



OPUR : Observatoire d'hydrologie urbaine en Île de France

Thème de recherche R2: Diagnostic et optimisation des
systèmes d'assainissement vis à vis des polluants et des
micropolluants

Action de recherche R2.2

VALORISATION DE DONNEES DEBIT-QUALITE ISSUES DE L'AUTOSURVEILLANCE DE STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES

Rapport final OPUR

Claude Joannis¹, Ali Hayek², Ghassan Chebbo²

¹ CJ Conseil, 37 rue du coteau, 44100 NANTES

² LEESU, Ecole des Ponts, Université Paris Est Créteil, F77455 Marne-la-Vallée, France

Avril 2024



Tables des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	9
-----------------------------------	----------

<i>ARTICLE SOUMIS A TSM: VALORISATION DE DONNEES DEBIT- QUALITE ISSUES DE L'AUTOSURVEILLANCE DE STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES - PARTIE I : CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS COLLECTES EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE</i>	11
---	-----------

1. INTRODUCTION.....	12
-----------------------------	-----------

2. MATERIEL ET METHODES.....	13
-------------------------------------	-----------

2.1 BASE DE DONNEES.....	13
--------------------------	----

2.2 METHODOLOGIE D'ANALYSE	14
----------------------------------	----

2.2.1 Indicateurs de fonctionnement	14
---	----

2.2.2 Descripteurs statistiques	16
---------------------------------------	----

2.2.2.1 Facteurs explicatifs des variations intra-site	17
--	----

2.2.2.2 Facteurs explicatifs des variations inter-sites.....	18
--	----

2.3 Représentations graphiques et tableaux de synthèse.....	19
---	----

2.4 Analyse des corrélations et analyse multi-factorielle.....	21
--	----

3. RESULTATS.....	21
--------------------------	-----------

3.1 ANALYSE GRAPHIQUE	21
-----------------------------	----

3.1.1 Volumes.....	21
--------------------	----

3.1.2 DBO5	23
------------------	----

3.1.3 Ammonium.....	25
---------------------	----

3.2 ANALYSE STATISTIQUE.....	27
------------------------------	----

3.2.1 Valeurs caractéristiques et influence de la pluie	27
---	----

3.2.2 Influence du type de réseau et de la taille de la population desservie.....	29
---	----

3.2.3 Corrélations entre flux et entre concentrations journaliers pour chaque site.....	30
---	----

3.2.4 Analyse en composantes principales.....	32
---	----

3.2.4.1 Interprétation des axes	33
---------------------------------------	----

3.2.4.2 Positionnement des STEU	34
---------------------------------------	----

4. CONCLUSIONS.....	36
----------------------------	-----------

<i>ARTICLE SOUMIS A TSM: VALORISATION DE DONNEES DEBIT- QUALITE ISSUES DE L'AUTOSURVEILLANCE DES STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE</i>	39
--	-----------

1. INTRODUCTION.....	40
-----------------------------	-----------

2.	MATERIEL ET METHODES.....	40
3.	RESULTATS.....	41
3.1.	FLUX TRAITES PAR LES STATIONS D'EPURATION	41
3.2.	TAUX DE CHARGE DES STATIONS D'EPURATION	42
3.3.	RENDEMENT DES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE.....	44
3.3.1.	<i>Analyse graphique pour la DBO5</i>	<i>44</i>
3.3.2.	<i>Analyse statistique</i>	<i>46</i>
3.3.2.1.	Valeurs caractéristiques et influence de la pluie.....	46
3.3.2.2.	Corrélations site par site entre les rendements, et le volume, les flux ou les concentrations traités....	47
3.3.2.3.	Influence du type de réseau et du taux de charge des stations.....	48
3.4.	IMPORTANCE DES SURVERSES EN A2 ET RENDEMENT GLOBAL STEU+A2 EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE	49
3.4.1.	<i>Importance des déversements en A2</i>	<i>49</i>
3.4.2.	<i>Concentration des rejets en A2</i>	<i>50</i>
3.4.3.	<i>Impact sur les rendements épuratoires.....</i>	<i>51</i>
3.5.	CARACTERISTIQUES DES REJETS DES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE	52
3.5.1.	<i>Analyse graphique pour la DBO5</i>	<i>52</i>
3.5.2.	<i>Analyse statistique</i>	<i>54</i>
3.5.2.1.	Valeurs caractéristiques et influence de la pluie.....	54
3.5.2.2.	Influence du type de réseau et du taux de charge des stations.....	56
4.	CONCLUSIONS.....	57
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	59

Liste des figures

VALORISATION DE DONNEES DEBIT- QUALITE ISSUES DE L'AUTOSURVEILLANCE DES STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

Figure 2-1 références et emplacements de points de contrôle	13
Figure 2-2 exemples de distribution de la pluviométrie selon des classes de pluie arbitraires	18
Figure 3-1 Volumes journaliers par équivalent habitant A2+A3: effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie	22
Figure 3-2 Volumes journaliers par équivalent habitant A2+A3 : rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec	22
Figure 3-4 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes de DBO5 acheminés vers les stations (A2+A3): rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec	24
Figure 3-5 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes d'ammonium acheminés vers les stations (A2+A3): effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie.....	25
Figure 3-6 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes d'ammonium acheminés vers les stations (A2+A3): rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec	26
Figure 3-7 analyse en composantes principale de l'ensemble des sites pour les médianes et les dispersions des volumes et des concentrations : relations entre les variables et identification des 2 premiers axes factoriels	33
Figure 3-8 analyse en composantes principale de l'ensemble des sites pour les médianes et les dispersions des volumes et des concentrations : position des différentes STEU dans le premier plan factoriel et regroupements identifiés par une classification hiérarchique ascendantes utilisant les coordonnées sur 5 premiers axes (89% de la variance totale)	35

Valorisation de données débit- qualité issues de l'autosurveillance des stations d'épuration des eaux usées - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

Figure 3-1 médianes en temps sec et en temps de pluie et centiles 95 des taux de charge organique et hydrauliques réels (flux admis en A3/capacité de la station) et centiles 95 des taux de charge potentiels (flux acheminés en A2+A3 /capacité de la station)	43
Figure 3-2 rendements des STEU pour la DBO5 : effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie	44

Figure 3-3 médianes (en haut) et valeurs inhabituelles (en bas) des rendements des STEU pour la DBO5	45
Figure 3-4 variabilités du rendement des STEU pour la DBO5 : IC80/2 en temps sec (en haut) et ratio temps de pluie/temps sec (en bas)	45
Figure 3-5 Taux global de déversement en A2, exprimés en % des volumes et des flux transférés jusqu'en entrée station (c.a.d. A2+A3) et en nombre de jours de déversement par an exprimés en %	49
Figure 3-6 Taux de déversement en A2 en temps sec, exprimés en % des volumes et des flux transférés jusqu'en entrée station (c.a.d. A2+A3) et en nombre de jours de déversement par an exprimés en %	50
Figure 3-7 flux et concentration en DBO5 rejetés par les STEU au point A4(sortie station) : effectifs, médianes, intercentile 80, centile 95 en temps sec et pour 2 temps de pluie.	53
Figure 3-8 Impact de la pluie ($P > 8\text{mm}/2\text{j.}$) sur les médianes et les variabilités des flux et des concentrations en DBO5 rejetés par les stations d'épuration en A4 (sortie station)	53

Liste des tableaux

VALORISATION DE DONNEES DEBIT- QUALITE ISSUES DE L'AUTOSURVEILLANCE DES STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

Tableau 2-1 valeurs de référence pour les flux spécifiques et les concentrations	16
Tableau 2-2 récapitulation des éléments structurant l'analyse des données	19
Tableau 2-3 codes couleurs utilisés pour les représentations graphiques	20
Tableau 3-1 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs pour les différents flux et concentrations.....	27
Tableau 3-2 influence globale du type de réseau et de la taille de la population équivalente raccordée sur les différents indicateurs.....	30
Tableau 3-3 coefficients de corrélation (moyennés sur les différents sites) entre flux journaliers, entre concentrations moyennes journalières, et entre flux et concentrations.	31
Tableau 3-4 coefficients de corrélation (moyennés pour chaque site sur les différentes paires de paramètres de pollution) entre flux journaliers et entre concentrations moyennes journalières	32

Valorisation de données débit- qualité issues de l'autosurveillance des stations d'épuration des eaux usées - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

Tableau 3-1 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs de flux mesurés pour les différents paramètres de pollution au point A3 (entrée STEU).....	42
Tableau 3-2 Valeurs moyennes et gammes de variation des taux de charge organique et hydraulique, réels et potentiels	44
Tableau 3-3 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs de rendement pour les différents paramètres de pollution	46
Tableau 3-4 comparaison des moyennes et gammes de variation des indicateurs de rendement (moyenne annuelle ou Centile 5) aux prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015.....	47
Tableau 3-5 Corrélations entre les rendements observés pour chaque paramètre de pollution et les rendements observés sur les autres paramètres, ainsi que les concentrations et les flux mesurées en A3.....	47
Tableau 3-6 Influence du type de réseau et du taux de charge sur les rendements des STEU : rapports entre les moyennes calculées pour chaque catégorie	48
Tableau 3-7 Nombre de jours de prélèvement en A2, médianes et centiles caractéristiques des	

concentrations en A2, et médianes des concentrations en A3 pour les jours de déversement (A3 si A2), et, pour comparaison, pour les jours de pluie et les jours de temps sec	51
Tableau 3-8 Taux de déversement en flux des principales stations où sont observées des déversements, médianes et 5 ^{ème} centiles des rendements propres aux STEU et des rendements du système STEU+A2 - différences entre ces deux rendements et comparaison des rendements STEU+A2 aux préconisations de l'arrêté du 21 juillet 2015	52
Tableau 3-9 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs relatifs aux concentrations mesurées en A4 (sortie station) pour les différents paramètres de pollution et comparaison aux prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015	55
Tableau 3-10 Comparaison des moyennes et gammes de variation des indicateurs concentrations en A4 (sortie station) avec les prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015	55
Tableau 3-11 Influence du type de réseau et du taux de charge sur les flux et les concentrations rejetés au point A4 par les STEU : rapports entre les moyennes calculées pour chaque catégorie	56

INTRODUCTION GENERALE

On dispose de données abondantes et très précises sur les débits et les concentrations et flux de nombreux polluants (en particulier de micropolluants) observés à l'exutoire de quelques bassins versants urbains expérimentaux gérés par des équipes de recherche (Soyer et al., 2019). Celles-ci les analysent essentiellement pour évaluer, voire prévoir, l'impact des événements pluvieux sur les réseaux pluviaux ou unitaires. D'autres thématiques sont un peu moins étudiées, telles que les conditions de fonctionnement de temps sec, et plus généralement celui des systèmes de collecte des eaux usées en mode séparatif.

Quoiqu'il en soit, on connaît mal la représentativité de ces sites expérimentaux vis à vis de la diversité des agglomérations urbaines.

Par ailleurs l'autosurveillance des stations d'épuration a été instituée par l'arrêté du 22 décembre 1994 relatif à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées, et confirmée par les arrêtés du 22 juin 2007, du 21 juillet 2015 et du 31 juillet 2020. Elle est opérationnelle depuis de nombreuses années et comporte des bilans 24 h en entrée et sortie de toutes les stations d'épuration (STEU), dont la périodicité varie en fonction de la taille des agglomérations et des paramètres analysés. Ces paramètres concernent essentiellement les polluants classiques (matières en suspension, matières organiques, polluants azotés, phosphore). Depuis le 1^{er} janvier 2008 ces données sont centralisées dans les Agences de l'Eau grâce au système d'information SANDRE (Arrêté du 22 Juin 2007). Ces données peuvent être exploitées pour analyser en détail le fonctionnement d'un système d'assainissement. Il semble cependant qu'elles font rarement l'objet de synthèses à grande échelle.

Dans le cadre du programme OPUR5, il a été proposé d'étudier comment ces données pouvaient être valorisées pour obtenir une vue plus générale du fonctionnement des différents types réseaux de collecte dans différents contextes météorologiques et socio-économiques. Plus précisément on s'est appuyé sur l'exemple du bassin Seine Normandie pour rechercher des valeurs de références de débit, de concentration et de flux en entrée STEU, en temps sec et si possible en temps de pluie, en s'intéressant non seulement aux valeurs moyennes (ou médianes) mais aussi aux gammes de variation sur un site donné et entre différents sites. On s'est également intéressé aux flux déversés dans les milieux récepteurs et aux performances de la dépollution

L'ambition de cette étude est double. Elle vise dans un premier temps à établir un cadre méthodologique pouvant être généralisé à d'autres jeux de données de même type. Ce cadre comprend l'identification de classes pluviométriques et l'élaboration d'indicateurs et de représentations graphiques pertinents. Ces outils permettent de quantifier l'impact des événements pluvieux sur les flux collectés et sur les performances de la dépollution, et d'étudier globalement l'influence de différents facteurs tels que l'importance de la population desservie, le taux de charge des stations, ou le type de réseau de collecte. Dans un deuxième temps l'application de cette méthodologie a été testée en vraie grandeur sur une partie des données SANDRE sur un échantillon de stations d'épuration et fournit des premiers résultats. Ils restent à confirmer sur un échantillon plus vaste et à compléter par l'analyse des autres données

disponibles, mais ils permettent déjà d'esquisser des conclusions opérationnelles.

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'un article en deux parties soumis à la revue TSM Techniques Sciences Méthodes, et qui constitue le corps de ce rapport. La première partie décrit la base de données utilisée, et les choix méthodologiques effectués. Elle présente ensuite des résultats axés sur la comparaison des flux et des concentrations des effluents acheminés en entrée de station en temps sec et en temps de pluie. La deuxième partie est consacrée aux performances des stations d'épuration.

Article soumis à TSM: Valorisation de données débit- qualité issues de l'autosurveillance de stations d'épuration des eaux usées - PARTIE I : CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS COLLECTES EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

FROM DATA TO INFORMATION BY PROCESSING THE DATABASE OF REGULATORY MONITORING OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Part I: Wastewater features during dry and rainy periods

Claude Joannis^{1*}, Ali Hayek², Ghassan Chebbo²

¹ CJ Conseil, 37 rue du coteau, 44100 NANTES

² LEESU, Ecole des Ponts, Université Paris Est Créteil, F77455 Marne-la-Vallée, France

[*cjconseil@orange.fr](mailto:cjconseil@orange.fr), 06 69 76 05 27

Résumé

En s'appuyant sur les données du système d'information SANDRE pour les systèmes d'assainissement du bassin Seine Normandie, une méthodologie d'analyse et de présentation des données d'autosurveillance des stations d'épuration a été élaborée pour obtenir une vue générale du fonctionnement des différents types de systèmes d'assainissement dans différents contextes météorologiques et socio-économiques. Cet article présente les premiers résultats de cette étude, relatifs aux volumes et flux collectés et les concentrations en polluants classiques, en temps sec et en temps de pluie, et formule des propositions vis à vis des études diagnostic de réseaux. Une deuxième partie sera consacrée aux performances de la dépollution.

Mots-clés : autosurveillance, réseau de collecte, station d'épuration, sandre, base de données, statistiques, flux polluants

Abstract

A methodology for analyzing and displaying self-monitoring data from wastewater treatment plants has been developed and tested on data from the SANDRE information system for the sanitation systems of the Seine Normandy basin. It provides an overview on operating conditions of different types of sanitation systems under different meteorological and socio-economic contexts. This paper focuses on the volumes and flows collected and the concentrations of classic pollutants, during dry weather and in rainy days, and proposals are made regarding sewer evaluation studies. A second part will follow, dealing with depollution performances.

Keywords: self monitoring, sewer network, wastewater treatment plant, SANDRE, data base, statistics, pollutant discharge

1. Introduction

On dispose de données abondantes et très précises sur les débits et les concentrations et flux de nombreux polluants (en particulier de micropolluants) observés à l'exutoire de quelques bassins versants urbains expérimentaux gérés par des équipes de recherche (Soyer et al., 2019). Celles-ci les analysent essentiellement pour évaluer, voire prévoir, l'impact des événements pluvieux sur les réseaux pluviaux ou unitaires. D'autres thématiques sont un peu moins étudiées, telles que les conditions de fonctionnement de temps sec, et plus généralement celui des systèmes de collecte des eaux usées en mode séparatif.

Quoiqu'il en soit, on connaît mal la représentativité de ces sites expérimentaux vis à vis de la diversité des agglomérations urbaines.

Par ailleurs l'autosurveillance des stations d'épuration a été instituée par l'arrêté du 22 décembre 1994 relatif à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées, et confirmée par les arrêtés du 22 juin 2007, du 21 juillet 2015 et du 31 juillet 2020. Elle est opérationnelle depuis de nombreuses années et comporte des bilans 24 h en entrée et sortie de toutes les stations d'épuration des eaux usées (STEU), dont la périodicité varie en fonction de la taille des agglomérations et des paramètres analysés. Ces paramètres concernent essentiellement les polluants classiques (matières en suspension, matières organiques, polluants azotés, phosphore). Depuis le 1^{er} janvier 2008 ces données sont centralisées dans les Agences de l'Eau grâce au système d'information SANDRE (Arrêté du 22 Juin 2007). Ces données peuvent être exploitées pour analyser en détail le fonctionnement d'un système d'assainissement [MOSIO et al., 2018] ou être compilées pour établir des états des lieux et élaborer une programmation à l'échelle d'un Bassin. Il semble cependant qu'elles font rarement l'objet de synthèses publiées, à l'exception notable du travail réalisé en 2010 pour le compte de l'ONEMA sur la base de 10 000 bilans entrée-sorties de STEU réalisés entre 1999 et 2009 sur 3 000 stations de moins de 2 000 e.h. réparties sur le territoire français [MERCOIRET, 2010].

Dans le cadre du programme OPUR5, il a été proposé d'étudier comment ces données pouvaient être valorisées pour obtenir une vue plus générale du fonctionnement des différents types réseaux de collecte dans différents contextes météorologiques et socio-économiques. Plus précisément on s'est appuyé sur l'exemple du bassin Seine Normandie pour rechercher des valeurs de références de débit, de concentration et de flux en entrée STEU, en temps sec et si possible en temps de pluie, en s'intéressant non seulement aux valeurs moyennes (ou médianes) mais aussi aux gammes de variation sur un site donné et entre différents sites. On s'est également intéressé aux flux déversés dans les milieux récepteurs et aux performances de la dépollution

L'ambition de cette étude est double. Elle vise dans un premier temps à établir un cadre méthodologique pouvant être généralisé à d'autres jeux de données de même type. Ce cadre comprend l'identification de classes pluviométriques et l'élaboration d'indicateurs et de représentations graphiques pertinents. Ces outils permettent de quantifier l'impact des événements pluvieux sur les flux collectés et sur les performances de la dépollution, et d'étudier globalement l'influence de différents facteurs tels que

l'importance de la population desservie, le taux de charge des stations, ou le type de réseau de collecte. Dans un deuxième temps l'application de cette méthodologie a été testée en vraie grandeur sur une partie des données SANDRE sur un échantillon de stations d'épuration et fournit des premiers résultats. Ils restent à confirmer sur un échantillon plus vaste et à compléter par l'analyse des autres données disponibles, mais ils permettent déjà d'esquisser des conclusions opérationnelles.

Cet article décrit dans un premier temps la base de données utilisée, et les choix méthodologiques effectués. La deuxième partie de l'article présente des résultats axés sur la comparaison des flux et des concentrations des effluents acheminés en entrée de station en temps sec et en temps de pluie. Ces résultats comportent une analyse descriptive, complétée par une analyse plus statistique des corrélations entre paramètres de pollution, pour terminer par une comparaison entre les sites sur la base d'une analyse en composantes principales.

2. Matériel et méthodes

2.1 Base de données

Le bassin Seine Normandie a constitué un site pilote naturel pour cette étude puisque que l'Agence de l'Eau est un partenaire d'OPUR. Une période de 5 ans a été sélectionnée car elle permet de disposer d'un échantillon suffisant pour calculer des indicateurs statistiques pertinents pour chaque station. C'est d'ailleurs la durée qui a été retenue par la réglementation pour évaluer la conformité de la collecte [MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, 2017 (2)]. Au moment du lancement de l'étude la dernière année disponible était 2018 et on a donc pris en compte la période 2014 – 2018. Pour les mêmes raisons de taille d'échantillon, on a retenu dans un premier temps les stations d'épuration d'une capacité supérieure à 100 000 e.h. pour lesquelles on dispose de données journalières de pluie et de débit et d'au moins deux à trois campagnes de prélèvement par semaine. 25 stations d'épuration répondent à ce critère, dont 4 stations interconnectées du SIAAP

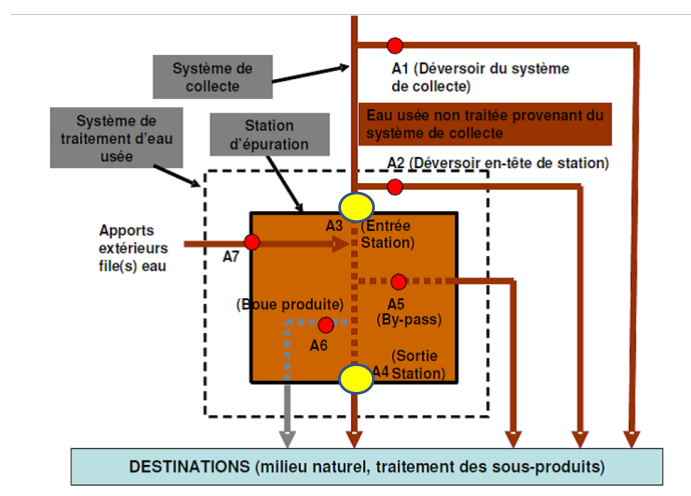


Figure 2-1 références et emplacements de points de contrôle

[MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, (2017) (1)]

Les points de mesure sont repérés sur la Figure 2-1, et comportent, outre l'entrée (A3) et la sortie (A4) de la station, le déversoir en tête (A2) ainsi que les éventuels by-pass sur la file de traitement (A5).

On dispose actuellement de très peu de données validées sur les points A1 et ils n'ont donc pas été intégrés dans l'étude.

Les volumes journaliers traités ou rejetés sont archivés, ainsi que les résultats d'analyse réalisées sur des échantillons moyens. Les paramètres les plus systématiquement analysés sont MES, DCO, DBO5, Nglobal, NTK, NH4, NO2, NO3, Phosphore total. Ces données sont complétées par des données pluviométriques locales. Dans le cadre de cette étude les volumes et les concentrations ont permis de calculer des flux polluants. Dans la suite de cet article, le terme « flux » employé seul désignera indifféremment les flux hydrauliques et les flux polluants.

Les données archivées dans la base ont fait l'objet de diverses validations, mais aucune méthode de validation n'étant infaillible, nous avons procédé à quelques vérifications, qui nous ont permis d'éliminer ou de compléter certaines données. Le problème principal a concerné l'absence de certaines données pluviométriques, qui ont pu être remplacées par celles d'une station voisine, et la confusion entre absence de données et valeurs nulles. Ce dernier point concerne aussi bien des données pluviométriques (les données nulles ne sont en général pas enregistrées) que les données débitométriques. Ces problèmes ont été résolus depuis lors. Finalement, près de 98% des données ont été exploitées, ce qui représente environ 450 000 données.

2.2 Méthodologie d'analyse

L'analyse visait à identifier des valeurs caractéristiques de différents indicateurs du fonctionnement du système d'assainissement, ainsi qu'à quantifier leur variabilité et si possible trouver des facteurs explicatifs de cette variabilité. L'analyse a été effectuée pour chaque station, puis plus globalement pour l'ensemble des stations ou par groupes de stations de caractéristiques a priori similaires. La méthodologie est décrite ici globalement, et inclut des aspects qui ne sont pas traités dans l'exemple d'application présenté dans cet article. Celui-ci se limite aux mesures réalisées en entrée de station (points A2 et A3)

2.2.1 Indicateurs de fonctionnement

Les indicateurs de fonctionnement retenus sont les suivants

- Indicateurs de fonctionnement du réseau de collecte
 - Débits et Flux acheminés en tête de station (A2+A3)
 - Concentrations en entrée de station (A3 et A2)
- Indicateurs de fonctionnement de la dépollution
 - Taux de charge des stations (flux polluants traités / capacité de traitement)
 - Rendement épuratoire des STEU

- Taux de déversement en volume et en flux polluant
- Rendement global STEU + déversoir en tête
- Concentrations en sortie STEU
- Indicateurs de pression sur les milieux
 - Flux polluants rejetés (A4 et A2)

Tous ces indicateurs peuvent être déclinés par paramètre de pollution. Tous les paramètres disponibles dans la base de données ont été retenus, à l'exception des formes de l'azote. Pour simplifier la présentation des résultats on s'est limité à NTK et NH4 pour les entrées STEU, et Nglobal pour la dépollution et les flux polluants rejetés. Le premier est un indicateur de la pollution azotée qui convient bien aux eaux brutes (car les formes oxydées de l'azote sont alors négligeables). Le deuxième est un indicateur de la pollution dissoute des eaux usées strictes, et devrait être peu impacté par la contribution des sédiments en temps de pluie.

Afin de pouvoir comparer les différents sites indépendamment de la taille du système, les débits et les flux ont été rapportés au nombre d'équivalents habitants raccordés, pour obtenir des débits et des flux dits « spécifiques ». Cette normalisation par une valeur constante sur toute la période d'analyse permet de neutraliser l'effet de la taille du système sur les flux exprimés en valeur absolue, tout en maintenant les variations journalières et inter-annuelles des flux spécifiques sur un site donné. Les concentrations sont par nature normalisées par le débit.

Les populations équivalentes desservies sont estimées à partir du flux d'Azote (NTK) médian de temps sec sur la base de 15 g/j/e.h [GASPERI et al., 2008]. Les valeurs obtenues s'échelonnent entre 30 000 et 270 000 e.h.N, hors stations du SIAAP (Seine, Centre, Seine Valenton, Seine Grésillons, Seine aval). Ces valeurs sont sensiblement plus faibles que les capacités de STEU correspondantes.

On a ainsi pu comparer les valeurs obtenues à des valeurs de référence ou à des repères, listés dans le [Tableau 2-1](#).

Pour les flux, on a choisi comme référence le guide AQUASCOP [2003], sauf pour l'azote Kjeldahl : on a vérifié a posteriori que la valeur de 15 g/j/e.h. donnait des valeurs de flux spécifiques plus cohérentes avec celles du guide pour les autres paramètres.

Les concentrations dépendent bien sûr des flux spécifiques mais aussi du débit, lui-même reflet de la production d'eaux usées et de la présence systématique d'eaux claires. On dispose ainsi de quelques repères présentant des différences importantes selon qu'ils ont été estimés à partir d'une production théorique (150 L/hab./j) ou mesurés dans différents contextes [GASPERI et al., 2008, MERCOIRET, 2010].

	Flux g/j/e.h.		Concentrations temps sec mg/L		
	Arrêté 10/12/1991	Guide Aquascop 2003 (Cf bibliographie)	Flux guide AQUASCOP [2003] /150L/j/e.h. ¹	Bassins versants unitaires OPUR [GASPERI et al. 2008]	STEU < 2000 e.h. ONEMA [MERCOIRET 2010]
MES	90	78	520	200	270
DBO	60	60	400	180	240
DCO	-	125	830	420	610
NTK	15	12	80	36	70
Pt	4	2,5	16	-	8

Tableau 2-1 valeurs de référence pour les flux spécifiques et les concentrations

2.2.2 Descripteurs statistiques

Pour résumer un ensemble de données issues d'une station pour un contexte donné on a choisi des descripteurs statistiques fournissant une valeur caractéristique et un indice de dispersion. On a préféré des descripteurs dits non-paramétriques, car ils sont facilement interprétables et ne nécessitent pas d'hypothèses sur la forme des distributions. Ainsi la médiane a été retenue comme valeur caractéristique d'un ensemble de données. Pour la dispersion on a retenu deux descripteurs. L'intercentile 80 est la distance séparant les 10% de valeurs les plus élevées et les 10% de valeurs les plus faibles. On peut diviser cet intercentile par deux et le rapporter à la médiane. On décrit ainsi la dispersion d'une manière analogue à un intervalle de confiance autour de cette médiane, exprimé en % de celle-ci. Un deuxième descripteur appréhende spécifiquement les valeurs les plus pénalisantes (en général les plus élevées, mais dans certains cas – cf. les rendements de dépollution – les plus faibles). Ces valeurs inhabituelles sans être extrêmes sont caractérisées par le centile 95 (ou le centile 5 selon le cas). On peut aussi les rapporter à la médiane, et exprimer les valeurs inhabituelles en 100% de la médiane : on obtient toujours

¹ La valeur de 150 L/hab/j [DEQUENNE & PORTELA, 2023] correspond à la consommation moyenne observée des particuliers en France. Elle ne tient pas compte des non-restitutions (arrosage), ni des activités économiques, ni des apports d'eaux claires. Globalement, elle doit sous-estimer les débits observés à l'aval d'un réseau.

des valeurs sensiblement plus élevées que 100%.

Pour synthétiser les données issues d'un groupe ou de la totalité des stations, nous avons opté pour des moyennes des indicateurs précédents, complétés par des gammes de variations, obtenues en éliminant la plus petite et la plus grande valeur. Ces statistiques simples sont suffisantes pour décrire les petits échantillons de stations dont nous disposons (au maximum 25 sites) et permettent de tester la significativité des différences observées.

2.2.2.1 Facteurs explicatifs des variations intra-site

Pour évaluer la contribution de divers facteurs aux variations des indicateurs observées sur un même site, on a regroupé les données selon les différentes modalités de ces facteurs pour obtenir des sous-ensembles plus homogènes.

2.2.2.1.1 Facteurs explicatifs des variations de temps sec

Les débits et flux de temps sec sont essentiellement déterminés par l'activité socio-économique, qui peut être appréhendée par le biais des jours ouvrables, des week-ends et jours fériés, et des vacances scolaires. Ils peuvent aussi évoluer au fil des années, surtout les premières années après la mise en service de la station. Enfin les débits et les concentrations sinon les flux peuvent être sensibles à un facteur saisonnier, si des eaux de nappes sont drainées par le réseau. On a choisi d'étudier cet impact par un facteur à deux modalités ou « saisons » : hiver-printemps de septembre à mars, ou période de nappes hautes, et été-automne d'avril à août, ou périodes de nappes basses

2.2.2.1.2 Traitement de la pluviométrie

Pour définir des conditions de temps sec et évaluer l'impact de la pluie, on dispose de données pluviométriques journalières. Celles-ci sont un peu délicates à mettre en relation avec les flux collectés et les performances de dépollution car selon l'heure de la pluie, et compte tenu des temps de transfert vers la STEU, son influence peut se manifester le jour même ou le lendemain. On a donc choisi comme indicateur de la pluie affectant le jour J le cumul des précipitations pour les jours J et J-1. Ce choix a été confirmé par une étude de sensibilité des flux de MES et DCO à différents indicateurs de pluie, dont certains prenaient également en compte le jour J-2. Une fois défini cet indicateur on a pu étudier la distribution des pluies par classes de hauteurs précipitées. Pour équilibrer dans la mesure du possible les effectifs des classes on a choisi arbitrairement une progression logarithmique des bornes des classes : 0,1, 2, 4, 8 et 16 mm.

On a obtenu le type de distribution suivant (Figure 2-2)

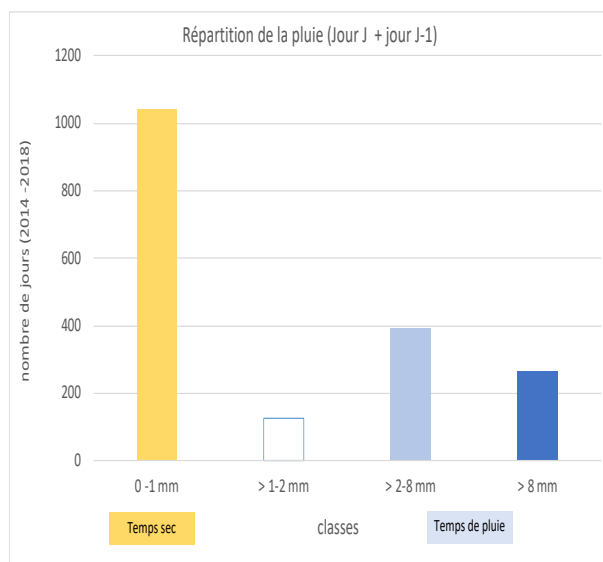


Figure 2-2 exemples de distribution de la pluviométrie selon des classes de pluie arbitraires

Une première analyse des flux de MES et de DCO a montré une grande dispersion à l'intérieur de chaque classe, rendant illusoire un découpage aussi fin. On a finalement retenu trois classes. Le temps sec correspond à un cumul de pluie sur deux jours inférieur à 1 mm. Les pluies modestes correspondent à la gamme 2-8 mm/2j, et les pluies plus significatives sont supérieures à 8 mm/2j. Dans la suite on s'intéressera surtout à ces dernières et à la sensibilité des valeurs des médianes et des dispersions à ces pluies. Cette sensibilité est définie comme le rapport des valeurs observées en temps de pluie aux valeurs observées en temps sec.

2.2.2.2 Facteurs explicatifs des variations inter-sites

On dispose de peu d'informations pour tenter d'expliquer les variations des descripteurs statistiques observées d'un site à l'autre. Il s'agit essentiellement de la taille de la population raccordée, du type de système de collecte et de la présence d'industries et de la capacité de traitement exprimée en charge hydraulique et organique.

La première est estimée dans le cadre de cette étude à partir des flux d'azote comme indiqué précédemment.

L'attribut « type de réseau majoritaire » présent dans la base de données se décline en trois modalités (séparatif / mixte / unitaire), mais celles-ci ne sont pas définies très précisément et leur renseignement n'est sans doute pas homogène entre les différentes collectivités. On a néanmoins choisi de prendre en compte cet attribut dans les analyses. Ce choix a été motivé par des raisons méthodologiques. On voulait tester les traitements applicables à cette information, a priori pertinente, surtout si à l'avenir elle est mise à jour selon des modalités plus précises. Par ailleurs on peut imaginer que la modalité « séparatif » correspond à des réseaux conçus pour l'essentiel selon le principe de la collecte sélective des eaux usées. Sans être parfait ce type de conception devrait conduire à une sensibilité aux apports

pluviaux sensiblement plus faible que pour des systèmes comportant une part significative de réseaux unitaires. Par exemple la surface active raccordée à un réseau séparatif eaux usées est souvent de l'ordre de 5 à 10 m²/habitant [JOANNIS, 1993, BALAS & RUPERD, 1993], alors qu'elle est plutôt de 100 m²/habitant pour un réseau unitaire [AQUASCOP, 2003]. Ainsi un réseau mixte comportant 10% des habitants raccordés sur de l'unitaire collecterait deux fois plus d'eau pluviale qu'un réseau séparatif typique. Par ailleurs un réseau conçu sur le mode séparatif comporte des canalisations de plus petit diamètre et peut être moins sujet à la sédimentation en temps sec que des réseaux comportant des sections unitaires. Nous avons donc voulu tester cette hypothèse et vérifier si des réseaux conçus sur le mode séparatif avaient des caractéristiques communes qui permettaient de les distinguer des réseaux mixtes et a fortiori unitaires. Les représentations graphiques retenues permettent une première approche de l'impact de ces caractéristiques et une analyse globale a été menée en regroupant les sites par type de caractéristiques.

En revanche nous n'avons pas utilisé l'attribut « présence d'industries » dans les analyses : sa définition semble assez floue et surtout cet attribut n'est renseigné que pour deux sites Mantes-la-Jolie et le Havre.

Pour ce qui concerne les capacités de traitement, celles-ci ont été exploitées sous forme adimensionnée, pour calculer de taux de charge. Le taux de charge hydraulique a été obtenu en rapportant la médiane de débits traités dans un contexte donné (temps sec ou pluies) par le débit de référence de la chaque station, indiqué dans le fichier SANDRE. Pour la charge organique, on a rapporté la médiane des flux de DBO5 pour un contexte donné, à la capacité de chaque station exprimée en kg de DBO5, présente également dans le fichier SANDRE.

2.3 Représentations graphiques et tableaux de synthèse

En résumé l'analyse des données est structurée selon le Tableau 2-2

Paramètre	Indicateur	Descripteur statistique	Facteur explicatif des variations intra-site	Caractéristique des sites (Facteur explicatif des variations inter-sites)
Volume, MES, DCO, DBO5, NTK, NH4, Ptot	Flux spécifique A2+A3, concentration moyenne A2&A3, rendements* STEU et global, etc..	Médiane, IC80 IC80/ (2*médiane) C95(ou C5) C95 (ou C5) /médiane	Année* Jours ouvrables /fériés/congés* Saison* Pluie	Type de collecte Taille de la population raccordée

* Les éléments marqués d'un astérisque ont été pris en compte dans la méthodologie, mais ne sont pas analysés dans le cadre de cet article

Tableau 2-2 récapitulation des éléments structurant l'analyse des données

Pour un paramètre et un indicateur donnés (par exemple flux spécifique en DBO5 en A2+A3) on représentera un ou plusieurs descripteurs statistiques (par exemple médiane et IC80/2), en général ventilés selon les modalités d'un facteur explicatif (par exemple jours ouvrables/jours fériés/vacances scolaires) et le cas échéant selon les caractéristiques des sites (par exemple séparatif vs. non séparatif)

Pour ce faire on a élaboré deux types de graphique

Celui qui représente le plus directement les données affiche sur un même diagramme et pour chaque station 3 indicateurs (la médiane, la dispersion brute autour de cette valeur (IC80) et les valeurs inhabituelles (IC95 ou IC5)) calculés pour plusieurs modalités d'un paramètre explicatif. Les stations sont triées par type de systèmes de collecte (séparatif vs. unitaire ou mixte) et ordonnées par taille à l'intérieur de chaque catégorie. De plus les effectifs de chaque modalité et chaque station sont indiqués par des nombres. Un exemple de ce type de graphique est donné par la Figure 3-1.

Une représentation plus synthétique présente les *rapports* entre les valeurs d'un (ou plusieurs) indicateur(s) calculées pour *deux modalités d'un facteur explicatif*. Là encore les stations sont triées par type de systèmes de collecte et ordonnées par taille à l'intérieur de chaque catégorie. Les flèches symbolisent les évolutions d'une modalité à une autre. Un exemple de ce type de graphique est donné par la Figure 3-2

Un code couleur homogène a été adopté pour toutes les représentations graphiques (Tableau 3-3)

Contexte hydrologique	Type de réseau	Indicateur statistique
Temps sec : vert	Séparatif : bleu	Médiane : couleurs pleines
Pluies modestes : rose	Mixte : jaune	Variabilité : bordures colorée
Pluies significatives : violet	Unitaire : marron	

Tableau 2-3 codes couleurs utilisés pour les représentations graphiques

La présentation de tous les graphiques pour tous les indicateurs et tous les facteurs explicatifs serait très fastidieuse. On choisit donc de présenter les résultats obtenus sur quelques indicateurs relatifs aux volumes et aux flux et concentration de DBO5 et d'ammonium. Les résultats obtenus sur les autres paramètres de pollution et/ou d'autres descripteurs sont résumés dans des tableaux dont la lisibilité est améliorée par des échelles colorées.

Ces échelles permettent d'identifier rapidement les valeurs min et max d'un descripteur donné (cf. par exemple Tableau 3-1) ou de situer les valeurs sur une échelle fixe (cf. par exemple Tableau 3-2). La plupart des descripteurs sont adimensionnalisés soit sous formes de ratio temps de pluie / temps sec, soit, pour le temps sec, en exprimant IC80 et C95 en % de la médiane.

Dans certains cas on a pu tester la significativité des différences entre temps sec et temps de pluie. Un

test positif (différence significative) est signalé par une valeur en gras soulignée (cf. Tableau 3-1).

2.4 Analyse des corrélations et analyse multi-factorielle

Une analyse des corrélations entre flux journaliers, entre concentrations moyennes journalières, et entre flux et concentrations a été réalisée à l'échelle de chaque collectivité. On calcule ces corrélations d'une part pour les temps sec et d'autres pour les pluies supérieures à 8 mm/2j afin de caractériser les comportements des polluants sur chaque site. On obtient pour chaque site 66 corrélations portant chacune sur plusieurs dizaines voire centaines de couples de valeur, en fonction du site et du polluant considéré. On peut résumer la tendance globale à la corrélation de chaque paire de paramètres en faisant la moyenne des valeurs de temps sec et des valeurs de temps de pluie sur l'ensemble des sites (cf. *Tableau 3-3*). De même on peut faire une moyenne de tous les coefficients de corrélation observés sur un site donné, et comparer entre les sites une tendance à la corrélation tous paramètres confondus (cf. *Tableau 3-4*). Pour les rendements épuratoires on a réalisé de la même manière de corrélations entre les rendements pour les différents paramètres de pollution, entre rendements et flux entrants (en A3) et entre rendements et concentrations entrantes (en A3).

On a procédé à une analyse en composantes **principales** des valeurs médianes des caractéristiques des effluents acheminés en entrée de station (A2 & A3) observées sur chaque site. Il s'agit des médianes des volumes et des concentrations de temps sec, des rapports des médianes volumes et des concentrations de temps de pluie aux médianes de temps sec, des dispersions de temps sec et des rapports des dispersions de temps pluie aux dispersions de temps sec. On obtient ainsi un nuage de $7 \times 4 = 28$ valeurs par collectivité, et on cherche à projeter ce nuage dans un plan, en conservant un maximum d'information. On peut également projeter les barycentres des sites triés sur un ou plusieurs critères : ici on a considéré la taille des populations desservies (supérieures ou inférieures à 100 000 e.h.N) et sur le caractère séparatif ou non séparatif de la collecte. Une projection des variables permet d'identifier la signification des axes. Enfin une classification des sites sur la base de leurs coordonnées sur les axes factoriels permet de les regrouper en s'affranchissant des corrélations entre paramètres.

3. Résultats

Dans cette première partie les résultats portent sur les volumes, les flux et les concentrations en entrée de STEU (déversoir de tête A2 compris) en comparant des valeurs caractéristiques du temps sec et du temps de pluie.

3.1 Analyse graphique

3.1.1 Volumes

En temps sec (Figure 3-1), la quasi-totalité des systèmes de collecte achemine un volume supérieur à 150 L/j/e.h.N : les valeurs médianes rencontrées sur les différents sites s'échelonnent entre 170 et 310 L/j/e.h.N, sans tendance marquée en fonction de la population desservie ou le type de réseau. Comme

les volumes ont été normalisés par un flux polluant (en l'occurrence NTK), ces valeurs élevées traduisent l'apport généralisé d'eaux (claires) parasites, vraisemblablement d'infiltrations.

La variabilité (IC80/2*médiane) s'échelonne entre 9% et 50%, et les valeurs inhabituelles dépassent de 10% à 70% la médiane. La gamme de variation des débits de temps sec recoupe souvent, au moins en partie, le bas de la gamme de variation des débits de temps de pluie.

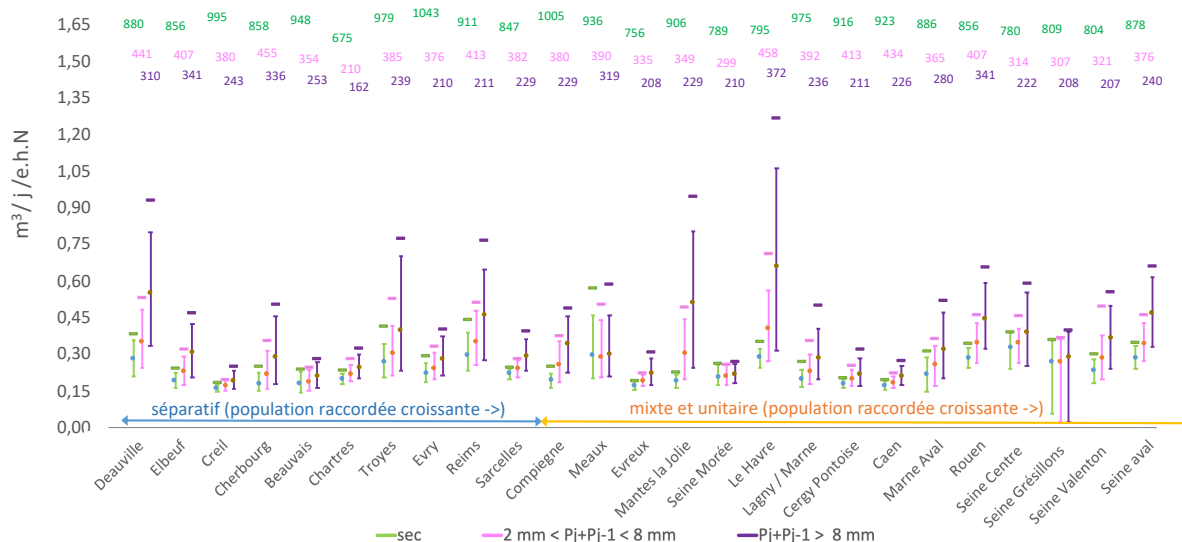


Figure 3-1 Volumes journaliers par équivalent habitant A2+A3: effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie

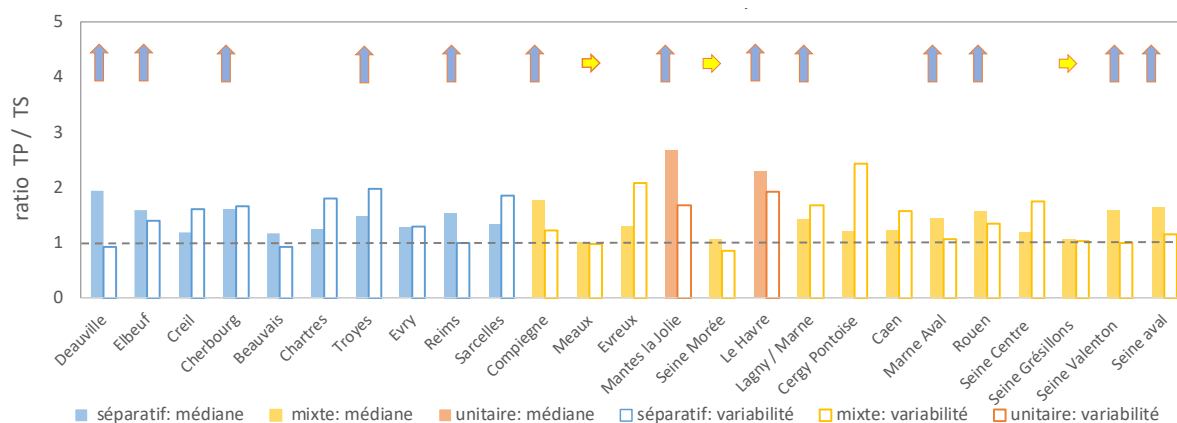


Figure 3-2 Volumes journaliers par équivalent habitant A2+A3 : rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec

En temps de pluie (PJ+PJ-1>8 mm) (Figure 3-1 et Figure 3-2), les volumes collectés augmentent de 5% à 120%, sauf pour Meaux et Seine Morée, et Seine Grésillons. Là encore on ne décèle pas de tendance très marquée selon le type de réseau, si ce n'est que les deux réseaux identifiés

comme unitaire ressortent nettement. La variabilité n'augmente pas systématiquement, voire diminue légèrement sur Seine Morée.

3.1.2 DBO5

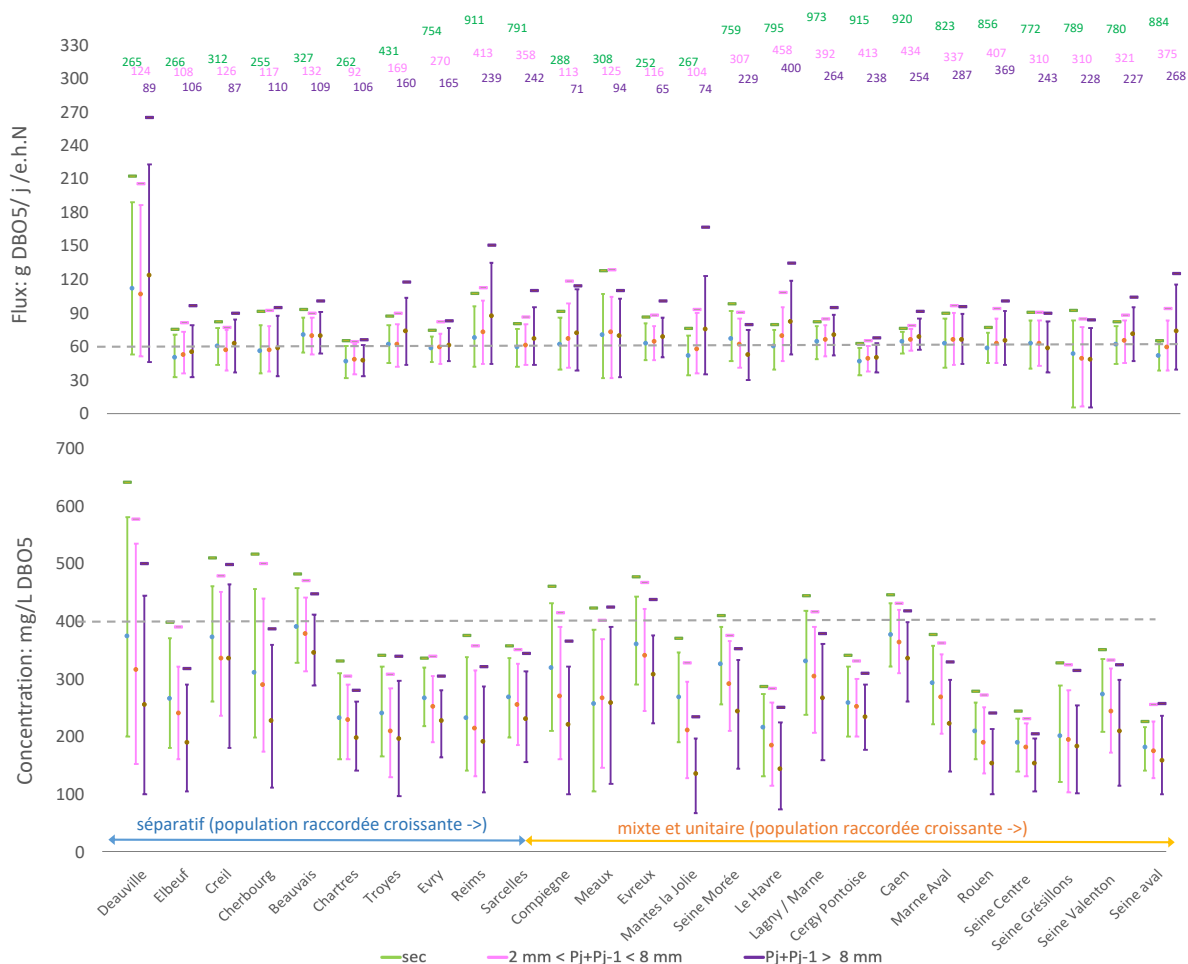


Figure 3-3 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes de DBO5 acheminés vers les stations (A2+A3) : effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie

En temps sec les flux spécifiques de DBO5 (Figure 3-3) sont compris entre 50 et 70 g/j/e.h.N, soit relativement proches de la valeur de référence de 60 g/j/e.h.N. La collectivité de Deauville (90 g/j/e.h.N) fait exception, sans que son activité touristique puisse constituer une explication satisfaisante (sauf pour la variabilité).

La variabilité des flux de DBO5 est plus grande que celle des volumes : entre 20% et 70% de la médiane. Le recouvrement entre les gammes de variations de temps sec et de temps de pluie est flagrant.

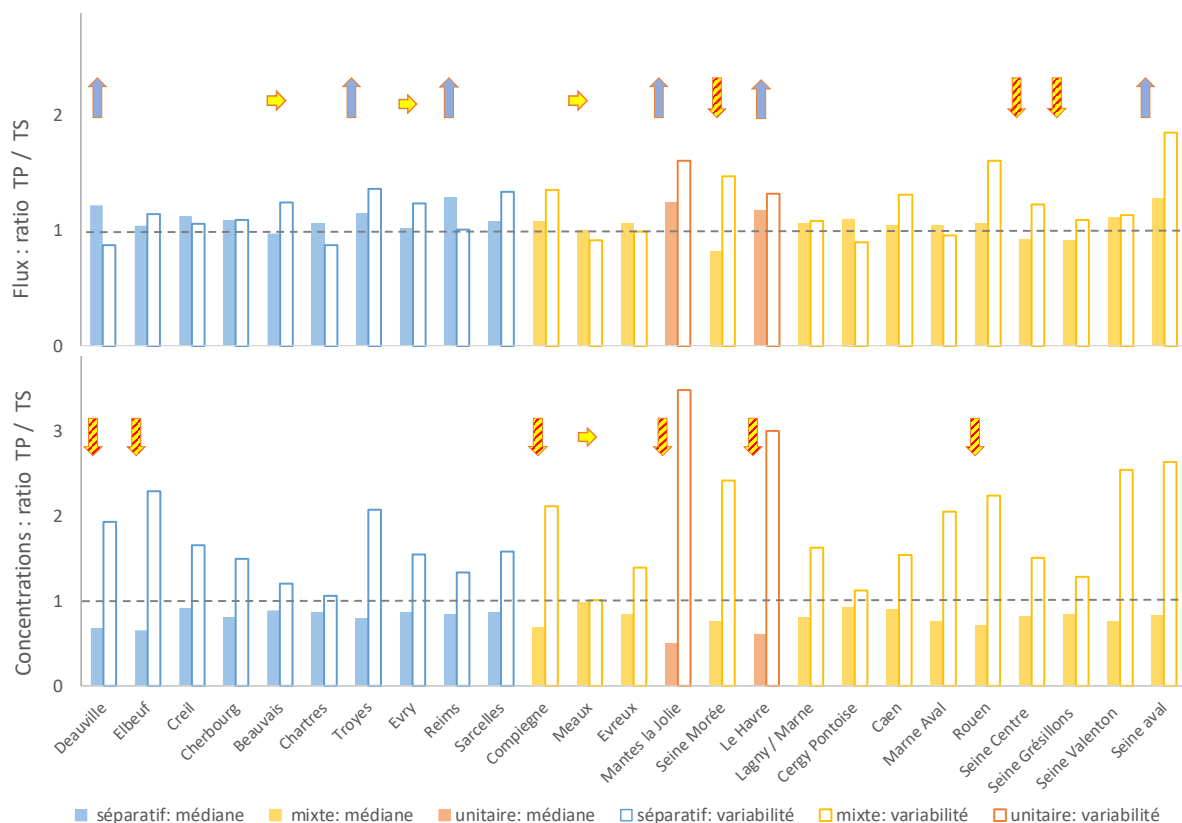


Figure 3-4 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes de DBO5 acheminés vers les stations (A2+A3): rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec

En temps de pluie (Figure 3-3 et Figure 3-4) on observe, une baisse systématique des concentrations (à l'exception de Meaux) et une augmentation limitée des flux (x1,10 en moyenne) sur les sites séparatifs et mixtes, avec trois cas d'augmentation sensible sur réseau séparatif. L'augmentation du flux spécifique est un peu plus marquée sur les deux sites unitaires (x 1,5)

On note trois cas de diminution des flux sur réseau mixte, probablement dûs à l'effet des déversements amont (points A1)

On constate une augmentation générale de la dispersion des concentrations en temps de pluie, sauf à Meaux, qui présente une grande variabilité de temps sec et une faible sensibilité des volumes à la pluie, L'augmentation de la dispersion des flux spécifiques est plus limitée : la dispersion des débits compense celle des concentrations.

3.1.3 Ammonium

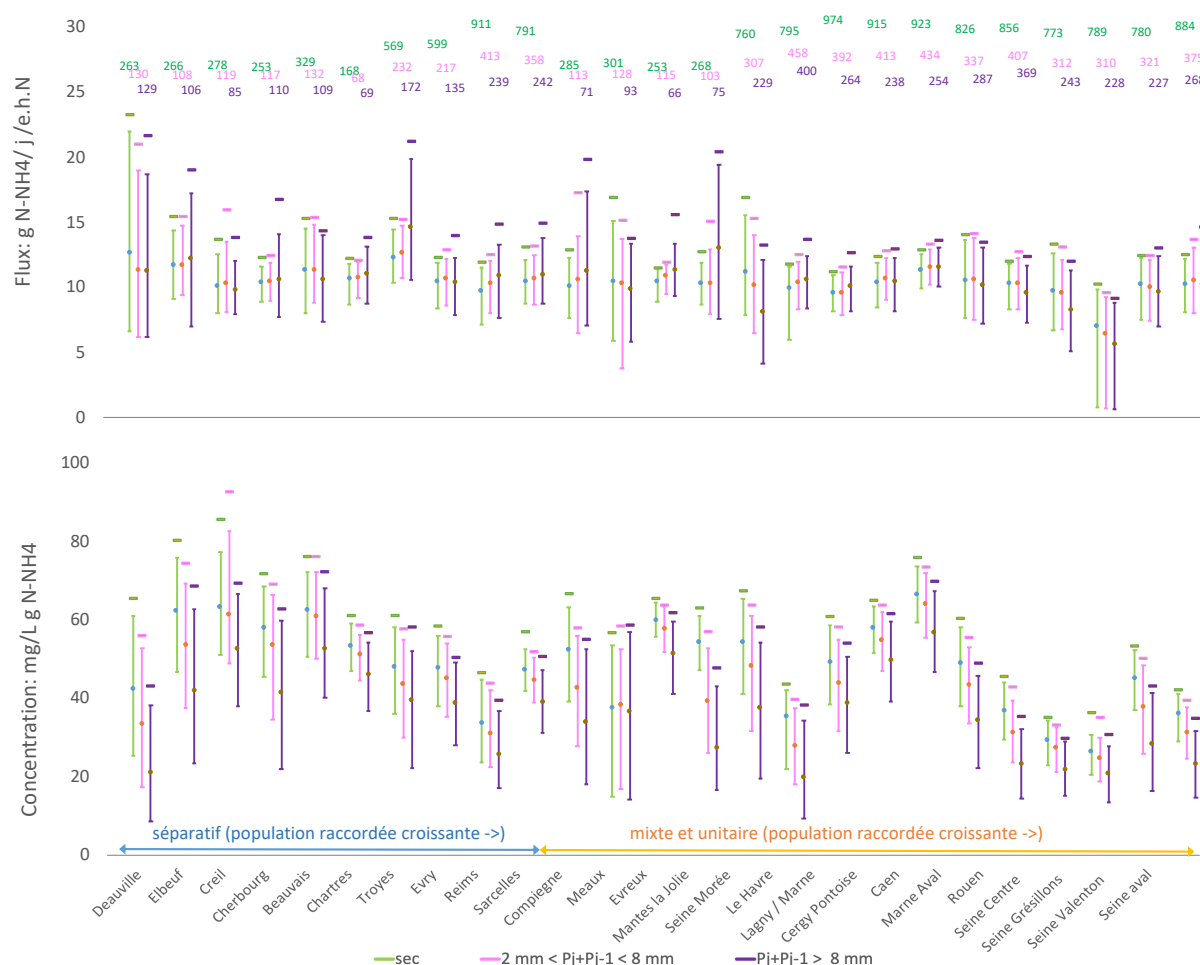


Figure 3-5 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes d'ammonium acheminés vers les stations (A2+A3): effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie

En temps sec (Figure 3-5) les flux spécifiques médians sont compris entre 9 et 12 g NH₄/j/e.h. N.

La dispersion des données semble visuellement plus élevée que pour la DBO₅, mais c'est un effet de l'échelle, imposée par le cas de Deauville pour la DBO₅, alors que cette singularité n'apparaît pas pour l'ammonium. En réalité la dispersion est voisine de 10 à 50 % de la médiane en temps sec, et donc plus faible que pour la DBO₅ (même sans prendre en compte Deauville)

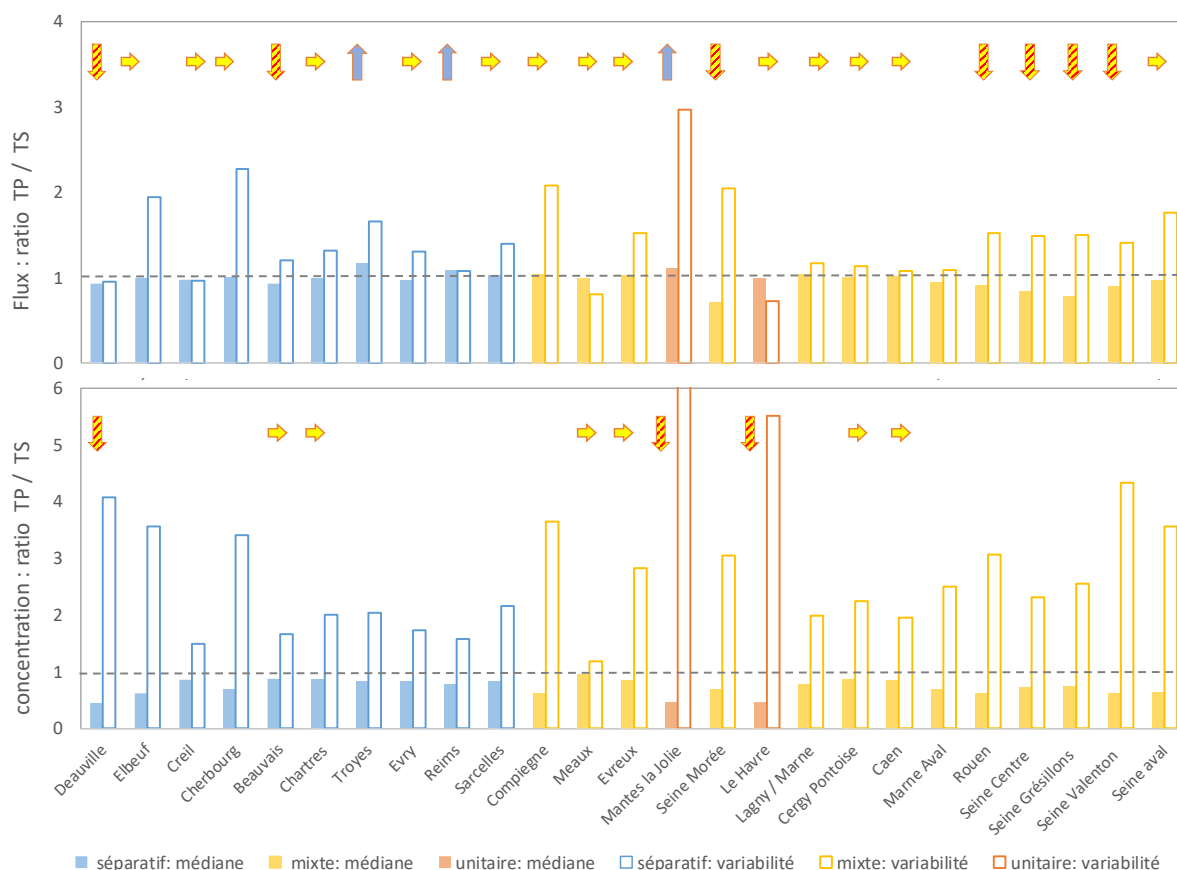


Figure 3-6 Flux spécifiques journaliers et concentrations moyennes d'ammonium acheminés vers les stations (A2+A3): rapport des médianes et dispersions (IC80) pour les pluies significatives (> 8mm/2j) aux médianes et dispersions de temps sec

En temps de pluie (Figure 3-5 et Figure 3-6) on observe à nouveau une baisse générale des concentrations (sauf à Meaux), mais elle est plus importante que pour la DBO5 si bien qu'on ne constate en général pas d'augmentation notable des flux. En revanche on note sept cas de diminution des flux, dont deux en réseau séparatif. Comme pour la DBO5, cela peut être dû à des déversements amont. L'ammonium constituerait un indicateur particulièrement sensible de ces déversements car moins impacté par les sources endogènes (reprise de dépôts), il serait donc plus conservatif que les autres paramètres de pollution en temps de pluie.

L'augmentation de la dispersion des concentrations en temps de pluie est particulièrement marquée, notamment sur les réseaux identifiés comme unitaires, et ne se répercute que partiellement sur la dispersion des flux.

3.2 Analyse statistique

3.2.1 Valeurs caractéristiques et influence de la pluie

Le Tableau 3-1 résume les résultats relatifs aux valeurs médianes et aux indicateurs de variabilité. Il contient les moyennes des indicateurs calculés pour les différents sites, et les gammes de variations de ces indicateurs observées sur l'ensemble des sites, en excluant les valeurs minimum et maximum.

		Flux							Concentrations					
		Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	Ptot		MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Ptot
médiane	TS m3/j / e.h.N ou g / j / e.h.N ou mg/L	0,22	70	150	60	15*	11	1,7	330	690	280	70	50	8
		(0,17 ; 0,31)	(60 ; 90)	(130 ; 180)	(50 ; 70)	-	(9 ; 12)	(1,5 ; 2)	(210 ; 490)	(450 ; 920)	(190 ; 380)	(50 ; 90)	(30 ; 60)	(5 ; 11)
	TP / TS	1,43	1,20	1,09	1,08	1,04	0,98	1,09	0,87	0,81	0,79	0,77	0,73	0,81
Dispersion IC80 / 2		(1 ; 2,2)	(0,9 ; 1,6)	(0,9 ; 1,4)	(0,9 ; 1,3)	(0,9 ; 1,2)	(0,8 ; 1,1)	(0,9 ; 1,4)	(0,68 ; 0,98)	(0,62 ; 0,92)	(0,59 ; 0,93)	(0,56 ; 0,9)	(0,46 ; 0,89)	(0,58 ; 0,98)
	TS	20%	37%	29%	34%	23%	25%	28%	33%	25%	30%	18%	20%	22%
	% médiane	(9% ; 48%)	(18% ; 65%)	(15% ; 52%)	(19% ; 68%)	(10% ; 55%)	(11% ; 57%)	(15% ; 55%)	(17% ; 52%)	(13% ; 39%)	(17% ; 52%)	(7% ; 34%)	(10% ; 44%)	(13% ; 38%)
	TP / TS	1,45	1,21	1,33	1,20	1,36	1,46	1,35	1,65	2,09	1,85	2,75	2,93	2,20
Valeurs inhabituelles C95		(0,9 ; 2,1)	(0,8 ; 1,7)	(1 ; 1,7)	(0,9 ; 1,6)	(0,8 ; 2,1)	(0,8 ; 2,3)	(0,8 ; 1,8)	(1 ; 2,48)	(1,16 ; 3,35)	(1,06 ; 2,96)	(1,12 ; 4,46)	(1,46 ; 5,66)	(1,06 ; 3,71)
	TS	135%	160%	140%	150%	130%	130%	140%	155%	135%	140%	120%	125%	130%
	% médiane	(110% ; 170%)	(130% ; 205%)	(120% ; 175%)	(125% ; 185%)	(110% ; 180%)	(110% ; 165%)	(120% ; 200%)	(125% ; 200%)	(120% ; 160%)	(125% ; 180%)	(110% ; 140%)	(110% ; 140%)	(115% ; 160%)
	TP / TS	1,80	1,46	1,31	1,23	1,19	1,12	1,09	1,00	0,90	0,90	0,90	0,85	1,10
		(1 ; 3,6)	(0,9 ; 2,5)	(0,8 ; 2,1)	(0,9 ; 1,9)	(0,9 ; 1,5)	(0,8 ; 1,5)	(1 ; 1,3)	(0,8 ; 1,15)	(0,85 ; 1)	(0,75 ; 1)	(0,8 ; 0,95)	(0,75 ; 0,95)	(1 ; 1,2)
légende:		TS: temps sec		TP: Pluies > 8 mm/2j		minimum de la ligne			maximum de la ligne					

légende: TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j

minimum de la ligne

maximum de la ligne

les différences statistiquement significatives entre temps sec et pluies sont **en gras souligné**

15* : la valeur de 15 g NTK/e.h. en moyenne de temps sec a été prise comme référence pour le calcul de la population raccordée sur chaque station, et en déduire les flux spécifiques pour les autres paramètres de pollution

Tableau 3-1 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs pour les différents flux et concentrations.

La sensibilité au temps de pluie est exprimée par des rapports entre les valeurs agrégées des pluies notables aux valeurs de temps sec. Pour des raisons techniques les tests de significativité statistiques portent non pas sur ces rapports mais sur les différences entre ces valeurs de temps sec et de temps de pluie.

En temps sec, sur la base de 15 g/j/e.h. d'azote, on obtient un volume spécifique élevé de 230 L/j/e.h.N, et on confirme les valeurs classiques de charge polluante d'origine domestique : 75 g MES/ j /e.h, 61 g DBO5/j/e.h.N et 2 g Pt /j/e.h.N Pour la DCO la valeur est un peu plus forte que la référence : 150 g au lieu de 125. Ce qui correspond à un rapport DCO/DBO5 de 2,5 et DCO/NTK de 10. Pour l'ammonium 10 g/j/e.h.N (soit 7,7 g N-NH4/j/e.h.N) correspondent à un rapport N-NH4/NTK de 0,5.

L'équivalent-habitant doit ici être considéré comme une convention, permettant d'agréger les données de différents sites et différents paramètres de pollution. Elle ne permet pas de convertir une population réelle en flux polluants, puisqu'on ne connaît pas le nombre d'habitant effectivement raccordés, ni les activités économiques associées, et qu'elle dépend étroitement du choix du flux spécifique d'azote : un flux de 12 g/j/e.h.N conduirait par exemple à un débit spécifique de 180 L/j/e.h.N Il importe donc de

connaître la définition retenue pour l'équivalent-habitant pour comparer les valeurs présentées dans cet article à d'autres sources.

Les concentrations médianes sont sensiblement supérieures aux valeurs relevées à l'exutoire des bassins versants OPUR [GASPERI et al, 2008], qui intègrent les débits d'eau de lavage des rues, et un peu plus élevées que la synthèse des observations sur les STEU < 2 000 e.h. Elles sont beaucoup plus faibles que le calcul théorique (Tableau 2-1), du fait du volume spécifique bien supérieur à la base de 150 L/j/e.h. Bizarrement ce n'est pas le cas pour l'azote.

La variabilité des volumes et surtout des flux de temps sec est assez forte, en particulier pour les MES, la DCO et la DBO5 (=/- 30% à 37% par rapport à la médiane). Les valeurs inhabituelles rapportées à la médiane (C95) peuvent également être élevées : +40% à +60%.

On a cherché à expliquer la variabilité de temps sec par des évolutions interannuelles, des fluctuations saisonnières ou par l'impact des week-end, jours fériés et vacances, mais en vain: on observe quasiment la même variabilité à l'intérieur de chacune de ces catégories.

A titre d'exemple la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats obtenus pour les flux de DBO5 en fonction des jours ouvrables, week-ends et vacances. On constate que même s'il ya une évolution des médianes sur certains sites (essentiellement Deauville), la dispersion à l'intérieur d'une catégorie homogène, comme les jours ouvrables, est très voisine de la dispersion globale observée pour les jours secs.

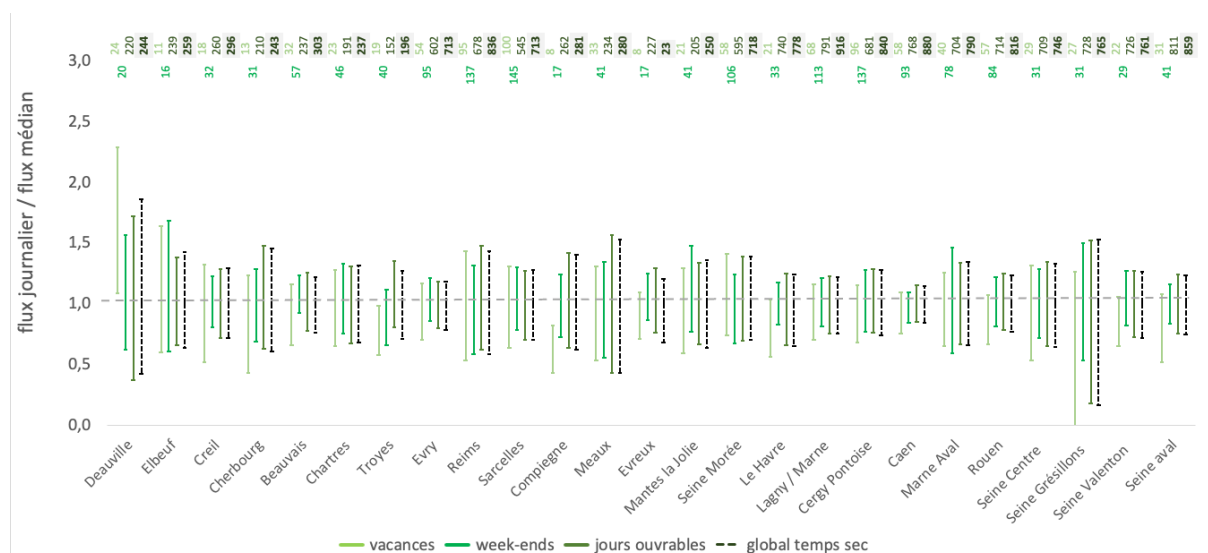


Figure 3-7 Flux journalier en temps sec de DBO5 en A2+A3 rapportés au flux médian global de temps sec - effectifs et gamme de variation (80%) pour différents contextes socio-économiques"

L'effet de la pluie se manifeste surtout à partir de 8 mm ($P_j + P_{j-1} > 8$ mm). Il est beaucoup plus sensible sur les volumes que sur les flux, si bien que les concentrations baissent sensiblement (de 20 à 25%)

lors des pluies. Rappelons que le seuil de 8 mm résulte d'un découpage arbitraire de la gamme des précipitations et ne correspond pas à un seuil physique.

Quoiqu'il en soit les flux ont tendance à augmenter en temps de pluie (en moyenne de 10% à 15% pour les réseaux séparatifs et mixtes, jusqu'à 50% pour les réseaux unitaires). Les flux de MES sont les plus sensibles au temps de pluie (25 à 80% d'augmentation). A l'inverse les flux d'ammonium restent assez stables, voire diminuent en temps de pluie.

Les variabilités des flux de temps de pluie sont sensiblement plus élevées qu'en temps sec : les intercentiles 80 augmentent en moyenne 20 à 45% selon les paramètres. Les valeurs inhabituelles (centiles 95) augmentent en moyennes de 10% à 40% pour les flux, 80% pour les volumes.

La variabilité des concentrations est encore plus sensible à la pluie que celle des flux ou même des volumes : elle augmente d'un facteur 2 à 3. En revanche les valeurs inhabituelles ont tendance à baisser.

3.2.2 Influence du type de réseau et de la taille de la population desservie

Le Tableau 3-2 présente les rapports des moyennes des différents indicateurs pour chaque couple de catégories mixte/séparatif et $> 100\,000$ e.h.N / $< 100\,000$ e.h.N. Pour tenir compte des disparités entre stations à l'intérieur de chaque catégorie, on a évalué la significativité des différences observées pour chaque coupe de paramètres par des tests de moyenne.

Les paramètres de sensibilité à la pluie semblent indépendants du type de réseau, à de rares exceptions près (flux d'ammonium, dispersion de la concentration en NTK)

En revanche le réseau aurait une influence décelable sur les concentrations inhabituelles de temps sec. Les réseaux mixtes présentent des valeurs inhabituelles en moyenne plus faibles que les réseaux séparatifs.

rapport mixte / séparatif		Flux							Concentrations					
		Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Ptot	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Ptot
médiane	TS	1,10	0,99	0,96	0,98	1,00	<u>0,96</u>	0,97	0,95	0,91	0,94	0,94	0,91	0,92
	TP / TS	1,05	1,03	1,00	0,96	0,95	0,95	0,96	1,01	0,97	0,95	0,93	0,93	0,93
Dispersion IC80 / 2	TS	1,11	0,85	0,96	0,93	1,09	1,01	1,01	0,78	0,82	0,82	0,83	0,88	0,88
	TP / TS	1,00	1,06	1,11	1,11	1,12	1,05	1,09	1,07	1,27	1,27	1,59	1,41	1,31
Valeurs inhabituelles C95	TS	0,96	<u>0,89</u>	0,96	0,92	0,96	0,93	0,94	0,90	0,94	<u>0,90</u>	<u>0,92</u>	<u>0,93</u>	0,96
	TP / TS	1,11	1,08	1,08	1,05	1,02	0,95	1,03	0,99	1,00	1,01	1,01	1,00	1,04
rapport > 100 000 e.h.N / < 100 000 e.h.N		Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Ptot	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Ptot
médiane	TS	<u>1,24</u>	1,02	0,99	0,97	1,00	0,97	<u>0,94</u>	<u>0,84</u>	<u>0,82</u>	<u>0,81</u>	<u>0,82</u>	<u>0,80</u>	<u>0,76</u>
	TP / TS	0,96	1,06	1,02	1,02	0,99	1,00	0,97	<u>1,09</u>	1,04	1,03	1,01	1,01	1,00
Dispersion IC80 / 2	TS	1,04	<u>0,69</u>	<u>0,79</u>	<u>0,78</u>	0,84	0,82	<u>0,73</u>	<u>0,72</u>	<u>0,80</u>	<u>0,80</u>	0,85	0,83	<u>0,75</u>
	TP / TS	1,09	<u>1,24</u>	1,11	1,09	0,89	0,79	1,15	1,04	0,97	1,02	0,82	0,82	1,01
Valeurs inhabituelles C95	TS	0,95	<u>0,79</u>	<u>0,85</u>	<u>0,86</u>	<u>0,86</u>	<u>0,87</u>	<u>0,82</u>	<u>0,84</u>	<u>0,92</u>	<u>0,91</u>	<u>0,95</u>	0,96	<u>0,91</u>
	TP / TS	0,98	1,20	1,13	1,07	0,99	0,95	<u>1,06</u>	<u>1,16</u>	<u>1,09</u>	<u>1,09</u>	1,02	1,00	1,02

légende: TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j < 0,8 1 > 1,3
les différences statistiquement significatives entre deux catégories sont en gras souligné

Tableau 3-2 influence globale du type de réseau et de la taille de la population équivalente raccordée sur les différents indicateurs.

L'importance de la population desservie a essentiellement un impact sur les paramètres de dispersion des flux journaliers et des concentrations de temps sec : les plus grandes agglomérations présentent une moins grande variabilité inter-journalière, ce qui n'est pas surprenant. Elles présentent aussi des volumes spécifiques de temps sec sensiblement plus élevés que les agglomérations moins importantes, pour des flux sensiblement équivalents : on observe donc logiquement des concentrations plus faibles.

3.2.3 Corrélations entre flux et entre concentrations journaliers pour chaque site

L'analyse de corrélation a été effectuée séparément pour chaque site pour le temps sec et pour les pluies significatives. Le Tableau 3-3 présente les valeurs moyennes obtenues sur l'ensemble des sites afin de dégager des tendances caractéristiques des paramètres.

Les pluies /2 jours² et les volumes journaliers ne sont corrélés ni aux flux polluants ni aux concentrations, que ce soit en temps sec ou en temps de pluie : cela signifie que les concentrations sont très variables, et ce indépendamment des volumes. De plus les volumes sont en moyenne très faiblement corrélées avec la pluie. Cela pourrait laisser supposer un rôle important des surverses amont (point A1) mais cette faible corrélation est observée pour tous les sites : aucun n'atteint le seuil de 0,7.

		Flux							Concentrations				
Temps sec	Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Pt		MES	DCO	DBO5	NTK	NH4
	MES	0,02											
	DCO	0,02	0,72										
	DBO5	0,03	0,64	0,71									
	NTK	0,04	0,60	0,70	0,65								
	NH4	0,04	0,43	0,55	0,55	0,84							
	Pt	0,02	0,62	0,68	0,62	0,74	0,62						
Concentrations	MES	-0,17	0,80	0,47	0,40	0,26	0,14	0,32					
	DCO	-0,24	0,47	0,72	0,43	0,29	0,20	0,33	0,68				
	DBO5	-0,21	0,40	0,42	0,75	0,27	0,21	0,29	0,58	0,65			
	NTK	-0,34	0,28	0,33	0,30	0,51	0,42	0,30	0,52	0,63	0,58		
	NH4	-0,33	0,11	0,18	0,19	0,34	0,58	0,19	0,34	0,46	0,46	0,81	
	Pt	-0,27	0,35	0,35	0,32	0,30	0,25	0,64	0,55	0,61	0,55	0,66	0,54
Pluies	Volume	Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Pt	MES	DCO	DBO5	NTK	NH4
	MES	0,45											
	DCO	0,14	0,08										
	DBO5	0,11	0,06	0,79									
	NTK	0,08	0,05	0,70	0,78								
	NH4	0,08	0,05	0,64	0,75	0,65							
	Pt	0,00	0,01	0,44	0,58	0,54	0,86						
Concentrations	MES	0,09	0,07	0,69	0,73	0,62	0,75	0,61					
	MES	-0,19	-0,25	0,69	0,49	0,45	0,30	0,19	0,37				
	DCO	-0,30	-0,39	0,40	0,61	0,45	0,33	0,27	0,34	0,75			
	DBO5	-0,20	-0,38	0,32	0,40	0,63	0,31	0,28	0,29	0,65	0,75		
	NTK	-0,35	-0,57	0,10	0,22	0,23	0,40	0,39	0,20	0,53	0,71	0,58	
	NH4	-0,38	-0,58	-0,05	0,09	0,13	0,27	0,49	0,09	0,37	0,57	0,47	0,89
	Pt	-0,20	-0,42	0,28	0,33	0,33	0,32	0,29	0,56	0,61	0,69	0,55	0,72
		légende											
		r < 0,5			0,5 ≤ r < 0,7		0,7 ≤ r < 0,9		r ≥ 0,9				

légende $r < 0,5$ $0,5 \leq r < 0,7$ $0,7 \leq r < 0,9$ $r \geq 0,9$

Tableau 3-3 coefficients de corrélation (moyennés sur les différents sites) entre flux journaliers, entre concentrations moyennes journalières, et entre flux et concentrations.

² Les pluies significatives sont celles qui dépassent 8 mm / 2j, sauf pour les corrélations avec la pluie pour lesquelles on ne s'est pas limité à cette gamme réduite : on a pris en compte l'ensemble des pluies supérieures à 2 mm / 2j

De même les concentrations des différents polluants sont peu corrélées en temps sec (à l'exception de NTK et NH4. C'est d'ailleurs la seule corrélation notable qui implique NH4). Elles le sont bien davantage lors des pluies, surtout celles qui impliquent la DCO et le phosphore total.

Enfin les flux et les concentrations sont en général décorrélés, même en temps de pluie, alors que les concentrations sont corrélées entre elles, et que les concentrations ne sont pas non plus corrélées au débit...

		réseaux séparatifs											réseaux mixtes et unitaires														
		Deauville	Elbeuf	Creil	Cherbourg	Beauvais	Chartres	Troyes	Evry	Reims	Sarcelles	Compiègne	Meaux	Evreux	Mantes la Jolie	Seine Morée	Le Havre	Lagny / Marne	Cergy Pontoise	Caen	Marne Aval	Rouen	Seine Centre	Seine Grésillons	Seine Valenton	Seine aval	
Flux	Temps sec	0,82	0,59	0,55	0,57	0,60	0,32	0,59	0,72	0,58	0,53	0,41	0,50	0,53	0,54	0,78	0,78	0,60	0,59	0,55	0,82	0,70	0,85	0,90	0,84	0,84	
	Pluies	0,74	0,59	0,55	0,52	0,56	0,33	0,70	0,75	0,68	0,66	0,58	0,52	0,59	0,77	0,80	0,75	0,71	0,61	0,60	0,79	0,71	0,82	0,90	0,80	0,84	
Concentrations	Temps sec	0,68	0,57	0,53	0,60	0,43	0,30	0,70	0,66	0,62	0,39	0,32	0,39	0,31	0,39	0,56	0,79	0,69	0,49	0,47	0,69	0,71	0,68	0,80	0,81	0,76	
	Pluies	0,70	0,65	0,55	0,65	0,46	0,43	0,73	0,72	0,63	0,46	0,53	0,37	0,41	0,60	0,70	0,73	0,76	0,53	0,58	0,75	0,77	0,67	0,82	0,84	0,73	
légende		r < 0,5			0,5 ≤ r < 0,7			0,7 ≤ r < 0,9			r ≥ 0,9																

Tableau 3-4 coefficients de corrélation (moyennés pour chaque site sur les différentes paires de paramètres de pollution) entre flux journaliers et entre concentrations moyennes journalières

La moyenne de tous les coefficients de corrélation pour chaque site (Tableau 3-4) (c.a.d. flux-flux et concentration-concentration - sans inclure les corrélations avec le volume, ni les corrélations flux - concentrations car elles sont systématiquement négligeables) met en évidence de grandes disparités entre sites. Par exemple les corrélations entre les flux sont fortes pour les sites du SIAAP, et particulièrement faibles à Chartres. Pour les concentrations, les corrélations sont faibles sur des nombreux sites.

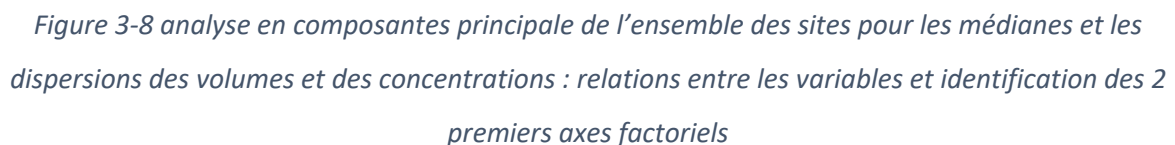
Les corrélations faibles entre flux polluants ou entre concentrations pourraient dénoter la présence d'activités industrielles, voire de problèmes de prélèvement et d'analyse...

3.2.4 Analyse en composantes principales

Les sites sont décrits par les volumes et concentrations, en prenant en compte les médianes et les variabilités de temps sec (IC80/(2*médiane)) et les rapports des valeurs de ces variables en temps de pluie à leurs valeurs en temps sec. Selon le cas ces ratios temps de pluie/temps sec définissent une sensibilité ou une insensibilité à la pluie. Pour les volumes, ils sont supérieurs à 1 en temps de pluie, et

En projetant ces variables sur le plan défini par les deux premiers axes factoriels, on obtient un premier diagramme (Figure 3-8). On notera que la projection sur ce plan conserve 65% de la variance totale, ce qui justifie une interprétation limitée au deux premiers axes factoriels.

La Figure 3-8 permet d'analyser les corrélations et d'interpréter les axes factoriels. Deux variables sont corrélées si elles sont proches entre elles et du cercle de rayon unité. A la différence du paragraphe précédent il ne s'agit pas des corrélations des valeurs journalières pour un site donné, mais des corrélations des médianes observées sur chaque site.



1. Les (in)sensibilités aux pluies des médianes des concentrations des différents polluants
2. Les sensibilités aux pluies des dispersions des concentrations et des médianes des volumes

3. Les médianes des concentrations des différents polluants et des volumes en temps sec, ainsi que la dispersion des volumes de temps sec
4. Les dispersions des concentrations des différents polluants en temps sec, ainsi que la sensibilité aux pluies de la dispersion des volumes

Les deux premiers pôles tendent à définir un axe de sensibilité des concentrations à la pluie, opposant l'effet sur les médianes à l'effet sur les dispersions, lui-même lié à la sensibilité des volumes à la pluie. Autrement dit des volumes plus élevés en temps de pluie induisent une baisse de concentrations et une augmentation de la dispersion, comme vu aux § 0 et 0. Néanmoins l'axe F1 n'est pas parfaitement aligné sur ces pôles et intègre une part des caractéristiques de temps sec.

Ces caractéristiques de temps sec définissent plutôt l'axe F2. Il oppose les médianes du côté négatif aux dispersions du côté positif de l'axe. Cette opposition peut être due à l'expression de la dispersion en la rapportant à la médiane : plus la médiane est grande, moins le rapport $IC80 / (2 \times \text{médiane})$ est élevé si IC80 est à peu près constant.

3.2.4.2 Positionnement des STEU

La Figure 3-9 représente les différentes STEU dans le même système d'axes, ainsi que les barycentres des collectivités équipées en réseaux séparatifs, ou mixtes et unitaires, et les barycentres des collectivités collectant plus ou moins de 100 000 e.h.N.

On a également fait figurer les groupements issus d'une classification automatique prenant en compte les 5 premiers axes factoriels, totalisant 89% de la variance.

Cette classification distingue nettement trois groupes (un peu moins séparés dans le plan F1- F2). Le premier contient surtout des réseaux unitaires, ainsi que Deauville, Elbeuf et Cherbourg qui seraient les plus suspects des réseaux séparatifs. L'autre groupe contient surtout des réseaux séparatifs, ainsi que Evreux, Caen, Lagny/Marne et Cergy-Pontoise, qui seraient donc des réseaux « faiblement unitaires ». Enfin le dernier groupe contient Seine Centre, Seine Grésillons, Reims et Meaux. Ces systèmes sont apparentés à ceux du groupe précédent, mais ils s'en distinguent par la variabilité des concentrations de temps sec.

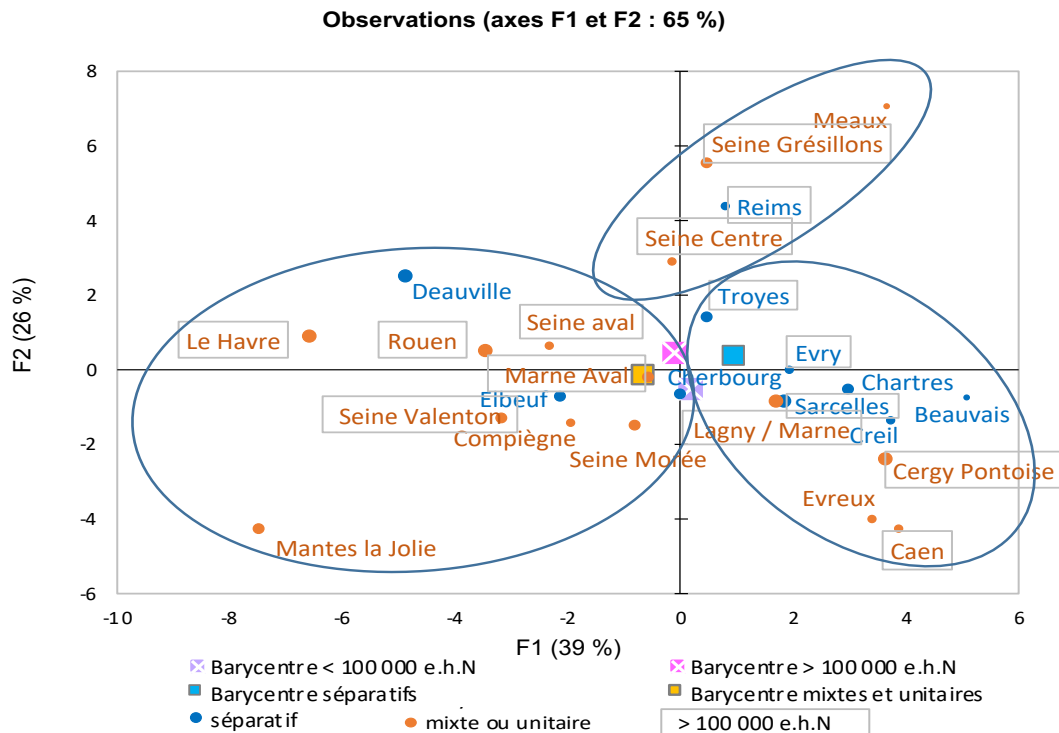


Figure 3-9 analyse en composantes principales de l'ensemble des sites pour les médianes et les dispersions des volumes et des concentrations : position des différentes STEU dans le premier plan factoriel et regroupements identifiés par une classification hiérarchique ascendantes utilisant les coordonnées sur 5 premiers axes (89% de la variance totale)

On peut aussi opter pour une approche plus nuancée, en ordonnant les sites selon leur position sur l'axe F1. Selon ce critère Beauvais serait le moins sensible à la pluie, et les plus sensibles seraient Le Havre et Mantes-la-Jolie. On notera que ces deux sites sont les seuls identifiés comme « unitaires » dans la base de données. Meaux est quant à lui classé en deuxième ou troisième position sur cet axe, assez loin derrière Beauvais, alors que l'examen des données détaillées montre que tous les paramètres de ce site sont insensibles à la pluie. Cela est dû à ses caractéristiques de temps sec, et notamment la dispersion élevée des concentrations, qui tendent à rétrograder Meaux sur l'axe F1. A l'inverse, les fortes concentrations médianes observées à Beauvais décalent ce site vers la droite de cet axe. On a vu plus haut que l'axe F1 n'est pas entièrement spécifique de la sensibilité à la pluie et le classement obtenu est donc approximatif.

Enfin ce plan factoriel ne met pas en évidence de différence notable entre les stations collectant plus de 100 000 e.h.N et celles pour laquelle la population raccordée est plus faible. Le Tableau 3-2 avait montré une influence de la taille de la population sur les médianes de temps sec et la sensibilité des dispersions mais ces deux paramètres se neutralisent sur l'axe F2

4. Conclusions

La définition d'indicateurs et de descripteurs adaptés, et l'élaboration de représentation graphiques pertinentes, complétées par des analyses statistiques plus objectives ont permis d'analyser les données issues de 25 stations d'épuration de capacité supérieures à 100 000 e.h. du bassin Seine Normandie. La méthodologie testée sur cet échantillon est entièrement transposable à des stations de moindre capacité ou situées sur d'autres bassins car elle s'appuie sur la base de données nationale SANDRE.

Pour les volumes, les valeurs observées en temps sec sont supérieures, voire très supérieures à la référence de 150L/j/e.h. pour tous les sites. On peut y voir l'influence généralisée des eaux parasites d'infiltration. Cette hypothèse pourra être confirmée sur certains sites par une analyse saisonnière des débits de temps sec qui fait partie des suites de cette étude.

Pour la plupart des paramètres de pollution les valeurs de référence de flux de temps sec sont vérifiées en moyenne sur l'ensemble des sites. On constate surtout des disparités parfois importantes entre les sites. Ces valeurs de référence étant des flux spécifiques, rapportées à l'équivalent-habitant, elles dépendent de la définition de ce dernier. Ici a été estimé à partir du flux d'azote NTK collectée ne temps sec, et d'une valeur conventionnelle de 15 g/j/e.h.

Si les valeurs de référence des flux médians de temps sec ne sont pas remises en cause, on dispose désormais d'informations sur leurs fluctuations pour un site donné. Ces fluctuations peuvent être importantes, en particulier pour les MES, la DCO et la DBO5, et atteignent 30 à 35% de la médiane

L'effet de la pluie devient notable à partir de la valeur arbitraire de 8 mm ($P_j + P_{j-1} > 8$ mm). Il est beaucoup plus marqué sur les volumes (même écrêtés par les déversoirs amont) que sur les flux, si bien que l'on observe une baisse sensible et systématique des concentrations moyennes journalières. Les flux ont néanmoins tendance à augmenter en temps de pluie, surtout les flux de MES.

A l'inverse les flux d'ammonium restent assez stables, voire diminuent en temps de pluie. Ce comportement pourrait être utilisé en diagnostic pour évaluer les volumes déversés en amont, mais cette méthode reste à valider.

Les critères d'identification des réseaux séparatifs mixtes ou unitaires pourront être précisés à l'avenir. Il n'en demeure pas moins qu'à une exception près, aucun des réseaux étudiés n'est insensible aux apports pluviaux en termes de flux ou de concentrations, et que les réseaux réputés séparatifs ne se distinguent globalement guère des réseaux mixtes ou unitaires : on suspecte même sur certains d'entre eux des déversements amont. Néanmoins l'analyse multivariée (composantes principales + classification hiérarchique) a permis de différencier les sites selon leur sensibilité à la pluie, surtout sur des critères de concentration, eux-mêmes corrélés avec le débit, et on observe une certaine tendance des réseaux séparatifs à présenter une moins grande sensibilité.

On note par ailleurs une augmentation de la variabilité des flux journaliers en temps de pluie par rapport

au temps sec, sans pour autant assister à une explosion de cette variabilité.

Les analyses de corrélations et en composantes principales ont montré des corrélations assez faibles en temps sec entre les différents flux et entre les différentes concentrations. Elles sont même inexistantes pour celles qui impliquent les volumes journaliers : c'est la variabilité des concentrations qui prime. En revanche on observe des corrélations assez élevées en temps de pluie, aussi bien entre les flux qu'entre les concentrations, alors même que flux et concentrations sont en général décorrélés entre eux. Cela signifierait que l'impact de la pluie surpasse les variations observées en temps sec.

Au-delà de ces tendances générales, il apparaît surtout de très grandes disparités entre les sites et de grandes fluctuations au sein d'un même site. Pour expliquer ces disparités et ces fluctuations, une analyse site par site serait donc nécessaire, mais la base de données ne contient pas de description détaillée des réseaux de collecte et une étude spécifique de chaque site sort du cadre de ce projet. On voit néanmoins que l'analyse des données d'autosurveillance pourrait constituer un préalable intéressant, permettant d'identifier des questions auxquelles devra répondre l'étude diagnostic d'un système donné. De plus les campagnes de mesure mises en œuvre dans le cadre de ce diagnostic devront être adaptées à la variabilité des flux de temps sec (et de temps de pluie).

Cette étude sera poursuivie par l'analyse des résultats relatifs aux flux et concentrations rejetés et aux performances de dépollution. Elle pourra être étendue à des systèmes de plus petite taille (on dispose de données en nombre suffisant à partir de 30 000, voire 10 000 e.h.) et aux territoires d'autres Agences de l'Eau. On disposera ainsi d'échantillons plus importants, permettant de mener des analyses multivariées plus poussées.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche OPUR. Les auteurs remercient tous les partenaires d'OPUR et en particulier l'Agence de l'Eau Seine Normandie qui a mis à disposition les données exploitées dans cet article

Bibliographie

AQUASCOP, (2003) *Mise en oeuvre de la DCE - Identification des pressions et impacts - Guide méthodologique, version 4.1*, mars 2003 – 147p. + Annexes, ministère de l'Écologie et du développement durable : Direction de l'eau

BALAS E., RUPERD Y., (1993) : *Le contrôle de branchement au réseau d'égouts par tests à la fumée*, Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Série Environnement, et Génie Urbain, EG8, 50 p., ed. LCPC, ISBN 2-7208-2270-1

DEQUENNE J., PORTELA S., (2023) : *Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement – Panorama des services publics d'eau et d'assainissement et de leurs performances en 2021*, Office Français de la Biodiversité, EauFrance, SISPEA. 71 P.+ annexes

EAUFRANCE, (2010) : *Guide pour le scenario d'échanges des données – autosurveillance des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées - Version 3.0*, OIEAU, 10 p.

EAUFRANCE, (2019) : *SANDRE rapport d'activité 2017 – 2019*, ministère de l'Environnement, 54 p.

GASPERI J., KAFI-BENYAHIA M., LORGEUX C., MOILLERON R., GROMAIRE M.-C., CHEBBO G., 2008, "Wastewater quality and pollutant loads in combined sewers during dry weather periods", *Urban water journal*, 5 (4), pp. 305 - 314.

JOANNIS C., (1993) : *Les études diagnostic de réseaux d'assainissement. Analyse rétrospective et propositions*, Études et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Série Environnement, et Génie Urbain, EG9, 134 p. ed. LCPC, SBN 2-7208-2280-9

MERCOIRET L., (2010) : *Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités – Application aux agglomérations d'assainissement inférieures à 2 000 EH*, ed. Onema, 55 p.

MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, (2017) (1) : *Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015, partie 2 - autosurveillance des systèmes d'assainissement collectif*

MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, (2017) (2) : *Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015, partie 3 - évaluation de la conformité réglementaire des systemes d'assainissement collectif*

MOSIO D., BETRANCOURT C., LEFEBVRE F., BOQUET D., PRONIER P., VERHAEGHE H., (2018) : « Le traitement automatisé des données d'autosurveillance des systèmes d'assainissement - le cas particulier de l'agence de l'eau Artois-Picardie », *Techniques Sciences Méthodes*, 114(5), 101 - 109

MINISTERE DE L'INTERIEUR ET MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1991) :, *Arrêté du 10 décembre 1991 pris en exécution de l'article 10 (1er alinéa) du décret n° 75-996 du 28 octobre 1975 portant application des dispositions de l'article 14-1 de la loi du 16 décembre 1964 modifiée relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution*

SOYER M., DE GOUVELLO B., DEROUBAIX J.-F., (2019) : « L'observatoire d'hydrologie urbaine - un dispositif d'expertise innovant ? », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 13(2), 585 - 611

Article soumis à TSM: Valorisation de données débit- qualité issues de l'autosurveillance des stations d'épuration des eaux usées - PARTIE II : PERFORMANCES DE LA DEPOLLUTION ET CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS REJETES PAR LES STATIONS D'EPURATION EN TEMPS SEC ET EN TEMPS DE PLUIE

**FROM DATA TO INFORMATION BY PROCESSING THE DATABASE OF REGULATORY
MONITORING OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS**

**Part II: Efficiency of depollution and features of water discharges in receiving waters during
dry and rainy periods**

Claude Joannis^{1*}, Ali Hayek², Ghassan Chebbo²

¹ CJ Conseil, 37 rue du coteau, 44100 NANTES

² LEESU, Ecole des Ponts, Université Paris Est Créteil, F77455 Marne-la-Vallée, France

[*cjconseil@orange.fr](mailto:cjconseil@orange.fr), 06 69 76 05 27

Résumé`

En s'appuyant sur les données du système d'information SANDRE pour les systèmes d'assainissement du bassin Seine Normandie, une méthodologie d'analyse et de présentation des données d'autosurveillance des stations d'épuration a été élaborée pour obtenir une vue générale du fonctionnement des différents types de systèmes d'assainissement dans différents contextes météorologiques et socio-économiques. Une première partie de cet article a présenté les résultats relatifs aux volumes et flux collectés et aux concentrations en polluants classiques, en temps sec et en temps de pluie. Cette deuxième partie est consacrée aux performances de la dépollution et aux caractéristiques des rejets des stations d'épurations.

Mots-clés : autosurveillance, réseau de collecte, station d'épuration, sandre, base de données, statistiques, rendements épuratoires, rejets polluants

Abstract

A methodology for analyzing and displaying self-monitoring data from wastewater treatment plants has been developed and tested on data from the SANDRE information system for the sanitation systems of the Seine Normandie basin. It provides an overview on operating conditions of different types of sanitation systems under different meteorological and socio-economic contexts. The first part of this paper presented results about the volumes and flows collected and the concentrations of classic pollutants, during dry weather and in rainy days. This second part deals with depollution performances and presents the main features of discharges from wastewater treatment plants.

Keywords: self monitoring, sewer network, wastewater treatment plant, SANDRE, data base, statistics, pollutant discharge, depollution efficiency

1. Introduction

Le contexte de l'étude a été présenté dans la première partie, consacrée aux caractéristiques des effluents acheminés jusqu'aux STEU (stations de traitement des eaux usées), mesurées aux points A3 (entrée station) et A2 (déversoir de tête). Cette seconde partie traite de l'efficacité de la dépollution, évaluée à partir des mesures aux points A2, A3 et A4 (sortie station) et abordée selon 3 critères :

- Le rendement propre des STEU
- L'importance des déversements en tête de station et leur impact sur le rendement global des systèmes STEU+déversoir de tête
- Les flux et les concentrations rejetés par les STEU

Au préalable les flux admis en traitement sont caractérisés et comparés aux capacités de traitement pour déterminer les taux de charge des différentes stations.

Le premier et le troisième thème sont développés en commençant par une analyse graphique, réalisée pour la DBO₅, et qui illustre les variations des différents indicateurs sur un même site et d'un site à l'autre, et étudie plus particulièrement l'impact des pluies. Puis une analyse statistique synthétise dans un premier temps les résultats obtenus pour les différents indicateurs et les différents paramètres de pollution. Elle cherche ensuite des paramètres explicatifs des variations observées sur une même station ou d'une station à l'autre. Ce plan n'est pas adapté aux déversements en tête de station en général peu nombreux. Ceux-ci sont donc traités selon un plan spécifique

2. Matériel et méthodes

La base de données et la méthodologie générale ont été présentés dans la première partie de cet article. Nous rappellerons seulement que pour comparer entre elles les différentes stations, tous les flux sont rapportés à la pollution collectée en temps sec, exprimée en équivalent-habitant azote (e.h.N). Un e.h.N correspond à 15g d'azote Kjeldahl (NTK).

Quelques aménagements ont été introduits spécifiquement pour l'analyse des performances de la dépollution, qui sont détaillées ci-après.

Des validations supplémentaires ont été effectuées pour le point A2 : on a ainsi éliminé de certains traitements un site pour lesquels les concentrations en A2 étaient systématiquement égales aux concentrations en A3. On a également éliminé quelques résultats d'analyse en A2 alors qu'aucun débit correspondant n'était enregistré.

Par ailleurs les critères ont été modifiés pour l'analyse de dépollution par rapport à l'analyse des flux

entrants. Le NTK a été complété ou remplacé par l'azote global pour évaluer les rendements et caractériser les rejets ; et l'ammonium remplacé par le NO₃ pour la caractérisation des rejets. L'azote global incluant le NTK et les nitrates (ainsi que les nitrites) permet une approche plus synthétique des performances sur l'élimination effective de l'azote, et les nitrates combinés avec le Nglobal permettent de détailler les formes de l'azote dans les rejets.

Une attention particulière a été portée aux valeurs inhabituelles de rendement, de concentrations et de flux. Pour les flux et les concentrations en entrée et sortie de station ces valeurs inhabituelles sont représentées par le centile 95. Pour les rendements, elles sont représentées par le centile 5 car il correspond aux rendements les plus faibles et donc aux situations les plus défavorables pour le milieu. Les rendements et les concentrations des rejets sont comparées *à titre indicatif* aux préconisations de l'arrêté du 21 juillet 2015 et du commentaire technique de cet arrêté – partie 3. Ces préconisations sont exprimées en maximum journalier « hors circonstances inhabituelles » pour MES, DCO et DBO₅ et en moyenne annuelle pour Nglobal et Ptotal. Par souci de cohérence des analyses statistiques, et pour avoir un indicateur numérique adapté à tous les contextes, nous avons assimilé les circonstances inhabituelles de la réglementation aux valeurs inhabituelles que nous avons défini par des centiles 5 ou 95. Et nous les avons comparées aux préconisations. C'est un critère proche, mais différent de l'évaluation de la conformité réglementaire. Celle-ci nécessiterait de vérifier que tous les rendements et les concentrations correspondant à un débit en A2+A3 inférieur au centile 95 des débits, (et hors autres circonstances inhabituelles) satisfont aux prescriptions. Le seul indicateur numérique qui en découle directement est le taux de conformité aux prescriptions, qui n'apporte plus d'information au delà de 100%, et qui n'a donc pas été retenu pour notre étude.

Pour les rendements, les indicateurs de dispersion et les valeurs extrêmes ont été exprimées en valeurs brutes (% de rendement) et non pas rapportées à la médiane : celle-ci est en général peu variable et proche de 1, et des pourcentages de pourcentages ne seraient pas très intuitifs.

Par ailleurs on a distingué les performances intrinsèques des STEU des performances globales STEU+A2, qui incluent les rejets directs en tête de station, et permettent de vérifier la conformité réglementaire.

Enfin, pour la recherche de facteurs explicatifs des variations intersite, la population collectée a été remplacée par le taux de charge (en temps sec) qui semble plus pertinent que la charge brute pour interpréter les performances et les caractéristiques des rejets des stations d'épuration. Un seuil arbitraire de 45% de taux de charge permet d'obtenir deux sous-échantillons d'effectif à peu près égal ;

3. Résultats

3.1. Flux traités par les stations d'épuration

Le Tableau 3-1 est très semblable au Tableau IV de la première partie de cet article, mais il permet de rappeler les caractéristiques des effluents, en se limitant aux effluents effectivement admis en stations (point A3) et non à l'ensemble des effluents collectés et acheminés jusqu'à l'entrée STEU (points

A2+A3). Comme les tableaux de même type figurant dans la suite de cet article, il présente des valeurs moyennes des différents indicateurs (médiane, intercentile80, centile 95) calculées pour l'ensemble des stations. Les gammes de variations de ces indicateurs figurent entre parenthèses, et correspondent aux valeurs minimum et maximum observées sur l'ensemble des stations, en excluant les deux valeurs extrêmes.

On constate notamment une variabilité notable des flux traités en temps sec, ainsi qu'une faible augmentation en temps de pluie des flux médians traités et une augmentation plus sensible de leur variabilité. Pour les volumes traités, la variabilité de temps sec est moins importante, mais l'impact de la pluie sur les valeurs médianes et les dispersions est plus marqué que pour les flux.

		Flux					
		Volume	MES	DCO	DBO5	NTK	Ptot
médiane	TS m3/j / e.h.N	0,22 (0,17 ; 0,31)	70 (60 ; 90)	150 (130 ; 180)	60 (50 ; 70)	15* -	1,7 (1,5 ; 2)
	ou g / j / e.h.N	1,40 (1 ; 2,1)	1,19 (0,9 ; 1,6)	1,09 (0,9 ; 1,3)	1,07 (0,9 ; 1,3)	1,03 (0,9 ; 1,2)	1,08 (0,9 ; 1,2)
	TP / TS						
Dispersion IC80 / 2	TS	20% (9% ; 48%)	37% (18% ; 65%)	29% (15% ; 52%)	34% (19% ; 68%)	23% (10% ; 55%)	28% (15% ; 55%)
	% médiane						
	TP / TS	1,43 (0,9 ; 2,1)	1,21 (0,8 ; 1,7)	1,33 (1 ; 1,7)	1,19 (0,9 ; 1,6)	1,34 (0,8 ; 2,1)	1,34 (0,8 ; 1,8)
Valeurs inhabituelles C95	TS	135% (110% ; 170%)	160% (130% ; 205%)	140% (120% ; 175%)	150% (125% ; 185%)	130% (110% ; 180%)	140% (120% ; 200%)
	% médiane						
	TP / TS	1,73 (1 ; 2,9)	1,42 (0,9 ; 2,3)	1,28 (0,8 ; 2)	1,22 (0,9 ; 1,9)	1,16 (0,9 ; 1,5)	1,08 (1 ; 1,2)
légende:		TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j					
		<div> <div>minimum de la ligne</div> <div>maximum de la ligne</div> </div>					
		les différences statistiquement significatives entre temps sec et pluies sont en gras souligné					

Tableau 3-1 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs de flux mesurés pour les différents paramètres de pollution au point A3 (entrée STEU)

3.2. Taux de charge des stations d'épuration

Pour évaluer la sollicitation des STEU, on a comparé les volumes et les flux de DBO5 admis en station pour différents contextes hydrologiques aux capacités nominales des stations.

Il apparaît (Figure 3-1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) que les flux médians de DBO5 admis sont très inférieurs aux capacités nominales en temps sec (et qu'en temps de pluie ils ne s'approchent de cette capacité que dans de rares occasions – environ 5% du temps - et seulement quelques stations).

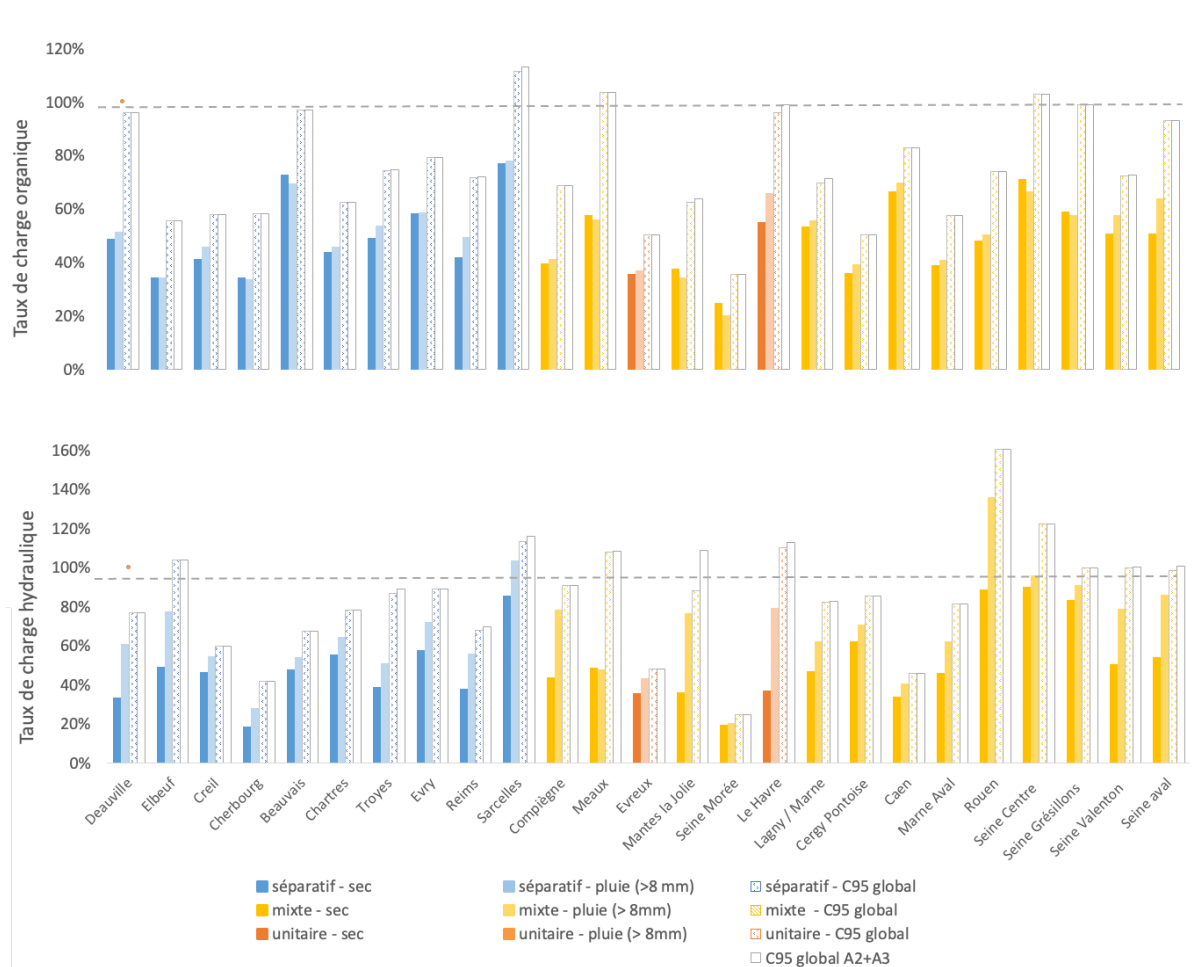


Figure 3-1 médianes en temps sec et en temps de pluie et centiles 95 des taux de charge organique et hydrauliques réels (flux admis en A3/capacité de la station) et centiles 95 des taux de charge potentiels (flux acheminés en A2+A3 /capacité de la station)

Le centile 95 toutes stations confondues (Tableau 3-2) correspond à un taux de charge organique de 75% et il approche 100% pour seulement 8 stations (dont deux pour lesquelles les 100% sont dépassés). La prise en compte des déversements en A2 ne modifie que très légèrement les valeurs des centiles 95 et seulement sur 3 stations. Les stations sont donc en général largement dimensionnées pour traités les flux polluants qui y sont admis.

Les taux de charge hydrauliques sont assez comparables aux taux de charge organique en temps sec, mais sensiblement supérieurs en temps de pluie, et 10 stations d'épuration voient leur capacité hydraulique dépassée au moins 5% du temps.

	médiane temps sec A3	médiane pluies > 8 mm/2j A3	C95 global A3	C95 global A2+A3
charge organique	49% (33% ; 73%)	51% (33% ; 70%)	75% (49% ; 104%)	76% (49% ; 104%)
charge hydraulique	50% (19% ; 89%)	68% (28% ; 105%)	85% (41% ; 124%)	87% (41% ; 124%)

Tableau 3-2 Valeurs moyennes et gammes de variation des taux de charge organique et hydraulique, réels et potentiels

3.3. Rendement des stations d'épuration en temps sec et en temps de pluie

3.3.1. Analyse graphique pour la DBO5

Les rendements médians en DBO5 (Figure 3-2 et Figure 3-3 - haut) sont nettement supérieurs à 95% en temps sec. On observe souvent une légère baisse du rendement en temps de pluie mais les rendements restent supérieurs à 95% (à 2 exceptions près).

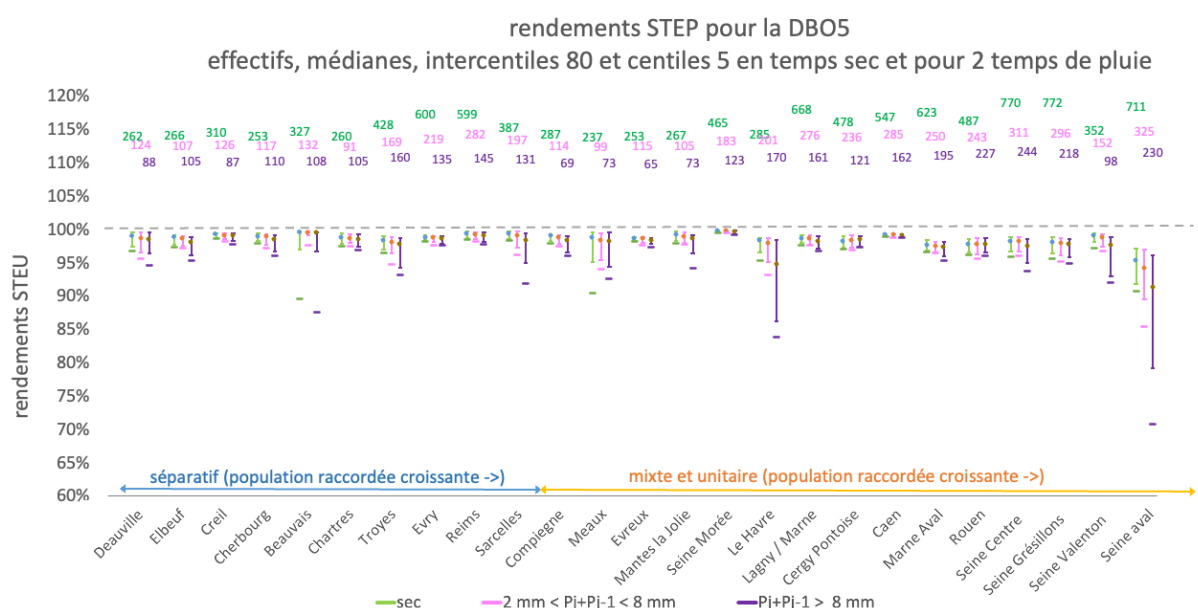


Figure 3-2 rendements des STEU pour la DBO5 : effectifs, intercentile 80 et centile 95 en temps sec et pour deux temps de pluie

Les valeurs inhabituelles (Figure 3-3 - bas) sont un peu plus faibles mais restent généralement supérieures à 95% en temps sec (à 3 exceptions près). Quel que soit le type de réseau de collecte, ces valeurs inhabituelles sont souvent plus faibles en temps de pluie, mais ce n'est pas systématique.

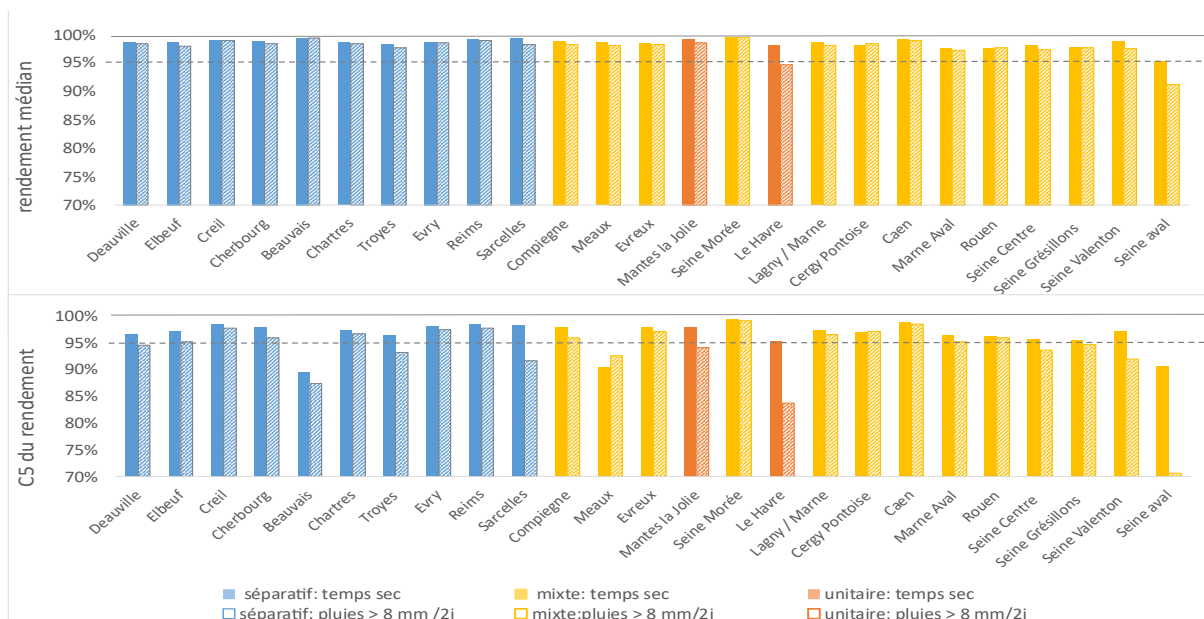


Figure 3-3 médianes (en haut) et valeurs inhabituelles (en bas) des rendements des STEU pour la DBO5

La variabilité du rendement (Figure 3-4) est souvent inférieure à 1 point de rendement en temps sec. Elle augmente en temps de pluie. Cette augmentation peut être légère et reste en général inférieure à un facteur 2, mais elle peut aussi atteindre des facteurs de 3, 4 ou même 6 (dans le cas du réseau unitaire du Havre). Il faut garder à l'esprit qu'une variation d'un point du rendement peut représenter une variation de 50% des flux ou des concentrations rejetées (pour un rendement de base de 98%).

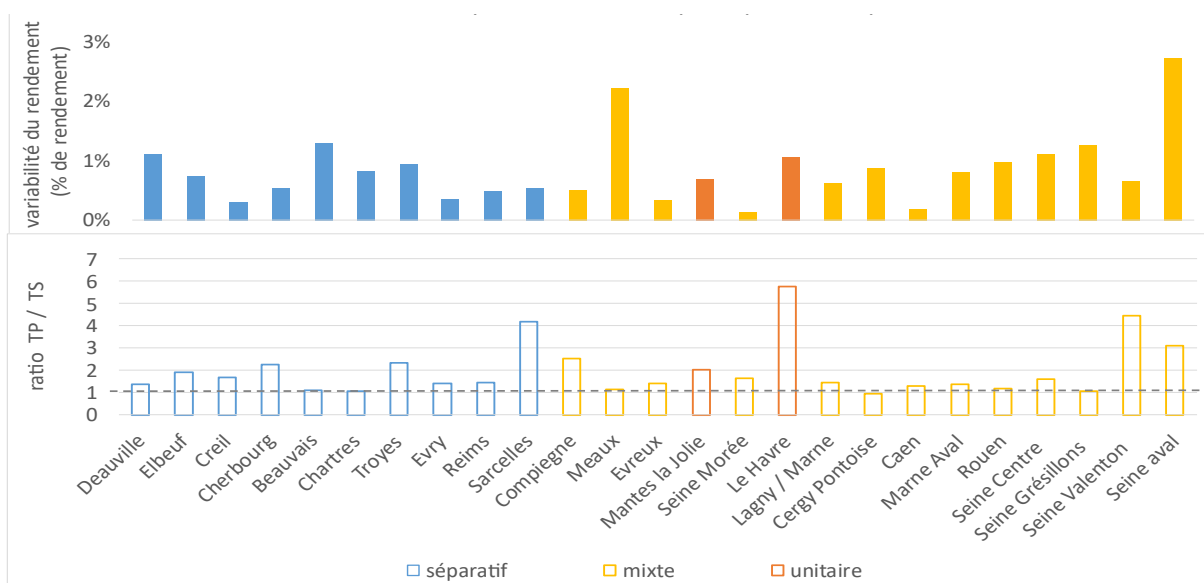


Figure 3-4 variabilités du rendement des STEU pour la DBO5 : IC80/2 en temps sec (en haut) et ratio temps de pluie/temps sec (en bas)

3.3.2. Analyse statistique

3.3.2.1. Valeurs caractéristiques et influence de la pluie

Le Tableau 3-3 résume les moyennes des médianes et des indicateurs de variabilité en temps sec, et leur sensibilité à la pluie.

		MES	DCO	DBO5	NTK	Nglobal	Ptot
médiane	TS	98%	96%	99%	96%	86%	92%
		(96% ; 99%)	(94% ; 98%)	(98% ; 99%)	(91% ; 98%)	(71% ; 95%)	(84% ; 98%)
	TP / TS	<u>0,99</u>	<u>0,99</u>	<u>0,99</u>	<u>0,98</u>	<u>0,95</u>	0,98
		(0,96 ; 0,99)	(0,95 ; 0,99)	(0,96 ; 1)	(0,91 ; 0,99)	(0,86 ; 1,01)	(0,93 ; 1)
Dispersion IC80 / 2	TS	1,7%	1,9%	0,9%	3,6%	6,5%	6,3%
		(0,4% ; 4%)	(0,4% ; 3,9%)	(0% ; 2,2%)	(0,7% ; 16%)	(1,9% ; 19%)	(2,5% ; 13%)
	TP / TS	<u>1,83</u>	<u>2,00</u>	<u>2,06</u>	2,04	<u>1,65</u>	1,65
		(0,9 ; 4)	(1,1 ; 4,2)	(1,1 ; 4,7)	(0,8 ; 5,2)	(1,1 ; 2,9)	(0,9 ; 3)
Valeurs inhabituelles C 5	TS	95%	90%	100%	85%	75%	80%
		(85% ; 100%)	(85% ; 95%)	(90% ; 100%)	(35% ; 95%)	(30% ; 90%)	(45% ; 90%)
	TP / TS	<u>0,95</u>	<u>0,95</u>	<u>0,97</u>	0,96	<u>0,87</u>	0,97
		(0,7 ; 1)	(0,8 ; 1)	(0,9 ; 1)	(0,8 ; 1,1)	(0,6 ; 1)	(0,9 ; 1)

légende: TS: temps sec
TP: Pluies > 8 mm/2j

minimum de la ligne maximum de la ligne

les différences statistiquement significatives entre temps sec et pluies sont **en gras souligné**

Tableau 3-3 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs de rendement pour les différents paramètres de pollution

En temps sec, les rendements médians sont élevés (91 à 99 %) pour MES, DCO, et DBO5, un peu plus faibles pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total. Les dispersions sont faibles (0,4 à 4 points de rendement), sauf pour l'azote et le phosphore.

Du fait de la nitrification les rendements médians sont plus modestes et plus variables pour l'azote global que pour le NTK, mais ils restent très honorables (71 à 95%).

Les rendements les plus bas (C5) sont encore supérieurs à 85 % pour MES, DCO et DBO5 pour tous les sites, mais ils sont sensiblement plus faibles pour NTK, Nglobal et Ptotal.

En temps de pluie, on observe une faible baisse des rendements médians pour tous les paramètres, mais la baisse est un peu plus marquée pour l'azote global. Les rendements les plus bas (C5) accusent une baisse plus sensible. La dispersion des rendements augmente assez nettement en temps de pluie, mais d'une manière très variable en fonction des sites, avec plusieurs fortes valeurs (x3 à x5).

Sur la globalité des résultats (temps sec et temps de pluie confondus) les rendements sont largement supérieurs aux valeurs repères transposées de l'arrêté du 21 juillet 2015 pour les MES, la DCO et la DBO5, un peu moins pour l'azote et le phosphore (Tableau 3-4).

prescription de l'arrêté du 21 juillet 2015	MES	DCO	DBO5	Nglobal	Ptot
	90% *	75% *	80% *	70%**	80%**
moyenne annuelle	96% (88% ; 98%)	93% (87% ; 97%)	97% (93% ; 99%)	80% (61% ; 92%)	87% (68% ; 94%)
C 5 global	97% (92% ; 99%)	94% (90% ; 97%)	98% (94% ; 99%)	83% (64% ; 94%)	90% (79% ; 97%)

* Maximum journalier hors circonstances inhabituelles

** moyenne annuelle pour les rejets en zone sensible à l'eutrophisation

légende: minimum prescrit maximum (100%)

Tableau 3-4 comparaison des moyennes et gammes de variation des indicateurs de rendement (moyenne annuelle ou Centile 5) aux prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015

3.3.2.2. Corrélations site par site entre les rendements, et le volume, les flux ou les concentrations traités

		Rendement				Volume A3	Concentrations A3					Flux A3				
Temps sec		MES	DCO	DBO5	NTK		MES	DCO	DBO5	Nglobal	Pt	MES	DCO	DBO5	Nglobal	Pt
rendement	MES					-0,08	0,10	0,09	0,08	0,00	0,06	0,03	0,03	0,01	-0,05	0,05
	DCO	0,53				-0,09	0,05	0,10	0,09	0,02	0,06	-0,01	0,03	0,01	-0,04	0,06
	DBO5	0,35	0,57			-0,10	0,05	0,09	0,10	0,01	0,05	-0,02	0,03	0,03	-0,04	0,05
	Nglobal	0,35	0,39	0,37		-0,09	0,05	0,12	0,09	0,03	0,08	-0,05	0,01	-0,03	-0,07	0,06
	Pt	0,57	0,34	0,30	0,24	0,01	0,03	0,07	0,08	0,05	0,11	-0,06	-0,02	-0,03	-0,04	0,08
Pluies > 8 mm/2j																
rendement	MES					-0,04	-0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	-0,04	-0,03	-0,03	0,00	-0,01
	DCO	0,67				-0,04	0,01	0,03	0,04	0,05	0,04	-0,03	-0,01	-0,02	0,03	0,00
	DBO5	0,63	0,70			-0,08	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,00	0,00	-0,01	0,06	0,01
	Nglobal	0,44	0,50	0,49		-0,06	0,02	0,05	0,06	0,07	0,04	-0,02	-0,01	-0,03	0,05	-0,02
	Pt	0,42	0,49	0,42	0,37	-0,05	0,00	0,02	0,04	0,04	0,03	-0,05	-0,02	-0,02	0,02	-0,02
Pluie > 1 mm/2j																
rendement	MES					-0,09	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,03
	DCO	0,65				-0,11	0,04	0,08	0,08	0,06	0,05	-0,05	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02
	DBO5	0,60	0,68			-0,12	0,06	0,09	0,11	0,09	0,08	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,01
	Nglobal	0,43	0,50	0,50		-0,11	0,07	0,10	0,11	0,10	0,09	-0,04	-0,03	-0,04	0,00	-0,02
	Pt	0,40	0,46	0,40	0,34	-0,08	0,05	0,08	0,09	0,06	0,05	-0,05	-0,03	-0,04	-0,03	-0,04
légende		r < 0,5 0,5 ≤ r < 0,7 0,7 ≤ r < 0,9 r ≥ 0,9														


Tableau 3-5 Corrélations entre les rendements observés pour chaque paramètre de pollution et les rendements observés sur les autres paramètres, ainsi que les concentrations et les flux mesurées en A3

On a recherché des facteurs explicatifs des variations de rendement et notamment de la baisse des rendements en temps de pluie pour un site donné, mais aucune corrélation notable n'a pu être établie avec les débits traités ni avec les concentrations ou les flux d'entrée pour une station donnée. De plus les rendements entre les divers paramètres sont assez peu corrélés entre eux (Tableau 3-5). Cependant des techniques de régression plus élaborées (multivariables, non linéaires...) permettaient peut-être de

dégager des facteurs explicatifs des variations observées sur chaque station, mais elles n'ont pas pu être mise en œuvre dans le cadre de cette étude.

3.3.2.3. Influence du type de réseau et du taux de charge des stations

rapport mixte / séparatif		MES	DCO	DBO5	Nglobal	NTK	Ptot
médiane	TS	0,99	1,00	<u>0,99</u>	<u>0,91</u>	1,00	0,98
	TP / TS	1,00	1,00	1,00	0,97	0,99	1,00
Dispersion IC80 / 2	TS	1,05	0,85	1,34	1,19	0,70	1,27
	TP / TS	0,83	1,13	1,11	<u>1,19</u>	<u>1,74</u>	0,68
Valeurs inhabituelles C5	TS	0,99	1,00	0,99	0,92	1,05	1,02
	TP / TS	1,03	1,01	0,99	<u>0,88</u>	0,99	1,01
rapport > 45% charge TS < 45% charge TS		MES	DCO	DBO5	Nglobal	NTK	Ptot
médiane	TS	<u>0,99</u>	<u>0,99</u>	1,00	<u>0,91</u>	<u>0,99</u>	<u>0,95</u>
	TP / TS	0,99	1,00	<u>0,99</u>	0,97	0,98	0,99
Dispersion IC80 / 2	TS	<u>2,27</u>	<u>1,57</u>	<u>1,91</u>	<u>1,96</u>	<u>2,70</u>	<u>2,08</u>
	TP / TS	<u>1,40</u>	1,12	<u>1,38</u>	1,12	1,23	0,94
Valeurs inhabituelles C5	TS	<u>0,95</u>	<u>0,96</u>	<u>0,98</u>	<u>0,78</u>	<u>0,88</u>	<u>0,85</u>
	TP / TS	0,96	0,98	<u>0,97</u>	<u>0,89</u>	0,99	1,01

légende: TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j  < 0,8 > 1,3

les différences statistiquement significatives entre deux catégories sont en gras souligné

Tableau 3-6 Influence du type de réseau et du taux de charge sur les rendements des STEU : rapports entre les moyennes calculées pour chaque catégorie

Les principales différences apparaissent sur la variabilité de temps sec et sur les valeurs inhabituelles, ainsi que sur leur sensibilité à la pluie : ces paramètres sont plus élevés pour les stations les plus chargées sur la plupart des paramètres, et c'est particulièrement vrai pour la variabilité des temps sec. Une analyse multivariée, prenant en compte le taux de charge organique en temps de pluie, ainsi que le taux de charge hydraulique en temps sec et en temps de pluie permettrait peut-être de mieux expliquer les différences entre les stations, mais elle n'a pas pu être réalisée dans le cadre de cette étude.

3.4. Importance des surverses en A2 et rendement global STEU+A2 en temps sec et en temps de pluie

Les bonnes performances des STEU peuvent éventuellement être remises en cause si des rejets importants et fréquents d'effluents bruts s'effectuent au niveau du déversoir de tête contrôlé par le point A2. On a donc cherché à caractériser ces rejets et à évaluer leur impact sur le rendement global du système STEU+déversoir de tête.

3.4.1. Importance des déversements en A2

La Figure 3-5 présente le taux de déversement global incluant toutes les données disponibles sur la période (5 ans sur la plupart des stations), sans distinguer temps sec ou temps de pluie, et exprimés selon les différents critères du commentaire technique de l'arrêté du 22 juillet 2015 – 3eme partie : volume, flux, fréquence. Il est comparé au seuil de 5 % proposé par ce texte comme critère de conformité de la collecte (pour le nombre de jours de déversement, l'objectif de 20 jours/an du commentaire technique correspond à un taux de 5,4%, arrondi ici à 5%). Des déversements sont observés sur 15 stations, dont 5 desservies par un réseau réputé séparatif. Les taux de déversements restent en général bien en deçà du critère, sauf pour le nombre de jours de déversement. Cela laisse une marge pour les déversements des déversoirs A1 qui doivent également être pris en compte pour évaluer la conformité de la collecte. Une seule station, desservie par un réseau unitaire, n'a respecté laquelle aucun sur la période considérée.

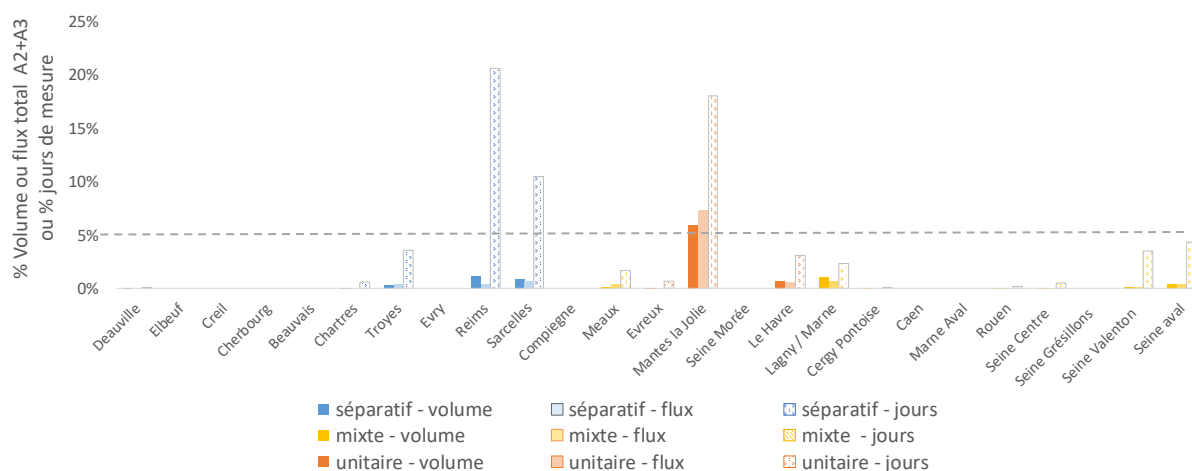


Figure 3-5 Taux global de déversement en A2, exprimés en % des volumes et des flux transférés jusqu'en entrée station (c.a.d. A2+A3) et en nombre de jours de déversement par an exprimés en %

On note au passage que les taux de déversement sont systématiquement beaucoup plus élevés lorsqu'ils sont exprimés en jours, et que le taux de déversement en volumes est en général supérieur au taux de déversement en flux (sauf à Mantes-la-Jolie). Cela signifie que la concentration moyenne des

déversements est inférieure à la concentration moyenne annuelle en entrée de station, et que la conformité sur un critère flux est alors plus facile à atteindre que sur un critère de volume.

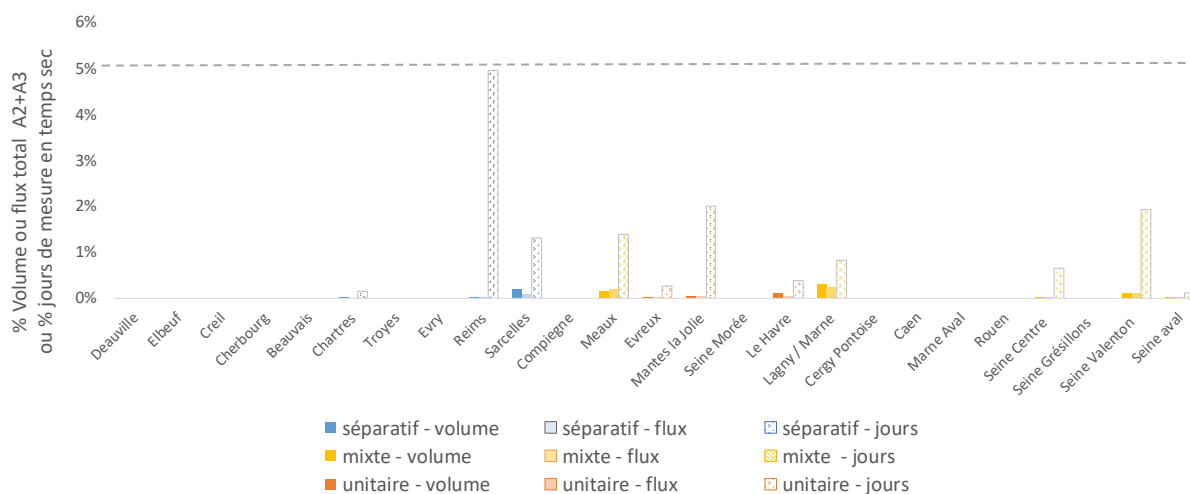


Figure 3-6 Taux de déversement en A2 en temps sec, exprimés en % des volumes et des flux transférés jusqu'en entrée station (c.a.d. A2+A3) et en nombre de jours de déversement par an exprimés en %

La Figure 3-6 montre que des déversements se produisent même par temps sec, même sur les réseaux séparatifs, mais avec des volumes et des flux très faibles (moins de 0,3% des volumes et des flux transférés en temps sec).

3.4.2. Concentration des rejets en A2

Le Tableau 3-7 présente les indicateurs statistiques des concentrations des effluents rejetés en A2 calculés sur l'ensemble des résultats issus des différentes stations.

Si on les compare aux valeurs observées en A3 pour les jours où des déversements sont observés, on constate qu'elles sont très voisines, sauf pour la DBO5 qui est sensiblement plus faible en A2 qu'en A3. Par ailleurs les concentrations observées en A3 les jours de déversement sont sensiblement plus faibles que les concentrations observées sur le même point pour l'ensemble des jours de pluie (> 8 mm/j), elles mêmes plus faibles que les concentrations observées les jours sec, en particulier pour les formes de l'azote. Autrement dit les effluents déversés sont relativement dilués par rapport aux concentrations moyennes en entrée de station.

		MES	DCO	DBO5	NTK	NH4	Pt
nombre de prélèvements A2		888	886	909	885	876	812
concentrations A2 (mg/L)	mediane A2	274	417	140	30	18	4,8
	C10 A2	71	138	34	6	2	1,1
	C90 A2	451	724	275	61	43	7,4
concentrations médianes A3 (mg/L)	A3 si A2	277	425	185	30	18	4,8
	pluie > 8 mm/2j	286	556	222	54	36	6,5
	temps sec & pluies	320	660	260	66	46	7,7
	temps sec	332	687	278	69	49	8,0

Tableau 3-7 Nombre de jours de prélèvement en A2, médianes et centiles caractéristiques des concentrations en A2, et médianes des concentrations en A3 pour les jours de déversement (A3 si A2), et, pour comparaison, pour les jours de pluie et les jours de temps sec

3.4.3. Impact sur les rendements épuratoires

Le Tableau 3-8 présente pour les stations les plus affectées par les déversements l'impact de la prise en compte des rejets en A2 sur le calcul d'un rendement global. Cet impact est surtout sensible pour la station de Mantes-la-Jolie, la seule pour lequel les déversements étaient supérieurs à 5% du flux collecté pendant la période considérée.

Cet impact reste limité à 2 points de rendement en moyenne annuelle, mais pour le centile 5 il atteint 10 à 19 points de rendement à Mantes-la-Jolie, et il représente 2 à 4 points de rendement pour au moins un paramètre pour la plupart des stations où des déversements sont observés. Un faible taux de déversement peut donc avoir un impact non négligeable sur le rendement global STEU+déversoir de tête, mais dans les cas considérés il ne remet pas en cause la conformité des STEU aux prescriptions de l'arrêté du 22 juillet 2015.

Rendement moyen annuel		Troyes	Reims	Sarcelles	Meaux	Mantes	Le Havre	Lagny	Seine aval
%Flux déversé		0,43%	0,39%	0,63%	0,40%	7,30%	0,59%	0,63%	0,37%
MES	STEP	93%	99%	94%	92%	98%	96%	99%	94%
	STEP+A2	93%	98%	94%	91%	95%	96%	99%	93%
	Différence	-0,3%	-0,7%	-0,4%	-0,3%	-2,3%	-0,3%	0,0%	-0,3%
DCO	STEP	92%	97%	93%	95%	96%	93%	95%	88%
	STEP+A2	92%	97%	92%	94%	94%	92%	95%	88%
	Différence	-0,3%	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-1,7%	-0,3%	0,0%	-0,3%
DBO5	STEP	98%	99%	99%	97%	99%	97%	98%	94%
	STEP+A2	97%	99%	98%	97%	97%	96%	98%	93%
	Différence	-0,4%	-0,4%	-0,5%	-0,3%	-2,1%	-0,2%	0,0%	-0,3%
Nglobal	STEP	88%	91%	83%	84%	92%	81%	79%	53%
	STEP+A2	88%	91%	82%	84%	90%	81%	79%	52%
	Différence	-0,3%	-0,2%	-0,4%	-0,2%	-1,9%	-0,2%	-0,1%	-0,1%
Ptotal	STEP	86%	91%	89%	82%	93%	87%	88%	82%
	STEP+A2	86%	91%	89%	82%	91%	87%	88%	82%
	Différence	-0,3%	-0,3%	-0,4%	-0,1%	-2,1%	-0,2%	0,0%	-0,2%
C5 des rendements		Troyes	Reims	Sarcelles	Meaux	Mantes	Le Havre	Lagny	Seine aval
%Flux déversé		0,43%	0,39%	0,63%	0,40%	7,30%	0,59%	0,63%	0,37%
MES	STEP	84%	97%	79%	73%	96%	89%	97%	83%
	STEP+A2	82%	93%	78%	73%	76%	86%	97%	81%
	Différence	-1,4%	-3,9%	-1,3%	0,0%	-19,2%	-2,3%	0,0%	-1,7%
DCO	STEP	85%	96%	84%	85%	92%	84%	93%	80%
	STEP+A2	83%	94%	82%	85%	79%	83%	93%	78%
	Différence	-1,5%	-1,8%	-2,4%	-0,1%	-13,1%	-1,5%	0,0%	-1,8%
DBO5	STEP	95%	98%	96%	92%	98%	89%	97%	85%
	STEP+A2	93%	97%	93%	92%	83%	87%	97%	83%
	Différence	-1,7%	-1,4%	-3,8%	-0,1%	-14,3%	-1,4%	0,0%	-2,4%
Nglobal	STEP	78%	85%	71%	60%	81%	61%	72%	7%
	STEP+A2	78%	84%	69%	59%	72%	61%	72%	7%
	Différence	-0,4%	-0,3%	-2,0%	-1,2%	-9,9%	-0,1%	-0,3%	0,0%
Ptotal	STEP	79%	84%	71%	58%	82%	78%	82%	69%
	STEP+A2	78%	84%	70%	57%	69%	76%	82%	68%
	Différence	-0,9%	-0,3%	-0,6%	-0,5%	-12,6%	-1,5%	0,0%	-0,8%

* prescription de l'arrêté du 21 juillet 2015 légende: minimum prescrit maximum (100%) différence > 1.5%

Tableau 3-8 Taux de déversement en flux des principales stations où sont observées des déversements, médianes et 5ème centiles des rendements propres aux STEU et des rendements du système STEU+A2 - différences entre ces deux rendements et comparaison des rendements STEU+A2 aux préconisations de l'arrêté du 21 juillet 2015

3.5. Caractéristiques des rejets des stations d'épuration en temps sec et en temps de pluie

3.5.1. Analyse graphique pour la DBO5

Les flux spécifiques de DBO5 sont inférieurs à 5g DBO5/e.h./j pour la quasi-totalité des stations, et ils peuvent même rester inférieurs à 1g DBO5/e.h./j sur quelques sites (Figure 3-7). Ils n'augmentent pas systématiquement en temps de pluie, mais on observe une telle augmentation, souvent assez limitée, sur la moitié des sites (Figure 3-8). De plus deux sites se signalent par une forte augmentation en temps de pluie.

Les dispersions quant à elles augmentent peu en temps de pluie, et baissent même sensiblement sur un quart des sites

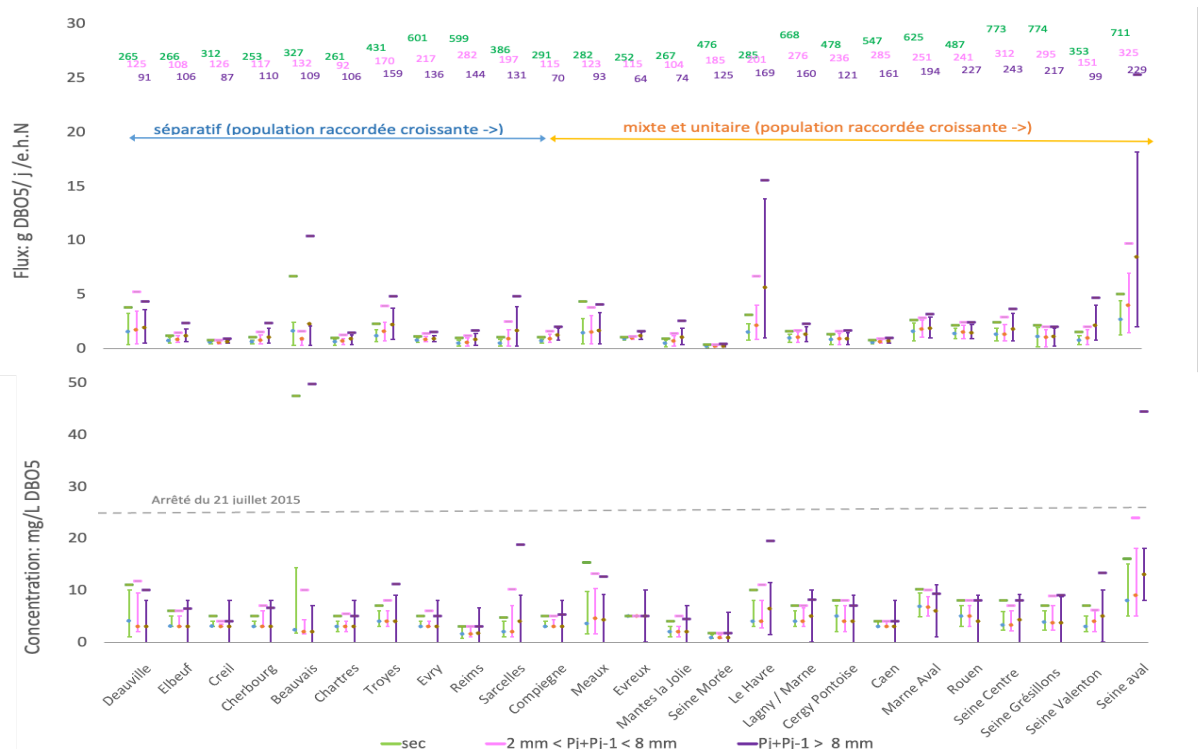


Figure 3-7 flux et concentration en DBO5 rejetés par les STEU au point A4(sortie station) : effectifs, médianes, intercentile 80, centile 95 en temps sec et pour 2 temps de pluie.

Les concentrations médianes en temps sec sont faibles, et varient en général assez peu en temps de pluie. La dispersion des concentrations en temps sec est très variable selon les sites, de même que son augmentation en temps de pluie (Figure 3-7 et Figure 3-8).

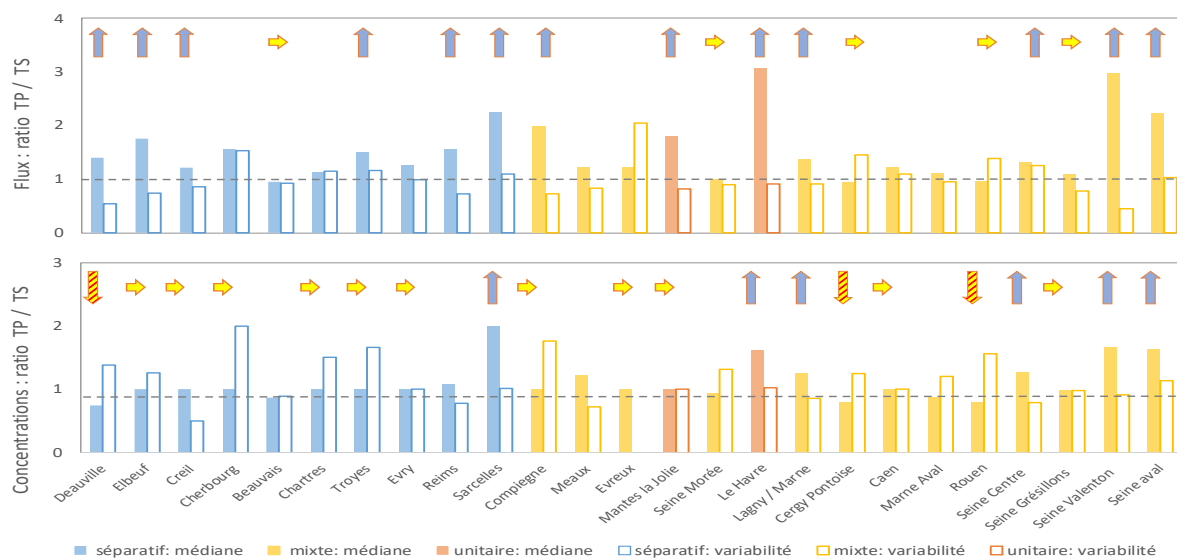


Figure 3-8 Impact de la pluie (P>8mm/2j.) sur les médianes et les variabilités des flux et des concentrations en DBO5 rejetés par les stations d'épuration en A4 (sortie station)

3.5.2. Analyse statistique

3.5.2.1. Valeurs caractéristiques et influence de la pluie

Outre les flux spécifiques médians et leur dispersion, la première partie du Tableau 3-9 montre que les flux médians rejetés par les STEU augmentent assez sensiblement en temps de pluie, alors même que les flux traités varient peu. C'est sans doute l'effet des faibles baisses de rendement, dont on a rappelé plus haut qu'elles pouvaient avoir un impact important sur les flux.

En temps sec, la dispersion des flux est bien supérieure à celle des débits traités (cf. Tableau 3-1), mais augmente beaucoup moins en temps de pluie. En revanche les valeurs inhabituelles sont assez élevées en temps sec, et augmentent avec la pluie, surtout pour MES, DCO et DBO5. Ce comportement résulte de l'effet combiné des variations de rendements et de flux d'entrée, sans qu'il soit possible de mettre en avant l'un des deux facteurs (qui pourtant semblent indépendants entre eux, comme on l'a vu dans le § 3.3.2.2).

Pour les concentrations, on retrouve sur l'ensemble des paramètres les observations faites pour la DBO5 : faibles concentrations médianes en temps sec, qui augmentent un peu en temps de pluie. La dispersion est assez élevée en temps sec, en particulier pour le phosphore et surtout les nitrates, et augmente relativement peu en temps de pluie, ce qui contraste fortement avec les observations faites sur les rendements.

		Flux						Concentrations					
		MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO3	Ptot	MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO3	Ptot
médiane	TS g / j / e.h.N ou mg/L	1,4	6,5	0,8	2,0	1,3	0,1	5,0	28,0	3,0	6,5	3,1	0,5
		(0,4 ; 3,1)	(3,2 ; 10,3)	(0,4 ; 1,6)	(0,7 ; 4,4)	(0,2 ; 3,5)	(0 ; 0,3)	(2 ; 12)	(14,9 ; 48,1)	(1,5 ; 6,9)	(3,5 ; 18,1)	(0,9 ; 14)	(0,2 ; 0,9)
	TP / TS	1,64	1,37	1,52	1,34	1,18	1,33	1,22	1,01	1,11	0,98	1,01	1,04
Dispersion IC80 / 2	TS	82%	40%	64%	72%	88%	81%	75%	32%	55%	66%	97%	83%
	% médiane	(37% ; 154%)	(20% ; 72%)	(21% ; 137%)	(24% ; 125%)	(27% ; 182%)	(35% ; 135%)	(30% ; 170%)	(20% ; 70%)	(20% ; 120%)	(20% ; 130%)	(20% ; 170%)	(30% ; 150%)
	TP / TS	0,89	1,12	1,01	0,91	0,95	1,01	1,06	1,29	1,15	1,10	1,03	1,08
Valeurs inhabituelles C95	TS	330%	180%	270%	250%	270%	320%	300%	165%	270%	240%	245%	370%
	% médiane	(160% ; 845%)	(130% ; 365%)	(145% ; 510%)	(135% ; 375%)	(140% ; 620%)	(145% ; 510%)	(150% ; 590%)	(120% ; 360%)	(130% ; 500%)	(130% ; 410%)	(130% ; 560%)	(140% ; 900%)
	TP / TS	2,23	1,69	1,98	1,38	1,25	1,14	1,45	1,15	1,30	0,95	1,00	1,05
		(0,9 ; 6,4)	(0,9 ; 3,2)	(0,9 ; 5)	(0,8 ; 2,1)	(0,9 ; 1,7)	(0,9 ; 1,5)	(0,9 ; 3,9)	(0,9 ; 2,1)	(0,8 ; 2,8)	(0,7 ; 1,3)	(0,8 ; 1,3)	(0,8 ; 1,5)

légende: TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j

minimum de la ligne
(flux ou concentration)

maximum de la ligne
(flux ou concentration)

les différences statistiquement significatives entre temps sec et pluies sont **en gras souligné**

Tableau 3-9 récapitulation des valeurs moyennes et des gammes de variations des différents indicateurs relatifs aux concentrations mesurées en A4 (sortie station) pour les différents paramètres de pollution et comparaison aux prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015

Les valeurs inhabituelles moyennes sont assez élevées même en temps sec, mais elles subissent l'influence d'une ou deux stations présentant de très fortes valeurs. Là encore on constate un faible impact de la pluie.

	MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO3	Pt
prescription de l'arrêté du 21 juillet 2015	< 35 mg/L *	< 125 mg/L *	< 25 mg/L *	< 20 mg/L**	-	< 2 mg/L**
Moyenne annuelle	8,5 (3,1 ; 17,4)	32,5 (15,1 ; 53,5)	4,4 (1,5 ; 9,3)	9,4 (4,1 ; 18,6)	5,5 (1,3 ; 14,5)	0,7 (0,3 ; 1,1)
Valeurs inhabituelles	19,5	50,6	9,2	17,0	9,6	1,5
C95 global TS&TP	(6,8 ; 63,1)	(20,6 ; 103,1)	(2,9 ; 23,7)	(6,3 ; 51,7)	(3,7 ; 23,7)	(0,6 ; 3,8)

* Maximum journalier hors circonstances inhabituelles

** Moyenne annuelle pour les rejets en zone sensible à l'eutrophisation

légende:  minimum prescrit maximum (100%)

Tableau 3-10 Comparaison des moyennes et gammes de variation des indicateurs concentrations en A4 (sortie station) avec les prescriptions de l'arrêté du 21 juillet 2015

Le centile 95 global reste en général bien en deçà des prescriptions de l'arrêté du 22 juillet 2015 pour la DCO et la DBO5, mais celles-ci sont néanmoins dépassées par quelques stations pour les MES. Les moyennes annuelles pour l'azote et le phosphore restent inférieures aux prescriptions. L'azote nitrique représente souvent plus de la moitié de l'azote global (mais une analyse plus détaillée montre que le rapport N-NO3/Nglobal médian varie de 0,25 à 0,85 selon les stations) (Tableau 3-10).

La relation fonctionnelle qui lie les flux et les concentrations de sortie aux rendements et aux concentrations d'entrée est connue. Il n'y a pas donc lieu de chercher à expliquer les variations observées sur une station donnée par des corrélations empiriques. Il n'en reste pas moins que les variations de rendements n'ont pas pu être reliées aux caractéristiques des effluents admis en traitement (débit, concentrations ou flux) (cf. 3.3.2.2) et que cela limite les interprétations.

3.5.2.2. Influence du type de réseau et du taux de charge des stations

rapport mixte / séparatif		Flux						Concentrations					
		MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO ₃	Ptot	MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO ₃	Ptot
médiane	TS	1,36	1,04	<u>1,55</u>	<u>1,91</u>	<u>2,60</u>	1,21	0,95	0,91	0,94	0,94	0,91	0,92
	TP / TS	0,90	1,02	1,07	1,00	0,99	0,94	1,01	0,97	0,95	0,93	0,93	0,93
Dispersion IC80 / 2	TS	<u>0,67</u>	0,98	0,72	0,53	1,18	0,70	0,78	0,82	0,82	0,83	0,88	0,88
	TP / TS	1,02	0,93	1,07	1,35	0,97	0,86	1,07	1,27	1,27	1,59	1,41	1,31
Valeurs inhabituelles C95	TS	<u>0,60</u>	0,95	0,59	0,57	1,11	0,48	0,90	0,94	<u>0,90</u>	<u>0,92</u>	<u>0,93</u>	0,96
	TP / TS	0,96	0,97	1,05	1,05	0,96	<u>0,86</u>	0,99	1,00	1,01	1,01	1,00	1,04
rapport > 45% charge TS / < 45% charge TS		MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO ₃	Ptot	MES	DCO	DBO5	Nglobal	N-NO ₃	Ptot
médiane	TS	<u>1,47</u>	<u>1,27</u>	<u>1,49</u>	<u>1,95</u>	<u>2,19</u>	<u>1,96</u>	<u>1,15</u>	<u>1,02</u>	<u>1,15</u>	<u>1,49</u>	<u>1,68</u>	<u>1,56</u>
	TP / TS	<u>1,16</u>	1,01	<u>1,17</u>	0,91	0,99	<u>0,94</u>	<u>1,23</u>	1,07	1,25	0,99	1,01	0,97
Dispersion IC80 / 2	TS	<u>1,46</u>	<u>1,44</u>	<u>1,78</u>	1,32	0,97	1,11	<u>1,57</u>	<u>1,42</u>	<u>2,13</u>	1,49	0,89	<u>0,99</u>
	TP / TS	1,20	1,13	0,88	1,30	1,01	1,05	1,11	1,10	0,85	1,15	0,99	1,11
Valeurs inhabituelles C95	TS	<u>1,73</u>	<u>1,35</u>	1,83	1,29	0,90	1,44	<u>1,69</u>	<u>1,31</u>	<u>2,05</u>	<u>1,40</u>	0,84	<u>1,42</u>
	TP / TS	1,36	1,10	<u>1,33</u>	0,99	0,92	0,99	<u>1,45</u>	<u>1,23</u>	<u>1,50</u>	1,09	0,97	1,04

légende: TS: temps sec TP: Pluies > 8 mm/2j

<0,5 >2,5

les différences statistiquement significatives entre deux catégories sont en gras souligné

Tableau 3-11 Influence du type de réseau et du taux de charge sur les flux et les concentrations rejetés au point A4 par les STEU : rapports entre les moyennes calculées pour chaque catégorie

Le caractère séparatif ou non de la collecte ne fait pas apparaître beaucoup de différences significatives sur les flux ou les concentrations rejetées. Les plus notables concernent les flux rejetés en temps sec d'azote global ou nitrique, et dans une moindre mesure de DBO5, sensiblement plus importants pour les systèmes non séparatifs. Ce résultat est assez paradoxal puisqu'il concerne le temps sec, pour lequel la nature de la collecte devrait avoir peu de conséquences. On n'avait d'ailleurs pas observé de différences sur les flux et concentrations en sortie de réseau, mais les rendements en temps sec sont effectivement plus faibles pour la DBO5 et l'azote global pour les réseaux non séparatifs (cf. 3.3.2.3)

En revanche le taux de charge fait apparaître de nombreuses différences. Elles concernent tous les paramètres (mais surtout l'azote et le phosphore) pour les médianes des flux et concentrations rejetés en temps sec. C'est un peu moins systématique pour leur dispersion et leur sensibilité à la pluie. Sans surprise, ce sont les stations les plus chargées qui rejettent les flux et concentrations les plus élevés et les plus variables. Pour ces stations, les nitrates présentent un comportement particulier, avec des flux et concentrations particulièrement élevés en temps sec, mais moins variables et moins sensibles à la pluie que sur les stations les moins chargées.

4. Conclusions

L'analyse des rendements épuratoires et de la concentration des rejets des STEU confirme les bonnes performances générales de ces équipements, qui pour la plupart sont largement conformes aux prescriptions au moins 95% du temps pour les MES, la DCO et la DBO. En revanche les moyennes annuelles des rendements en azote et phosphore restent en deçà des prescriptions du l'arrêté du 21 juillet 2015 pour certaines stations. Mais ces prescriptions sont utilisées uniquement comme référence pour situer les indicateurs statistiques utilisés dans cette étude, qui ne correspondent pas strictement à la définition de la conformité réglementaire.

Ces bons résultats intègrent des variations de rendement en apparence relativement faibles, en temps sec mais surtout en temps de pluie. Ces variations sont néanmoins susceptibles de se répercuter de manière sensible sur les concentrations et surtout sur les flux rejetés, compte tenu de l'augmentation des débits traités en temps de pluie. Elles n'ont pas pu être expliquées par les variations des caractéristiques des effluents traités.

Des surverses en A2 sont enregistrées pour 15 stations, sur 25 et elles peuvent être observées sur tous les types de réseaux, et parois même en temps sec. Elles peuvent être fréquentes mais restent très limitées en termes de volume ou de flux déversés. Elles sont néanmoins susceptibles d'avoir un impact non négligeable sur le rendement global STEU+déversoir de tête.

On dispose d'une caractérisation directe des flux de sorties et des concentrations et, en médianes, en dispersion et en valeurs inhabituelles, en temps sec et en temps de pluie. Celle-ci serait difficile à établir à partir des flux d'entrée et des rendements. Elle montre que les flux médians rejetés par les STEU augmentent assez sensiblement en temps de pluie, alors même que les flux traités et les concentrations en sortie varient assez peu, sans doute du fait des variations de rendement mais surtout de débit traité. Elle montre aussi une grande variabilité des flux et concentrations rejetés en temps sec et en temps de pluie, reflet de celle des flux traités et des rendements.

La nature du système de collecte joue finalement assez peu sur les performances de la dépollution. A l'inverse le taux de charge organique en temps sec semble un facteur explicatif pertinent pour les différences de rendement, de flux et de concentrations rejetées observées entre les différentes stations. On constate en particulier une nette différence d'efficacité de la dénitrification au bénéfice des stations les moins chargées. Mais ce constat doit être confronté aux objectifs retenus pour la conception des différentes stations, ce qui nécessiterait l'accès à des informations extérieures à la base de données.

Quoiqu'il en soit l'exploitation de la base de données Sandre a fourni une vue d'ensembles des performances des plus grosses stations d'épuration du bassin Seine-Normandie. La méthodologie utilisée peut être appliquée à des systèmes de plus petite taille (on dispose de données en nombre suffisant à partir de 30 000, voire 10 000 e.h.) et aux territoires d'autres Agences de l'Eau.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche OPUR. Les auteurs remercient tous les partenaires d'OPUR et en particulier l'Agence de l'Eau Seine Normandie qui a mis à disposition les données exploitées dans cet article

Bibliographie

MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, (2017) (1) : *Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015, partie 2 - autosurveillance des systèmes d'assainissement collectif*

MINISTERE DE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, (2017) (2) : *Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015, partie 3 - évaluation de la conformité réglementaire des systèmes d'assainissement collectif*

MINISTERE DE L'INTERIEUR ET MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1991) , *Arrêté du 10 décembre 1991 pris en exécution de l'article 10 (1er alinéa) du décret n° 75-996 du 28 octobre 1975 portant application des dispositions de l'article 14-1 de la loi du 16 décembre 1964 modifiée relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution*

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE ET MINISTERE DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTE ET DES DROITS DES FEMMES (2015), *Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5*

Conclusion générale

La définition d'indicateurs et de descripteurs adaptés, et l'élaboration de représentation graphiques pertinentes, complétées par des analyses statistiques plus objectives ont permis d'analyser les données issues de 25 stations d'épuration de capacité supérieures à 100 000 e.h. du bassin Seine Normandie. La méthodologie testée sur cet échantillon est entièrement transposable à des stations de moindre capacité ou situées sur d'autres bassins car elle s'appuie sur la base de données nationale SANDRE.

Indicateur de pluie

Toute la gamme des pluies a été étudiée, et l'indicateur mettant le mieux en évidence des différences entre journées de temps sec et journées pluvieuses (les données SANDRE sont archivées au pas de temps journalier) s'est avéré être le cumul sur 2 jours, à savoir la journée à caractériser et la veille.

Flux et concentrations acheminés jusqu'en entrée de station (points A2 & A3)

Pour les volumes, les valeurs observées en temps sec sont supérieures, voire très supérieures à la référence de 150L/j/e.h. pour tous les sites. On peut y voir l'influence généralisée des eaux parasites d'infiltration. Cette hypothèse pourra être confirmée sur certains sites par une analyse saisonnière des débits de temps sec qui fait partie des suites de cette étude.

Pour la plupart des paramètres de pollution les valeurs de référence de flux de temps sec sont vérifiées en moyenne sur l'ensemble des sites. On constate surtout des disparités parfois importantes entre les sites. Ces valeurs de référence étant des flux spécifiques, rapportées à l'équivalent-habitant, elles dépendent de la définition de ce dernier. Ici a été estimé à partir du flux d'azote NTK collectée en temps sec, et d'une valeur conventionnelle de 15 g/j/e.h.

Si les valeurs de référence des flux médians de temps sec ne sont pas remises en cause, on dispose désormais d'informations sur leurs fluctuations pour un site donné. Ces fluctuations peuvent être importantes, en particulier pour les MES, la DCO et la DBO5, et atteignent 30 à 35% de la médiane

Cette variabilité n'a pas pu être expliquée par des évolutions interannuelles, des fluctuations saisonnières ou par l'impact des week-end, jours fériés et vacances : on observe quasiment la même variabilité à l'intérieur de chacune de ces catégories.

L'effet de la pluie devient notable à partir de la valeur arbitraire de 8 mm ($P_j + P_{j-1} > 8$ mm). Il est beaucoup plus marqué sur les volumes (même écrêtés par les déversoirs amont) que sur les flux, si bien que l'on observe une baisse sensible et systématique des concentrations moyennes journalières. Les flux ont néanmoins tendance à augmenter en temps de pluie, surtout les flux de MES.

A l'inverse les flux d'ammonium restent assez stables, voire diminuent en temps de pluie. Ce comportement pourrait être utilisé en diagnostic pour évaluer les volumes déversés en amont, mais cette méthode reste à valider.

Les critères d'identification des réseaux séparatifs mixtes ou unitaires pourront être précisés à l'avenir. Il n'en demeure pas moins qu'à une exception près, aucun des réseaux étudiés n'est insensible aux apports pluviaux en termes de flux ou de concentrations, et que les réseaux réputés séparatifs ne se distinguent globalement guère des réseaux mixtes ou unitaires : on suspecte même sur certains d'entre eux des déversements amont. Néanmoins l'analyse multivariée (composantes principales + classification hiérarchique) a permis de différencier les sites selon leur sensibilité à la pluie, surtout sur des critères de concentration, eux-mêmes corrélés avec le débit, et on observe une certaine tendance des réseaux séparatifs à présenter une moins grande sensibilité.

On note par ailleurs une augmentation de la variabilité des flux journaliers en temps de pluie par rapport au temps sec, sans pour autant assister à une explosion de cette variabilité.

Les analyses de corrélations et en composantes principales ont montré des corrélations assez faibles en temps sec entre les différents flux et entre les différentes concentrations. Elles sont même inexistantes pour celles qui impliquent les volumes journaliers : c'est la variabilité des concentrations qui prime. En revanche on observe des corrélations assez élevées en temps de pluie, aussi bien entre les flux qu'entre les concentrations, alors même que flux et concentrations sont en général décorrélés entre eux. Cela signifierait que l'impact de la pluie surpasse les variations observées en temps sec.

Dépollution (points A2, A3 et A4)

L'analyse des rendements épuratoires et de la concentration des rejets des STEU confirme les bonnes performances générales de ces équipements, qui pour la plupart sont largement conformes aux prescriptions au moins 95% du temps pour les MES, la DCO et la DBO. En revanche les moyennes annuelles des rendements en azote et phosphore restent en deçà des prescriptions du l'arrêté du 21 juillet 2015 pour certaines stations. Mais ces prescriptions sont utilisées uniquement comme référence pour situer les indicateurs statistiques utilisés dans cette étude, qui ne correspondent pas strictement à la définition de la conformité réglementaire.

Ces bons résultats intègrent des variations de rendement en apparence relativement faibles, en temps sec mais surtout en temps de pluie. Ces variations sont néanmoins susceptibles de se répercuter de manière sensible sur les concentrations et surtout sur les flux rejetés, compte tenu de l'augmentation des débits traités en temps de pluie. Elles n'ont pas pu être expliquées par les variations des caractéristiques des effluents traités.

Des surverses en A2 sont enregistrées pour 15 stations, sur 25 et elles peuvent être observées sur tous les types de réseaux, et parois même en temps sec. Elles peuvent être fréquentes mais restent très limitées en termes de volume ou de flux déversés. Elles sont néanmoins susceptibles d'avoir un impact non négligeable sur le rendement global STEU+déversoir de tête.

On dispose d'une caractérisation directe des flux de sorties et des concentrations et, en médianes, en dispersion et en valeurs inhabituelles, en temps sec et en temps de pluie. Celle-ci serait difficile à établir à partir des flux d'entrée et des rendements. Elle montre que les flux médians rejetés par les STEU

augmentent assez sensiblement en temps de pluie, alors même que les flux traités et les concentrations en sortie varient assez peu, sans doute du fait des variations de rendement mais surtout de débit traité. Elle montre aussi une grande variabilité des flux et concentrations rejetés en temps sec et en temps de pluie, reflet de celle des flux traités et des rendements.

La nature du système de collecte joue finalement assez peu sur les performances de la dépollution. A l'inverse le taux de charge semble un facteur explicatif pertinent pour les différences de rendement, de flux et de concentrations rejetées observées entre les différentes stations. On constate en particulier une nette différence d'efficacité de la dénitrification au bénéfice des stations les moins chargées. Mais ce constat doit être confronté aux objectifs retenus pour la conception des différentes stations, ce qui nécessiterait l'accès à des informations extérieures à la base de données.

Au-delà de ces tendances générales, il apparaît surtout de très grandes disparités entre les sites et de grandes fluctuations au sein d'un même site. Pour expliquer ces disparités et ces fluctuations, une analyse site par site serait donc nécessaire, mais la base de données ne contient pas de description détaillée des réseaux de collecte et une étude spécifique de chaque site sort du cadre de ce projet. On voit néanmoins que l'analyse des données d'autosurveillance pourrait constituer un préalable intéressant, permettant d'identifier des questions auxquelles devra répondre l'étude diagnostic d'un système donné. De plus les campagnes de mesure mises en œuvre dans le cadre de ce diagnostic devront être adaptés à la variabilité des flux de temps sec (et de temps de pluie).

Quoiqu'il en soit l'exploitation de la base de données Sandre a fourni une vue d'ensembles des performances des plus grosses stations d'épuration du bassin Seine-Normandie. La méthodologie utilisée peut être appliquée à des systèmes de plus petite taille (on dispose de données en nombre suffisant à partir de 30 000, voire 10 000 e.h.) et aux territoires d'autres Agences de l'Eau.