV/ouvrage grand) est importante (cas du dépollueur compact STOPPOL).

Les meilleures performances pour la réduction des concentrations en MES sont obtenues dans le cas de la filtration sur un sol/substrat végétalisé. Seule la filtration sur sol/substrat végétalisé permet d'atteindre des concentrations médianes en MES en sortie d'ouvrage inférieures à 30 mg/l.

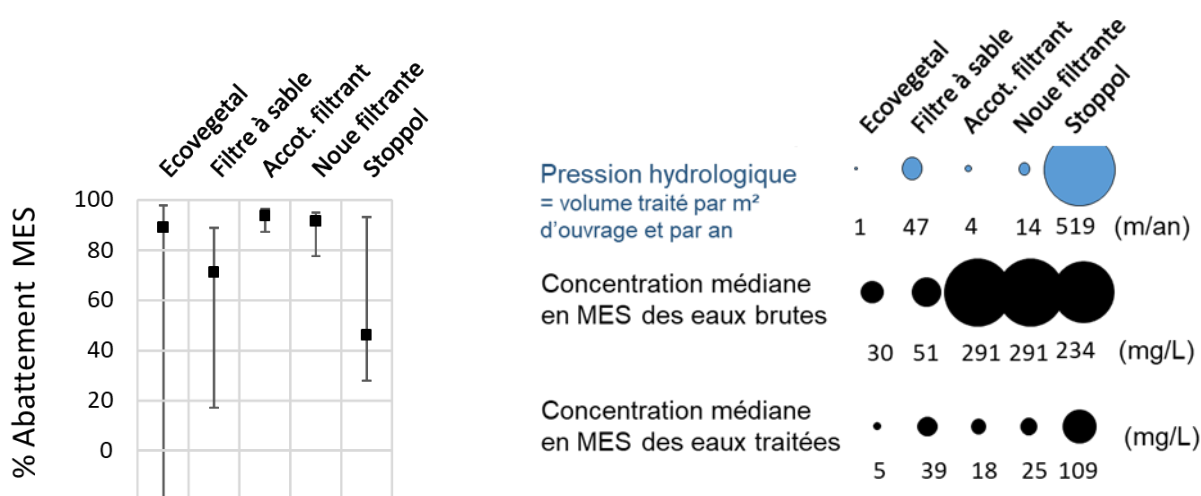


Figure 9. Abattement des concentrations moyennes événementielles en MES (médiane, 1^{er} décile et 9^{ème} décile).

4.3. Efficacité d'abattement des concentrations en micropolluants

Pour la plupart des micropolluants, on mesure des concentrations médianes plus faibles en sortie d'ouvrage que dans les eaux de ruissellement brutes (Figure 11 et Figure 11). **L'efficacité des ouvrages en termes de réduction des concentrations en micropolluants est cependant variable d'un ouvrage à l'autre et d'un micropolluant à l'autre.** Cette efficacité est **généralement inférieure à celle mesurée pour les MES.** Elle est **meilleure pour les polluants particuliers que pour ceux qui présentent une fraction dissoute importante.**

Les **abattements de concentration** sont intéressants dans le cas des sites les plus pollués (Figure 10) : sur ces sites, les ouvrages de gestion permettent en particulier de tamponner les pics de contamination associés aux événements les plus chargés. Ils sont en revanche **limités dans le cas où la concentration est déjà faible en entrée d'ouvrage**, et l'on observe des concentrations minimales « irréductibles » en dessous desquelles il est difficile de passer quel que soit l'ouvrage considéré. De ce fait, les concentrations en sortie d'ouvrage restent parfois supérieures aux NQE fixées pour les milieux aquatiques récepteurs.

Une augmentation des concentrations de certains micropolluants (Figure 11 et Figure 12), après la traversée des ouvrages de gestion, a parfois été observée. Cette **contamination secondaire est imputable à des émissions par les matériaux de construction utilisés dans l'ouvrage**, notamment les substrats pour les émissions de métaux et nutriments et les matériaux polymériques (géomembranes, géotextiles, drains...) pour les émissions de micropolluants organiques (BPA, alkylphénols et phtalates). Il convient donc **d'être extrêmement vigilant lors du choix des matériaux de construction**, et de **privilégier les conceptions d'ouvrage les plus rustiques** qui limitent le recours à des matériaux synthétiques.

Les ouvrages permettant une filtration des eaux au travers d'un substrat offrent un très bon abattement des micropolluants particuliers.

L'efficacité des ouvrages vis-à-vis de la réduction des concentrations en micropolluants en phase dissoute est beaucoup plus limitée (Figure 12). Dans le cas des métaux dissous présents dans le ruissellement de voirie/parking, aucun des ouvrages étudiés ne semble efficace. Dans le cas des micropolluants organiques, l'efficacité est limitée et variable, du fait notamment des émissions imputables aux matériaux de construction.

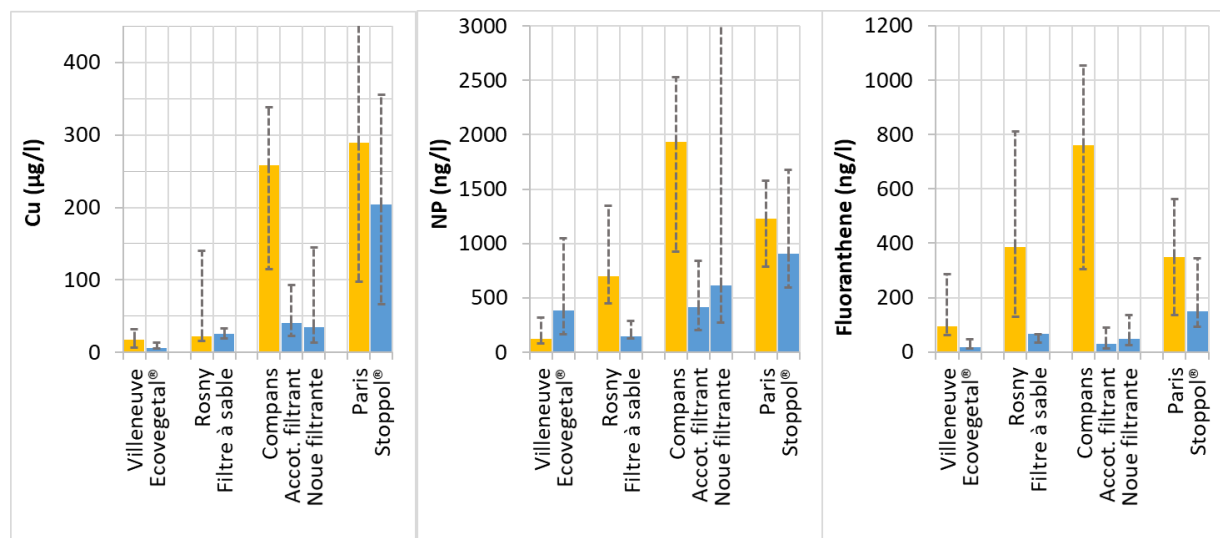


Figure 10. Gamme de concentrations moyennes événementielles (médiane, 1^{er} décile et 9^{ème} décile) mesurées en entrée (jaune) et en sortie (bleu) d'ouvrage – Cas du cuivre, du nonylphénol et du fluoranthène (fraction dissoute + particulaire).

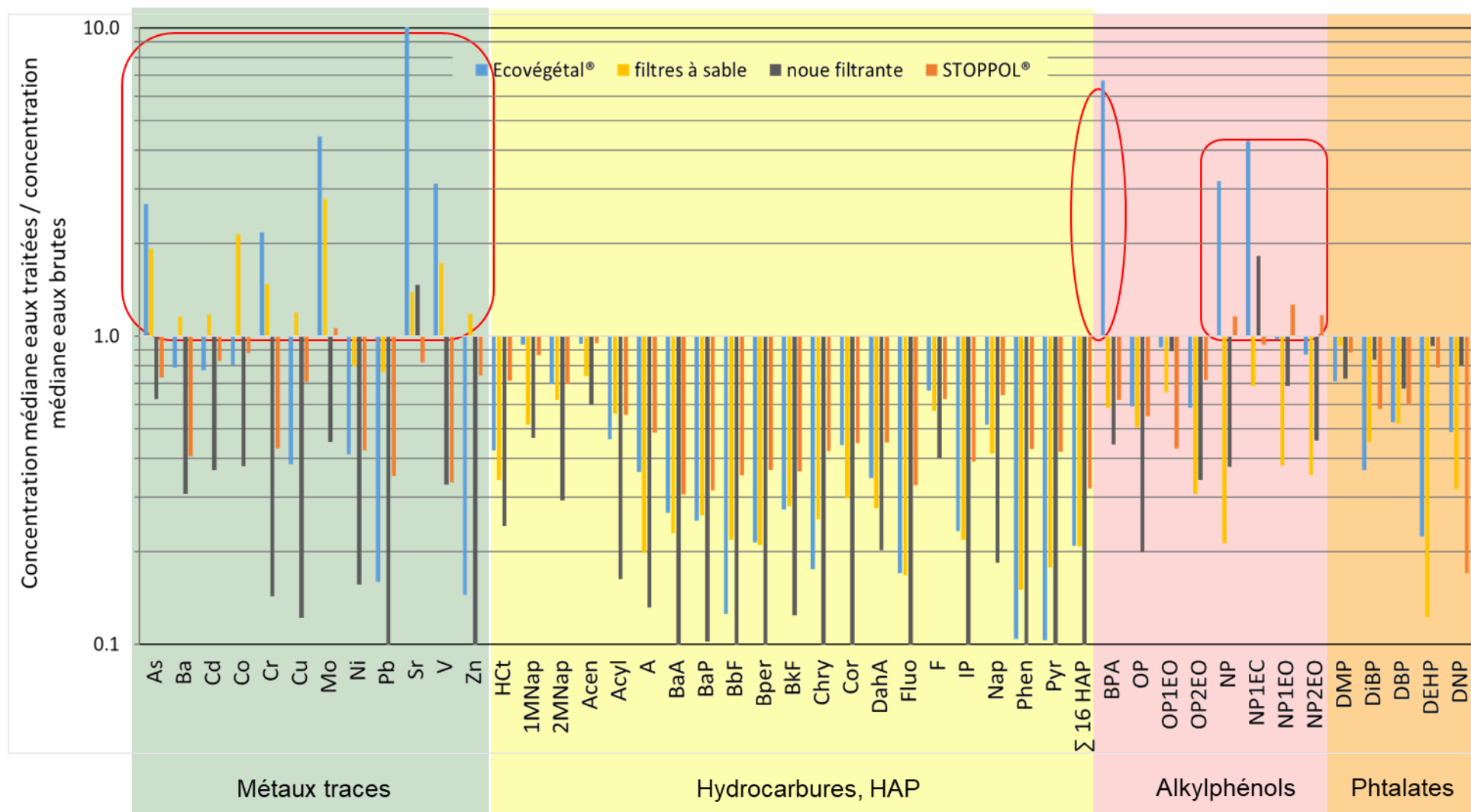


Figure 11. Comparaison des médianes des concentrations moyennes événementielles entre l'entrée et la sortie des ouvrages étudiés.

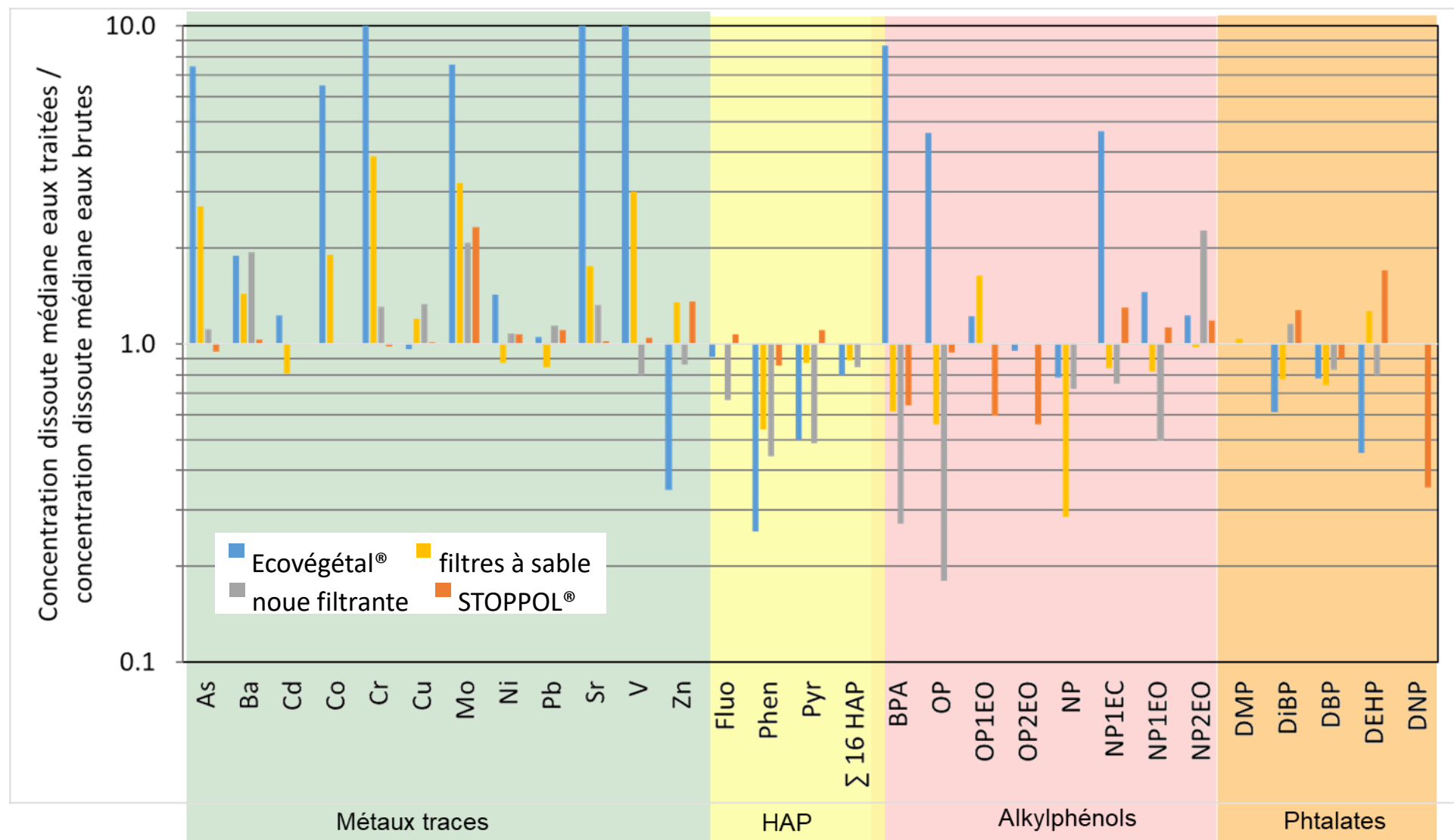


Figure 12. Comparaison des médianes des concentrations dissoutes moyennes événementielles entre l'entrée et la sortie des ouvrages étudiés.

4.4. Efficacité d'abattement des flux de micropolluants restitués aux milieux aquatiques superficiels

La Figure 13 illustre, dans le cas du cuivre, la performance des ouvrages étudiés dans Roulépur en termes d'abattelements de la concentration, du volume et de la masse polluante associés aux effluents rejoignant les milieux aquatiques superficiels (directement ou via un réseau d'assainissement). Rappelons que le flux polluant issu des ouvrages correspond au produit entre la concentration de l'effluent restitué et son volume. Ce flux peut donc être réduit soit en réduisant la concentration de l'effluent, soit en réduisant le volume d'eau. Dans un certain nombre de cas (concentration faible en entrée, polluants en phase dissoute, polluants pouvant être émis par les matériaux constitutifs de l'ouvrage) il est difficile d'atteindre un abattement important de la concentration. Les meilleures performances en réduction de la masse polluante sont obtenues dans le cas des ouvrages qui ne visent pas uniquement la « dépollution » (i.e. la réduction des concentrations), mais permettent également une réduction significative du volume ruisselé. Cette réduction du volume restitué aux milieux aquatiques superficiels est obtenue par rétention d'eau dans un substrat, puis évapotranspiration (cas de la noue filtrante), ainsi que par l'exfiltration d'eau depuis l'ouvrage vers le sous-sol (cas du parking perméable). L'abattement de volume par rétention dans le substrat, puis évapotranspiration, permet de réduire l'apport global de polluants au milieu naturel, tant superficiel que souterrain.

L'efficacité des ouvrages de gestion à la source des eaux de ruissellement pour réduire les flux de micropolluants restitués aux milieux aquatiques superficiels est très fortement conditionnée par leur capacité à réduire le volume de ruissellement.

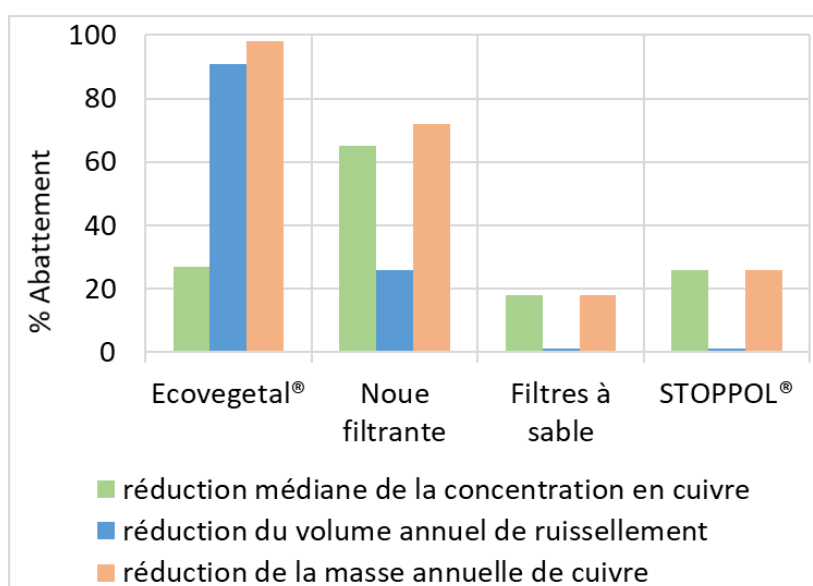


Figure 13. Performance des quatre ouvrages étudiés en termes d'abattement de la concentration en cuivre, d'abattement du volume annuel et d'abattement de la masse de cuivre (impact de la surverse pris en compte dans le cas de la noue ; abattements de volume supposés négligeables pour le filtre à sable et le Stoppol du fait de leur conception).

Le Tableau 3 compare dans le cas du cuivre les flux annuels par m² de bassin versant évalués pour les eaux de ruissellement brutes (avant traitement) et pour les effluents restitués au réseau en sortie d'ouvrage. Deux groupes de sites se distinguent :

- Compans et Paris, pour lesquels les flux de cuivre associés aux eaux de ruissellement sont très importants (> 80 mg/m².an). Ces flux sont réduits sensiblement par les ouvrages de dépollution mis en œuvre. L'abattement du flux polluant annuel est supérieur à 70 % dans le cas de la noue filtrante. Cependant, malgré ces bonnes performances, les flux sortants de l'ouvrage restent non négligeables (> 20 mg/m².an), du même ordre de grandeur ou supérieurs à ceux calculés pour des voiries et parkings avec un trafic modéré.

- Villeneuve-le-Roi et Rosny-sous-Bois, pour lesquels les flux de cuivre associés aux eaux de ruissellement sont plus faibles (< 30 mg/m².an). Dans ce cas, les ouvrages de dépollution, tels que les filtres à sable de Rosny-sous-Bois, n'ont qu'une efficacité limitée. Ces flux de pollution diffuse peuvent être efficacement réduits (voir supprimés) en favorisant les ouvrages permettant l'infiltration et l'évapotranspiration d'une majorité du volume de ruissellement annuel, comme dans le cas des parkings perméables Ecovégétal.

Tableau 3. Flux annuel de cuivre en entrée et en sortie des quatre ouvrages.

| Flux de Cuivre mg / m ² BV.an | Villeneuve-le-Roi Ecovégétal ® | Rosny-sous-Bois Filtres à sable | Compans Noue filtrante | Paris STOPPOL® |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Ruissellement brut | 11 | 29 | 85 | 109 |
| Sorties ouvrages | 0,2 | 13 | 24 | 64 |

4.5. Impact des surverses non traitées et importance d'un dimensionnement hydraulique suffisant

Les ouvrages de gestion à la source des ruissellements destinés à la maîtrise des flux polluants sont généralement conçus pour l'interception et le traitement des seules pluies « courantes ». Ils comprennent donc fréquemment des surverses ou bypass permettant d'évacuer les débits/volumes associés aux événements pluvieux de plus faible occurrence. Ces volumes surversés sont rejetés sans traitement ou avec un prétraitement limité. **Dans le cas où la capacité hydraulique de l'ouvrage n'a pas été bien dimensionnée, ces surverses peuvent impacter significativement la performance de l'ouvrage à l'échelle annuelle.**

L'impact des surverses sur la performance globale de l'ouvrage est illustré dans le Tableau pour la noue filtrante de Compans. Lors de la première année de fonctionnement, le volume surversé à l'aval de la noue représentait 35 % du volume de ruissellement généré par la route.

Tableau 4. Performance de la noue filtrante de Compans à l'échelle annuelle.

| | Efficacité de dépollution MES de la noue filtrante | Volume annuel surversé | Abattement en masse des MES du système |
|---|---|---------------------------|--|
| 1 ^{ère} année de fonctionnement | 92 % | 35 % | 60 % |
| Après stabilisation et ajout de redans | 92 % | 10 % | 81 % |

Cette surverse d'eau non traitée a limité la performance de l'ouvrage : malgré une excellente performance de dépollution des MES (abattement de la concentration moyenne annuelle de 92 % pour les eaux traitées au travers du massif filtrant de la noue), la réduction de la masse de MES était limitée à 60 %. Après les premiers mois de fonctionnement, la capacité hydraulique de la noue filtrante a été améliorée par mise en place de redans pour augmenter la capacité de stockage en surface de la noue. Le développement de la végétation a conduit à une augmentation de la perméabilité du substrat et donc une meilleure capacité d'infiltration. Ces nouvelles conditions ont permis de limiter à 10 % le volume de surverse annuel et ainsi atteindre un abattement de 81 % de la masse annuelle de MES.

5. Recommandations pratiques issues du suivi des ouvrages

5.1. Adapter l'ouvrage au potentiel de contamination du site

La plus-value d'un ouvrage de « dépollution » des eaux de ruissellement, c'est-à-dire un ouvrage visant l'amélioration de la qualité d'eau et donc un abattement de concentration, dépend de la qualité des eaux à traiter. On observe les meilleurs abattements de concentrations lorsque les eaux sont très chargées et lorsque la pollution est majoritairement particulaire. Dans le cas de ruissellement de voirie peu chargé, ainsi que pour la fraction dissoute des polluants, l'abattement de la concentration tend à être faible indépendamment des caractéristiques de l'ouvrage. Dans ces cas, la meilleure stratégie pour limiter le flux polluant est de viser un abattement de volume en favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration de l'eau dans des ouvrages perméables et végétalisés. **Plus un ouvrage est extensif, c'est-à-dire plus sa surface est grande par rapport à la surface de son bassin versant, meilleur sera l'abattement de volume** (Figure 14).

Pour la majorité des surfaces de voirie et parking, les niveaux de concentration en micropolluants du ruissellement restent modérés. Ces ruissellements contribuent à la pollution diffuse des milieux aquatiques du fait de l'importance des volumes en jeu. **La maîtrise de la pollution diffuse** issue de ces surfaces **passé en priorité par la réduction des volumes de ruissellement**, dans des ouvrages de gestion à la source favorisant les processus de rétention d'eau / évapotranspiration / exfiltration.

La mise en œuvre de dispositifs conçus spécifiquement pour la « dépollution » (i.e. visant à réduire la concentration en polluant des effluents) peut s'avérer nécessaire pour certaines voiries à forte circulation, avant évacuation des eaux vers le sous-sol, rejet direct au milieu ou utilisation. **La chaîne de traitement devra être complétée par des ouvrages visant l'infiltration et l'évapotranspiration** afin de limiter efficacement les apports aux milieux aquatiques superficiels.

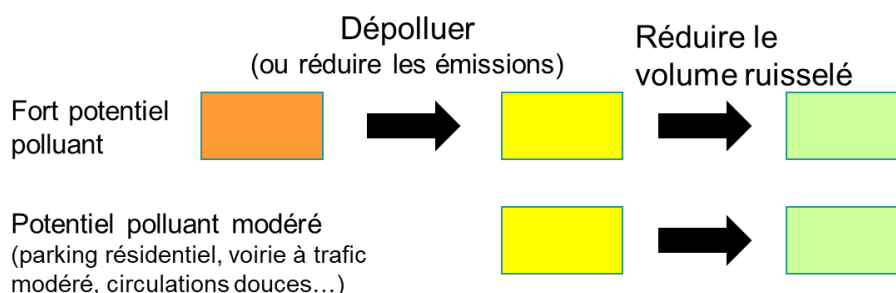


Figure 14. Stratégie de gestion des eaux de ruissellement en fonction de la nature de la surface d'apport.

5.2. Assurer une interception efficace du flux d'eau et de polluant dans les ouvrages destinés à la maîtrise du flux polluant

Lorsque la dépollution de l'eau s'avère nécessaire, il faut s'assurer que l'ouvrage de traitement puisse intercepter la majorité du flux d'eau annuel.

L'ouvrage devra être dimensionné de façon à assurer la collecte et le traitement sans surverse d'au moins 80 % du volume de ruissellement annuel. Les méthodes de dimensionnement basées sur le calcul du débit de pointe pour une période de retour donnée, ou le calcul d'un volume de stockage/restitution répondant à un débit de rejet autorisé (« méthode des pluies » ou « méthode des volumes ») ne sont pas adaptées pour atteindre cet objectif. Dans le cas des **ouvrages préfabriqués**, on veillera à **respecter la surface de bassin versant maximale recommandée par le constructeur**. Dans le cas des **ouvrages de conception ad hoc**, le recours à la modélisation du fonctionnement hydrologique pour chronique de pluies est souhaitable.

En première approche, on pourra retenir que pour le régime pluviométrique de l'Ile-de-France, 80 % de la précipitation annuelle peut être interceptée si l'on intercepte toutes les précipitations d'intensité inférieure ou égale à 8 mm/h, ou si l'on intercepte les premiers 8,5 mm précipités par tranches de 24 h.

Des outils de modélisation simplifiés, mais prenant en compte le ruissellement de l'eau, son stockage, l'évapotranspiration et son infiltration, peuvent être utiles pour aborder le fonctionnement hydrologique d'un site lors de sa conception, via la simulation des flux d'eau pour une chronique de pluies et

d'évapotranspiration typique de la région étudiée. Ce type de simulation en continu des processus hydrologiques, ou le recours à des méta-modèles préalablement calés sur une telle chaîne de modélisation (cas des outils FAVEUR <https://faveur.cerema.fr> et OASIS <https://oasis.cerema.fr/>), est nécessaire pour quantifier les abattements volumiques pouvant être assurés par les ouvrages permettant l'infiltration et/ou l'évapotranspiration.

On veillera à ce que **la capacité d'interception hydraulique de l'ouvrage soit maintenue à son niveau optimal tout au long de la vie de ce dernier**. Ceci suppose une **maintenance suffisante et adaptée**, en particulier dans le cas de dispositifs de dépollution gérant des eaux chargées. Pour les ouvrages préfabriqués, **adapter la fréquence des curages et des remplacements des matériaux filtrants au niveau de pollution des eaux traitées**, en respectant la fréquence minimale recommandée par le constructeur. Pour les ouvrages de conception *ad hoc*, il convient de **contrôler à intervalles réguliers l'accumulation de sédiments, contrôler la perméabilité des sols/substrats et curer/araser au besoin**.

Dans des régions de France avec une pluviométrie faible et peu intense, comme l'Ile-de-France, la majorité du flux d'eau tend à s'infiltrer dès son arrivée sur une surface perméable. Ainsi, une grande partie du flux d'eau et de polluants, à l'échelle annuelle, sera gérée par la partie de l'ouvrage, ou de la chaîne d'ouvrages, située en proximité immédiate de l'arrivée d'eau. De ce fait, lorsqu'un ouvrage de dépollution est mis en place, il doit être localisé aussi près que possible de la source de ruissellement (dans le cas des eaux de voirie, la route).

5.3. Favoriser des ouvrages de conception simple et rustiques

Plus un ouvrage est compliqué, moins il est lisible aux agents chargés de son exploitation et aux usagers, et plus il est difficile de prévoir un entretien adapté. La complexité non essentielle peut également engendrer des coûts de construction et de maintenance excessifs par rapport au service rendu. Ainsi, on recommande de **concevoir des systèmes aussi simples que possible**.

Un ouvrage de technicité importante fait souvent appel à des équipements fabriqués à partir de matériaux synthétiques tels que des tuyaux, des drains, des géomembranes ou des géotextiles. **Ces matériaux peuvent être des sources de micropolluants** (alkylphénols, phtalates, bisphénol A) qui peuvent nuire à la performance de traitement, ce qui a été observé sur plusieurs des sites étudiés. Il est donc fortement recommandé de limiter l'utilisation de ces types de matériaux. Quand l'utilisation de ces matériaux est indispensable, on vérifiera leur composition et l'on choisira ceux avec le plus faible potentiel émissif. Le développement d'une base de données publique sur le potentiel de relargage de micropolluants depuis différents équipements sur le marché pourrait aider les constructeurs à prendre des choix judicieux et potentiellement créer une pression économique sur les fabricants de matériaux pour fabriquer des équipements moins polluants.

5.4. Considérer l'entretien et la maintenance lors de la conception

Il est essentiel de **considérer l'entretien et la maintenance lors de la conception** car un défaut d'entretien peut mener à la faillite d'un ouvrage qui est par ailleurs bien conçu. Les coûts et la faisabilité des différentes opérations d'entretien et de maintenance doivent être considérés, prenant en compte le contexte et les contraintes particuliers du site. Les responsabilités d'entretien doivent être bien définies entre les différents services de l'administration.

5.5. Favoriser la filtration à travers un substrat filtrant végétalisé

Si le choix du type d'ouvrage est forcément contraint par les caractéristiques du site, on conseille de favoriser les ouvrages de filtration par rapport aux ouvrages de décantation lorsqu'un traitement s'avère nécessaire, les abattements de concentration étant meilleurs pour ces premiers. L'abattement semble passer essentiellement par la filtration physique de la phase particulaire, l'abattement des concentrations dissoutes étant limité pour tous les ouvrages étudiés.

La végétalisation du substrat permet de minimiser les risques de colmatage du substrat et de favoriser l'évapotranspiration de l'eau, ce qui entraîne un abattement du volume. **Elle favorise également l'activité microbienne et la biodégradation des micropolluants organiques**. En revanche, plusieurs études montrent que le rôle des plantes est négligeable en termes d'extraction des

polluants dans les ouvrages de gestion des eaux pluviales. **Les plantes seront donc essentiellement choisies pour leur capacité à se développer dans les conditions particulières de ces ouvrages** (intermittence de conditions d'inondation et de sécheresse), leur réseau racinaire développé, et non pour leur capacité à accumuler les polluants.

Le choix du substrat a une influence forte sur la performance d'un ouvrage de filtration. Il est important de sélectionner un **substrat (i) qui permet une infiltration suffisamment rapide de l'eau**, de façon à limiter les surverses pour la géométrie prévue (e.g. conductivité hydraulique $>10^{-6}$ m/s), **(ii) qui n'est pas susceptible de fissurer** et donc d'avoir des écoulements préférentiels (limiter le % d'argiles) et **(iii) dont la contamination initiale est faible** pour les polluants à traiter.

Les faibles abattements des concentrations dissoutes observés pour tous les ouvrages indiquent qu'une bonne capacité d'un substrat à adsorber un polluant en conditions contrôlées de laboratoire ne suffit pas pour garantir une bonne performance de dépollution dans les conditions complexes du terrain où les polluants peuvent se trouver dans des formes non ou peu réactives. Dans le cas particulier où la mise en œuvre de matériaux adsorbants visant spécifiquement le traitement des micropolluants dissous serait visé, il est recommandé de tester les matériaux avec les eaux de ruissellement réelles issues du site et non avec des solutions synthétiques.

6. Analyse du cycle de vie environnementale des solutions innovantes

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une approche globale permettant de quantifier les effets environnementaux potentiels des différentes étapes de vie d'un produit ou d'un service. Les ouvrages de gestion des eaux pluviales permettent la maîtrise des flux hydrauliques et des polluants au prix d'impacts environnementaux qui se produisent lors de la construction, l'exploitation, l'entretien et le démantèlement de ces systèmes. Dans le projet Roulépur, une ACV a été effectuée pour chacun des sites étudiés avec pour objectifs (1) d'identifier les principaux impacts environnementaux, (2) d'identifier les contributions respectives des différentes étapes du cycle de vie et (3) de proposer des pistes d'amélioration du système dans une approche d'écoconception de ces ouvrages.

Pour tous les ouvrages étudiés, **l'ACV met en avant un transfert des polluants de l'eau vers un matériau ou un déchet dans l'ouvrage qui doit être enlevé et géré par la suite**. Puisqu'il est attendu que ces déchets (une boue liquide dans le cas du STOPPOL, un substrat filtrant contaminé et la formation de dépôt en surface dans le cas des ouvrages de filtration) auront des niveaux de contamination élevés, l'ACV prend l'hypothèse qu'ils seront mis dans un centre de stockage de déchets dangereux. Dans le cas du STOPPOL, la boue liquide doit être vidangée régulièrement ; **l'entretien est donc l'étape la plus polluante de la vie du STOPPOL**. Dans le cas des ouvrages de filtration (noue filtrante et accotement filtrant de Compans, filtre planté de Rosny-sous-Bois, parking perméable de Villeneuve-le-Roi), en plus du retrait régulier du dépôt de sédiment, **le massif filtrant doit être géré lors du démantèlement du système, qui devient donc l'étape avec l'impact environnemental le plus important. La durée de vie du massif dépend toutefois du niveau de contamination du ruissellement**, et donc du trafic de la voirie. Pour des voiries à trafic modéré, la durée de vie du massif sera sans doute supérieure à celle prise en compte ici, et l'impact de la fin de vie réduit. Cette durée de vie pourra également être prolongée grâce à un entretien régulier. Ces résultats soulignent qu'**une réflexion sur des filières de traitement et/ou de valorisation de ces sous-produits pourrait améliorer sensiblement le bilan environnemental global**.

L'ACV montre également que **la mise en place de matériaux synthétiques dans un ouvrage augmente le coût environnemental** associé à la construction de l'ouvrage. Les résultats des suivis d'ouvrage montrent aussi que ces matériaux peuvent relarguer des micropolluants organiques, menant à un substrat filtrant plus pollué et pénalisant la performance de traitement. Ensemble, ces résultats plaident pour la construction d'ouvrages aussi rustiques que possible.

La globalité de l'approche d'ACV porte un intérêt clair dans la manière où elle permet à considérer l'ensemble des effets environnementaux associés à un ouvrage. Cependant, ce type d'approche nécessite la prise d'hypothèses sur des questions encore peu comprises et qui sont toujours l'objet de recherches scientifiques. De plus, elle se base sur des estimations (de flux, de masses, etc.) qui impliquent des incertitudes importantes. De ce fait, il est essentiel de faire une utilisation responsable de cet outil qui, par sa nature, ne sera jamais très précis.

7. Analyse de l'acceptabilité sociale et technique des solutions innovantes

Comment gestionnaires et usagers des espaces munis de dispositifs destinés à recueillir et à traiter les eaux pluviales (EP) se représentent et/ou s'approprient-ils la question des micropolluants dans ces systèmes ? Quels sont les freins à l'adoption des dispositifs destinés à recueillir et à traiter les EP urbaines et les difficultés pour ceux qui ont en charge leurs gestion et maintenance ? Des entretiens auprès des acteurs de la gestion des EP, l'analyse de revues techniques, des questionnaires auprès d'usagers des sites étudiés ont été menés dans le cadre de Roulépur en Île-de-France et de MicroMegs à Lyon.

Il s'avère que les micropolluants ne sont pas encore identifiés comme à fort enjeu par les gestionnaires. Ils sont rarement abordés spontanément dans les entretiens, font peu l'objet d'articles techniques professionnels et quand ils sont considérés, ils sont associés aux réseaux d'assainissement traditionnels. Si la pollution est identifiée comme un enjeu important, la qualité de l'eau occupe une place ténue dans leurs préoccupations loin derrière les déchets et la qualité de l'air. Les usagers saluent volontiers la qualité paysagère des réalisations, mais ignorent leur rôle vis-à-vis des EP tout comme les personnels techniques pour lesquels une formation est nécessaire.

Coté gestionnaires, la « question de la qualité » est un défi au fonctionnement « normal » de l'administration qui entraîne des tensions entre services car les responsabilités de dimensionnement, de conception, d'entretien et de maintenance demeurent tout à fait floues. Le cloisonnement inter et intra-services, et le décalage entre des pratiques et des cultures professionnelles préexistantes, est une source d'incompréhension qui contraint la conception du dispositif, son entretien et qui peuvent conduire à obérer sa fonction de dépollution. Enfin, **le défi majeur posé aux collectivités par la qualité des EP n'est pas seulement technique, mais est lié à la nécessité de développer des dispositifs organisationnels associant une plus large gamme d'acteurs** (hydrologues, paysagistes, jardiniers, agents de la voirie et de la propreté) **et permettant une collaboration efficace entre services** (voirie, espaces verts, urbanisme, achats).

8. Recommandations en termes de suivi

Le suivi *in situ* des performances d'un ouvrage de maîtrise à la source des eaux pluviales favorise le partage de connaissances entre le monde opérationnel et le monde de la recherche. A travers ce processus, les acteurs opérationnels s'approprient davantage l'objectif de l'amélioration de la qualité d'eau et le retour d'expériences peut mener à une meilleure conception des ouvrages.

En revanche, ce type de suivi est lourd et difficile à mettre en œuvre, nécessitant des compétences spécifiques et un temps de travail important. Le caractère intermittent de la pluie requiert des interventions qui ne peuvent pas être prévues à l'avance, ce qui pose un problème organisationnel lorsqu'il faut mobiliser du personnel dont l'expérimentation n'est pas la seule ou la principale responsabilité. Il est difficile d'obtenir des résultats représentatifs et de valider et interpréter les résultats issus de l'étude. L'expérience du projet Roulépur montre que mener ce type de suivi est difficile dans un contexte opérationnel, que ce soit une expérimentation menée directement par une collectivité ou en délégation avec un prestataire.

Ainsi, s'il est essentiel de suivre certains ouvrages afin d'apprendre à mieux comprendre ces systèmes, il n'est pas faisable de généraliser l'instrumentation et l'évaluation des performances des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales. De plus, l'instrumentation nécessite généralement un ouvrage drainé et préféablement étanche, ce qui n'est pas favorable à une bonne performance de l'ouvrage en termes d'abattement du flux polluant. En effet, comme déjà mentionné, les drains et les géomembranes peuvent être sources de micropolluants, nuisant à la performance de traitement. De plus, ils limitent l'infiltration et ainsi l'abattement de volume de ruissellement apporté par l'ouvrage.

Pour les cas spécifiques où un suivi est nécessaire, et les moyens financiers et humains nécessaires pour le mener à bien sont disponibles, un guide méthodologique de l'évaluation des performances des ouvrages de maîtrise à la source des eaux pluviales a été développé dans le cadre d'un groupe de liaison inter-projet regroupant Matriochkas, MicroMegs et Roulépur.

9. Sigles & abréviations

A : anthracène

BaP : benzo[a]pyrène

BbF : benzo[b]fluoranthène

BkF : benzo[k]fluoranthène

BDE-209 : décabromodiphényléther

BPA : bisphenol A

BPer : benzo[g,h,i]pérylène

DahA : dibenzo[a,h]anthracène

DEHP : bis(2-ethylhexyl) phthalate

DiBP : di-isobuty phtalate

Fluo : fluoranthène

HAP : hydrocarbure polycyclique aromatique

HBCDD : hexabromocyclododécane

LAS : sulfonates d'alkylbenzène linéaires

NP : nonylphénol

NQE : norme de qualité environnementale

OP : octylphénol

PBDE : polybromodiphényléthers

PFAS : substances per- et polyfluoroalkylées

PFHxS : acide perfluorohexane sulfonique

PFHpS : acide perfluoroheptane sulfonique

PFOS : acide perfluoro-octanesulfonique

TBBPA : tétrabromobiphénol A