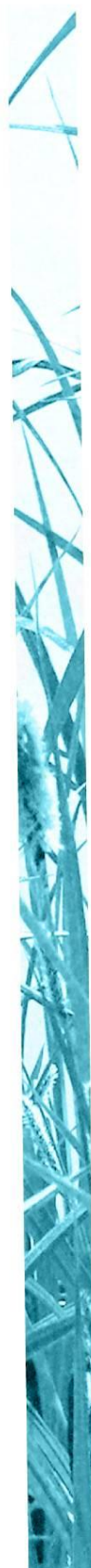


Partenariat 2012-2014 –**Gérer durablement les eaux pluviales en zones urbaines - Axe B « Connaissance et maîtrise de la pollution des eaux pluviales**



Comparaison des pratiques d'entretien des surfaces urbaines entre le bassin versant du Pin Sec (Nantes) et un écoquartier adjacent

Cas des pesticides et des métaux traces

Rapport final

Mélissa DELAMAIN (IFSTTAR)

Novembre 2013

- **CADRE DE L'ACTION**

Le Grenelle de l'Environnement a souligné la nécessité de « *favoriser une gestion qualitative et quantitative des eaux pluviales en zones urbaines* ». En ce sens, le Comité Opérationnel (COMOP) Eau avait proposé le lancement d'un nouveau programme de Recherche & Développement sur ce thème.

Une opération de R&D a été développée au sein du Réseau Scientifique et Technique (RST) du Ministère en charge de l'Ecologie sur la période 2010-2013, co-animée par l'IFSTTAR et le Certu. Le programme scientifique et technique de cette opération est structuré en cinq axes :

- Axe A : gestion à la source des eaux pluviales et micro-climatologie urbaine ;
- Axe B : connaissance et maîtrise de la pollution des eaux pluviales ;
- Axe C : récupération et utilisation des eaux de pluie ;
- Axe D : surveillance et maîtrise des impacts écologiques des eaux pluviales sur les milieux aquatiques ;
- Axe E : stratégies territoriales de gestion urbaine des eaux pluviales.

La présente étude s'inscrit dans l'axe B.

- **AUTEURS**

Mélissa DELAMAIN, cdd: Ingénieur d'études (IFSTTAR), melissa.delamain@ifsttar.fr, delamain.melissa@gmail.com.

Véronique RUBAN, chercheur (IFSTTAR), veronique.ruban@ifsttar.fr.

Fabrice RODRIGUEZ, chercheur (IFSTTAR), fabrice.rodriquez@ifsttar.fr.

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Céline LACOUR, DAST, celine.lacour@onema.fr.

Partenaire : Véronique RUBAN, chercheur (IFSTTAR), veronique.ruban@ifsttar.fr.

- **AUTRES CONTRIBUTEURS (TERRAIN ET LABORATOIRE)**

Bernard FLAHAUT, technicien (IFSTTAR), bernard.flahaut@ifsttar.fr.

Dominique DEMARE, ingénieur d'études en chimie (IFSTTAR), dominique.demare@ifsttar.fr.

Jean Marc ROUAUD, technicien (IFSTTAR), jean-marc.rouaud@ifsttar.fr.

Laetitia PINEAU, technicienne (IFSTTAR), laetitia.pineau@ifsttar.fr.

Lionel MARTINET, technicien (IFSTTAR), lionel.martinet@ifsttar.fr.

Marie-Laure MOSINI, technicienne (IFSTTAR), marie-laure.mosini@ifsttar.fr.

Nadège CAUBRIERE, technicienne en chimie (IFSTTAR), nadege.caubriere@ifsttar.fr.

Nils HUGUET, technicien en chimie (IFSTTAR), nils.huguet@ifsttar.fr.

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : départemental

Couverture géographique : France

Niveau de lecture : professionnels, experts

• RESUME

L'imperméabilisation, engendrée par l'expansion urbaine, accroît le ruissellement des eaux de pluie dans les villes. Ce phénomène affecte les écosystèmes en facilitant le transfert de polluants. La gestion des eaux de ruissellement dans les zones urbaines est donc un véritable enjeu.

Cette étude a pour objectif l'identification des sources de polluants en s'intéressant aux pratiques d'entretien des surfaces de deux sites nantais adjacents (bassin versant du Pin Sec et écoquartier Bottière Chénaie). Elle vise également à évaluer l'impact de la gestion alternative sur la qualité des eaux de ruissellement en se focalisant sur les métaux traces et les pesticides. Ces travaux, qui sont en liaison avec le projet INOGEV « Innovation pour une Gestion Durable des Eaux en Ville », s'inscrivent dans l'opération de recherche GDEP « Gérer Durablement les Eaux Pluviales en zones urbaines ».

Les résultats mettent en avant un changement de pratiques aussi bien chez les professionnels que chez les particuliers se traduisant par une diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires au profit de moyens naturels. Les structures publiques ont grandement participé à ce changement (Nantes Métropole, Ville de Nantes) en favorisant de nouvelles pratiques d'entretien des zones végétalisées en ville.

Malgré la présence d'ouvrages alternatifs (noue, toitures végétalisées, canal de recueil) sur l'écoquartier, la qualité des eaux de ruissellement est plutôt identique à celle du bassin versant du Pin Sec. Les mêmes métaux traces sont présents majoritairement sur les deux sites : Zinc, Strontium et Cuivre. Cependant, les eaux de l'écoquartier sont plus chargées en Strontium ($47\text{--}94\ \mu\text{g L}^{-1}$) par rapport au Pin Sec ($34\ \mu\text{g L}^{-1}$). Des matériaux contenant du chromate de strontium et utilisés spécifiquement dans l'écoquartier pourraient expliquer ces teneurs.

L'utilisation de pesticides par certains acteurs est à l'origine de la quantification du glyphosate et de son produit de dégradation (AMPA) sur les deux sites ($0.2\text{--}0.6\ \mu\text{g L}^{-1}$). Des teneurs anormalement élevées en mecoprop ($8\ \mu\text{g L}^{-1}$) apparaissent dans les eaux issues des toitures végétalisées de l'écoquartier Bottière Chénaie. Elles proviendraient d'un agent anti-racine présent dans la couche bitumineuse d'étanchéité des toits (Bucheli et al, 1998; Eawag, 2009; Vialle et al, 2013; Wittmer et Burkhardt, 2009).

• MOTS CLES

Bottière Chénaie, eaux de ruissellement, écoquartier, gestion alternative, imperméabilisation, métaux, Nantes, noue, pesticides, Pin Sec, pollution, pratiques d'entretien, toit végétalisé.

- **TITLE**

Comparison of surfaces maintenance practices between the Pin Sec catchment (Nantes) and an adjacent ecodistrict – Case of pesticides and trace metals pollutants

- **ABSTRACT**

The development of urbanization leads to surface sealing, which is responsible of an increase of urban stormwater runoff. This phenomenon affects ecosystems by increasing the transfer of pollutants. Therefore, runoff management in urban areas is a real challenge.

This study aims to identify pollutants sources. It focuses on surface maintenance practices in two sites in Nantes (Pin Sec catchment and Bottière Chénaie ecodistrict). It also aims to assess the impact of best management practices (BMP) on stormwater runoff quality. Trace metals and pesticides were studied. This work is related to the INOGEV project “Innovation for Sustainable Water Management in the City” and is part of the research project GEDEP “Sustainable management of stormwater in urban areas”.

The results show a change in practices both among professionals and householders resulting in a decrease in the use of pesticides in favor of natural treatments. Local authorities (Nantes Métropole, Ville de Nantes) have greatly contributed to this change by promoting new natural practices for the green areas maintenance.

Despite the presence of BMP (vegetated swale, green roof and channel) in the ecodistrict, stormwater runoff quality is the same as the water quality in the Pin Sec catchment. The same trace metals are mostly found at both sites: Zinc, Strontium and Copper. However, the waters of the ecodistrict contain more Strontium ($47\text{--}94\text{ mg L}^{-1}$) compared to the Pin Sec catchment (34 mg L^{-1}). Materials containing Strontium Chromate and specifically used in the ecodistrict could explain these levels.

The use of pesticides by some stakeholders lead to the quantification of glyphosate and its degradation molecule (AMPA) at both sites ($0.3\text{--}0.4\text{ mg L}^{-1}$). In the ecodistrict, abnormal levels of mecoprop (13 mg L^{-1}) have been detected in the water coming from green roofs. These high concentrations could be related to the presence of a chemical agent used against the roots in the bituminous roof sealing layer of (Bucheli et al, 1998; Eawag, 2009; Wittmer et Burkhardt, 2009; Vialle et al, 2013).

- **KEY WORDS**

Best management practices, Bottière Chénaie, ecodistrict, green roof, metals, Nantes, pesticides, pollution, Pin Sec, maintenance practices, runoff water, swale, surface sealing.

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Comparaison des pratiques d'entretien des surfaces urbaines entre le bassin versant du Pin Sec (Nantes) et un écoquartier adjacent

Cas des pesticides et des métaux traces

MéliSSa DELAMAIN, cdd: Ingénieur d'études (IFSTTAR), melissa.delamain@ifsttar.fr, delamain.melissa@gmail.com.

Véronique RUBAN, chercheur (IFSTTAR), veronique.ruban@ifsttar.fr.

Fabrice RODRIGUEZ, chercheur (IFSTTAR), fabrice.rodriquez@ifsttar.fr.

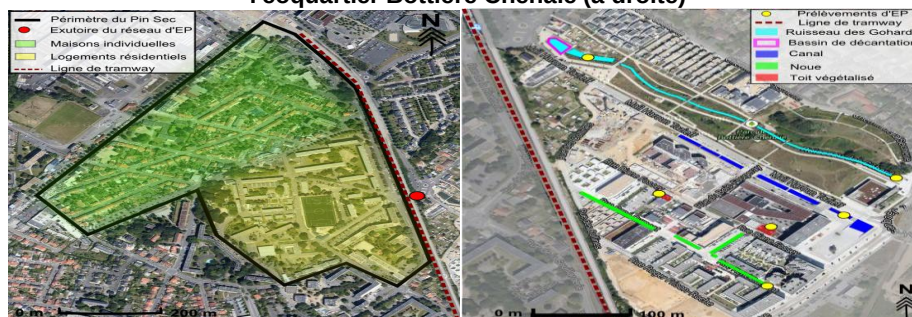
Introduction

L'imperméabilisation des surfaces favorise le ruissellement des eaux de pluie au sein des villes pouvant accroître les risques d'inondation et modifier le régime hydrique naturel. Ces eaux de ruissellement lessivent les surfaces urbaines et facilitent le transfert de nombreux polluants vers les milieux récepteurs (Zgheib et al, 2012). Cette présente étude qui s'inscrit dans l'opération de recherche « Gérer durablement les eaux pluviales en zones urbaines » vise à identifier les sources de pollution des eaux pluviales en s'intéressant aux pratiques d'entretien des surfaces et à étudier l'impact de la gestion alternative sur la qualité des eaux de ruissellement. Elle fait suite à un premier travail réalisé en 2011-2012 concernant les pratiques d'entretien des surfaces sur le bassin versant du Pin Sec à Nantes (Le Barbu, 2012). L'intérêt de ces travaux réside dans l'étude d'un quartier « durable » où la gestion des ressources, des espaces et la mixité sociale sont les maîtres mots. Il s'agit ici de comparer les pratiques d'entretien des surfaces sur deux sites adjacents : le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier Bottière Chénaie (Nantes). Pour ce faire, une enquête mettant l'accent sur les pesticides a été réalisée sur les deux sites et des campagnes de prélèvements d'eau pluviales par temps de pluie ont été effectuées sur l'écoquartier afin d'évaluer l'influence d'ouvrages alternatifs sur la qualité (pesticides et métaux traces).

Matériel et méthodes

L'étude s'intéresse à deux sites adjacents situés dans la partie Nord-Est de Nantes, entre l'Erdre et la Loire. Le bassin versant du Pin Sec d'une superficie de 31 ha est caractérisé principalement par des maisons individuelles au Nord et quelques logements collectifs au Sud. L'écoquartier Bottière Chénaie a été bâti sur un terrain abandonné de 35 ha, autrefois friche maraîchère. L'écoquartier est caractérisé principalement par des logements collectifs. Ce quartier se démarque par l'existence d'ouvrages permettant une gestion alternative: canal de recueil des eaux de ruissellement, noues et toitures végétalisées.

FIGURE 1: Vues aériennes du bassin versant du Pin Sec (à gauche) et de la partie Nord-Ouest de l'écoquartier Bottière Chénaie (à droite)



Des campagnes d'échantillonnage ont été menées sur l'écoquartier (juillet 2013 - octobre 2013) afin d'étudier l'impact des techniques alternatives sur la qualité des eaux pluviales (figure 1). Il s'agit de s'intéresser aux pesticides, aux métaux traces et métalloïdes. Ces substances ont été choisies en raison de leur présence fréquente en milieu urbain ; de plus, Nantes Métropole manifeste un intérêt particulier pour ces 2 familles de polluants. Des prélèvements d'eau ponctuels et par temps de pluie ont été réalisés en différents points: amont et aval du ruisseau des Gohards ouvert, aval du canal de recueil, aval d'une noue et de la toiture végétalisée du groupe scolaire Julien Gracq et de l'une des toitures de Nantes Habitat (NH).

Les données relatives à l'écoquartier acquises lors de cette étude ont été comparées à des données de précédentes études sur le quartier du Pin-Sec

Les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces des sites étudiés

Une enquête a été menée sur le bassin versant du Pin Sec (Le Barbu, 2012) et sur l'écoquartier Bottière Chénaie (2013) afin de réaliser un bilan sur les pratiques d'entretien des surfaces et l'utilisation de produits phytosanitaires. Les résultats sur chacun des sites mettent en avant un changement de pratiques aussi bien chez les professionnels que chez les particuliers, se traduisant par une utilisation modérée des pesticides au profit de moyens plus naturels. Finalement, les pratiques sont globalement identiques sur les deux sites.

Le Service des Espaces Verts et de l'Environnement (SEVE) qui gère l'entretien des jardins, parcs et chemins communaux n'utilise plus de pesticides depuis 2009. Il a mis en place une gestion plus rustique et différenciée qui vise à employer un désherbage manuel, mécanique ou bien naturel par le simple piétinement des passants. De la même manière, le service nettoyage de Nantes Métropole n'utilise plus de produits chimiques sur les voiries depuis 3-4 ans. Concernant l'entretien des habitats collectifs du Pin Sec: Nantes Habitat n'utilise plus de pesticides, un organisme intervient à l'aide d'herbicides à raison de 2 litres par an (glyphosate...). Sur l'ensemble des habitats collectifs de l'écoquartier: deux organismes interviennent en utilisant des herbicides (glyphosate) au printemps et en automne, un dernier emploie des produits seulement pour le nettoyage des façades

Les résultats concernant les habitats individuels du Pin Sec montrent que les particuliers se sentent concernés par les pratiques écologiques et ce quel que soit l'âge puisque les potagers et les jardins ornementaux sont traités majoritairement à l'aide de produits naturels : 55 % des potagers et 42 % des jardins ornementaux (Fig. 1). Les surfaces imperméables comme les toits, les terrasses et les façades sont quant à elles peu traitées. Toutefois, lorsqu'elles le sont, des produits chimiques sont automatiquement utilisés.

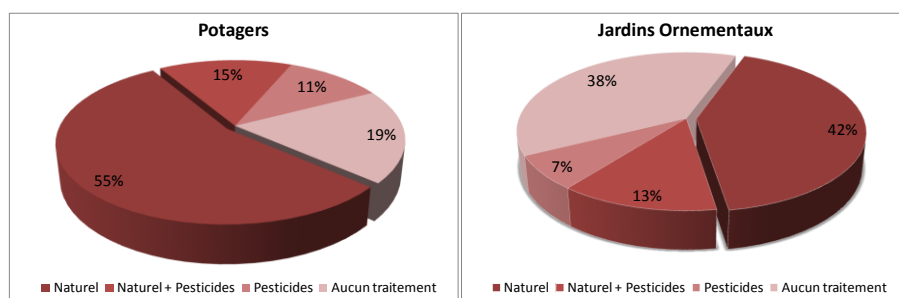


FIGURE 1 : Méthodes de traitement des potagers (à gauche) et des jardins ornementaux (à droite) sur le quartier du Pin Sec (Source : Le Barbu, 2012)

Impact des techniques alternatives sur la qualité des eaux pluviales de l'écoquartier

Des teneurs élevées en Zn, Sr et Cu sont constatées (Fig. 2). En sortie des toits végétalisés, cette contamination serait issue des matériaux. Le Zn provient de la gouttière galvanisée du toit de Nantes Habitat et des structures galvanisés sur le toit de l'école. Des analyses de la couche bitumineuse du toit de l'école ont révélé des teneurs importantes en Sr (574 mg kg^{-1}) expliquant ainsi ces résultats dans les eaux. Pour ce qui est du ruisseau, du canal et de la noue, ces éléments pourraient provenir du ruissellement des eaux sur les toits et sur les chaussées où les dépôts en Zn, Sr et Cu occasionnés par le trafic automobile sont importants... Les eaux de la noue sont marquées par une concentration moyenne plus élevée en Cu ($28 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) qui pourrait s'expliquer par les rejets des pompes vide cave. Des analyses du sol à différents endroits de la noue ont montré des teneurs importantes en Cuivre (73 mg kg^{-1}) aux abords de l'une des sorties de canalisation. Ces analyses de sol ont également révélé des quantités de Zn (1120 mg kg^{-1}), Pb (99 mg kg^{-1}) et Ti (1755 mg kg^{-1}) élevées en sortie de canalisation. Il semblerait donc que l'infiltration et la décantation des eaux dans

la noue permettent un prétraitement des eaux pluviales, se traduisant toutefois par un stockage des éléments dans le sol.

Concernant les pesticides, la toiture végétalisée de l'école présente une concentration moyenne en mecoprop élevée de $8 \mu\text{g L}^{-1}$ (Fig. 3). Ce résultat pourrait s'expliquer par la couche bitumineuse d'étanchéité du toit; en effet, le mecoprop serait une matière active utilisée comme agent anti-racine dans cette couche afin d'empêcher la pénétration des racines. Des études ont montré que cet herbicide intégré aux membranes, pouvait être lessivé par les eaux de ruissellement des toits leur conférant des concentrations très importantes (Bucheli et al, 1998; Eawag, 2009; Vialle et al, 2013; Wittmer et Burkhardt, 2009). Enfin, la présence de Glyphosate et d'AMPA (produit de dégradation du Glyphosate) sur l'écoquartier est cohérente avec une utilisation de ce produit par certains organismes ($0.2 - 0.6 \mu\text{g L}^{-1}$).

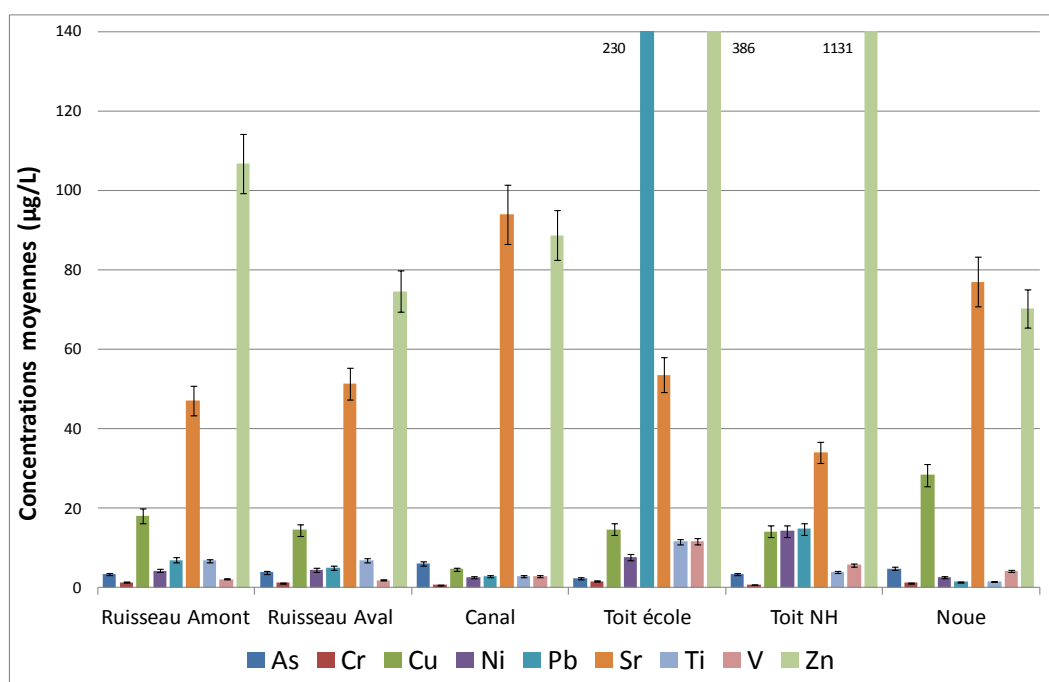


FIGURE 2 : Concentrations moyennes en métaux traces dans les eaux des ouvrages alternatifs

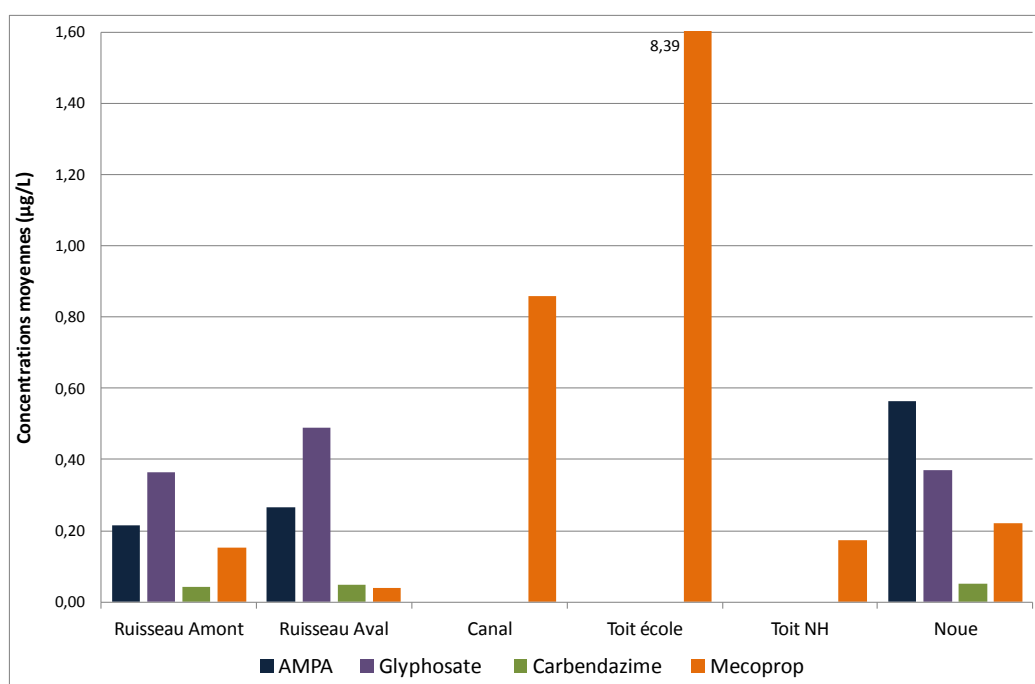


FIGURE 3 : Concentrations en pesticides dans les eaux des ouvrages alternatifs

Comparaison de la qualité des eaux pluviales de l'écoquartier avec celles du Pin Sec

En comparant les résultats avec les concentrations en métaux obtenues lors de précédentes études (Tab. 1) (Lamprea, 2009; Gasperi et al, 2013) à l'exutoire du réseau d'eaux pluviales du bassin versant du Pin Sec, des concentrations plus élevées en Sr sont constatées sur l'écoquartier (49–94 $\mu\text{g L}^{-1}$); il semblerait donc que l'apport en Sr soit localisé. Ces concentrations pourraient être engendrées par les matériaux de l'écoquartier; en effet, le chromate de strontium peut être utilisé comme pigment résistant à la corrosion dans les peintures et pour le revêtement des métaux (CSST, 1995; CNAMTS, 2010; CMR, 2013). Enfin, les eaux issues des toits végétalisés de l'écoquartier sont plus chargées en métaux que celles issues de toits en ardoise ou en tôle de zinc sur le bassin versant du Pin Sec (Delamain, 2013). Ces résultats sont particulièrement dépendants des caractéristiques des toitures notamment des matériaux : structures galvanisées, couche bitumineuse.

TABLEAU 1 : Concentrations métalliques ($\mu\text{g L}^{-1}$) sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier

	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
Ruisseau, canal, noue (cette étude)	3.4 - 6.0	0.6 - 1.4	4.6 - 28.4	2.5 - 4.5	1.4 - 7.0	47.2 - 94.4	1.6 - 6.9	1.9 - 4.2	70.3 - 106.8
Exutoire réseau EP¹	4.0	1.5	14.8	3.1	16.2	29.0	26.4	4.1	126.3
Exutoire réseau EP²	-	7.5	31.0	5.0	21.0	-	-	-	146.0
Toit école, toit Nantes Habitat (cette étude)	2.3 - 3.4	0.8 - 1.6	14.2 - 14.6	7.6 - 14.3	14.8 - 229.9	34.0 - 53.6	4.0 - 11.6	5.8 - 11.6	385.7 - 1130.5
Toit ardoise³	0.9	1.0	4.3	2.8	4.1	2.8	1.1	0.4	1224.2
Toit en tôle de zinc³	0.2	4.5	4.2	2.5	9.2	5.6	2.2	0.5	4239.1

Cette étude : concentrations moyennes min et max.¹ Gasperi et al, 2013; Delamain, 2013 : concentrations moyennes.² Lamprea, 2009 : concentrations médianes. ³ Delamain, 2013 : concentrations moyennes.

Concernant les pesticides, les eaux issues des toitures végétalisées de l'écoquartier se démarquent par des concentrations plus élevées en Mecoprop. Lamprea (2009) avait déjà remarqué des teneurs plus importantes sur un toit en bitume au regard des autres types de toits du bassin versant du Pin Sec.

TABLEAU 2 : Concentrations en pesticides ($\mu\text{g L}^{-1}$) sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier

	AMPA	Glyphosate	2.4 MCPA	Carbendazime	Mecoprop
Ruisseau, canal, noue (cette étude)	0.2 – 0.6	0.4	< LQ	0.04 – 0.05	0.04 – 0.9
Exutoire réseau EP¹	0.3 (<LQ – 1.5)	0.4 (0.1 – 1.6)	< LQ	0.2 (<LQ – 0.5)	< LQ
Toit école, toit Nantes Habitat (cette étude)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.2 – 8.4
Toit bitume²	< LQ	< LQ – 0.2	-	-	0.06 – 1.0
Toit en tuile²	< LQ	< LQ – 0.2	-	-	< LQ – 0.05

Cette étude : concentrations moyennes min et max. ¹ Gasperi et al, 2013 : concentrations moyennes et concentrations min et max. ² Lamprea, 2009 : concentrations min et max.

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis d'observer l'influence des pratiques d'entretien des surfaces de l'écoquartier Bottière Chénaie et d'un bassin versant adjacent (Pin Sec) sur la qualité des eaux pluviales. Ces pratiques semblent avoir changé au profit de méthodes alternatives naturelles aussi bien sur l'écoquartier que sur le bassin versant du Pin Sec. Globalement, les résultats obtenus au cours de ce suivi de polluants ne révèlent pas une différence significative de la qualité des eaux pluviales entre le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier. Le mecoprop apparaît en quantité dans les eaux issues du ruissellement sur les toitures végétalisées de l'écoquartier Bottière Chénaie. Il proviendrait de la couche bitumineuse d'étanchéité de ces dernières. Ces toitures végétalisées ont également révélé

des concentrations métalliques plus élevées que celles mesurées dans les eaux de ruissellement des toits en ardoise et en tôle de Zinc du bassin versant du Pin Sec. L'utilisation de toiture végétalisée pour la gestion des eaux pluviales soulève donc de nombreux questionnements. Il convient d'améliorer les connaissances sur les matériaux ainsi que sur les mécanismes en œuvre pour permettre une sélection appropriée des couches de substrat et de drainage (Schwager, 2013). Enfin, l'écoquartier dont la plupart des concentrations en métaux sont proches de celles du bassin versant du Pin Sec s'est pourtant démarqué par des concentrations en Sr plus importantes ($47\text{--}94\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) qui pourraient être engendrées par des matériaux contenant du chromate de strontium. Cette hypothèse reste cependant à vérifier. Pour finir, les ouvrages alternatifs étudiés sont relativement récents; leur comportement est donc différent de celui qu'ils auront dans 20 ans par exemple. Un suivi à long terme permettrait d'étudier l'évolution des concentrations et le rôle éventuel du relargage de polluants par les matériaux au cours du temps.

Références

Bucheli T.D., Müller S.R., Voegelin A., Schwarzenbach R.P., 1998:*Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters.* Environmental Science & Technology 32, 3465 - 3471.

CMR, 2013:*Dichromate de Strontium.* [http://www.substitution-cmr.fr/index.php?id=112&tx_kleecmr_pi3\[uid\]=75&tx_kleecmr_pi3\[onglet\]=4&cHash=76cca88775](http://www.substitution-cmr.fr/index.php?id=112&tx_kleecmr_pi3[uid]=75&tx_kleecmr_pi3[onglet]=4&cHash=76cca88775).

CNAMTS, 2010:*Fiche d'aide à la substitution: Produit à substituer, Chromate de Strontium.* FAS 27.

CSST, Service du répertoire toxicologique, 1995:*Chromate de Strontium.* http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=89987

Delamain M., 2013:*Etude comparative des polluants métalliques issus de trois bassins versants urbains : Chassieu (Lyon), Pin Sec (Nantes) et Sucy-en-Brie (Paris).* IFSTTAR, rapport projet INOGEV, 1 – 120.

Eawag, 2009:*Informations concernant le mecoprop contenu dans les couches bitumeuses des toitures végétalisées.* Referenz/Aktenzeichen 131-0459.

Lamprea D.K., 2009:*Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains.* Thèse de doctorat, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Le Barbu M., 2012:*Connaissance des pratiques d'entretien des surfaces sur un petit bassin versant urbain.* ONEMA, Rapport.

Schwager J., Ruban V., Morel J.L., Claverie R., Irles Amandine, Thiriat J., 2013:*Identification des phénomènes prépondérants de transferts des métaux entre eaux de pluie et toitures végétalisées.* Proceedings International Conference Novatech.

Vialle C., Sablayrolles C., Silvestre J., Monier L., Jacob S., Huau M.-C., 2013:*Pesticides in roof runoff : study of a rural site and a suburban site.* Journal of environmental management 120, 48 – 54.

Wittmer I., Burkhardt M., 2009:*Dynamique des rejets de biocides et de pesticides.* Eawag News 671, 8-11.

Zgheib S., Moilleron R., Chebbo G., 2012:*Priority pollutants in urban stormwater. Part 1 – Case of separate storm sewers.* Water research 46, 6683-6692.

1. Introduction	13
2. Etat de l'art.....	13
2.1. Les polluants.....	13
2.1.1. Métaux	13
2.1.2. Pesticides.....	14
2.2. Contexte réglementaire	16
2.2.1. Milieux aquatiques	16
2.2.2. Pesticides.....	17
2.3. Les pratiques d'entretien des surfaces	18
2.3.1. Etudes antérieures	18
2.3.2. Pratiques sur le bassin versant du Pin Sec (Le Barbu, 2012)	19
2.4. Les écoquartiers	19
2.4.1. Qu'est-ce qu'un écoquartier ?	19
2.4.2. Repères historiques	20
2.5. La gestion alternative	20
2.5.1. Noue.....	20
2.5.2. Toiture végétalisée.....	21
2.5.3. Bassin à ciel ouvert.....	21
3. Matériel et méthodes	22
3.1. Présentation des sites d'étude.....	22
3.1.1. Bassin versant du Pin Sec	22
3.1.2. Écoquartier Bottière Chénaie.....	22
3.1.3. Gestion alternative des eaux pluviales sur l'écoquartier Bottière Chénaie.....	23
3.2. Méthodologie de l'enquête	25
3.2.1. Découpage de l'écoquartier	25
3.2.2. Elaboration des questionnaires.....	26
3.3. Campagne de prélèvements.....	26
3.4. Outils d'analyse des données	28
3.4.1. Tests statistiques	28
3.4.2. Corrélation de Pearson.....	28
4. Les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces des sites étudiés	28
4.1. Résultats sur l'écoquartier	28
4.1.1. Les espaces verts publics.....	28
4.1.2. Les voiries et la ligne de tramway	29
4.1.3. Les habitats.....	29
4.1.4. Limites de l'enquête	30
5. Impact de la gestion alternative sur la qualité des eaux pluviales	30
5.1. Caractéristiques pluviométriques des événements pluvieux	30
5.2. Paramètres globaux.....	32
5.3. Métaux	32
5.3.1. Détection des éléments	32
5.3.2. Analyse des données.....	32
5.3.3. La spéciation des métaux.....	34
5.3.4. Influence des caractéristiques pluviométriques sur les concentrations en métaux.....	35
5.3.5. Comparaison avec le bassin versant du Pin Sec.....	36

5.4. Pesticides	37
5.4.1. Détection des éléments	37
5.4.2. Analyse des données.....	37
5.4.3. Comparaison avec le bassin versant du Pin Sec.....	38
5.5. Limites de l'étude.....	39
6. Conclusion.....	40
7. Glossaire.....	41
8. Sigles & Abréviations	42
9. Bibliographie	43
10. Table des illustrations	46
11. Annexes	47
Annexe 1 : Normes de Qualité Environnementale	48
Annexe 2 : Formulaire d'enquête pour les espaces verts.....	49
Annexe 3 : Formulaire d'enquête pour les voiries	51
Annexe 4 : Formulaire d'enquête pour les habitats collectifs et leurs espaces verts	53
12. Remerciements	55

1. Introduction

L'artificialisation des terres provoquée par une urbanisation croissante est à l'origine d'une profonde transformation des paysages se traduisant par une imperméabilisation des surfaces qui s'accroît depuis vingt ans : une progression de 40 % a été constatée en France (Hautbois et al, 2011).

Ce phénomène, qui est au cœur des préoccupations actuelles, affecte les écosystèmes ainsi que la biodiversité. L'imperméabilisation favorise le ruissellement des eaux de pluie au sein des villes pouvant accroître les risques d'inondation et modifier le régime hydrique naturel (augmentation des volumes d'eau et des débits de pointe) (Barbosa et al, 2012). De plus, les eaux de ruissellement lessivent les surfaces urbaines et facilitent également le transfert de nombreux polluants (organiques et inorganiques) issus de l'activité anthropique vers les milieux récepteurs (Zgheib et al, 2012). Ce problème est d'autant plus important que ces eaux pluviales ne sont généralement pas traitées.

Une prise de conscience commence à se mettre en place. Ainsi, depuis 2012, la Commission Européenne souhaite une gestion des terres plus efficace et responsable en encourageant l'utilisation de matériaux perméables et en favorisant la récupération des eaux de pluie. De la même manière, la maîtrise des eaux pluviales (eaux de ruissellement) est devenue un enjeu important pour les villes, renforcée par la Directive Cadre sur l'Eau (2000) qui impose d'atteindre « un bon état écologique des milieux aquatiques » d'ici 2015 en limitant les rejets de micropolluants dans l'environnement.

La présente étude qui s'inscrit dans l'opération de recherche « Gérer Durablement les Eaux Pluviales en zones urbaines » (GDEP), et en liaison avec le projet INOGEV (mené entre 2010 et 2013 sur le bassin du Pin Sec et au cours duquel les concentrations en métaux et pesticides dans les eaux pluviales ont été mesurées), vise à identifier les sources de pollution des eaux pluviales en s'intéressant aux pratiques d'entretien des surfaces (espaces verts, habitats, voiries) et à étudier l'impact de la gestion alternative (noue, toitures végétalisées, canal de recueil des eaux pluviales) sur la qualité des eaux de ruissellement. Elle fait suite à un premier travail réalisé en 2011-2012 concernant les pratiques d'entretien des surfaces sur le bassin versant du Pin Sec à Nantes (Le Barbu, 2012).

L'intérêt de ces travaux réside dans l'étude d'un quartier « durable » où la gestion des ressources, des espaces et la mixité sociale sont les maîtres mots. Les projets d'aménagement d'écoquartiers sont de plus en plus répandus en France, notamment suite au Grenelle de l'Environnement de 2007. Il s'agit ici de comparer les pratiques d'entretien des surfaces sur deux sites adjacents: le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier Bottière Chénaie (Nantes). Pour ce faire, une enquête mettant l'accent sur les pesticides a été réalisée sur les deux sites et des campagnes de prélèvements d'eaux pluviales par temps de pluie ont été effectuées sur l'écoquartier afin d'évaluer l'influence d'ouvrages alternatifs sur la qualité (pesticides et métaux).

2. Etat de l'art

Dans un contexte de développement durable, la réduction des rejets de polluants dans l'environnement est l'une des préoccupations actuelles. La prise de conscience de la dégradation de l'écosystème par des activités anthropiques a permis de réfléchir à des moyens efficaces de lutte face à cette problématique. Ainsi, des directives ont été mises en place ces dernières décennies afin de réduire les émissions de polluants aussi bien organiques qu'inorganiques. Parmi ces polluants principalement issus de l'activité humaine, on trouve les pesticides, les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les alkylphénols ou encore les éléments traces métalliques (ETM). Ils font l'objet de nombreuses études du fait de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement (Hoffman & al, 1984; Walker & al., 1999). Cette étude, qui s'intéresse à l'impact des pratiques d'entretien et des ouvrages alternatifs d'un écoquartier sur la qualité des eaux pluviales, met l'accent sur les pesticides et les métaux traces (et métalloïdes).

2.1. Les polluants

2.1.1. Métaux

Les éléments traces métalliques (ETM) désignent des métaux ou métalloïdes dont la concentration moyenne dans la croûte terrestre est inférieure à 0.1% soit 1000 mg.kg⁻¹ (Baize, 2009 ; Gouzy et Ducos, 2008). Il s'agit d'éléments peu mobilisables se dégradant difficilement. Ils possèdent donc la particularité de s'accumuler dans les différents compartiments de la biosphère (Rollin et Quiot, 2006; Lamprea, 2009; Percot, 2012). Ces éléments peuvent entraîner des effets importants sur la santé

humaine et sur les écosystèmes (Gouzy et Ducos, 2008). Le monde a connu un développement industriel et technologique grâce à l'utilisation de métaux. Ce phénomène a impliqué une augmentation excessive du relargage de substances métalliques. De ce fait, notre environnement contient de nombreux métaux aussi bien naturels qu'artificiels. Les émissions naturelles proviennent d'une variété de processus tels que l'activité volcanique, l'érosion éolienne, les embruns marins ou encore les feux de forêt. Ils contribuent à la mise en suspension de particules dans l'atmosphère (Allen & al, 2001). Les émissions anthropiques, quant à elles, peuvent être provoquées par la combustion de combustibles fossiles, les industries ou encore le trafic automobile. Les principales sources d'émission des métaux étudiés sont présentées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1: Les principales sources d'émission des métaux étudiés

Eléments	Sources anthropiques principales	Auteurs
As	Métallurgie, peintures, tannerie	ATSDR, 2004 Chiffolleau, 2001 Gouzy et Ducos, 2008 Lamprea, 2009 Pagotto, 1999 Percot, 2012 Rodier et al., 1996 Sarkar, 2002
Cd	Métallurgie, sidérurgie accumulateurs, peintures, matières plastiques, engrais	
Co	Métallurgie, accumulateurs, peintures	
Cr	Métallurgie, sidérurgie, galvanoplastie, tannerie, pneus, freins, bitume	
Cu	Métallurgie, industries électriques, peintures, fongicide, pneus, freins, gaz d'échappement, bitume	
Mo	Métallurgie, résistances électriques, peintures	
Ni	Métallurgie, accumulateurs, combustion fossile, pneus, freins, gaz d'échappement, huile de moteur, bitume	
Pt	Bijouterie, pots catalytiques	
Pb	Batteries, matières plastiques, peintures, pneus, freins, bitume	
Sr	Industries électriques, pyrotechnie, combustion fossile, freins, cimenterie, pigments de peintures	
Ti	Métallurgie, industries aérospatiales, peintures, freins	
V	Métallurgie, peintures, catalyseur, bitume, carburant	
Zn	Métallurgie, galvanisation d'aciers, peintures, produits phytosanitaires, pneus, freins, gaz d'échappement, huile de moteur, bitume	

2.1.2. Pesticides

Le mot « pesticide » provient du terme anglais « pest » signifiant ravageur ou encore nuisible. Il est employé pour désigner les substances ou les préparations chimiques utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables (plantes, animaux, champignons, bactéries) (ORP, 2012). Les pesticides peuvent être classés en fonction des cibles visées. Les trois principales familles sont les suivantes: herbicides (mauvaises herbes), insecticides (insectes), fongicides (moisissures). Ils sont généralement composés de deux substances:

- Une ou plusieurs matières actives qui confèrent au produit l'effet désiré ;
- Un ou plusieurs additifs qui renforcent l'efficacité, la sécurité du produit et sa facilité d'utilisation (LNE, 2008).

La France est le 1^{er} consommateur européen de produits phytosanitaires avec près de 65 000 tonnes de matières actives utilisées en 2011 (Fig. 1 et 2). L'évolution des quantités employées en France de 1998 à 2011 montre une tendance à la diminution depuis les années 2000.

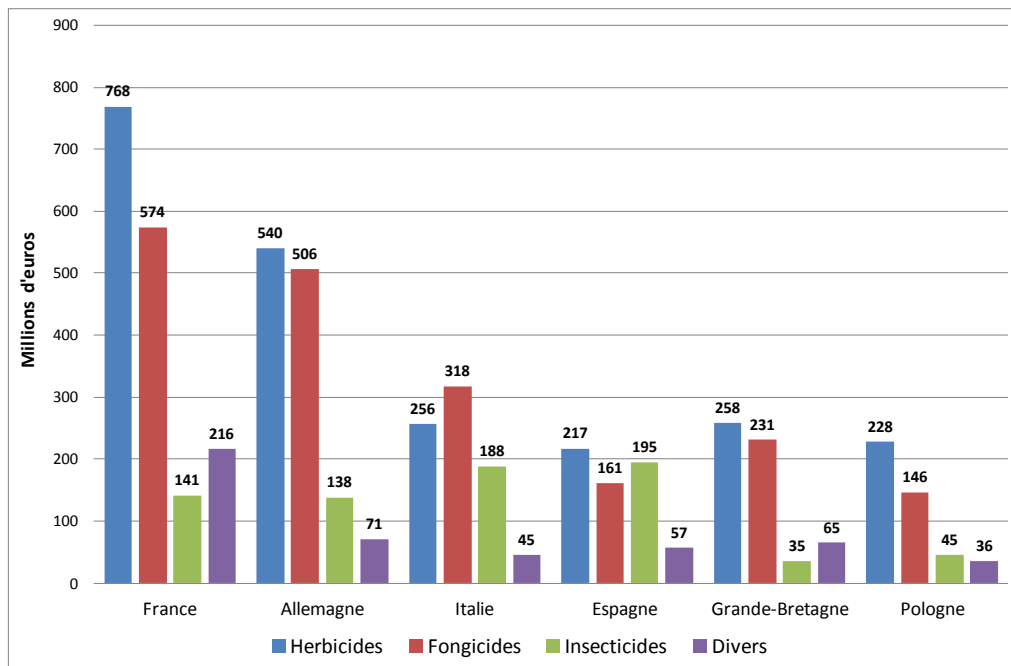


FIGURE 1: Marché phytosanitaire en Europe en 2010 (Source: UIPP)

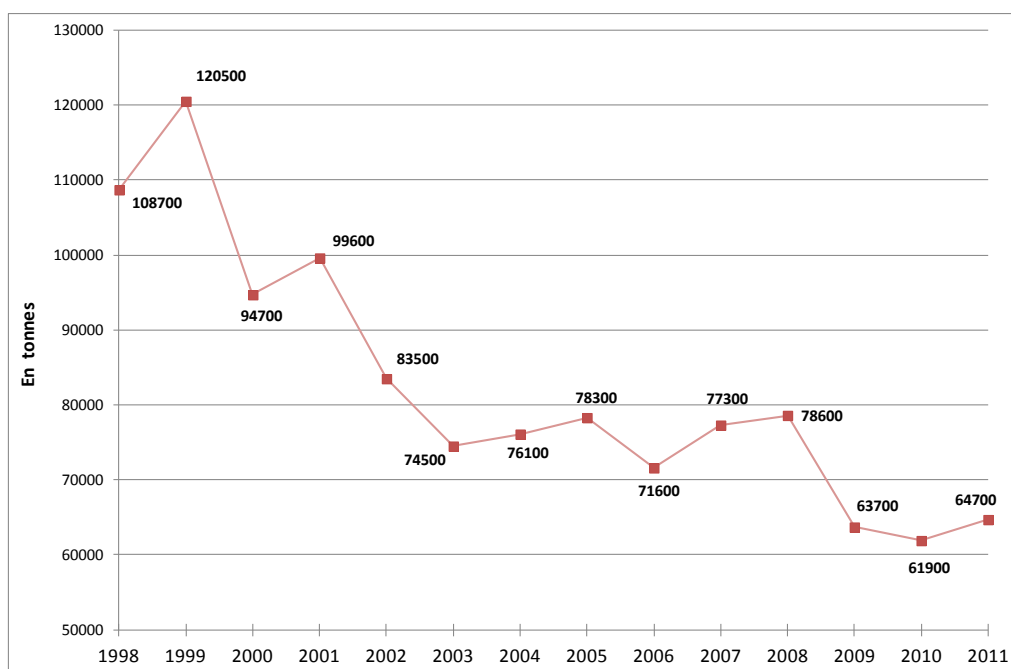


FIGURE 2: Tonnage des substances actives vendues de 1998 à 2011 (Source : UIPP)

Pendant longtemps, l'agriculture a été considérée comme l'unique source de rejets de pesticides dans l'environnement. A la fin des années 90, des études ont montré que les produits phytosanitaires pouvaient aussi provenir des zones urbaines (Wittmer et Burkhardt, 2009) puisqu'ils sont utilisés pour l'entretien des espaces verts, des jardins particuliers, des voiries ou encore des infrastructures. En France, les usages non agricoles représentent entre 6 et 10% de la consommation totale de pesticides (ORP,2012).

2.2. Contexte réglementaire

2.2.1. Milieux aquatiques

Dans un contexte de lutte contre la pollution et la dégradation des milieux aquatiques, de nombreuses directives ont été instaurées depuis 1976 (Fig.3). Ainsi, la « *Loi sur l'Eau* » du 3 janvier 1992 a été publiée (Loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau). Elle a permis d'améliorer la « *Loi sur l'Eau* » créée en 1964. Cette loi repose sur le principe suivant :

Article 1

« L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général. L'usage de l'eau appartient à tous dans le cadre des lois et règlements ainsi que les droits antérieurs établis. »

Elle préconise une « *gestion équilibrée* » des ressources en eau qui vise à assurer notamment (Loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, Article 2):

- La préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides;
- La protection contre toute pollution et la restauration de la qualité des eaux;
- Le développement et la protection de la ressource en eau;
- La valorisation de l'eau comme ressource économique et la répartition de cette ressource.

Elle a ensuite été complétée le 30 décembre 2006 par la « *Loi sur l'Eau et les milieux aquatiques* » (Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques) qui vise à améliorer :

- La lutte contre la pollution, qu'elle soit ponctuelle ou diffuse;
- La gestion quantitative de l'eau en favorisant les économies d'eau, le partage de la ressource;
- La restauration du bon fonctionnement des milieux aquatiques.

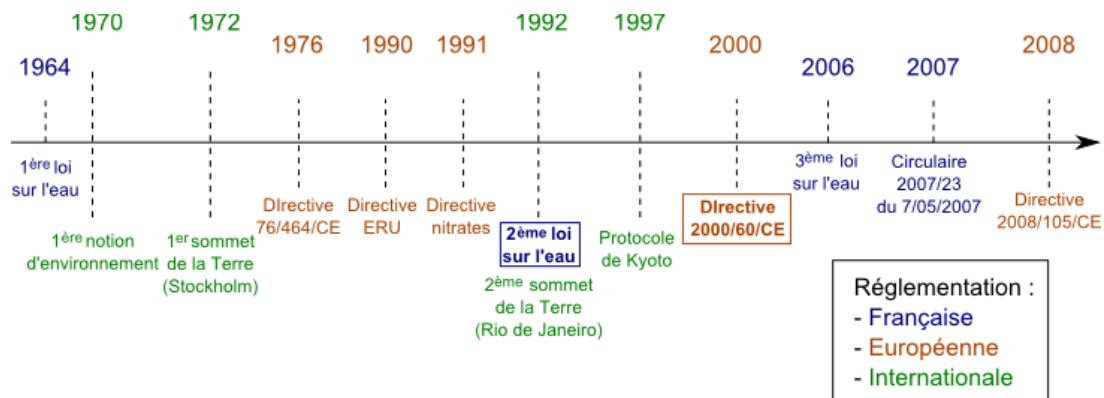


FIGURE 3: Dates clés du contexte réglementaire à différentes échelles (Source: Zgheib, 2009)

La politique publique de l'eau s'inscrit également dans un contexte réglementaire européen (Fig. 3) qui a donné suite à la Directive Cadre européenne sur l'Eau (Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000). Elle a pour objectif d'apporter une cohérence à l'ensemble de la législation avec une « *politique communautaire globale dans le domaine de l'eau* ». Ainsi, elle repose sur la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique avec une perspective de développement durable. La notion centrale de cette directive est d'atteindre un « *bon état écologique (et chimique) des milieux aquatiques* » d'ici 2015. Dans cette optique, des stratégies de lutte contre les substances polluantes ont été mises en place :

Article 16

« Le parlement européen et le Conseil adoptent des mesures spécifiques contre la pollution de certains polluants ou groupe de polluants présentant un risque significatif pour ou via l'environnement aquatique, notamment des risques auxquels sont exposés les eaux utilisées pour le captage d'eau potable. »

Les substances polluantes désignent les éléments qui rendent l'eau impropre à la consommation ou qui dégradent certaines de ces propriétés (Blieffert et Perraud., 2001). Ainsi, une liste de 41 substances polluantes (Fig.4) a été établie par cette directive (DCE).

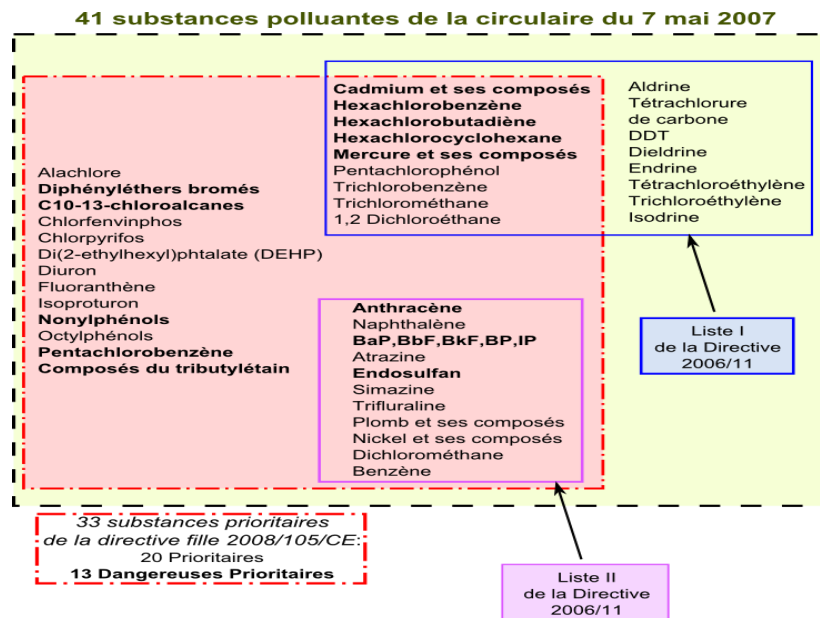


FIGURE 4: Liste des substances prioritaires (Source: Becouze, 2010)

Les 20 substances prioritaires présentent un risque significatif pour ou via l'environnement aquatique. Les objectifs sont de réduire progressivement les rejets, les émissions et les pertes dans un délai de 20 ans. Les 13 substances prioritaires dangereuses sont caractérisées par leur toxicité, leur persistance et leur bioaccumulation. Les objectifs sont d'arrêter ou de supprimer progressivement les rejets et les pertes dans un délai de 20 ans (Zgheib, 2009). Certains métaux (Cadmium, Nickel, Plomb) et pesticides étudiés (Isoproturon) font partie de cette liste.

Dans ce contexte réglementaire de la DCE, des Normes de Qualité Environnementale (NQE) ont également été définies (Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000, Article 2). Ainsi, pour prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations dans le milieu aquatique peuvent être comparées à une NQE (Annexe 1). Cette norme indique une limite de concentration d'un polluant à ne pas dépasser dans le but de protéger l'environnement et la santé humaine. Elle prend également des substances spécifiques qui servent à évaluer le bon état écologique.

2.2.2. Pesticides

Tout nouveau pesticide ne peut être commercialisé et utilisé sans une autorisation préalable appelée Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Aujourd'hui, deux cadres réglementaires européens régissent la mise sur le marché et le suivi post-homologation des pesticides (Fig. 5) :

- Les produits phytosanitaires sont encadrés par la directive n°91/414/CEE qui a été abrogée par le règlement n°1107/2009 entré en vigueur en juin 2011. Il constitue l'un des quatre textes du « paquet pesticides » qui vise à réduire de façon sensible les risques liés aux pesticides ainsi que leur utilisation. Le « paquet pesticides » contient également une directive 2009/128/CE instaurant un cadre communautaire d'action pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable, une directive 2009/127/CE concernant les machines destinées à l'application des pesticides, et un règlement (CE) n°1185/2009 relatif aux statistiques (ORP, 2012).
- Les biocides sont encadrés par la directive n°98/8/CE (ORP, 2012).

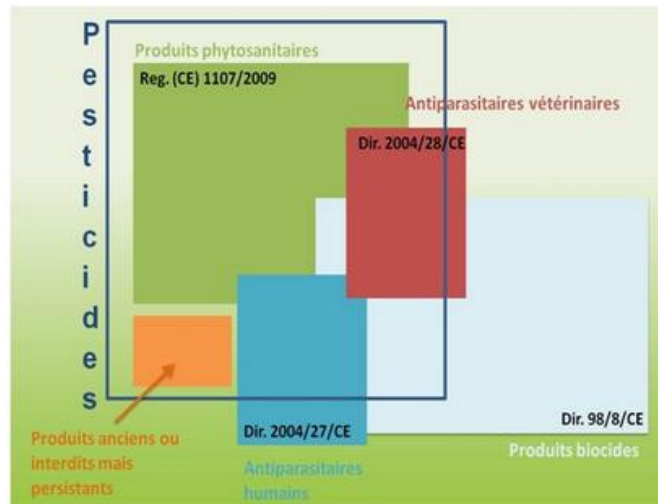


FIGURE 5: Réglementation européenne des pesticides (Source : ORP)

Le Plan Ecophyto 2018 institué en 2008 et découlant du Grenelle de l'Environnement de 2007 vise à réduire l'utilisation des pesticides de 50% en l'espace de 10 ans et à supprimer progressivement les 53 molécules les plus dangereuses du marché.

2.3. Les pratiques d'entretien des surfaces

Les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces des zones urbaines sont à prendre en considération dans la pollution des eaux pluviales. Comme il a été vu précédemment, les agriculteurs ne sont pas les seuls à employer des pesticides. Les villes et les particuliers participent également à ces rejets dans l'environnement.

2.3.1. Etudes antérieures

Une enquête menée sur un site Suisse a montré, sur un total de 60 ménages interrogés, que 80 % d'entre eux déclaraient employer des pesticides, généralement pour protéger les rosiers des attaques d'insectes et 20 % d'entre eux avouaient en appliquer dans leur entrée de garage. Les ménages avaient recours à 45 produits différents dont le mecoprop, le diazinon et le glyphosate (Wittmer et Burkhardt, 2009).

En 2008, dans le cadre du SAGE Bièvre-Liers-Valloire, un diagnostic des pollutions urbaines par les produits phytosanitaires a été effectué. L'enquête menée auprès des utilisateurs non agricoles a révélé une utilisation importante des pesticides en particulier de glyphosate ce qui est cohérent avec les résultats de 2007 montrant une pollution des eaux superficielles en AMPA (métabolite du glyphosate). Elle a permis également d'identifier des pratiques à risque sur la gestion des fonds de cuve et des eaux de rinçage (CROPPP, 2010).

Les résultats de l'enquête menée par le CROPPP en 2010 sur 12 communes des bassins versants de la Varèze et du Dolon montrent que 3 communes ont mis en place des méthodes d'entretien plus raisonnées: plans de désherbage communaux, charte d'entretien différencié. Il a été vu que les herbicides étaient employés majoritairement dans toutes les situations et dans toutes les communes: 94% des volumes de produits phytosanitaires. Les fongicides et les insecticides représentent en moyenne 4% du volume des pesticides utilisés. Concernant les techniques alternatives, l'ensemble des interlocuteurs assure mettre en œuvre au moins une technique alternative au désherbage chimique: en général, désherbage manuel et paillage du sol (58 % des cas) (CROPPP, 2010).

L'étude présentée dans ce document fait suite à une enquête menée par Le Barbu (2012) sur le bassin versant du Pin Sec à Nantes. Etant donné que les travaux s'intéressent à l'écoquartier Bottière Chénaie qui est adjacent au Pin Sec, les résultats pourront être confrontés. Il sera possible de juger si l'écoquartier se démarque de par ses pratiques et de par la qualité de ses eaux. Il convient donc de résumer les résultats de cette première enquête.

2.3.2. Pratiques sur le bassin versant du Pin Sec (Le Barbu, 2012)

L'étude a été réalisée en 2011-2012 par Le Barbu (2012) sur le bassin versant du Pin Sec (31 ha). Les résultats mettent en avant un changement de pratiques aussi bien chez les professionnels que chez les particuliers, se traduisant par une faible utilisation des pesticides au profit de moyens plus naturels. Ces pratiques semblent en cohérence avec une pollution des eaux pluviales moins importante mesurée à l'exutoire du bassin versant entre 2006 et 2012. Les concentrations en glyphosate ont nettement diminué par exemple.

- Les professionnels

Le SEVE (Service des espaces Verts et de l'Environnement, Ville de Nantes) qui gère l'entretien des espaces verts (jardins, parcs et chemins communaux: 5,2 ha) n'utilise plus de pesticides depuis 2009 sur ce site laissant place à des moyens naturels. De la même manière, le service nettoyage de Nantes Métropole n'utilise plus aucun pesticide sur les voiries (5,8 ha) depuis 3-4 ans. Les interventions mécaniques sont maintenant privilégiées (paroir, binette). Lors de périodes de gel et de neige, un salage est effectué. Pour l'entretien des espaces autour de ses immeubles, Nantes Habitat n'utilise plus non plus de produits phytosanitaires. Seul un organisme utilise des herbicides (contenant du: glyphosate, diflufenican, pendiméthaline et oxyfluorène) pour l'entretien de sa résidence sur le site. Elle est désherbée au printemps et à l'automne à l'aide de 2 litres de produit par an. Une gestion différenciée est employée près des aires de jeux ou encore des bouches d'égout.

- Les particuliers

L'enquête menée auprès des particuliers (maisons individuelles) révèle qu'ils se sentent plus concernés par les pratiques écologiques et ce quel que soit l'âge. Ce ressenti apparaît dans les résultats (Fig. 6). 27 % des habitants interrogés reconnaissent avoir changé de pratiques ces dernières années et 94 % pensent que les pesticides constituent un danger pour la santé et l'environnement.

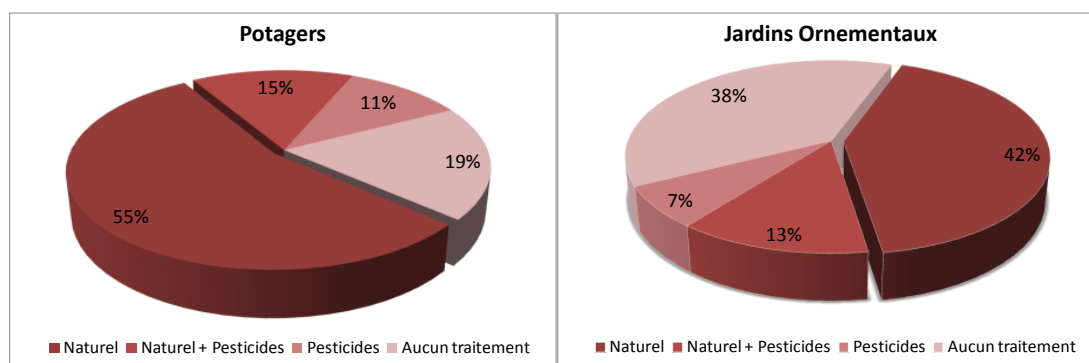


FIGURE 6: Méthodes de traitement des potagers (à gauche) et des jardins ornementaux (à droite) (Le Barbu, 2012)

Cette étude s'est basée sur les données de 54 parcelles sur les 256 prises en compte ce qui représente un taux de réponse des particuliers de 21% au questionnaire. 98% des parcelles sont constituées d'un jardin ornemental et 50% possèdent un potager. Les potagers et les jardins ornementaux sont traités majoritairement à l'aide de produits naturels : 55% des potagers et 42% des jardins. Pour les potagers et des jardins, les produits chimiques (glyphosate, fipronil, métaldéhyde) sont utilisés à moins de 11%. Les surfaces imperméables comme les toits, les terrasses et les façades sont quant à elles peu traitées. Toutefois, lorsqu'elles le sont, des produits chimiques sont automatiquement utilisés.

2.4. Les écoquartiers

2.4.1. Qu'est-ce qu'un écoquartier ?

Le Ministère français de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) désigne par « écoquartier » un projet d'aménagement urbain organisé visant à mettre en place des logements pour tous dans un cadre de vie de qualité en limitant l'empreinte écologique (MEDDE, 2013). Il s'agirait d'un quartier tenant compte des principes du développement durable et répondant à un potentiel de développement économique, à une dimension de mixité sociale et à des critères de performances environnementales rigoureux (transport en commun, recyclage des déchets, matériaux). Cependant, la réalisation d'un écoquartier ne peut avoir lieu sans s'adapter aux caractéristiques de son territoire. Elle doit donc s'appuyer sur les ressources locales (paysagères, urbaines, humaines).

2.4.2. Repères historiques

Depuis une petite dizaine d'années, de nombreux projets urbains fleurissent en Europe. Plusieurs chartes favorisant le développement durable ont été signées par les pays européens :

- La *Charte d'Aalborg* (1994, Danemark) prône l'importance de la ville comme l'échelle d'action pertinente. « La ville est l'autorité locale proche des problèmes environnementaux des citoyens, qui partage les responsabilités avec les autorités compétentes à tous les niveaux, pour le bien-être de l'homme et de la nature » (MEDDE, 2013; METL, 2012).
- Les *Accords de Bristol* (2005, Royaume-Uni) pris par les ministres européens en charge de l'urbanisme pour définir les grands principes d'une « sustainable community », que l'on peut traduire par quartier durable, et réaffirmer l'intérêt de les expérimenter et d'échanger, afin de créer des lieux de vie de qualité (MEDDE, 2013).
- La *Charte de Leipzig* (2007, Allemagne) signée par les Etats membres de l'Union européenne affirme l'importance de stratégies et de principes communs en faveur de villes durables et solidaires (MEDDE, 2013).

Ces chartes ont permis une diffusion du modèle d'urbanisme se traduisant par des écoquartiers.

Au niveau national, le Grenelle de l'Environnement de 2007 a permis la mise en place de la démarche EcoQuartier engagée en 2008 qui promeut des projets d'aménagement durable. De nombreuses collectivités se sont investies dans les appels à projets de 2009 (160 dossiers) et de 2011 (394 dossiers) lancés par le Ministère de l'Ecologie. En 2012, le lancement du Label National EcoQuartier par l'Etat a permis d'encourager et valoriser ce type de programme. Il permet également de vérifier que l'écoquartier répond à des valeurs communes (lutte contre l'étalement urbain, mixité, sobriété énergétique...) et que les résultats atteints correspondent à l'ambition (METL, 2012).

2.5. La gestion alternative

Depuis une quinzaine d'années, les techniques alternatives commencent à s'intégrer dans le paysage français. Elles permettent de répondre à la problématique sur la gestion des eaux pluviales en compensant les effets de l'imperméabilisation. Elles visent à réguler et limiter les écoulements d'eaux pluviales en se basant sur trois principes: le stockage, l'infiltration et la réduction des surfaces imperméables.

2.5.1. Noue

Les noues sont des fossés végétalisés peu profonds et larges permettant le recueil et la rétention des eaux pluviales (Fig. 7). Elles ont la particularité de bien s'intégrer dans le paysage. L'eau y arrive aussi bien par l'intermédiaire de canalisations (récupération des eaux de toitures) que par le ruissellement sur les surfaces adjacentes. Les eaux sont évacuées vers un exutoire (réseaux d'eaux pluviales, cours d'eau) ou par infiltration dans le sol. L'infiltration continue des eaux pluviales dans ce type d'ouvrage permet d'en réduire le volume.

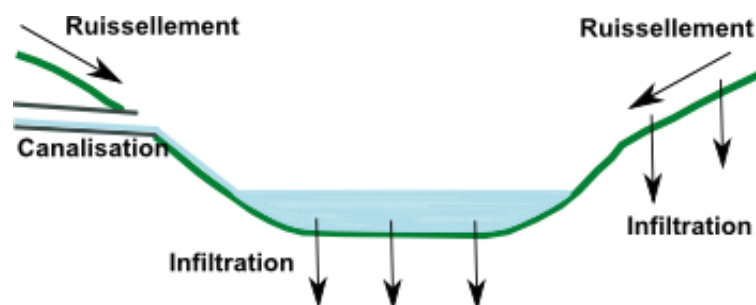


FIGURE 7: Schéma d'une noue

2.5.2. Toiture végétalisée

A l'échelle de la ville, les toitures végétalisées permettent d'améliorer la qualité de l'air, l'esthétique paysagère ou encore d'optimiser la gestion des eaux pluviales en retenant l'eau et en limitant les pics d'écoulement dans les réseaux. A l'échelle du bâtiment, elles participent à l'efficacité énergétique en réduisant l'inertie thermique en hiver et en été mais également au confort acoustique (CSTB, 2007; Jacquet, 2010).

Il existe deux types principaux de toits végétalisés (Jacquet, 2010) : extensif et intensif (Tab. 2 et Fig. 8).

TABLEAU 2: Caractéristiques des toits végétalisés extensifs et intensifs

	Toit extensif	Toit intensif
Epaisseur du substrat	10 cm	> 25 cm
Plantations	Plantes grasses de type sédum ou mousses résistantes à la sécheresse et aux gelées	Petit jardin: gazon, arbustes, arbres
Entretien	Faible, pas d'arrosage	Elevé, besoin d'irriguer

Dans les milieux tempérés, la toiture extensive est plus souvent rencontrée car elle est plus adaptée au climat. En France, elle est généralement constituée d'un substrat de pouzzolane de faible épaisseur et de plantes grasses de type sédum.

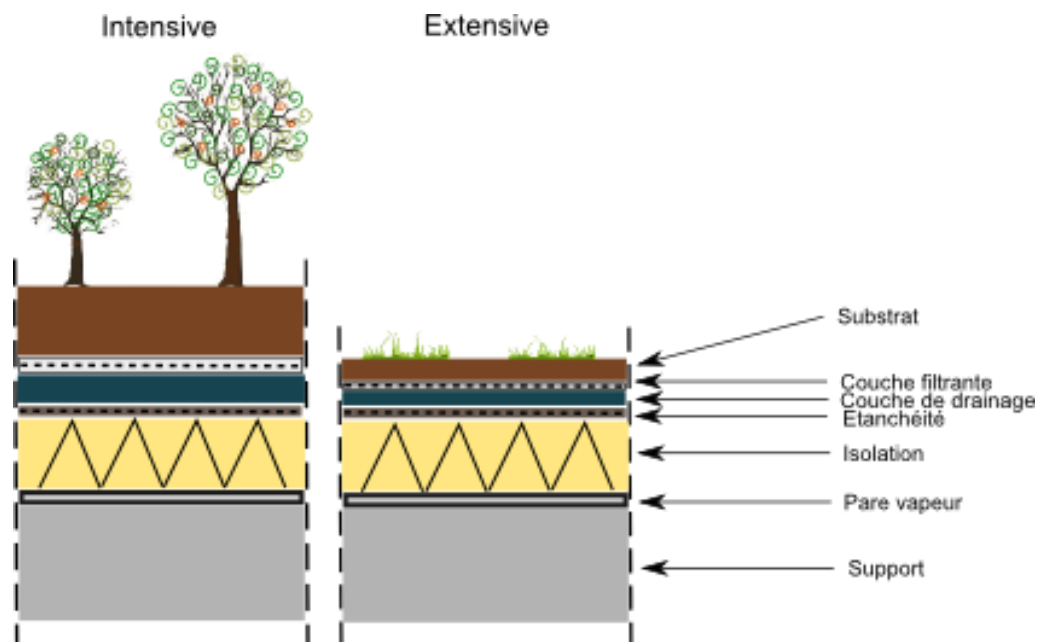


FIGURE 8: Les différents types de toitures végétalisées

2.5.3. Bassin à ciel ouvert

La mise en place de bassins à ciel ouvert permet de recueillir les eaux pluviales en réduisant ainsi les volumes d'eau ruisselés. Deux types principaux de bassins peuvent être distingués: bassins de rétention et bassins d'infiltration. Le bassin de rétention sert seulement à stocker l'eau avant qu'elle ne soit évacuée vers un exutoire (cours d'eau, réseau d'eaux pluviales). Il en existe de deux sortes: le bassin de rétention en eau qui contient de l'eau en permanence et le bassin de rétention sec qui se vidange complètement suite à un événement pluvieux. Enfin, le bassin d'infiltration permet la pénétration de l'eau dans le sol.

Bien d'autres techniques alternatives peuvent être mises en place pour lutter contre le ruissellement urbain comme les chaussées réservoir, les puits d'infiltration ou encore les tranchées drainantes.

3. Matériel et méthodes

3.1. Présentation des sites d'étude

L'étude s'intéresse à deux sites adjacents situés dans la partie Nord-Est de Nantes, entre l'Erdre et la Loire.



FIGURE 9: Vues aériennes du bassin versant du Pin Sec (à gauche) et de la partie Nord-Ouest de l'écoquartier Bottière Chénaie (à droite)

3.1.1. Bassin versant du Pin Sec

Le bassin versant du Pin Sec d'une superficie de 31 ha est limité à l'Est par une ligne de tramway (Fig. 9). Il est dominé par un climat de type océanique avec des pluies de faibles intensités mais relativement fréquentes (800 mm par an). Le quartier du Pin Sec est drainé par un réseau d'assainissement séparatif avec un réseau pour les eaux usées d'une longueur de 7.3 km et un réseau pour les eaux pluviales d'une longueur de 4 km se jetant dans le ruisseau des Gohards.

Le site, qui est imperméabilisé à 49%, est caractérisé principalement par des maisons individuelles au Nord et des logements collectifs (3–4 étages) au Sud. Les surfaces imperméables sont donc caractérisées par les chaussées (23% de la surface du bassin), les toitures (18% de la surface du bassin), et les parkings. L'espace perméable est constitué de jardins privés, de squares ou encore de parcs publics. Enfin, le trafic routier y est relativement faible avec une moyenne de 1200 véhicules par jour (Lamprea, 2009).

3.1.2. Écoquartier Bottière Chénaie

L'écoquartier Bottière Chénaie, qui est une zone d'aménagement concertée (ZAC), s'inscrit dans une démarche environnementale de qualité reposant sur 4 grands axes : 1) gestion de l'espace 2) gestion des eaux pluviales 3) préservation de la nature en ville 4) déplacements doux. De même, une attention particulière est portée au choix des matériaux de construction, au confort acoustique et à la consommation énergétique. Par la mise en place de ce projet, la ville de Nantes avait pour objectif de répondre à une forte demande de logements et de désenclaver les quartiers environnants en créant une nouvelle centralité urbaine.

La construction de l'écoquartier Bottière Chénaie a débuté en 2005 (Fig.9) sur un terrain abandonné de 35 ha, autrefois friche maraîchère. Aujourd'hui, il est toujours en cours de construction. Toutefois, la partie Nord-Ouest est quasiment terminée contrairement à la partie Sud-Est. La partie Nord-Ouest de la ZAC Bottière Chénaie (environ 15 ha) est caractérisée principalement par des logements en accession à la propriété et sociaux collectifs. En excluant les espaces verts (parcs), la densité est donc de 70 logements par hectare. La présence d'un parc (5 ha) bordant le ruisseau des Gohards et

de jardins collectifs est également à noter. Le parc est un élément important du projet qui vise à garder le caractère maraîcher d'antan.

3.1.3. Gestion alternative des eaux pluviales sur l'écoquartier Bottière Chénaie

Pour répondre à la démarche de qualité environnementale et à un objectif « zéro tuyau », des techniques dites « alternatives » ont été mises en place sur la ZAC Bottière Chénaie. Ces techniques permettent de compenser les effets de l'imperméabilisation.

L'un des aménagements majeurs du projet vient de la renaturation sur 300 m du ruisseau des Gohards, anciennement busé sur cette zone, afin d'améliorer la qualité des eaux. Ce ruisseau est l'exutoire des réseaux d'eaux pluviales du bassin versant du Pin Sec et du quartier Jules Vernes (Fig. 10 et 15). Ces eaux arrivent d'abord dans un bassin de décantation, situé en amont de la partie ré-ouverte du ruisseau, avant de s'intégrer à l'écoulement du cours d'eau. Cette partie ouverte est connectée en aval au réseau enterré. Des seuils segmentant le ruisseau ont été mis en place afin de réduire le débit de pointe à l'aval (Rodriguez et al, 2011). Cet aménagement permet de réduire les volumes ruisselés, en tout cas pour les petits événements pluvieux (Jankowsky, 2012). Enfin, un bassin de rétention végétalisé (ancien lit du ruisseau) permet de neutraliser les eaux du ruisseau lors de forts orages.



FIGURE 10: Zone drainée par le ruisseau, imperméabilisée à 40% (d'après Jankowsky, 2012)

Le site est constitué de nombreuses noues paysagères permettant de récupérer les excédents d'eaux pluviales des différents îlots du site. Ces fossés végétalisés d'une profondeur de 80 cm sont placés sur l'espace public le long des chaussées et des bâtiments (Fig. 11). La noue faisant l'objet de l'étude, située rue René Dumont, reçoit les effluents d'une surface imperméabilisée à 75 % (Jankowsky, 2012). Les eaux provenant des réseaux de noues rejoignent le ruisseau des Gohards.



FIGURE 11: Nœud de la rue René Dumont

L'écoquartier dispose également de toitures végétalisées extensives pour temporiser les écoulements d'eaux pluviales. L'étude s'intéresse à l'un des toits végétalisés du groupe scolaire Julien Gracq d'une superficie d'environ 216 m². La végétation ne recouvre pas l'ensemble du toit, elle a été appliquée par bande laissant à l'air libre une grande surface de revêtement bitumineux. Cette végétation, qui occupe finalement une surface de 104 m² sur les 216 m² (Fig. 12), est composée de plantes grasses de type sédum reposant sur un substrat de matière organique et de pouzzolane. Ce travail s'intéresse aussi à l'un des toits de Nantes Habitat d'une superficie d'environ 85 m². Il est quant à lui entièrement recouvert de sédum.



FIGURE 12: Toitures végétalisées de l'école (à gauche) et de Nantes Habitat (à droite)

Enfin, un bassin de rétention en béton, se présentant sous la forme d'un canal (environ 200 mètres), structure l'axe Nord-Sud de l'écoquartier (Fig. 9 et 13). Il permet de recueillir les eaux pluviales de la place, de l'école et des habitations qui rejoignent ensuite le réseau enterré. Ce canal végétalisé est alimenté par l'eau de la nappe à l'aide d'une éolienne lors des périodes d'étiage; il est constitué à l'aval d'un bassin pédiluve.



FIGURE 13: Canal de rétention

3.2. Méthodologie de l'enquête

Dans l'optique d'affiner l'origine des sources de polluants, une enquête a été menée sur l'écoquartier Bottière Chénaie. Elle a été effectuée en parallèle à des mesures sur les eaux pluviales. Le but est de réaliser un bilan de l'utilisation des traitements de surface sur l'ensemble du site. La méthodologie mise en place par Le Barbu (2012) sur le bassin versant du Pin Sec a été reprise.

3.2.1. Découpage de l'écoquartier

Pour faciliter l'enquête et avoir une vue d'ensemble, le site a été découpé en plusieurs zones en fonction des gestionnaires (Fig. 14):

- Les jardins collectifs, le parc linéaire et les chemins communaux, les toitures végétalisées de la médiathèque et du groupe scolaire et les noues sont gérés par le Service des Espaces Verts et de l'Environnement (SEVE) de la ville de Nantes.
- Les routes et les trottoirs sont entretenus par le service nettoyage de Nantes Métropole.
- La ligne de tramway et ses abords sont sous la responsabilité du Semitan.
- Les habitats collectifs et leurs espaces verts sont gérés par différentes structures (bailleurs sociaux, syndicat de copropriété) suivant les îlots (Tab. 3). 4 îlots sont en cours de construction, aussi ils ne sont pas pris en compte dans l'étude.

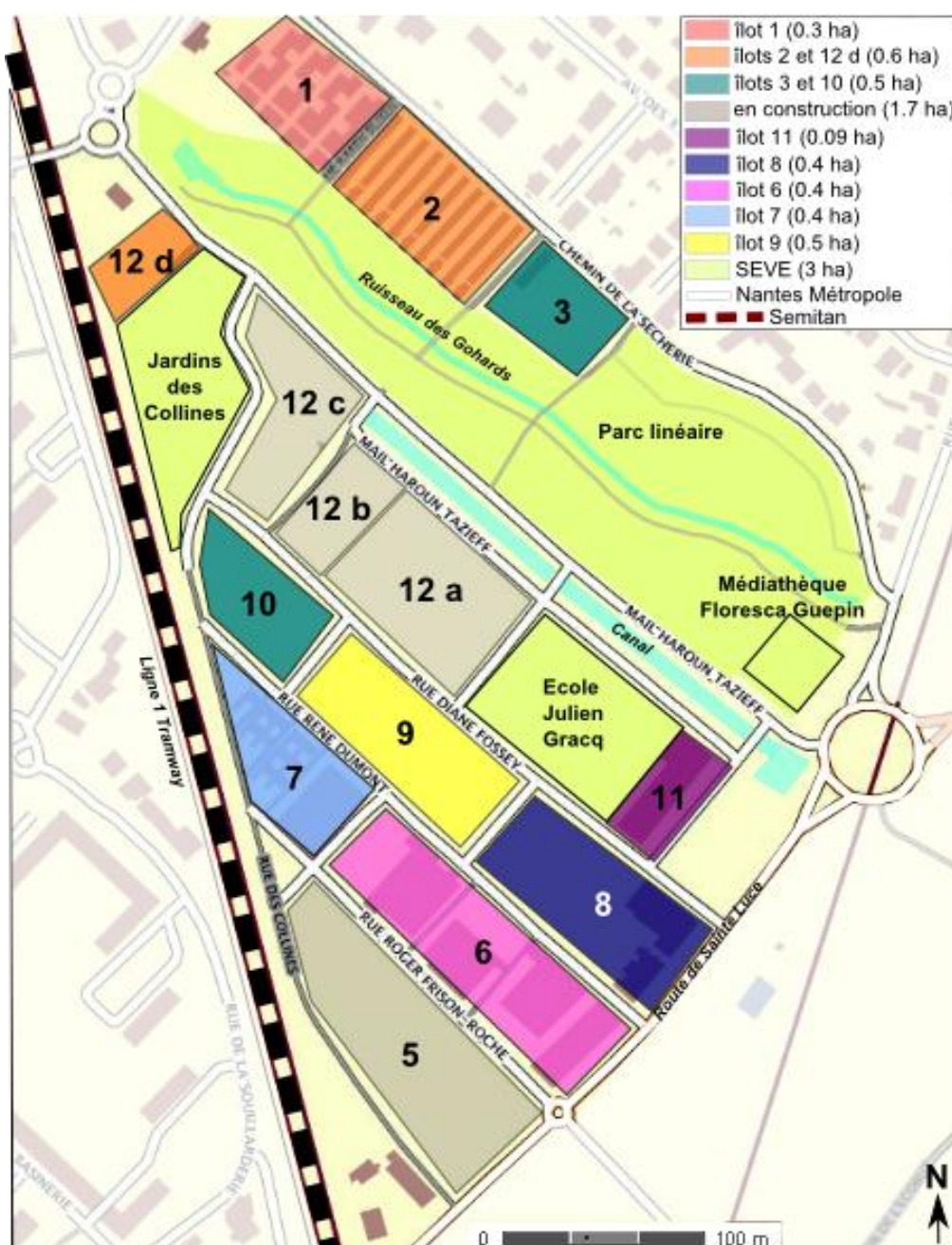


FIGURE 14: Zones d'entretien des surfaces selon les exécutants

TABLEAU 3: Exécutants pour chaque îlot

Ilot	Nom	Exécutant
1	Le Nouveau Monde	Bailleur social
2	La Sécherie	Bailleur social
3	La Résidence du Parc	Syndicat de copropriété
6	La Résidence Naturalie	Syndicat de copropriété
7	Le Domaine de la Chénaie	Promoteur/locatif social
8	Villa des Arts (avec Foyer Jeune Travailleur)	Syndicat de copropriété
9	La Bourdaine	Bailleur Social
10	Les Mélézes et La Roselière	Syndicat de copropriété
11	Val de l'Aubinière	Bailleur social
12 d	Les Collines	Bailleur social

3.2.2. Elaboration des questionnaires

Trois formulaires d'enquête ont donc été réalisés: un pour les espaces verts, un pour les voiries, et un pour les habitats collectifs (Annexes 2, 3 et 4). Le Barbu (2012) s'était appuyée sur une enquête du CROPPP (2010) pour la réalisation des questionnaires. Aussi, ils ont été repris et adaptés en conséquence lors de cette étude.

Les renseignements ont été récoltés par téléphone, mail et parfois directement sur place. Des informations auprès du SEVE, de Nantes Métropole, des bailleurs sociaux et des syndicats de copropriété ont été obtenues. Concernant les îlots 3 et 10, aucune information n'a été obtenue auprès du syndicat de copropriété gérant ces deux îlots (environ 0.5 ha). Les bâtiments des îlots 12a, 12b, 12c et 5 sont en cours de construction ; aussi, ils ne sont pas pris en compte lors de cette étude (environ 1.7 ha) (Fig. 14).

3.3. Campagne de prélèvements

Des campagnes d'échantillonnage ont été menées sur l'écoquartier de Juillet 2013 à Octobre 2013 afin d'étudier l'impact des techniques alternatives sur la qualité des eaux pluviales. Il s'agit de s'intéresser aux pesticides (Herbicide : AMPA, Glufosinate, Glyphosate, 2,4 MPCA, Isoproturon et Mecoprop. Fongicide : Carbendazime), aux métaux et métalloïdes (Tab. 4). Ces familles de polluants ont été choisies en raison de leur présence fréquente dans les eaux urbaines ; les pesticides sélectionnés sont ceux qui avaient été précédemment détectés sur le bassin du Pin Sec (projet INOGEV).

TABLEAU 4: Méthodes d'analyses chimiques utilisées pour le dosage des micropolluants

Métaux	Méthodes d'analyse	Pesticides	Méthodes d'analyse
<i>Arsenic</i>	ICP – MS	<i>AMPA</i>	LC/fluor
<i>Cadmium</i>	ICP – MS	<i>Glufosinate</i>	LC/fluor
<i>Chrome</i>	ICP – MS	<i>Glyphosate</i>	LC/fluor
<i>Cobalt</i>	ICP – OES	<i>2,4 MPCA</i>	LC/MS/MS
<i>Cuivre</i>	ICP – MS	<i>Carbendazime</i>	LC/MS/MS
<i>Nickel</i>	ICP – MS	<i>Isoproturon</i>	LC/MS/MS
<i>Plomb</i>	ICP – MS	<i>Mecoprop</i>	LC/MS/MS
<i>Strontium</i>	ICP – OES		
<i>Titane</i>	ICP – OES		
<i>Vanadium</i>	ICP – MS		
<i>Zinc</i>	ICP – OES		

Des prélèvements d'eau ponctuels et par temps de pluie ont été réalisés en différents points (Fig. 9 et 15):

- amont et aval du ruisseau des Gohards ouvert;
- aval du canal de rétention;
- aval de la noue présente rue René Dumont;
- sortie de l'une des toitures végétalisées (environ 216 m²) de l'école Julien Gracq;
- sortie de l'une des toitures végétalisées (environ 85 m²) de Nantes Habitat (NH).

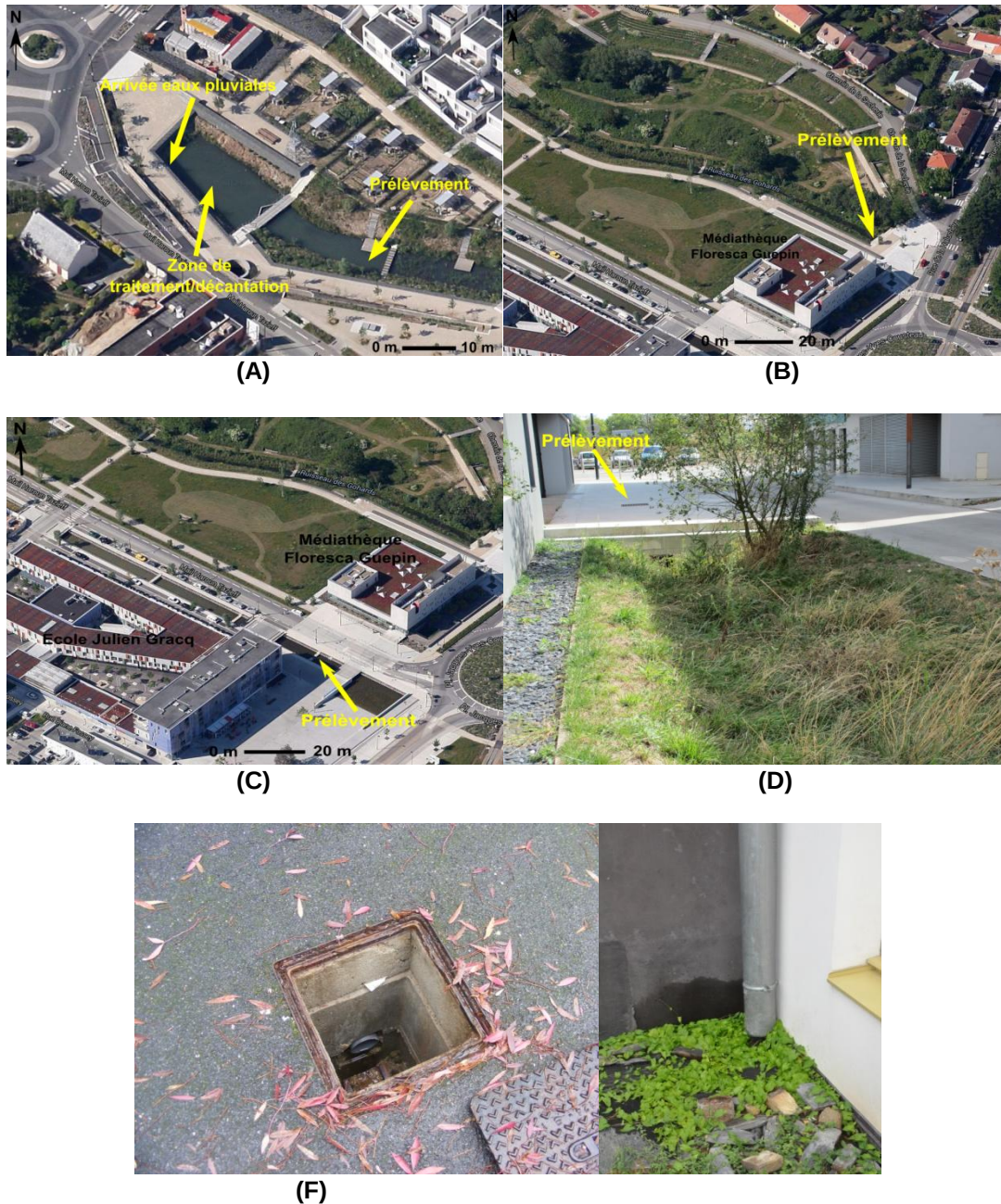


FIGURE 15: Différents lieux de prélèvements. (A) Amont du ruisseau, (B) Aval du ruisseau, (C) Aval du Canal de rétention, (D) Aval de la noue, (E) Sortie du toit vert de l'école et (F) Sortie du toit vert de Nantes Habitat

Ces prélèvements ont été effectués manuellement; en plongeant directement un flacon dans l'eau du ruisseau, du canal et de la noue. Quant aux sorties des toitures végétalisées, elles ont été instrumentées à l'aide de flacons échantillonneurs. Dans certains cas, faute d'avoir un événement pluvieux important, le prélèvement n'était pas possible (ex: noue, toit végétalisé de Nantes Habitat). De ce fait, le nombre de prélèvements est différent d'un site à l'autre (Tab. 5).

Deux flacons en verre d'un litre et un tube en plastique de 50 mL étaient réservés aux prélèvements pour l'analyse des pesticides et un flacon en plastique de deux litres était réservé aux prélèvements pour l'analyse des métaux et des paramètres globaux. Le laboratoire Eau et Environnement (IFSTTAR) a réalisé l'analyse chimique des métaux par spectrométrie d'émission atomique à plasma induit (ICP-OES : NF ISO 11885) et par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS : NF ISO 17294). Le laboratoire IDAC a réalisé le dosage chimique des pesticides par

chromatographie liquide couplée à un détecteur fluorimétrique (LC/Fluo : NF ISO 21458) et par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC/MS/MS : méthode interne E5/MA/06) (Tab. 4).

TABLEAU 5: Nombre de prélèvements destinés à l'analyse des métaux et des pesticides sur chacun des sites

Temps de pluie						
	Ruisseau Amont	Ruisseau Aval	Canal	Toit végétalisé école	Toit végétalisé NH	Noue
Métaux	8	8	8	12	8	7
Pesticides	7	7	7	11	7	5

3.4. Outils d'analyse des données

3.4.1. Tests statistiques

- Test de Student

Ce test est utilisé pour comparer deux échantillons indépendants (k_1 et k_2) et identifier si les échantillons indépendants proviennent d'une même population ou de deux populations différentes. Ce test a été utilisé avec un seuil significatif de $\alpha = 0.05$ et les hypothèses suivantes: $H_0 : k_1=k_2$ et $H_1 : k_1 \neq k_2$.

- Test de Kruskal Wallis

Ce test est utilisé pour montrer que k échantillons indépendants sont issus de la même population. Il permet de comparer ces échantillons ($k_1, k_2, k_3, \dots$) et d'identifier si leurs moyennes sont identiques ou significativement différentes. Ce test a été utilisé avec un seuil significatif de $\alpha = 0.05$.

3.4.2. Corrélation de Pearson

Le coefficient de corrélation de Pearson constitue une mesure de l'intensité de liaison entre deux variables. Ce coefficient est nul lorsqu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables. Les valeurs de coefficient proches de 1 ou -1 impliquent une bonne corrélation entre les variables.

4. Les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces des sites étudiés

Dans cette partie, il s'agit de présenter les résultats de l'enquête menée sur les pratiques d'entretien des surfaces de l'écoquartier. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus par Le Barbu (2012) sur le bassin versant du Pin Sec.

4.1. Résultats sur l'écoquartier

4.1.1. Les espaces verts publics

Le SEVE est en charge de l'entretien du parc linéaire Bottière Chénaie qui s'étend sur environ 3ha sur la partie Nord-Ouest de la ZAC (5 ha sur l'ensemble de la ZAC) (Fig. 9 et 14). Il a mis en place une gestion différenciée selon le type de l'espace. Les parties engazonnées sont tondues régulièrement, tout comme les bordures des allées pour montrer la présence des services. Le désherbage des chemins sablés est simplement effectué par le piétinement des passants. Les massifs d'arbustes sont entretenus avec un paillage en paillettes de schistes et un désherbage manuel ou mécanique en fonction de la surface et des plantes présentes. Le reste du parc est laissé en prairie de fauche et ne nécessite pas d'entretien sauf pour la suppression de plantes indésirables. Le ruisseau fait l'objet de peu d'interventions; elles sont généralement de type sécuritaire lors de gros orages. L'une des berges est occupée par une végétation prairiale qui nécessite deux interventions par an et l'autre est constituée d'arbustes avec une intervention tous les 4 à 6 ans.

Le SEVE s'occupe également des noues présentes sur l'écoquartier; elles demandent un fauchage avec exportation à une fréquence annuelle. Les toitures végétalisées de la Médiathèque Floresca Guepin et de l'école Julien Gracq sont entretenues par le SEVE qui intervient à raison d'une fois par an afin d'observer l'état de la végétation et nettoyer l'accumulation de matière organique. L'entretien du toit de la médiathèque n'est pour l'instant pas possible en raison d'un contentieux lié à des problèmes d'infiltration. Le canal de rétention a été végétalisé par le paysagiste de l'écoquartier et le SEVE afin de réduire l'invasion d'éphémères (insectes) survenue durant l'été 2011. Enfin, les jardins familiaux collectifs des Collines sont sous la responsabilité du SEVE mais sont gérés par une association. Les parcelles sont attribuées à des personnes qui se doivent de respecter une charte interdisant l'emploi des pesticides.

4.1.2. Les voiries et la ligne de tramway

Le service nettoyage de Nantes Métropole est en charge de l'entretien des chaussées et des trottoirs. Du fait d'un désherbage mécanique avec paroir et rotofil, aucun pesticide n'est employé. Une mini-aspiratrice est passée tous les 15 jours et un lavage à l'eau est effectué tous les mois. Concernant l'entretien des voies des lignes de tramway, des herbicides sont employés. Les informations sont confidentielles et ne peuvent être révélées.

4.1.3. Les habitats

Les entreprises privées engagées par le bailleur social des îlots 2 et 12d et le syndic de copropriété de l'îlot 8 utilisent des pesticides pour l'entretien extérieur des surfaces. Il s'agit d'herbicide constitué de glyphosate à raison de 360 g L⁻¹. Les interventions ont lieu au printemps et à l'automne avec un volume de 10 à 30 litres pour l'entretien de tous les espaces dont ils sont en charge. Les deux entreprises prennent en compte les zones à risques (cours d'eau, bouche d'égout) et les conditions météorologiques; de même elles n'interviennent pas en cas de vent. Une gestion différenciée est appliquée sur l'îlot 8 se traduisant par un désherbage manuel des massifs. De plus, l'entreprise est équipée d'un osmobac qui permet le traitement des effluents phytosanitaires. Les freins par rapport à une gestion alternative sont le coût et le temps pour l'entreprise s'occupant des îlots 2 et 12d (Fig. 14).

Le bailleur social gérant l'îlot 1 reconnaît utiliser des produits phytosanitaires pour le nettoyage des façades mais aucun produit n'est appliqué sur les espaces minéraux. Le type de produit employé n'a pas été précisé.

Pour l'entretien des autres îlots (6, 7, 9 et 11), aucun pesticide n'est employé. Le syndicat de copropriété de l'îlot 6 a pour objectif de faire valoir la volonté de vivre dans un écoquartier ; aussi, la société employée travaille avec des méthodes mécaniques et manuelles (désherbage). Seule, la chaux est utilisée en prévention (anti-mousse) sur les pelouses. Nantes Habitat effectue également un désherbage manuel et/ou mécanique. La terrasse végétalisée de l'îlot 7 ne demande aucun entretien.

La Figure 16 permet de faire un bilan sur les pratiques d'entretien de l'ensemble des bâtiments de l'écoquartier. En considérant les 10 îlots (excepté ceux en construction: 4 îlots), l'école Julien Gracq et la médiathèque Floresca Guepin, 50 % d'entre eux (environ 2.3 ha) sont entretenus avec des moyens naturels (désherbage manuel et/ou mécanique, pas d'entretien) et 25 % sont entretenus (environ 1 ha) avec des produits phytosanitaires (glyphosate).

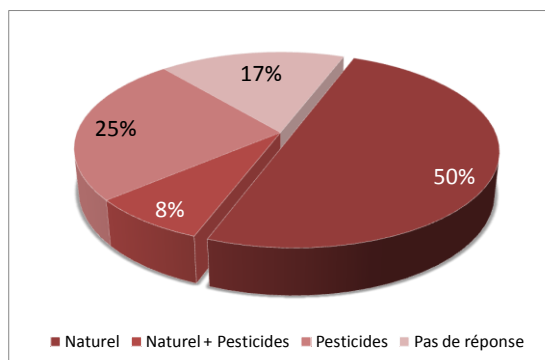


FIGURE 16: Entretien des bâtiments (habitats, école et médiathèque) et de leurs espaces verts

Les résultats sur le bassin versant du Pin Sec et sur l'écoquartier Bottière Chénaie mettent en avant une utilisation modérée des produits phytosanitaires au profit de pratiques naturelles. Finalement, les pratiques sont globalement identiques d'un site à l'autre.

4.1.4. Limites de l'enquête

Certaines données sont manquantes et ne permettent pas de faire un bilan complet; les pratiques d'entretien de deux résidences ne sont pas connues ce qui représente environ 0.5 ha sur les 15 ha de la partie Nord-Ouest de l'écoquartier. De plus, certains bâtiments sont encore en construction (1.7 ha).

Il a été difficile d'obtenir les informations sur les molécules employées, aussi les données ne sont pas complètes.

5. Impact de la gestion alternative sur la qualité des eaux pluviales

Comme il a été vu précédemment, une gestion alternative a été mise en place sur l'écoquartier au travers de noues, de toitures végétalisées et de bassins de rétention. Cette partie vise à étudier l'impact de cette gestion sur la qualité des eaux pluviales en considérant également les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces. Ces résultats sont comparés à ceux du bassin versant du Pin Sec qui est adjacent à la ZAC afin de mettre en avant une éventuelle différence.

5.1. Caractéristiques pluviométriques des événements pluvieux

Trois pluviomètres à augets, situés sur le bassin versant du Pin Sec et le bassin versant des Gohards, ont permis la mesure des pluies. Les données obtenues sur les trois pluviomètres sont comparées entre elles afin de valider les données. Elles sont ensuite moyennées, et considérées représentatives de la pluviométrie sur l'écoquartier. Le tableau 6 récapitule les caractéristiques pluviométriques des événements ayant donné lieu à des prélèvements. Aucune donnée n'est fournie sur la pluie collectée le 30 Septembre 2013. Il est donc supposé que l'événement pluvieux était très localisé et n'a pas été enregistré par les pluviomètres.

TABLEAU 6: Caractéristiques des événements pluvieux collectés pour les eaux pluviales du canal (C), de la noue (N), de la toiture de l'école (E), de la toiture de Nantes Habitat (NH) et du ruisseau (R)

Site	Date de prélèvement	Hauteur d'eau (mm)	Intensité max à 5 min (mm/h)	Durée de temps sec (min)
N, R	23/07/2013	23,7	68,7	20 j
E, NH	29/07/2013	19,0	65,2	5h
E	26/08/2013	5,6	4,7	9j
C, E, R	09/09/2013	3,4	2,4	21j
E, N, NH	16/09/2013	39,5	17,6	4.7j
C, E, NH, R	18/09/2013	3,9	3,2	43h
E	30/09/2013	-	-	-
E	01/10/2013	3,6	9,5	13.4j
C, E, N, NH, R	03/10/2013	9,1	31,7	35h
C, E, N, NH, R	14/10/2013	5,5	4,9	54h
C, E, N, NH, R	15/10/2013	17,9	9,7	15h
C, E, N, NH, R	16/10/2013	5,3	7,3	290
C, E, N, NH, R	23/10/2013	3,0	21,6	960

Les caractéristiques sont variables d'une campagne à l'autre, d'autant plus sur la période estivale où les durées de temps sec avant l'événement pluvieux sont longues, jusqu'à 21 jours et les intensités maximales de pluie parfois importantes : 69 mm/h.

La figure 17 permet de visualiser la représentativité des événements pluvieux sur la période d'étude de Juillet 2013 à Octobre 2013 en considérant la fréquence des précipitations en termes de hauteur d'eau, d'intensité maximale à 5 min et de durée de temps sec. Sur cette période de 4 mois, un total de 24 événements pluvieux a été recensé. Dans plus de 35 % des cas, il est tombé moins de 5 mm lors de l'événement pluvieux. Pour 63 % des précipitations, l'intensité maximale à 5 min ne dépasse pas 15 mm/h. Enfin, la durée de temps sec avant l'événement est inférieure à 48 h pour 50 % des pluies.

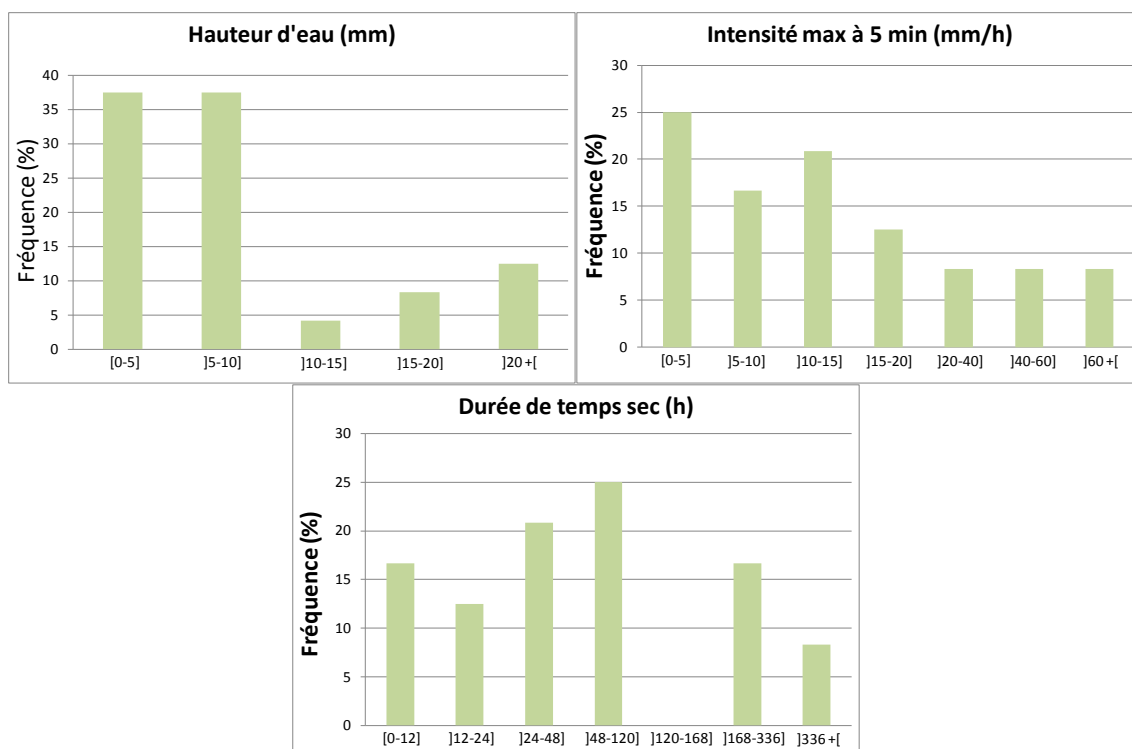


FIGURE 17: Distribution des hauteurs d'eau, des intensités maximales et des durées de temps sec pour l'ensemble des événements pluvieux de Juillet 2013 à Octobre 2013

La représentativité des événements pluvieux échantillonnés est également évaluée à l'aide de la figure 18. Globalement, les hauteurs d'eau et les intensités des pluies collectées sont représentatives des caractéristiques pluviométriques observées sur la période des quatre mois. Ainsi, de la même manière que pour l'ensemble des pluies sur les 4 mois, la hauteur d'eau précipitée est inférieure à 5 mm dans plus de 30 % des cas. Pour 58 % des précipitations, l'intensité maximale à 5 min ne dépasse pas 15 mm/h.

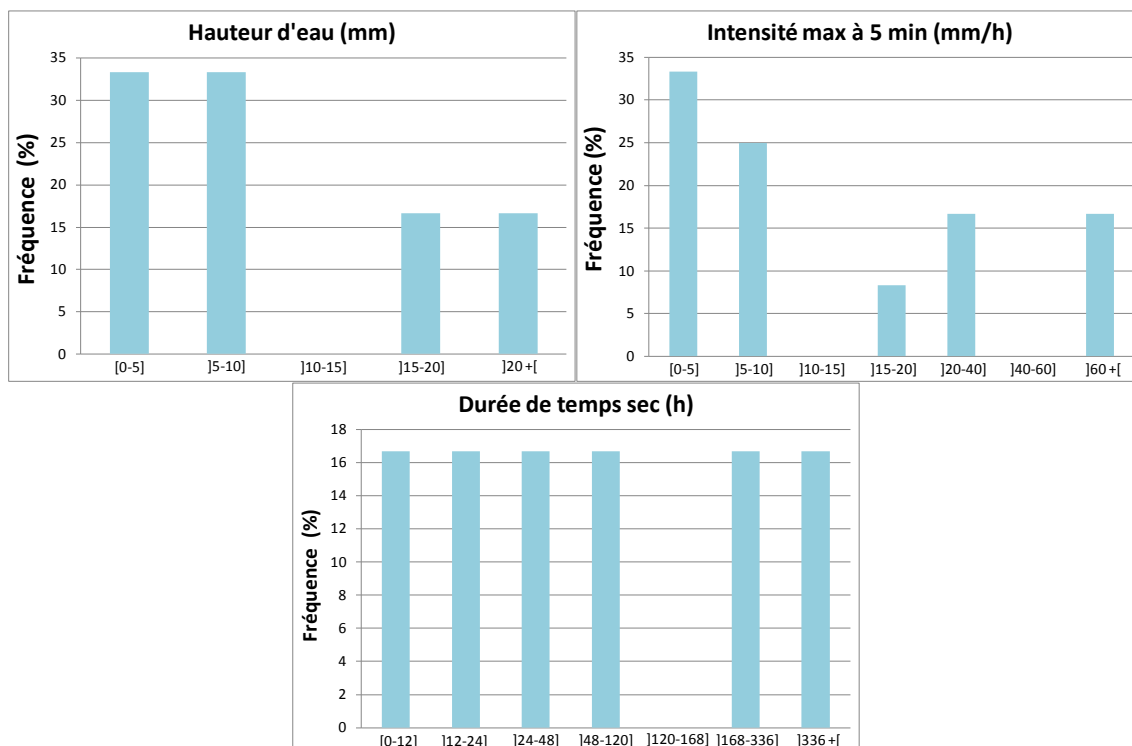


FIGURE 18: Distribution des hauteurs d'eau, des intensités maximales et des durées de temps sec pour les événements collectés lors de l'étude

5.2. Paramètres globaux

Les eaux collectées sur les différents ouvrages présentent des valeurs de pH autour de la neutralité avec des valeurs moyennes variant de 6.4 à 7.9.

La conductivité varie de 106 à 258 $\mu\text{S cm}^{-1}$ selon les sites avec des valeurs plus faibles sur les toitures végétalisées (Toit école: 106 $\mu\text{S cm}^{-1}$ et toit NH: 160 $\mu\text{S cm}^{-1}$). La dégradation des chaussées et le lessivage des particules sur celles-ci doivent apporter des concentrations en ions plus élevées dans les eaux de la noue, du canal et du ruisseau. Les eaux de toitures sont faiblement minéralisées (conductivité < 180 $\mu\text{S cm}^{-1}$) ce qui représente un risque de corrosion pour les matériaux pouvant entraîner une dissolution de métaux comme le plomb. Quel que soit le site, les valeurs sont inférieures à la norme de qualité qui est de 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pour les eaux destinées à la consommation humaine. La conductivité d'une eau naturelle varie généralement entre 50 et 1500 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Les teneurs moyennes en matière en suspension (MES) varient entre 2 et 13 mg L^{-1} ; elles ne dépassent pas la norme réglementaire qui prévoit une valeur limite de 25 mg L^{-1} pour les eaux destinées à la consommation humaine (Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001). Seules les teneurs mesurées dans les eaux issues de la toiture de l'école dépassent cette norme avec une concentration moyenne de 35 mg L^{-1} . En effet, le lessivage du toit a entraîné beaucoup de matière organique. Pour le carbone organique total (COT), le même constat peut être fait avec des teneurs plus élevées sur le toit de l'école (74 mg L^{-1}). Pour les autres eaux, les valeurs moyennes varient de 8 à 49 mg L^{-1} .

5.3. Métaux

5.3.1. Détection des éléments

Tous les éléments métalliques étudiés présentent des concentrations supérieures aux limites de quantification¹ (LQ) excepté Co et Mo (< 50%). Quant au Cd, il est quantifié dans les eaux du ruisseau et du toit de Nantes Habitat à plus de 75 % mais les concentrations restent très proches de la LQ (0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$). De plus, il est peu voire non quantifié dans les eaux du canal, de la noue et du toit de l'école (Tab. 7). Il est donc considéré que Co, Mo et Cd sont peu présents.

TABLEAU 7: Quantification (%) des métaux dans les eaux de chaque ouvrage

	Ruisseau Amont	Ruisseau Aval	Canal	Toit école	Toit NH	Noue
As, Cu, Ni, Sr, V, Zn	100%					
Cd	88%	75%	0%	8%	88%	0%
Co	< 50%					
Cr	> 75%					
Mo	< 25 %					
Ti	> 50%					

5.3.2. Analyse des données

Globalement, au niveau de chaque ouvrage alternatif, des teneurs élevées en Zn, Sr et Cu sont constatées (Fig. 20). En sortie des toits végétalisés, cette contamination serait issue des matériaux de construction. Le Zn provient de la gouttière galvanisée du toit de Nantes Habitat et des structures et regards galvanisés sur le toit de l'école. Des analyses (au fluorimètre de terrain) de la couche bitumineuse du toit de l'école ont révélé des teneurs importantes en Sr (574 mg kg^{-1}) expliquant ainsi ces résultats dans les eaux. Pour ce qui est du ruisseau, du canal et de la noue, ces éléments pourraient provenir du ruissellement des eaux sur les toits et sur les chaussées où les dépôts en Zn, Sr et Cu occasionnés par le trafic automobile sont importants (combustion du carburant, usure des plaquettes de freins et des pneus...).

Concernant les eaux du ruisseau des Gohards, les concentrations en amont et en aval sont identiques pour As, Cr, Ni, Pb, Ti et V et légèrement plus faibles en aval pour Cu et Zn (Cu amont: 18 $\mu\text{g.L}^{-1}$, Cu aval: 15 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et Zn amont: 107 $\mu\text{g.L}^{-1}$, Zn aval: 75 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en moyenne) (Fig. 19). L'aménagement du ruisseau semble atténuer très légèrement la pollution. Toutefois, il convient de rester prudent sur cette hypothèse. Les tests statistiques de Student avec un seuil d'erreur de 5% ($\alpha = 0.05$) confortent bien

¹ Limite de quantification (LQ) : plus petite concentration ou teneur de l'analyte pouvant être quantifiée, avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. En fait, il s'agit de la limite à partir de laquelle le résultat est donné avec une probabilité considérée comme acceptable.

ces résultats. Toutefois, ils ne montrent pas une différence significative entre l'aval et l'amont pour les teneurs en Cu.

Les eaux de la noue sont marquées par une concentration moyenne plus élevée en Cu ($28 \mu\text{g L}^{-1}$) (test Kruskal Wallis: $\alpha = 0.05$) qui pourrait s'expliquer par les rejets des pompes vide cave s'évacuant par les canalisations. Les informations sur ces pompes n'ont pas été communiquées, il est donc difficile de savoir s'ils affectent un parking ou bien des caves. Des analyses du sol (au fluorimètre de terrain) à différents endroits de la noue (amont, aval, sortie de canalisation) ont montré des teneurs importantes en Cuivre (73 mg kg^{-1}) aux abords de l'une des sorties de canalisation. Ces analyses de sol ont également révélé des quantités de Zn (1120 mg kg^{-1}), Pb (99 mg kg^{-1}) et Ti (1755 mg kg^{-1}) élevées en sortie de canalisation alors que les concentrations en Pb et Ti dans les eaux ne sont pas si élevées. L'infiltration et la décantation des eaux dans la noue permettent un prétraitement des eaux pluviales, se traduisant toutefois par un stockage des éléments dans le sol.

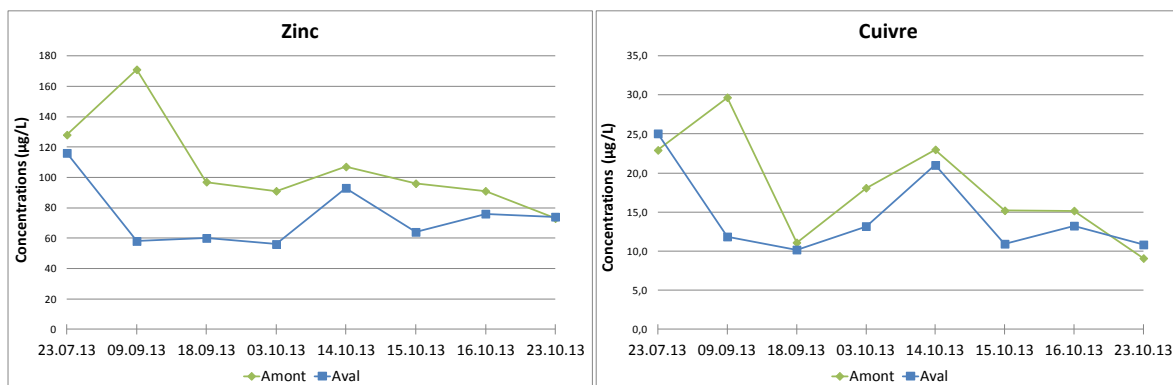


FIGURE 19: Concentrations en Zinc (à gauche) et en Cuivre (à droite) à l'amont et à l'aval du ruisseau des Gohards

Les eaux issues des toits végétalisés sont chargées en Pb, en particulier celles du toit de l'école ($230 \mu\text{g L}^{-1}$). Ces charges importantes s'expliqueraient par la présence de matériaux en acier galvanisé sur les deux toits ainsi que par la présence de PVC au bout de la descente pour le toit de l'école (Fig. 15 E); le plomb est en effet utilisé comme adjuvant dans le PVC. La partie en PVC de la descente du toit de l'école est à l'horizontal favorisant la stagnation de l'eau ce qui expliquerait les teneurs en Pb plus importantes que dans les eaux issues de la toiture de Nantes Habitat. De plus, les faibles conductivités des eaux de toitures ont pu accroître la corrosion des matériaux et ainsi faciliter la dissolution du Pb.

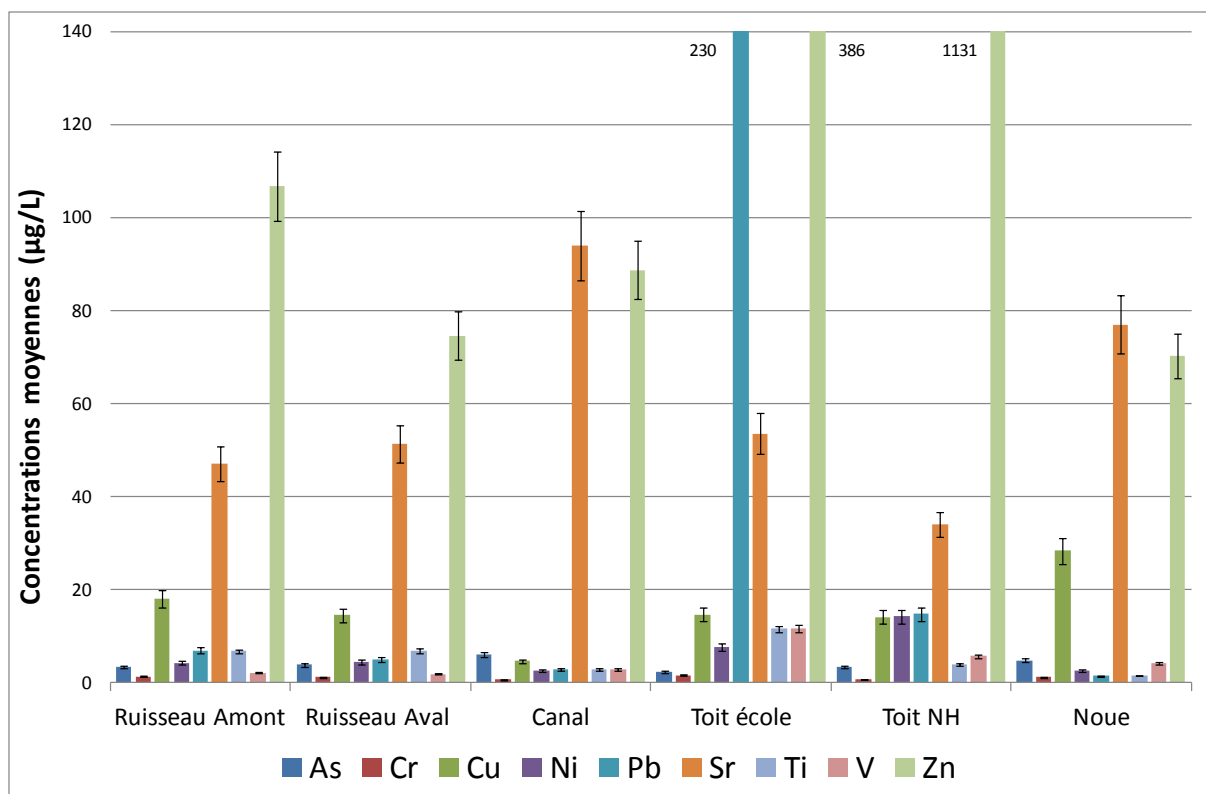


FIGURE 20: Concentrations moyennes en métaux traces dans les eaux des ouvrages alternatifs

Par rapport aux Normes de Qualité Environnementale, les concentrations en Ni et Cr ne dépassent pas les seuils requis (20 et $3.4 \mu\text{g L}^{-1}$) contrairement à celles du Cu, V et Zn (cf annexe 1). Concernant les autres éléments, les résultats sont plus mitigés: Pb sur les toits, As sur la noue et le canal, et Ti sur les toits et le canal ne respectent pas les valeurs limites. Quant au Sr, il est difficile de le situer puisqu'il n'existe pas de valeur limite. Toutefois, il est inférieur aux teneurs observées dans la nappe ($136\text{--}152 \mu\text{g L}^{-1}$) impactées par le fond géochimique.

5.3.3. La spéciation des métaux

Afin de mieux comprendre le comportement des ETM dans les eaux pluviales, il semble intéressant de s'attacher à leur répartition entre les phases dissoute ($< 0.45 \mu\text{m}$) et particulaire (Fig. 21). La distribution des polluants est un phénomène important à prendre en considération puisqu'elle détermine leur devenir dans l'environnement et notamment leur impact sur le système aquatique. La spéciation des métaux évolue en fonction des conditions physico-chimiques du milieu, mais aussi de la biodisponibilité, voire de la toxicité du métal (Varrault, 2012). Les métaux peuvent s'adsorber sur les particules présentes dans les milieux aquatiques telles que les MES. Ces particules deviennent alors non seulement un puits, mais également une source de polluants (Ayrault, 2007). En effet, les métaux peuvent passer de la phase particulaire à la phase dissoute par des processus de relargage des particules dans certaines conditions biogéochimiques.

Concernant les eaux à l'amont du ruisseau des Gohards, As, Ni, Sr, V et Zn sont présents en majorité dans la phase dissoute ($>67\%$), Cu est partagé entre les deux fractions, et Cr, Pb et Ti sont principalement dans la phase particulaire ($> 65\%$). A l'aval du ruisseau des Gohards, la même répartition est observée. Dans les eaux du canal, As, Ni, Sr, V et Zn sont répartis majoritairement dans la phase dissoute ($> 62\%$). Les autres éléments sont plutôt partagés entre les deux fractions. Dans la noue, As, Cr, Cu, Ni, Sr, V et Zn ($> 80\%$) sont dans la fraction dissoute tandis que Pb est partagé entre les deux. Quant au Ti, il est à 90% dans la phase particulaire. Enfin, concernant les eaux de toitures, As, Cu, Ni, Pb, Sr, V et Zn sont principalement dans la phase dissoute ($> 60\%$), Cr est partagé entre les deux fractions, Ti est partagé sur le toit NH et dans la phase particulaire sur le toit de l'école (61%),

Globalement, l'essentiel de la pollution se trouve dans la phase dissoute ; ce constat peut s'expliquer par les faibles teneurs en MES et conforte les observations faites sur les eaux de toitures du bassin du Pin Sec. En effet, les métaux vont avoir tendance à s'adsorber aux MES. Les polluants, qui sont plutôt dans la phase dissoute, sont susceptibles de précipiter lors de changements des conditions physico-chimiques (pH, potentiel rédox). Ces résultats sont d'autant plus surprenants que Pb a généralement une affinité pour la fraction particulaire (Priadi, 2010). En revanche, il faut noter que des

résultats très différents ont été obtenus à l'exutoire du réseau d'eaux pluviales du bassin versant du Pin Sec où la quasi-totalité des métaux était majoritairement sous forme particulaire ; les teneurs en MES étaient dans ce cas très supérieures.

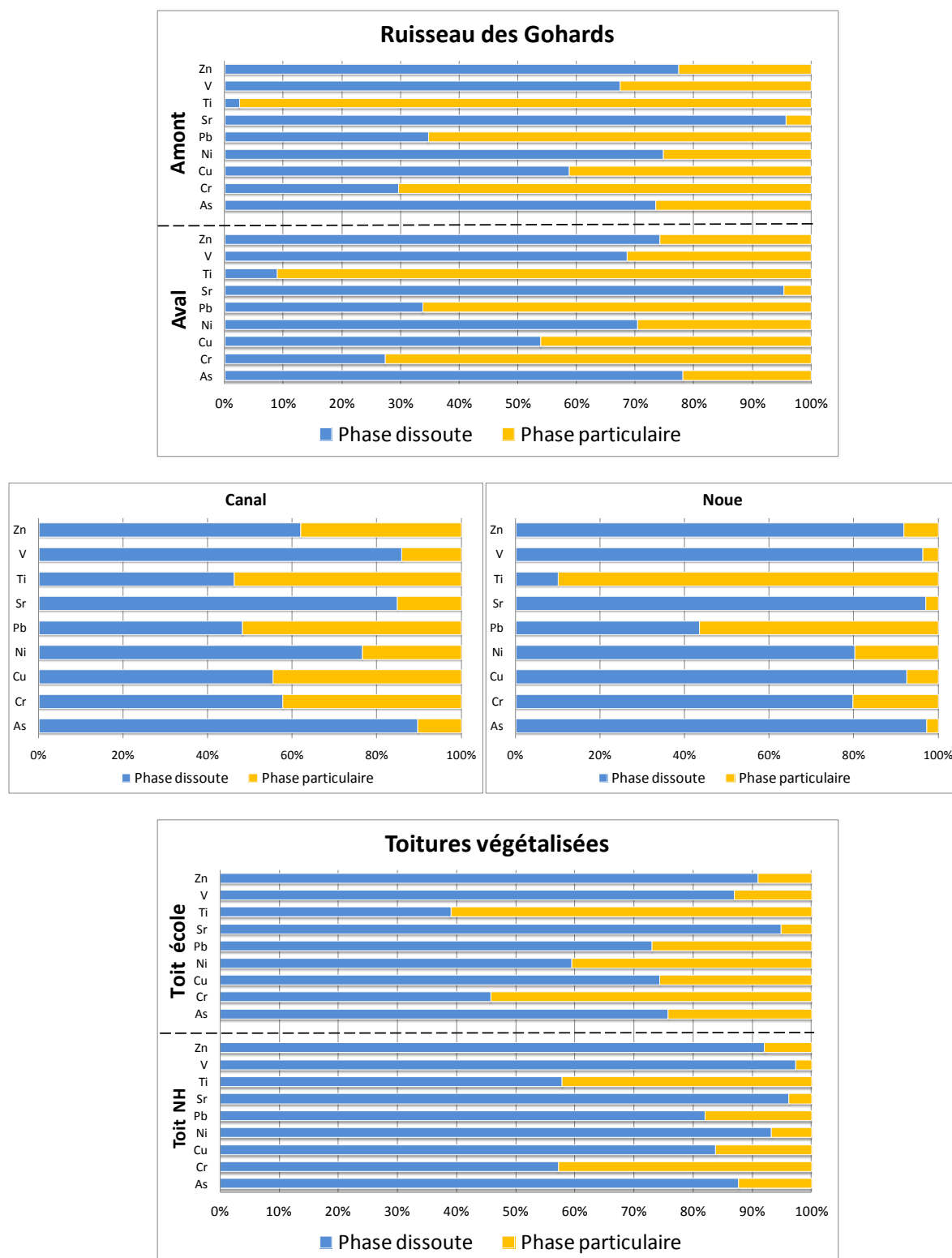


FIGURE 21: Répartition des métaux dans les phases dissoute et particulaire dans les eaux des toitures, de la noue, du canal et du ruisseau

5.3.4. Influence des caractéristiques pluviométriques sur les concentrations en métaux

Il s'agit d'évaluer l'influence des conditions météorologiques (hauteur d'eau totale: PT, intensité maximale à 5 min: Imax, et la durée de temps sec: DTS) sur les concentrations en métaux et en MES. Pour ce faire, une approche statistique a été utilisée : corrélation de Pearson. Elle permet de mettre

en avant l'intensité de la relation linéaire entre deux caractères. Les corrélations ont été réalisées sur les éléments présentant les plus fortes concentrations : Zn, Sr, Cu voire le Pb pour les toitures végétalisées (Tab. 8).

A l'amont du ruisseau, de bonnes corrélations sont observées entre la durée de temps sec et les concentrations en Zn et Cu (respectivement 0.898 et 0.782). Au regard des données pluviométriques et de concentrations, il s'avère que plus la durée de temps sec avant l'événement pluvieux est longue plus les teneurs en Zn et Cu sont importantes. Les autres paramètres ne semblent pas influencer les concentrations. Au contraire à l'aval du ruisseau et dans le canal, l'intensité de la pluie semble influencer les teneurs en Zn, Cu et Sr. Dans la noue, Cu est bien corrélé à l'intensité et à la durée de temps sec (respectivement 0.853 et 0.932). Concernant les toitures végétalisées, seul Pb, l'intensité de la pluie et la durée de temps sec sont bien corrélés. Sur le toit de l'école, plus l'intensité de la pluie est faible plus les teneurs en Pb sont élevées. Ce constat est cohérent avec la configuration de la descente. En effet, le bout de la descente, qui est horizontale, est en PVC. Une faible intensité de pluie peut entraîner une stagnation des eaux dans cette partie favorisant alors un enrichissement en Pb.

Finalement, les résultats des corrélations sont extrêmement variables d'un site à l'autre. La hauteur de pluie tombée ne semble pas influencer les concentrations en polluants. L'intensité de la pluie et la durée de temps sec jouent un rôle sur certains sites et pour certains éléments seulement. Certains facteurs peuvent remettre en question la fiabilité de ces corrélations: les données reposent sur une courte durée (4 mois), les données pluviométriques ont été extrapolées à l'écoquartier alors qu'elles sont mesurées sur le site du Pin Sec. Il convient donc de rester très prudent quant à l'interprétation de ces données.

TABLEAU 8: Coefficients de corrélation de Pearson entre les caractéristiques des événements pluvieux et les concentrations en métaux

Ruisseau Amont				Ruisseau Aval			
	PT	I _{max}	DTS		PT	I _{max}	DTS
Zn	0,089	0,021	0,898	Zn	0,544	0,654	0,343
Sr	-0,542	-0,557	0,371	Sr	-0,523	-0,532	0,496
Cu	0,147	0,111	0,782	Cu	0,546	0,652	0,450

Canal				Noue			
	PT	I _{max}	DTS		PT	I _{max}	DTS
Zn	0,486	0,547	-0,190	Zn	-0,063	0,434	0,315
Sr	-0,593	-0,753	-0,804	Sr	0,005	-0,290	-0,403
Cu	0,718	0,865	0,458	Cu	0,289	0,853	0,932

Toiture de l'école				Toiture de Nantes Habitat			
	PT	I _{max}	DTS		PT	I _{max}	DTS
Zn	0,291	0,050	0,026	Zn	0,055	-0,274	0,111
Sr	0,350	-0,220	0,121	Sr	-0,027	0,003	0,034
Cu	-0,084	-0,195	0,411	Cu	-0,020	0,446	-0,194
Pb	-0,166	-0,514	0,796	Pb	0,005	0,646	-0,279

5.3.5. Comparaison avec le bassin versant du Pin Sec

En comparant ces résultats avec les concentrations en métaux obtenues lors de précédentes études (Tab. 9) (Lamprea, 2009; Gasperi et al, 2013) à l'exutoire du réseau d'eaux pluviales du bassin versant du Pin Sec, il apparaît que les teneurs dans le ruisseau, le canal et la noue se situent globalement dans les mêmes gammes (As, Cr, Cu et Ni); elles sont plus faibles pour certains éléments (Pb, Ti et Zn). Cependant, des concentrations plus élevées en Sr sont constatées sur l'écoquartier (47–94 µg L⁻¹) (Test Kruskal Wallis: $\alpha = 0.05$); il semblerait donc que l'apport en Sr soit localisé. Les embruns marins, la centrale thermique à charbon à l'Ouest de la ville de Nantes (Cordemais) et le trafic automobile ne peuvent expliquer à eux seuls ces teneurs (Capo et al, 1998; ATSDR, 2004; Apeagyei et al, 2011). Elles pourraient être engendrées également par les matériaux de l'écoquartier;

en effet, le chromate de strontium peut être utilisé comme pigment résistant à la corrosion dans les peintures et pour le revêtement des métaux (CSST, 1995; CNAMTS, 2010; CMR, 2013). Enfin, les eaux issues des toits végétalisés de l'écoquartier sont plus chargées en métaux que celles issues de toits en ardoise ou en tôle de zinc sur le bassin versant du Pin Sec (Delamain, 2013). Seules les concentrations en Zn sont bien moins importantes (386–1131 $\mu\text{g L}^{-1}$). Ces résultats sont particulièrement dépendants des caractéristiques des toitures notamment des matériaux : structures galvanisées, couche bitumineuse.

TABLEAU 9: Concentrations métalliques ($\mu\text{g L}^{-1}$) obtenues sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier

	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
Ruisseau, canal, noue (cette étude)	3.4 - 6.0	0.6 - 1.4	4.6 -28.4	2.5 - 4.5	1.4 - 7.0	47.2 - 94.4	1.6 - 6.9	1.9 - 4.2	70.3-106.8
Exutoire réseau EP¹	4.0	1.5	14.8	3.1	16.2	29.0	26.4	4.1	126.3
Exutoire réseau EP²	-	7.5	31.0	5.0	21.0	-	-	-	146.0
Toit école, toit NH (cette étude)	2.3 -3.4	0.8 - 1.6	14.2 - 14.6	7.6 -14.3	14.8 - 229.9	34.0 - 53.6	4.0 -11.6	5.8 -11.6	385.7 - 1130.5
Toit ardoise³	0.9	1.0	4.3	2.8	4.1	2.8	1.1	0.4	1224.2
Toit en tôle de zinc³	0.2	4.5	4.2	2.5	9.2	5.6	2.2	0.5	4239.1

Cette étude : concentrations moyennes min et max.¹ Gasperi et al, 2013; Delamain, 2013 : concentrations moyennes.² Lamprea, 2009 : concentrations médianes.³ Delamain, 2013: concentrations moyennes.

5.4. Pesticides

Il convient de préciser que le transfert de pesticides dépend du type de surface, des doses utilisées et de leurs propriétés (Blanchoud et al, 2004).

5.4.1. Détection des éléments

La plupart des concentrations en pesticides sont inférieures aux LQ: glufosinate et 2,4 MCPA (< 50%) ou très légèrement au-dessus (AMPA, carbendazime, glyphosate et isoproturon) pour certains échantillons (Tab. 10). Les éléments peu détectés ne sont pas étudiés par la suite: glufosinate, 2,4 MCPA,

TABLEAU 10: Quantification (%) des pesticides dans les eaux de chaque ouvrage

	Ruisseau Amont	Ruisseau Aval	Canal	Toit école	Toit NH	Noue
AMPA	86%	100%	0%	18%	14%	100%
Carbendazime	86%	86%	43%	0%	0%	100%
Glufosinate	< 50%					
Glyphosate	100%	86%	0%	18%	0%	100%
Isoproturon	14%	14%	29%	0%	0%	100%
2,4 MCPA	< 50%					
Mecoprop	> 50%					

5.4.2. Analyse des données

Sur les toitures végétalisées, seul le mecoprop est systématiquement détecté. La toiture végétalisée de l'école présente une concentration moyenne en mecoprop élevée de 8 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Fig. 22). Ce résultat pourrait s'expliquer par la couche bitumineuse d'étanchéité du toit; en effet, le mecoprop est une matière active utilisée comme agent anti-racine qui pourrait être incorporé dans cette couche afin d'empêcher la pénétration des racines. Des études ont montré que cet herbicide issu de l'hydrolyse du préventol B2 intégré aux membranes, pouvait être lessivé par les eaux de ruissellement des toits leur conférant des concentrations très importantes (Bucheli et al, 1998; Eawag, 2009; Vialle et al, 2013; Wittmer et Burkhardt, 2009). Cet élément est également rencontré dans les eaux des autres sites avec des concentrations bien inférieures (0.04–0.86 $\mu\text{g L}^{-1}$). Il est difficile de faire la part entre une source liée à une éventuelle application de cet herbicide sur le site ou à une perte constante en provenance des nombreuses toitures végétalisées du site (Wittmer et Burkhardt, 2009).

La présence de glyphosate et de l'AMPA (produit de dégradation du glyphosate) dans les eaux de la noue et du ruisseau ($0.22\text{--}0.56\ \mu\text{g L}^{-1}$) est cohérente avec une utilisation de glyphosate pour l'entretien de certains bâtiments à proximité de ces deux lieux (Cf. *Les pratiques d'entretien exercées sur les surfaces des sites étudiés*). Du carbendazime a été quantifié en très faible quantité dans la noue et le ruisseau ($0.04\text{--}0.06\ \mu\text{g L}^{-1}$); pourtant, son utilisation comme produit phytopharmaceutique est interdite en France depuis 2008. Il pourrait provenir de peintures extérieures pouvant comporter des fongicides (Burkhardt et al, 2007).

Enfin, un plus grand nombre d'éléments est décelé dans les eaux du ruisseau. Le cours d'eau draine une surface importante et est l'exutoire des eaux pluviales du Pin Sec, de Jules Vernes et du canal ce qui pourrait expliquer ce constat.

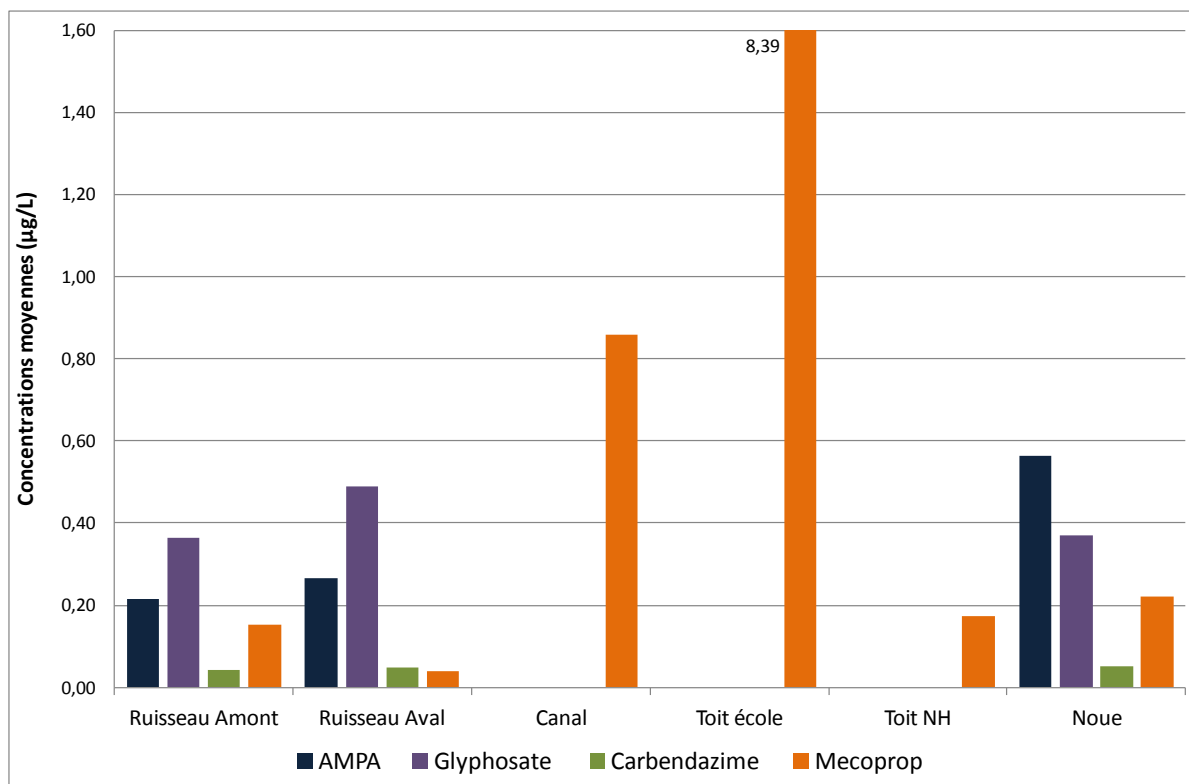


FIGURE 22: Concentrations en pesticides dans les eaux des ouvrages alternatifs

La réglementation européenne pour les eaux destinées à la consommation humaine prévoit une limite de qualité de $0.1\ \mu\text{g L}^{-1}$ pour chaque pesticide et de $0.5\ \mu\text{g L}^{-1}$ pour la concentration totale en pesticides (Directive n°98/83/CE). Seules les eaux issues de la toiture végétalisée de Nantes Habitat ne dépassent pas ce seuil de $0.5\ \mu\text{g L}^{-1}$. Parmi les pesticides étudiés, seul l'isoproturon possède une Norme de Qualité Environnementale ($0.3\ \mu\text{g L}^{-1}$) qu'il ne dépasse d'ailleurs pas.

5.4.3. Comparaison avec le bassin versant du Pin Sec

Les concentrations obtenues dans les eaux de la noue, du canal et du ruisseau des Gohards se situent dans les mêmes gammes que celles observées à l'exutoire du réseau d'eaux pluviales du bassin versant du Pin Sec (Tab. 11). Cependant, il convient de rester prudent; les résultats sont extrêmement variables d'une campagne à l'autre puisqu'ils sont plutôt dépendants d'une pollution ponctuelle: utilisation de pesticides. Ainsi, des éléments peuvent être détectés lors de certaines campagnes et ne pas l'être les campagnes suivantes. Les eaux issues des toitures végétalisées de l'écoquartier se démarquent par des concentrations plus élevées en mécoprop. Lamprea (2009) avait déjà remarqué des teneurs plus importantes sur un toit en bitume au regard des autres types de toits du bassin versant du Pin Sec.

TABLEAU 11: Concentrations en pesticides ($\mu\text{g L}^{-1}$) obtenues sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier

	AMPA	Glyphosate	2.4 MCPA	Carbendazime	Mecoprop
Ruisseau, canal, noue (cette étude)	0.2 – 0.6	0.4	< LQ	0.04 – 0.05	0.04 – 0.9
Exutoire réseau EP¹	0.3 (<LQ – 1.5)	0.4 (0.1 – 1.6)	< LQ	0.2 (<LQ – 0.5)	< LQ
Toit école, Toit NH (cette étude)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.2 – 8.4
Toit bitume²	< LQ	< LQ – 0.2	-	-	0.06 – 1.0
Toit en tuile²	< LQ	< LQ – 0.2	-	-	< LQ – 0.05

Cette étude : concentrations moyennes min et max. ¹ Gasperi et al, 2013 : concentrations moyennes et concentrations min et max. ² Lamprea, 2009 : concentrations min et max.

5.5. Limites de l'étude

Cette étude s'est basée sur l'exploitation de données acquises sur une période relativement courte: de Juillet 2013 à Octobre 2013. Lors de prochains travaux, il serait intéressant de considérer une période minimale d'un an afin d'avoir des résultats plus représentatifs. De cette manière, il serait possible d'observer d'éventuelles évolutions en fonction des saisons par exemple. En effet, l'enquête sur les pratiques d'entretien a montré que l'utilisation de pesticides avait lieu en automne et au printemps. Finalement, l'étude a pris en compte une période plutôt estivale. Deux études ont mis en avant une relation entre le relargage du mecoprop par les couches bitumineuses et l'accroissement de la température (Bucheli et al, 1998; Vialle et al, 2013); il serait intéressant de s'attacher à ce paramètre sur une étude d'un an.

6. Conclusion

Cette étude était l'occasion d'observer l'influence des pratiques d'entretien des surfaces de l'écoquartier Bottière Chénaie et d'un bassin versant adjacent (Pin Sec) sur la qualité des eaux pluviales. Dans un contexte de développement durable, ces pratiques semblent avoir changé au profit de méthodes alternatives naturelles aussi bien sur l'écoquartier que sur le bassin versant du Pin Sec. Ce changement vient en premier lieu des structures publiques (Nantes Métropole, Ville de Nantes, Nantes Habitat) qui mettent en avant la culture de l'herbe en ville. Même si certaines structures utilisent encore aujourd'hui des produits phytosanitaires, elles commencent à s'orienter vers l'utilisation de moyens plus naturels.

Globalement, les résultats obtenus au cours de ce suivi de polluants ne révèlent pas une différence significative de la qualité des eaux pluviales entre le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier. L'emploi d'herbicides par certains organismes est à l'origine de la détection du glyphosate et AMPA (produit de dégradation du glyphosate) aussi bien sur l'écoquartier que sur le bassin versant du Pin Sec. Quant au mecoprop, il apparaît en quantité dans les eaux issues du ruissellement sur les toitures végétalisées de la ZAC Bottière Chénaie. Il proviendrait de la couche bitumineuse d'étanchéité de ces dernières. Ces toitures végétalisées ont également révélé des concentrations métalliques plus élevées (sauf en zinc) que celles mesurées dans les eaux de ruissellement des toits en ardoise et en tôle de Zinc du bassin versant du Pin Sec. L'utilisation de toitures végétalisées pour la dépollution des eaux pluviales et son utilisation éventuelle pour des usages domestiques contrôlés soulève donc de nombreux questionnements. Pour parvenir à cet objectif, il est nécessaire de dimensionner ces structures en choisissant des matériaux relarguant peu de polluants. Pour ce faire, il convient d'améliorer les connaissances sur ces matériaux ainsi que sur les mécanismes en œuvre pour permettre une sélection appropriée des couches de substrat et de drainage (Schwager et al, 2013). Enfin, l'écoquartier dont la plupart des concentrations en métaux sont proches de celles du bassin versant du Pin Sec s'est pourtant démarqué par des concentrations en Sr plus importantes ($47\text{--}94\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$). Elles pourraient être engendrées par des matériaux contenant du chromate de strontium. Cette hypothèse reste cependant à vérifier.

Les corrélations réalisées entre les concentrations métalliques et les données météorologiques (hauteur d'eau, intensité et durée de temps sec) montrent que la quantité de pluie tombée n'influence pas les teneurs. Au contraire, l'intensité et la durée de temps sec semble jouer un rôle dans certains cas.

Lors de futurs travaux, il serait intéressant de s'attacher aux retombées atmosphériques. De cette manière, il serait possible de réaliser un bilan sur le rôle réel des toitures végétalisées sur la qualité des eaux pluviales. La mise en place d'une instrumentation mesurant le débit en sortie des toitures et sur le canal permettrait d'évaluer les flux de polluants en jeu sur l'ensemble du site; en effet, des débitmètres sont déjà en place à l'aval du ruisseau ouvert des Gohards et de la noue. Enfin, les ouvrages alternatifs étudiés sont relativement récents; leur comportement est donc différent de celui qu'ils auront dans 20 ans par exemple. Un suivi à long terme permettrait d'observer l'évolution des concentrations et le rôle éventuel du relargage de polluants par les matériaux au cours du temps.

7. Glossaire

Eaux pluviales (EP) : eaux de pluie ayant touché le sol et ruisselant sur les surfaces.

Écoquartier : le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie désigne par "écoquartier" un projet d'aménagement urbain organisé visant à mettre en place des logements pour tous dans un cadre de vie de qualité en limitant l'empreinte écologique.

Limite de quantification (LQ): il s'agit de la limite à partir de laquelle le résultat est donné avec une probabilité considérée comme acceptable.

Norme de qualité environnementale (NQE) : selon la directive cadre sur l'eau, concentration d'un polluant qui ne doit pas être dépassée dans l'eau ou les sédiments dans le but de protéger la santé humaine et l'environnement.

Noue : fossés végétalisés peu profonds et larges permettant le recueil et la rétention des eaux pluviales.

8. Sigles & Abréviations

AMM: Autorisation de mise sur le marché

AMPA: Acide aminométhylphosphonique

As: Arsenic

Cd: Cadmium

Co: Cobalt

COD: Carbone organique dissous

COT: Carbone organique total

Cr: Chrome

CROPPP: Cellule régionale d'observation et de prévention des pollutions par les pesticides (Région Rhône Alpes)

Cu: Cuivre

DCE: Directive cadre sur l'eau

DTS: Durée de temps sec

EP: Eaux pluviales

ETM: Eléments traces métalliques

GDEP: Gestion des eaux pluviales en ville

HAP: Hydrocarbures aromatiques polycycliques

IFSTTAR: Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.

INOGEV: Innovation pour une gestion durable en ville

LQ: Limite de quantification

MEDDE: Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

MES: Matières en suspension

METL: Ministère de l'égalité des territoires et du logement

Mo: Molybdène

NH: Nantes Habitat

Ni: Nickel

NQE: Norme de qualité environnementale

ORP: Observatoire des résidus de pesticides

SAGE: Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SEMITAN: Société d'économie mixte des transports de l'agglomération nantaise

SEVE: Service des espaces verts et de l'environnement

Sr: Strontium

Ti: Titane

UIPP: Union des industries de la protection des plantes

V: Vanadium

ZAC: Zone d'aménagement concertée

Zn: Zinc

9. Bibliographie

Allen A., Nemitz E., Shi J., Harrison R. et Greenwood J., 2001:*Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom*. Atmospheric Environment, 4581-4591.

Apeagyei E., Bank MS., Spengler JD., 2011:*Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachussets*. Atmospheric Environment 45, 2310 – 2323.

ATSDR, 2004:*Toxicological profile for strontium*. Agency for Toxic Substances and Disease registry, US Department for Health and Human Services, Atlanta (USA), 387.

Ayrault S., Priadi C., Robin E., Bonté P., 2007:*Méthodologie de caractérisation des phases particulaires porteuses de métaux en Seine et résultats préliminaires*. Programme PIREN-Seine: Phases porteuses de métaux.

Baize D., 2009:*Eléments traces dans les sols, fonds géochimiques, fonds pédogéochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles : définitions et utilités*. Courrier de l'environnement de l'INRA n°57.

Barbosa A.E, Fernandes J.N, David L.M., 2012:*Key issues for sustainable urban stormwater management*. Water Research 46, 6747-6798.

Becouze C., 2010:*Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains pas temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Blanchoud H., Farrugia F., Mouchel JM., 2004:*Pesticide uses and transfers in urbanized catchments*. Chemosphere 55, 905 – 913.

Blieffert C. et Perraud R., 2001: *Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets*. De Boeck Université.

Bucheli T.D, Müller S.R., Voegelin A., Schwarzenbach R.P., 1998:*Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters*. Environmental Science & Technology 32, 3465 - 3471.

Burkhardt M., Kupper T., Hean S., Haag R., Schmid P., Kohler M., Boller M., 2007:*Biocides used in building materials and their leaching behavior to sewer systems*. Water Science and Technology 56, 63 - 67.

Capo RC., Stewart BW., Chadwick OA., 1998:*Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods*. Geoderma 82, 197 – 225.

Chiffolleau J.C, 2001: *La contamination métallique*. Technical report, IFREMER, Région Haute Normandie.

CMR, 2013:*Dichromate de Strontium*. [http://www.substitution-cmr.fr/index.php?id=112&tx_kleecmr_pi3\[uid\]=75&tx_kleecmr_pi3\[onglet\]=4&cHash=76cca88775](http://www.substitution-cmr.fr/index.php?id=112&tx_kleecmr_pi3[uid]=75&tx_kleecmr_pi3[onglet]=4&cHash=76cca88775).

CNAMTS, 2010:*Fiche d'aide à la substitution: Produit à substituer, Chromate de Strontium*. FAS 27.

CROPPP, 2010:*Enquête sur les pratiques d'entretien des espaces communaux sur les bassins versants de la Varèze et du Dolon*. Rapport prospective 2009/2010.

CSST, Service du répertoire toxicologique, 1995:*Chromate de Strontium*. http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=89987

CSTB, 2007:<http://www.cstb.fr/>

Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001: *relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles* (JORF n°297 du 22/12/01).

Delamain M., 2013:*Etude comparative des polluants métalliques issus de trois bassins versants urbains : Chassieu (Lyon), Pin Sec (Nantes) et Sucy-en-Brie (Paris).* IFSTTAR, rapport projet INOGEV, 1 – 120.

Directive 98/8/CE du Parlement Européen et du Conseil du 16 février 1998:*concernant la mise sur le marché des produits biocides* (J.O.C.E n°123 du 24/04/98).

Directive n°98/83/CE du 3 novembre 1998 :*relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.*

Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000 :*établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau* (J.O.C.E n°L 327 du 24/04/98).

Directive n°2009/127/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009:*modifiant la directive 2006/42/CE en ce qui concerne les machines destinées à l'application des pesticides* (J.O.U.E n° L 310, 25/11/09).

Directive n°2009/128/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009:*instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable* (J.O.U.E n° L 309, 24/11/09).

Eawag, 2009:*Informations concernant le mecoprop contenu dans les couches bitumeuses des toitures végétalisées.* Referenz/Aktenzeichenl 131-0459.

Gasperi J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L., Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz JJ., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet M., Barraud S., Gromaire M.C., 2013:*Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations and atmospheric contribution for a wide range of contaminants on three French catchments.* Environmental Science and Pollution Research, DOI 10.1007/s11356-013-2396-0.

Gouzy A., Ducos G., 2008:*La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement.* INERIS, Air Pur n°75 – Deuxième semestre 2008.

Hautbois O., Menetrieux C., Demiautte J.P., Trincat A.M., 2011:*Etude sur la gestion de l'eau dans les projets présentés à l'appel à projet EcoQuartiers 2009.* Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Rapport, p 5-178.

Hoffman E., Mills G., Latimer J.S. et Quinn J.G., 1984:*Urban runoff as a source of PAH to coastal waters.* Environmental Science and Technology 18, 580-587.

Jacquet S., 2010:*Etude de la performance énergétique d'une toiture végétale extensive installée au centre ville de Montréal.* Thèse de doctorat, Ecole de Technologie Supérieure, Montréal.

Jankowfsky S., 2012:*Urban water balance and impact of water sensitive urban design on the catchment water balance.* IFSTTAR, Rapport projet ANR Vegdud, 35.

Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE):<http://www.lne.fr/>

Lamprea D.K., 2009:*Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains.* Thèse de doctorat, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Le Barbu M., 2012:*Connaissance des pratiques d'entretien des surfaces sur un petit bassin versant urbain.* ONEMA, Rapport.

LOI n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau: De la police et de la gestion de l'eau (JORF n°3 du 04/01/1992).

LOI n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques:*Préservation des ressources en eau et des milieux aquatiques* (J.O.R.F du 31/12/06).

Ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE):<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

Ministère de l'Egalité des Territoires et du Logement (METL), 2012:*La Charte des EcoQuartiers.*

Observatoire des Résidus de Pesticides (ORP):<http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/>

Pagotto C., 1999:*Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures, en domaine routier.* Thèse de doctorat, Université de Poitiers.

Percot S., 2012:*Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain – Cas du Pin Sec à Nantes.* Thèse de doctorat, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux, Nantes.

Priadi C., 2010:*Caractérisation des phases porteuses: métaux particuliers en Seine.* Thèse de doctorat, Université Paris Sud 11 .

Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009:*concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques* (J.O.U.E n° L 309, 24/11/09).

Règlement (CE) n°1185/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 25 novembre 2009: *relatif aux statistiques sur les pesticides* (J.O.U.E n°324 du 10/12/09).

Rodier J., Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P., Champsaur H. et Rodil L., 1996:*L'analyse de l'eau – Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.* DUNOD, 8^{ème} édition.

Rodriguez F., Biczysko A., Flahaut B., Jankowsky S., Mosini ML., Rouaud JM., 2012:*Modélisation et mesure du fonctionnement hydrologique d'un quartier aménagé avec des techniques alternatives, l'exemple de l'écoquartier Bottière Chénaie.* Atelier Ecoquartiers en Lorraine.

Rollin C., Quiot F., 2006:*Eléments traces métalliques. Guide méthodologique. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines.* Rapport d'étude N°INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a.

Sarkar B., 2002:*Heavy metals in the environment.* Marcel Dekker.

Schwager J., Ruban V., Morel J.L., Claverie R., Irlès Amandine, Thiriat J., 2013:*Identification des phénomènes prépondérants de transferts des métaux entre eaux de pluie et toitures végétalisées.* Proceedings International Conference Novatech.

Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP): <http://www.uipp.org/>

Varrault G., 2012:*Les contaminants dans les milieux récepteurs sous forte pression urbaine.* Mémoire de HDR, Val de Marne.

Vialle C., Sablayrolles C., Silvestre J., Monier L., Jacob S., Huau M.-C., 2013:*Pesticides in roof runoff : study of a rural site and a suburban site.* Journal of environmental management 120, 48 – 54.

Walker W.J., McNutt R.P., et Maslanka C.K., 1999:*The potential contribution of urban runoff to surface sediments of the Passaic river: sources and chemical characteristics.* Chemosphere 38, 363-377.

Wittmer I., Burkhardt M., 2009:*Dynamique des rejets de biocides et de pesticides.* Eawag News 671, 8-11.

Zgheib S., 2009:*Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire.* Thèse de doctorat, Ecole des Ponts ParisTech.

Zgheib S., Moilleron R., Chebbo G., 2012:*Priority pollutants in urban stormwater. Part 1 – Case of separate storm sewers.* Water research 46, 6683-6692.

10. Table des illustrations

FIGURE 1: Marché phytosanitaire en Europe en 2010 (Source: UIPP)	15
FIGURE 2: Tonnage des substances actives vendues de 1998 à 2011 (Source : UIPP)	15
FIGURE 3: Dates clés du contexte réglementaire à différentes échelles (Source: Zgheib, 2009)	16
FIGURE 4: Liste des substances prioritaires (Source: Becouze, 2010)	17
FIGURE 5: Réglementation européenne des pesticides (Source : ORP)	18
FIGURE 6: Méthodes de traitement des potagers (à gauche) et des jardins ornementaux (à droite) (Le Barbu, 2012)	19
FIGURE 7: Schéma d'une noue	20
FIGURE 8: Les différents types de toitures végétalisées	21
FIGURE 9: Vues aériennes du bassin versant du Pin Sec (à gauche) et de la partie Nord-Ouest de l'écoquartier Bottière Chénaie (à droite)	22
FIGURE 10: Zone drainée par le ruisseau, imperméabilisée à 40% (d'après Jankowsky, 2012)	23
FIGURE 11: Noue de la rue René Dumont	24
FIGURE 12: Toitures végétalisées de l'école (à gauche) et de Nantes Habitat (à droite)	24
FIGURE 13: Canal de rétention	24
FIGURE 14: Zones d'entretien des surfaces selon les exécutants	25
FIGURE 15: Différents lieux de prélèvements. (A) Amont du ruisseau, (B) Aval du ruisseau, (C) Aval du Canal de rétention, (D) Aval de la noue, (E) Sortie du toit vert de l'école et (D) Sortie du toit vert de Nantes Habitat	27
FIGURE 16: Entretien des bâtiments (habitats, école et médiathèque) et de leurs espaces verts	29
FIGURE 17: Distribution des hauteurs d'eau, des intensités maximales et des durées de temps sec pour l'ensemble des événements pluvieux de Juillet 2013 à Octobre 2013	31
FIGURE 18: Distribution des hauteurs d'eau, des intensités maximales et des durées de temps sec pour les événements collectés lors de l'étude	31
FIGURE 19: Concentrations en Zinc (à gauche) et en Cuivre (à droite) à l'amont et à l'aval du ruisseau des Gohards	33
FIGURE 20: Concentrations moyennes en métaux traces dans les eaux des ouvrages alternatifs	34
FIGURE 21: Répartition des métaux dans les phases dissoute et particulaire dans les eaux des toitures, de la noue, du canal et du ruisseau	35
FIGURE 22: Concentrations en pesticides dans les eaux des ouvrages alternatifs	38
TABLEAU 1: Les principales sources d'émission des métaux étudiés	14
TABLEAU 2: Caractéristiques des toits végétalisés extensifs et intensifs	21
TABLEAU 3: Exécutants pour chaque îlot	26
TABLEAU 4: Méthodes d'analyses chimiques utilisées pour le dosage des micropolluants	26
TABLEAU 5: Nombre de prélèvements destinés à l'analyse des métaux et des pesticides sur chacun des sites	28
TABLEAU 6: Caractéristiques des événements pluvieux collectés pour les eaux pluviales du canal (C), de la noue (N), de la toiture de l'école (E), de la toiture de Nantes Habitat (NH) et du ruisseau (R)	30
TABLEAU 7: Quantification (%) des métaux dans les eaux de chaque ouvrage	32
TABLEAU 8: Coefficients de corrélation de Pearson entre les caractéristiques des événements pluvieux et les concentrations en métaux	36
TABLEAU 9: Concentrations métalliques ($\mu\text{g L}^{-1}$) obtenues sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier	37
TABLEAU 10: Quantification (%) des pesticides dans les eaux de chaque ouvrage	37
TABLEAU 11: Concentrations en pesticides ($\mu\text{g L}^{-1}$) obtenues sur le bassin versant du Pin Sec et l'écoquartier	39

11. Annexes

Annexe 1 : Normes de Qualité Environnementale

Normes de Qualité Environnementale provisoires pour les métaux de la liste des substances prioritaires (Directive n°2008/105/CE du 16 décembre 2008)

NQE provisoires ($\mu\text{g.L}^{-1}$) <i>Eaux de surfaces intérieures</i>	
Cadmium	0.08 (classe 1 et 2) 0.09 (classe 3) 0.15 (classe 4) 0.25 (classe 5)
Nickel	20
Plomb	7.2

Normes de Qualité Environnementale provisoires pour les métaux ne figurant pas dans la liste des substances prioritaires (Circulaire 2007/23 DE/MAGE/BLPDI 07/n°23 du 7 mai 2007)

NQE provisoires * ($\mu\text{g.L}^{-1}$) <i>Eaux de surfaces continentales</i>	
Arsenic	4.2
Chrome	3.4
Cobalt	0.3
Cuivre	1.4
Molybdène	6.7
Titane	2
Vanadium	0.8
Zinc	3.1 (dureté < 24mg CaCO ₃ /L) 7.8 (dureté > 24 mg CaCO ₃ /L)

*A ajouter au fond géochimique

Remarques:

- Ces normes concernent des masses d'eau définies par leurs caractéristiques physiques et non par leurs usages. Ces valeurs s'appliquent ainsi également à des eaux qui n'auront pas d'usage (INERIS, 2013).
- Pour une substance donnée, une masse d'eau de surface est présumée conforme si, pour tout point de surveillance représentatif de cette masse d'eau, la moyenne arithmétique des concentrations dans l'eau de cette substance, mesurées à différentes périodes de l'année, est inférieure à la Norme de Qualité Environnementale (NQE_p).
- Les valeurs provisoires seront modifiées et/ou complétées afin de prendre d'avantage en compte les aspects relatifs à la santé humaine.
- Les normes pour les métaux indiquées dans les deux tableaux s'appliquent à des concentrations dissoutes (échantillon filtré).
- La somme de la NQE provisoire du second tableau et du bruit de fond géochimique représente la concentration admissible maximale sur le milieu. L'estimation de la concentration de bruit de fond géochimique est basée sur la meilleure information disponible relative à la concentration dans le même type de milieu naturel soumis à une faible pression anthropique.



Enquête sur les pratiques d'entretien des espaces verts

Cette enquête s'inscrit dans le cadre de l'opération de recherche « Gérer durablement les eaux pluviales en zones urbaines » coordonnée par l'IFSTTAR

Structure :

Interlocuteur :

Fonction :

1) Utilisez-vous des produits phytosanitaires pour entretenir les différentes surfaces?

Si oui, lesquels (herbicide, fongicide, insecticide...) ? quelles sont les molécules présentes dans ces produits (glyphosate,...) ?

2) Connaissez-vous le volume utilisé par an ?

- ***Herbicide :***
- ***Fongicide :***
- ***Insecticide :***

3) En quelles saisons les utilisez-vous ? Et à quelle fréquence ?

4) Appliquez-vous une gestion différenciée selon les espaces ? Si oui, laquelle ?

5) Prenez-vous en compte les conditions météorologiques (vent, pluie...) ?

6) Prenez-vous en compte les zones à risques (proximité des cours d'eau, bouche d'égout...) ?

7) Vous reste-t-il des reliquats de bouillie après le traitement ? Si oui, comment les éliminez-vous ?

8) Utilisez-vous des techniques alternatives aux traitements phytosanitaires ?

Si oui, lesquelles (couverture de sol, désherbage manuel, désherbage mécanique...) ?

Si non, quels sont les freins à ces techniques (coût, mise en œuvre, efficacité...) ?

9) Vous n'utilisez pas de produits phytosanitaires, quels sont donc les moyens alternatifs mis en place pour l'entretien des espaces verts et des voies (désherbage manuel, désherbage mécanique, engrais naturel...)? Explicitez.

10) A quelle fréquence sont entretenus les espaces verts ?

11) Les pratiques d'entretien sont-elles identiques sur l'ensemble de la ville de Nantes ?

Nous vous remercions pour votre coopération.

Annexe 3 : Formulaire d'enquête pour les voiries



Enquête sur les pratiques d'entretien des voiries

Cette enquête s'inscrit dans le cadre de l'opération de recherche « Gérer durablement les eaux pluviales en zones urbaines » coordonnée par l'IFSTTAR et le CERTU

Structure :

Interlocuteur :

Fonction :

12) Utilisez-vous des produits phytosanitaires pour entretenir les différentes surfaces* ?

Si non, depuis quelle année ?

Si oui, lesquels (herbicide, fongicide, insecticide...) ?

13) Connaissez-vous le volume utilisé par an ?

- *Herbicide :*
- *Fongicide :*
- *Insecticide :*

14) En quelles saisons les utilisez-vous ? Et à quelle fréquence ?

15) Appliquez-vous une gestion différenciée selon les espaces ? Si oui, laquelle ?

16) Prenez-vous en compte les conditions météorologiques (vent, pluie...) ?

17) Prenez-vous en compte les zones à risques (proximité des cours d'eau, bouche d'égout...) ?

18) Vous reste-t-il des reliquats de bouillie après le traitement ? Si oui, comment les éliminez-vous ?

19) Utilisez-vous des techniques alternatives aux traitements phytosanitaires ?

Si oui, lesquelles (couverture de sol, désherbage manuel, désherbage mécanique...) ?

Si non, quels sont les freins (coût, mise en œuvre, efficacité...) ?

20) En cas de neige ou de gel, effectuez-vous un salage des voies ? En quelle quantité ?

21) Vous n'utilisez pas de produits phytosanitaires, quels sont donc les moyens alternatifs mis en place pour l'entretien des voiries ? Explicitez.

22) A quelle fréquence sont entretenues les voiries ?

23) Les pratiques d'entretien sont-elles identiques sur l'ensemble de la ville de Nantes ?

Nous vous remercions pour votre coopération

Annexe 3 : Formulaire d'enquête pour les habitats collectifs et leurs espaces verts



Enquête sur les pratiques d'entretien des habitats

Cette enquête s'inscrit dans le cadre de l'opération de recherche « Gérer durablement les eaux pluviales en zones urbaines » coordonnée par l'IFSTTAR et le CERTU

Structure :

Interlocuteur :

Fonction :

24) Utilisez-vous des produits phytosanitaires pour entretenir les surfaces extérieures (façades, toits, espaces verts...)?

Si oui, lesquels (herbicide, fongicide, insecticide...) ? Quelles molécules contiennent-ils (glyphosate,...) ?

25) Connaissez-vous le volume utilisé par an ?

- ***Herbicide :***
- ***Fongicide :***
- ***Insecticide :***

26) En quelles saisons les utilisez-vous ? Et à quelle fréquence ?

27) Appliquez-vous une gestion différenciée selon les espaces ? Si oui, laquelle ?

28) Prenez-vous en compte les conditions météorologiques (vent, pluie...) ?

29) Prenez-vous en compte les zones à risques (proximité des cours d'eau, bouche d'égout...) ?

30) Vous reste-t-il des reliquats de bouillie après le traitement ? Si oui, comment les éliminez-vous ?

31) Utilisez-vous des techniques alternatives aux traitements phytosanitaires ?

Si oui, lesquelles ?

Si non, quels sont les freins (coût, mise en œuvre, efficacité...) ?

32) Vous n'utilisez pas de produits phytosanitaires, quels sont donc les moyens alternatifs mis en place pour l'entretien extérieur des habitats (désherbage mécanique,...) ?
Explicitez.

33) A quelle fréquence sont-ils entretenus ?

34) Les pratiques sont-elles identiques sur les autres sites ?

Nous vous remercions pour votre coopération.

12. Remerciements

Je remercie toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude:

- l'ONEMA et l'équipe du laboratoire Eau et Environnement de l'IFSTTAR de Nantes
- Le Service des Espaces Verts et de l'Environnement de la ville de Nantes
- Le service nettoyage de Nantes Métropole
- Le service BATI de la ville de Nantes
- Le service du SEMITAN
- Nantes Habitat
- Les bailleurs sociaux
- Les syndicats de copropriété
- L'équipe de quartier Doulon Bottière de la ville de Nantes

Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

IFSTTAR
Route de Bouaye
44340 Bouguenais
02 40 84 58 00
<http://www.ifsttar.fr/>