

Evaluation de la qualité physico-chimique des rejets urbains par temps de pluie (RUTP) sur des bassins versants de l'agglomération orléanaise

Mohammed Rashid D.Al-Juhaishi^a, Mikael Motelica-Heino^a, Fabrice Muller^a,
Claude Le Milbeau^a, Renata Zocatelli^b, Nevila Jozja^b, Christian Défarge^{a, b}

^a ISTO, UMR 7327 Université d'Orléans-CNRS, 1A rue de la Férellerie, 45071 Orléans Cedex 02, France

^b Cellule R&D CETRAHE, Université d'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex 02, France

RESUME

Cette étude vise à mieux comprendre la relation entre les paramètres physico-chimiques et biologiques de qualité de l'eau dans la fraction dissoute et dans les MES des rejets urbains par temps de pluie et les cycles hydrologiques urbains. Nous nous intéressons à deux scénarios hydrologiques (temps sec et temps de pluie) de rejets d'eaux pluviales par les exutoires pluviaux (eaux pluviales généralement non traitées du réseau séparatif) de l'agglomération orléanaise.

La campagne de mesures s'est déroulée sur 10 mois au cours de l'année 2015 et début 2016, ce qui a permis d'analyser les rejets urbains en Loire au cours de plusieurs épisodes pluvieux et de temps sec.

Les premiers résultats ont été obtenus à partir de prélèvements ponctuels effectués dans trois exutoires associés aux trois bassins versants les plus importants de l'agglomération orléanaise en termes de flux d'eaux pluviales vers le milieu naturel (rive droite). Le premier, exutoire d'Ormes rassemble les eaux de ruissellement canalisées de trois communes (Saran 15 573, Ingré 8 317, Ormes 3714 hab.). Les deux autres, respectivement le site de l'Egouttier et de la Corne, proviennent de rivières souterraines canalisées qui récupèrent les eaux de ruissellement des communes de Saint-Jean-de-Braye 20 021, Semoy 3 320 hab. et d'une partie de la ville de Saran, ainsi que de Fleury-les-Aubrais.

La comparaison des paramètres physiques (turbidité, conductivité électrique, concentration de matières en suspension (MES)), chimiques (pH, concentration en cations et anions majeurs, carbone organique dissous COD) et biologiques (demande biochimique en oxygène DBO₅ (à 5 jours) et DBO ultime (DBOU à 28 jours)) a permis de caractériser les bassins versants urbains en terme de traceurs d'activité anthropique (urbaine, agricole et industrielle). Les résultats ont été croisés entre eux pour mettre en évidence la variabilité inter et intra site. Ils ont permis également de mettre en évidence des infiltrations d'eaux usées dans certains réseaux d'eaux pluviales rejetant en Loire.

Les résultats montrent que les propriétés physico-chimiques des RUTP sont très variables suivant l'événement pluvieux et le bassin versant. Pour tous les sites, la conductivité, le COD, les valeurs de la DBO₅ et de la DBO₂₈ sont généralement plus élevées par temps sec que par temps de pluie. Les valeurs des DBO₅ et DBO₂₈ pour le site de l'Egouttier sont plus élevées que ceux d'Ormes et de La Corne en raison d'une importante activité industrielle. Les concentrations de l'ion sulfate mesurées sur le site de la Corne sont plus élevées que celles des autres sites à cause de la présence d'une zone agricole, de vignes et de vergers en amont de la Corne. Par temps sec le même comportement a été constaté pour NO₃⁻. Les valeurs des concentrations en MES et de la turbidité pour le site de l'Egouttier sont plus élevées que ceux d'Ormes et de La Corne par temps sec et temps de pluie. Ceci s'explique par la présence d'une importante zone forestière dans le bassin versant de l'Egouttier sur sa partie non canalisée.

MOTS CLES : Hydrologie urbaine, rejet urbain par temps de pluie, qualité de l'eau, matières en suspension (MES), agglomération orléanaise, Loire, paramètres physico-chimiques et biologiques.

INTRODUCTION

L'impact des rejets urbains (réseaux d'assainissement unitaires, eaux pluviales et stations d'épurations) sur les écosystèmes aquatiques récepteurs est un enjeu fort de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE, 60/2000/CE). La compréhension du comportement des MES, nutriments, micropolluants et de la matière organique dans le cycle urbain de l'eau, l'identification des termes sources ainsi que de leur dynamique temporelle et spatiale et de leurs flux sont des sujets importants pour la gestion des systèmes de drainage urbain. Pendant un événement pluvieux, la pluie lessive les infrastructures urbaines. Les collecteurs d'eaux pluviales et les égouts recueillent l'eau de pluie qui ruisselle des routes, des toits, des gouttières et parkings etc... Ces rejets

proviennent de deux sources majeures (Dembélé 2010): les retombées atmosphériques et la production principalement endogène du bassin versant (activités domestiques, agricoles et industrielles). Des polluants organiques et métalliques sont ainsi transportés par les eaux de ruissellement qui sont rejetées dans les milieux aquatiques et portent le nom de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Ces rejets sont constitués par l'ensemble des eaux rejetées i) au niveau des exutoires des réseaux séparatifs pluviaux ; ii) aux surverses des réseaux unitaires ; et iii) à l'aval des stations d'épuration, pendant un événement pluvieux et pendant la période de temps sec qui lui succède, au cours de laquelle le système d'assainissement n'a pas encore retrouvé un fonctionnement normal de temps sec (Chocat et al.1997).

Améliorer la connaissance des substances rejetées par l'agglomération orléanaise dans le milieu naturel (Loire) par temps de pluie est en enjeu important pour la gestion durable des socio-écosystèmes urbains. La qualité du ruissellement pluvial a en effet été longtemps ignorée en France et la pollution déversée considérée comme négligeable par rapport à celle véhiculée par les effluents urbains. Le ruissellement en milieu urbain peut transporter vers les hydrosystèmes une partie des éléments polluants accumulés par temps sec et issus des diverses activités humaines. Même si les réseaux sont séparatifs, il est également possible de détecter des fuites d'eaux usées dans les réseaux d'eaux pluviales. A la suite d'évènements climatiques tels que des orages, le ruissellement urbain est particulièrement abondant et la répétition de ce phénomène peut altérer le milieu naturel récepteur (e.g. apport de matières en suspension (MES) et micropolluants, apports terrigènes) ainsi que les usages de l'eau. Le caractère intermittent, complexe et parfois démesuré des phénomènes de production et de transfert des rejets urbains explique l'absence de normes quantitatives et qualitatives et cela justifie la nécessité des études sur le sujet.

Objectifs scientifiques

Ce travail est centré sur l'impact des RUTP sur la Loire orléanaise qui n'a encore jamais été étudié. L'objectif principal est d'étudier la dynamique spatio-temporelle des MES et des composés dissous d'origine naturelle et anthropique, ainsi que les paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau au niveau des bassins versants urbains de l'agglomération orléanaise ayant pour exutoire la Loire afin d'identifier des traceurs géochimiques et minéralogiques des activités anthropiques de ces bassins. L'étude est menée pour deux scénarios hydrologiques : temps sec et temps de pluie. Il s'agit en particulier de mieux comprendre le couplage entre l'hydrologie, le transfert et la réactivité des composés dissous et MES de ces milieux afin d'appréhender le fonctionnement biogéochimique de l'hydrosystème de l'agglomération d'Orléans. Répondre aux défis environnementaux de la métropole de demain, c'est en effet optimiser les infrastructures de gestion de l'eau, tendre vers le bon état écologique des masses d'eau en luttant contre la pollution des eaux et en réduisant le déversement d'eaux de pluies contaminées dans le milieu naturel, développer des solutions pour une gestion optimale et durable de la ressource en eau et caractériser les pollutions de la ressource et des milieux récepteurs pour mieux y faire face et de préserver leur qualité intrinsèque et/ou de remettre en bon état environnemental la ressource. Dans ce but, les activités préliminaires de ces travaux portent sur l'évaluation de leurs qualités hydrochimiques (identification des polluants et de la charge particulaire, identification des sources et modalités de rejets et de traitements, etc.). Cette étape est fondamentale pour définir les caractéristiques et vulnérabilité des masses d'eaux vis-à-vis des activités anthropiques en contexte urbain.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Des études ont déjà été réalisées sur les RUTP dans les sites urbains de Chassieu (zone industrielle, réseau séparatif) et d'Ecully (zone résidentielle, réseau unitaire) à Lyon par Dembélé (2010) et Becouze (2010). Les mesures des flux de composés physico-chimiques, polluants métalliques et organiques ont permis de constituer des bases de données statistiques et empiriques et d'établir des modèles prédictifs des concentrations moyennes événementielles en polluants dans les sites étudiés. Ces travaux ont également montré que les flux dans les fractions dissoute et particulaire sont très variables suivant le site et l'événement pluvieux. D'après Garnaud (1999) et Zgheib (2009), les retombées atmosphériques représentent une source mineure de flux de polluants d'origine biologique et de MES en comparaison aux flux de polluants métalliques issus du lessivage. Par exemple, dans le bassin versant du Marais à Paris, les contributions en Cu et Zn sont de 2%, celles en Cd de 10% et celles en Pb de 14% par rapport au RUTP. Par contre, l'apport en métaux par les eaux usées par temps sec est important. Les eaux usées génèrent 25 % du flux annuel de Pb et 37 % du flux de Zn dans le site du Marais à Paris (Chebbo et Gromaire 2004 ; Garnaud 1999). L'apport en métaux dans les eaux usées par temps sec peut souvent être attribué à la corrosion des conduites d'eau dans les bâtiments (Thévenot et al. 2007). Par ailleurs, les travaux de Dutortoir (2014) ont montré que dans la région grenobloise, à cause de l'activité industrielle importante, la présence d'éléments traces métalliques (ETM) en quantité supérieure au fond géochimique a été détectée dans l'Isère et le Drac en amont de Grenoble (Hg, Cr et Ni) et à proximité de l'agglomération

grenobloise (Zn, Cu, Cr et Ni). Dutortoir (2014) a également quantifiée le carbone organique et les nutriments dans l'Isère et le Drac en sortie de STEP. Ses résultats indiquaient que les concentrations mesurées par temps de pluie sont supérieures à celles mesurées par temps sec. Leutnant et al. (2016) ont mesuré en continu la qualité des eaux pluviales de ruissellement avec des capteurs de turbidité dans quatre communes types et dans des petits bassins urbains : (i) un toit plat ; (ii) un terrain de stationnement ; (iii) un bassin résidentiel (réseau séparatif dans une banlieue de Münster, Allemagne) ; et (iv) une rue à fort trafic (dans le centre de Münster (2,5 ha, 30 000 véhicules par jour). Des corrélations entre la quantité de MES et la turbidité ont été trouvées lors de fortes précipitations sur les sites de forte imperméabilité et une diminution de la corrélation avec l'augmentation de taille du bassin versant. Le lessivage du bassin versant résidentiel par temps de pluie apparaît être influencé par l'occupation des sols des différents sous-bassins. Sun et al. (2015) ont étudié l'évolution sur le long terme de la quantité et la qualité des eaux pluviales dans un bassin versant urbain français (réseau séparatif d'un site industriel à Chassieu à l'est de Lyon, 185ha) en utilisant des données de mesure en continu de 2004 à 2011 (716 événements pluviaux et 521 épisodes de ruissellement). Ces auteurs ont montré que la concentration moyenne en MES dans les eaux pluviales ne présente pas une tendance tandis alors que la charge de MES augmente fortement avec le volume de ruissellement. Zhao et al. (2016) ont étudié le processus de lessivage et d'accumulation de sédiments sur une route en milieu urbain en Chine à partir de douze prélèvements. Ils ont montré qu'un événement pluvieux seul ou des événements multiples produisent des accumulations de sédiments avec de taille des grains > 105µm. Par temps sec, les sédiments accumulés ont une granulométrie plus fine (<105µm), ce qui montre qu'ils sont transportés plus facilement par le ruissellement.

MATERIELS ET METHODES

1. Description des sites d'étude

Orléans est une commune située dans le département du Loiret (région Centre - Val de Loire) sur la Loire moyenne et représente 34% du bassin total de la Loire. La surface de l'agglomération Orléanaise est proche de 350 km². La Loire est le plus long fleuve de France avec une longueur 1012 km, et un bassin versant est de 120 000 km² et son débit moyen annuel de 850 m³s⁻¹ (Grosbois C. 2001).

Les trois exutoires étudiés sont associés à des bassins versants très peuplés de l'agglomération orléanaise qui présentent des occupations du sol différentes (Figure 1, tableau 2). Ce sont les trois principaux bassins versants urbains (situés rive droite) en termes de contribution de flux d'eau pluviale à la Loire au niveau de l'agglomération orléanaise.

Ces bassins versants ont des réseaux séparatifs à la hauteur de 90%; les 10% restant étant en réseau unitaire. La campagne de mesures s'est déroulée sur 10 mois (avril 2015- février 2016, tableau 1) au niveau d'exutoires sur la Loire de ces trois bassins versants ce qui a permis d'analyser les rejets du système d'assainissement d'eaux pluviales de l'agglomération d'Orléans au cours de différents épisodes pluvieux et de temps sec vers le milieu naturel.

Tableau 1 : Caractérisation des épisodes pluvieux ayant fait l'objet de campagnes de prélèvements entre avril 2015 et février 2016 au niveau des exutoires des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes

Type d'évènement	Date	Durée (min)	Pluie (cumul mm)	Intensité max sur 1h
temps sec	23/04/2015			
	19/11/2015			
	17/12/2015			
temps de pluie	06/05/2015	36.00	1.00	2.40
	24/11/2015	348.00	1.40	0.55
	07/01/2016	302.00	8.00	18.00
	03/02/2016	216.00	7.30	6.84
	23/02/2016	347.00	2.80	1.20

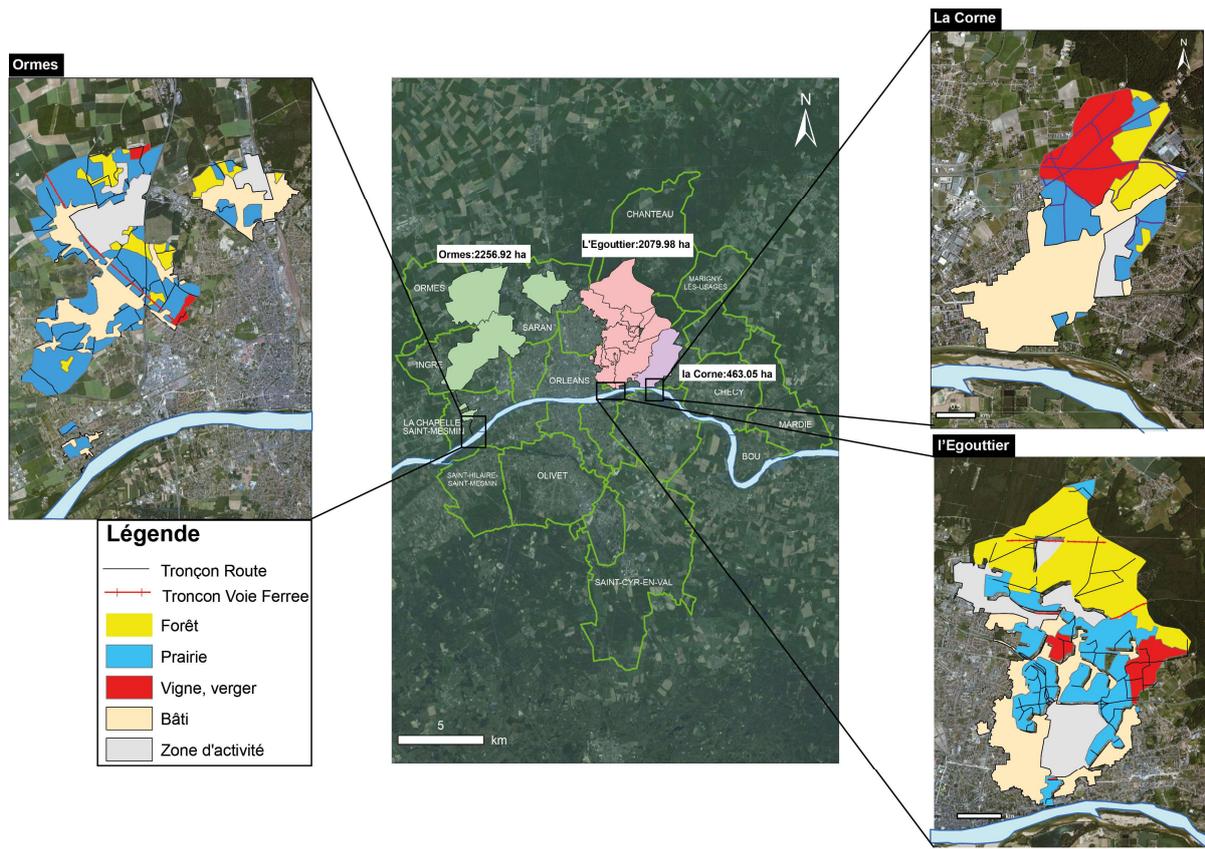


Figure 1. Localisation et occupation des sols des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes dans l'agglomération orléanaise.

2. Occupation des sols

Une étude de l'occupation des sols pour les trois bassins versants urbains de l'agglomération orléanaise rive droite de la Loire, réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS, montre que l'Ormes et l'Egouttier sont majoritairement occupés par des zones perméables (57 % de la surface totale sont occupés par des prairies, forêts, vignes et vergers). Pour la Corne la surface perméable est de 50 % de la surface totale.

Pour le bassin versant d'Ormes, les surfaces perméables comprennent 80% de prairie ($\cong 1070$ ha). Environ 50% ($\cong 600$ ha) de la surface perméable de l'Egouttier est occupée par des forêts. Environ 40% ($\cong 100$ ha) de la surface perméable de la Corne est occupée par des vignes et vergers.

Pour les zones imperméables, les surfaces bâties en occupent 60% ($\cong 600$ ha) au nord et au centre du bassin versant d'Ormes, et 80% ($\cong 200$ ha) pour le bassin versant de la Corne, comme indiqué sur la Figure 1. Pour l'Egouttier, environ 40% de la surface imperméable ($\cong 400$ ha) est occupée par des zones d'activité.

Tableau 2 Récapitulatif des principales caractéristiques des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes

	Ormes			l'Egouttier			La Corne		
localisation	au nord d'Orléans			au nord d'Orléans			au nord d'Orléans		
occupation du sol	zone d'activité	bâti	route	zone d'activité	bâti	route	zone d'activité	bâti	route
surface (ha)	330.1	584.9	23.5	397.1	490.4	26.6	28.2	199.3	6.8
surface totale (ha)	2256.9			2080.0			463.0		
surface imperméable (ha)	938.6			914.1			234.4		
coefficient de ruissellement	0.4			0.4			0.5		
pente%	18.0			10.0			8.0		
coefficient d'apport (Ca)	0.4			0.4			0.5		
surface active (ha)	902.8			832.0			208.4		
Système d'assainissement	séparative			séparative			séparative		
surface perméable (ha)	Prairie	Forêt	Vigne, verger	Prairie	Forêt	Vigne, verger	Prairie	Forêt	Vigne, verger
	1068.1	201.6	36.2	493.3	590.4	108.8	79.5	57.8	97.9

3. Stratégie d'échantillonnage et analyse

a) Prélèvement des eaux et mesures *in situ*

Les paramètres analysés *in situ* pour chaque prélèvement ont été la conductivité et le pH (mesures effectuées avec une sonde multiparamètres WTW 1970i) et la turbidité (spectrophotomètre Smart3 Lamotte). Les échantillons d'eau ont été prélevés près de l'exutoire à l'aide de bouteilles en plastique préalablement rincées 3 fois à l'eau à prélever. Tous les matériels utilisés dans la chaîne analytique (unité de filtration, bouteilles de prélèvement, etc.) ont été préalablement lavés à l'acide nitrique HNO₃ à 10 % et rincés avec l'eau ultra pure (Milli-Q, Millipore). Ils ont été ensuite conservés à 4°C et à l'obscurité jusqu'à leur analyse.

b) Analyse des MES

Le protocole de quantification des MES utilisé est la norme AFNOR NF T90-105. Les prélèvements d'eau ont été filtrés sous vide sur une membrane filtrante (*Magna Nylon, GE Infrastructure Water & Process Technologies*) à 0,45µm puis séchés à 105°C jusqu'à masse constante

c) Analyse du carbone organique dissous

Le carbone organique dissous (COD) a été mesuré sur les échantillons d'eau filtrée (0,45µm) par un analyseur de carbone total de type TOC VCSN Shimadzu.

d) Analyses des cations et anions majeurs

Les analyses des principaux cations (Na⁺, Mg⁺, K⁺, Ca²⁺) et anions (Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) ont été réalisées par chromatographie ionique (Dionex ICS 900 et 1100) sur les échantillons d'eau filtrée (0,45µm).

e) Analyse de la DBO₅ et DBO₂₈

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une mesure de la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes au cours de l'oxydation des substances réduites dans un échantillon d'eau, après 5 jours (DBO₅) et 28 jours (DBO₂₈) d'incubation à 20 ± 0,5 ° C dans l'obscurité (Rodier et al. 2009). La valeur de la DBO à 28 jours est nommée DBO ultime (DBOU). Les demandes en oxygène ont été mesurées sur les échantillons d'eau non filtrée par méthode respirométrique, en utilisant les dispositifs DBO VELD Scientifica.

f) Traitement statistiques des données

La variabilité des paramètres physico-chimiques (turbidité, conductivité électrique, MES, pH, COD, DBO₅, DBO₂₈, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Na⁺ et NH₄) a été étudiée par Analyse en Composantes Principales (ACP) à deux facteurs (scénarios hydrologiques et sites) à l'aide du logiciel XL STAT. (Sadat et al. 1997).

RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs moyennes ainsi que les écarts types des différents paramètres sont représentés dans les figures ci-dessous pour toutes les grandeurs mesurées dans les campagnes de mesures.

a) Paramètres physico-chimiques globaux (pH, conductivité, MES, turbidité, COD)

- La valeur de la conductivité est plus élevée par temps sec que par temps de pluie pour tous les sites (La Corne, L'Egouttier, Ormes) indiquant que l'effet de dilution par les précipitations prédomine. Les valeurs de la conductivité du site d'Ormes sont toujours plus élevées que celles de L'Egouttier et de La Corne. (Figure 2A). On peut donc penser à des fuites d'eaux usées plus importantes dans le réseau d'eau pluviale d'Ormes. Des observations similaires pour les eaux usées à Clichy et Sucy en Brie et les eaux pluviales (Noisy le Grand) ont été faites par Zgheib (2009). Des conductivités de 1062, 1459 et 325 µS/cm ont respectivement été mesurées. Les valeurs de conductivité mesurées des eaux de ruissellement sont de 3 à 4 fois plus faible que celles mesurées par temps sec. D'autres études, dont celles de Lampréa (2009), en site urbain dans le bassin versant du Pin Sec à Nantes donnent des résultats similaires.
- Les valeurs du pH par temps sec sont plus faibles que celles par temps de pluie à Ormes, contrairement aux deux autres sites (Figure 2B). Ceci peut également s'interpréter par la présence d'eaux usées dans le réseau d'eau pluviale d'Ormes.
- Les valeurs de la turbidité (Figure 2C) et des concentrations en MES (Figure 2D) pour le site de l'Egouttier par temps sec et temps de pluie sont plus élevées que ceux d'Ormes et de La Corne. Ceci peut être dû à la présence d'une importante zone de forêt dans le bassin versant de l'Egouttier.

- Pour les sites d'Ormes et de la Corne, la quantité de MES par temps de pluie est supérieure à celle par temps sec (Figure 2D). La même tendance a été obtenue par Lampréa (2009) dans le bassin versant du Pin Sec de Nantes : 6-13 mg/L de MES pour les eaux pluviales par temps sec et 69-75 mg/L par temps de pluie. Bressy (2010) mesure des concentrations en MES du même ordre par temps de pluie dans une banlieue résidentielle de la région parisienne 15- 64 mg/L. C'est une tendance inverse pour l'Egouttier qui doit s'expliquer par la présence d'une forêt ($\cong 600$ ha) sur sa partie non canalisée.
- Les valeurs de la turbidité par temps sec sont plus élevées que par temps de pluie à l'exutoire d'Ormes (Figure 2C). Ceci provient certainement de la présence de particules fines ($< 45\mu\text{m}$) dans le réseau.
- Les valeurs des concentrations en MES et de la turbidité (Figures 2C et D) pour le site de la Corne sont plus élevées par temps de pluie. Ceci peut être dû à l'effet de l'érosion plus important sur ce site que sur les deux autres.
- Les valeurs des COD pour le site de l'Egouttier par temps sec et temps de pluie sont plus élevées que ceux d'Ormes et de La Corne (Figure. 2E). Ceci peut être dû à la présence d'une importante zone d'activité industrielle (40 % de la zone imperméable).

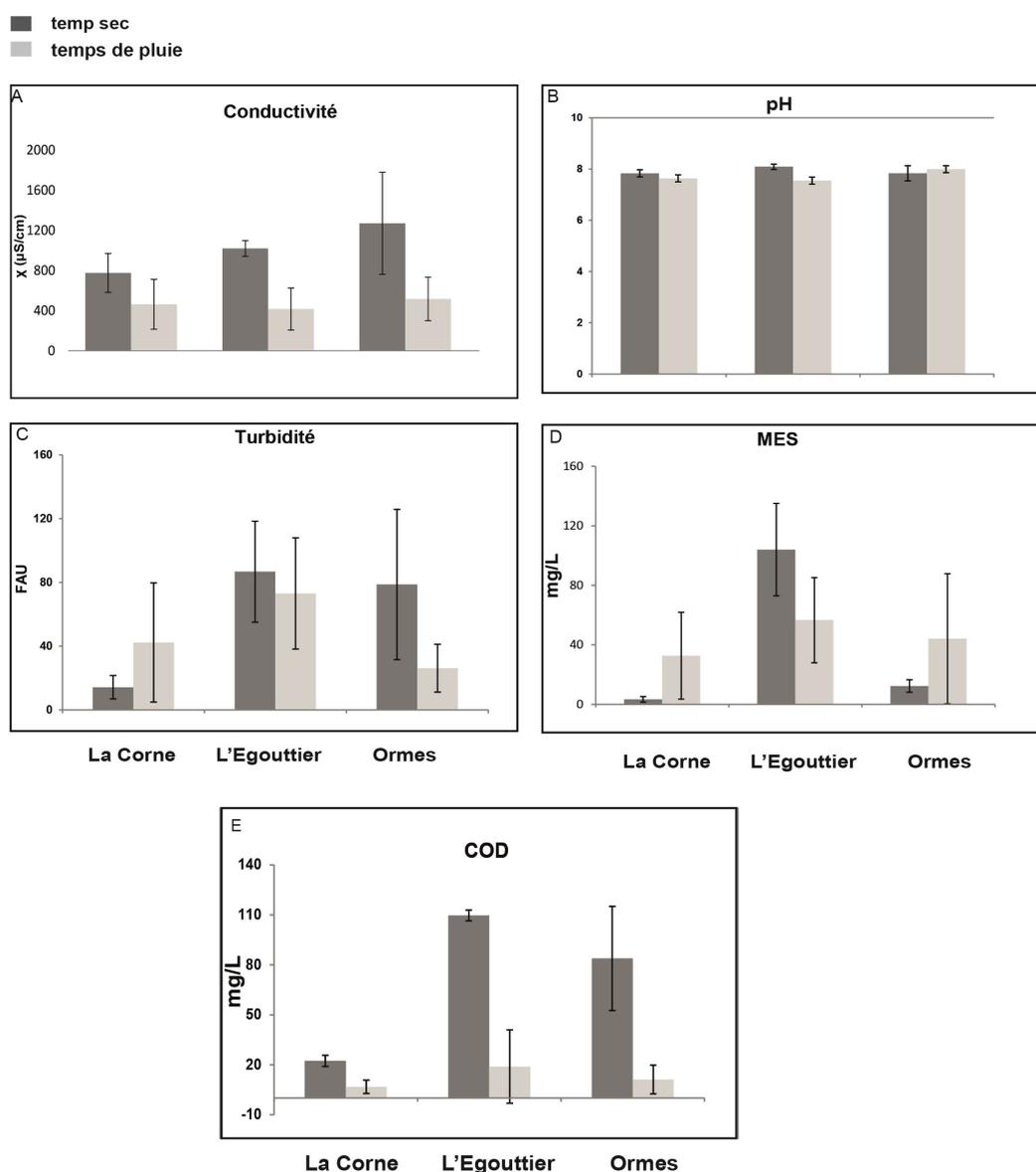


Figure.2 Valeurs moyennes et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les différents exutoires des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes pour les deux scénarios hydrologiques (temps de pluie, n=4-5 ; temps sec, n=2-3).

b) Cations et anions majeurs

- Les concentrations en Mg^{2+} (Figure 3A), K^+ (Figure 3B) et Ca^{2+} (Figure 3C) sont plus élevées par temps sec que par temps de pluie pour tous les sites, indiquant un effet de dilution par les pluies et expliquant l'augmentation de la conductivité par temps sec.
- Les concentrations en Na^+ (Figure 3D), NH_4^+ (Figure 3E) et Cl^- (Figure 3F) sur le site d'Ormes sont plus élevées que celles des autres sites. Ceci peut être interprété par un mélange de l'eau de ruissellement urbain d'Ormes avec des eaux usées. En effet la surface bâtie importante du bassin versant (60% de la zone imperméable) augmente la probabilité de fuites d'eau usée dans le réseau d'eau pluviale. Les valeurs plus élevées de la conductivité (Figure 2A) et de la turbidité par temps sec (Figure 2C) confirment cette interprétation qui est également en accord avec les travaux de Hannouche et al. (2011). Les valeurs plus faibles du pH par temps sec (Figure 2B) pourraient également confirmer cette présence d'eau usées.
- Les concentrations de l'ion sulfate (SO_4^{2-}) mesurées sur le site de la Corne (Figure 3G) sont plus élevées que celles des autres sites. Le même comportement a été constaté pour NO_3^- par temps sec (Figure 3H). On peut attribuer ces variations à la présence d'une surface importante de vignes ($\cong 100$ ha) dans le bassin versant la Corne. Le lien entre (SO_4^{2-}) et NO_3^- est confirmé par les analyses ACP.
- Les nitrates ont été dosés. Leurs concentrations sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil.

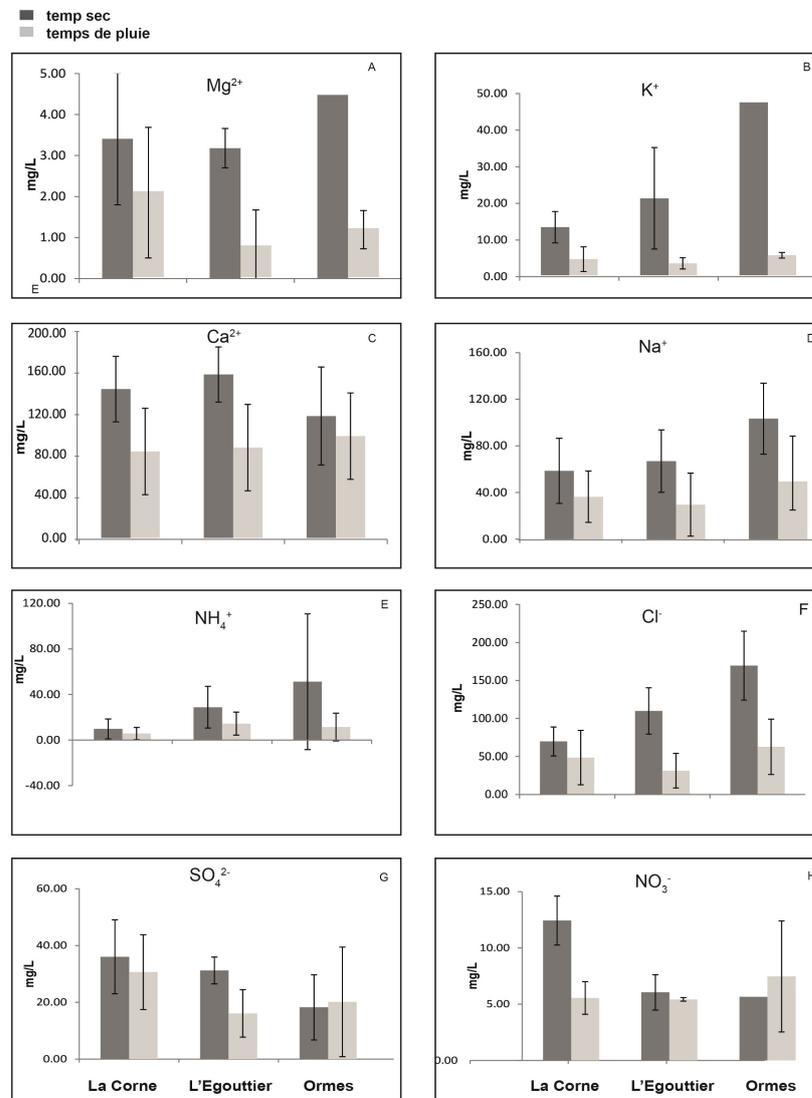


Figure.3 Valeurs moyennes et écart-types des cations et anions majeurs dans les différents exutoires des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes pour les deux scénarios hydrologiques. (temps de pluie, n=3-5 ; temps sec, n=1-3).

c) Paramètres biologiques

- La valeur des DBO₅ et DBO₂₈ sont généralement plus élevés par temps sec que par temps de pluie (Figure. 4A, B), indiquant, comme pour la conductivité, l'effet de dilution par les précipitations.
- Les valeurs des DBO₅ et DBO₂₈, pour le site de l'Egouttier par temps sec et temps de pluie sont plus importantes que celles d'Ormes et de La Corne (Figures 4A et B). Ceci peut être dû à la présence d'une importante zone d'activité industrielle (40 % de la zone imperméable). Des observations similaires ont été faites par Gasperi (2006) dans le bassin du Marais pour les eaux de ruissellement (8-25 mg/L) par temps sec (133-211 mg/L).

■ temp sec
■ temps de pluie

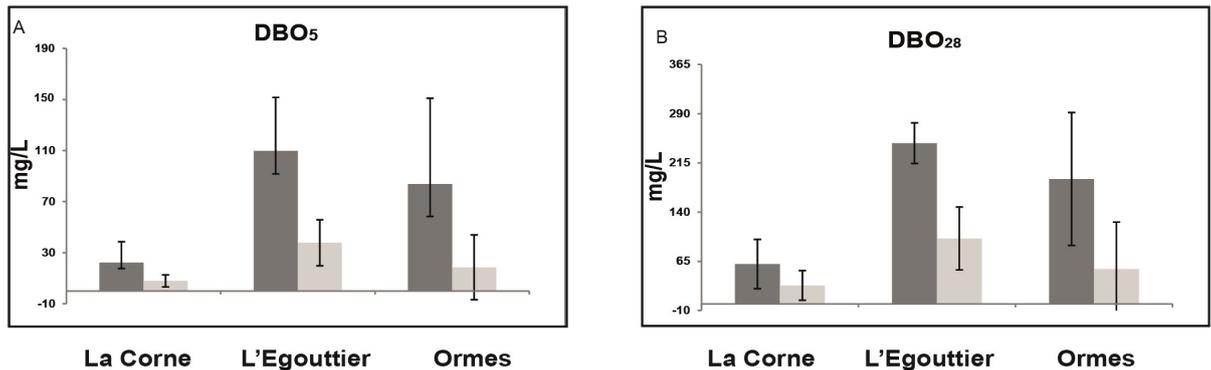


Figure.4 Valeurs moyennes et écart-types des paramètres biologiques dans les différents exutoires des bassins versants de la Corne, l'Egouttier et Ormes pour les deux scénarios hydrologiques (temps de pluie, n=4; temps sec, n=3).

d) Typologie des caractéristiques physico-chimiques des eaux de ruissellement

L'analyse multifactorielle (ACP) nous a permis de classer et de traiter les informations relatives aux paramètres physico-chimiques et biologiques des RUTP au cours de la période d'étude par l'établissement des corrélations entre l'ensemble des variables des sites étudiés. Cette ACP a été effectuée sur une matrice des données constituée de 9 prélèvements (3 sites x 3 campagnes) au cours desquels 12 variables (MES, conductivité, turbidité, pH, COD, DBO₅, DBO₂₈, NH₄⁺, Cl⁻, Na⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻) ont été systématiquement mesurées, réparties sur l'ensemble du système, ce qui a permis d'obtenir un nombre limité de composantes (5) non corrélées. En raison de problème de quantifications les valeurs de Mg²⁺, K⁺ et Ca²⁺ n'ont pas pu être obtenues.

La matrice de corrélation des variables étudiées (Tableau 3) montre une corrélation positive entre le COD et les paramètres de la conductivité et du pH, ainsi qu'avec la DBO. Des corrélations fortes et positives sont observées entre la NH₄⁺ et COD. La corrélation positive entre SO₄²⁻ et NO₃⁻ est également observée.

Tableau 3 : Matrice de corrélation entre les variables sur l'ensemble des sites étudiées

Variables	MES	COD	DBO ₅	DBO ₂₈	Cond	pH	Turb	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺
MES	1											
COD	0.567	1										
DBO ₅	0.659	0.970	1									
DBO ₂₈	0.446	0.893	0.818	1								
Cond	0.105	0.688	0.591	0.726	1							
pH	-0.025	0.616	0.566	0.680	0.753	1						
Turb	0.911	0.362	0.457	0.198	-0.003	-0.315	1					
Cl ⁻	0.266	0.543	0.582	0.584	0.651	0.458	0.271	1				
NO ₃ ⁻	-0.563	-0.202	-0.250	-0.311	-0.326	-0.186	-0.581	-0.534	1			
SO ₄ ²⁻	-0.322	-0.009	-0.158	0.019	-0.264	-0.097	-0.334	-0.456	0.508	1		
Na ⁺	0.012	0.106	0.145	0.109	0.580	0.417	0.108	0.666	-0.675	-0.623	1	
NH ₄ ⁺	0.425	0.855	0.834	0.793	0.678	0.758	0.207	0.466	-0.355	-0.055	0.331	1

Les valeurs propres des deux composantes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans la Figure 5A. Les résultats permettent d'effectuer une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leurs regroupements sur les deux premières composantes principales, à partir de leur contribution. Les deux premiers axes déterminent 69% de l'information totale (49% des variances pour la

composante1 (F1) et 19,8% de la variance La composante2 (F2)). Les valeurs propres de l'ACP, les cartes factorielles et le cercle de la corrélation sont représentés dans la Figure 5B. La composante 1 est déterminé par DBO₅ (**0,890**), COD (**0,885**), NH₄⁺ (**0,867**), DBO₂₈ (**0,856**), la conductivité (**0,800**), Cl⁻ (**0,764**), pH (**0,690**), MES (**0,588**), Na⁺ (**0,505**), turbidité (**0,421**), SO₄²⁻ (**-0,349**), NO₃⁻ (**-0,574**).

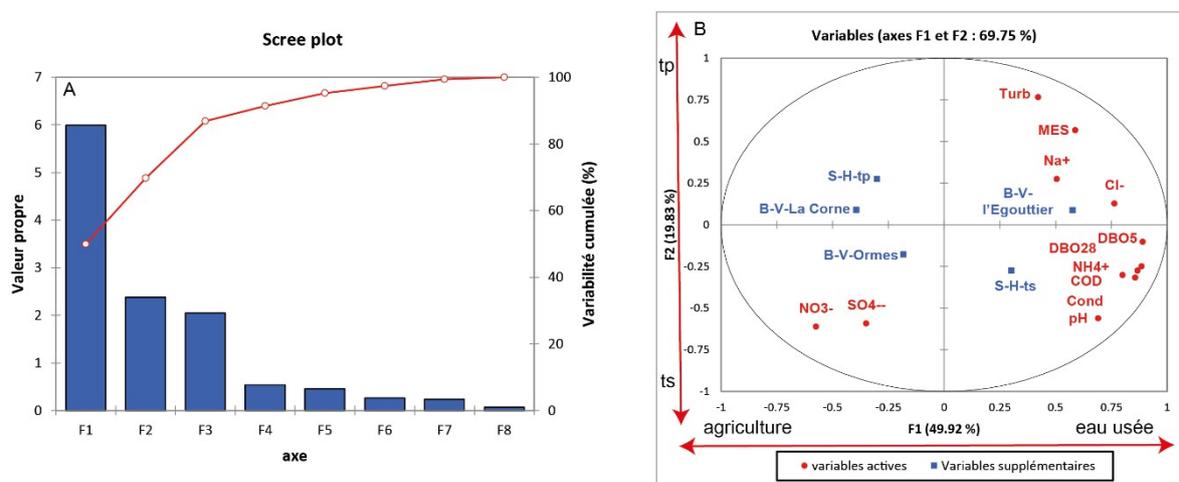


Figure 5. A : Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques pour le RUTP et selon le plan F1xF2. répartition de l'inertie entre les axes ; B : cercles de corrélation des variables (B-V=bassin versant, S-H=scénario hydrologique).

Cette composante met en évidence 7 variables dont les coefficients sont supérieurs à **0,6**. Ces variables sont majoritairement dépendantes de l'activité anthropique telle que l'apport d'eaux usées. L'existence d'une corrélation entre la conductivité et la concentration en NH₄⁺ conforte cette hypothèse (Helena et al. 2000). La composante 2 est par contre représentée par la turbidité (**0,765**) et la concentration en MES (**0,568** ; Figure 5B). Cette composante traduit certainement la présence d'une fraction de la matière organique générée dans le milieu par la dégradation, comme en témoigne la présence de MES et de la turbidité (Hilton et al. 2006).

L'analyse globale permet de définir une typologie dominée par l'individualisation de 3 sites : la Corne située dans une zone à faible contamination anthropique à coefficient négatif pour la DBO₅ (-0,532) mais qui se caractérise par une forte activité agricole à l'origine de la présence de SO₄²⁻ et NO₃⁻. Le bassin versant de l'Egouttier, caractérisé par une importante activité industrielle, est liée aux corrélations en COD et DBO₅ et les influences des MES. Le bassin versant d'Ormes a presque la même tendance au niveau des cations et anions majeurs.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude préliminaire sur les exutoires de la Corne, l'Egouttier et Ormes, principaux bassins de l'agglomération d'Orléans en terme de flux hydrique vers la Loire, souligne la relation entre les paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux de ruissellement urbain et les conditions hydrologiques. En général, pour les échantillons collectés, les concentrations obtenues au niveau des paramètres physico-chimiques mesurés dans le RUTP apparaissent très variables d'un événement pluvieux à l'autre pour un même site mais aussi d'un site à l'autre lors du même événement pluvieux. Cette variabilité s'explique d'une part par les caractéristiques différentes des événements pluvieux étudiés et des conditions qui les ont précédés, et d'autre part par les occupations des sols et les activités anthropiques différentes sur les trois bassins versants. Pour les paramètres physico-chimiques sur les trois sites, l'ordre d'importance des DBO₅, DBO₂₈, concentrations en MES et COD est le suivant : l'Egouttier > Ormes > la Corne. En ce qui concerne les cations et anions majeurs, l'ordre d'importance des SO₄²⁻, NO₃⁻ est : la Corne > l'Egouttier > Ormes et pour NH₄⁺, Cl⁻, N a⁺ : Ormes > l'Egouttier > la Corne.

De façon générale, l'occupation des sols et les activités anthropiques sur les bassins versants semblent influencer significativement les valeurs des paramètres physico-chimiques et biologiques de la qualité de l'eau. Pour le bassin versant d'Ormes, la surface bâtie (≈600 ha) joue un rôle dans la présence d'eaux usées. Pour le bassin versant de l'Egouttier, les ≈400 ha occupés par les zones d'activité ont une influence sur les concentrations en COD et les valeurs de la DBO₅ et de la DBO₂₈. Pour la Corne, les ≈100 ha de surface occupé par les vignes et vergers ont une influence significative sur les concentrations en SO₄²⁻ et NO₃⁻.

Il est envisagé dans la suite de cette étude d'utiliser des préleveurs automatiques, et d'utiliser un protocole d'échantillonnage intégratif avec des Capteurs Passifs (DGT, SPMD et POCIS) pour suivre les événements

pluvieux de façon détaillée. En fin un modèle hydrologique de flux utilisant plusieurs traceurs géochimiques et minéralogiques sera développé.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Cédric Morio et Catherine Jousset de l'Agglomération orléanaise pour leur collaboration et Olivier Laüt pour les prélèvements, ainsi que Léonard Bernard-Jannin de l'ISTO pour l'aide sur l'ACP. Les auteurs remercient également la Région Centre – Val de Loire pour le financement du projet RUTP Orléans et Campus France pour sa participation au financement de la thèse de Mohammed Rashid D. Al-Juhaishi.

BIBLIOGRAPHIE

- Becouze C. (2010) Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 298p.
- Bressy A. (2010) Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales. Thèse de doctorat. Université Paris-Est (France). 171p.
- Chebbo G. and Gromaire M.C. (2004) The experimental urban catchment 'Le Marais' in Paris: what lesson can be learned from it? *Journal of Hydrology*, 299:312-323.
- Chocat B. (1997) Ecylopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Paris (France): Technique et Documentation, 1136p. Eurydice 92
- Garnaud S. (1999) Transfert et évolution géochimique de la pollution métallique en bassin versant urbain. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris France. Thèse de doctorat, 396p.
- Gasperi J. (2006) Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien. Thèse de doctorat. Ecole nationale des Ponts et Chaussées (France). 174p.
- Grosbois C., Negrel P., Grimaud D. , and Fouillac C. (2001) An overview of dissolved and suspended matter fluxes in the Loire River basin; natural and anthropogenic inputs. *Aquat. Geochem.*, 7(2):81–105
- Dembélé A. (2010) MES, DCO et polluants prioritaires des rejets urbains de temps de pluie : mesure et modélisation des flux événementiels. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 252p.
- Dutordoir S. (2014) Bilan des flux de métaux, carbone organique et nutriments contenus dans une rivière alpine : part des rejets urbains de l'agglomération de Grenoble et apports amont (Isère et Drac). Thèse de doctorat. Université de Grenoble. 366p.
- Helena B., Pardo R., Vega M., Barrado E., Fernandez J. M., and Fernandez L. (2000) Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis *Water Res. Oxf.* 34(3):807–816
- Hilton J., O'Hare M., Bowes M. J. , and Jones J. I. (2006) How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers *Sci. Total Environ.*, 365:66–83
- Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Joannis, C. (2011) Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire. *Techniques Sciences Méthodes*, 42.
- Lamprea Maldonado 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-urbain. Ecole Centrale de Nantes, France. Thèse de doctorat, 176p.
- Leutnant, D., Muschalla, D., Uhl, M. (2016.) Stormwater Pollutant Process Analysis with Long-Term Online Monitoring Data at Micro-Scale Sites. *Water* 8, 299.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., and Brunet R. (2009) L'analyse de l'eau-9ème édition-Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod.
- Sadat A. W., N'goran E. B. Z., Siaka S., And Parinet B. (1997) Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), *J Appl Biosci* ISSN, 5902p.
- Sun S., Barraud, S., Castebrunet, H., Aubin, J.-B., Marmonier, P. (2015) Long-term stormwater quantity and quality analysis using continuous measurements in a French urban catchment. *Water Res.* 85:432–442
- Thévenot D., Moilleron R., Lestel L., Gromaire M.C., Rocher V., Cambier P., Bonté P., Colin J.L., De Pontevès C. And Meybeck M. (2007) Critical budget of metal sources and pathways in the Seine River basin (1994-2003) for Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn. *Science of the Total Environment*, 375:180-203
- Zgheib S. (2009) Flux et sources de polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France. Thèse de doctorat, 142p.
- Zhao, H., Chen, X., Hao, S., Jiang, Y., Zhao, J., Zou, C., Xie, W. (2016) Is the wash-off process of road-deposited sediment source limited or transport limited? *Sci. Total Environ.* 563:62–70.