



HAL
open science

Base de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimensions des ouvrages d'interception

Agnès Saget

► **To cite this version:**

Agnès Saget. Base de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimensions des ouvrages d'interception. Hydrologie. Ecole nationale des ponts et chaussées - ENPC PARIS / MARNE LA VALLEE, 1994. Français. NNT : . pastel-00574026

HAL Id: pastel-00574026

<https://pastel.hal.science/pastel-00574026v1>

Submitted on 7 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NS 19 080 (4)

ECOLE NATIONALE
DES PONTS ET CHAUSSEES

ECOLE NATIONALE DU BEMF RURAL
DES EAUX ET DES FORETS



CERGRENE

Centre d'Enseignement et de Recherche
pour la Gestion des Ressources
Naturelles et de l'Environnement

Mémoire présenté pour l'obtention du titre de docteur
de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Spécialité: Sciences et Techniques de l'Environnement

**BASE DE DONNÉES SUR
LA QUALITÉ DES REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE:
DISTRIBUTION DE LA POLLUTION REJETÉE
DIMENSIONS DES OUVRAGES D'INTERCEPTION**

par

Agnès Saget

Thèse soutenue le 16 Décembre 1994 devant le jury composé de:

M. Michel Desbordes	Président
M. Bernard Chocat	Rapporteur
M. Brian Ellis	Rapporteur
M. Jean-Claude Deutsch	Examineur
M. Jean-Pierre Tabuchi	Examineur



Avant-propos

La thèse a été effectuée au CERGRENE, Centre de Recherche et d'Enseignement pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement, ce centre est commun à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et à l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.

Mr André Bachoc, actuellement Chef du Service de Bassin Loire-Bretagne de la DIREN Centre, a été l'initiateur d'un programme de recherche dont mon travail représente le dernier maillon auquel il a participé. Même s'il n'était plus au CERGRENE pour suivre et diriger la fin de ma thèse, je tiens à le remercier pour m'avoir transmis une petite part de son énergie, de ses connaissances, et de ses convictions, et pour m'avoir ainsi permis d'aller au terme du projet.

Je remercie Mr Michel Desbordes, professeur au Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier, qui a dirigé le travail. Sa disponibilité et son intérêt pour le sujet ne se sont jamais démentis. A chaque étape cruciale, je dois beaucoup à ses conseils, et à ses vastes connaissances en hydrologie urbaine, qui m'ont aidé à choisir la direction à prendre.

Mr Bernard Chocat, professeur à l'INSA de Lyon, et Mr Brian Ellis, professeur au Middlesex Polytechnic, ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse. Je tiens à les remercier pour le temps qu'ils ont passé à formuler les remarques, les critiques et les conseils qu'a pu leur inspirer mon travail. Cela m'a été très utile pour prendre le recul nécessaire à la fin d'un tel projet de recherche.

Je remercie Mr Jean-Claude Deutsch, directeur du CERGRENE, pour avoir participé au jury en tant qu'examinateur. De plus, tout au long de ces 4 années de thèse, il a toujours été attentif à ce que les conditions de travail soient les meilleures possibles.

Mr Jean-Pierre Tabuchi, responsable du groupe pluvial à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, a également accepté d'être examinateur, qu'il en soit remercié ici. Sa participation témoigne d'une collaboration entre l'AESN et le CERGRENE dont l'un des aboutissements est la base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie dont l'agence a financé pour moitié la constitution.

La Lyonnaise des Eaux-Dumez et le Centre International de Recherche sur l'Eau et l'Environnement ont quant à eux participé financièrement à l'exploitation de la base

La base a pu être alimentée grâce à la coopération des organismes détenteurs de données qui ont gracieusement accepté de nous les communiquer. Je citerai la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Conseil Général de la Seine Saint-Denis, le Laboratoire Régionale de l'Ouest Parisien, le Service Technique de l'Urbanisme et le Syndicat Interecommunal pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.

Au CERGRENE, Mr Ghassan Chebbo a pris le relais de Mr Bachoc pour mener à bien différents projets, il m'a soutenu à l'heure des doutes et de la rédaction finale. Mes remerciements s'adressent également aux autres membres du centre qui m'ont aidé au quotidien à résoudre des problèmes métaphysiques aussi bien qu'informatiques: Brigitte, Cathy et Cathy, Emmanuelle, Gilles, Jean-Philippe, Jean-Marie, Marie-Anne, Michel, Nilo ...

Pour finir, je pense à ma famille, un peu loin du monde de la recherche, mais dont le soutien m'a toujours été indispensable.

Résumé

Les rejets urbains par temps de pluie entraînent des dégradations importantes dans les milieux récepteurs où ils sont rejetés sans traitement préalable. Parmi les campagnes de mesure françaises, effectuées depuis les années 70 à l'exutoire de bassins séparatifs ou unitaires, 17 d'entre elles ont été sélectionnées pour être intégrées dans la base de données constituée au CERGRENE avec l'aide financière de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Son exploitation a pour objectifs de caractériser la pollution rejetée par temps de pluie (évaluation de masses annuellement rejetées, identification des caractéristiques des événements pluvieux les mieux reliées aux concentrations et aux masses par événement, description des événements les plus pollués, répartition de la masse en cours d'écoulement) et de fournir des éléments sur les dimensions des ouvrages de traitement.

Il a fallu tout d'abord reconstituer les caractéristiques des événements pluvieux qui manquaient (volume écoulé, concentration moyenne ou masse produite). Pour cela, des équations de régression ont été établies site par site. Les ajustements obtenus ne sont pas tous de bonne qualité, à cause du nombre réduit de mesures disponibles ou du type des événements utilisés. Quand ils ne sont pas représentatifs de l'ensemble des événements de la campagne, la fiabilité des équations n'est pas assurée et leur domaine d'application ne contient pas tous les événements.

Les masses annuelles ont pu être évaluées pour chaque site grâce aux reconstitutions précédentes. L'emploi des équations de régression a permis d'établir des intervalles de confiance autour des valeurs. Ces intervalles sont souvent très larges, et le nombre de sites est assez restreint. Par conséquent, la seule relation qui apparaît est celle qui est la plus évidente et qui existe entre les masses annuelles et les surfaces des sites.

Concernant la répartition des masses de pollution en cours d'écoulement, leur forme est très variable d'un événement à un autre, sur un site donné. En moyenne, la pollution contenue dans la première partie de l'écoulement est légèrement supérieure à celle de la deuxième partie. Il y a néanmoins un nombre non négligeable d'événements pour lesquels la majeure partie de la masse de pollution est rejetée en fin d'écoulement. Lorsqu'on compare les sites, la pollution contenue dans les premiers flots (dans 20% de l'écoulement) varie sur les sites unitaires dans des intervalles qui sont les mêmes que sur les sites séparatifs.

Pour traiter les rejets urbains de temps de pluie, des ouvrages de décantation (par stockage ou par traitement au fil de l'eau) sont reconnus être des outils efficaces. Nous avons calculé la masse interceptée par des ouvrages fictifs en faisant varier leurs dimensions (respectivement volume de stockage ou débit de traitement suivant le type d'ouvrage). Les reconstitutions utilisées conduisent à des intervalles de confiance très larges. Les résultats dépendent de la période de retour des événements pluvieux qui ont été utilisés. En première approximation, pour intercepter 80% de la masse produite sur une durée d'environ un an, il faut des volumes de l'ordre de 100 m³/ha act ou des débits de l'ordre de 10 l/s/ha act. Pour préciser ces chiffres, il faudrait disposer de longues séries d'événement de plusieurs années. Il serait alors possible en fonction de l'objectif (par exemple intercepter l'événement dont la période de retour est fixée, ou intercepter la pollution rejetée pendant une année de pluviométrie moyenne) d'indiquer quelle dimension est la plus efficace.

Mots clés

Eaux pluviales
Réseau d'assainissement
Masse de pollution
Concentration moyenne par événement
Premiers flots
Ouvrage de décantation
Dimension d'ouvrage
Régression

Summary

The urban discharges during wet weather often lead to acute damages in receiving waters where they are discharged without treatment. Among French measurement campaigns, carried out since 1970 at the outlet of storm or combined sewers, 17 have been selected to be integrated into the database produced at CERGRENE with the financial support of the Water Agency "Seine-Normandy". The objectives of its exploitation are to characterize the pollution discharged during wet weather (evaluation of annual load, identification of the rainfall event characteristics which are best linked with event mean concentrations and mass loads per event, description of the most polluted events, load distribution during the events) and to provide information about the size of treatment works.

First, we had to reconstruct the missing rainfall event characteristics (volumes, mean concentrations or mass load). For that, regression equations have been set up. The fitted results are not always of good quality, because of the small number of available data or because of the kind of events which are used. When they are not representatives of all the events of the campaign, the equation reliability is not ensured and their application is not possible for every kind of event.

The annual loads could have been evaluated with the help of the previous reconstructions. The use of regression equations allowed confidence intervals to be set up around the values. These intervals are often very large, and the number of catchments is quite limited. Therefore, the only relationship which has a strong correlation is that between annual mass loads and catchment areas.

Concerning the distribution of mass load during the events, the shape of the distribution varies greatly from one event to another, for a given catchment. On average, the pollution load in the first part of the flow is higher than that in the second part. Nevertheless, there is a large number of events during which the main fraction of pollution is discharged at the end of the flow. When catchments are compared, the pollution in the first flush (in 20% of the total volume) varies for combined sewers in some intervals which are the same as those for storm sewers.

To treat the urban discharges during wet weather, decantation works (by storage or by on-stream treatment) proved to be efficient tools. We have calculated the mass load intercepted by simulated works according to their sizes (respectively storage volume or treatment flow). The reconstructions used, lead to very large confidence intervals. The results depend on the return periods of the available rainfall events. As a first approximation, to intercept 80% of the mass load discharged during about one year, we need volumes about 100 m³/active ha and flows of about 10 l/s/active ha. To specify these figures, we should have lists of events over several years. Then, it would be possible according to the objective (for example to intercept the event whose return period is given or to intercept the pollution of a year of average rainfall) to recommend which size is the most efficient.

Key Words

Rainwater
Sewer network
Pollution load
Event mean concentration
First flush
Decantation work
Work size
Regression

Table des matières

Chapitre 1 Introduction	1
1.1.Présentation générale	1
1.2.Objectifs du travail de thèse	2
1.3.Organisation du document	3
Chapitre 2 Les rejets urbains par temps de pluie	5
2.1.Historique et bilan des recherches sur la pollution des rejets urbains par temps de pluie ...	5
2.1.1.Le contexte international depuis 1950	5
2.1.2.Le contexte français depuis la construction des premiers égouts	7
2.1.3.Les domaines de recherche toujours d'actualité	9
2.2.Importance de la pollution des rejets urbains par temps de pluie	11
2.2.1.Domaine de variation des concentrations moyennes par événement	11
2.2.2.Domaine de variation des masses annuelles	13
2.2.3.Comparaison à d'autres apports	14
2.3.Origine de la pollution des eaux pluviales et mécanismes de production	17
2.3.1.Présentation	17
2.3.2.La pollution atmosphérique et son transfert dans l'eau de pluie	17
2.3.3.Accumulation et entraînement des polluants sur les surfaces urbaines	19
2.3.4.Transfert et évolution dans le réseau	21
2.4.Les impacts sur le milieu récepteur engendrés par des rejets urbains	25
2.4.1.Contexte	25
2.4.2.Classification des effets	27
2.4.3.Méthode d'évaluation et objectif de qualité	28
2.5.Moyens de dépollution	30
2.5.1.Présentation	30
2.5.2.Actions à l'amont du réseau	30
2.5.3.Actions le long du réseau	31
2.5.4.Actions à l'aval du réseau	33
2.5.5.Conclusions	37
Chapitre 3 Description de la base de données et de son contenu	37
3.1.Structure de la base de données	37
3.1.1.Présentation de la base de données	37
3.1.2.Les types de données nécessaire aux études	41
3.1.3.Les exploitations programmées	42
3.2.Contenu de la base de données	46
3.2.1.Description des sites	46
3.2.2.Description des appareils de mesure	50
3.2.3.Description des événements échantillonnés pendant les campagnes	51
Chapitre 4 Critique des données recueillies et complément des données manquantes	61
4.1.Introduction	61
4.2.Les données hydrologiques	62
4.2.1.Coefficient de corrélation entre pluie précipitée et volume écoulé	62
4.2.2.Coefficient de ruissellement volumétrique par événement	65
4.2.3.Coefficient volumétrique moyen sur l'ensemble des événements	66
4.2.4.Estimation des surfaces actives	68
4.2.5.Conclusion	69
4.3.Les données de qualité	71
4.3.1 Complément des concentrations moyennes et des masses produites par événement	71
4.3.2.Estimation des masses produites annuellement	75
4.3.3.Conclusion	82

Chapitre 5 Répartition de la pollution par temps de pluie	85
5.1. Présentation des études sur la répartition de la pollution	85
5.2. Masses annuelles	87
5.2.1. Domaines de variation	87
5.2.2. Influences des caractéristiques des sites sur les masses annuelles	94
5.2.3. Conclusion	98
5.3. Relations entre pollution et caractéristiques pluviométriques et/ou hydrauliques	99
5.3.1. Facteurs explicatifs identifiés dans des études statistiques antérieures	99
5.3.2. Relations entre paramètres de qualité	100
5.3.3. Coefficients de corrélation entre paramètre de qualité et variables de pluie, d'écoulement et de climatologie	101
5.3.4. Variables supplémentaires apportées par les équations multiples	107
5.3.5. Conclusion	107
5.4. Les événements les plus pollués	109
5.4.1. Représentativité des mesures de qualité des écoulements	109
5.4.2. Domaine de variation des valeurs extrêmes sur l'ensemble des sites.	110
5.4.3. Comparaison entre les masses par événement les plus importantes et les masses annuelles	119
5.4.4. Analyse de correspondances avec les variables pluviométriques et hydrauliques	124
5.4.5. Conclusion	131
5.5. Répartition des masses en cours d'événement	133
5.5.1. Description et représentativité des pollutogrammes disponibles	133
5.5.2. Comparaison des positions des pointes des pollutogrammes et des hydrogrammes	135
5.5.3. Répartition des masses avec le volume en cours d'événement	141
5.5.4. Conclusion	159
 Chapitre 6 Dimensions des ouvrages d'interception	 161
6.1. Présentation	161
6.2. Définition et méthode de calcul des efficacités d'interception	163
6.2.1. Les ouvrages de traitement et leur efficacité	163
6.2.2. Méthodes de calcul des efficacités d'interception	167
6.3. Les ouvrages de stockage	172
6.3.1. Efficacité d'interception à long terme	172
6.3.2. Efficacité à court terme	190
6.4. Les ouvrages au fil de l'eau	195
6.4.1. Efficacité à long terme	195
6.4.2. Efficacité à court terme	203
6.5. Conclusion	207
 Chapitre 7 Conclusion	 211
7.1. Bilan sur les exploitations entreprises	212
7.2. Perspectives	214
 Bibliographie	 217
 Annexe A Description de la base de données	 229
Annexe B Equations de régression sur les concentrations et les masses par événement	237
Annexe C Equations de régression sur les volumes	245
Annexe D Estimation des masses annuelles	249
Annexe E Les événements les plus pollués	265
Annexe F Répartition des masses en cours d'événement	281
Annexe G Ouvrages d'interception	293

Liste des tableaux

2.1. Concentration moyenne par événement par type de site (valeur minimale et maximale) en mg/l (tiré de Ellis, 1985)	12
2.2. Masse par hectare et par an par type de collecteur (valeur min et max) en kg/ha/an (tiré de Ellis, 1985)	13
2.3. Comparaison des charges apportées par les eaux usées (EU) et les eaux de ruissellement (ER) (tiré de Valiron et al., 1992)	15
2.4. Comparaison des rejets théoriques de différents systèmes (Valiron et al., 1992), et mesures au déversoir de Clichy (Paffoni, 1992)	15
2.5. Flux polluants annuels (kg/ha) des eaux ruissellant sur divers types de zones agricoles et urbaines. (Novotny et al., 1981)	16
2.6. Concentrations moyennes mesurées dans les eaux de pluie	18
2.7. Pourcentage de polluants dans les sédiments de surface par classe granulométrique (tiré de Novotny et al., 1981)	21
2.8. Pourcentage de la pollution fixée sur les particules solides (Chebbo, 1992)	22
2.9. Moyennes des indicateurs granulométriques pour différentes pluies sur 4 sites (Chebbo, 1992) ...	23
2.10. Masse volumique des particules fines (<100µm), des particules grossières (>100µm), des échantillons totaux et fraction massique des particules < 100µm, à l'exutoire de bassins versants séparatifs et unitaires (Chebbo, 1992)	23
2.11. Moyennes des indicateurs de vitesse de chute (Chebbo, 1992)	24
2.12. Pourcentage d'abattement de la pollution sur différents ouvrages aux Etats Unis (Urbonas, 1993)	35
3.1. Les données de la base	42
3.2. Exploitations de la base de données	43
3.3. Objectifs des différentes rubriques de la base de données	45
3.4. Caractéristiques générales des sites de mesures	49
3.5. Regroupement des sites suivant les types de données disponibles sur tous les événements, ou sur quelques uns.	52
3.6. Nombre de mesures faites sur chaque site en terme de caractéristiques globales de pluie, d'écoulement et de qualité	53
3.7. Nombre de mesures faites sur chaque site en terme de hyétoigrammes, hydrogrammes et pollutoigrammes	54
3.8. Domaine de variation des hauteurs de pluie et des volumes écoulés sur les sites étudiés	56
3.9. Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en MES (mg/l)	57
3.10. Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en DCO (mg/l)	58
3.11. Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en DBO5 (mg/l)	59
4.1. Méthodes d'estimation des volumes de temps sec	63
4.2. Coefficient de corrélation simple entre hauteur de pluie précipitée et volume pluvial estimé	64
4.3. Domaine de variation des coefficients de ruissellement volumétrique par événement	66
4.4. Coefficients de ruissellement moyens et pertes initiales	67
4.5. Surfaces actives moyennes calculées	69
4.6. Nombre d'événements pour lesquels le volume n'a pas été mesuré, mais peut être reconstitué	70
4.7. Nombre d'événements pour lesquels la concentration moyenne de MES n'a pas été mesurée	72
4.8. Description des échantillons utilisés pour l'établissement des équations de régression sur la concentration et la masse par événement	74
4.9. Estimation finale des masses annuelles de MES, DCO et DBO5 (valeurs des masses annuelles en tonne, indication des méthodes, des durées des séries simulées et des coefficients de régression multiple)	82
4.10. Masses annuelles (tonne) calculées dans les rapports d'étude de chaque campagne	84
5.1. Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour les MES	89
5.2. Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la pluviométrie pour les MES	90
5.3. Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour la DCO	91
5.4. Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la	

pluviométrie pour la DCO	92
5.5. Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour la DBO5	93
5.6. Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la pluviométrie pour la DBO5	94
5.7. Coefficients de corrélation simple entre les concentrations et entre les masses de deux paramètres différents	101
5.8. Variables dont les coefficients de corrélation sont les plus élevés et significatifs au seuil de 10% pour les sites séparatifs stricts	105
5.9. Variables dont les coefficients de corrélation sont les plus élevés et significatifs au seuil de 10% pour les sites séparatifs pollués et mixtes, et unitaires	106
5.10. Coefficients de corrélation les plus élevés entre concentration et masse, et caractéristiques des événements pluvieux, sur des échantillons regroupant différents types de sites	106
5.11. Comparaison des variables entrant en première et deuxième position dans les équations de régression	107
5.12. Domaine de variation des concentrations (mg/l) moyennes par événement les plus fortes par campagne	111
5.13. Domaine de variation des concentrations (mg/l) moyennes par événement les plus fortes par campagne, suite	112
5.14. Domaine de variation des concentrations ($\mu\text{g/l}$) moyennes par événement les plus fortes par campagne, suite	113
5.15. Domaine de variation des masses (kg) par événement les plus fortes par campagne	114
5.16. Domaine de variation des masses (kg) par événement les plus fortes par campagne, suite	115
5.17. Domaine de variation des masses (g) par événement les plus fortes par campagne, suite	116
5.18. Comparaison entre mesures et calculs des concentrations moyennes par événement les plus grandes	118
5.19. Comparaisons entre mesures et calculs des masses par événements les plus fortes	119
5.20. Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et une caractéristique de l'événement	128
5.21. Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et les caractéristiques d'une même catégorie	129
5.22. Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et les caractéristiques d'une association de catégorie	130
5.23. Caractéristiques des pollutogrammes pour des campagnes où les mesures de débit sont disponibles pour d'autres événements que les pollutogrammes	134
5.24. Caractéristiques des pollutogrammes pour des campagnes où les mesures de débit ne sont disponibles que pour les pollutogrammes	135
5.25. Pourcentage de pollutogrammes en retard, coïncident ou en avance sur la pointe de l'hydrogramme	137
5.26. Domaine de variation des fractions de masse produite en MES, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements	151
5.27. Domaine de variation des fractions de masse produite en DCO, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements	152
5.28. Domaine de variation des fractions de masse produite en DBO5, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements	153
6.1. Synthèse des efficacités d'interception à long terme des MES, pour 20, 50 et 100 m ³ /ha actif	178
6.2. Synthèse des efficacités d'interception à long terme de la DCO, pour 20, 50 et 100 m ³ /ha actif	179
6.3. Synthèse des efficacités d'interception à long terme de la DBO5, pour 20, 50 et 100 m ³ /ha actif	180
6.4. Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en MES	181
6.5. Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en DCO	182
6.6. Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en DBO5	183
6.7. Efficacités d'interception de la masse produite à long terme pour des débits de 4, 10, 20 et 30 l/s/ha act pour les MES, la DCO et la DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord	199
6.8. Débit pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES, DCO et DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord	200

6.9.Volumes et débits pour intercepter 80% de la masse produite pendant les campagnes	208
6.10.Volumes et débits pour intercepter 80% de la masse produite la plus grande	208
A.1.Description des pluviomètres utilisés sur les sites de mesure	232
A.2.Calcul du débit par mesure de la hauteur de l'écoulement seule	233
A.3.Calcul de débit par la mesure de la hauteur de l'écoulement et de sa vitesse	234
A.4. Echantillonnage à pas de volume fixe	234
A.5.Echantillonnage à pas de temps fixe	235
B.1.Taille des échantillons utilisés et seuil de signification des coefficients de corrélation tel que la probabilité de dépasser ce seuil vaut 10%	240
B.2.Equations de régression concernant la concentration et la masse de MES	242
B.3.Equations de régression concernant la concentration et la masse de DCO	243
B.4.Equations de régression concernant la concentration et la masse de DBO5	244
C.1.Description des échantillons utilisés pour l'établissement des équations de régression sur le volume, la durée du ruissellement et le débit maximal	245
C.2.Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites unitaires	246
C.3.Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites mixtes et séparatifs pollués	247
C.4.Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites séparatifs	247
C.5.Equation de régression sur le débit maximal pour les sites unitaires	247
C.6.Equation de régression sur le débit maximal pour les sites mixtes et séparatifs pollués	248
C.7.Equation de régression sur le débit maximal pour les sites séparatifs	248
D.1.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la MES et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués	252
D.2.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la MES et pour les sites unitaires	253
D.3.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la DCO et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués	254
D.4.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la DCO et pour les sites unitaires	255
D.5.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la DBO5 et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués	256
D.6.Masse annuelle estimée et intervalle de confiance à 90% pour la DBO5 et pour les sites unitaires	257
D.7.Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites séparatifs	258
D.8.Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites séparatifs pollués et mixtes	259
D.9.Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites unitaires	260
D.10.Valeurs des masses annuelles totales et des masses annuelles par habitant	261
D.11.Valeurs des masses annuelles par millimètres et par millimètre par habitant	262
D.12.Valeurs ds masses annuelles par hectare et par hectare imperméabilisé	263
D.13.Masses annuelles par millimètre par hectare et par millimètre par hectare imperméabilisé	264
E.1.Maximum des concentrations moyennes par événement	266
E.2.Maximum des concentrations moyennes par événement (suite)	267
E.3.Maximum des concentrations moyennes par événement (suite)	268
E.4.Maximum des masses rejetées par événement	269
E.5.Maximum des masses rejetées par événement (suite)	270
E.6.Maximum des masses rejetées par événement (suite)	271
E7.Pourcentage de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables les 5 plus fortes	273
E.8.Pourcentage de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables les 5 plus fortes, suite	274
E.9.Pourcentage de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables d'une même catégorie	275
E.10.Pourcentage de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables de deux catégories	276
E.11.Pourcentage de correspondance entre les masses par événement et les variables les 5 plus fortes	277
E.12.Pourcentage de correspondance entre les masses par événement et les variables les 5 plus fortes, suite	278

E.13.Pourcentage de correspondance entre les masses par événement et les variables d'une même catégorie	279
E.14.Pourcentage de correspondance entre les masses par événement et les variables de deux catégories	280
F.1.Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour les MES	282
F.2.Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour la DCO	283
F.3.Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour la DBO5	284
G.1.Efficacité d'interception de la masse de MES produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act, sur les sites séparatifs	298
G.2.Efficacité d'interception de la masse de MES produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act sur les sites unitaires	299
G.3.Efficacité d'interception de la masse de DCO produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act,sur les sites séparatifs	300
G.4.Efficacité d'interception de la masse de DCO produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act, sur les sites unitaires	301
G.5.Efficacité d'interception de la masse de DBO5 produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act sur les sites séparatifs	302
G.6.Efficacité d'interception de la masse de DBO5 produite à long terme pour 20, 50 et 100 m ³ /ha act, sur les sites unitaires	303
G.7.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES sur les sites séparatifs	304
G.8.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES, sur les sites unitaires	305
G.9.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DCO, sur les sites séparatifs	306
G.10.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DCO, sur les sites unitaires	307
G.11.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DBO5, sur les sites séparatifs	308
G.12.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DBO5, sur les sites unitaires	309
G.13.Synthèse des efficacités d'interception des MES, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	310
G.14.Synthèse des efficacités d'interception en DCO, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	311
G.15.Synthèse des efficacités d'interception en DBO5, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	312
G.16.Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	313
G.17.Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	314
G.18.Synthèse des volumes nécessaire pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande	315
G.19.Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en MES, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act	316
G.20.Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en DCO, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act	317
G.21.Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en DBO5, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act	318
G.22.Efficacité d'interception en MES pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs	319
G.23.Efficacité d'interception en MES pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	320
G.24.Efficacité d'interception en DCO pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués	321
G.25.Efficacité d'interception en DCO pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	322
G.26.Efficacité d'interception en DBO5 pour 20, 50, 100 et 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse	

produite est la plus grande, sur les sites séparatifs	323
G.27.Efficacité d'interception en DBO5 pour 20, 50, 100 et 200 m3/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	324
G.28.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs	325
G.29.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	326
G.30.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs	327
G.31.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	328
G.32.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs	329
G.33.Volume pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires	330
G.34.Efficacité d'interception de la masse la plus grande de MES, DCO et DBO5 pour des débits de 4, 10, 20 et 30 l/s/ha act, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord	332
G.35.Débit pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite pour l'événement dont la masse est la plus grande en MES, DCO et DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord	333

Liste des figures

2.1 Echelles de temps concernant l'impact des polluants(tiré de (Hvitved-Jacobsen, 1985))	28
2.2 Norme sur l'oxygène dissous des rivières à truites, tiré de (Hvitved-Jacobsen, 1985)	29
4.1 Schéma expliquant comment appliquer les méthodes de calcul de la masse annuelle, en prenant l'exemple d'équation de régression sur la concentration et la masse n'utilisant que le volume	77
4.2 Définition de l'intervalle maximal et de l'intervalle commun sur les masses annuelles obtenues par différentes méthodes	80
4.3 Comparaison des intervalles de confiance des masses annuelles obtenues par différentes méthodes	80
5.1 Masse annuelle de MES en fonction de la surface active moyenne	96
5.2 Masse annuelle de DCO en fonction de la surface active moyenne	96
5.3 Masse annuelle de DBO5 en fonction de la surface active moyenne	96
5.4 Masse annuelle de MES par hectare actif en fonction du type de réseau	97
5.5 Masse annuelle de DCO par hectare actif en fonction du type de réseau	97
5.6 Masse annuelle de DBO5 par hectare actif en fonction du type de réseau	97
5.7 Relation entre les masses de MES et de DCO sur Ullis Sud	100
5.8 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de MES sur les sites séparatifs	121
5.9 Masse cumulée des 10 plus forte masse de MES sur les sites séparatifs pollués et mixtes	121
5.10 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de MES sur les sites unitaires	121
5.11 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites séparatifs	122
5.12 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites séparatifs pollués et mixtes	122
5.13 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites unitaires	122
5.14 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 pour les sites séparatifs	123
5.15 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 sur les sites séparatifs pollués et mixte	123
5.16 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 sur les sites unitaires	123
5.17 Pourcentage des pollutogrammes en MES, en avance et en retard, en fonction du type de réseau	139
5.18 Pourcentage des pollutogrammes en DCO, en avance et en retard, en fonction du type de réseau	139
5.19 Pourcentage de pollutogrammes en DBO5, en avance et en retard, en fonction du type de réseau	139
5.20 Pourcentage de pollutogrammes en MES, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne	140
5.21 Pourcentage de pollutogrammes en DCO, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne	140
5.22 Pourcentage de pollutogrammes en DBO5, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne	140
5.23 Ensemble des événements sur Vélizy pour les MES	142
5.24 Fuseau synthétique sur Vélizy pour les MES	142
5.25 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour les MES	145
5.26 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour les MES	145
5.27 Courbes inférieures Masse-Volume et supérieures des sites unitaires pour les MES	145
5.28 Courbes Masse-Volume 25 et 75 pour les sites séparatifs pour les MES	146
5.29 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour les MES	146
5.30 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour les MES	146
5.31 Courbes Masse-Volume moyennes pour les MES	147
5.32 Courbes Masse-Volume moyennes pour la DCO	147
5.33 Courbes Masse-Volume moyennes pour la DBO5	147
5.34 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé sur les sites séparatifs	149
5.35 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé sur les sites séparatifs pollués	149
5.36 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé pour les sites unitaires	149
5.37 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites séparatifs	150
5.38 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites séparatifs pollués	150
5.39 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites unitaires	150
5.40 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau	156
5.41 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau	156
5.42 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau	156
5.43 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	157

5.44 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	157
5.45 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	157
5.46 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	158
5.47 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	158
5.48 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	158
6.1 Définition de l'efficacité d'interception d'un ouvrage de traitement	165
6.2 Masse interceptée pendant un événement pour un volume d'interception donné	168
6.3 Débit pour calculer la masse interceptée entre 2 mesures de débit, en fonction du débit seuil	168
6.4 Reconstitution de la masse en fonction du volume à partir d'une courbe caractéristique adimensionnelle	169
6.5 Reconstitution d'un pollutogramme à partir de la répartition de la masse en fonction du volume et de celle du volume avec le temps	170
6.6 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25	173
6.7 Répartition de la masse de MES avec le volume en cours d'événement, courbes 25	173
6.8 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75	173
6.9 Répartition de la masse de MES avec le volume en cours d'événement, courbes 75	174
6.10 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25	175
6.11 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75	175
6.12 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25	175
6.13 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75	176
6.14 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25	176
6.15 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75	176
6.16 Volume intercepté en fonction du volume d'interception	177
6.17 Masse de MES interceptée à long terme par 20 m ³ /ha act en fonction du type de réseau	186
6.18 Masse de DCO interceptée à long terme par 20 m ³ /ha act en fonction du type de réseau	186
6.19 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20 m ³ /ha act en fonction du type de réseau	186
6.20 Masse de MES interceptée à long terme par 20 m ³ /ha act en fonction de la surface active moyenne	187
6.21 Masse de DCO interceptée à long terme par 20 m ³ /ha act en fonction de la surface active moyenne	187
6.22 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction de la surface active moyenne	187
6.23 Masse de MES interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction du temps de concentration	188
6.24 Masse de DCO interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction du temps de concentration	188
6.25 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction du temps de concentration	188
6.26 Masse de MES interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction de la pente moyenne	189
6.27 Masse de DCO interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction de la pente moyenne	189
6.28 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20m ³ /ha act en fonction de la pente moyenne	189
6.29 Masse de MES interceptée par 20 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau	190
6.30 Masse de MES interceptée par 50 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau	191
6.31 Masse de MES interceptée par 100 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau	191
6.32 Masse de MES interceptée par 200 m ³ /ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau	191
6.33 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 20 m ³ /ha act, en fonction du type de réseau	193
6.34 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 50 m ³ /ha act, en fonction du type de réseau	193

6.35	Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 100 m ³ /ha act, en fonction du type de réseau	193
6.36	Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 200 m ³ /ha act, en fonction du type de réseau	194
6.37	Equivalence des masses interceptées à partir des courbes 25 et 75 pour un débit d'interception	196
6.38	Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception	196
6.39	Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception	197
6.40	Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception	197
6.41	Masse de MES interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit	201
6.42	Masse de DCO interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit	201
6.43	Masse de DBO5 interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit	201
6.44	Masse de MES interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	202
6.45	Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	202
6.46	Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	202
6.47	Masse de MES interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	204
6.48	Masse de DCO interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	204
6.49	Masse de DBO5 interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	204
6.50	Masse de MES non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	206
6.51	Masse de DCO non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	206
6.52	Masse de DBO5 non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75	206
F.1	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour la DCO	286
F.2	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour la DCO	286
F.3	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites unitaires pour la DCO	286
F.4	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pour la DCO	287
F.5	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour la DCO	287
F.6	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour la DCO	287
F.7	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour la DBO5	288
F.8	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour la DBO5	288
F.9	Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites unitaires pour la DBO5	288
F.10	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pour la DBO5	289
F.11	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour la DBO5	289
F.12	Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour la DBO5	289
F.13	Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau	290
F.14	Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau	290
F.15	Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau	290
F.16	Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	291
F.17	Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	291
F.18	Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne	291
F.19	Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	292

F.20 Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	292
F.21 Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration	292
G.1 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25	296
G.2 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75	296
G.3 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25	296
G.4 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75	297

Chapitre 1

Introduction

1.1.Présentation générale

La pluie lorsqu'elle tombe sur une ville et la traverse en ressort très polluée. Déjà dans l'air, l'eau se charge des poussières qui s'y trouvent. Puis, elle lessive les toitures, les trottoirs et les chaussées, entraînant avec elle les particules qui s'y sont déposées. Elle transite alors par des réseaux d'assainissement, chargés soit de déverser directement dans les milieux récepteurs, soit de l'acheminer vers la station d'épuration des eaux de temps sec, puis vers le milieu récepteur lorsque la capacité de la station est dépassée. Par conséquent, les eaux d'origine pluviale atteignent très souvent les milieux naturels sans traitement préalable, entraînant parfois des dégradations spectaculaires et irréversibles, comme cela s'est vu sur la Seine lors de ces violents orages d'été qui ont entraîné la mort de milliers de poissons.

Tous les milieux scientifiques s'accordent aujourd'hui pour reconnaître que l'eau après ce voyage est fortement polluée et néfaste aux milieux naturels. Mais les mécanismes qui régissent la production de cette pollution restent mal connus, et pour certains, sujets à controverses. Les enjeux d'une telle compréhension sont importants, car l'amélioration des connaissances permettrait de mieux prévoir la pollution apportée par un orage, et par conséquent de mieux réagir pour protéger les milieux naturels.

Les concepts hygiénistes du siècle dernier à l'origine des constructions des réseaux, préconisaient une évacuation rapide des eaux loin des centres habités dans un souci de santé publique. Ainsi les réseaux unitaires dont la tâche principale est de drainer les eaux usées de temps sec vers une station d'épuration (dans le meilleur des cas elle existe), possèdent des déversoirs d'orage sollicités pendant les orages lorsque les débits drainés dépassent la capacité du réseau. Leur principe a longtemps été justifié par l'affirmation que les eaux pluviales, qualifiées de propres, permettaient une dilution suffisante des eaux usées, quant à elles qualifiées de souillées. De même, les réseaux séparatifs, qui drainent à part eaux usées et eaux pluviales, visent un seul objectif : évacuer rapidement les eaux pluviales pour éviter les inondations dans les agglomérations, et empêcher la stagnation propice au développement et à la propagation des épidémies. Les constructeurs des réseaux d'assainissement étaient, et sont toujours responsables de la salubrité publique.

Leur principal objectif est de prévenir les contacts entre la population et les eaux usées. La pollution des eaux pluviales même s'ils savaient qu'elle existait leur apparaissait comme un problème de second ordre. Actuellement dans une époque, où notre environnement est agressé de toute part, maîtriser la pollution des rejets urbains de temps de pluie n'apparaît plus comme un objectif secondaire, mais comme un élément participant à une gestion globale de l'eau.

1.2.Objectifs du travail de thèse

En France, la nouvelle loi sur l'eau de 1992, oblige les collectivités locales et les gestionnaires des réseaux à les prendre en compte, dans le cadre d'une gestion globale de l'eau. Par conséquent, il y a un certain nombre de questions auxquelles les acteurs de l'eau doivent pouvoir répondre pour jouer leur rôle au mieux. Evidemment, la recherche entreprise ne tente pas de répondre complètement à toutes, en revanche elle espère apporter quelques éléments de réponse sur la nature de la pollution des eaux pluviales, sur la fraction des écoulements qu'il faut traiter en priorité, et sur les moyens qu'il faut employer compte tenu des spécificités de la pollution.

La littérature fournit un grand nombre de résultats dans le domaine de la pollution des rejets urbains par temps de pluie. En particulier en France, de nombreuses campagnes de mesures ont été effectuées depuis les années 70. Mais leur exploitation s'est faite dans un contexte purement local pour répondre à des préoccupations ponctuelles. Afin d'avoir une vision globale des résultats qu'elles peuvent apporter, nous avons constitué une base de données alimentée par toutes ces campagnes.

Les objectifs que nous avons définis pour l'exploitation des données ainsi rassemblées sont:

d'une part, caractériser la pollution rejetée et pour cela:

- * donner des ordres de grandeur des masses annuelles, des concentrations moyennes, comparer entre les sites unitaires et séparatifs de taille variable;
- * donner les relations, s'il en existe, entre les caractéristiques des pluies et la pollution rejetée, toujours en comparant suivant les différents types de site;
- * étudier la répartition dans le temps des événements les plus pollués et en donner leurs caractéristiques;
- * étudier la répartition des masses rejetées en cours d'événement, pour savoir quels sont les événements pour lesquels la masse est rejetée plutôt en début d'écoulement, et quels sont les sites sur lesquels ces événements sont les plus nombreux.

d'autre part, donner des éléments pour le dimensionnement des ouvrages de traitement dont le principe est la décantation extensive dans des volumes de stockage ou la décantation au fil de l'eau:

- * donner des ordres de grandeur des dimensions requises pour les deux types d'ouvrage,

- respectivement volume et débit, pour atteindre certaines efficacités d'interception
- * comparer ces dimensions suivant le type de site

1.3. Organisation du document

Le document s'organise autour de cinq parties:

La **première partie** constitue une étude bibliographique dans laquelle on trouve successivement un historique des mesures et des études sur la pollution par temps de pluie, une caractérisation de cette pollution (son importance, son origine et les impacts qu'elle engendre sur les milieux récepteurs) et une revue des moyens actuels de dépollution.

La **deuxième partie** consiste en une présentation des données et de l'outil utilisés. Nous présentons les intérêts que présentent un outil comme une base de données. Puis, sont décrites les données utiles, leur organisation et les méthodes d'exploitation pour atteindre les objectifs fixés. Enfin, sont présentées les campagnes de mesure retenues pour figurer dans la base.

La **troisième partie** présente les méthodes utilisées pour critiquer les données recueillies et compléter les données manquantes. En effet, à l'état initial, le contenu de la base ne permet pas d'effectuer toutes les caractérisations prévues. Voilà pourquoi, nous étudions les données hydrauliques de chaque site, et les relations qui existent entre la pluie précipitée et le volume écoulé à l'exutoire du bassin afin de vérifier le comportement du bassin et d'éliminer les événements aberrants. Puis, nous complétons les concentrations moyennes par événement en établissant des équations de régression à partir des caractéristiques des pluies. Elles servent ensuite à l'estimation des masses annuelles.

La **quatrième partie** aborde la caractérisation de la pollution rejetée par temps de pluie, en partant de l'échelle de temps la plus grande, c'est-à-dire l'année, jusqu'à l'échelle la plus fine, c'est-à-dire quelques minutes. Nous comparons les masses annuelles sur les différents sites. Nous étudions l'influence des caractéristiques des pluies sur la pollution rejetée par événement par l'intermédiaire de coefficients de corrélation linéaire, calculés sur l'ensemble des événements. Puis nous caractérisons les événements les plus perturbateurs, nous déterminons quelles sont les masses et les concentrations les plus fortes et à quels événements pluvieux elles correspondent. Enfin, nous étudions la répartition temporelle des masses rejetées en cours d'événement, pour comparer l'apparition des pointes de débit et de concentration, et pour déterminer la fraction du volume écoulé la plus polluée.

La **cinquième partie** présente les résultats sur les dimensions des ouvrages de traitement. Pour deux types d'ouvrage, décantation extensive dans de grands volumes de stockage ou décantation au fil de l'eau, nous

regardons comment ils peuvent réduire les masses rejetées à long terme, et les masses rejetées pendant les événements.

Enfin, nous concluons sur les résultats les plus importants qui ont été obtenus et sur les perspectives qu'ils ouvrent.

Chapitre 2

Les rejets urbains par temps de pluie

2.1. Historique et bilan des recherches sur la pollution des rejets urbains par temps de pluie

2.1.1. Le contexte international depuis 1950

2.1.1.1. Objectifs des premières études

Depuis 30 ans, les études sur les rejets urbains par temps de pluie ont été entreprises un peu partout dans le monde. Mais c'est aux Etats Unis que les premières études ont été lancées au début des années 60. Elles s'intéressaient essentiellement aux déversoirs d'orage et aux rejets qu'ils entraînaient par temps de pluie. Parmi les précurseurs, on peut citer (Weibel et al., 1964) qui se sont intéressés à la pollution qu'apportaient les zones urbaines dans les rivières par temps de pluie, (Burm et al, 1968) qui ont comparé les déversements des systèmes unitaires et séparatifs, (Bryan, 1971) qui a étudié la qualité des eaux drainées dans les zones urbaines, (DeFilippi et al, 1971) qui ont également comparé les caractéristiques des effluents en réseau unitaire et séparatif, enfin (Sartor et al. 1972) qui se sont intéressés aux polluants accumulés sur les chaussées. L'Europe a suivi peu après. En Allemagne, (Brunner, 1975) s'est intéressé à la pollution en réseau séparatif. En Suède, (Lisper, 1974) a mené une thèse sur la composition du ruissellement pluvial urbain et sur sa variabilité, (Söderlund et al, 1970) ont étudié les propriétés physico-chimiques et microbiologiques du ruissellement pluvial. En Norvège, (Lindholm et al, 1975) se sont eux aussi intéressés à la pollution déversée par les réseaux. A la fin des années 70, des études comparables furent entreprises en Grande Bretagne par (Price et al., 1978) ou par (Ellis, 1977) qui commença à caractériser les solides des rejets urbains, au Danemark par (Heise et al. 1977). Depuis les années 1980, beaucoup d'autres pays se sont fait connaître dans le domaine tant en Europe que dans le reste du monde.

L'objectif des premières études était de montrer que le problème était réel, elles ont donc tout d'abord cherché à l'identifier, en donnant des ordres de grandeur de concentration et de flux de polluants. Ce premier pas a

été franchi au moyen de mesures très simples, dont les techniques d'obtention ont été empruntées au domaine des eaux usées. Mais, les résultats disponibles se sont avérés très vite insuffisants. Les modélisateurs ont utilisé ces données pour valider et vérifier leurs modèles. Ceux-ci étaient basés sur des concepts simples, trop simples finalement pour être capables de reproduire les phénomènes intervenant sur un bassin urbain. Ils ont donc demandé des données plus nombreuses, plus homogènes et plus précises. L'objectif était alors de vérifier des concepts déterministes relatifs aux sources de la pollution, son accumulation et son entraînement. Ainsi, sont apparues des études plus précises. En Allemagne, (Göttle, 1978) a étudié les mécanismes d'accumulation et de transport de la pollution des eaux pluviales. En Finlande, (Melanen, 1981) s'est intéressé aux sources de la pollution, de même que (Malmqvist, 1982) en Suède. Quant à (Morrison, 1984) il s'est surtout intéressé aux métaux.

Parallèlement à ce type d'étude, des approches statistiques ont émergé, essayant d'établir des corrélations entre concentrations ou charges polluantes d'une part, et paramètres hydrologiques et occupation des sols d'autre part. Ainsi, aux USA l'étude (AVCO, 1970) a relié pollution et type d'occupation des sols. (Bedient et al., 1980) ont établi des relations entre pollution et ruissellement, ainsi que (Freund et al., 1980) qui ont comparé et établi des relations entre la qualité des eaux pluviales et les caractéristiques des bassins.

2.1.1.2.Redéfinition des objectifs

Ensuite, les essais de généralisation ou de comparaison des résultats ont abouti à des échecs car ils ont mis en évidence un manque de fiabilité et d'homogénéité des mesures. Il était impossible d'utiliser les mesures dans un cadre autre que celui pour lequel elles étaient collectées.

C'est pourquoi à la fin des années 70, la nécessité d'évaluer précisément le problème des eaux pluviales et de mettre en place des stratégies de contrôle a lancé deux types de recherche : soit l'élaboration de programmes nationaux, par exemple en France avec une campagne de longue durée (Hémain et al., 1984) et aux Etats Unis avec le programme NURP (Tomo, 1984); soit la compilation des données existantes.

Mais les ambitions étaient grandes et il a été difficile d'en venir à bout. De plus, les résultats obtenus n'ont pas toujours été très satisfaisants et ils ont posé plus de questions qu'ils n'en ont résolu. C'est pourquoi à la fin des années 80 la nécessité de données supplémentaires est apparue. On s'accorde maintenant à distinguer trois types de données (Malmqvist, 1986):

- * les données pour la gestion à l'échelle locale et régionale, afin d'évaluer les impacts et de contrôler les rejets;
- * les données pour vérifier et calibrer les modèles mathématiques de différents types;
- * les données pour approfondir les connaissances sur les sources des polluants, leur accumulation, leur entraînement et leur transfert.

En France, on dispose de nombreuses études locales fournissant des données du premier type, et qui ont servi à l'aménagement des sites étudiés : étude sur les rejets en Marne en 1981 (Paitry et al. 1984), étude sur les collecteurs de la Briche en 1983 (X,1990), étude dans la ville de Rambouillet en 1986 (Bartoli et al, 1987), étude sur le bassin de rétention de la Molette en 1983 (Paitry, 1987).

Dès 1981, (Jewell et al, 1981) décrivent la campagne idéale que doivent monter les modélisateurs pour que les données recueillies soient réellement utilisables pour calibrer et vérifier les modèles de type statistique. Dans le cadre de vérification de modèles mathématiques, en Allemagne des données ont été collectées afin de tester et comparer différents modèles (Russ et al, 1989). En Angleterre, la mise au point du modèle MOSQUITO a été l'occasion de lancement de campagnes de mesures (Payne et al, 1989).

A la fin des années 80, pour aller plus loin dans l'explication de la production de la pollution, certains chercheurs se sont tournés vers le réseau lui-même. C'est ainsi qu'un nouvel axe de recherche est apparu, il s'agit du suivi des solides dans les réseaux d'assainissement (Bachoc 1992).

De plus, le souci principal qui soutient toutes les recherches sur la pollution des rejets urbains par temps de pluie, est essentiellement de savoir quand, comment et où contrôler ces rejets de manière à éviter les effets désastreux sur les milieux récepteurs. Mais alors, nombre d'auteurs estiment que leurs connaissances sur les impacts engendrés par les rejets urbains sont trop partielles (Fiel et al., 1989) (Desbordes et al., 1990).

2.1.2. Le contexte français depuis la construction des premiers égouts

2.1.2.1. La mise en place des réseaux

Ce résumé de l'histoire des études menées dans le monde peut être utile pour situer l'histoire purement française. Paris a été la deuxième ville en Europe après Londres au 19^{ème} siècle à se doter d'un système de tout-à-l'égout pour évacuer eaux usées et eaux pluviales. Le principe du tout-à-l'égout ne s'impose en France, comme solution rationnelle et hygiénique, qu'entre 1850 et 1900. Le projet initié par le baron Haussmann propose la construction de galeries sous les chaussées, dont la fonction est double : recueillir et évacuer les eaux de lavage des chaussées, les eaux pluviales et les eaux usées, et en même temps accueillir les autres réseaux de distribution, à l'époque eau potable et gaz. Au niveau des traitements rien n'est proposé, car les rivières sont toujours considérées comme l'exutoire naturel des eaux usées. Pourtant, à la fin du siècle, on commence à s'intéresser aux milieux récepteurs et à la qualité des effluents qui y sont déversés. D'ailleurs, en 1906 une circulaire édicte des règlements pour protéger la qualité et les usages de l'eau des rivières. Ensuite, pendant les périodes de guerre et d'entre deux guerre, les problèmes de pollution sont mis de côté, et ne réapparaissent que vers les années 60.

En ce qui concerne le dimensionnement des premiers réseaux d'assainissement, les ingénieurs avaient peu d'éléments précis sur lesquels s'appuyer. Les méthodes utilisées étaient très empiriques. Ainsi, Belgrand adopte comme valeurs de projet pour le calcul des collecteurs 42 l/s /ha de débit d'eau pluviale, et 125 l par habitant et par jour de débit d'eaux usées. Vers 1930, des études plus poussées sont menées pour tenter d'estimer plus précisément les débits engendrés par le ruissellement pluvial. Koch considère l'intensité des précipitations, les bassins d'apport et les relations entre précipitation et ruissellement comme les facteurs essentiels dans la formation des débits. Quelques années plus tard, Caquot reprend la méthode de Koch et propose une formulation plus explicite des débits de pointe des eaux pluviales. Cette formulation sera adoptée dans une circulaire technique en 1949 (Circulaire Générale 1333 relative à l'assainissement des agglomérations). Ainsi, pendant toute la période de reconstruction et de développement de l'urbanisation de l'après-guerre, les réseaux ont été dimensionnés en appliquant les règles développées dans cette circulaire technique. Ces règles sont très simples à appliquer mais elles ne tiennent pas compte des spécificités météorologiques des régions où elles sont utilisées. De plus, la circulaire conseille la mise en place des réseaux séparatifs. Officiellement aucun problème de pollution n'est abordé, puisque les eaux pluviales sont évacuées rapidement loin des zones habitées.

2.1.2.2. Le développement des villes après 1950

Mais à la fin des années soixante, la nécessité des recherches scientifiques et techniques s'est imposée après l'établissement de plusieurs constats. Pour l'évacuation des eaux pluviales des villes nouvelles, l'application des conceptions classiques entraînaient des coûts exorbitants. De plus, la croissance rapide de l'urbanisation a engendré une augmentation des nuisances, telle que l'inondation de certaines agglomérations, ou le mauvais fonctionnement de déversoirs d'orage. Enfin, à cause de la crise économique des années 70, les responsables des collectivités locales ont du se préoccuper davantage des investissements que l'assainissement pluvial requérait.

A la suite de ces constats, des programmes expérimentaux ont été engagés afin de vérifier la validité des concepts sur lesquels se basait la réalisation des systèmes d'assainissement. C'est ainsi qu'en 1968 la DAFU lance un programme en vue d'évaluer les apports pluviaux des bassins versants urbains. Après 1970, le programme est repris par la Direction Générale des Collectivités Locales, et de 1972 à 1977 est créée une commission interministérielle présidée par l'ingénieur général Loriferme, pour actualiser les outils techniques en vigueur. Cela aboutit à la nouvelle Instruction Technique relative à l'assainissement des agglomérations, du 22 juin 1977. La méthode pour calculer le débit de pointe des eaux pluviales est similaire, mais elle permet une évaluation en fonction des données climatiques de la région, et la fréquence décennale comme fréquence d'insuffisance n'est plus imposée. L'évacuation rapide des eaux pluviales est toujours considérée comme un concept de base. L'utilisation de bassins de retenue est recommandée pour diminuer les débits à évacuer, lorsque la capacité du réseau ne suffit pas. Enfin, la circulaire mentionne les conséquences de la pollution

rejetée par les déversoirs d'orage.

A partir de 1976, le Service Technique de l'Urbanisme joua le rôle de catalyseur de la recherche en hydrologie urbaine, en créant des groupes nationaux de travail, en finançant des études, et en permettant la diffusion des connaissances. Car alors, la recherche en hydrologie urbaine est presque inexistante en France, et a beaucoup de mal à se faire reconnaître comme discipline scientifique. Le retard de la France par rapport aux autres pays, est d'ailleurs très important à ce moment là. En revanche, le bilan qui peut être dressé en 1982 est quant à lui très positif. (Desbordes, 1991) (STU, 1982) En effet, les connaissances sur les processus hydrologiques ont connu des avancées considérables. Les concepts de pluie de projet ont été introduits dans les calculs d'ouvrage d'assainissement, et de nombreux modèles de calcul de réseaux ont vu le jour, tels que CAREDAS (SOGREAH, 1972), RERAM (Ministères de l'Intérieur et de l'Equipement, 1976-1978). Tous ces travaux étaient essentiellement orientés vers l'aspect quantitatif, c'est-à-dire vers l'évaluation des flux et des volumes d'eau intervenant dans le cycle de l'eau en milieu urbain. En ce qui concerne la qualité du ruissellement pluvial urbain, le programme national du STU de 1978 à 1982, s'il n'a pu aboutir à des résultats opérationnels immédiats, tels que des modèles, a permis une caractérisation du phénomène, et la mise en évidence des conséquences environnementales non négligeables. De plus, les analyses menées dans les deux domaines, processus hydrologiques et qualité du ruissellement, ont abouti à des propositions d'équipement constituant des alternatives aux constructions traditionnelles, comme des bassins de retenue des eaux pluviales, des techniques nouvelles d'infiltration (chaussées poreuses...). Enfin, la gestion en temps réel a véritablement pu prendre son essor à cette époque grâce à l'amélioration des calculateurs et des techniques de mesure.

A partir de 1984, le Plan Urbain, héritier des réflexions engagées par le STU, lance un programme de recherche "l'Eau dans la Ville" dont les grands axes sont les solutions alternatives à l'assainissement des villes, la pollution des eaux pluviales et la réintégration de l'eau dans le cadre urbain. Un nouveau bilan a pu être établi en 1990 (Desbordes, 1991). Les avancées ont été concentrées sur la métrologie des phénomènes. Car une mesure fiable est indispensable à la vérification des modèles, de plus en plus nombreux et complexes, ainsi qu'à une bonne gestion des réseaux d'assainissement

2.1.3. Les domaines de recherche toujours d'actualité

Ainsi actuellement, il est possible de distinguer quatre grands domaines d'étude tant en France qu'à l'étranger (Isawa et al., 1990) (Marsalek et al., 1993). Tout d'abord, malgré une histoire qui commence à être longue, il paraît toujours nécessaire de mener des études de caractérisation des eaux pluviales pour des réseaux unitaires comme pour des réseaux séparatifs. Tous les pays sont représentés, comme par exemple l'Afrique du Sud, le Canada, le Japon, l'Australie et bien d'autres. Beaucoup d'études peuvent être qualifiées de conventionnelles, il s'agit par exemple de quantifier la pollution rejetée sur un site particulier en vue d'aménagements ultérieurs. D'autres sont moins classiques et reflètent l'évolution des technologies, comme

cette étude en Suède sur le platine provenant des pots catalyseurs des automobiles. (Morrison et al, 1993)

Le deuxième grand domaine, toujours d'actualité, est le développement ou l'amélioration des modèles mathématiques de qualité. Des modèles développés il y a déjà plusieurs années tentent d'incorporer les nouvelles découvertes comme MOSQUITO, SWMM (Coleman, 1993) ou MOUSE. D'autres modèles apparaissent comme HYPOCRAS (Bertrand-Krajewski, 1993) dont l'objectif est de simplifier au maximum les phénomènes.

Le caractère nocif des rejets urbains par temps de pluie ne faisant plus aucun doute, des auteurs s'intéressent aux moyens de traiter les rejets en tenant compte des spécificités de la pollution qu'ils contiennent. Ainsi sont testés des réservoirs de stockage et de décantation ou des décanteurs lamellaires. D'autres techniques sont également envisagées, s'inspirant des techniques de traitement des effluents domestiques ou bien totalement innovatrices.

La quatrième branche importante est celle qui s'intéresse à la gestion des réseaux. En effet, traiter les rejets doit permettre de limiter leurs impacts sur les milieux récepteurs, mais limiter le nombre de rejets permet aussi de limiter les nuisances. Pour cela, des outils de gestion en temps réel devraient permettre d'utiliser au mieux les réseaux existants, ou de prévoir les améliorations qu'il faudrait leur apporter.

2.2.Importance de la pollution des rejets urbains par temps de pluie

Le paragraphe précédent a tenté, en retraçant l'historique des recherches entreprises dans le domaine de la pollution des rejets urbains par temps de pluie, de décrire comment leurs objectifs ont évolué en fonction des acquis antérieurs. Cette évolution a été ponctuée de synthèses, mettant en évidence les acquis et les directions à prendre. C'est sur la base de ces synthèses que nous présentons quelles sont les caractéristiques des rejets urbains de temps de pluie. Nous complétons ces informations par les résultats d'expérimentations plus récentes.

Les chocs causés par certains rejets urbains de temps de pluie sont visibles à l'œil nu, sans qu'il soit besoin de faire des mesures compliquées: des débris flottants de toute sorte sont amenés par les eaux pluviales. Régulièrement sur certaines rivières fragiles (comme la Seine) les poissons sont les victimes des gros orages d'été. Ces observations ne permettent évidemment pas de caractériser les composants qui sont à l'origine de tels dégâts. Les campagnes de mesures s'appliquent à mettre en évidence quels sont les polluants qui interviennent.

La pollution déversée peut être exprimée sous forme de concentration ou de masse. Les concentrations, variables d'un événement à un autre, le sont aussi en cours d'événement. Par conséquent, représenter les concentrations par les valeurs moyenne par événement ne constitue qu'une approche globale et limitée de la qualité des rejets. De plus, sur la base de temps d'un événement (quelques heures) les volumes et les débits des rejets sont fort différents. Par conséquent, si les concentrations dans deux rejets différents paraissent équivalentes, les masses rejetées peuvent être très différentes. De même, le calcul sur l'année peut aussi éclairer différemment l'importance relative des polluants pour chaque type de réseau. Le tableau 2.1 présente des concentrations moyennes par événements. Tandis que le tableau 2.2 présente les mêmes données exprimées sous la forme de masses annuelles par hectare. En fait, la base de temps étudiée dépendra du type d'impact recherché, mais ce point sera abordé dans le paragraphe suivant.

2.2.1.Domaine de variation des concentrations moyennes par événement

Le tableau 2.1, tiré de (Ellis, 1985) est une compilation de mesures observées aux USA, en Europe et en Australie. Il donne pour différents types de collecteur d'assainissement les fourchettes de concentration moyenne par événement. Ces valeurs peuvent être très variables d'un site à un autre, et d'une pluie à une autre. Cette comparaison très simple, et les variations qu'elle montre, met en évidence que les phénomènes en jeu sont fort complexes, difficiles à identifier et à analyser indépendamment. En effet, on ne remarque pas sur ces valeurs de nette distinction entre les différents collecteurs. On ne peut pas associer une valeur caractéristique de concentration à un type de collecteur pour un polluant donné. Les variations d'un événement à un autre sont trop importantes pour cela, les fourchettes sont trop larges et se recouvrent

mutuellement.

Type de Collecteur	Concentration moyenne par événement mg/l					
	MES	MVS	DBO5	DCO	NH4	Pb
Pluvial	21-582	26-149	7-22	33-265	0.2-4.6	0.03-3.1
Déversoir d'orage	237-635		43-95	120-560	2.9-4.9	0.15-2.9
Autoroute	28-1178	18-86	12-32	128-171	0.02-2.1	0.15
Toiture	12.3-216	40-88	2.8-8.1	57.9-80.6	0.4-3.8	2.9
Caniveau	15-840	185	6.8-241	25-109	0.7-1.39	0.001-0.030
Zone résidentielle	112-1104	28-124	7-56	37-120	0.3-3.3	0.06-0.85
Zone commerciale	230-1894	75-85	5-17	74-160	0.03-5.1	0.09-0.44
Industrie	45-375	35-72	8-12	40-70	0.2-1.1	0.1-0.4

Tableau 2.1 Concentration moyenne par événement par type de site (valeur minimale et maximale) en mg/l (tiré de Ellis, 1985)

Les problèmes essentiels engendrés par les rejets urbains de temps de pluie ont rapidement été identifiés. Notamment aux USA, le programme NURP, "National Urban Runoff Program", lancé en 1978, avait pour objectif de reconnaître les problèmes existants, leurs origines et leur importance vis-à-vis des milieux naturels. Les concentrations collectées pendant ce programme (et qui ont été intégrées à la synthèse de Ellis (Ellis, 1985)) ont permis de hiérarchiser les problèmes et les polluants (Torno, 1986). Tout d'abord, les métaux lourds, pour cette campagne, ont tous été détectés parmi l'ensemble des échantillons. Les plus courants sont le cuivre, le plomb et le zinc, détectés dans plus de 90% des échantillons. Les polluants organiques sont les plus importants après les métaux. Les bactéries coliformes sont présentes également à des taux importants supérieurs aux critères de qualité des eaux de l'EPA, "Environmental Protection Agency". Les nutriments sont rencontrés mais à des taux plus faibles que ceux d'autres types de rejets. Ensuite, les demandes en oxygène apparaissent à des concentrations équivalentes à celles observées à la sortie du décanteur secondaire d'une station d'épuration. Pendant le programme NURP, il n'a pas été observé une diminution en oxygène dans les milieux récepteurs spécifiquement due à un rejet urbain par temps de pluie. Les auteurs suggèrent néanmoins que la prise en compte de ce paramètre doit tout à fait être pertinente dans certains cas. Enfin, les matières en suspension sont vraiment importantes en comparaison des rejets des stations d'épuration.

Des études postérieures au NURP ont confirmé certains résultats, maintenant considérés comme acquis, et en ont infirmé d'autres. En ce qui concerne les métaux, leur importance est largement reconnue. Aux Pays-

Bas, les concentrations observées sur un système séparatif sont largement supérieures aux normes de qualité de l'eau en usage dans ce pays, pour le cuivre, le zinc et le cadmium. (Aalderink et al, 1990) Cette étude montre également les fortes variations d'un événement à un autre, en terme de concentration comme en terme de masse, pour les métaux comme pour les autres polluants.

2.2.2. Domaine de variation des masses annuelles

Le tableau 2.2 présente les résultats non plus sur la base d'un événement, mais sur celle d'une année. Les masses annuelles sont par ailleurs ramenées à la surface des bassins versants pour s'affranchir des différences entre les sites et pour pouvoir comparer la production de pollution.

Type de collecteur	Masses kg/ha/an					
	MES	MVS	DBO5	DCO	NH4	Pb
Pluvial	347-2340	90-127	35-172	22-703	1.2-25.1	0.09-1.91
Déversoir d'orage	1230-4917		505-1345	1760-3256	52-85	
Autoroute	121-6289	45-851	90-172	181-3865	0.8-6.1	0.65-13
Toiture						
Caniveau						
Zone résidentielle	620-2300		5-76.8	22-761		0.06-1.91
Zone commerciale	50-840		43-87	1000-1029		0.17-6.84
Industrie	400-1700					2.2-7

Tableau 2.2 Masse par hectare et par an par type de collecteur (valeur min et max) en kg/ha/an (tiré de Ellis, 1985)

Les tableaux 2.1 et 2.2 présentent des données relativement anciennes. Mais, actuellement une partie des études portent toujours sur la caractérisation des eaux pluviales. Plusieurs raisons expliquent ce fait. La prise de conscience généralisée du problème des rejets urbains par temps de pluie, amène les gestionnaires à modifier les réseaux pour qu'ils rejettent moins de pollution par temps de pluie. Mais un aménagement doit se justifier, pour cela les mesures restent indispensables pour faire un état des lieux du système et pour proposer des solutions l'améliorant. Ensuite, les bassins versants évoluent, les structures vieillissent et sont renouvelées, l'urbanisation change. Par conséquent, les données représentatives du comportement d'un site il y a 15 ans, ne le sont plus à l'heure actuelle, et nécessitent d'être mises à jour. D'autres gestionnaires découvrent le problème, et comme leur site présente des particularités jamais étudiées auparavant, ils ne peuvent se

passer des mesures pour connaître la pollution déversée par leur réseau. C'est ainsi qu'on peut encore trouver dans la littérature des études exploratoires sur des sites et dans des conditions très particulières. (Marsalek et al., 1993).

2.2.3. Comparaison à d'autres apports

2.2.3.1. Comparaison aux eaux usées

Une étude faite sur des réseaux séparatifs donne une indication sur les charges apportées par les eaux usées et par les eaux de ruissellement sur différentes bases de temps (Cottet, 1980). Les chiffres montrent que sur la base annuelle, les masses de métaux apportées par les eaux usées sont équivalentes à celles des eaux de ruissellement, alors que pour les autres paramètres elles sont inférieures. Lorsqu'on passe à la base horaire, les eaux de ruissellement apportent beaucoup plus de charges que les eaux usées, pour tous les polluants du tableau 2.3.

Dans un cas théorique d'une ville de 10 000 habitants, ont été estimées les charges apportées par les surverses d'unitaire, par les rejets d'une station d'épuration, et par les rejets d'un réseau séparatif. (tiré de (Valiron, 1992)) Les comparaisons montrent que les surverses d'unitaires sont plus chargées que les eaux de ruissellement. Ces valeurs théoriques sont confirmées par des mesures réelles faites à Clichy, sur l'un des plus grands collecteurs de la région parisienne (Paffoni, 1992). Un autre exemple d'estimation des flux annuels est donné par Verbanck (Verbanck, 1994): dans un réseau unitaire, les mesures pendant une année ont permis d'estimer la part des eaux de temps sec et celle des crues sur les masses totales. La masse apportée par les crues représente près des 3/4 de la masse totale de MES, et seulement 45% de la masse totale de matière dissoute.

Polluant	Base annuelle	Base journalière	Base horaire
MES	ER / EU = 1 / 2	ER / EU = 2	ER / EU = 50
DBO5	ER / EU = 1 / 27	ER / EU = 1 / 6	ER / EU = 4
DCO	ER / EU = 1 / 9	ER / EU = 1 / 2	ER / EU = 12
NTK	ER / EU = 1 / 27	ER / EU = 1 / 7	ER / EU = 3.5
Pt	ER / EU = 1 / 27	ER / EU = 1 / 10	ER / EU = 2.5
Métaux lourds			
Pb	ER / EU = 27	ER / EU = 80	ER / EU = 2000
Zn	ER / EU = 1	ER / EU = 4	ER / EU = 100
Cu	ER / EU = 1 / 45	ER / EU = 1 / 2	ER / EU = 15
Cr	ER / EU = 1 / 4	ER / EU = 1 / 1.5	ER / EU = 16
Hg	ER / EU = 1	ER / EU = 7	
Cd	ER / EU = 1	ER / EU = 5	

Tableau 2.3: Comparaison des charges apportées par les eaux usées (EU) et les eaux de ruissellement (ER) (tiré de Valiron et al., 1992)

Rejet		MES	DBO5	DCO
Station d'épuration	Concentration moyenne,mg/l	20-30	20-30	60-90
	Masse annuelle, tonne	10-17	10-17	35-50
	Masse journalière, kg	25-50	25-50	100-140
Surverses unitaires	Concentration moyenne,mg/l	200-1000	70-150	200-600
	Masse annuelle, tonne	40-20	15-30	40-130
	Masse journalière, kg	270-800	100-300	270-1300
Eaux pluviales	Concentration moyenne,mg/l	100-1000	10-100	50-600
	Masse annuelle, tonne	25-100	2.5-10	10-50
	Masse journalière, kg	170-700	17-170	70-350
Mesures à Clichy	Concentration moyenne,mg/l	30-1160	6-220	40-930

Tableau 2.4: Comparaison des rejets théoriques de différents systèmes (Valiron et al., 1992), et mesures au déversoir de Clichy (Paffoni, 1992)

2.2.3.2. Comparaison avec des rejets agricoles

Lorsqu'on compare avec des rejets par temps de pluie issus de zones agricoles, on constate que les rejets

urbains sont les plus importants en terme de masse annuelle à l'hectare pour le plomb et le zinc. (Tableau 2.5)
 Pour les MES suivant le type de zone agricole ce n'est pas toujours le cas.

Type de zone	MES	Phosphore total	Azote total	Plomb	Cuivre	Zinc
Zone agricole						
Agriculture générale	3-5600	0.1-9.1	0.6-42	0.002-0.08	0.002-0.9	0.005-0.3
Céréale	20-5100	0.2-4.6	0.05-0.4	0.005-0.006	0.014-0.064	0.026-0.083
Paturage	30-80	0.1-0.5	3.2-14	0.004-0.015	0.021-0.038	0.019-0.172
Forêt	1-820	0.02-0.37	1-6.3	0.01-0.03	0.02-0.03	0.01-0.03
Naturel	7-820	0.02-0.67	0.5-6	0.01-0.03	0.02-0.03	0.01-0.03
Zone urbaine						
Résidentielle	600-2300	0.4-1.3	5-7.3	0.06		0.02
Commerciale	50-800	0.1-0.9	1.9-11	0.17-1.1		0.25-0.43
Industrielle	50-1700	0.9-4.1	1.9-14	2.2-7		3.5-12

Tableau 2.5: Flux polluants annuels (kg/ha) des eaux ruissellant sur divers types de zones agricoles et urbaines. (Novotny et al., 1981)

2.3. Origine de la pollution des eaux pluviales et mécanismes de production

2.3.1. Présentation

Pour identifier les causes de la pollution des rejets urbains par temps de pluie, il convient de comprendre quel est le cheminement de l'eau depuis la formation de la pluie dans l'atmosphère jusqu'à son rejet à la sortie des réseaux. Les premiers contacts entre l'eau et les polluants se produisent dans l'atmosphère, polluée par des émissions d'origine naturelle et humaine. Puis, l'eau entre en contact avec la surface des villes, elle entraîne une fraction plus ou moins grande des produits accumulés par temps sec. Enfin, l'eau pénètre dans le système d'assainissement où elle continue à se charger en mobilisant les produits qui s'y sont accumulés et en se mélangeant aux eaux présentes. On distingue donc trois grandes sources de pollution: l'atmosphère, les surfaces et le réseau d'assainissement.

2.3.2. La pollution atmosphérique et son transfert dans l'eau de pluie.

Les particules et les aérosols présents dans l'air se retrouvent dans l'eau de pluie avant d'atteindre le sol, ou retombent directement sur les sols et la végétation par temps sec. De plus, la formation de la pluie est conditionnée par la présence des poussières qui permettent l'ensemencement des gouttelettes puis leur chute. Jusqu'à un passé récent, la pollution atmosphérique avait une origine entièrement naturelle: vent, incendie, éruption volcanique. Il faut maintenant compter avec l'industrie, le chauffage et les échappements des moteurs à combustion interne. Ainsi, les eaux météorites apportent en milieu urbain deux types de pollution : des aérosols et des gaz émis par combustion qui contiennent des quantités non négligeables d'azote ammoniacale, de nitrate, de sulfure, ainsi que de métaux. Le tableau 2.6 donne les concentrations mesurées dans l'eau de pluie pendant différentes campagnes.

Comme dans les eaux de ruissellement, les résultats sont très variables d'un site à un autre, et d'un événement à un autre. Dans le tableau 2.6, on observe des concentrations non négligeables pour les métaux, les plus importantes étant pour le fer, le zinc et le plomb. Les mêmes auteurs ont généralement comparé les concentrations ou les charges des eaux de pluie avec celles des eaux de ruissellement. Dans (Randal et al, 1981), excepté pour la zone agricole et la zone commerciale, les charges observées dans les eaux de ruissellement sont inférieures à celles des eaux de pluie. Ce résultat paradoxal signifie que les surfaces étudiées joueraient plus un rôle de puits de pollution que de source, à moins que cela ne provienne d'un problème dans le protocole expérimental, ou que les échantillons ont été contaminés par des dépôts de temps sec. Dans (Ng, 1987), la comparaison montre que l'eau de pluie contribue dans une large fraction à l'apport des composés de l'azote et des métaux comme le cuivre et le nickel. En revanche, pour le phosphore, les ions

et certains métaux (cadmium, chrome, plomb et zinc) les charges des eaux de ruissellement sont largement supérieures à celles des eaux de pluie. Mais d'autres résultats cités par Ellis (Ellis, 1986) font état d'une contribution des eaux de pluie à la pollution des eaux pluviales qui atteindrait 50 à 70 %.

Polluants	(Randal et al., 1981)	(van Dam et al, 1986)	(Ng, 1987)	(LROP, 1984)		(Ciattaglia, 1979)
	9 sites	médiane site Bastion	moyenne 31 pluies	Ulis	Maurepas	
Azote ammoniacal mg/l	0.11-1.87	1.35	0.59	0.22-5.89	0-0.43	
Nitrate mg/l	0.12-1.99	0.8	0.76	0.28-8.14	0.43-1.50	
Azote Kjeldahl mg/l	1.35-3.47		0.83	0.24-2.50	0-0.94	
MES mg/l				1-13	1.1-15.6	
DCO mg/l	20.7-332			2-7		
Phosphore total mg/l	0.04-0.62	0.04	0.036	0.01-0.17		
Fer µg/l	0-3040	240				
Plomb µg/l	0-240	23.5	105	0-33	0.9-13.7	
Zinc µg/l	20-1900	74	229	9-198	4-92	
Chrome µg/l	0-80	5	14			
Cuivre µg/l	0-60	13.3	68	1.2-8.6	1.3-12.1	
Cadmium µg/l	0-13	0.5	11	0.2-2.44	0.15-1.71	
Nickel µg/l			49			
Calcium mg/l			1.39			0.2-30
Magnesium mg/l						0.1-7
Sodium mg/l			0.23			0.1-35
Potassium mg/l			0.12			0.1-20

Tableau 2.6 Concentrations moyennes mesurées dans les eaux de pluie

2.3.3. Accumulation et entraînement des polluants sur les surfaces urbaines

En ce qui concerne les surfaces urbaines et leur contribution à la pollution des rejets, il faut distinguer deux phénomènes: l'accumulation des polluants par temps sec et leur entraînement vers le réseau par la pluie.

2.3.3.1. Accumulation par temps sec

Les polluants qui se déposent par temps sec sur les surfaces urbaines ont des origines multiples. Ils peuvent provenir de la ville elle-même, ou parcourir de longues distances avant de se déposer. Les principales sources de contaminants sont les suivantes:

- * la circulation automobile: hydrocarbures, plomb contenu dans l'essence, zinc, cadmium, cuivre provenant de l'usure des pneus, titane, chrome, aluminium provenant de l'usure des pièces métalliques, sels de déverglaçage;
- * l'érosion des sols et des chantiers: matières en suspension sous l'action du vent ou des engins mécaniques;
- * l'industrie: sa participation est très variable, elle dépend de la nature de l'industrie et de sa situation par rapport à la ville. on cite généralement des métaux comme le plomb, le cadmium et le zinc, des micro-polluants organiques provenant de solvants;
- * les déchets solides: ils sont très variables, et pas toujours éliminés par le nettoyage des rues;
- * les animaux: leurs déjections peuvent poser de sérieux problèmes;
- * la végétation: les feuilles mortes, les fleurs, les graines produisent des masses importantes de matières carbonées, les engrais apportent des azotes et des phosphates, les pesticides et les herbicides apportent des produits organo-chlorés.

En ce qui concerne plus particulièrement les métaux, en Suède par exemple (Palmgren et al. 1984) ont étudié la provenance du plomb, du cadmium et du zinc dans les eaux pluviales. Ils ont constaté depuis les années 70 des diminutions des concentrations de ces trois métaux, diminutions particulièrement fortes pour le plomb. Cela s'explique par la mise en place de législations strictes sur la présence de plomb dans l'essence.

Aux Etats Unis, la compilation de données (Sartor et al. 1972) a permis de donner des ordres de grandeur au taux d'accumulation des poussières sur les surfaces urbaines telles que les chaussées. Sur 8 sites, les valeurs sont les suivantes en fonction du type d'occupation des sols:

Résidentiel	48 g / m de trottoir / jour
Collectif	66 g / m de trottoir / jour
Commercial	69 g / m de trottoir / jour
Industriel	127 g / m de trottoir / jour

2.3.3.2. Entrainement sur les surfaces

Dès que la hauteur de pluie précipitée dépasse la quantité nécessaire au mouillage des surfaces (perméables et imperméables) le ruissellement commence. L'aptitude de la pluie à éroder les sols semblerait dépendre de sa granulométrie, c'est-à-dire de la taille et de l'énergie cinétique des gouttes, et de son intensité instantanée sur des pas de temps très courts. Mais l'absence de mesures dans ce sens ne permet pas de confirmer ces hypothèses. Les principaux facteurs qui déterminent l'entraînement sur les surfaces sont les suivants:

- * le type et l'état des surfaces, d'après Sartor et Boyd les masses entraînées sont plus grandes sur des surfaces moins rugueuses;
- * le volume et l'intensité de la pluie;
- * la taille des particules solides déposées sur les surfaces;
- * l'acidité de la pluie;
- * la fréquence et les méthodes de nettoyage des rues.

Sartor et Boyd (1972) ont estimé que la masse accumulée sur les surfaces est une fonction exponentielle du temps, elle atteint une asymptote au bout de quelques jours. Certains modèles représentent la masse accumulée de cette manière, comme le SWMM, modèle américain élaboré à la fin des années 60, et le modèle STORM. Servat (Servat, 1985) propose un modèle linéaire croissant: la masse accumulée est proportionnelle à la durée de temps sec.

En ce qui concerne le nettoyage des rues, plusieurs techniques sont utilisées, par balayage (avec des véhicules ou non), ou par nettoyage au jet. Le balayage paraît plus efficace pour enlever les grosses particules, alors que le lavage au jet permet d'entraîner les particules plus fines.

En ce qui concerne la caractérisation des sédiments qui s'accumulent sur les surfaces, à Londres, (Butler et al. 1993) ont effectué des échantillonnages sur des surfaces occupées par différents types d'habitat. Les caractéristiques principales qu'ils mentionnent sont les suivantes:

- * pour les sédiments de surface, le diamètre médian des solides vaut 400 μm , les masses par unité de surface qu'ils mesurent valent entre 52 et 330 g/m^2 ;
- * pour les sédiments dans les caniveaux, les courbes granulométriques montrent qu'il y a plus de grosses particules que sur les chaussées, le taux d'accumulation varie en moyenne de 14 à 24 mm/mois .

Dans (Sartor et al. 1972), des mesures granulométriques sont disponibles sur les particules déposées sur les surfaces. Elles indiquent que la plupart d'entre elles sont des particules grossières. Néanmoins, la répartition pour chaque polluant est variable. Le tableau 2.7 est tiré de (Novotny et al., 1981) et reprend les valeurs de Sartor. D'après ces valeurs, près du quart des particules ont une taille supérieure à 2 mm, les phosphates sont

fixés à 56% sur des particules de moins de 43 μm , qui correspondent à moins de 6% des particules. D'une manière générale, elles indiquent que les polluants sont associés aux particules les plus fines.

Polluant	Taille des particules, μm					
	> 2000	840-2000	240-840	104-246	43-104	< 43
Solides	24.4	7.6	24.6	27.8	9.7	5.9
Matière volatile	11	17.4	12	16.1	17.9	25.6
DCO	2.4	4.5	13	12.4	45	22.7
DBO5	7.4	20.1	15.7	152	17.3	24.3
Azote Kjeldhal	9.9	11.6	20	20.2	19.6	18.7
Phosphate	0	0.9	6.9	6.4	29.6	56.2

Tableau 2.7 : Pourcentage de polluants dans les sédiments de surface par classe granulométrique (tiré de Novotny et al., 1981)

2.3.4. Transfert et évolution dans le réseau

2.3.4.1. Généralités

Suivant le type de réseau, les contributions à la pollution lors du transfert sont de différentes natures:

- * Pour les réseaux strictement séparatifs, les pertes de pollution sont dues à des sédimentations, et les apports à des remises en suspension. Elles concernent des particules déposées à l'occasion de pluies précédentes ou introduites par les avaloirs. Il s'agit de toute façon de particules provenant de la surface.
- * Dans le cas de réseau unitaire, d'autres types de contribution interviennent. Des eaux usées domestiques ou industrielles sont constamment présentes. Elles peuvent être évaluées par temps sec. Les apports peuvent également provenir de la remise en suspension des dépôts accumulés dans le réseau par temps sec. Dans ce cas, les particules ne proviennent pas uniquement de la surface.

L'étude des solides transférés dans les réseaux d'assainissement est devenue ces dernières années un domaine d'étude très important. La formation des dépôts intéresse depuis longtemps les services d'assainissement qui ont la charge de maintenir les capacités hydrauliques des collecteurs. Les enjeux d'une meilleure connaissance de la formation des dépôts sont multiples: limiter les interventions de curage, définir des mesures pour limiter l'encrassement, et mieux connaître leur rôle en tant qu'accumulateur de pollution qui peut être entraînée vers le milieu récepteur par temps de pluie.

Les résultats que nous présentons dans ce paragraphe proviennent essentiellement d'un programme national

sur les solides en réseau d'assainissement réalisé en France sous l'égide de l'AGHTM. Il a apporté quelques éléments de connaissance sur les dépôts, leur formation et les solides qui les constituent. Les premières observations sur la dynamique des dépôts ont montré que sur des collecteurs unitaires à l'aval de bassins versants de quelques centaines d'hectares:

- * les volumes déposés les plus importants se produisent pendant certaines pluies;
- * par temps sec ils sont plus réduits;
- * les dépôts sont constitués de particules millimétriques.

Les eaux de temps de pluie dans les réseaux unitaires apparaissent plus chargées en matière organique que dans les réseaux séparatifs. La dilution des eaux usées domestiques intervient peu dans ce phénomène. En revanche, la remise en suspension des particules déposées dans les réseaux unitaires paraît être une source notable. De plus, l'analyse des mesures sur le réseau unitaire de Marseille et pour 3 pluies aux caractéristiques bien distinctes, montre que l'apport des eaux usées est significatif uniquement pour les petites pluies. Pour les pluies moyennes et fortes, les dépôts fournissent entre 30 et 45% des MES. Chebbo (Chebbo, 1992) a proposé la répartition suivante des différents apports à la masse annuelle de MES: 65% proviennent des eaux de ruissellement, 20% des eaux usées et 24% des dépôts dans le réseau. De plus cette répartition est susceptible de subir de nombreuses variations suivant le type de pluie. Pour les pluies fortes, la part des eaux usées devient négligeable.

2.3.4.2. Caractéristiques des solides transférés dans le réseaux

Répartition entre pollution dissoute et particulaire

Sur 3 sites (un bassin de retenue pluvial, un déversoir d'orage et un collecteur unitaire), il apparaît que la pollution particulaire est nettement dominante pour la DCO, la DBO5, les hydrocarbures et le plomb. En revanche, pour certaines pluies, l'azote n'est pas particulièrement liée aux particules. De plus, d'après Marsalek (Marsalek, 1990) 93% des PCBs sont fixés sur les particules, 90% des HAP, 97% du benzopyrene et 85% du fluoranthène d'après (Hermann et al. 1990).

DCO	DBO5	NTK	HC	Pb
83-91	77-95	48-82	82-99	79-100

Tableau 2.8 : Pourcentage de la pollution fixée sur les particules solides (Chebbo, 1992)

Granulométrie des solides en suspension

A partir des courbes granulométriques complètes de chaque événement pluvieux, sont extraites des valeurs caractéristiques D10, D50 et D90 qui sont des mailles fictives par lesquelles passeraient respectivement 10, 50 et 90% de la masse des particules. D10 et D90 sont des indicateurs des extrémités de la plage où on trouve

l'essentiel des particules. D50, aussi appelé diamètre médian, représente la globalité de l'échantillon, il permet de situer la valeur autour de laquelle les extrémités (D10 et D90) sont réparties.

Les résultats montrent que:

- * il ya une prédominance des fines particules ($< 100 \mu\text{m}$);
- * la proportion massique des particules de dimension supérieure à $100 \mu\text{m}$ est plus importante dans les réseaux unitaires que dans les réseaux séparatifs;
- * les pluies les plus importantes (en hauteur d'eau précipitée et en intensité) entraînent une plus grande proportion de particules moins fines.

Moyenne sur:	D10 μm	D50 μm	D90 μm	% $<100\mu\text{m}$
réseau pluvial	7.4	32.1	617	81
réseau unitaire	6.8	34.1	331	75
tous réseaux	7.1	33.2	458	78

Tableau 2.9: Moyennes des indicateurs granulométriques pour différentes pluies sur 4 sites (Chebbo, 1992)

Masses volumiques et teneur en matières volatiles

Les masses volumiques apparaissent assez stables pour l'ensemble des particules:

- * supérieures à 2.19 g/cm^3 pour les écoulements pluviaux;
- * inférieures à 215 g/cm^3 pour les écoulements unitaires.

Les particules fines (de diamètre $< 100\mu\text{m}$) présentent le masses volumiques les plus fortes, elles sont moins denses en réseau unitaire qu'en réseau séparatif. Pour un site donné, les masses volumiques semblent croître avec l'importance de la pluie.

Moyenne sur:	$\rho < 100\mu\text{m}$	$\rho > 100\mu\text{m}$	ρ moyen	% $<100\mu\text{m}$
réseau pluvial	2.5	1.83	2.33	81
réseau unitaire	2.09	1.74	2.00	75
tous réseaux	2.27	1.78	2.14	78

Tableau 2.10: Masse volumique des particules fines ($<100\mu\text{m}$), des particules grossières ($>100\mu\text{m}$), des échantillons totaux et fraction massique des particules $< 100\mu\text{m}$, à l'exutoire de bassins versants séparatifs et unitaires (Chebbo, 1992)

Vitesses de chute

Les courbes de répartition de la vitesse de chute par classe granulométrique sont caractérisées par les indices V10, V50 et V90 qui représentent les vitesses de chute qui sont atteintes, ou non dépassées, par 10, 50 et 90% de la masse des particules. Les résultats montrent que:

- * les V50 pour les particules $< 50 \mu\text{m}$ se situent entre 3m/h et 5.7 m/h pour les eaux pluviales, pour les eaux unitaires les variations d'une pluie à une autre sont importantes;
- * les V50 pour le particules $>50 \mu\text{m}$ se situent en moyenne à 50 m/h pour les réseaux pluviaux et 39 m/h pour les réseaux unitaires.

Moyenne sur	V10 m/h	V50 m/h	V90 m/h	% particule
particules $< 50\mu\text{m}$				
réseau pluvial	0.13	4.1	11	68
réseau unitaire	$\ll 0.036$	2.4	12	63
particules $> 50\mu\text{m}$				
réseau pluvial	13	50	325	32
réseau unitaire	14	39	151	37
ensemble des solides				
réseau pluvial	0.37	7.2	89	
réseau unitaire	< 0.058	8.1	67	

Tableau 2.11: Moyennes des indicateurs de vitesse de chute (Chebbo, 1992)

2.4. Les impacts sur le milieu récepteur engendrés par des rejets urbains

2.4.1. Contexte

2.4.1.1. Reconnaissance de l'existence des impacts

On s'intéresse à la pollution des rejets urbains par temps de pluie parce qu'on sait que les milieux récepteurs en souffrent. Pourtant, peu de moyens législatifs et réglementaires sont disponibles à son sujet. En ce qui concerne les eaux usées, leur collecte, leur évacuation et leur traitement sont particulièrement bien définis. Cette inégalité s'explique par les concepts et les idées qui circulaient au moment de la réalisation des réseaux d'assainissement. En effet, le réseau unitaire a été inventé pour répondre aux impératifs hygiénistes, c'est-à-dire évacuer rapidement les eaux contaminées loin des zones habitées. Les déversoirs d'orage, nécessaire délestage par temps de pluie, sont justifiés par la dilution des eaux usées. Mais après la guerre, la croissance de l'urbanisme a entraîné la surcharge des réseaux existants, et des fonctionnements de déversoirs d'orage même par temps sec. Pour protéger les milieux récepteurs, une campagne de construction de station d'épuration a été lancée en France, accompagnée dans les nouvelles zones d'habitation du développement de réseaux séparatifs afin de mieux contrôler les volumes écoulés, ainsi que de la construction des premiers volumes de stockage

Ce bref résumé, sert à montrer que les décisions prises en matière d'assainissement ont souvent été des décisions d'urgence. Il existait une volonté de protéger le milieu naturel, mais tout en ne sachant pas trop de quoi il fallait le protéger, ni quelles conséquences les nouvelles constructions auraient sur ce milieu. Car les hypothèses utilisées pour justifier les nouveaux aménagements sont très souvent erronées. Les réseaux étaient supposés parfaitement dimensionnés et connus, en fait ils sont souvent très complexes, un nombre considérable de mauvais branchements transformant des réseaux séparatifs en réseaux unitaires. Les résultats des efforts entrepris pour améliorer et étendre les réseaux sont en fait très décevants. En 1980, alors que les installations permettent théoriquement de traiter 55% de la pollution domestique et industrielle, seulement 30% sont réellement traitées. (Desbordes, 1987) Il fallait donc reconnaître que malgré les efforts fournis, la reconquête de la qualité des milieux récepteurs était loin d'être atteinte. Tous les milieux scientifiques reconnaissent maintenant que pour protéger le milieu naturel des effets des effluents, ils ont besoin de comprendre quels sont ces effets.

2.4.1.2. Comment définir les impacts

Tous s'accordent également à reconnaître que la réponse à leur problème n'est pas simple. Les phénomènes sont multiples. Quelques remarques sur les problèmes à surmonter permettent d'éclairer la complexité du domaine. Tout d'abord, tout est variable dans un rejet de temps de pluie:

- * les volumes et les masses rejetées sont très variables;
- * la composition de l'eau varie dans le temps d'un événement à un autre, et en cours d'un même événement.

Les effets sur le milieu récepteur sont multiples, ils dépendent de l'état du milieu au moment du rejet, cet état dépend lui-même des rejets précédents (qui peuvent déjà avoir fragilisé le milieu), et de la saison (qui influence les rythmes et les besoins des populations piscicoles). Par conséquent, le type d'impact et son degré d'importance sur un milieu sont le résultat combiné des concentrations de polluant rejeté, des conditions hydrauliques, de la durée du rejet, ou du nombre d'événements par an.

Cette complexité rend impossible de résoudre les problèmes sur le milieu récepteur en définissant des normes de concentration, comme cela a pu l'être pour les eaux usées. Par conséquent, pour éliminer les désordres dus aux rejets de temps de pluie, il faut une approche globale de la gestion de l'eau. Ainsi par exemple, pour le groupe "Orage" du programme "PIREN-Seine", les études ont porté non pas en un point précis mais sur l'ensemble d'un bief de la Seine (PIREN-Seine, 1993). En effet, dans une rivière, il existe généralement plusieurs points de rejet, mais comment distinguer en un point donné les effets d'un rejet de ceux des rejets amont. De plus, il y a un besoin urgent d'un critère qui permette de caractériser la toxicité globale d'un effluent (Mancini, 1989)(Desbordes et al, 1990). En effet, la détérioration de la qualité de l'eau n'a pas la même signification suivant le domaine dans lequel on se place: chimique, microbiologique ou bactériologique. Chacun utilise un indicateur spécifique, qui caractérise en fait partiellement la qualité de l'eau.

Pour les gestionnaires des réseaux d'assainissement, qui doivent avoir une approche globale des problèmes, il est urgent de proposer des solutions qui passent par une meilleure caractérisation des rejets et des impacts. Ils doivent avoir une conduite cohérente en tenant compte des préoccupations des différents acteurs. Pour les aider, une méthodologie a été mise au point (Brelot-Wolff et al, 1994) qui s'appuie sur un modèle d'organisation des connaissances (relations entre le réseau et les rejets, relations entre caractéristiques des rejets et du milieu récepteur, relations entre les caractéristiques du milieu et les objectifs de qualité) et sur un outil d'aide à la décision qui permet d'identifier les rejets les plus perturbateurs et les éventuels problèmes d'impact et de définir les actions à mener.

2.4.2. Classification des effets

Pour classer les impacts, il a été établi que l'échelle de temps est un facteur essentiel dans leur description (Hvitved-Jacobsen, 1985) (Harremoes, 1989) (Lijklema et al, 1989) (Mancini, 1989) (Chocat et al, 1993) (Ellis, 1989) (Valiron et al, 1992). Deux types d'impact ont été définis : les effets immédiats, à court terme ou effets de choc, et les effets retardés, à long terme ou effets cumulatifs.

2.4.2.1. Court terme

On parle d'effets immédiats, lorsque les effets sur le milieu naturel sont observés pendant une durée limitée. Il s'opère une modification brutale des caractéristiques du milieu mais les effets ne durent guère plus que le temps des apports. Les effets ne se font plus sentir lorsqu'un autre événement survient, car entre temps le milieu a récupéré son état initial. Les polluants qui provoquent ce type d'effet sont principalement les bactéries pathogènes pouvant contaminer des zones de baignade; les matières organiques biodégradables, entraînant des déficits en oxygène importants, assez importants pour causer la mort des poissons; les matières en suspension créant des zones de forte turbidité où la vie benthique est perturbée; des métaux lourds dont la toxicité aiguë peut entraîner des mortalités piscicoles...

2.4.2.2. Long terme

Les effets à long terme sont quant à eux caractérisés par une construction graduelle de concentration dans le milieu naturel, les effets se faisant sentir lorsqu'un seuil critique est atteint. Leur durée est largement supérieure à celle d'un événement pluvieux, et le milieu ne récupère pas son état initial entre deux rejets, il assiste à une lente dégradation de ces caractéristiques. Dans ce cas, un rejet pris individuellement est peu important pour l'évaluation de l'impact, c'est la répétition qui engendre la détérioration du milieu. Les principaux polluants pour lesquels on observe ce type d'effet sont les matières en suspension qui se déposent et s'accumulent dans les rivières provoquant envasement et colmatage; les nutriments qui entraînent l'eutrophisation des milieux; les métaux lourds et les hydrocarbures susceptibles de se concentrer tout au long de la chaîne alimentaire jusqu'à l'homme.

Un troisième type d'effet, à l'interface avec les deux précédents, peut être défini qui tient compte de la fréquence des événements et du caractère chronique des rejets. En effet, le milieu naturel est sensible non seulement aux quantités de polluants déversées mais également à la manière dont elles sont rejetées. Les tendances actuelles dans la gestion des réseaux est de préconiser des rejets limités et répétés lorsque cela ne peut être évité, à la place d'un déversement important unique. Or, il a été observé que des populations de poissons exposées longtemps à des déficits en oxygène modérés présentent les mêmes symptômes que des populations exposées à des déficits très importants atteints en peu de temps.

La figure 2.1 résume pour chacun des polluants identifiés dans les rejets urbains par temps de pluie, les échelles de temps sur lesquelles se font sentir leurs effets.

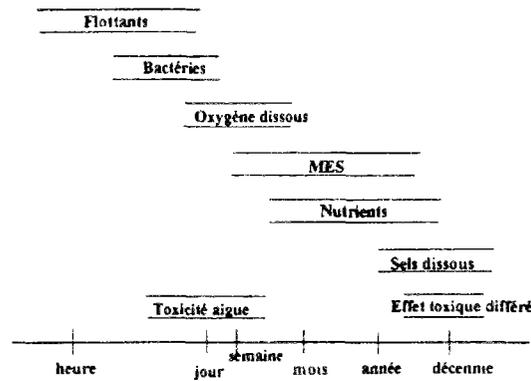


Figure 2.1 Echelles de temps concernant l'impact des polluants (tiré de (Hvitved-Jacobsen, 1985))

2.4.3. Méthode d'évaluation et objectif de qualité

Les définitions précédentes sont uniquement basées sur l'échelle de temps des phénomènes. Mais l'échelle d'espace est aussi un facteur important (Lijklema, 1989). Car, les effets d'un polluant ne se font pas sentir uniquement au point de rejet, mais sa dispersion peut intervenir sur une échelle d'espace plus ou moins grande, suivant les conditions hydrauliques et la nature du polluant.

Une fois définis les différents types d'impact, il faut définir des méthodes ou des techniques d'évaluation qui permettront de les représenter. Pour les effets de choc, on quantifie l'importance de l'impact par la masse totale rejetée. De plus, l'évaluation doit se faire uniquement à partir des événements les plus dommageables statistiquement (Harremoes, 1989). La concentration moyenne pendant l'événement, calculée sur une base de temps pratique pour l'évaluation des effets de choc, est également un bon indicateur (Mancini, 1989). Appliquée aux bactéries, la concentration au point de rejet dépend presque exclusivement de la masse déversée. De même, un déficit en oxygène est fortement relié à la masse de DBO déversée.

Pour les effets cumulatifs, seule l'intégration sur l'ensemble des événements d'une période peut rendre compte de l'importance de l'impact. La durée représentative est prise égale à une saison ou plus fréquemment à une année. L'influence d'un événement sur la masse annuelle est jugée faible, c'est pourquoi les valeurs moyennes par événement suffisent pour mener ce calcul (Mancini, 1989).

D'un point de vue pratique, pour protéger les milieux naturels, des objectifs de qualité de l'eau doivent être énoncés, puis des méthodes de calcul doivent être élaborées afin de déterminer si les rejets respectent

l'objectif fixé. Les critères existants en usage pour les eaux usées sont généralement simples. Il s'agit principalement de concentration moyenne qu'un effluent ne doit pas dépasser. La simplicité d'une telle méthode constitue un avantage pour la mise en pratique. Mais dans le cas des rejets urbains par temps de pluie, cela peut représenter un inconvénient. Une trop grande simplicité ne s'accorde pas avec la complexité évoquée plus haut. De plus, il est fort possible que malgré son respect continu, un tel critère ne préserve pas de la détérioration des caractéristiques du milieu. Car il faut qu'il y ait un lien étroit entre le critère, l'objectif de qualité et ce qui se passe réellement.

Les travaux sur l'oxygène sont plus nombreux et plus élaborés. Car les problèmes de teneur en oxygène sont depuis longtemps considérés comme les plus néfastes pour la vie dans les rivières. De plus, ils sont le résultat combiné des effets de nombreux polluants. Des travaux au Danemark (Hvitved, 1985) ont abouti à l'élaboration de critères relativement complexes. Ils ont été construits pour répondre à l'objectif de conserver en vie au moins la moitié d'une population de poissons. Les recommandations donnent alors les concentrations en oxygène minimales au dessous desquelles la concentration dans un rejet ne doit pas descendre, pendant une durée d'exposition de 1 heure ou de 12 heures, en fonction de la période de retour de l'événement pluvieux. Cette valeur minimale diminue lorsque la période de retour augmente, et augmente lorsque la durée d'exposition augmente. La figure 2.2 illustre ce critère pour des rivières à truite. Hvitved indique que ce genre de relation peut être recherchée pour n'importe quel polluant.

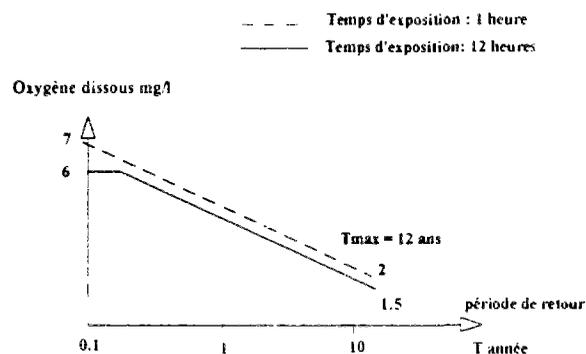


Figure 2.2 Norme sur l'oxygène dissous des rivières à truites, tiré de (Hvitved, 1985)

2.5. Moyens de dépollution

2.5.1. Présentation

Comme on l'a montré dans les chapitres précédents, l'objectif de l'assainissement des eaux pluviales a porté très longtemps uniquement sur leur évacuation hydraulique. Leur caractère polluant n'a été pris en compte que récemment. Dans la nouvelle loi sur l'eau de 1992, certaines précisions sont apportées concernant les eaux pluviales et leur dépollution.

Durant ces dernières années, le maintien de la qualité des eaux naturelles a été un souci croissant. Cela a conduit au développement d'un nombre important de méthodes pour parvenir à limiter les charges de pollution rejetées. Or, aucune de ces techniques n'est basée sur la construction d'une station d'épuration classique. Dans la littérature étrangère (Urbonas B., 1993) (Lawrence et al. 1993) (Stahre, 1993) (Driscoll et al. 1993) (Pratt, 1993) (Ellis, 1993) elles sont regroupées sous le terme de "Best Management Practices", qu'on peut traduire par les "meilleures techniques pour la gestion de l'eau". Parmi ces techniques, il est souvent fait une distinction entre les techniques structurelles et non structurelles. Les premières font appel à la construction d'ouvrages de traitement pour diminuer les rejets de polluant. Les autres techniques reposent sur l'amélioration du comportement individuel et sur la mise en place de programmes de gestion cohérents. Les objectifs principaux de toutes ces techniques sont:

- * la prévention: empêcher les polluants de se déposer sur les surfaces urbaines;
- * la limitation de l'entrée des polluants dans le réseaux: empêcher les polluants d'entrer en contact avec les précipitations et le ruissellement, limiter le ruissellement et diminuer le débit de pointe;
- * le traitement des effluents à l'entrée, le long du réseau et à l'aval: intercepter le ruissellement dans des ouvrages de traitement.

Ces objectifs permettent de classer les actions ou les ouvrages en trois catégories suivant l'endroit où ils interviennent par rapport au réseau d'assainissement:

- * à l'amont du réseau: avant que le ruissellement y pénètre;
- * le long du réseau: directement dans le réseau ou en dérivation;
- * à l'aval du réseau: à l'exutoire du réseau et dans le milieu récepteur.

2.5.2. Actions à l'amont du réseau

2.5.2.1. Technologies alternatives

Ces techniques regroupent un ensemble d'ouvrages pouvant être une alternative au tout-tuyau. Elles ont pour

objectif principal de limiter l'augmentation des volumes ruisselés sur les surfaces imperméables, et ainsi de diminuer les débits de pointe dans les réseaux. Elles seront installées le plus à l'amont des réseaux. Leur principe repose sur le stockage de l'eau ou son infiltration. Parmi les techniques disponibles on peut citer:

- * les toitures et les terrasses: elles permettent de stocker et de retenir quelques centimètres de pluie, qui sont restitués sur une période plus longue que la pluie, cela ralentit le ruissellement; leur efficacité de traitement est nul, car elles ne traitent rien et la pollution qu'elles reçoivent est fonction de la pollution atmosphérique, mais en diminuant les débits elle diminuent d'autant la pollution déversée;
- * les tranchées drainantes ou les tranchées d'infiltration: elles sont installées à l'aval de parcelles imperméabilisées; cela réduit le débit de pointe généré par les parcelles, car l'eau est stockée puis restituée dans le réseau à un débit limité pour les tranchées drainante, ou infiltrée;
- * les chaussées poreuses: les chaussées servent d'ouvrage de stockage; l'eau est introduite soit par leur surface grâce à des revêtements perméables, soit par des drains; la vidange s'effectue soit par le sol par infiltration, soit vers le réseau d'assainissement avec un débit limité; des études récentes montrent que leur impact sur la pollution est intéressant du fait du caractère particulière et de la bonne décantabilité des eaux de ruissellement.

2.5.2.2. Actions à mener sans ouvrage

Pour prévenir la pollution rejetée par les réseaux, une autre méthode consiste à empêcher que la pollution entre dans les collecteurs. Pour cela, on peut agir sur:

- * le nettoyage des chaussées: la pollution par temps de pluie provient en grande partie des particules déposées sur les surfaces, si des actions permettent d'enlever ces particules avant leur entrée dans le réseau, une bonne partie de la pollution sera traitée; pour cela, il faut une fréquence accrue des nettoyages, et des techniques qui allient balayage, aspiration et lavage, le nettoyage est particulièrement important sur des zones où les apports sont importants comme des rues plantées d'arbres, des artères à forte circulation, ou des places de marché;
- * le ramassage des ordures ménagères: en particulier pour améliorer l'étanchéité des conteneurs; il faut que le ramassage soit systématique à la fin des marchés;
- * l'utilisation de produits moins toxiques: revêtement de chaussées, produits de déneigeage et de déverglage, produits domestiques, promotion de l'essence sans plomb... ; en Suède (Stahre, 1993), des stations de collecte de produits chimiques ménagers ont été mises en place, de même que des itinéraires particuliers ont été établis pour les transports de produits toxiques.

2.5.3. Actions le long du réseau

La pollution par temps de pluie est véhiculée principalement par les particules solides. De plus, elles sont très

décantables. Voilà pourquoi, pour traiter les effluents, les ouvrages de décantation constituent des moyens très efficaces pour limiter la pollution rejetée. Ils sont de deux grands types:

- * des bassins de grande dimension qui permettent une décantation extensive;
- * des ouvrages compacts de type lamellaire ou centrifuge qui permettent une décantation au fil de l'eau.

2.5.3.1. Décantation extensive

Il existe déjà un certain nombre d'ouvrages de stockage sur les réseaux dont les objectifs étaient de limiter les apports pluvieux pour que les capacités des réseaux ne soient pas dépassées. Les bassins de retenue situés à l'amont des réseaux sont assez répandus en France. Ainsi, à cause du stockage plus ou moins prolongé des effluents, il a été constaté qu'ils assuraient également un rôle de dépollution.

Les méthodes de calcul initiales des capacités ne prenaient pas en compte l'aspect polluant. En effet, leurs dimensions visent à limiter le débit aval à quelques l/s/ha pour des pluies dont la période de retour et la durée sont fixées. L'objectif des ouvrages qu'on installe maintenant est de limiter les déversements plus à l'aval, tout en piégeant le maximum de pollution. Les problèmes auxquels il faut faire face sont l'importance et l'irrégularité des débits, le manque de place dans les villes, et les nuisances que les ouvrages génèrent, par exemple les odeurs. Un des paramètres qui gouverne leur dimensionnement est la vitesse de chute des particules. Suivant le type du réseau, Chebbo (Chebbo, 1992) donne les fourchettes suivantes:

- * pour les réseaux pluviaux: les vitesses médianes sont entre 5.5 et 9 m/h;
- * pour les réseaux unitaires: les vitesses médianes sont entre 3.7 et 11 m/h.

2.5.3.2. Décantation au fil de l'eau

Les ouvrages à décantation extensive représentent des volumes de stockage souvent très importants. Pour limiter ces volumes, des études ont été faites pour mettre au point des ouvrages plus compacts avec des efficacités de traitement équivalentes.

Le premier type d'ouvrage est le séparateur statique tourbillonnaire. Son principe est d'allonger, par un mouvement hélicoïdal, le chemin parcouru par les particules solides afin de faciliter leur décantation. Il a été testé initialement aux Etats Unis. Des tests en Seine Saint Denis ont abouti à des résultats assez décevants. En effet, des rendements inférieurs à 40% ont été obtenus sur les matières organiques. (Bertrand-Krajewski et al., 1994)

Le deuxième type d'ouvrage est le décanteur lamellaire. En France, ces ouvrages sont essentiellement étudiés par les constructeurs, car ils paraissent être les seuls à permettre de traiter des débits importants. Par rapport à la décantation extensive, et pour les mêmes débits, la décantation lamellaire permet de réduire

considérablement la taille des ouvrages et le temps de séjour. La méthode peut être améliorée par l'ajout de réactifs qui accélèrent la décantation. Dans l'article (Dastugne et al., 1993), les rendements obtenus sur 9 pluies valent entre 50 et 80% pour les MES, entre 30 et 55% pour la DCO.

2.5.3.3. Actions préventives

Tout au long du réseau, les bouches d'égouts et les regards de service, peuvent être utilisés pour limiter les entrées de polluants dans le réseau lui-même. Pour cela, ils sont équipés de grilles pour retenir les plus grosses particules, ou de fosses à décantation qui retiennent les sables. De plus, les bouches d'égout doivent être bien dimensionnées de manière à intercepter un débit convenable.

Dans les réseaux, il est possible d'utiliser au mieux les ouvrages de protection contre les dépôts qui utilisent la décantation, comme les dessableurs. Leur fonction est de mettre en dépôt les particules les plus grosses, dans des zones où le curage est facile. Pour des réseaux séparatifs, ces installations peuvent n'être prévues que pour les petites pluies, les grosses pluies sont court-circuitées pour éviter des remises en suspension. (Bachoc, 1992) et (Lin, 1992) montrent que les dessableurs n'ont pas l'efficacité qu'on peut en attendre, et que l'installation de piège à charriage est beaucoup plus efficace.

Il est bien connu que les réseaux séparatifs le sont rarement strictement. Ils véhiculent souvent des eaux par temps sec issues d'infiltration ou de mauvais branchements des eaux usées. Pour améliorer ces réseaux, il est donc fort recommandé de repérer ces branchements illégaux et de les éliminer.

2.5.4. Actions à l'aval du réseau

2.5.4.1. Stations d'épuration

La fonction des stations d'épuration est de traiter l'eau qui leur est amenée pour rejeter des eaux qui ne perturbent pas le milieu naturel. Cela est respecté par temps sec, mais beaucoup moins par temps de pluie. Les stations sont dimensionnées pour être capable de recevoir des débits de temps de pluie au plus égal à 3 fois le débit moyen de temps sec. De plus, les stations qui fonctionnent avec des boues activées (ce sont les plus nombreuses en France) sont perturbées par l'apport des eaux pluviales, cela se traduit par (tiré de Bertrand-Krajewski et al, 1994):

- * des pics de concentration de MES;
- * une légère baisse de rendement sur traitement de la pollution carbonée;
- * une forte baisse de la nitrification;
- * une chute de la dénitrification;
- * un stockage des boues dans le clarificateur.

Pour pouvoir utiliser au mieux les stations d'épuration par temps de pluie, il faut les dimensionner pour qu'elles répondent aux exigences de temps de pluie, et savoir quelle est la part des eaux pluviales qu'elles doivent traiter.

2.5.4.2. Actions sur le milieu récepteur

Le milieu récepteur est gravement perturbé par les rejets urbains de temps de pluie, car il est très vulnérable. Si on réduit les masses de pollution rejetées, on diminuera les risques d'impacts à long terme liés à l'accumulation de toxiques. Le milieu est particulièrement sensible aux effets de choc provoqués essentiellement par des déficits en oxygène. Pour diminuer ces déficits, différentes stratégies peuvent être adoptées (Bertrand-Krajewski et al. 1994) (Lawrence, 1993):

- * diminuer les demandes instantanées en oxygène, en diminuant les rejets polluants, et donc adopter les solutions présentées précédemment;
- * augmenter la quantité d'oxygène dissous disponible dans le milieu; cela peut être fait de manière mécanique (agitation, insufflation d'oxygène comme cela est fait sur la Seine (Krier, 1994) ou injection d'eau sursaturée) ou hydraulique (soutien des étiages, barrages);
- * réduire la conséquence des effets de choc sur la faune en créant des zones protégées.

2.5.5. Conclusions

Après cette revue des techniques disponibles pour diminuer les rejets, on constate que la majorité d'entre elles répondent à l'objectif: diminuer le débit pour diminuer les rejets, et par voie de conséquence les masses de polluants rejetées. Les efficacités de traitement d'un grand nombre de ces ouvrages sont assez mal connues. Le tableau 2.12 présente les efficacités relevées dans la littérature. Urbonas (Urbonas, 1993) fait la synthèse des efficacités obtenues sur certains ouvrages en fonctionnement aux Etats Unis comme les chaussées poreuses, les tranchées infiltrantes, les bassins de retenue, les bassins de lagunage et les filtres à sable. A ces chiffres sont ajoutées quelques autres références:

- * (Stahre, 1993): sur un bassin de lagunage de Malmö, en 1992 la masse annuelle d'azote totale est retenue à 35% et la masse annuelle de phosphore à 31%;
- * (Sztruhar et al. 1993): sur un parking à chaussée perméable, l'huile est retenue à la surface à 98%;
- * (Balades et al. 1993): dans une structure perméable installée sur un parking, sur la couche inférieure la concentration ne dépasse pas 16 mg/l pour les MES, 30 mg/l pour la DCO, 10µg/l pour le plomb, 35 µg/l pour le zinc;
- * (Legret et al. 1993): sous une chaussée perméable, des prélèvements sont effectués à différentes profondeurs, après 5 ans d'utilisation, la présence de métaux est observée dans la surface perméable mais pas dans le sol au dessus.

Type d'ouvrage	MES	Phosphore	Azote	Zinc	Plomb	DBO	Bactéries
Chaussée poreuse	85-95	65	75-85	98	80	80	
Infiltration	0-99	0-75	0-70	0-99	0-99	0-90	75-98
Bassin de retenue	0-91	0-79	0-80	0-71	9-95	0-69	
Bassin de stockage	50-70	10-20	10-20	30-60	75-90		50-90
Lagunage	40-94	0-90	21	82	27-94	18	
Filtre à sable	60-80	60-80	0	10-80	60-80	60-80	

Tableau 2.12 : Pourcentage d'abattement de la pollution sur différents ouvrages aux Etats Unis (Urbanas, 1993)

L'énumération de toutes ces techniques peut paraître anecdotique. Elles ne doivent être que le support d'une approche globale de la gestion de l'eau. Toutes les nouvelles directives vont dans ce sens: directive européenne, nouvelle loi sur l'eau de 1992. L'amélioration de l'état des milieux récepteurs passe par cette approche globale qui permet de faire le lien entre les milieux urbains et les milieux récepteurs. Les domaines qu'il faut approfondir pour améliorer la protection des milieux récepteurs concernent l'amélioration des connaissances sur les impacts des rejets, et la définition des objectifs de qualité, tout cela en considérant l'ensemble des rejets dans leur globalité.

Chapitre 3

Description de la base de données et de son contenu

3.1. Structure de la base de données

3.1.1. Présentation de la base de données

3.1.1.1. Originalité

Il n'existe pas de base de données en France, relative à la qualité des rejets urbains par temps de pluie. Par contre, d'autres types de banque ou de base existent. A un premier niveau d'information, il existe une base de données sur des bassins de recherche européens qui a ensuite été étendue à des bassins euro-méditerranéens. "the Euro-mediterranean Research Basins database". Elle rassemble des informations sur les bassins (nom, localisation...), sur les objectifs des recherches qui y sont entreprises, sur la pluviométrie moyenne annuelle. Cette base a pour objectif de faire la liste les bassins de recherche, et non de représenter les données qui y sont récoltées. (Mombers, 1990)

Ensuite, à un niveau plus fin de données, des bases de type pluviométrique ou hydrologique ont été mises au point. Les bases pluviométriques rassemblent des informations sur des séries d'averses (hauteur de pluie, intensité...) enregistrées en un point de mesure relié à un bassin versant particulier, ou même sans rapport avec un bassin quelconque, elles fournissent aussi des observations sur le vent ou la durée de temps sec. Les informations sur les pluies peuvent être des informations instantanées, à pas de temps fixe ou variable, ou des valeurs moyennes journalières. Parmi ce type d'outil, il existe la base de la Météorologie Nationale ou la banque PLUVIOM de l'ORSTOM. Pour les bases hydrologiques, les données concernent à la fois les pluies (hauteur de pluie, intensité) et les débits. Sur des bassins versants, sont représentés des couples pluie-débit, le débit étant mesuré à l'exutoire du bassin. Entrent dans cette catégorie la banque HYDROM de l'ORSTOM, la banque HYDRO du Ministère de l'Environnement ou le logiciel BANQ du CEMAGREF (Leviandier, 1991). Aucun des outils cités ne prend en compte la qualité de l'eau, leur objectif est

principalement de représenter les relations pluie-débit sur des bassins de toute nature, ruraux ou urbains.

Aux Etats Unis, une banque de données a été mise au point sous l'influence de l'"U.S. Geological Survey" (USGS) et de l'"U.S. Environmental Protection Agency" (USEPA) afin de rassembler les mesures disponibles à travers le pays. Au total, la banque compte 2813 événements pluvieux sur 173 bassins urbains dans 30 agglomérations. Elle a permis à l'USGS d'estimer par des modèles de régression des masses de polluant, des concentrations moyennes et des volumes, à partir des caractéristiques des bassins versants et des caractéristiques climatiques (Driver 1990). Mais les résultats obtenus apparaissent difficilement transposables à des sites français.

En Grande Bretagne, le développement du modèle de qualité en réseau, MOSQUITO, a mis en évidence l'importance de la fiabilité des mesures pour pouvoir tester et valider ce modèle. Ainsi donc, les données disponibles pendant le développement du modèle ont été rassemblées et critiquées. Il s'est avéré nécessaire de prévoir des programmes de mesure afin de compléter le premier jeu de données. Néanmoins, la base de données ainsi formée apparaît assez disparate, tant du point de vue des méthodes de mesure et d'analyse, que du point de vue des types de mesure effectuée (mesures sur des avaloirs comme dans les réseaux) (Osborne et al. 1990)

Dans d'autres pays, de nombreuses études ont été menées à partir de campagne de mesures de plus ou moins longue durée. Mais aucune n'a eu pour objectif principal de rassembler les mesures sur un même support. Ainsi, en Allemagne, plusieurs laboratoires possèdent des mesures, en continu ou non, sur de longues périodes. On peut citer une campagne de 5 ans sur un bassin unitaire de Munich-Harlaching, où des pluies et les écoulements résultants ont été analysés en continu (Geiger, 1984). Mais d'autres sites ont été équipés de manière similaire (Uhl, 1990). Il faut toutefois signaler que les objectifs de ces campagnes ne correspondent pas nécessairement aux objectifs que nous nous sommes fixés avec la base de données, à savoir caractériser la qualité des rejets d'un réseau par temps de pluie à l'exutoire d'un bassin versant urbain. Certaines des campagnes sont plus précisément orientées vers l'étude des dépôts dans les collecteurs ou vers les solides transportés. En Belgique, une station de mesure en continu est installée sur le collecteur unitaire de Bruxelles (Verbank, 1989). En Suède, en vue d'obtenir des données fiables sur la qualité des rejets urbains, des sites ont été équipés d'échantillonneurs fonctionnant en continu (Malmqvist, 1986).

En France, une base de données s'avérait nécessaire pour rassembler des mesures existantes issues de campagne de longue durée, sur des bassins versants différents. La récupération des données ne s'est pas faite sans problème (données incomplètes ou perdues), ce qui nous porte à croire que sans notre effort elles seraient tombées dans l'oubli ou devenues irrémédiablement inutilisables. D'ailleurs la mise au point de la base, la récupération des données, leur mise en forme, puis la recherche des données complémentaires sur la pluviométrie de certains sites, ont pris plus de 2 ans.

L'intérêt porté par les organismes détenteurs ou financeurs de données a été évident. C'est d'ailleurs pourquoi l'agence de l'eau Seine-Normandie est devenu l'un des financeurs de la base de données pour 50%, le reste étant assuré par le CERGRENE.

3.1.1.2. Intérêt d'une base de données

Avant le développement de la base, une maquette a été constituée sur un tableur avec les données des 4 bassins versants expérimentaux Maurepas, Ullis-Nord, Aix-Zup et Aix-Nord. Ces données proviennent de la campagne de mesure nationale française de 1982. Elles sont fiables, de bonne qualité et sans grosse lacune, c'est-à-dire que tous les hyétogrammes et tous les hydrogrammes de la période de mesure ont été dépouillés (sauf panne). Par conséquent, la quantité d'information à manipuler était assez importante (de 3000 à 4000 lignes pour les fichiers contenant les hyétogrammes ou les hydrogrammes). Leur manipulation sur le tableur en a rapidement montré ses limites.

La base permet de manipuler et d'accéder à un nombre important de données. Sur un tableur, les mêmes données que celles présentes actuellement dans la base, soit celles de 25 bassins versants, demanderaient pour chacun d'eux 6 fichiers au minimum, pour les pluies, les hyétogrammes, les débits, les hydrogrammes, la qualité moyenne par événement, et les pollutogrammes; soit 150 fichiers au total. Il serait difficile de descendre au dessous de 100. En effet, même si pour quelques sites les fichiers contenant les hyétogrammes et les hydrogrammes pourraient être rassemblés du fait de leur petite taille. Pour d'autres au contraire, les hyétogrammes nécessiteraient plusieurs fichiers pour utiliser au mieux les capacités du tableur, qui au-dessus d'un certain nombre de lignes devient très lent. Alors qu'avec une base de données, il est possible de rassembler dans un même fichier plusieurs dizaines de milliers d'informations sans avoir à les scinder.

On aurait pu envisager de programmer les exploitations présentes dans la base de manière plus "classique" à partir de fichiers ASCII et avec un langage structuré comme le Pascal ou le C. Mais les langages de base de données possèdent des fonctions très puissantes d'édition de menus et de parcours des données, qui facilitent leur manipulation. Elles permettent une visualisation, avec des tris ou des classements préalables, de manière très conviviale et uniquement à partir de quelques fonctions fondamentales du langage.

De plus, pour une exploitation à faire sur un tableur, il faut manipuler autant de fois qu'on a de jeux de données à exploiter. Avec un système de gestion de base de données, la programmation de l'exploitation est faite une seule fois, on peut introduire autant de jeux de données supplémentaires souhaités sans avoir à recommencer une quelconque programmation pour obtenir le résultat. Cela a pour conséquence qu'une base n'est pas interactive en dehors des exploitations prévues. C'est-à-dire qu'il est impossible de faire des traitements non prévus au moment de son développement. Mais à partir du moment où une attention toute particulière a été portée sur les types de données et leur organisation, il est toujours possible de compléter

les traitements existant s'ils ne répondent pas à une question précise. Il faut donc considérer la base de données actuelle comme un exemple des exploitations possibles. Les traitements existants permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs, mais ne répondent pas nécessairement à toutes les questions en suspens dans le domaine.

3.1.1.3.Clipper-Nantucket: le système de gestion choisi

Dans le projet initial, la base de données devait être développée avec le système ARES. Mais à l'issue de l'analyse fonctionnelle, les possibilités offertes par ce logiciel ne paraissaient pas suffisamment adaptées à la base de données que nous projetions de développer (nombreuses tables, volume de données important, large part de graphiques). Nous nous sommes donc intéressés à ce qui existait sur le marché comme système de gestion relationnel. En l'état actuel, l'éventail des produits proposés est très large. Il y en a pour tous les types de machines : micros, mini, et gros systèmes. Ceux qui nous intéressaient étaient des systèmes relationnels fonctionnant sur micro ordinateur avec le système d'exploitation MS-DOS.

Finalement notre choix s'est porté sur Clipper-Nantucket, logiciel déjà utilisé à l'agence de l'eau Seine-Normandie. CLIPPER s'est avéré tout-à-fait adapté à nos objectifs. Les principales caractéristiques qui nous l'ont fait retenir sont:

- * une aptitude au relationnel sans faille permettant de travailler facilement avec plusieurs fichiers;
- * une puissance et une rapidité suffisante pour manipuler de gros volumes de données;
- * permettre tout ou presque tout en matière de développement;
- * un apprentissage aisé pour des personnes ayant déjà fait de la programmation.

De plus, il s'agit d'un langage de programmation qui, grâce à un compilateur crée des fichiers exécutables qui lancés à partir du système d'exploitation MS-DOS exécuteront les opérations écrites dans le programme source. Cette manière de procéder permet une vitesse d'exécution rapide. De plus, les modèles compilés sont beaucoup plus adaptés au développement d'application car l'architecture ouverte comme celle de Nantucket permet une meilleure organisation des applications, une combinaison de programmes écrits dans des langages différents, et il permet d'exporter les données de manière à les utiliser sur d'autres logiciels. Il donne la possibilité de créer et d'appeler de nouvelles fonctions et par conséquent de faire tout, ou à peu près tout, ce qu'on peut imaginer.

De plus, la bibliothèque graphique DGE, compatible avec CLIPPER, offre plus de 90 fonctions, graphiques ou statistiques, de haute résolution. Avec Clipper-Nantucket, on a aussi accès à un utilitaire appelé DBU. Ecrit en Nantucket, cet exécutable permet de manière interactive, de construire des fichiers, d'y ajouter des données, de les parcourir et de créer des fichiers d'index qui permettent un accès plus rapide aux données.

3.1.2. Les types de données nécessaires aux études

Pour une description plus précise des données et de leur format, il faut se référer au document (Saget et al. 1993a). Dans ce paragraphe, il s'agit uniquement de montrer les données qui ont été choisies pour figurer dans la base de manière à couvrir le domaine d'étude. Notre objectif est d'étudier des suites de rejets par temps de pluie à l'exutoire de bassins versants urbains. Par conséquent, les données dont nous avons besoin concernent:

- * le site où les mesures sont faites;
- * la campagne de mesure faite sur le site:
 - * les appareils de mesure;
 - * la répartition des surfaces entre les différents types d'occupation du sol au moment de la campagne: habitat collectif ou individuelle, commerces, industries, voies de circulation;
 - * des caractéristiques générales du site au moment de la campagne: surface drainée au point de mesure, temps de concentration, imperméabilisation, pente moyenne, nombre d'habitants;
- * les événements pluvieux pour lesquels des mesures ont été recueillies:
 - * sur les pluies: hauteur totale précipitée, durée de la pluie, intensités moyennes maximales sur différents intervalles de temps (temps de concentration, 5 mn, 15 mn), hyétochrome;
 - * sur les écoulements: volume total écoulé, durée de l'écoulement, débit moyen, débit de pointe, hydrogramme;
 - * sur la qualité des écoulements: concentration moyenne par événement, flux moyen, masse totale produite, pollutochrome.

A ces mesures fondamentales peuvent se joindre d'autres mesures:

- * par temps sec, afin d'estimer la part des eaux usées sur la pollution rejetée par temps de pluie, elles sont effectuées en général sur une période de 24 heures de manière continue et comprennent des hydrogrammes et les pollutochromes correspondants;
- * sur les solides présents dans les réseaux, on ajoute alors à la définition de l'événement des courbes granulométriques, de vitesse de chute ou de densité.

Types de données	Définition		
Données structurelles	occupation du sol: habitat collectif, habitat individuel, commerces, industries...		
	caractéristiques générales: surface drainée, temps de concentration, imperméabilisation, pente moyenne, nombre d'habitants		
	appareils de mesure		
Caractéristiques des événements pluvieux:	Pluie	Ecoulement	Qualité
données totales et moyennes	hauteur précipitée, intensité	volume écoulé, débit moyen	masse produite, concentration moyenne
variations en cours d'événement	hyétogramme	hydrogramme	pollutogramme
Caractéristiques supplémentaires	Temps sec: hydrogrammes et pollutogrammes		
	Caractéristiques des solides: granulométrie, vitesse de chute et densité		

Tableau 3.1: Les données de la base

3.1.3. Les exploitations programmées

Ce paragraphe présente brièvement les exploitations programmées autour de la base de données. Il s'intéresse surtout aux objectifs qu'elles se proposent d'atteindre. Pour une description plus détaillée (enchaînement des écrans), il faut se référer au document (Saget et al. 1993b).

3.1.3.1. Principes généraux de fonctionnement

Les visualisations et les exploitations programmées dans la base de données ont été choisies pour répondre à un certain nombre de questions. Elles sont organisées sur deux niveaux: une campagne ou la comparaison de plusieurs campagnes. Un module supplémentaire permet de sélectionner les données sur lesquelles on désire travailler. Ainsi, à l'entrée de la base de données, le choix est le suivant:

Sélection:	Exploitations sur une campagne:	Comparaisons sur plusieurs campagnes:
d'une campagne d'un groupe de campagnes d'un groupe d'événements	Caractéristiques de chaque événement Visualisation de l'ensemble des pluies, des volumes ou des masses Répartition des masses parmi les 10 plus grandes Position des pointes des pollutogrammes par rapport au débit de pointe Répartition des masses en fonction du volume écoulé Relations entre caractéristiques des pluies et qualité des effluents Caractéristiques des solides Caractéristiques de temps sec Volumes et débits à traiter	des événements pour lesquels le volume, le débit de pointe, la concentration moyenne ou la masse sont les plus grands des masses annuelles et des concentrations moyennes des positions des pointes des hydrogrammes et des pollutogrammes des répartitions de la masse en fonction du volume des volumes et des débits à traiter

Tableau 3.2: Exploitations de la base de données

Le premier module qui concerne la sélection des données constitue une étape préalable à toute exploitation. Il utilise pleinement les capacités du système de gestion choisi et il permet à la base d'être optimale sur les fonctions de sélection, de tri et de classement. Le choix d'un système relationnel est donc totalement légitime ici, car il permet de mettre en relation n'importe quelle donnée de la base avec toute autre donnée. Il autorise donc de mettre en place des critères de sélection aussi différents qu'on le souhaite. On sélectionne les campagnes d'après la surface des sites, leur imperméabilisation ou le type du réseau d'assainissement. On sélectionne les événements d'après la hauteur de pluie, l'intensité maximale sur 5 mn, le volume écoulé, le débit de pointe, la masse produite d'un polluant donné ou sa concentration moyenne...

Concernant les rubriques des deux autres modules, il faut distinguer celles qui permettent de visualiser les données sans traitement particulier et celles qui effectuent des tris ou des calculs avant de les visualiser. Les rubriques qui ne contiennent aucun traitement particulier se trouvent parmi les exploitations sur une campagne. Il s'agit de la visualisation des caractéristiques de chaque événement, de l'ensemble des pluies, des volumes ou des masses, la visualisation des caractéristiques des solides et des relevés de temps sec.

3.1.3.2. Objectifs des exploitations

La construction de la base de données a pour premier objectif de rassembler sur un même support les données existantes en France sur la pollution rejetée par temps de pluie. Leur récupération souvent difficile a clairement démontré que sans notre effort elles auraient été très vite inutilisables. Or ces données sont essentielles, de par leur variété et leur nombre, pour espérer obtenir le maximum d'informations sur la production de la pollution en France.

Actuellement, les connaissances disponibles dans le domaine ne permettent pas de prévoir les masses qui vont être déversées à l'exutoire d'un bassin versant, à l'issue d'un épisode pluvieux. Les phénomènes en jeu sont tellement complexes qu'il est illusoire de vouloir résoudre exactement ce problème. Néanmoins, des indications sur les quantités déversées et sur les facteurs explicatifs constituent des éléments simples essentiels pour approfondir les connaissances. Voilà pourquoi une partie des rubriques de la base a pour objectif de visualiser les quantités produites pendant les campagnes de mesure et de les comparer aux caractéristiques des pluies ou aux caractéristiques des sites afin d'en tirer des facteurs explicatifs. Les échelles de temps sur lesquelles les masses sont calculées sont définies en fonction des effets négatifs enregistrés par le milieu récepteur. Pour les effets à long terme, nous calculons des masses annuelles. Pour les effets à court terme, nous nous intéressons aux masses rejetées par les événements et plus particulièrement par les événements les plus pollués.

Pour traiter des effluents, on trouve dans des documents la description de stratégies qui préconisent la mise en place d'ouvrages dont les dimensions ne permettent d'intercepter qu'une fraction des écoulements. Il faut vérifier si ces ouvrages ont un réel effet sur la diminution des masses rejetées. Pour cela, on s'intéresse à la répartition de la pollution en cours d'événement. Une rubrique présente pour chaque campagne les événements dont les pointes de concentration interviennent avant ou après les pointes de débit. Une autre rubrique permet de voir comment est répartie la masse en fonction du volume, afin de savoir dans quelle fraction du volume se trouve la tranche la plus polluée de l'écoulement. Des comparaisons entre les sites sont menées pour chaque exploitation afin de connaître l'influence de leurs caractéristiques sur les différents résultats.

Enfin, il existe actuellement une grande volonté de protéger les milieux naturels, et de nombreuses initiatives sont prises pour construire des ouvrages sur les réseaux. Mais, il faut savoir dans quelle mesure ces ouvrages permettent ou permettront de réduire les masses déversées. Voilà pourquoi dans la base, il existe des rubriques sur les volumes et les débits à traiter qui donnent la masse interceptée par des ouvrages dimensionnés par leur volume ou leur débit de traitement. La comparaison sur les différents sites donnera des fourchettes de valeurs auxquelles on pourra se référer.

Dans le tableau 3.3, les quatre principaux objectifs des rubriques de la base sont présentés. Les résultats qu'on peut obtenir à partir des données de la base sont détaillés dans les chapitres 5 et 6. Ils sont regroupés en fonction des objectifs soulignés ici. Le chapitre 5 concerne les quantités rejetées à l'échelle annuelle et à l'échelle des événements (l'ensemble des événements puis seulement les plus pollués), la répartition dans le temps des masses rejetées et à chaque étape des mises en relation sont faites soit avec les caractéristiques des sites, soit avec celles des événements pour tenter d'expliquer les variabilités des résultats. Le chapitre 6 concerne les dimensions des ouvrages.

Rubriques de la base	Objectif d'amélioration des connaissances dans:			
	Quantités rejetées	Facteurs explicatifs	Répartitions des masses dans le temps	Dimensions des ouvrages
Masses annuelles et concentrations moyennes sur plusieurs sites	X	X		
Volumes, débits, concentrations ou masses les plus grandes sur plusieurs sites	X	X		
Répartition des masses parmi les 10 plus grandes sur un site	X	X	X	
Position des pointes de concentration et de débit, sur un site et sur plusieurs		X	X	
Répartition des masses en fonction du volume sur un site et sur plusieurs		X	X	
Relations entre caractéristiques des pluies et qualité des effluents sur un site		X		
Volumes et débits à traiter sur un site et comparaison sur plusieurs sites		X		X

Tableau 3 3: Objectifs des différentes rubriques de la base de données

3.2. Contenu de la base de données

3.2.1. Description des sites

3.2.1.1. Critères de sélection des sites

Pour déterminer quelles campagnes de mesure nous allons retenir afin d'effectuer les études envisagées, il a fallu au préalable établir sur quels critères les choisir. Ces critères doivent permettre de répondre aux questions: où et quand les campagnes doivent avoir lieu, quelles informations doivent être disponibles, combien de temps doivent durer les campagnes. Les réponses sont fournies par les objectifs de connaissance à atteindre dans le domaine sur la pollution apportée par temps de pluie par le réseau d'assainissement à l'exutoire d'un bassin versant urbain pour différentes échelles de temps.

Où ? Les bassins agricoles sont exclus du domaine de recherche. Un bassin prend le qualificatif "urbain" lorsque son coefficient d'imperméabilisation dépasse 20%. Des mesures faites à l'exutoire d'un bassin versant assurent que la pollution mesurée provient de sa surface exclusivement dans le cas d'un réseau séparatif, et augmentée des eaux usées s'il s'agit d'un réseau unitaire. Dans ce cas, on peut comparer les sites et étudier l'influence de leurs caractéristiques sur la pollution rejetée. En pratique, pour certains sites utilisés, le réseau d'assainissement est tellement complexe qu'il est difficile de déterminer d'où proviennent exactement les eaux écoulées au point de mesure

Quand ? Les mesures doivent porter sur des séries d'événements pluvieux et non pas seulement sur les épisodes de temps sec. L'objectif est la caractérisation de la pollution des eaux pluviales.

Quelles mesures ? Il s'agit de mesures de qualité des rejets de temps de pluie. Les polluants identifiés dans les eaux pluviales comme les plus importants sont les MES, la DCO, la DBO5, les métaux (Plomb, cadmium, zinc) et les hydrocarbures. La liste des polluants mesurés diffère d'une campagne à une autre. C'est ainsi qu'une quarantaine de polluants ont été recensés sur l'ensemble des campagnes de la base. On y trouve l'azote Kjeldhal, l'azote ammoniacal, les nitrates, le phosphore, les orthophosphates, les MES, la DCO et la DBO5 après décantation de 2h, et le carbone organique total. Mais les MES, la DCO et la DBO5 sont les 3 polluants qui figurent sur toutes les campagnes. D'autre part, la pollution peut s'exprimer en terme de concentration, c'est d'ailleurs ce qui est mesuré, mais également en terme de masse. En effet, les critères d'impact sur les milieux récepteurs font très souvent référence aux masses qu'ils reçoivent en provenance d'un bassin. Pour passer de la concentration à la masse, le volume est nécessaire. Par conséquent, en même temps que les concentrations, les débits doivent être mesurés pour obtenir les volumes par intégration des mesures. De plus, la caractérisation de la pollution nécessite la connaissance de la pluie. Il faut donc ajouter les mesures de hauteur de pluie.

Combien de temps ? Afin de caractériser la pollution de temps de pluie nous voulons évaluer les masses rejetées tant sur de longues périodes comme l'année, que sur des périodes courtes comme la durée de l'événement pluvieux, pour connaître la répartition de la charge dans l'écoulement. Ces deux échelles de temps nous sont dictées par la connaissance que nous avons actuellement sur les impacts négatifs subis par les milieux récepteurs. Ceux-ci sont sensibles non seulement à une pollution importante de courte durée, on parle d'effet de choc, mais ils sont également sensibles à une pollution qui se répète et additionne ses effets, on parle alors d'effet cumulatif et d'effet de stress. Pour appréhender la pollution apportée sur l'année, la méthode la plus précise consisterait à échantillonner tous les événements pluvieux d'une année, puis à additionner les masses calculées pour chacun d'eux afin d'obtenir une masse annuelle. Hélas le coût trop élevé des campagnes de mesure réduit très souvent la durée des mesures à quelques mois, ou à quelques analyses sur l'année. Pour intégrer une campagne de mesures nous avons fixé la durée minimale à 6 mois. Cette période doit comporter le moins de trous possibles. Si cette durée minimale n'est pas respectée, le nombre minimal d'événements successifs échantillonnés a été fixé à 10. Ces valeurs minimales doivent permettre d'extrapoler par des méthodes statistiques, pour les événements manquants les charges rejetées. Car il faut que le nombre de mesures soit suffisamment représentatif pour établir des relations statistiques fiables.

Quelle précision ? D'autre part, l'une des questions importantes aujourd'hui dans le cadre du traitement des effluents concerne la répartition de la pollution à l'intérieur de l'événement. En effet, si la pollution est concentrée au début de l'écoulement, de petits ouvrages suffiront à intercepter la plus grande part de la pollution. Sinon, les ouvrages seront quasiment inefficaces, et il faudra en concevoir de plus grands beaucoup plus chers. Pour pouvoir connaître cette répartition fine de la pollution, il faut des mesures de concentrations au cours des écoulements. Mais là aussi, le coût des analyses a souvent limité le nombre des pollutogrammes à moins de 10 par campagne.

En résumé, nous retiendrons qu'une campagne pour être choisie, doit respecter les points suivants :

- * mesures à l'exutoire d'un bassin urbain;
- * au minimum, 6 mois de mesure en continu (concentration moyenne par événement ou pollutogramme), ou 10 événements pluvieux successifs échantillonnés complètement (hyétogrammes, hydrogrammes et pollutogrammes);
- * mesures simultanées des pluies, des écoulements dans le réseau et de la qualité de ces rejets.

3.2.1.2. Caractéristiques générales

Les campagnes de mesures sur la qualité par temps de pluie dans des réseaux en France sont assez nombreuses. Hélas, toutes ne répondent pas aux objectifs fixés. La description de ce paragraphe porte uniquement sur les sites qui répondent à nos objectifs et que nous avons utilisés par la suite. Pour en avoir une description complète, ainsi que des sites non retenus, il faut consulter le document (Saget et al. 1993c).

Les sites que nous utilisons sont au nombre de 17. Le panel qu'ils représentent pour effectuer des comparaisons d'un site à un autre est donc tout à fait conséquent, même s'il est exclu d'en tirer des lois statistiques.

Le tableau 3.4 donne une description globale de chacun des sites retenus. La répartition par type de réseau donne un peu plus de sites séparatifs qu'unitaires. Pour les sites séparatifs, on dispose des surfaces de tous, alors que pour les sites unitaires, on ne dispose d'information complète que sur le site de Mantes. Pour chacun des groupes, la surface des sites est variable, de quelques dizaines d'hectares à quelques milliers. Les taux d'imperméabilisation sont aussi très représentatifs, ils varient entre 20% et plus de 50%. Cela représente des surfaces imperméables variant entre 16 ha et environ 100 ha.

Les sites retenus se situent en région parisienne, exception faite de Aix Zup et Aix Nord. Les particularités les plus importantes que signalent les rapports de chaque campagne sont les suivantes:

- * sur Aix Nord, l'analyse des mesures hydrauliques a montré quelques anomalies qui n'ont pu être élucidées (pertes sur le bassin ou mauvais appareillage);
- * sur Ulis Sud, une zone agricole avoisinante apporte pour certaines pluies des volumes non négligeables;
- * le site des Ulis Nord était initialement qualifié de séparatif strict, mais les mesures d'écoulement ont montré la présence de quelques eaux usées par temps sec, c'est pourquoi il a été classé parmi les sites séparatifs pollués;
- * le site de Baudile a été qualifié de mixte, car sur une partie du bassin le réseau est unitaire et séparatif sur l'autre;
- * les sites de la Briche sont des sites dont les réseaux sont mal connus, maillés et sur lesquels sont installés des ouvrages de régulation dont les périodes de fonctionnement sont mal connues, les surfaces actives moyennes calculées au chapitre 4 varient pour ces sites entre 470 ha et 4600 ha.

Les remarques principales sur les caractéristiques des sites sont les suivantes:

- * il y a une prédominance des petits bassins;
- * il n'y a pas de petits sites unitaires, ni de grands sites séparatifs.

L'avantage des petits sites est que leur taille permet une meilleure connaissance du réseau et de ce qui se passe à la surface. Ces remarques devront toujours être présentes à l'esprit dans toutes les comparaisons qui tenteront de trouver des facteurs explicatifs aux variabilités parmi les caractéristiques des sites.

Site	Durée mois	Date de début	Surface ha	Temps de concentr. mn	Imperm. %	Densité de pop. hab/ha	Pente moy ‰
Sites séparatifs							
Aix Zup	16	01/10/80	25,6	20	78	100	29
Aix Nord	16	01/10/80	92	45	35	40	65
Maurepas	16	01/09/80	26,7	30	60	100	5
Vélizy	12	01/09/74	53,2	20	54	94	
Centre Urbain	13	11/04/81	226	40	24		
Ulis Sud	12	01/01/78	69,1	35	41		57
Malnoue	13	16/03/81	185	40	35	58	7
Sites séparatifs pollués							
Ulis Nord	12	01/12/81	43,1	45	42	350	5,5
Grammont	11	17/03/81	144	20	25	74	15
Chesnay	11	16/04/81	560	70	19	96	30
Site mixte							
Baudile	11	16/03/81	1145	60	30	44	4
Sites unitaires							
Mantes	11	26/07/78	72	15	39	67	32
La Briche DD11	14	01/04/83					
La Briche D11	14	01/04/83					
La Briche PHI	14	01/04/83					
La Briche Enghien	14	01/04/83					
La Briche PLB	14	01/04/83					

Tableau 3.4: Caractéristiques générales des sites de mesures

3.2.2. Description des appareils de mesure

En annexe, on trouvera la description détaillée des appareils de mesure.

3.2.2.1. Mesure de la pluie

En général pendant ces campagnes de mesures, les données sur les pluies proviennent d'un pluviomètre installé sur le site d'étude. Pour des bassins versants de taille restreinte (100 ha), un seul appareil fournit des informations jugées suffisamment représentatives des précipitations qui s'y déroulent. Par contre, sur des bassins de taille plus importante, la représentativité d'un appareil est plus difficile à assurer, c'est pourquoi sur les sites de Baudile, Chesnay et la Briche PLB, les données de plusieurs appareils ont été récupérées afin de les comparer, et de retenir celles qui donnent le plus d'informations.

3.2.2.2. Mesure du débit

Les chaînes de mesure installées dans les collecteurs pour obtenir les débits écoulés par temps de pluie sont variables d'un site à un autre. Mais les sites de mesure, c'est-à-dire les réseaux d'assainissement, n'autorisent que deux types de méthode:

- * mesurer la hauteur de l'écoulement, puis utiliser une section de contrôle étalonnée ou obtenir une courbe de tarage sur la section de mesure par l'utilisation d'une formule;
- * mesurer simultanément la hauteur de l'écoulement et sa vitesse, puis en déduire le débit grâce à la vitesse moyenne et à la section mouillée.

3.2.2.3. Mesure de la qualité

L'échantillonnage des effluents est différent d'un site à un autre mais suit tout de même quelques règles générales. En début de chaîne, il y a un module d'asservissement au débitmètre ainsi qu'un temporisateur. Les échantillonneurs sont asservis au débitmètre pour déclencher les prélèvements à partir d'un seuil de hauteur, et pour repérer les temps sur les échantillons. De plus, certains prélèvements se font à pas de temps constant, même si ensuite les échantillons sont parfois reconstitués par pondération par le volume écoulé. Les autres prélèvements sont faits à pas de volume constant. Les préleveurs sont en général au nombre de deux. Le premier sert à constituer des échantillons moyens sur l'ensemble d'un événement. Le second permet d'échantillonner plus finement afin d'obtenir plusieurs flacons pour étudier les variations de la concentration pendant l'événement.

3.2.3. Description des événements échantillonnés pendant les campagnes

3.2.3.1. Les données disponibles

Les données principales recueillies pendant les événements peuvent être séparées en 6 catégories:

- * les caractéristiques globales des pluies: hauteur totale précipitée, durée, intensités moyennes sur plusieurs durées;
- * les variations en cours de pluie de l'intensité instantanée: les hyétogrammes;
- * les caractéristiques globales des écoulements: volume total écoulé, durée, débit de pointe;
- * les variations en cours d'événement du débit: les hydrogrammes;
- * les caractéristiques globales de qualité: concentration moyenne par événement, flux moyen, masse totale rejetée pendant l'événement. Les polluants analysés varient, mais on retrouve toujours au minimum les MES, la DCO et la DBO5;
- * les variations pendant l'événement des concentrations de polluants, les pollutogrammes; les polluants concernés sont uniquement les MES, la DCO et la DBO5.

Les campagnes de mesure peuvent se classer en 4 groupes suivant la disponibilité des données de chacune des catégories précédentes: les données ont été mesurées sur quelques événements sélectionnés ou au contraire de manière systématique sur tous les événements de la campagne.

Les 4 groupes sont les suivants:

1. pour tous les événements, les caractéristiques globales (pluie, écoulement et qualité) ainsi que les hyétogrammes et les hydrogrammes, sont disponibles, mais seulement quelques pollutogrammes ont été mesurés;
2. pour tous les événements, les caractéristiques globales des pluies et des écoulements, ainsi que tous les hyétogrammes sont disponibles, mais pour quelques événements seulement les mesures de qualité, les hydrogrammes et les pollutogrammes ont été mesurés;
3. pour tous les événements, les caractéristiques globales des pluies et les hyétogrammes sont disponibles, pour les autres données seulement quelques événements les possèdent;
4. seules les caractéristiques globales des pluies sont disponibles pour tous les événements, les autres données ont été mesurées pour quelques événements.

"tous les événements" signifie que l'objectif de la campagne était de faire des mesures sur tous les événements enregistrés, mais en définitive le nombre de mesures, indiqués dans les tableaux 3.6 et 3.7, ne correspond pas toujours au nombre d'événements à cause de contre-temps comme des pannes ou des crues. De plus, dire que les caractéristiques globales sont disponibles signifient qu'au minimum a été mesuré la hauteur totale pour les pluies, le volume total pour les écoulements et la concentration moyenne pour la qualité.

Groupe de sites	Pluies	Hyéto grammes	Ecoule ments	Hydro grammes	Qualité	Polluto grammes
Groupe 1: Aix-Zup, Aix-Nord, Maurepas, Ulis-Nord	tous	tous	tous	tous	tous	quelques
Groupe 2: Centre-urbain, Malnoue, Grammont, Chesnay, Baudile	tous	tous	tous	quelques	quelques	quelques
Groupe 3: la Briche DD11, D11, PHI, Enghien, PLB	tous	tous	quelques	quelques	quelques	quelques
Groupe 4: Vélizy, Ulis-Sud, Mantes	tous	quelques	quelques	quelques	quelques	quelques

Tableau 3.5: Regroupement des sites suivant les types de données disponibles sur tous les événements, ou sur quelques uns.

Site	Evénements recensés	Mesure de pluies	Mesures d'écoulements	Mesures de qualité (polluant MES)
Groupe 1				
Aix Zup	75	73	73	54
Aix Nord	74	72	66	52
Maurepas	174	156	172	130
Ulis Nord	97	92	93	81
Groupe 2				
Centre Urbain	144	130	72	25
Malnoue	178	110	100	26
Grammont	162	120	96	27
Chesnay	186	155-160	50	22
Baudile	209	151-185	78	27
Groupe 3				
la Briche DD11	118	89	16	16
la Briche D11	118	89	17	17
la Briche PHI1400	118	89	18	18
la Briche Enghien	118	89	17	17
la Briche PLB	118	43-105	18	18
Groupe 4				
Ulis Sud	130	130	74	31
Vélizy	141	141	23	27
Mantes	234	234	25	25

Tableau 3.6: Nombre de mesures faites sur chaque site en terme de caractéristiques globales de pluie, d'écoulement et de qualité

Site	Événements recensés	Hyétogrammes	Hydrogrammes	Pollutogrammes (polluant MES)
Groupe 1				
Aix Zup	75	70	73	20
Aix Nord	74	69	66	12
Maurepas	174	143	171	24
Ulis Nord	97	88	91	14
Groupe 2				
Centre Urbain	144	100	5	5
Malnoue	178	88	9	9
Grammont	162	92	7	7
Chesnay	186	155-160	5	5
Baudile	209	151-185	5	5
Groupe 3				
la Briche DD11	118	90	16	16
la Briche D11	118	90	17	17
la Briche PHI1400	118	90	18	18
la Briche Enghien	118	90	17	17
la Briche PLB	118	90	18	18
Groupe 4				
Vélizy	141	19	19	19
Ulis Sud	130	10	10	10
Mantes	234	9	9	10

Tableau 3.7: Nombre de mesures faites sur chaque site en terme de hyétogrammes, hydrogrammes et pollutogrammes

3.2.3.2. Domaines de variation

Le tableau 3.8 présente les domaines de variation des hauteurs de pluie et des volumes écoulés par événement pendant les campagnes de mesures. Pour les hauteurs de pluie, lorsque plusieurs appareils sont disponibles sur un site, il s'agit des mesures qui correspondent au pluviomètre que l'étude du chapitre 4 aura permis de sélectionner.

En ce qui concerne les *hauteurs de pluie*:

- * | les valeurs minimales varient peu, elles correspondent à la hauteur minimale engendrant un écoulement;

- * les hauteurs maximales sont en général comprises entre 30 et 50 mm, sauf:
 - * sur Ulis Sud et Mantes: 15 mm;
 - * sur Ulis Nord: 79 mm.

En ce qui concerne les *volumes écoulés*, les disparités sont importantes aussi bien sur les valeurs minimales que sur les valeurs maximales. Les volumes maximaux semblent être liés à la taille du bassin. C'est un résultat évident si on compare une même pluie précipitée sur des surfaces différentes. Mais il faut penser que les événements disposant d'une mesure de volume ne sont qu'un échantillon des événements de l'année, et par conséquent ne sont pas nécessairement comparables. D'ailleurs, lorsqu'on ramène les valeurs maximales à la surface active moyenne calculée dans le chapitre 4, on constate également de grandes disparités.

Les volumes maximaux représentent entre 60 et 830 m³ / ha act:

- * 60 m³/ha act sur la Briche PHI de 700 ha act;
- * 830 m³/ha act sur Maurepas de 15 ha act.

Les différences sur les volumes sont plus certainement liées à la différence sur les caractéristiques des événements mesurés. En effet, sur Maurepas, tous les volumes sont disponibles pendant l'année de mesure, alors que sur les sites de la Briche, seulement une vingtaine d'écoulements ont été mesurés. De plus, Maurepas est un site séparatif dont la structure du réseau est bien connue, alors que les sites de la Briche ont des structures maillées, avec des ouvrages de régulation dont les périodes de fonctionnement sont mal connues.

Les tableaux 3.9, 3.10 et 3.11 présentent les domaines de variation des *concentrations moyennes par événement* en MES, DCO et DBO5 des sites étudiés. Ces paramètres correspondent à ceux qui sont mesurés sur l'ensemble des sites. Les remarques qu'on peut faire sur les valeurs des tableaux sont les mêmes que précédemment: disparités des résultats, pour certains sites peut-être mauvaise représentativité des mesures.

Site	Hauteur de pluie mm				Volume écoulé m ³			
	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Groupe 1								
Aix Zup	0,4	8,0	43,6	8,7	27	892	6746	1234
Aix Nord	0,8	8,4	49,6	9,1	69	1040	6689	1462
Maurepas	0,4	6,0	47,4	7,1	28	922	12495	1511
Ulis Nord	0,8	7,2	79,6	9,4	28	1013	7927	1357
Groupe 2								
Centre Urbain	0,5	5,9	37,9	6,9	122	1589	11788	2030
Malnoue	0,5	5,5	37,5	7,1	8	1391	13897	2354
Grammont	0,5	5,3	32,6	6,4	92	1294	12517	1994
Chesnay	0,5	5,1	32,6	6,4	240	4644	32188	5427
Baudile	0,5	4,7	32,6	6,2	696	12294	79732	15838
Groupe 3								
DD11	0,2	5,4	28,9	4,8	10161	37586	87849	18004
D11	0,2	5,4	28,9	4,8	7073	58276	108198	23304
PHI	0,2	5,4	28,9	4,8	16849	27073	40218	7333
Enghien	0,2	5,4	28,9	4,8	31529	64739	133784	26414
PLB	0,2	5,4	28,9	4,8	111443	213246	439021	77147
Groupe 4								
Vélizy	1,2	4,8	46,6	5,7	144	1247	4283	1030
Ulis Sud	1	4,4	15	3,2	43	2478	17650	3046
Mantes	0,4	1,9	15,8	2,3	48	309	1040	259

Tableau 3.8: Domaine de variation des hauteurs de pluie et des volumes écoulés sur les sites étudiés

Site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Groupe 1				
Aix Zup	22,4	322	2010	339
Aix Nord	29	379	3784	543
Maurepas	14	166	894	168
Ulis Nord	40	463	2475	434
Groupe 2				
Centre Urbain	41	271	645	172
Malnoue	20,6	287	1298	253
Grammont	34,6	305	836	202
Chesnay	118	523	2065	432
Baudile	65,3	338	784	187
Groupe 3				
DD11	174	497	953	225
D11	171	347	692	144
PHI	222	427	757	152
Enghien	60	267	741	194
PLB	147	417	904	169
Groupe 4				
Vélizy	44	331	1150	284
Ulis Sud	81	546	1477	392
Mantes	99	570	1760	362

Tableau 3.9: Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en MES (mg/l)

Site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Groupe 1				
Aix Zup	41	271	1220	239
Aix Nord	48	298	1260	261
Maurepas	18	97	590	79
Ulis Nord	36	295	2715	373
Groupe 2				
Centre Urbain	32	208	882	220
Malnoue	34	298	1498	325
Grammont	42	399	2408	451
Chesnay	137	661	2664	603
Baudile	109	366	933	214
Groupe 3				
DD11	209	522	923	208
D11	179	413	840	195
PHI	437	632	1119	191
Enghien	116	381	918	229
PLB	212	501	936	187
Groupe 4				
Vélizy	28	168	652	141
Ulis Sud	26	174	501	115
Mantes	153	445	1032	202

Tableau 3 10: Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en DCO (mg/l)

Site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Groupe 1				
Aix Zup	3	87	745	157
Aix Nord	4	68	300	80
Maurepas	1	16	110	17
Ulis Nord	6	63	666	90
Groupe 2				
Centre Urbain	5	17	48	11
Malnoue	9	42	171	36
Grammont	15	66	250	50
Chesnay	28	139	819	165
Baudile	29	120	624	123
Groupe 3				
DD11	84	191	395	83
D11	49	128	254	60
PHI	146	231	483	83
Enghien	29	126	314	82
PLB	74	159	262	50
Groupe 4				
Vélizy	6	36	159	39
Ulis Sud	8	25	87	19
Mantes	28	116	292	61

Tableau 3.11: Domaine de variation des concentrations moyennes par événement en DBO5 (mg/l)

Chapitre 4

Critique des données recueillies et complément des données manquantes

4.1.Introduction

Le contenu de la base de données qui vient d'être présenté dans le chapitre 3 est tout-à-fait conséquent: 17 campagnes de mesures, entre 70 et 230 mesures de pluie, entre 16 et 130 mesures de concentrations, entre 5 et 24 pollutogrammes par site. Mais ces données ne peuvent pas être utilisées immédiatement. Il faut les critiquer pour identifier les événements aberrants, puis compléter les données manquantes.

Un de nos objectifs est d'étudier les relations qui existent entre une pluie et la qualité du rejet qu'elle engendre, en particulier les masses rejetées. Nous devons donc connaître pour chaque événement le volume écoulé et la concentration. Par conséquent, l'incertitude sur la mesure de la masse provient à la fois des erreurs de mesure de la concentration et du volume.

Pour la validité des mesures de concentration, nous nous sommes fiés aux indications des rapports d'étude de chaque campagne de mesure, les responsables des mesures étant les plus aptes à juger de la fiabilité de leurs données.

Par contre pour les mesures hydrologiques, nous avons regardé attentivement les mesures de volumes. L'objet du paragraphe 4.2 est de présenter les relations entre la pluie et le volume. Tout d'abord, des coefficients de corrélation permettent de juger s'il existe une relation linéaire entre les 2 et de choisir le pluviographe le plus représentatif de chaque site. Puis le calcul de coefficient volumétrique pour chaque événement souligne ceux qui présentent des anomalies. Enfin, ce paragraphe présente des éléments, comme le coefficient volumétrique moyen et la surface active, qui nous permettent de reconstituer les volumes lorsque cela s'avère nécessaire.

La deuxième étape préliminaire importante concerne le complément des données de qualité. En effet, malgré

la somme d'informations recueillies, il est impossible d'effectuer certains des calculs prévus, uniquement avec les données disponibles: calcul des masses annuelles ou des masses interceptées à long terme par des ouvrages de traitement. L'objet du paragraphe 4.3 est de décrire la méthode de reconstitution des concentrations et des masses produites par événement, puis la méthode d'estimation des masses annuelles. Les polluants considérés sont ceux communs à l'ensemble des sites, c'est-à-dire MES, DCO et DBO5.

4.2. Les données hydrologiques

4.2.1. Coefficient de corrélation entre pluie précipitée et volume écoulé

Le volume précipité lors d'une pluie ne se retrouve pas dans sa totalité à l'exutoire, c'est pourquoi on parle de pertes pour qualifier les relations entre pluie et volume. L'approche la plus simple pour étudier le comportement hydrologique d'un bassin et pour estimer le rôle des pertes consiste à comparer directement le volume ruisselé à la hauteur d'eau précipitée. Il est clair que cette méthode est très sommaire, car la seule hauteur de pluie ne suffit pas à expliquer tout le processus en jeu. Néanmoins, certains événements particuliers seront d'ores et déjà mis en évidence par des comportements s'écartant de la tendance générale. Ainsi, une première vérification de la relation entre hauteur d'eau et volume permettra d'estimer la fiabilité des données.

La mise en relation de la hauteur de pluie et du volume écoulé n'a de sens a priori que si le volume considéré est uniquement issu du ruissellement de surface. En effet, lorsque des apports supplémentaires, du type de ceux des eaux usées ou des infiltrations dans les réseaux, se greffent aux apports pluviaux, il n'y a aucune raison pour qu'ils dépendent de la pluie. Donc, pour des réseaux unitaires ou séparatifs (qui ne le sont jamais strictement), il faut tout d'abord estimer la part des eaux usées ou drainées par temps sec. D'après les indications des différents rapports d'étude, plusieurs types d'estimation de ces volumes ont été utilisés (Cf. tableau 4.1). Les coefficients de corrélation ont été calculés avec les volumes totaux et avec les volumes pluviaux. Les différences obtenues sont très faibles. Le volume correspondant au temps sec est faible devant le volume pluvial. Dans le tableau 4.2, les coefficients proviennent du calcul sur les volumes pluviaux lorsque leur estimation est possible, sinon il s'agit des volumes totaux.

Site	Type de réseau	Estimation
Vélizy	séparatif	débit de base constant = 11 l/s
Centre Urbain	séparatif	débit de base constant = 8 l/s
Ulis Sud	séparatif	mesure du débit de temps sec avant chaque événement, entre 0l/s et 115 l/s
Malnoue	séparatif	débit de base constant = 4 l/s
Grammont	séparatif pollué	entre 11h et 20h, débit de base de 20 l/s entre 20h et 11h, débit de base de 12 l/s
Chesnay	séparatif pollué	débit de base constant = 46 l/s
Baudile	mixte	débit de base constant = 130 l/s (hydrogramme moyen non disponible)
Mantes	unitaire	hydrogramme moyen de temps sec par tranche de 2h
La Briche DD11, D11, PHI1400, Enghien, PLB	unitaire	pas de donnée de temps sec

Tableau 4.1: Méthode d'estimation des volumes de temps sec

Le calcul des coefficients de corrélation entre la pluie précipitée et le volume écoulé a permis:

de juger de la linéarité de la relation et dans le cas où plusieurs postes pluviométriques sont disponibles de déterminer quel poste est le plus représentatif des pluies sur le site considéré:

- * Sur Chesnay (560 ha) et Baudile (1145 ha) la prise en compte de deux pluviographes n'augmente pas le coefficient de corrélation. Par conséquent sur ces deux sites, nous utiliserons par la suite uniquement les données provenant du poste de Clichy pour lequel les coefficients de corrélation sont les meilleurs.
- * Pour les sites de la Briche, les coefficients de corrélation sont faibles, inférieurs à 0.7. Cela provient sans doute de la complexité du réseau d'assainissement, fortement maillé, équipé de divers ouvrages de régulation (seuils mobiles ou siphons) dont les périodes de fonctionnement ne sont pas connues pour l'époque des mesures. Pour les cinq sites de la Briche, nous utilisons les données provenant du poste pluviométrique la Briche III.

de mettre en évidence le comportement particulier d'un bassin versant pour les fortes pluies:

- * Sur Ulis Sud le coefficient de corrélation est relativement faible, 0.71. Cela souligne l'influence de la zone agricole à proximité du bassin et qui contribue pour certaines pluies au ruissellement sur le bassin urbain. Les points correspondants à des volumes pluviaux de plus de 5000 m³ s'écartent de

la droite de régression de manière significative. On peut estimer l'apport de la zone rurale entre 2000 m³ et 6500 m³, cette fraction est donc loin d'être négligeable.

Site	Poste pluviométrique	Coefficient de corrélation	Taille de l'échantillon
Vélizy	un seul poste sur le site	0.97	23
Centre Urbain	Noisy 14	0.91	63
Ulis Sud	un seul poste sur le site	0.71	74
Malnoue	Noisy 17	0.98	43
Grammont	Noisy 17	0.98	58
Chesnay	Neuilly	0.84	46
	Clichy	0.86	44
	moyenne de Neuilly et Clichy	0.86	54
Baudile	Neuilly	0.92	73
	Clichy	0.93	66
	Rosny	0.83	49
	moyenne de Neuilly et Clichy	0.94	88
	moyenne de Neuilly et Rosny	0.86	87
	moyenne de Clichy et Rosny	0.84	80
Mantes	moyenne de Neuilly, Clichy et Rosny	0.91	49
	un seul poste sur le site	0.95	25
	La Briche DD11	La Briche III	0.57
La Briche D11	La Briche III	0.53	13
La Briche PHI 1400	La Briche III	0.48	17
La Briche Enghien	La Briche III	0.55	10
La Briche PLB	La Briche III	0.70	14
	Drancy VI	0.61	16
	Pantin XII	0.54	11
	Livry Gargan II	0	17
	Livry Gargan XIII	0.15	16

Tableau 4.2: Coefficient de corrélation simple entre hauteur de pluie précipitée et volume pluvial estimé

4.2.2. Coefficient de ruissellement volumétrique par événement

Les coefficients de corrélation entre la pluie et le volume donnent une idée de la relation linéaire qui existe entre les deux quantités. En revanche, ils ne donnent pas d'indication sur les pertes qui interviennent sur un bassin versant entre la pluie brute qui arrive à la surface et le volume écoulé à l'exutoire. Une manière simple de modéliser ces pertes consiste à calculer un coefficient de ruissellement volumétrique qui est le rapport entre le volume total ruisselé à l'exutoire VR, et le volume total précipité VP:

$$C_v = \frac{VR}{VP} \quad \text{Eq. 1}$$

Le calcul de VP fait intervenir la surface du bassin versant. Par conséquent dans ce paragraphe on n'utilise pas les sites de la Briche, car la nature maillée du réseau ne permet pas d'estimer la surface

Les coefficients varient considérablement d'une pluie à une autre, tout en étant dans l'ensemble assez faibles. Desbordes (1985b) a étudié la variabilité des coefficients de ruissellement sur les données des quatre bassins expérimentaux. Il a montré, grâce à l'étude des relations entre les coefficients et les variables pluviométriques, que de manière générale le coefficient augmente avec le volume de la pluie précipitée, et les antécédents pluviométriques. D'autres paramètres entrent en jeu comme la durée de temps sec depuis le dernier événement ayant engendré un écoulement ou la hauteur de pluie précipitée pendant cette période sans engendrer de ruissellement (trop faible pour engendrer un ruissellement, mais suffisante pour humidifier le sol). Il est aisé de concevoir que le coefficient reste faible pour des petites pluies, peu intenses, tombant sur des sols secs (durée de temps sec importante et hauteur de pluie pendant cette durée faible) et qu'il augmente avec la hauteur de pluie, l'intensité moyenne et lorsque la durée de temps sec est faible. Mais, il arrive aussi que des coefficients soient élevés pour des pluies fortes sur des sols mouillés.

Pour les sites dont nous disposons, nous avons étudié les influences de la hauteur de pluie, de la durée de temps sec antécédent, des intensités de la pluie moyenne sur le temps de concentration et sur la durée de l'événement. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de règle générale quant à la variation des coefficients de ruissellement. Suivant les sites, on observe une stabilisation des coefficients lorsque la hauteur de pluie, ou la durée de temps sec, ou l'intensité de la pluie atteint un seuil, et en dessous de ce seuil les valeurs des coefficients de ruissellement sont très dispersées. Pour d'autres sites, aucune relation de ce type ne se dégage.

L'étude du coefficient de ruissellement volumétrique confirme le comportement particulier des Ulis Sud, à cause de la zone rurale qui apporte suivant les pluies des volumes d'eau non négligeables. Les coefficients volumétriques de ruissellement sont calculés avec les seuls volumes pluviaux. Pour certaines pluies, on observe des coefficients supérieurs à 1, c'est-à-dire que le volume mesuré écoulé à l'exutoire est supérieur au volume théorique calculé à partir de la lame d'eau précipitée sur la surface du bassin urbain de 69 hectares.

Ce résultat est en accord avec les observations faites en février et mars 1978, rapportant que des écoulements dans les fossés ont été observés en provenance de la surface rurale.

Site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nombre de valeurs
Vélizy Ouest	0,07	0,35	0,61	0,11	23
Centre Urbain	0,02	0,09	0,53	0,06	80
Ulis Sud	0,14	0,50	1,79	0,37	74
Malnoue	0,02	0,12	0,43	0,07	57
Grammont	0,03	0,13	0,35	0,07	69
Chesnay	0,01	0,08	0,26	0,04	50
Baudile	0,01	0,16	0,58	0,11	78
Mantes	0,06	0,10	0,17	0,03	25

Tableau 4.3: Domaine de variation des coefficients de ruissellement volumétrique par événement

4.2.3. Coefficient volumétrique moyen sur l'ensemble des événements

Le coefficient volumétrique de l'équation 1 constitue une représentation globale des pertes qui ne tient pas compte des variations en cours de pluie. Une manière simple de les intégrer consiste à utiliser la notion de pertes initiales, c'est-à-dire la hauteur minimale pouvant engendrer un écoulement après satisfaction des pertes par mouillage des surfaces, par stockage dans des dépressions ou par interception par la végétation. Les pertes initiales P_i sont généralement supposées constantes d'une pluie à une autre. Sur des bassins fortement urbanisés, P_i est faible, elle peut varier d'une pluie à une autre essentiellement sous l'action des antécédents pluviométriques, mais elle est généralement supposée constante.

Pour une mise en oeuvre pratique, P_i est prise égale à une valeur moyenne, déterminée par des bilans volumétriques. Une méthode simple pour estimer P_i consiste à étudier la relation entre le volume ruisselé à l'exutoire et le volume précipité.

Les coefficients de ruissellement volumétriques définis par l'équation 1 ne peuvent pas être modélisés par une constante, car les variations d'une pluie à une autre sont importantes. En revanche, la prise en compte des pertes initiales permet de modéliser par une constante le rapport entre le volume ruisselé et le volume précipité privé des pertes initiales. Le coefficient de ruissellement volumétrique moyen est alors défini par:

$$VR = \bar{C}_v \times (Hb - P_i) \times A \quad \text{Eq. 2}$$

Hb est la hauteur de pluie brute, A est la surface du bassin versant,

\bar{C}_v et Pi sont déterminés par l'ajustement d'une droite de régression linéaire entre le volume écoulé rapporté à la surface du bassin versant et la hauteur précipitée, en prenant l'ensemble des événements.

Le tableau 4.4 présente les résultats de cette modélisation. La comparaison du coefficient moyen avec le coefficient d'imperméabilisation montre que:

- * le coefficient moyen de ruissellement se rapproche du coefficient d'imperméabilisation sur Vélizy, Ulis Sud, et Grammont;
- * l'écart dépasse 40% sur les autres sites. L'écart le plus grand est observé sur Mantes où le coefficient de ruissellement moyen représente 30% du coefficient d'imperméabilisation.

Il n'est pas toujours évident de relier les pertes initiales calculées à partir de la régression linéaire avec la hauteur minimale indiquée dans les rapports d'étude.

La détermination de Cv et Pi pour chacun des sites fournit une méthode de reconstitution des données manquantes qui sera appliquée dans le paragraphe suivant pour le calcul des masses annuelles. Pour les sites de la Briche, pour lequel on ne dispose pas des surfaces, Cv est pris égal à la pente de la droite de régression qui relie directement le volume et la hauteur de pluie. Dans ce cas, ce n'est plus un coefficient sans dimension, il a la dimension d'une surface.

Site (poste pluviométrique)	Coefficient d'imperméabilisation	Coefficient de ruissellement moyen	Pertes initiales mm	Coefficient de corrélation
Vélizy	0.54	0.41	0.5	0.97
Centre Urbain	0.24	0.14	1.1	0.83
Ulis Sud	0.48	0.47	0.6	0.88
Malnoue	0.35	0.19	0.8	0.96
Grammont	0.25	0.24	0.8	0.94
Chesnay	0.19	0.09	1.0	0.76
Baudle	0.30	0.18	0.3	0.85
Mantes	0.39	0.12	0.3	0.95

Tableau 4.4: Coefficients de ruissellement moyens et pertes initiales

4.2.4. Estimation des surfaces actives

Les pertes enregistrées sur un bassin versant urbain sont essentiellement dues aux surfaces perméables à usage public (parcs, terrains de sport) ou privatif (jardins). Ces surfaces sont soit isolées du réseau public, soit le siège d'infiltration ou de stockage important, et leur participation au ruissellement n'est donc qu'occasionnelle. Sur les surfaces imperméables, les pertes sont faibles, elles résultent du stockage dans les dépressions du sol, du "mouillage" des revêtements ou des infiltrations par des fissures. Les toitures en terrasse peuvent quant à elles, être le lieu de pertes beaucoup plus importantes. Même si les pertes sur les surfaces imperméables sont faibles, sur un bassin versant les surfaces ne contribuent pas de la même manière au ruissellement. C'est pourquoi on introduit le concept de surface active, qui représente la surface qui contribue réellement à la formation du ruissellement. Sur un bassin, certaines surfaces peuvent ne pas être raccordées directement au réseau (des toitures se déversant sur des pelouses, dans des bassins...), seulement partiellement ou court-circuitant les points de mesure (avaloirs de capacité réduite ou mal placés).

Si la surface active correspond à la surface imperméable, cela signifie que pour un événement le volume écoulé correspond au volume de la lame d'eau sur la surface imperméable. Sur les sites étudiés, la comparaison entre ces deux volumes calculés pour chaque événement montre que dans l'ensemble les surfaces actives sont inférieures aux surfaces imperméables. C'est-à-dire que le volume calculé à partir de la surface imperméable est supérieure au volume mesuré. Sur Mantes, il y a d'ailleurs probablement une erreur dans la détermination du coefficient d'imperméabilisation, à moins d'une sous-estimation systématique des volumes. Sur certains sites (Grammont, Ullis Sud et Vélizy Ouest), la surface active tend à égaler la surface imperméable pour les pluies d'une certaine importance alors que pour les petites pluies, soit la surface active est plus faible, soit les pertes initiales ne sont pas négligeables.

Pour un événement, la surface active peut être obtenue en calculant le rapport entre le volume et la hauteur de pluie. Pour obtenir un ordre de grandeur de la surface active sur chaque site de manière globale, nous avons considéré l'ensemble des événements. La surface active moyenne est alors définie par:

$$S_{act} = \frac{(\text{Volume mesuré par événement})}{(\text{Hauteur de pluie précipitée})} \quad \text{Eq. 3}$$

Le tableau 4.5 présente les surfaces actives obtenues sur les sites étudiés. Les sites de la Briche sont intégrés dans ce tableau, car le calcul ne demande aucune connaissance de la surface. On remarque que leurs surfaces actives sont les plus grandes. On constate également comme l'étude événement par événement le suggérait, que pour certains sites la surface active est vraiment différente de la surface imperméable, et toujours plus faible.

Site	Surface totale ha	Surface imperméable ha	Surface active ha
Aix Zup	25.6	20	12
Aix Nord	92	32	12
Maurepas	26.7	16	15
Ulis Nord	43.1	18	16
Vélizy	53.2	29	20
Centre Urbain	226	54	24
Ulis Sud	69.1	28	27
Malnoue	185	65	29
Grammont	144	36	25
Chesnay	560	106	46
Baudile	1145	344	197
Mantes	72	28	7.6
la Briche DD11			467
la Briche D11			657
la Briche PHI			694
la Briche Enghien			1380
la Briche PLB			4600

Tableau 4.5: Surfaces actives moyennes calculées

4.2.5. Conclusion

Lorsqu'on met en relation les hauteurs d'eau précipitée et les volumes écoulés par événement, cela met en évidence certains comportements:

- * sur Chesnay et Baudile, il apparaît que le poste pluviométrique de Clichy procure les mesures de pluie les plus significatives;
- * sur Ulis Sud, certains événements doivent être éliminés à cause d'écoulements engendrés par une zone agricole;
- * le coefficient volumétrique est très variable d'un événement à un autre, il n'y a pas de règle générale quant aux facteurs expliquant ces variations;
- * les coefficients de ruissellement moyens sont systématiquement inférieurs aux coefficients d'imperméabilisation, les écarts sont variables, la plus forte différence s'observant sur Mantes;
- * les surfaces actives moyennes sont systématiquement inférieures aux surfaces imperméables (lorsque

celles-ci sont disponibles), les plus fortes différences s'observent sur Mantes et Aix Nord; sur ce dernier site, Hémain (1985 a,b,c) a déjà souligné un problème sur la mesure des volumes.

Pour la reconstitution des volumes, le tableau 4.6 présente le nombre d'événements sur lesquels peuvent porter une reconstitution des volumes grâce à l'équation 2. Le nombre de volumes manquants ramené au nombre de volumes mesurés montre l'importance des reconstitutions pour certains sites: les volumes qui doivent être reconstitués représentent jusqu'à 5 fois le nombre des volumes mesurés. Cela met en évidence le soin qu'il faut apporter à la mise au point des méthodes de reconstitution.

Site	Mesure de pluies	Volumes mesurés	Volumes manquants	
			Nombre	% des mesures
Groupe 1				
Aix Zup	73	73	0	0
Aix Nord	72	66	6	9
Maurepas	156	172	0	0
Ulis Nord	92	93	0	0
Groupe 2				
Centre Urbain	130	72	58	80
Malnoue	110	100	10	10
Grammont	120	96	24	25
Chesnay	155	50	105	210
Baudile	151	78	73	94
Groupe 3				
la Briche DD11	89	16	73	460
la Briche D11	89	17	72	420
la Briche PHI1400	89	18	71	390
la Briche Enghien	89	17	72	420
la Briche PLB	105	18	87	480
Groupe 4				
Ulis Sud	130	74	56	42
Vélizy	141	23	118	510
Mantes	234	25	209	840

Tableau 4.6: Nombre d'événements pour lesquels le volume n'a pas été mesuré, mais peut être reconstitué

4.3. Les données de qualité

4.3.1. Complément des concentrations moyennes et des masses produites par événement

4.3.1.1. Point de départ

Les critères que nous avons définis pour sélectionner les campagnes de mesure constituant la base de données sont respectés pour chacune d'elle. Néanmoins, sauf pour les quatre bassins versants expérimentaux, les mesures de concentrations n'existent pas pour tous les événements d'une année. Or, certaines exploitations que nous nous proposons de mener concernent la pollution produite pendant une longue période: l'estimation des masses annuelles, ou l'efficacité d'ouvrage pour intercepter les masses à long terme. Dans ces cas, nous avons besoin de la concentration ou de la masse de chaque événement. Voilà pourquoi il faut reconstituer les données manquantes avant ce type d'exploitation.

Le tableau 4.7 donne le nombre de mesures de concentrations de MES manquantes sur chaque site par rapport au nombre d'événements recensés pendant la campagne. A quelques événements près les valeurs sont les mêmes pour la DCO et la DBO₅. Ce tableau montre encore une fois l'ampleur des reconstitutions à faire. Au regard de notre objectif (calculer une masse annuelle), de la qualité et du nombre de données disponibles, il n'était pas pertinent d'utiliser des méthodes très précises pour la reconstitution des concentrations, comme par exemple des modèles utilisant la structure des réseaux. Nous avons utilisé la régression multiple qui paraissait plus adaptée dans notre cas. Néanmoins, l'étape de reconstitution étant indispensable, il nous a fallu être rigoureux dans l'établissement des équations de régression et conscient de leurs limites d'application.

Au cours de la mise en oeuvre des équations de régression, nous nous sommes heurtés à une difficulté: lorsqu'on compare les données disponibles sur chaque site et les données nécessaires dans ces équations, on s'aperçoit que sur certains sites aucune valeur ne pourra être reconstituée car les variables qui entrent dans l'équation ne sont disponibles que pour les événements qui disposent déjà de la concentration. C'est le cas pour certains sites lorsque les équations utilisent le volume, la durée de l'écoulement ou le débit de pointe. C'est pourquoi avec la même méthode ont été recherchées les équations de régression sur les valeurs hydrauliques (volume, durée et débit de pointe), à partir uniquement des variables pluviométriques. Les résultats sont présentés en annexe. Ainsi lorsqu'une équation sur la concentration utilise le volume, nous pouvons reconstituer d'abord le volume là où il manque, puis appliquer l'équation sur la concentration en utilisant les volumes calculés.

Site	Evénements recensés	Mesures de qualité (polluant MES)	Concentrations manquantes	
			Nombre	% des mesures
Groupe 1				
Aix Zup	75	54	21	39
Aix Nord	74	52	22	42
Maurepas	174	130	44	24
Ulis Nord	97	81	16	20
Groupe 2				
Centre Urbain	144	25	119	480
Malnoue	178	26	152	580
Grammont	162	27	135	500
Chesnay	186	22	164	745
Baudile	209	27	182	670
Groupe 3				
la Briche DD11	118	16	102	640
la Briche D11	118	17	101	590
la Briche PHI1400	118	18	100	550
la Briche Enghien	118	17	101	590
la Briche PLB	118	18	100	550
Groupe 4				
Ulis Sud	130	31	99	320
Vélizy	141	27	114	420
Mantes	234	25	211	840

Tableau 4.7: Nombre d'événements pour lesquels la concentration moyenne de MES n'a pas été mesurée

4.3.1.2.Méthode pour établir les équations de régression

Les données françaises contenues dans la base de données et décrites dans le chapitre 3, ont été exploitées avec des outils statistiques (Ranchet et al., 1976) (Laveuf et al., 1979) (Ranchet et al., 1979) (Desbordes et al., 1983) (Hémain, 1983 a,b,c) (Servat, 1984, 1985) (Paitry et al., 1984) (Philippe et al., 1987). Pour certaines d'entre elles, des équations de régression multiple ont été établies. (Hémain, 1983 a,b,c) (Paitry et al., 1984). Pour d'autres, seuls des coefficients de corrélation simple ont été calculés (Laveuf et al., 1979)(Ranchet et al., 1976).

Les résultats des différentes études statistiques montrent que chaque site est un cas particulier sur lequel seules des relations qui lui sont propres sont observées. Mais les méthodes utilisées étant différentes, les résultats ne sont peut-être pas comparables. Pour permettre la comparaison entre sites, nous avons appliqué la même méthode sur tous les sites.:

- * nous recherchons les variables qui doivent apparaître dans les équations de régression parmi une liste définie à l'avance et toujours la même;
- * pour déterminer ces variables, nous avons appliqué la même méthode de sélection, celle du "stepwise" (Saporta, 1990): c'est-à-dire qu'en partant de la variable qui explique le mieux les variations observées, on ajoute pas à pas les variables qui augmentent significativement le pourcentage de la variance expliquée.

4.3.1.3. Description des échantillons utilisés

En comparant les variables utilisées dans les différentes études, puis les variables disponibles sur chacun des sites, celles que nous avons retenues pour établir les équations sont les suivantes:

- * Volume écoulé pendant l'événement, VR en m³;
- * Durée de l'écoulement, DR en h;
- * Débit maximal, QMAX en l/s;
- * Débit de temps sec précédent, QTS en l/s;
- * Hauteur précipitée totale, HP en mm;
- * Durée de la pluie, DP en h;
- * Intensité moyenne maximale sur le temps de concentration, IMTC en mm/h;
- * Intensité moyenne maximale sur 5 minutes, IMAX5 en mm/h;
- * Durée de temps sec antécédent, DTS en h;
- * Hauteur précipitée pendant l'événement précédent, HPRECED en mm;
- * Hauteur précipitée 7, 14 et 28 jours avant. H7, H14, H28.

Sur les quatre bassins expérimentaux, nous disposons déjà des résultats de cette méthode (Desbordes et al. 1983). En revanche, pour les données sur les rejets de la Marne (Baudile, Chesnay, Grammont, Malnoue et Centre Urbain), bien que plusieurs auteurs les aient utilisées, il est nécessaire de reprendre les études car les données pluviométriques ont été complétées dans la base et des informations beaucoup plus nombreuses sont aujourd'hui disponibles.

La mise en pratique de la méthode s'est heurtée à quelques difficultés:

Sur certains sites il a fallu restreindre le nombre de variables explicatives à cause du faible nombre de valeurs disponibles. En effet, pour qu'un événement puisse être intégré au jeu de données, il faut que toutes les

variables explicatives qui entrent dans la régression soient disponibles pour cet événement. Il arrive alors que pour satisfaire cette condition, les échantillons soient trop restreints, par exemple le nombre d'observations devient inférieur au nombre de variables! C'est ainsi que H7, H14, H28 et HPRECED ont été retirées pour certains sites. Pour d'autres sites, certaines variables n'ont pas été mesurées pendant la campagne, comme IMAX5, IMTC ou QTS. Et faute de hyétogramme, elles n'ont pas pu être complétées.

La recherche des régressions a été opérée tout d'abord sur les valeurs brutes de concentration, de masse et de volume, pour les sites unitaires et séparatifs pollués. Puis dans un deuxième temps, les fractions représentatives du temps sec leur ont été retranchées. Les résultats obtenus étant tout-à-fait identiques, nous avons conservé uniquement les résultats de la première approche. Sur Ulis Sud, l'échantillon qui a été utilisé ne contient pas les événements pour lesquels l'étude hydraulique du paragraphe précédent a mis en évidence une participation d'une zone rurale attenante. D'autre part, les résultats obtenus sur les sites de la Briche devront être interprétés avec précaution à cause de la taille réduite des échantillons disponibles.

L'étude du paragraphe précédent a montré que le poste pluviométrique de Clichy est le plus représentatif des pluies qui tombent sur les bassins de Baudile et de Chesnay. Pour ces deux sites, uniquement les données provenant de ce poste ont été étudiées. De plus, pour les 5 rejets en Marne (Baudile, Chesnay, Grammont, Malnoue et Centre Urbain) les auteurs du rapport d'étude ont constaté des erreurs dans la mesure de la DCO, c'est pourquoi sur ces sites les échantillons qui portent sur la DCO sont moins importants que ceux des MES et de la DBO5.

VARIABLES ÉLIMINÉES DE LA LISTE	LISTE DES SITES
QTS	Chesnay poste de Clichy , Grammont, Malnoue, Centre Urbain
IMAX5	Ulis Sud, Mantes la Ville
IMAX5, QTS	Vélizy Ouest
H14, H28	Baudile poste de Clichy
IMTC, H14, H28, QTS	La Briche D11, La Briche PLB, La Briche Phi 1400
IMTC, H7, H14, H28, HPRECED, QTS	La Briche DD11, La Briche Enghien

Tableau 4.8: Description des échantillons utilisés pour l'établissement des équations de régression sur la concentration et la masse par événement

Le tri des meilleures variables s'effectue avec le coefficient de corrélation. En effet, le calcul d'un coefficient de corrélation a pour objectif d'évaluer la qualité de l'ajustement linéaire obtenu entre les valeurs de deux variables. Mais le coefficient qu'on calcule provient d'un échantillon extrait de l'ensemble des échantillons possibles. Par conséquent, si la taille de l'échantillon est petite, la valeur du coefficient de corrélation est faiblement représentative, car sujette aux erreurs d'échantillonnage. Dans la suite du chapitre, les coefficients de corrélation seront jugés significatifs s'ils dépassent la valeur seuil au-dessus de laquelle on rejette

l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de relation entre les variables (coefficient de corrélation nul) avec une probabilité de se tromper de 10%. Le tableau B.1 présente pour chaque échantillon les valeurs de ce seuil (calculé à partir d'une table usuelle tirée de Saporta, 1990, p 458)

4.3.1.4. Pourcentages d'explication des équations de régression

Les équations de régression établies sont notées en annexe B.

La qualité des résultats est très différente suivant le site et le polluant. Pour certains échantillons, au seuil de signification choisi (10%), il n'a pas été possible d'établir une équation de régression. C'est-à-dire qu'aucune variable ne présente de corrélation simple significative au seuil de signification de 10%. Pour les autres échantillons les coefficients de signification des équations varient de 0.13 à 0.97. Autrement dit, dans certains cas les pourcentages de variation expliqués par les équations sont très faibles, et l'utilisation de ces équations pour la reconstitution ne sera pas fiable. Pour certains sites, les équations présentent au contraire des pourcentages d'explication très importants (supérieurs à 0.9), elles permettent apparemment de bien représenter les variations des variables étudiées.

D'autre part, sur certains échantillons la recherche d'une équation de régression multiple s'arrête à une seule variable, c'est-à-dire qu'aucune variable ne permet d'améliorer les résultats d'une régression simple. Cela se produit sur un nombre relativement grand d'échantillons, 29/70 soit 40% du nombre total des équations établies. Les coefficients de signification pour ces équations ne sont pas obligatoirement les plus faibles. En effet, ils varient de 0.13 (très faible) à 0.91 (significatif).

Lorsqu'on compare les équations obtenues sur la concentration et sur la masse pour un même polluant, on constate que dans la plupart des cas, le coefficient de signification sur la masse est le plus élevé (22/32 soit près de 70% des équations).

4.3.2. Estimation des masses produites annuellement

4.3.2.1. Méthodes de calcul

La méthode la plus simple pour faire le calcul d'une masse annuelle consiste à additionner les masses des événements d'une période de 1 an. Malheureusement, les données disponibles ne sont pas assez nombreuses pour appliquer cette méthode.

Pour mettre au point une méthode de calcul, il faut se rappeler que pour un événement, la masse produite est le produit de la concentration moyenne par le volume écoulé. Or pour les données qui nous concernent,

l'absence de mesure de masse provient soit d'une absence simultanée de la concentration et du volume, soit du manque de la concentration alors que le volume a été mesuré. Le cas où la concentration aurait été mesurée alors que le volume ne l'aurait pas été, n'existe pas.

Pour reconstituer une concentration, nous utilisons deux méthodes:

- * la remplacer par la concentration moyenne obtenue sur l'ensemble des valeurs mesurées

$$C_{\text{moy}} = \frac{(\text{Concentration par événement} \times \text{Volume écoulé})}{(\text{Volume écoulé par événement})} \quad \text{Eq. 4}$$

- * la calculer par une équation de régression multiple (Cf. § 4.3.1)

Pour reconstituer un volume, nous utilisons également deux méthodes:

- * le calculer avec le coefficient volumétrique moyen (Eq. 2)
- * le calculer par une équation de régression multiple (Cf. § 4.3.1).

Enfin, pour calculer une masse pour un événement, nous avons envisagé trois possibilités en combinant les méthodes précédentes:

- * remplacer la concentration par la concentration moyenne (Eq. 4) et si le volume manque également le calculer avec le coefficient volumétrique moyen (Eq. 2);
- * calculer la concentration par une équation de régression, et si le volume manque également le calculer par une équation de régression;
- * calculer directement la masse par une équation de régression.

En ce qui concerne la masse sur un ensemble d'événements, elle est obtenue en appliquant l'une de ces trois méthodes précédentes sur les événements où la masse n'est pas mesurée. Finalement, cela nous amène à retenir cinq méthodes:

- A. utiliser la concentration moyenne et le coefficient volumétrique moyen;
- B: utiliser l'équation de régression pour la concentration et uniquement les volumes mesurés sans reconstituer ceux qui manquent;
- B': comme B mais en reconstituant les variables hydrauliques (volume, durée de l'écoulement et débit de pointe) lorsqu'elles apparaissent dans l'équation sur la concentration et qu'elles sont manquantes;
- C: utiliser l'équation de régression pour la masse et n'utiliser que les valeurs mesurées pour les variables qui entrent dans l'équation;
- C': comme C mais en reconstituant les variables hydrauliques (volume, durée de l'écoulement et débit de pointe) lorsqu'elles apparaissent dans l'équation sur la masse et qu'elles sont manquantes.

La méthode A est une méthode très simple. qui va servir de référence pour les autres méthodes. Les méthodes

B et C sont les applications directes des équations de régression. Or certains événements ne peuvent pas être pris en compte (par exemple l'équation utilise le volume qui n'est pas mesuré sur tous les événements) Et finalement les calculs sont menés sur des séries d'événements très courtes. Les méthodes B' et C' ont été envisagées pour pouvoir utiliser ces événements et augmenter la longueur des séries d'événements. On reconstitue au préalable les volumes, les durées d'écoulement et les débits de pointe, puis on applique les équations sur la concentration ou la masse.

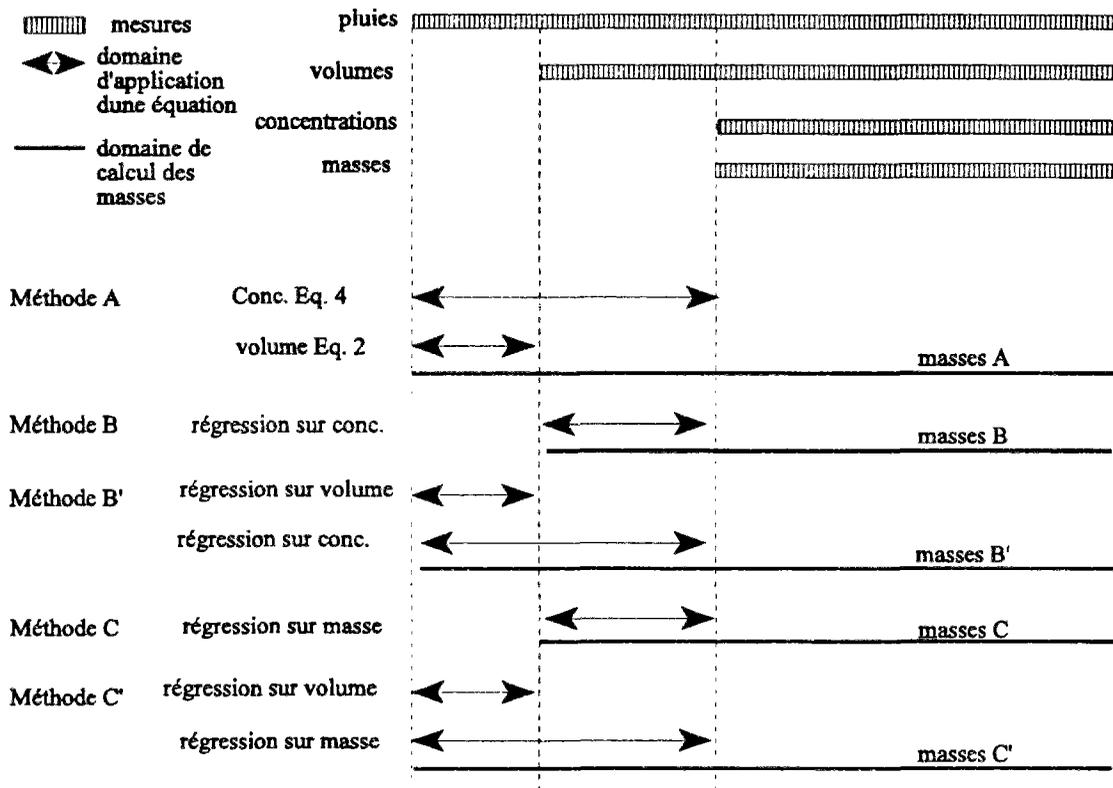


Figure 4.1 Schéma expliquant comment appliquer les méthodes de calcul de la masse annuelle, en prenant l'exemple d'équation de régression sur la concentration et la masse n'utilisant que le volume

Chaque méthode est appliquée sur un nombre d'événements le plus grand possible. L'exemple de la figure 4.1 est un cas théorique où tous les volumes manquants peuvent être calculés, et par conséquent où les méthodes B' et C' utilisent tous les événements. En réalité, les domaines d'application des équations sont beaucoup plus réduits, et la longueur des séries définies par les événements où le calcul est possible ne vaut pas toujours 12 mois. Pour obtenir la masse annuelle, on pondère sur la durée de la série d'événements utilisée.

Enfin, nous donnons pour chaque valeur l'intervalle de confiance à 10% sur la valeur de la masse annuelle, c'est-à-dire que la masse annuelle que nous avons obtenue a une probabilité de 10% de ne pas être effectivement comprise dans l'intervalle.

4.3.2.2. Concentration moyenne sur des séries d'événements différentes

La méthode A peut s'appliquer sur des séries d'événements qui définissent des durées variant entre 10 et 15 mois suivant le site et le polluant. Afin de connaître la stabilité des valeurs annuelles calculées par la méthode A, puis de comparer aux autres méthodes avec les mêmes conditions d'application, deux autres types de calculs ont été effectués:

- * dans le cas où les séries d'événements sur lesquels A peut s'appliquer dépasse 12 mois, calculer les masses sur une durée de 12 mois mais pour des périodes différentes (par exemple du 01.01.81 au 01.01.82, puis du 01.02.81 au 01.02.82...);
- * calculer la masse annuelle avec la méthode A sur les mêmes séries d'événements que celles utilisées par les méthodes B, B', C et C'.

Le premier type de comparaisons permettrait sur des séries très longues de plusieurs années, de déterminer la stabilité des valeurs annuelles, et de mettre en évidence les années pluvieuses ou sèches. Sur les données dont nous disposons, jamais plus de 15 mois, ces calculs permettent de vérifier la stabilité à l'échelle du mois uniquement.

Les résultats consignés en annexe dans les tableaux D.7, D.8 et D.9 indiquent que:

D'une manière générale, le calcul par la méthode A sur des séries de longueurs différentes aboutit à une diminution des valeurs calculées lorsque la longueur des séries augmente. Autrement dit, extrapoler la masse annuelle à partir de série de moins de 1 an a tendance à la surestimer.

Le calcul sur des séries de 12 mois décalées de mois en mois, aboutit à des résultats stables:

- * sur ces calculs, le rapport de la valeur minimale à la valeur maximale de chaque site varie entre 0.86 et 0.93;
- * le même rapport calculé à partir de séries de longueurs différentes varie dans des proportions beaucoup plus grandes.

Cela traduit un caractère saisonnier des masses rejetées, les mois qui sont ajoutés ou retranchés n'apportent pas la même masse. Or la méthode A remplace les concentrations manquantes par une concentration moyenne identique pour tous les événements. Par conséquent les variations saisonnières se font sentir par l'intermédiaire des volumes et de leur fréquence.

4.3.2.3. Comparaison des méthodes A, B, B', C et C'

La comparaison entre la méthode A et les autres méthodes est effectuée de la manière suivante:

- * Tout d'abord, on compare les résultats de la méthode A, obtenus sur les séries de même longueur que les autres méthodes, aux résultats de ces méthodes. En fait, compte tenu des intervalles de confiance calculés pour chaque méthode, on vérifie si la méthode A appartient à ces intervalles. Sur 70 équations, on compte:
 - 29 valeurs de A qui entrent dans les intervalles
 - 41 valeurs de A qui n'y entrent pas
- * Ensuite, on considère les résultats de la méthode A obtenus sur les séries d'événements les plus longues possibles. Sur 70 équations, on compte:
 - 20 valeurs de A qui entrent dans les intervalles des autres méthodes
 - 50 valeurs de A qui n'y entrent pas

Dans les deux cas, les valeurs de A qui n'entrent pas dans les intervalles de confiance des autres méthodes sont les plus nombreuses. Mais, on constate que les valeurs significativement différentes, c'est-à-dire lorsque la valeur donnée par A n'entre pas dans l'intervalle de confiance d'une autre méthode, sont moins nombreuses quand on compare les valeurs sur des séries de même longueur.

Les tableaux en annexe D qui présentent les résultats des différentes méthodes pour chaque site et chaque polluant montrent clairement l'étendue des intervalles de confiance des méthodes utilisant des équations de régression (B, B', C et C'), et par conséquent soulignent l'imprécision des méthodes de calcul. La figure 4.3 représente la répartition des amplitudes des intervalles de confiance pour chacune des méthodes, pour l'ensemble des sites et des polluants.

L'amplitude est définie comme la distance entre la borne inférieure et la borne supérieure de l'intervalle de confiance, ramenée à la valeur de la masse estimée. De plus, pour un site et un polluant, on a défini 2 intervalles pour représenter comment les résultats des 4 méthodes se superposent ou non:

- * l'intervalle maximal couvert par l'ensemble des méthodes: sa borne supérieure est le maximum des bornes supérieures calculées pour chaque méthode, et sa borne inférieure est le minimum des bornes inférieures;
- * l'intervalle commun aux 5 méthodes: sa borne supérieure est le minimum des bornes supérieures et la borne inférieure est le maximum des bornes inférieures; lorsqu'il n'y a pas d'intervalle commun, la borne inférieure est plus élevée que la borne supérieure, alors cela est représenté sur la figure 4.2 par des amplitudes négatives.

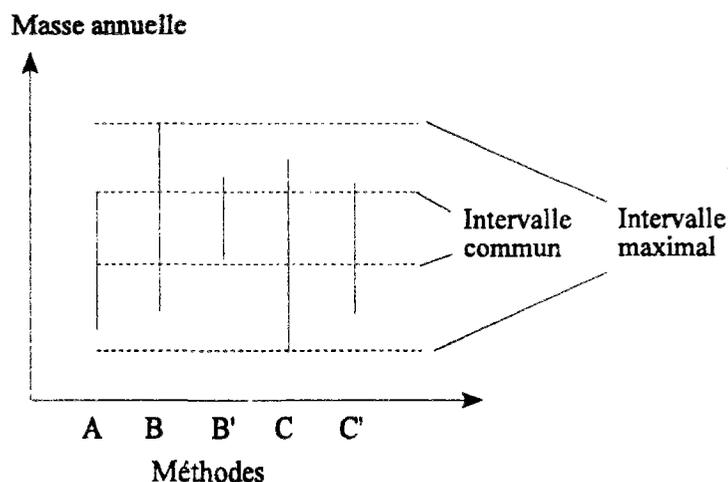


Figure 4.2 Définition de l'intervalle maximal et de l'intervalle commun sur les masses annuelles obtenues par différentes méthodes

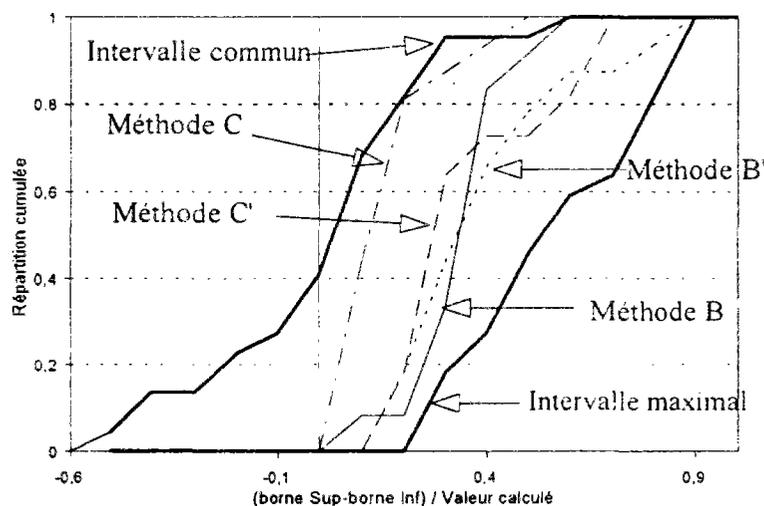


Figure 4.3 Comparaison des intervalles de confiance des masses annuelles obtenues par différentes méthodes

La figure 4.3 ainsi que les tableaux en annexe D1 à D6 donnent les indications suivantes:

La méthode C (une équation de régression sur la masse appliquée exclusivement sur des mesures) présente les intervalles de confiance les moins étendus:

- * 80% des intervalles ont des amplitudes inférieures à 20% de la valeur estimée;
- * les amplitudes les plus fortes sont obtenues sur les séries de moins de 6 mois;
- * les amplitudes de moins de 10% correspondent à des séries de simulation de plus de 9 mois.

Pour les autres méthodes:

- * 80 à 90% des intervalles présentent des amplitudes supérieures à 20%.

Les intervalles maximaux:

- * sont évidemment très larges, jusqu'à deux fois la valeur estimée;
- * ils sont toujours supérieurs à 20% de la valeur estimée;

Les intervalles communs aux 4 méthodes:

- * n'existent pas sur 40% des échantillons (amplitudes négatives), dans ces cas on peut estimer que les résultats des méthodes sont significativement différents;
- * valent jusqu'à 60% des valeurs estimées sur certains échantillons.

4.3.2.4. Estimation finale des masses annuelles

Les résultats des comparaisons précédentes permettent d'émettre quelques règles, afin de déterminer quelle valeur prendre pour la masse annuelle lorsque les différentes méthodes fournissent des résultats très variables:

- * Il faut tenir compte des longueurs des séries simulées. En effet, les calculs avec une concentration moyenne (méthode A) sur des durées différentes tendent à montrer que les variations sont grandes, et que l'extrapolation de la masse annuelle à partir de durées plus faibles n'est pas fiable. On ne retiendra que les durées supérieures à 10 mois, en préférant les calculs faits sur 12 mois.
- * Il faut également tenir compte des coefficients de signification des équations de régression multiple. Car les résultats obtenus avec une équation peu significative n'ont aucune raison d'être proche de la réalité. La limite que nous retenons est 0.5. Au-dessous de 0.5, les résultats ne sont pas jugés fiables et on préférera la méthode A.

Les résultats du tableau 4.9 montre que sur 39 jeux de données:

- * Pour 12 d'entre eux, il est impossible de calculer une masse annuelle avec une équation de régression, car l'équation n'a pu être établie, ou son application ne peut se faire sur un nombre suffisant d'événements, ou son coefficient de signification est trop faible. Dans ces cas, la méthode A (remplacement des concentrations manquantes par une concentration moyenne), est la seule méthode qu'on peut appliquer de manière fiable.
- * Pour les 27 autres, les équations de régression peuvent être appliquées dans des conditions satisfaisantes (durée supérieure à 10 mois, coefficient de signification supérieur à 0.5).

Site	MES	DCO	DBO5
Sites séparatifs			
Vélizy Ouest	26±6 : B' sur 12 mois R ² =0.54	16±2 : B' sur 14 mois R ² =0.57	4.8±0.1 : C sur 12 mois R ² =0.92
Centre Urbain	34.5±2.3 : A sur 12 mois B et C : R ² <0.5	26.8±0.7 : C sur 13 mois R ² =0.5	3.9±0.4 : C' sur 11 mois R ² =0.79
Ulis Sud	178±20 : C' sur 9 mois R ² =0.91	43±4 : C' sur 10 mois	5±0.3 : C' sur 11 mois R ² =0.90
Malnoue	51.4±2 : A sur 12 mois	130±20 : B' sur 6 mois R ² =0.91	13±2 : B' sur 8 mois R ² =0.73
Sites séparatifs pollués et mixtes			
Grammont	44.7±2.3 : A sur 12 mois B : R ² <0.5	32±3 : C' sur 12 mois R ² =0.86	11±2 : C' sur 13 mois R ² =0.85
Chesnay	220±90 : B' sur 11 mois R ² =0.68	240±100 : B' sur 11 mois R ² =0.91	46 ±20 : B' sur 8 mois R ² =0.83
Baudile	660±20 : C sur 12 mois R ² =0.52	360±50 : B' sur 12 mois R ² =0.97	120 : A sur 11 mois
Sites unitaires			
Mantes	32±7 : B' sur 3 mois R ² =0.88	14 : A sur 11 mois	6.2±0.3 : C sur 11 mois R ² =0.54
La Briche DD11	2010±60 : C sur 9 mois R ² =0.67	1980 : A sur 10 mois	695±20 : C sur 9 mois R ² =0.80
La Briche D11	3840±1200 : C' sur 4 mois R ² =0.72	2150 : A sur 10 mois	930 : A sur 10 mois
La Briche PHI1400	1310 : A sur 10 mois	1820 : A sur 10 mois	860 : A sur 10 mois
La Briche Enghien	2360±700 : B' sur 9 mois R ² =0.76	2150±700 : B' sur 9 mois R ² =0.64	1130 : A sur 10 mois
La Briche PLB	10800±3300 : C' sur 7 mois R ² =0.91	13200±2000 : C' sur 7 mois R ² =0.55	5080±1400 : C' sur 7 mois R ² =0.88

Tableau 4.9: Estimation finale des masses annuelles de MES, DCO et DBO5 (valeurs des masses annuelles en tonne, indication des méthodes, des durées des séries simulées et des coefficients de régression multiple)

4.3.3. Conclusion

A partir de l'ensemble des données recueillies, nous avons établi des équations de régression qui ont permis de reconstituer les concentrations et les masses manquantes, qui ont ensuite permis d'estimer les masses annuelles ainsi que leurs intervalles de confiance.

En ce qui concerne la reconstitution des concentrations et des masses par événement, la recherche d'équations

de régression multiple n'a pas toujours abouti:

- * 8 équations sur 78 échantillons n'ont pas pu être établies, car aucune variable n'est significativement corrélée à la concentration ou à la masse;
- * 19 équations sur 70 présentent des coefficients de signification inférieurs à 0.5;
- * 29 équations sur 70 utilisent une seule variable.

En ce qui concerne le calcul de la masse annuelle, nous avons utilisé plusieurs méthodes: concentration moyenne ou équation de régression. Les différentes comparaisons montrent que:

- * le calcul sur des séries d'événement inférieures à 1 an a tendance à surestimer la masse annuelle;
- * lorsque les méthodes sont appliquées sur les mêmes séries d'événement, les résultats paraissent comparables;
- * néanmoins, dans 40% des cas les résultats des méthodes utilisant une équation de régression ne se recouvrent pas;
- * au total, pour 12 cas sur 39, les équations de régression n'ont pas été suffisamment fiables pour servir à calculer la masse annuelle.

On peut comparer nos résultats aux masses annuelles calculées dans les rapports d'étude relatifs à chaque campagne. Ces valeurs ont été établies à partir d'équations de régression qui n'utilisent qu'une variable (hauteur de pluie ou volume ou débit de pointe). Nos résultats sur les masses annuelles sont dans l'ensemble plus élevés que ceux du tableau 4.10. Dans 30% des cas, nos intervalles de confiance contiennent les valeurs du tableau 4.10. Sinon, pour les autres, les rapports entre les valeurs du tableau et nos valeurs varient entre 39% et 120%. L'écart le plus important est obtenu sur Mantes pour la DBO5. En effet, nos valeurs portent sur les masses totales, eaux usées et eaux de ruissellement, (masses qui sont réellement déversées dans le milieu naturel), tandis que les autres portent uniquement sur les eaux de ruissellement. Mais, il faut noter que les pourcentages sur les MES et la DCO valent respectivement 66 et 89%, et compte tenu des intervalles de confiance, les écarts entre les valeurs sont encore moins élevés. La différence sur les résultats ne se retrouve pas pour ces deux paramètres probablement parce que la part des eaux usées est négligeable.

Les masses annuelles que nous avons établies utilisent au mieux les données disponibles. Mais dans le tableau 4.9 on met en évidence quelques anomalies. En particulier, certaines masses de DCO sont supérieures à la masse de MES. Or cela est étonnant à moins d'envisager que la majeure partie de la DCO se trouve sous forme dissoute. Mais plus probablement la qualité parfois douteuse des résultats reflète la qualité des données: elles sont en quantité insuffisante, de qualité médiocre et n'ont pas permis d'établir des équations de régression très explicatives, ou alors ces équations n'ont pas pu être appliquées sur un nombre suffisant d'événements.

Site	MES	DCO	DBO5
Vélizy (Ranchet et al., 1976)	20.9-21.7	9.95-10.1	1.89-1.93
Centre Urbain (Paitry et al., 1984)	41.2	12.5	2.05
Ulis Sud (Ranchet et al., 1979)	163-208	42.3-53.1	5.58-6.39
Malnoue (Paitry et al., 1984)	32.6	59	8.34
Grammont (Paitry et al., 1984)	44.9	32.4	7.69
Chesnay (Paitry et al., 1984)	184	115	27
Baudile (Paitry et al., 1984)	395	294	86
Mantes (Laveuf et al., 1979)	20.1-21	11.6-12.5	2.40

Tableau 4.10: Masses annuelles (tonne) calculées dans les rapports d'étude de chaque campagne

Chapitre 5

Répartition de la pollution par temps de pluie

5.1. Présentation des études sur la répartition de la pollution

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les critiques faites sur les données hydrologiques afin d'en tester la fiabilité. Puis, sont présentées les méthodes simples qui nous ont servi à reconstituer certaines données manquantes. Enfin, nous avons utilisé ces outils pour reconstituer les données manquantes et mettre au point des méthodes de calcul des masses annuelles.

Maintenant nous abordons la connaissance de la pollution: ses caractéristiques, ses facteurs explicatifs, sa répartition dans le temps à l'échelle de l'année et de l'événement, et sa répartition en cours d'événement. Nous avons choisi de présenter les échelles de temps en commençant par la plus grande (l'année) pour finir par la plus fine (en cours d'événement).

Les différentes échelles de temps que nous étudions ont été choisies pour ce qu'elles représentent en terme d'impact sur le milieu récepteur. Les masses rejetées pendant une année représentent la pollution susceptible d'engendrer les impacts à long terme, alors que les masses rejetées pendant un événement engendrent des effets de type effet de choc.

Le paragraphe 5.2 présente les masses annuelles établies dans le chapitre précédent. L'objectif est tout d'abord de donner des ordres de grandeur des masses annuelles totales et des masses annuelles ramenées à la surface, à l'habitant ou à la pluviométrie. Ensuite, il s'agit de trouver des facteurs explicatifs aux différentes variations d'un site à un autre, afin de pouvoir classer les sites et de pouvoir associer à chaque classe une masse annuelle. Pour cela, on étudie l'influence du type de réseau, des surfaces (totale, imperméable ou active), du temps de concentration et de la pente moyenne du bassin versant.

A l'échelle d'un événement pluvieux, le paragraphe 5.3 commence par la recherche des facteurs explicatifs aux concentrations et aux masses produites par événement. Pour cela, on calcule les coefficients de corrélation entre les concentrations et les masses produites par événement d'une part, et les caractéristiques

pluviométriques et hydrologiques d'autre part. Puis on extrait les coefficients les plus forts qui traduisent les meilleures relations. L'objectif est d'effectuer un classement des pluies, couplé à un classement des sites, en fonction de la pollution engendrée par chaque classe d'événement.

Toujours à l'échelle d'un événement, le paragraphe 5.4 s'intéresse plus particulièrement aux événements les plus pollués. Le paragraphe 5.3 considère l'ensemble des événements afin de tirer des lois générales sur la formation de la pollution. Or, les dommages ponctuels les plus graves que subit un milieu récepteur sont causés par des événements exceptionnels (pluies très intenses et très longues, après une période de temps sec importante...). Ce sont ces événements qui mettent en panne les systèmes de gestion ou déclenchent des procédures d'alerte. Un effort doit donc être entrepris pour mieux les connaître, pour mieux savoir quand les conditions sont réunies pour qu'ils se produisent et par conséquent pour savoir comment les prévenir. Le paragraphe 5.4 leur est consacré avec l'objectif tout d'abord de fournir des ordres de grandeur des concentrations et des masses de pollution concernées, puis de déterminer les relations entre ces pollutions extrêmes et les caractéristiques des événements pluvieux (hauteur précipitée, intensité, ...).

Enfin, le paragraphe 5.5 s'intéresse à la répartition de la pollution à l'intérieur de l'événement. Le terme de répartition peut se comprendre de deux manières pour les pollutogrammes: répartition en fonction du temps ou répartition en fonction du volume écoulé. Dans le premier cas, on recherche la pointe de la concentration et on s'intéresse à sa position par rapport à la pointe du débit. L'objectif est de donner des indications sur les décalages entre les pointes, puis de savoir si les décalages interviennent plus particulièrement dans un sens ou dans un autre (concentration maximale avant ou après le débit de pointe) pour certains sites. Dans le second cas de répartition, il s'agit de déterminer quelle est la fraction de pollution contenue dans une fraction donnée du volume de l'écoulement. L'objectif est de donner des indications sur la forme des courbes ainsi formées pour chaque événement (la pollution déversée majoritairement en début ou en fin d'écoulement).

5.2. Masses annuelles

Les masses annuelles étudiées dans ce chapitre ont été établies dans le chapitre 4. Le tableau 4.9 présente les valeurs retenues et leurs intervalles de confiance pour chacun des sites. Dans ce paragraphe, on utilise ces valeurs pour:

- * donner les domaines de variation des masses annuelles totales ainsi que des masses annuelles ramenées à la surface, à l'habitant et à la pluviométrie;
- * chercher les tendances entre ces valeurs et l'une des caractéristiques des sites: surface (totale, imperméable et active), temps de concentration et pente moyenne du bassin versant. Cette recherche est uniquement visuelle, à partir de représentations graphiques.

5.2.1. Domaines de variation

En fonction des renseignements disponibles sur les sites, nous avons établi, en plus des masses totales produites pendant l'année, des masses annuelles spécifiques, qui rendent les sites comparables et qui mettent en évidence quelques facteurs qui expliquent les valeurs et leurs variations. Les masses spécifiques que nous avons établies sont les masses annuelles par hectare, par hectare imperméabilisé, par hectare actif, par habitant, et par millimètre d'eau précipité.

Pour les sites unitaires de la Briche, la surface totale n'est pas disponible, on utilise uniquement la surface active. Ainsi, pour les masses par hectare et pour les sites unitaires ne figurent que les valeurs de Mantes.

Dans les tableaux 5.1 à 5.6, on a indiqué les domaines de variation des bornes inférieures (inf) et supérieures (sup) des intervalles de confiance de chaque masse annuelle. Pour caractériser les variations pour un groupe de sites, on considère le rapport de la valeur maximale à la valeur minimale. (Max/Min rapport sans dimension)

Pour les *masses annuelles totales*:

- * les variations les plus importantes sont observées sur les sites unitaires pour lesquels Max/Min varie entre 300 et 1100;
- * les variations les plus faibles correspondent aux sites séparatifs pour lesquels Max/Min varie entre 7 et 15.

Les variations des masses annuelles traduisent celles des surfaces des sites. En effet, il s'agit ici des masses totales produites par les sites. Or, les variations de surface sur les sites unitaires (entre 8 et 4600 ha actif) sont beaucoup plus importantes que sur les sites séparatifs (entre 12 et 30 ha actif).

Pour les *masses par millimètre d'eau précipité*, les variations sont du même ordre de grandeur, et toujours

supérieures pour les sites unitaires par rapport aux sites séparatifs. La pluviométrie n'apparaît donc pas comme un facteur explicatif des variations des masses annuelles.

Pour les autres ratios de masses:

- * lorsque les résultats des sites unitaires sont disponibles, les variations sont plus grandes sur les résultats des sites séparatifs que sur ceux des sites unitaires, et ceux des sites séparatifs pollués se situent entre les deux;
- * les rapports Max/Min varient:
 - * pour les sites séparatifs entre 2 et 25;
 - * pour les sites séparatifs pollués et unitaires entre 2 et 6.

Cela montre que les caractéristiques utilisées pour le calcul de ces ratios représentent partiellement une explication de la variation des masses annuelles.

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites
tonne	Séparatif	inf	17	47	160	47	9	7
		sup	17	55	200	60	12	7
	Séparatif pollué	inf	41	213	640	249	16	4
		sup	41	270	680	261	17	4
	Unitaire	inf	25	2389	7500	2375	300	6
		sup	25	3743	14100	4721	564	6
kg/ha	Séparatif	inf	142	700	2315	699	16	7
		sup	163	821	2894	878	18	7
	Séparatif pollué	inf	232	509	951	283	4	4
		sup	326	606	951	224	3	4
	Mantes	inf	347					
		sup	347					
kg/ha imp	Séparatif	inf	594	1539	5654	1699	10	7
		sup	679	1821	7067	2155	10	7
	Séparatif pollué	inf	1178	1632	2265	455	2	4
		sup	1306	2116	2914	577	2	4
	Mantes	inf	890					
		sup	890					
kg/ha act	Séparatif	inf	1000	2143	5926	1575	6	7
		sup	1417	2488	7407	2019	5	7
	Séparatif pollué	inf	1696	2583	3249	568	2	4
		sup	1880	3658	6739	1864	4	4
	Unitaire	inf	1203	2510	4176	1032	3	6
		sup	1888	2961	4433	816	2	6

Tableau 5.1: Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour les MES

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites
kg/hab	Séparatif	inf	4	6,1	8,6	1,7	2	5
		sup	5	6,7	8,6	1,2	2	5
	Séparatif pollué	inf	2,4	5,5	12,7	4,2	5	4
		sup	2,7	6,6	13,5	4,1	5	4
	Mantes	inf	5,2					
		sup	5,2					
kg/mm	Séparatif		18,0	71,3	227,0	68,0	13	7
	Séparatif pollué		63	241	580	210	9	4
	Unitaire		64	4644	17600	5869	275	6
g/mm/ha	Séparatif		243	980	3285	972	13	7
	Séparatif pollué		446	727	1462	425	3	4
	Mantes		890					
g/mm/hab	Séparatif		6,7	8,5	10,6	1,2	2	5
	Séparatif pollué		4,2	6,8	11,5	2,9	3	4
	Mantes		13,3					
g/mm/ha imp	Séparatif		963	2208	8012	2387	8	7
	Séparatif pollué		1689	2373	3480	681	2	4
	Mantes		2280					

Tableau 5.2: Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la pluviométrie pour les MES

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites
tonne	Séparatif	inf	10	34	120	37	12	7
		sup	10	40	150	47	15	7
	Séparatif pollué	inf	20	125	310	117	16	4
		sup	20	201	410	176	21	4
	Unitaire	inf	14	3102	11200	3689	800	6
		sup	14	4002	15200	5081	1086	6
kg/ha	Séparatif	inf	115	370	649	189	6	7
		sup	122	421	811	237	7	7
	Séparatif pollué	inf	201	297	464	100	2	4
		sup	243	418	607	134	2	4
	Mantes	inf	194					
		sup	194					
kg/ha imp	Séparatif	inf	435	837	1852	512	4	7
		sup	435	967	2315	672	5	7
	Séparatif pollué	inf	806	1032	1316	196	2	4
		sup	972	1617	3195	915	3	4
	Mantes	inf	498					
		sup	498					
kg/ha act	Séparatif	inf	667	1458	4138	1122	6	7
		sup	667	1685	5172	1456	8	7
	Séparatif pollué	inf	1160	1757	3043	759	3	4
		sup	1250	3031	7391	2537	6	4
	Unitaire	inf	1051	2577	4240	1012	4	6
		sup	1842	2891	4240	815	2	6

Tableau 5.3: Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour la DCO

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites	
kg/hab	Séparatif	inf	2,8	5,2	11,2	3	4	5	
		sup	3,6	6	14	4	4	5	
	Séparatif pollué	inf	1,3	3,2	6,1	1,8	5	4	
		sup	1,3	4,8	8,1	2,6	6	4	
	Mantes	inf	2,9						
		sup	2,9						
kg/mm	Séparatif		8,3	37,9	68,0	22,1	8	7	
	Séparatif pollué		30	243	610	234	20	4	
	Unitaire		36	5806	21000	6986	583	6	
g/mm/ha	Séparatif		185	525	1276	374	7	7	
	Séparatif pollué		347	519	696	124	2	4	
	Mantes		500						
g/mm/hab	Séparatif		3,1	6,4	13,6	3,7	4	5	
	Séparatif pollué		2	6	12,1	3,7	6	4	
	Mantes		7,5						
g/mm/ha imp	Séparatif		518	1122	2363	691	5	7	
	Séparatif pollué		1389	1863	2632	465	2	4	
	Mantes		128						

Tableau 5.4. Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la pluviométrie pour la DCO

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites
tonne	Séparatif	inf	1,5	4	11	3	7	7
		sup	1,5	5	15	4	10	7
	Séparatif pollué	inf	3,8	40	120	47	32	4
		sup	3,8	51	120	47	32	4
	Unitaire	inf	5,9	1213	3680	1158	624	6
		sup	6,5	1687	6480	2172	997	6
kg/ha	Séparatif	inf	15	54	88	24	6	7
		sup	19	59	92	26	5	7
	Séparatif pollué	inf	46	75	105	23	2	4
		sup	88	100	118	12	1	4
	Unitaire	inf	82					
		sup	90					
kg/ha imp	Séparatif	inf	65	116	170	45	3	7
		sup	68	131	231	60	3	7
	Séparatif pollué	inf	210	263	349	52	2	4
		sup	210	385	620	148	3	4
	Unitaire	inf	210					
		sup	231					
kg/ha act	Séparatif	inf	100	194	379	85	4	7
		sup	100	223	517	127	5	7
	Séparatif pollué	inf	238	443	609	151	3	4
		sup	238	700	1435	446	6	4
	Unitaire	inf	776	1083	1445	292	2	6
		sup	819	1211	1531	278	2	6

Tableau 5.5: Domaine de variation des masses annuelles et des masses annuelles ramenées aux surfaces pour la DBO5

Masses	Type de site	Borne	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Max/Min	Nb sites
kg/hab	Séparatif	inf	0,562	0,758	1,025	0,188	2	5
		sup	0,562	0,840	1,398	0,316	2	5
	Séparatif pollué	inf	0,252	0,991	2,382	0,831	9	4
		sup	0,252	1,270	2,382	0,755	9	4
	Mantes	inf	1,22					
		sup	1,35					
kg/mm	Séparatif		1,2	8,2	29,0	9,0	24	7
	Séparatif pollué		5,7	84	270	109	47	4
	Unitaire		8,8	2535	9400	3145	1068	6
g/mm/ha	Séparatif		22	127	544	173	25	7
	Séparatif pollué		83	134	236	62	3	4
	Mantes		120					
g/mm/hab	Séparatif		0,4	1,7	5,8	2	13	5
	Séparatif pollué		0,4	1,9	5,4	2	14	4
	Mantes		1,8					
g/mm/ha imp	Séparatif		75	255	1008	314	13	7
	Séparatif pollué		315	469	786	189	2	4
	Mantes		310					

Tableau 5.6: Domaine de variation des masses annuelles par habitant et des masses annuelles ramenées à la pluviométrie pour la DBO5

5.2.2. Influences des caractéristiques des sites sur les masses annuelles

L'étude des domaines de variation des masses annuelles a montré que les variations des masses annuelles totales sont très importantes, mais que leur expression en fonction d'une caractéristique (exceptée la pluviométrie) permet de diminuer ces variations. Nous avons passé en revue ces caractéristiques pour déterminer s'il existe des tendances. Seuls la surface active moyenne et le type de réseau ont apporté des éléments supplémentaires par rapport aux valeurs des tableaux. Des caractéristiques comme la pente moyenne et le temps de concentration ont été également étudiées, mais aucune tendance n'a pu être notée.

En ce qui concerne la *surface active moyenne*, l'examen des valeurs indique que les masses annuelles

ramenées à la surface active moyenne sont relativement stables. Lorsqu'on trace les variations des masses annuelles en fonction de la surface active moyenne, certaines tendances se dégagent:

- * il y a une relation croissante entre les deux variables;
- * sur le site unitaire de Mantes-la-Ville les masses annuelles en MES et en DCO sont du même ordre de grandeur que sur les sites séparatifs de même surface active moyenne; en revanche, la masse annuelle de DBO5 est largement supérieur, soulignant ainsi le caractère unitaire du site de Mantes.

Lorsqu'on trace les masses annuelles par hectare actif en fonction du *type de réseau*:

- * pour les MES et la DCO, les domaines de variation des masses annuelles par hectare actif se recouvrent totalement;
- * pour la DBO5, les valeurs pour les sites unitaires sont supérieures à celles des sites séparatifs;
- * une seule exception est observée pour Chesnay, classé parmi les sites séparatifs pollués, qui présente une masse du même ordre de grandeur que les sites unitaires, mais avec un intervalle de confiance très large qui ne permet pas de conclure.

Finalement, on peut donner les ordres de grandeur suivants:

- DBO5: les sites unitaires produisent plus de 800 kg par an et par hectare actif
 les sites séparatifs produisent entre 100 et 500 kg/an et par hectare actif
- MES et DCO: pour les grands sites (plus de 500 ha actif), le caractère unitaire ne joue plus aucun rôle et la production de la masse se ramène au même niveau que celle des petits sites séparatifs (moins de 50 ha actif) entre 1000 et 2000 kg par an et par hectare actif pour les MES et la DCO

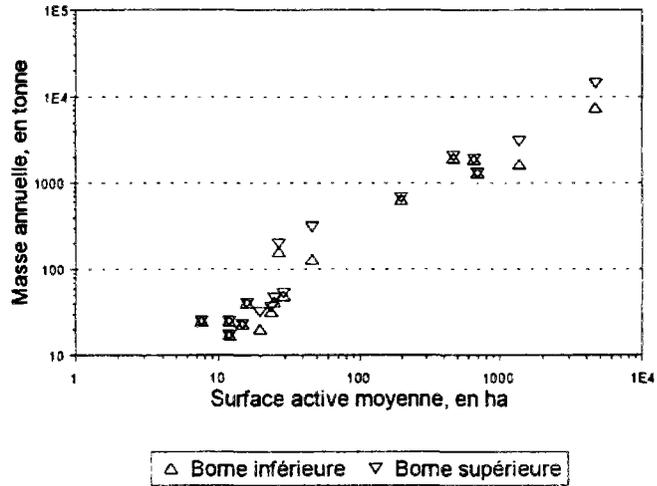


Figure 5.1 Masse annuelle de MES en fonction de la surface active moyenne

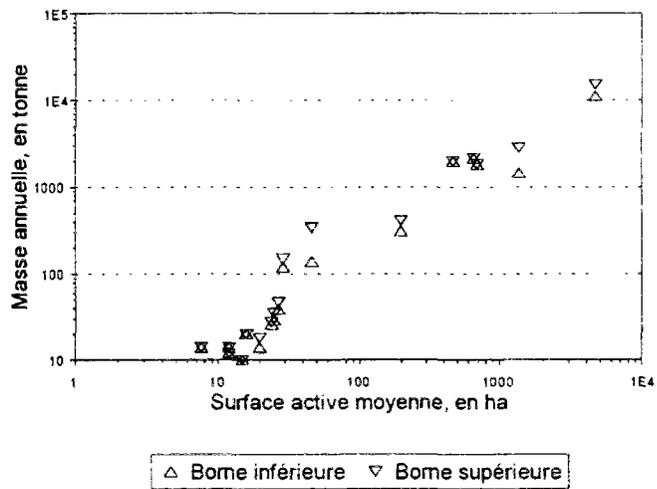


Figure 5.2 Masse annuelle de DCO en fonction de la surface active moyenne

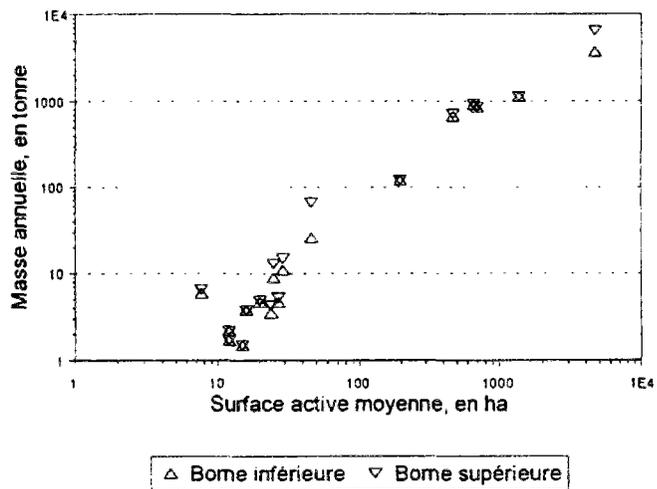


Figure 5.3 Masse annuelle de DBO5 en fonction de la surface active moyenne

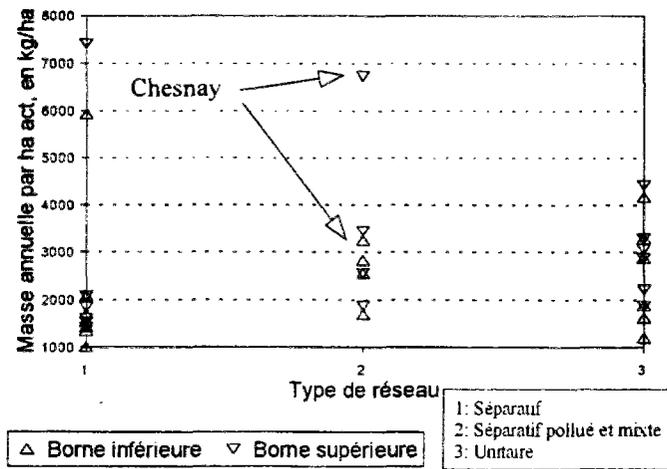


Figure 5.4 Masses annuelles de MES par hectare actif en fonction du type de réseau

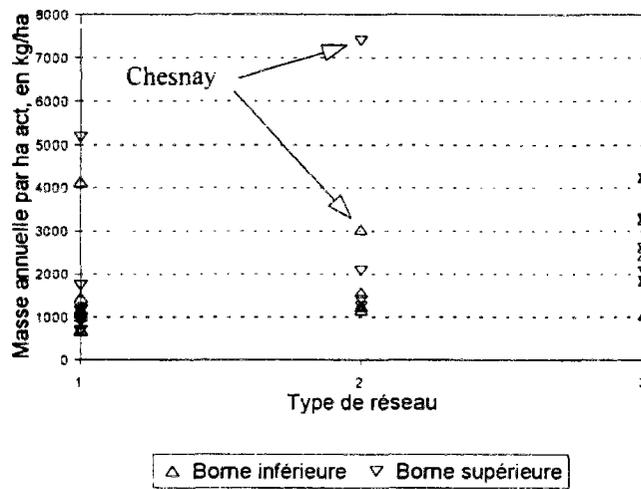


Figure 5.5 Masses annuelles de DCO par hectare actif en fonction du type de réseau

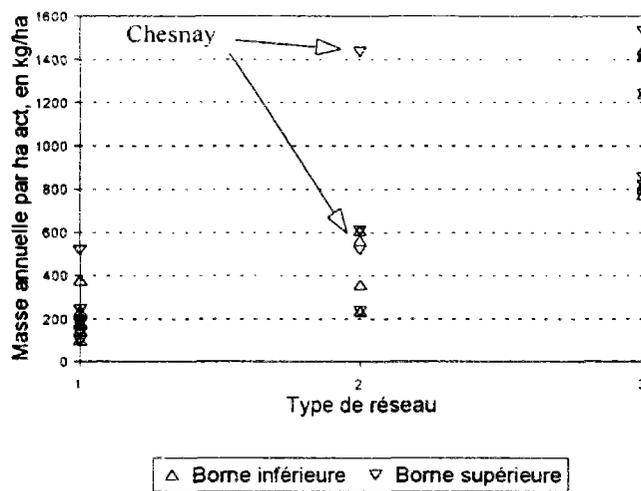


Figure 5.6 Masses annuelles de DBO5 par hectare actif en fonction du type de réseau

5.2.3. Conclusion

L'examen des masses annuelles et les mises en relation effectuées avec certaines caractéristiques des sites n'ont pas permis d'établir des lois très précises, mais seulement quelques tendances:

- * les masses annuelles augmentent avec les surfaces, en particulier avec les surfaces actives moyennes, ce qui ne représente pas un résultat particulièrement étonnant;
- * pour les masses annuelles par hectare actif:
 - * pour la DBO5
 - pour les sites unitaires la production dépasse 800 kg/ha act;
 - pour les site séparatifs la production est comprises entre 100 et 400 kg/ha act;
 - * pour les MES et la DCO, la production des grands sites unitaires se ramènent à celles des sites séparatifs:
 - entre 1000 et 2000 kg/ha act pour les MES;
 - entre 500 et 2000 kg/ha act pour la DCO.

Alors que notre objectif était de donner des ordres de grandeur des masses annuelles en fonction des caractéristiques des sites, il faut avouer que les résultats sont beaucoup plus limités. Comme nous l'avons exposé dans le chapitre 4, la qualité des valeurs de masses annuelles ne fait que refléter celle des données. Nous avons adopté des méthodes de calcul rigoureuses, mais malgré cela il paraît impossible avec les données disponibles d'aller plus loin dans l'explication des variabilités.

5.3. Relations entre pollution et caractéristiques pluviométriques et/ou hydrauliques

Dans ce paragraphe, il s'agit de calculer des coefficients de corrélation simple entre d'une part les concentrations et les masses produites par événement, et d'autre part les caractéristiques pluviométriques et hydrauliques des événements. Puis, seules les variables qui présentent les coefficients les meilleurs sont conservées, comparées d'un polluant à un autre, d'un site à un autre, afin d'en extraire des tendances sur la formation de la pollution. Les polluants étudiés sont les MES, la DCO et la DBO₅, car ce sont les paramètres de qualité communs à toutes les campagnes.

5.3.1. Facteurs explicatifs identifiés dans des études statistiques antérieures

Différentes approches ont été explorées pour représenter la formation de la pollution et pour estimer les charges polluantes déversées à l'aval des réseaux. Mais, la complexité des phénomènes explique que de nombreuses lacunes subsistent encore dans la connaissance des mécanismes de formation de la pollution. Les recherches statistiques constituent toujours une étape intéressante pour identifier les variables qui entrent en jeu. Car toutes les variables peuvent être examinées. Mais cette grande liberté peut s'avérer être un inconvénient. En effet, les variables qui sont sélectionnées parce qu'elles représentent le mieux les variations de ce qu'on cherche à expliquer, sont finalement presque aussi nombreuses que les études et les sites. Pourtant les modélisateurs considèrent souvent ces recherches comme une étape préliminaire indispensable pour déterminer les variables entrant (ou non) dans la composition de leurs modèles déterministes. (Hémain, 1985)

Le bilan des résultats et des variables explicatives mises en évidence est difficile à dresser. En fait, toutes les variables peuvent être citées: tant au niveau des sites (surface, occupation des sols, pente...) que des événements pluvieux (hauteur précipitée, intensité, durée, volume écoulé, débit de pointe...). De plus, suivant le site d'étude, certaines variables paraissent avoir des effets inverses.

Une revue des études statistiques menées aux USA et en Europe (Geiger, 1984) (Hogland et al., 1984) (Driver et al., 1986, 1987) (Tasker et al., 1988) (Fisher et al., 1989) (Driver, 1990) (Aalderink et al., 1990) montre qu'il est difficile de dresser un bilan. Tout d'abord, il n'est peut-être pas raisonnable de vouloir comparer des résultats issus de procédures différentes. Les méthodes utilisées pour déterminer les meilleures variables pour établir des régressions multiples, ne sont pas toujours les mêmes. D'autre part, l'ensemble des variables explorées est rarement identique d'une étude à une autre. Certaines se concentrent sur l'explication d'une ou deux variables comme la durée de temps sec précédent un événement ou l'intensité de la pluie ayant engendré l'écoulement (Aalderink et al., 1990). D'autres moins restrictives restent tout de même dans un domaine particulier comme uniquement la pluie (Geiger, 1984). Enfin, certaines études tentent de prendre

en compte les caractéristiques du bassin (Driver, 1990).

La liste des variables identifiées dans les différentes études et de celle disponible sur nos sites, nous ont mené à dresser la liste détaillée dans le paragraphe 4.3. Nous n'avons pas utilisé d'informations sur les sites, comme la répartition des surfaces en différents types d'occupation, car les informations disponibles sont très disparates. Les échantillons que nous avons utilisés sont également décrits dans le paragraphe 4.3. Ce sont ceux qui ont permis d'établir des équations de régression sur les concentrations et sur les masses.

5.3.2. Relations entre paramètres de qualité

Sur l'ensemble des sites, les trois paramètres MES, DCO et DBO5 présentent des relations significatives, que ce soit entre les concentrations ou entre les masses:

- * pour près de 93% des relations les coefficients de corrélation dépassent le seuil de signification à 10%;
- * seulement 30% présentent des relations très fortes, caractérisées par des coefficients supérieurs à 0.9;
- * les relations entre MES et DCO sont toujours meilleures qu'entre MES et DBO5, avec quelques exceptions pour les masses.

Cela semble indiquer que les rejets des différents polluants sont liés, mais pas assez pour que la connaissance d'un seul permette de prédire les autres. La figure 5.7 présente un exemple de relation obtenue sur le site des Ulis Sud.

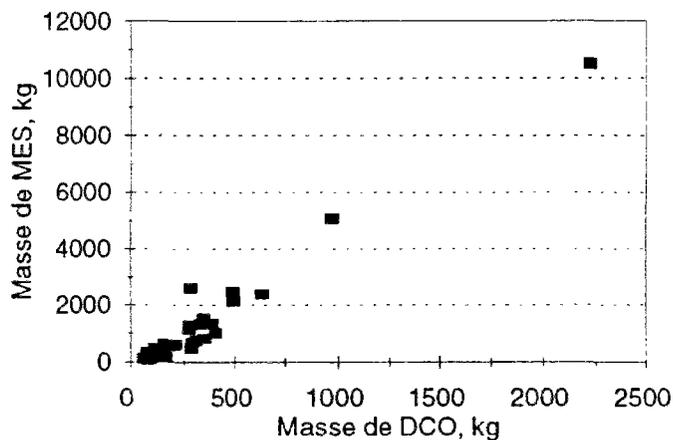


Figure 5.7 Relation entre les masses de MES et de DCO sur Ulis Sud

Site	Concentration			Masse		
	MES-DCO	MES-DBO5	DCO-DBO5	MES-DCO	MES-DBO5	DCO-DBO5
Sites séparatifs						
Aix zup	0.57	0.39	0.83	0.73	0.44	0.68
Aix Nord	0.61	0.47	0.89	0.78	0.35	0.73
Maurepas	0.85	0.70	0.84	0.80	0.78	0.80
Vélizy	0.89	0.75	0.87	0.97	0.89	0.93
Centre Urbain	0.84	0.59	0.69	0.86	0.14	0.79
Ulis Sud	0.72	0.50	0.89	0.98	0.90	0.94
Malnoue	0.97	0.89	0.86	0.67	0.91	0.69
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	0.82	0.75	0.97	0.92	0.76	0.90
Grammont	0.94	0.86	0.97	0.92	0.65	0.88
Chesnay	0.94	0.91	0.99	0.77	0.65	0.94
Baudile	0.78	0.66	0.96	0.41	0.18	0.56
Sites unitaires						
Mantes	0.50	0.30	0.87	0.81	0.61	0.74
DD11	0.80	0.40	0.05	0.78	0.72	0.25
D11	0.71	0.67	0.97	0.83	0.80	0.98
PHI1400	0.94	0.75	0.87	0.89	0.73	0.91
Enghien	0.86	0.79	0.97	0.77	0.90	0.98
PLB	0.93	0.78	0.88	0.63	0.82	0.91

Tableau 5.7 Coefficients de corrélation simple entre les concentrations et entre les masses de deux paramètres différents

5.3.3. Coefficients de corrélation entre paramètre de qualité et variables de pluie, d'écoulement et de climatologie

5.3.3.1. Les coefficients de corrélation les plus élevés

Dans les tableaux 5.8 et 5.9, pour les concentrations et les masses, sont indiquées les variables de pluie, d'hydraulique et de climatologie qui présentent les coefficients de corrélation supérieurs à 0.7, ou s'il n'en existe pas, ceux qui sont significatifs au seuil de 10%. Les cases vides signifient qu'il n'y a pas pour

l'échantillon considéré de coefficient supérieur aux valeurs seuils indiquées dans le tableau B.1. Dans ce cas, il est impossible d'affirmer l'existence d'une relation entre la concentration ou la masse, et l'une des variables étudiées.

Les valeurs qu'atteignent les coefficients de corrélation de ces tableaux sont parfois très faibles, même si elles sont représentatives au seuil de signification de 10%:

- * moins de 40% des échantillons présentent un coefficient de corrélation supérieur à 0.7;
- * parmi les coefficients supérieurs à 0.7, 75% sont relatifs à des échantillons sur les masses;
- * 40% des échantillons sur les masses ne présentent pas de coefficient supérieur à 0.7, alors que pour les échantillons sur les concentrations cette fraction s'élève à plus de 75%.

Ces mauvais résultats peuvent être attribuables à la dimension réduite des échantillons (en général moins de 20 valeurs sont disponibles) dans ce cas le poids des valeurs prises individuellement est très fort, une valeur unique peut avoir une conséquence importante sur la valeur du coefficient de corrélation. Cela peut être également attribuable aux variables disponibles, celles que nous étudions ne sont pas celles qui ont le plus d'influence sur la formation des concentrations et des masses.

5.3.3.2. Influence des caractéristiques des sites

Comme pour les masses annuelles, les caractéristiques les plus importantes sont le type de réseau et la surface active moyenne. Dans les tableaux 5.8 et 5.9, les sites sont classés d'abord par type de réseau et ensuite par surface active moyenne croissante.

Pour étudier l'influence du *type de réseau*, les étapes sont les suivantes:

Identifier les coefficients de corrélation de plus de 0.7:

sur les masses, les variables qui sont citées le plus souvent sont:

- * pour les sites séparatifs, QMAX (4 fois sur 6);
- * pour les sites séparatifs pollués, QMAX, VR, DR (chacun apparaît 2 fois sur 9);
- * pour les sites unitaires, VR (5 fois sur 15), QMAX (4 fois sur 15) et IMTC (4 fois sur 15).

Ces résultats montrent que, excepté pour les sites séparatifs, il n'existe pas une variable qui explique les masses produites par événement. Par contre, il existe des sites pour lesquels une seule variable présente le coefficient le plus fort pour les 3 paramètres: VR pour Ullis Sud, la Briche D11 et PLB, et QMAX pour Grammont.

Regrouper les variables en 3 catégories, pour dégager des tendances plus marquées:

- * antécédent pluviométrique: DTS, H7, H14, H28, HPRECED et QTS;

- * volume des événements: VR, DR, HP, et DP;
- * intensité des événements: IMTC, IMA5, QMAX.

De plus, on considère toutes les variables qui présentent le coefficient de corrélation le plus grand sur chaque échantillon, même lorsqu'il vaut moins de 0.7. Cela signifie qu'on suppose les variables comparables à partir du moment où ce sont celles qui présentent les relations les plus fortes, même lorsque cette force traduite par le coefficient de corrélation n'est pas la même.

Les relations privilégiées qui apparaissent sont:

- * pour les sites séparatifs:
 - les concentrations de DCO et de DBO5 avec l'antécédent pluviométrique;
 - les masses de MES avec l'intensité des événements;
- * pour les sites séparatifs pollués:
 - les concentrations de MES, DCO et DBO5 avec l'antécédent pluviométrique;
 - les masses de MES et de DCO avec l'intensité des événements;
- * pour les sites unitaires:
 - les masses de DBO5 avec le volume des événements.

Regrouper les données des bassins ayant le même type de réseau (tableau 5.10):

- * pour les sites séparatifs stricts (Aix Zup, Aix Nord, Maurepas, Vélizy, Ulis Sud, Malnoue, et Centre Urbain);
- * pour les sites séparatifs pollués (Ulis Nord, Grammont, Chesnay et Baudile);
- * pour les sites unitaires (Mantes, et les 5 sites de la Briche).

Ces regroupements permettent d'augmenter considérablement la taille des échantillons. Les résultats obtenus peuvent être résumés très simplement:

- * pour les sites séparatifs, aucune variable n'apparaît.
- * pour les sites séparatifs pollués, les concentrations semblent liées à la durée de temps sec antécédent; cela n'est guère étonnant car c'est cette variable qui apparaît dans le tableau 5.8 pour ces sites, mais avec des coefficients de corrélation inférieurs à 0.7;
- * pour les sites unitaires, le volume et le débit de pointe semblent avoir une influence importante sur les masses;

Pour étudier l'influence de la *surface active moyenne*, les étapes sont les suivantes:

Identifier les coefficients de corrélation de plus de 0.7:

- * pour les petits sites de moins de 30 ha de surface active, les échantillons de masse qui ne présentent pas de coefficient de corrélation supérieur à 0.7 sont peu nombreux: 9 sur 30;

- * pour les sites de plus de 30 ha, ils sont au nombre de 13 sur 21 échantillons.

Les variables qui apparaissent le plus sont:

- * pour les bassins de petite taille (surface active moyenne de moins de 30 ha):
 - QMAX pour les masses;
 - il n'y a pas de coefficient de corrélation supérieur à 0.7 pour les concentrations;
- * pour les sites plus grands (surface active moyenne de plus de 30 ha): il n'y a pas assez de coefficient de plus de 0.7 pour observer une tendance.

Pour les grands sites unitaires de la Briche, les résultats ne présentent pas de tendance bien marquée. Mais il s'agit de réseaux complexes, maillés et dont la surface drainée aux points de mesure est difficilement estimable, mais sans aucun doute de plusieurs centaines d'hectares, et pour lesquels la représentativité des pluviomètres n'a pas été complètement justifiée par l'analyse hydraulique. Il n'est donc guère étonnant que les résultats de corrélation soient médiocres.

Regrouper les données de plusieurs sites suivant leur taille (tableau 5.10):

- * les bassins de moins de 50 hectares actifs (Mantes, Aix Zup, Aix Nord, Maurepas, Ulis Nord, Vélizy, Centre Urbain, Grammont, Ulis Sud, Malnoue, et Chesnay);
- * les bassins de plus de 200 hectares actifs (Baudile et les 5 sites de la Briche).

Les principaux résultats sont les suivants:

- * pour les sites de moins de 50 ha actifs, aucune caractéristique n'apparaît;
- * pour les sites dont la surface est supérieure à 200 ha actifs, le volume et le débit de pointe semblent avoir une influence importante sur les masses.

Le regroupement des sites masque la spécificité de chacun, au niveau des masses cela permet de mettre en évidence le volume comme facteur explicatif important, alors que pour les concentrations les mauvais résultats obtenus par regroupement montrent que l'explication des concentrations ne peut pas se passer de la spécificité de chacun des sites. On note également que le débit de pointe qui apparaît dans les tableaux 5.8 et 5.9 pour les surfaces de moins de 50 ha et pour les masses n'apparaît plus lorsqu'on regroupe les sites. Probablement parce que le poids des valeurs pour lesquelles la relation est forte individuellement est faible devant les autres valeurs.

SITE	SACT	CONCENTRATION			MASSE		
		MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
Aix Zup	12	QMAX:0.51	H28:-0.51	H28:-0.41	QMAX:0.94 IMTC:0.90 IMAX5:0.87 HP:0.70	IMTC:0.93 IMAX5:0.93	H28:-0.50
Aix Nord	12	IMTC:0.60 IMAX5:0.60	DTS:0.45	DTS:0.48	IMTC:0.95 IMAX5:0.92 QMAX:0.83 VR:0.72	IMTC:0.88 QMAX:0.81 IMAX5:0.81 VR:0.73	QMAX:0.53
Maurepas	15	DTS:0.63	DTS:0.69	DTS:0.69	QMAX:0.89 HP:0.80 IMTC:0.79 IMAX5:0.72 VR:0.72	HP:0.78 IMTC:0.71	VR:0.79 HP:0.72 QMAX:0.70
Vélizy	20	DTS:0.63	DTS:0.66	DTS:0.64	QMAX:0.91 IMTC:0.89	QMAX:0.82 MTC:0.81	DTS:0.79 IMTC:0.78 QMAX:0.77
Centre Urbain	24	VR:-0.57	HP:-0.56	HPPRECED:-0.36	IMTC:0.50	DP:0.60	VR:0.83 DR:0.78 HP:0.76
Ulis Sud	27	DP:-0.59	DP:-0.64	HP:-0.57	VR:0.83 QMAX:0.75 QTS:0.74	VR:0.87 QMAX:0.69	VR:0.92 DR:0.72
Malnoue	29		H28:0.49		IMTC:0.78 HP:0.76 QMAX:0.75 VR:0.74		HP:0.65

Tableau 5.8: Variables dont les coefficients de corrélation sont les plus élevés et significatifs au seuil de 10% pour les sites séparatifs stricts

SITE	SACT	CONCENTRATION			MASSE		
		MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	16	DTS:0.62	DTS:0.69	DTS:0.67	QMAX:0.87 IMTC:0.80 IMAX5:0.78	QMAX:0.77	HP:0.72
Grammont	25	H28:-0.53	H7:-0.65	H7:-0.76	QMAX:0.92 VR:0.84 HP:0.80 IMTC:0.76 DP:0.75 DR:0.72	QMAX:0.89 VR:0.73 IMTC:0.71 HP:0.71	QMAX:0.63
Chesnay	46	DTS:0.82	DTS:0.95	DTS:0.88	IMTC:0.51	DTS:0.69	DTS:0.48
Baudile	197	DTS:0.46	DTS:0.87		IMAX5:0.72 IMTC:0.72	QMAX:0.68	QTS:0.49
Sites unitaires							
Mantes	7.6	IMTC:0.74 QMAX:0.75	DR:-0.50	VR:-0.43	QMAX:0.971 MTC:0.93 HP:0.83	QMAX:0.76 HP:0.76 IMTC:0.71	HP:0.64
DD11	467	DR:-0.88	DR:-0.89	IMAX5:0.78	HP:0.82		IMAX5:0.9
D11	657		H7:-0.59	HP:-0.56	VR:0.76	VR:0.57	VR:0.64
PHI 1400	694	VR:-0.61	VR:-0.64	DTS:0.50			DR:0.46
Enghien	1380	QMAX:-0.69	QMAX:-0.8	QMAX:-0.75	DP:0.73 DR:0.71	DR:0.75	DR:0.73
PLB	4600	H7:-0.57	DTS:-0.56		VR:0.60 QMAX:0.60	VR:0.62	VR:0.77 DP:0.74

Tableau 5.9: Variables dont les coefficients de corrélation sont les plus élevés et significatifs au seuil de 10% pour les sites séparatifs pollués et mixtes, et unitaires

Type de site	Concentration			Masse		
	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
Surface < 50ha						
Surface > 50 ha				VR=0.89 QMAX=0.73	VR=0.90 QMAX=0.70	VR=0.91 QMAX=0.67
Séparatif						
Séparatif pollué	DTS=0.70	DTS=0.78	DTS=0.70	VR=0.71 QMAX=0.57	VR=0.81 QMAX=0.79	VR=0.78 QMAX=0.65
Unitaire				VR=0.90 QMAX=0.90	VR=0.91 QMAX=0.87	VR=0.93 QMAX=0.85

Tableau 5.10: Coefficients de corrélation les plus élevés entre concentration et masse, et caractéristiques des événements pluvieux, sur des échantillons regroupant différents types de sites

5.3.4. Variables supplémentaires apportées par les équations multiples

D'après ce qui a été établi dans le paragraphe 4.3 seulement 41 équations sur 70 présentent plus d'une variable dans leur expression.

En concordance avec ce qui a été indiqué pour les corrélations simples:

- * pour les équations dont la première variable est caractéristique du volume (pour les masses 14 équations sur 25), la deuxième variable est indifféremment caractéristique du volume, de l'intensité, ou de l'antécédent pluviométrique;
- * pour les équations dont la première variable traduit l'intensité de l'événement (pour les masses 10 équations sur 25), la deuxième variable appartient au groupe traduisant l'antécédent pluviométrique de l'événement;
- * pour les équations dont la première variable est caractéristique de l'antécédent pluviométrique (pour les concentrations 10 équations sur 16), la deuxième variable semble être alors le plus souvent caractéristique du volume: pour les corrélations simples, pour les concentrations, c'était effectivement les variables de l'antécédent pluviométrique qui apparaissaient les plus nombreuses, suivies des variables de volume.

1ère variable	2ème variable
VOLUME	VOLUME, INTENSITE ou ANTECEDENT
INTENSITE	ANTECEDENT
ANTECEDENT	VOLUME

Tableau 5.11: Comparaison des variables entrant en première et deuxième position dans les équations de régression

5.3.5. Conclusion

Pour obtenir des facteurs explicatifs à la production de la pollution, nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaire entre les concentrations et les masses par événement, et les caractéristiques des événements pluvieux (hauteur de pluie, durée de la pluie, intensité maximale sur le temps de concentration et sur 5 mn, volume écoulé, durée de l'écoulement, débit de pointe, débit de temps sec précédent, durée de temps sec antécédent, hauteur précipitée 7, 14 et 28 jours avant). De la matrice de corrélation, nous avons extrait les variables qui présentent les coefficients les plus élevés. Mais, les valeurs des coefficients ne permettent pas de tirer des conclusions très nette, en effet:

- * moins de 40% des coefficients de corrélation dépassent 0.7 (valeur traduisant une relation forte);
- * les coefficients sont en général plus élevés pour les masses que pour les concentrations;
- * le classement par type de réseau montre que pour les sites séparatifs les masses semblent liées au débit de pointe, pour les autres sites aucune variable ne ressort;
- * le regroupement des variables en 3 catégories montrent que les concentrations présentent des relations avec l'antécédent pluviométrique (QTS, DTS, H7, H14 ou H28), et les masses avec l'intensité des événements (IMTC, IMAX5 ou QMAX), toutefois ces relations ne sont pas observées sur les sites unitaires.

Certains résultats de ce type qu'on trouve dans la littérature sont tout aussi imprécis. Sur 3 sites séparatifs près de Baltimore (Fisher et al., 1989), les caractéristiques qui apparaissent varient d'un site à un autre, et aucun groupe n'est prédominant.

D'autres résultats dégagent des variables qui ne concordent pas avec les nôtres. Les résultats du programme américain NURP (Driver et al., 1986, 1987) (Tasker et al., 1988) (Driver, 1990) mettent en avant la hauteur précipitée par événement et la surface du site, pour expliquer les masses et les concentrations. Sur le site de Lelystad aux Pays Bas (Aalderink et al., 1990), la concentration de DCO semble liée au débit moyen, mais pas du tout à la durée de temps sec antécédent. Sur des bassins unitaires, Geiger (1984) note que les masses paraissent liées au volume écoulé.

Ces différences sont probablement dues aux différences de méthodes, et peut être à la géographie. Néanmoins, notre étude qui avait pour objectif de confronter sur plusieurs sites les variables explicatives de la pollution n'a pas abouti. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cet échec:

- * malgré notre volonté d'appliquer des méthodes homogènes sur l'ensemble des sites, il n'a pas été possible d'utiliser toutes les variables sur certains sites, les comparaisons entre les sites sont probablement biaisées;
- * les variables que nous utilisons doivent être complétées par des informations plus précises, par exemple sur l'intensité de la pluie (intensité sur un pas de temps inférieur à 5 mn);
- * la relation linéaire n'est pas la seule relation qui peut être envisagée, on peut introduire des relations avec des seuils, par exemple la masse peut être reliée linéairement à la hauteur de pluie, et rester stable au-dessus d'une certaine hauteur.

5.4. Les événements les plus pollués

Le paragraphe précédent s'est intéressé à l'ensemble des événements afin de dégager les facteurs explicatifs les plus importants pour les concentrations moyennes et les masses produites par événement. Dans ce paragraphe, le champs d'étude est limité aux événements les plus pollués, car ce sont eux qui engendrent des dommages ponctuels les plus spectaculaires. Nous entendons par "événements les plus pollués", ceux qui présentent les valeurs les plus élevées pour la concentration ou pour la masse totale rejetée pendant l'événement. Ce sont des critères globaux sur la qualité du rejet, que nous savons difficilement relier à l'état de santé du milieu récepteur comme pourrait le définir un biologiste, mais ce sont des grandeurs simples à manipuler, qui traduisent probablement le degré d'importance de l'impact d'un rejet. Dans ce paragraphe, les objectifs sont:

- * donner des ordres de grandeur des valeurs maximales observées pendant les campagnes de mesures (on dira un mot sur leur représentativité);
- * les comparer aux masses annuelles étudiées dans le paragraphe 5.2;
- * trouver des caractéristiques explicatives à ces valeurs extrêmes.

Les ordres de grandeur ainsi que l'étude en fonction des caractéristiques des sites seront données pour tous les paramètres disponibles. La comparaison aux masses annuelles est faite uniquement pour les MES, la DCO et la DBO5.

5.4.1. Représentativité des mesures de qualité des écoulements

Extraire la valeur maximale d'un échantillon de valeurs, ne garantit pas d'avoir le maximum absolu. Se pose donc le problème de la représentativité des données disponibles par rapport à l'ensemble des mesures possibles. Les campagnes de mesure que nous étudions durent en général assez longtemps (de 11 à 16 mois). Mais cela ne signifie pas que les analyses pour les différents polluants sont faites pour tous les événements de la période. Seule une sélection des événements a bénéficié des analyses chimiques.

Les critères de choix de ces événements ont été définis de manière à obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble des événements de la campagne. Dans les rapports d'étude de chaque campagne, des tests de représentativité sont décrits vis-à-vis des hauteurs de pluie précipitée, des intensités de pluie (moyennes sur la durée de la pluie, ou sur le temps de concentration), des volumes écoulés, ou des débits maximaux. Les conclusions de ces tests annoncent toujours que la représentativité est assurée. Ainsi, les valeurs extrêmes (de concentration ou de masse) extraites des valeurs mesurées sont jugées elles aussi représentatives des valeurs extrêmes qui auraient été observées sur l'ensemble des événements.

En revanche, il est impossible de déterminer les périodes de retour, en terme de qualité des effluents, de ces

événements. Par conséquent, on ne sait pas si on peut véritablement les comparer d'un site à un autre. C'est pourquoi nous ne chercherons pas à expliquer les variations des valeurs extrêmes par les caractéristiques des sites.

5.4.2. Domaine de variation des valeurs extrêmes sur l'ensemble des sites.

5.4.2.1. Les valeurs mesurées

Les valeurs des tableaux 5.12 à 5.17 nous donnent quelques indications:

- * les domaines de variation sont très larges pour les concentrations comme pour les masses. Le rapport de la valeur la plus grande à la plus petite est rarement inférieur à 2;
- * les domaines de variation pour les masses sont toujours plus importants que pour les concentrations;
- * la distinction suivant le type de réseau n'est pas significative, car les domaines de variation pour les trois types se recouvrent toujours en grande partie; d'ailleurs, il suffit de prendre en compte l'incertitude sur les mesures de concentration pour qu'ils se recouvrent totalement; de plus, pour certains paramètres, les sites unitaires ne sont pas représentés ou uniquement par le site de Mantes;
- * néanmoins, pour les concentrations les domaines de variation sont moins larges pour les sites unitaires que pour les sites séparatifs, pour les masses c'est l'inverse;
- * parmi les domaines de variation les moins importants (rapport entre valeur maximale et minimale inférieur à 3), on note:
 - * les concentrations de MES:
 - entre 700 et 1800 mg/l pour les sites unitaires;
 - entre 800 et 2500 mg/l pour les sites séparatifs pollués;
 - * les concentrations de DCO:
 - entre 500 et 1500 mg/l pour les sites séparatifs;
 - entre 900 et 2700 mg/l pour les sites séparatifs pollués;
 - entre 850 et 1100 mg/l pour les sites unitaires;
 - * les concentrations de DBO5:
 - entre 250 et 820 mg/l pour les sites séparatifs pollués;
 - entre 250 et 480 mg/l pour les sites unitaires;
 - * les concentrations de plomb:
 - entre 440 et 1440 µg/l pour les sites séparatifs;
 - entre 420 et 770 µg/l pour les sites séparatifs pollués;
 - entre 610 et 1300 µg/l pour les sites unitaires.

Paramètre		Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
MES	mesure	Séparatif	645	1608	3784	975	7
	calcul		645	1619	3784	974	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	784	1540	2475	744	4
	calcul		784	4429	13622	5351	
	mesure	Unitaire	692	968	1760	366	6
	calcul		757	1862	5856	1819	
DCO	mesure	Séparatif	501	943	1498	357	7
	calcul		501	1464	3797	1017	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	933	2180	2715	729	4
	calcul		933	5515	16005	6094	
	mesure	Unitaire	840	968	1119	96	6
	calcul		853	972	1119	92	
DBO5	mesure	Séparatif	48	231	745	223	7
	calcul		87	355	745	236	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	250	590	819	209	4
	calcul		250	1032	2588	913	
	mesure	Unitaire	255	333	483	81	6
	calcul		292	485	781	175	
MES après décantation de 2h		Séparatif	95	478	900	292	4
		Séparatif pollué et mixte	79	158	293	96	3
		Mantes	299				
DCO après décantation de 2h		Séparatif	108	363	566	174	7
		Séparatif pollué et mixte	110	395	650	213	4
		Mantes	561				
DBO5 après décantation de 2h		Séparatif	22	72	160	45	7
		Séparatif pollué et mixte	35	54	82	18	4
		Mantes	178				
MVS		Séparatif	278	638	1149	324	5
		Séparatif pollué et mixte	306	793	1559	476	4

Tableau 5.12: Domaine de variation des concentrations (mg/l) moyennes par événement les plus fortes par campagne

Paramètre	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
Azote Kjeldhal	Séparatif	11	33	48	14	4
	Ulis Nord	35				
	Mantes	73				
Azote ammoniacal	Séparatif	1,6	5,1	6,8	2,1	4
	Ulis Nord	14				
	Mantes	84				
Nitrate	Séparatif	15	34	75	25	4
	Ulis Nord	7,8				
	Mantes	7,6				
Orthophosphate	Séparatif	0,4	4,0	6,0	2,2	3
	Ulis Nord	6,2				
Phosphore total	Séparatif	3,4	4,1	5,2	0,8	3
	Ulis Nord	10				
	Unitaire					
Hydrocarbure	Séparatif	5	38	159	51	7
	Séparatif pollué	7	25	67	24	4
	Unitaire	38	156	319	92	6
Carbone organique total	Séparatif	17	70	150	58	3
	Baudile Chesnay	45		90		

Tableau 5.13: Domaine de variation des concentrations (mg/l) moyennes par événement les plus fortes par campagne, suite

Paramètre	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
Plomb	Séparatif	436	994	1440	333	6
	Séparatif pollué et mixte	422	631	771	136	4
	Unitaire	610	922	1330	253	6
Cadmium	Séparatif	5	21	65	20	6
	Séparatif pollué et mixte	9	19	47	16	4
	Unitaire	20	35	70	17	6
Zinc	Séparatif	45	1685	5310	1687	6
	Séparatif pollué et mixte	18	791	1456	640	4
	Unitaire	2570	3997	6270	1252	6
Mercure	Séparatif	0,9	16	29	11	6
	Séparatif pollué et mixte	1,4	6	17	6,2	4
	Unitaire	4,2	17	29	11	5
Cuivre	Maurepas et Ulis Sud	75		170		
	Ulis Nord	61				
Chrome	Séparatif	25	48	86	24	4
	Ulis Nord	106				
Nickel	Séparatif	59	452	1230	550	3
	Ulis Nord	1920				

Tableau 5.14: Domaine de variation des concentrations ($\mu\text{g/l}$) moyennes par événement les plus fortes par campagne, suite

Paramètre		Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
MES	mesure	Séparatif	1459	4370	10519	3077	7
	calcul		1459	4414	10519	3043	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	1459	4370	16193	5574	4
	calcul		2660	9578	19933	7268	
	mesure	Unitaire	1538	48053	144273	45741	6
	calcul		1538	73337	277813	92946	
DCO	mesure	Séparatif	844	2078	3769	999	7
	calcul		844	2380	3769	980	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	1070	7432	17371	6731	4
	calcul		1070	10263	22325	8853	
	mesure	Unitaire	584	52618	165317	52759	6
	calcul		584	87139	326431	109412	
DBO5	mesure	Séparatif	174	332	583	158	7
	calcul		174	500	1360	380	
	mesure	Séparatif pollué et mixte	158	2353	7706	3121	4
	calcul		158	3263	9963	3966	
	mesure	Unitaire	55	19339	62272	19916	6
	calcul		124	45690	155141	51210	
MES après décantation de 2h		Séparatif	344	1577	3689	1315	4
		Séparatif pollué et mixte	700	1463	2565	798	3
		Mantes	116				
DCO après décantation de 2h		Séparatif	254	451	1112	276	7
		Séparatif pollué et mixte	161	1226	3254	1226	4
		Mantes	94				
DBO5 après décantation de 2h		Séparatif	42	80	152	37	7
		Séparatif pollué et mixte	56	357	957	360	4
		Mantes	37				
MVS		Séparatif	659	2241	6829	2342	5
		Séparatif pollué et mixte	833	4179	10030	3726	4

Tableau 5.15: Domaine de variation des masses (kg) par événement les plus fortes par campagne

Paramètre	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
Azote Kjeldhal	Séparatif	25	57	94	25	4
	Ulis Nord	35				
	Mantes	19				
Azote ammoniacal	Séparatif	5	16	22	6	4
	Ulis Nord	55				
	Mantes	22				
Nitrate	Séparatif	25	134	307	105	4
	Ulis Nord	13				
	Mantes	3				
Orthophosphate	Séparatif	0,3	4,4	7,9	3,1	3
	Ulis Nord	5,4				
Phosphore total	Séparatif	5,4	9,0	14,5	4,0	3
	Ulis Nord	13				
Hydrocarbure	Séparatif	8	49	181	56	7
	Séparatif pollué et mixte	34	86	144	39	4
	Unitaire	11	15974	62230	21107	6
Carbone organique total	Séparatif	70	271	586	226	3
	Baudile Chesnay	149		1267		

Tableau 5.16: Domaine de variation des masses (kg) par événement les plus fortes par campagne, suite

Paramètre	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type	Nb sites
Plomb	Séparatif	540,0	3069	6178	2116	6
	Séparatif pollué et mixte	1555	6803	20930	8169	4
	Unitaire	489	55931	136519	41713	6
Cadmium	Séparatif	14	71	181	56	6
	Séparatif pollué et mixte	118	157	223	41	4
	Unitaire	24	3527	15036	5207	6
Zinc	Séparatif	18	6188	12825	4805	6
	Séparatif pollué et mixte	28	13814	43527	17437	4
	Unitaire	1861	219636	804190	270728	6
Mercure	Séparatif	10	68	215	70	6
	Séparatif pollué et mixte	3	32	86	32	4
	Unitaire	114	924	2991	1045	5
Cuivre	Maurepas Ulis Sud	300		1059		
	Ulis Nord	111				
Chrome	Séparatif	11	227	530	192	4
	Ulis Nord	39				
Nickel	Séparatif	105	5229	15369	7170	3
	Ulis Nord	2553				

Tableau 5.17: Domaine de variation des masses (g) par événement les plus fortes par campagne, suite

5.4.2.2. Les valeurs calculées

Pour les MES, la DCO et la DBO5, les mesures disponibles n'ont pas permis un calcul de la masse annuelle de manière directe, il a été nécessaire de reconstituer les valeurs de concentrations ou de masses pour obtenir les masses annuelles. Il est alors intéressant de comparer les valeurs extrêmes des échantillons reconstitués avec celles des échantillons mesurés.

Les tableaux 5.18 et 5.19 indiquent que dans la majorité des cas les valeurs extrêmes mesurées et calculées sont comparables. Compte tenu des incertitudes sur les méthodes de calcul, un rapport 2 entre le calcul et la mesure peut être considéré comme faible.

En ce qui concerne les concentrations, on constate des écarts importants dans 4 cas :

- * pour 2 cas il s'agit d'une équation de régression sur la masse: cela signifie que les équations qui reconstituent la masse ne sont pas adaptées pour reconstituer la concentration et d'ailleurs sur ces échantillons, les masses mesurées et calculées les plus grandes sont les mêmes;
- * pour 2 cas il s'agit d'une équations de régression sur la concentration: les concentrations sortent du domaine des mesures car les équations ont été appliquées sur des variables (pluie ou volume) qui sortent du domaine où les équations ont été établies.

En ce qui concerne les masses, on observe des écarts importants entre mesure et calcul uniquement sur Vélizy pour la DBO5. Il s'agit pourtant d'une équation sur la masse, mais appliquée hors de son domaine de définition.

Site	Maximum des concentrations moyennes par événement en mg/l					
	MES		DCO		DBO5	
	mesure	calcul	mesure	calcul	mesure	calcul
Sites séparatifs						
Vélizy	1151	B' : 1151	652	B' : 1370	159	C : 652
Centre Urbain	645	A : 645	882	C : 3797	48	C' : 358
Ulis Sud	1477	C' : 1550	501	C' : 501	87	C' : 87
Malnoue	1298	A : 1298	1498	B' : 1511	171	B' : 232
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Grammont	836	A : 836	2408	C' : 2408	250	C' : 250
Chesnay	2065	B' : 13620	2664	B' : 16000	819	B' : 2590
Baudile	784	C : 784	933	B' : 933	624	A : 624
Sites unitaires						
Mantes	1760	B' : 1760	1070	A : 1070	290	C : 290
DD11	953	C : 1140	923	A : 923	395	C : 395
D11	692	C' : 5856	840	A : 840	255	A : 255
PHI	757	A : 757	1120	A : 1120	483	A : 483
Enghien	742	B' : 760	919	B' : 919	315	A : 315
PLB	904	C' : 904	933	C' : 933	262	C' : 500

Tableau 5.18: Comparaison entre mesures et calculs des concentrations moyennes par événement les plus grandes

Site	Maximum des masses par événement en kg					
	MES		DCO		DBO5	
	mesure	calcul	mesure	calcul	mesure	calcul
Sites séparatifs						
Vélizy	2700	B' : 2700	1110	B' : 3220	180	C : 1360
Centre Urbain	1904	A : 1904	2510	C : 2510	354	C' : 354
Ulis Sud	10519	C' : 10519	2220	C' : 2220	210	C' : 210
Malnoue	5320	A : 5320	2900	B' : 12400	545	B' : 545
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Grammont	2330	A : 2660	1425	C' : 2530	270	C' : 480
Chesnay	6110	B' : 12900	9860	B' : 15130	1280	B' : 2450
Baudile	16190	C : 16190	17370	B' : 22320	7700	A : 9960
Sites unitaires						
Mantes	1540	B' : 1540	580	A : 580	55	C : 120
DD11	38500	C : 39100	29800	A : 35800	14570	C : 14570
D11	43600	C' : 43600	49100	A : 49100	13500	A : 49400
PHI	16400	A : 23900	26300	A : 33300	9450	A : 23420
Enghien	44000	B' : 54000	44600	B' : 77600	16200	A : 31500
PLB	144000	C' : 278000	165000	C' : 326000	62300	C' : 155000

Tableau 5.19: Comparaisons entre mesures et calculs des masses par événements les plus fortes

5.4.3. Comparaisons entre les masses par événement les plus importantes et les masses annuelles

Le chapitre 5.2 s'intéresse aux masses annuelles, c'est-à-dire à la pollution rejetée sur une longue période, à l'opposé le chapitre 5.4 étudie la pollution sur une courte période, celle d'un événement pluvieux, c'est-à-dire sur une période de quelques heures. L'objet de ce paragraphe est de faire le lien entre ces deux échelles de temps. Pour cela, on compare les masses les plus importantes, mesurées ou calculées pendant la période de mesure, avec les masses annuelles. Les figures 5.8 à 5.16 représentent pour les masses correspondantes aux 10 événements les plus importants en masse rejetée, la fraction de la masse annuelle qu'elles constituent. Il faut rappeler que les pourcentages obtenus sont associés à plusieurs types d'incertitudes: sur les mesures, sur les calculs des masses par des équations de régression et sur l'estimation des masses annuelles. Les valeurs des masses annuelles qui sont utilisées sont les valeurs estimées dans le chapitre 4. Afin de ne pas surcharger les figures nous n'avons pas représenté les intervalles de confiance.

Les situations sont très variables d'un site à un autre. Le pourcentage de la masse la plus importante représente:

- * pour les MES, entre 1 et 27% de la masse annuelle;
- * pour la DCO, entre 1 et 28%;
- * pour la DBO5, entre 1 et 17% .

Pour certains sites, 50% de la masse annuelle est atteint avec moins de 10 événements.

Les caractéristiques pluviométriques et hydrauliques de ces événements sont étudiés dans le paragraphe suivant. Néanmoins, sur les figures deux événements se distinguent particulièrement, sur Aix Nord pour les MES et la DCO, sur Enghien pour les MES:

- * Sur Aix Nord pour les deux paramètres, il s'agit du même événement qui correspond à une hauteur de pluie assez faible de 8.6 mm, d'intensité maximale sur 5 mn de 7.6 mm/h, et dont le volume écoulé ne représente que 7% du volume le plus fort. En revanche, la durée de temps sec antécédent est très importante, 33 jours.
- * Sur Enghien, il s'agit d'une pluie très forte de 28.9 mm et d'intensité maximale sur 5 mn de 120 mm/h et dont le volume écoulé est le plus grand enregistré pendant la campagne de mesure.

Ces deux exemples donnent un aperçu de la diversité des événements qui engendrent les pollutions les plus fortes.

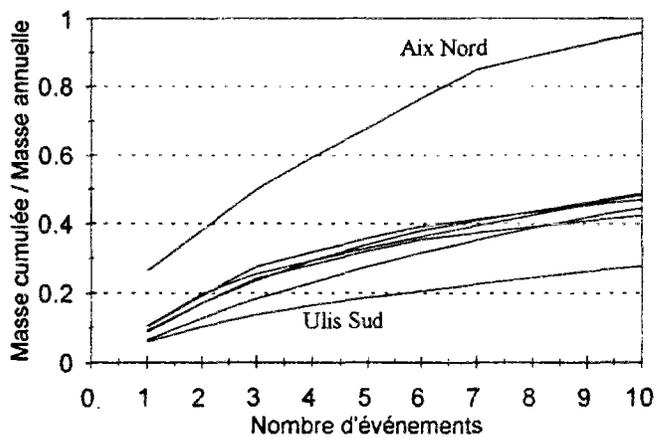


Figure 5.8 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de MES sur les sites séparatifs

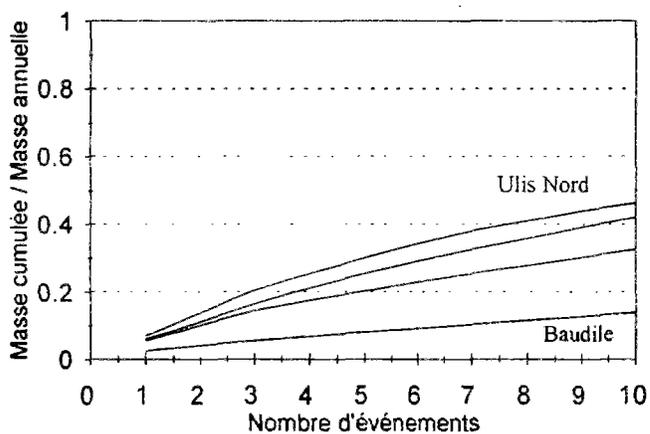


Figure 5.9 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de MES sur les sites séparatifs pollués et mixtes

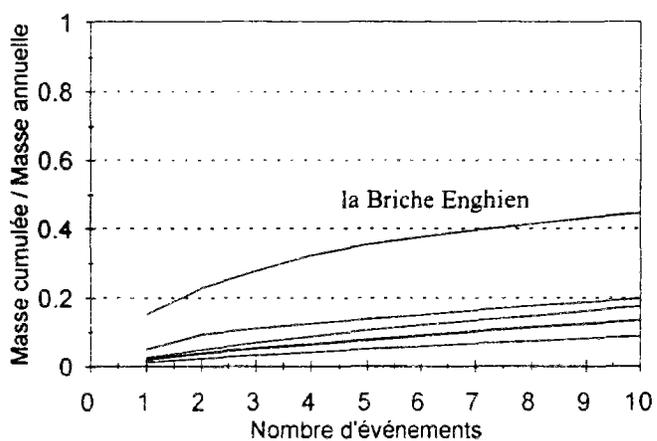


Figure 5.10 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de MES sur les sites unitaires

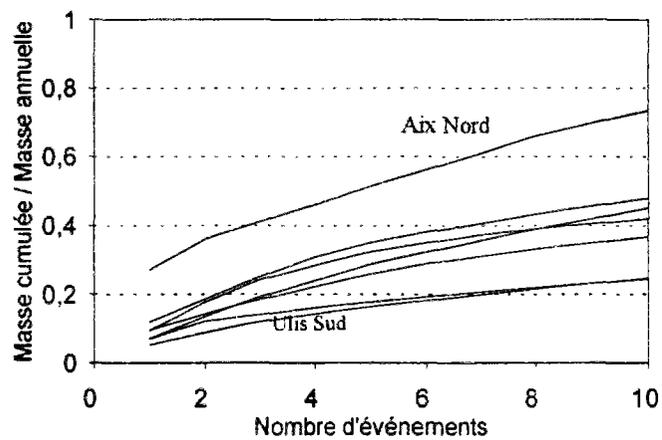


Figure 5.11 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites séparatifs

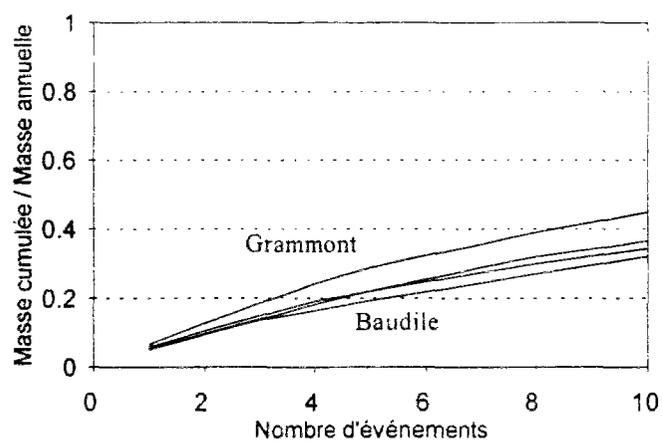


Figure 5.12 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites séparatifs pollués et mixtes

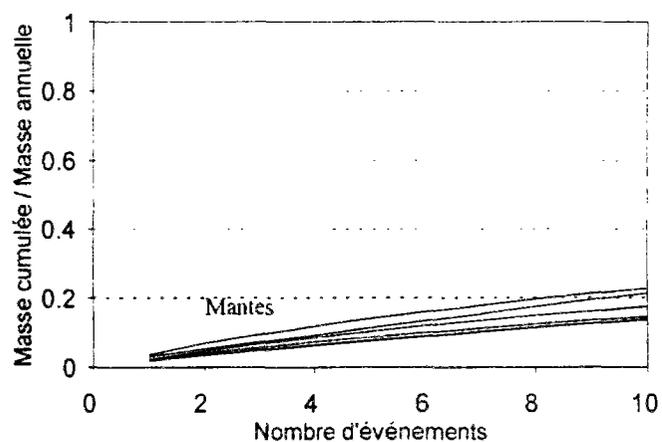


Figure 5.13 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DCO sur les sites unitaires

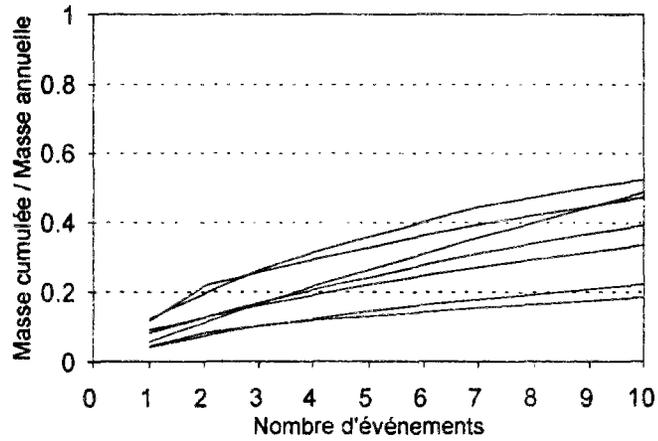


Figure 5.14 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 pour les sites séparatifs

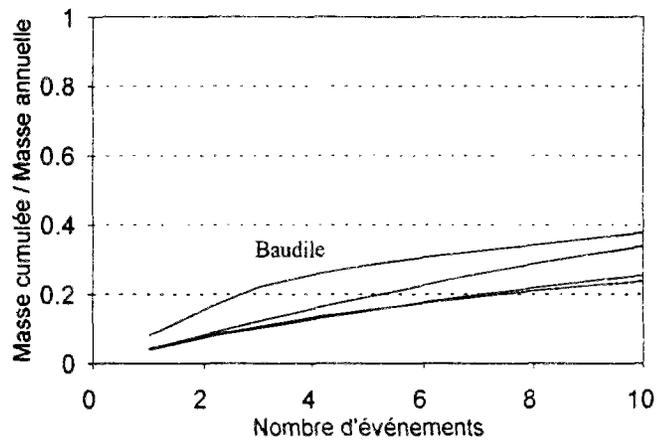


Figure 5.15 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 sur les sites séparatifs pollués et mixte

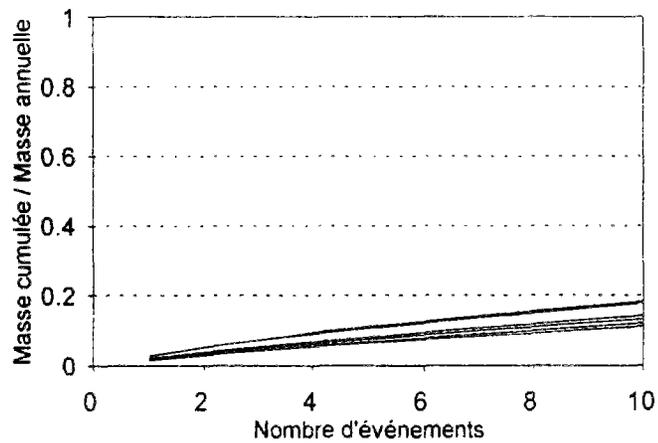


Figure 5.16 Masse cumulée des 10 plus fortes masses de DBO5 sur les sites unitaires

5.4.4. Analyse de correspondances avec les caractéristiques pluviométriques et hydrauliques

5.4.4.1. Principe de l'étude

L'analyse de correspondance décrite dans ce paragraphe a pour objectif de déterminer quelles sont les caractéristiques de l'événement les plus souvent rencontrées parmi les événements les plus pollués, et uniquement parmi eux. Le chapitre 4.3 a permis d'établir des relations sur l'ensemble des événements, sans chercher à distinguer un type d'événement d'un autre. Ici, nous ne nous intéressons qu'aux événements les plus pollués, susceptibles d'engendrer des effets de choc sur le milieu récepteur, et dont nous voulons connaître les caractéristiques communes. La fin du paragraphe précédent amorce cette recherche et laisse présager des difficultés pour déterminer ces caractéristiques communes.

Comme précédemment, nous entendons par événements les plus pollués ceux qui correspondent aux concentrations moyennes les plus fortes et ceux qui correspondent aux masses produites les plus fortes. Les deux groupes d'événements ne sont pas toujours les mêmes, voilà pourquoi nous les étudions en parallèle.

Les caractéristiques des événements parmi lesquelles nous recherchons des explications à ces pollutions aiguës sont:

- * HP: la hauteur précipitée;
- * IMTC et IMAX5: les intensités moyennes maximales sur le temps de concentration et sur 5 minutes;
- * DTS: la durée de temps sec antécédent;
- * VR: le volume écoulé;
- * QMAX et QMOY: le débit maximal et le débit moyen sur la durée de l'écoulement

Pour un événement, une pollution extrême est engendrée parce que des conditions extrêmes sont réunies. Nous voulons identifier ces conditions parmi les variables citées. Pour cela, pour chaque site, on regarde combien d'événements parmi les 5 concentrations les plus fortes, puis parmi les 5 masses les plus fortes, correspondent également aux 5 plus fortes valeurs de chacune des variables énumérées ci-dessus. Puis on additionne ces événements pour les sites ayant le même type de réseau.

De la même manière qu'on classe les sites, on classe également les caractéristiques explicatives en 3 catégories comme cela a été fait dans le chapitre 5.3:

- * le groupe Antécédent (A) ne contient ici que la durée de temps sec antécédent;
- * le groupe Volume (V) rassemble hauteur de pluie et volume écoulé;
- * le groupe Intensité (I) comprend les intensités maximales sur le temps de concentration et sur 5 minutes, les débits maximaux et moyens sur la durée de l'événement.

On détermine ensuite le nombre d'événements dont la concentration, puis dont la masse, correspondent aux 5 plus fortes valeurs, et pour lesquels l'une au moins des caractéristiques d'une catégorie fait partie des 5 plus grandes valeurs. Par exemple, pour le groupe Volume on regarde, si chacune des concentrations les 5 plus grandes, correspond aux volumes ou aux hauteurs de pluie les 5 plus importantes.

Enfin, on compte le nombre d'événements, parmi les 5 plus fortes concentrations ou masses, pour lesquels l'une au moins des caractéristiques de deux catégories fait partie des 5 plus grandes valeurs. Par exemple, pour l'association A ou V, on regarde si chacune des concentrations les 5 plus grandes correspond aux durées de temps sec antécédent ou aux hauteurs de pluie ou aux volumes les 5 plus grands.

Les comptes précédents sont effectués pour chaque polluant, mais il est intéressant de comparer également les polluants. Pour cela, on compte les événements qui présentent les concentrations, puis les masses, les plus fortes pour 2 polluants différents, pour savoir si un événement qui rejette une forte masse pour un paramètre donné, est également fortement polluant vis-à-vis des autres paramètres.

Le classement des événements suivant une caractéristique de qualité, comme de pluie ou d'hydraulique, s'effectue sur les événements possédant des mesures de concentration. Par conséquent l'événement classé premier en hauteur de pluie par exemple, est premier parmi un ensemble réduit d'événements, et non pas sur la totalité des pluies mesurées pendant la campagne. Se pose donc à ce niveau le problème de la représentativité des événements analysés du point de vue de la qualité, par rapport à l'ensemble des pluies recensées. Afin de limiter en partie ce problème, ont été éliminés les échantillons qui comptent moins de 10 événements, puis les paramètres pour lesquels les mesures ont été faites sur moins de 4 sites.

Les résultats des tableaux 5.20 à 5.22 sont exprimés sous forme du pourcentage du nombre total des événements étudiés, c'est-à-dire 5 fois le nombre de sites.

5.4.4.2. Caractéristiques qui présentent les pourcentages de correspondance les plus élevés

Les pourcentages du tableau 5.20 indiquent que:

- * de manière générale, les pourcentages sont plus faibles pour les concentrations que pour les masses: il est moins aisé d'expliquer les fortes concentrations, comme dans le paragraphe 4.2 les coefficients de corrélation étaient en général moins élevés sur les concentrations que sur les masses;
- * les pourcentages de correspondance les meilleurs varient dans de grande proportion pour chaque type de réseau:

pour les concentrations	pour les sites séparatifs,	entre 23 et 63%;
	pour les sites séparatifs pollués,	entre 35 et 65%;
	pour les sites unitaires,	entre 37 et 67%;

pour les masses	pour les sites séparatifs	entre 43 et 77%;
	pour les sites séparatifs pollués	entre 35 et 85%;
	pour les sites unitaires	entre 47 et 63%.

Les caractéristiques qui reviennent le plus dans les tableaux sont:

- * la durée de temps sec antécédent, pour les concentrations:

pour les sites séparatifs,	8 fois sur 11 paramètres;
pour les sites séparatifs pollués,	8 fois sur 11 paramètres;
pour les sites unitaires,	8 fois sur 8 paramètres;
- * le volume écoulé, pour les masses:

pour les sites séparatifs,	9 fois sur 11 paramètres.
----------------------------	---------------------------

Pour les masses sur les sites séparatifs pollués et unitaires, il n'y a pas de caractéristiques communes à un grand nombre de paramètres. Comme facteur explicatif des fortes masses, on trouve dans les mêmes proportions le volume, le débit de pointe ou le débit moyen.

5.4.4.3. Catégories de caractéristiques qui présentent les pourcentages de correspondance les plus élevés

Lorsqu'on cherche à identifier non plus une caractéristique explicative mais une catégorie de caractéristique, on constate que celle qui a le plus fort taux de correspondance avec la concentration ou la masse, ne comprend pas toujours la caractéristique qui individuellement présente le plus fort taux. C'est la catégorie Intensité qui prend alors la place de ces caractéristiques que ce soit pour la concentration ou la masse.

Pour les masses, alors qu'on ne parvient pas à identifier une caractéristique explicative des valeurs extrêmes, il est possible d'identifier une catégorie de caractéristique, c'est l'Intensité:

- * pour les sites séparatifs, 8 fois sur 11;
- * pour les sites séparatifs pollués, 8 fois sur 11;
- * pour les sites unitaires, 8 fois sur 8.

De plus, pour certains paramètres, le fait de regrouper les caractéristiques ne permet pas d'augmenter significativement les pourcentages de correspondance. Pour les concentrations de MES, DCO et DBO5, ils restent inférieurs à 50% sur les sites séparatifs et séparatifs pollués.

5.4.4.4. Associations de catégories de caractéristiques qui présentent les pourcentages de correspondance les plus élevés

L'association de deux catégories permet d'augmenter considérablement les pourcentages de correspondance. Même si pour les concentrations, il reste des paramètres pour lesquels il est impossible de caractériser les événements les plus forts avec les caractéristiques utilisées, comme les MES, la DCO et la DBO5 pour les sites séparatifs et séparatifs pollués.

Néanmoins, on peut noter que pour l'ensemble des paramètres, au moins 75% des concentrations et au moins 80% des masses les plus fortes pour les sites unitaires, correspondent à des durées de temps sec antécédent importantes ou à des pluies intenses

Pour les sites séparatifs et séparatifs pollués, il n'y a pas d'association qui est dominante pour expliquer les masses extrêmes. Les trois associations possibles apparaissent à peu près aussi souvent. Les pourcentages de correspondance qu'elles autorisent sont toujours supérieurs à 70%.

5.4.4.5. Pourcentages de correspondance les plus élevés sur l'ensemble des sites entre deux paramètres distincts

Les comparaisons des paramètres n'ont pas porté sur tous les paramètres. Seuls ceux qui présentent des échantillons de taille suffisante ont été conservés, c'est-à-dire ceux qui concernent plus de 6 sites, et plus de 10 événements par site.

La comparaison des concentrations ou des masses les plus fortes pour deux paramètres différents, apportent peu d'information sur les liaisons possibles qui existent entre eux:

- * sauf exception, les taux de correspondance ne sont pas significatifs;
- * la majorité d'entre eux est inférieure à 50%.
- * les taux de correspondance significatifs supérieurs à 70% sont observés:
 - entre les concentrations et les masses de MVS et d'azote Kjeldhal;
 - entre les masses de MVS et de plomb;
 - entre les masses de MVS et de Zinc.

Mais la taille des échantillons utilisés pour les MVS est faible. Ces taux de correspondance élevés sont par conséquent peut-être plus le fait d'artefacts de calcul, que la traduction d'une réalité physique ou chimique.

Paramètre	Type de sites	Nb sites	Nb mesures	Caractéristique au plus fort %	
				Concentration	Masse
MES	Séparatif	7	395	QMAX=34	QMAX=63
	Séparatif pollué	4	224	DTS=45	IMTC=QMAX=45
	Unitaire	6	86	DTS=57	QMOY=53
DCO	Séparatif	7	389	DTS=29	VR=QMAX=43
	Séparatif pollué	4	220	DTS=35	QMAX=50
	Unitaire	6	86	DTS=67	VR=QMAX=QMOY=47
DCO ad2	Séparatif	7	241	DTS=37	VR=71
	Séparatif pollué	4	66	DTS=60	VR=80
DBO5	Séparatif	7	378	DTS=43	VR=51
	Séparatif pollué	4	212	DTS=35	HP=QMOY=35
	Unitaire	6	86	DTS=63	DTS=VR=47
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	DTS=46	VR=63
	Séparatif pollué	4	67	DTS=60	HP=80
MVS	Séparatif	5	215	DTS=32	VR=QMAX=68
	Séparatif pollué	4	96	DTS=60	QMAX=75
HC	Séparatif	7	160	DTS=63	QMAX=57
	Séparatif pollué	4	71	DTS=55	VR=85
	Unitaire	6	86	DTS=37	VR=60
Plomb	Séparatif	7	173	IMTC=IMAX5=DTS=23	VR=60
	Séparatif pollué	4	87	IMTC=IMAX5=50	QMAX=80
	Unitaire	6	86	DTS=57	QMOY=63
Cadmium	Séparatif	6	152	QMAX=50	VR=QMAX=QMOY=70
	Séparatif pollué	4	56	IMTC=65	VR=QMAX=70
	Unitaire	6	86	DTS=QMOY=43	VR=QMOY=60
Zinc	Séparatif	6	161	DTS=47	VR=77
	Séparatif pollué	4	59	DTS=50	VR=75
	Unitaire	6	86	DTS=63	VR=QMOY=57
Mercure	Séparatif	6	103	HP=50	VR=67
	Séparatif pollué	4	30	QMOY=45	QMAX=QMOY=50
	Unitaire	5	62	DTS=48	QMOY=60

Tableau 5.20: Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et une caractéristique de l'événement

Paramètre	Type de sites	Nb sites	Nb mesures	Catégorie de caractéristique au plus fort %	
				Concentration	Masse
MES	Séparatif	7	395	Intensité=37	Intensité=69
	Séparatif pollué	4	224	Antécédent=45	Intensité=65
	Unitaire	6	86	Intensité=60	Intensité=73
DCO	Séparatif	7	389	Antécédent=29	Intensité=51
	Séparatif pollué	4	220	Antécédent=35	Intensité=55
	Unitaire	6	86	Antécédent=67	Intensité=70
DCO ad2	Séparatif	7	241	Intensité=40	Volume=74
	Séparatif pollué	4	66	Intensité=Antécédent=60	Volume=80
DBO5	Séparatif	7	378	Antécédent=43	Intensité= Volume= 54
	Séparatif pollué	4	212	Antécédent=35	Intensité=45
	Unitaire	6	86	Antécédent=63	Intensité=63
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	Intensité=49	Intensité= Volume= 66
	Séparatif pollué	4	67	Intensité=65	Volume=80
MVS	Séparatif	5	215	Intensité=40	Intensité=72
	Séparatif pollué	4	96	Antécédent=60	Intensité=80
HC	Séparatif	7	160	Antécédent=63	Intensité=69
	Séparatif pollué	4	71	Antécédent=55	Intensité= Volume= 85
	Unitaire	6	86	Intensité=47	Intensité=67
Plomb	Séparatif	7	173	Intensité=29	Volume=63
	Séparatif pollué	4	87	Intensité=65	Intensité=90
	Unitaire	6	86	Intensité=63	Intensité=83
Cadmium	Séparatif	6	152	Intensité=67	Intensité=80
	Séparatif pollué	4	56	Intensité=65	Intensité= Volume= 70
	Unitaire	6	86	Intensité=63	Intensité=73
Zinc	Séparatif	6	161	Intensité=57	Volume=77
	Séparatif pollué	4	59	Intensité=55	Volume=75
	Unitaire	6	86	Antécédent=63	Intensité=70
Mercure	Séparatif	6	103	Intensité=60	Intensité= Volume= 70
	Séparatif pollué	4	30	Intensité=60	Intensité=70
	Unitaire	5	62	Intensité=60	Intensité=72

Tableau 5.21: Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et les caractéristiques d'une même catégorie

Paramètre	Type de sites	Nb sites	Nb mesures	Catégorie de caractéristique au plus fort %	
				Concentration	Masse
MES	Séparatif	7	395	A ou I=51	A ou I=VouI=77
	Séparatif pollué	4	224	A ou I=70	A ou I=75
	Unitaire	6	86	A ou I=87	A ou I=90
DCO	Séparatif	7	389	A ou I=43	A ou I=57
	Séparatif pollué	4	220	A ou I=50	V ou I=70
	Unitaire	6	86	A ou I=87	A ou I=90
DCO ad2	Séparatif	7	241	A ou I=51	V ou I=86
	Séparatif pollué	4	66	A ou I=70	A ou V=85
DBO5	Séparatif	7	378	A ou I=49	V ou I=74
	Séparatif pollué	4	212	A ou I=AouV=40	V ou I=65
	Unitaire	6	86	A ou I=80	A ou I=83
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	A ou I=69	V ou I=80
	Séparatif pollué	4	67	A ou I=70	V ou I=90
MVS	Séparatif	5	215	A ou I=56	V ou I=92
	Séparatif pollué	4	96	A ou I=80	A ou I=95
HC	Séparatif	7	160	A ou I=69	A ou V=86
	Séparatif pollué	4	71	A ou I=75	V ou I=100
	Unitaire	6	86	A ou I=67	A ou I=80
Plomb	Séparatif	7	173	A ou I=37	A ou V=71
	Séparatif pollué	4	87	A ou I=85	A ou I=V ou I=95
	Unitaire	6	86	A ou I=87	A ou I=93
Cadmium	Séparatif	6	152	A ou I=70	V ou I=87
	Séparatif pollué	4	56	A ou I=A ou V=VouI=70	V ou I=80
	Unitaire	6	86	A ou I=83	A ou I=87
Zinc	Séparatif	6	161	A ou I=63	V ou I=83
	Séparatif pollué	4	59	A ou I=65	A ou V=80
	Unitaire	6	86	A ou I=93	A ou I=90
Mercure	Séparatif	6	103	A ou V=V ou I=67	A ou V=83
	Séparatif pollué	4	30	A ou I=VouI=60	A ou I=V ou I=70
	Unitaire	5	62	A ou I=76	A ou V=A ou I=V ou I=84

Tableau 5.22: Meilleur pourcentage de correspondance entre les concentrations et les masses par événement et les caractéristiques d'une association de catégorie

5.4.5. Conclusion

L'étude des événements les plus pollués est importante pour caractériser les impacts qu'un rejet peut engendrer à une échelle de temps de quelques heures.

Les remarques principales sur les valeurs extrêmes de concentration et de masse sont les suivantes:

- * les domaines de variation sont très larges, plus larges pour les masses que pour les concentrations;
- * les domaines de variation pour les 3 types de réseau se recoupent totalement, et ne permettent pas de donner des ordres de grandeur particulier à chaque type de réseau.

Ces grandes disparités ne peuvent pas être expliquées dans notre cas en faisant appel aux caractéristiques des sites. En effet, nous ne connaissons pas les périodes de retour des événements ayant engendré les pollutions les plus grandes. Par conséquent, il est risqué de vouloir comparer sur plusieurs sites des événements qui ne sont pas comparables. De toute façon, même pour des périodes de retour des pluies équivalentes, il n'est pas évident qu'on puisse comparer les concentrations, car cela suppose que les périodes de retour des concentrations sont les mêmes que celles des pluies.

La disparité des événements se retrouve lorsqu'on compare les masses les plus grandes aux masses annuelles. En effet, la masse la plus grande représente:

entre 1 et 27 % de la masse annuelle de MES;

entre 1 et 28% de la masse annuelle de DCO;

entre 1 et 17% de la masse annuelle de DBO5.

En revanche, cette comparaison peut devenir un critère pour déterminer les périodes de retour des événements, car on doit pouvoir comparer des événements qui représentent la même fraction de la masse annuelle.

Pour déterminer quelles sont les caractéristiques des événements les plus pollués, une analyse de correspondance a été menée sur les différents sites. Les principaux résultats sont les suivants:

- * il n'y a pas de caractéristique dont les valeurs les plus fortes correspondent systématiquement aux concentrations ou aux masses les plus grandes;
- * l'association des caractéristiques en catégorie fait ressortir que les masses le plus fortes correspondent à des événements pluvieux intenses (c'est-à-dire forte intensité précipitée sur le temps de concentration ou sur 5 mn. ou débit de pointe important), mais pour les concentrations rien ne

ressort;

- * avec 2 catégories, il ressort que 75% des concentrations et 80% des masses les plus grandes correspondent à des durée de temps sec antécédent importantes ou à des pluies intenses.

Ces résultats concordent avec ceux du paragraphe 5.3 sur les relations qui existent entre pollution et caractéristiques des événements. Ces relations ont été recherchées sur l'ensemble des événements avec des coefficients de corrélation. Il en ressortait que les concentrations sont liées à l'antécédent pluviométrique et les masses à l'intensité des événements. On constate donc que, en première approximation, les concentrations et les masses les plus grandes ont des facteurs explicatifs similaires à ceux trouvée sur l'ensemble des valeurs.

5.5. Répartition des masses en cours d'événement

Les chapitres précédents se sont intéressés aux masses rejetées à deux échelles de temps différentes, l'année et l'événement, tous les événements puis seulement les plus pollués. Or, caractériser la pollution d'un événement par une concentration moyenne ne rend pas compte de l'évolution de la concentration pendant l'événement, car la concentration maximale mesurée pendant un écoulement sur un pas de temps de quelques minutes peut être très supérieure à la concentration moyenne. D'autre part, il est très intéressant de savoir où se situe la pointe de la concentration. Car, dans un objectif de traitement des rejets, si elle se situe en début d'écoulement et dans les premiers m³, cela limiterait les volumes à intercepter tout en s'assurant que la majorité de la masse polluante sera traitée. Dans ce contexte, les objectifs de ce chapitre sont :

- * décrire les pollutogrammes disponibles d'où les pointes de concentration sont extraites;
- * comparer la position relative dans le temps des pointes de concentration et de débit, et indiquer si la pointe de concentration se produit avant ou après celle du débit;
- * étudier la répartition de la masse rejetée avec le volume écoulé, pour cela donner des indications sur la forme des courbes, en particulier pour 20 ou 50% du volume écoulé donner les domaines de variation de la fraction de la masse rejetée.

Dans chaque cas, on donne les domaines de variation des valeurs extraites, puis on tente de déterminer l'influence des caractéristiques des sites: type de réseau, surface (totale, imperméable et active moyenne), temps de concentration et pente moyenne.

5.5.1. Description et représentativité des pollutogrammes disponibles

La première étape consiste à caractériser les pollutogrammes disponibles, pour savoir s'ils sont représentatifs des événements de chaque campagne. Les éléments des tableaux 5.23 et 5.24 permettent de savoir quel type d'événements possède un pollutogramme. On y a noté pour les événements disposant d'un pollutogramme les valeurs minimales et maximales de hauteur de pluie, de volume, de débit de pointe et de durée de temps sec antécédent. Entre parenthèse ce sont les rangs de ces valeurs sur l'ensemble des mesures classées dans l'ordre décroissant de chaque variable (rang 1 = plus forte valeur) / Le nombre total de mesures. Le tableau 5.23 concerne les sites sur lesquels des mesures de volume sont disponibles pour des événements autres que les pollutogrammes. Dans le tableau 5.24, on trouve les sites où il n'y a pas de mesures de volume en dehors des pollutogrammes. De plus, sur Malnoue pour la moitié des pollutogrammes les données de pluie sont manquantes.

Les sites mentionnés dans le tableau 5.23 possèdent un grand nombre de mesures de pluie et de volume. On constate sur ces sites que les pollutogrammes se situent parmi les valeurs les plus fortes de hauteur de pluie, de volume écoulé et de débit de pointe. Alors que pour les durées de temps sec antécédent, les valeurs correspondantes aux pollutogrammes couvrent toute la gamme des mesures disponibles, des plus petites aux

plus fortes.

Pour les sites regroupés dans le tableau 5.24, les durées de temps sec ainsi que les hauteurs de pluie sont représentatives de l'ensemble des événements. Pour ces sites, les rapports entre la valeur maximale et la valeur minimale des volumes sont en général assez grand, et dans des ordres de grandeur équivalent à ceux observés sur les sites du tableau 5.23. On peut donc supposer que la répartition des pollutogrammes parmi les événements est la même.

Site	Nombre de pollutogrammes	Hauteur pluie mm (rang)	Volume écoulé m ³ (rang)	Débit de pointe l/s (rang)	Temps sec précédent h (rang)
Aix Zup	20	3.6-26.8 (48-5) / 73	450-3760 (37-4) / 73	55-1050 (48-2) / 73	2.4-714 (72-3) / 73
Aix Nord	12	5.8-49.6 (32-1) / 72	316-6690 (38-1) / 66	62-4300 (31-1) / 66	3.6-462 (67-6) / 72
Maurepas	24	4.4-47.4 (61-1) / 156	800-12500 (52-1) / 172	105-2820 (87-1) / 172	2.4-512 (137-3) / 156
Centre Urbain	5	7.9-16.2 (34-9) / 130	1580-4920 (23-5) / 72	200-800 (32-4) / 72	17-274 (82-2) / 130
Ulis Sud	10	3.2-9.6 (71-12) / 130	770-5800 (57-8) / 74	160-1250 (43-1) / 130	2-300 (127-8) / 130
Malnoue	9	5.1-8.1 (36-23) / 119	695-6150 (43-6) / 100	210-800 (45-6) / 100	2-131 (117-12) / 119
Ulis Nord	14	4.4-20 (51-5) / 92	775-3855 (35-4) / 93	80-770 (55-3) / 93	4.8-300 (87-5) / 92
Grammont	7	2.5-9.7 (68-16) / 124	400-3010 (69-7) / 96	190-520 (42-7) / 96	1.7-86 (120-21) / 124
Chesnay	5	4.4-25.4 (49-5) / 174	2950-15400 (21-2) / 52	330-1130 (22-2) / 52	1.9-227 (146-5) / 174
Baudile	5	3.8-20.3 (55-8) / 151	7070-37000 (36-8) / 78	1710-10400 (21-4) / 78	0.85-96.8 (172-17) / 174

Valeur minimale - Valeur maximale correspondant aux pollutogrammes
entre parenthèse : Rang valeur minimale - Rang valeur maximale / Nombre de valeurs disponibles

Tableau 5.23: Caractéristiques des pollutogrammes pour des campagnes où les mesures de débit sont disponibles pour d'autres événements que les pollutogrammes

Site	Nombre de pollutogrammes	Hauteur pluie mm (rang)	Volume écoulé m3 (rang)	Débit de pointe l/s (rang)	Temps sec précédent h (rang)
Vélizy	18	1.6-15.8 (121-3) / 141	140-4280	58-2540	1-620
Mantes	9	1.2-8.6 (103-7) / 234	66-1040	38-230	0.5-375 (231-5) / 234
DD11	16	0.3-24.9 (87-2) / 89	10200-87800	1200-4000	7-730 (95-5) / 102
D11	17	2.2-28.9 (75-1) / 89	7070-108000	730-5180	10-360 (93-12) / 102
PHI	18	0.4-10.7 (86-9) / 89	16800-40200	650-2030	5-970 (99-1) / 102
Enghien	17	2.3-9.2 (73-14) / 89	32000-134000	2080-6800	7-363 (95-12) / 102
PLB	18	1.0-10.7 (82-9) / 89	111000-439000	5170-200000	5-970 (99-1) / 102

Valeur minimale - Valeur maximale correspondant aux pollutogrammes
entre parenthèse:(Rang valeur minimale - Rang valeur maximale) / Nombre de valeurs disponibles

Tableau 5.24: Caractéristiques des pollutogrammes pour des campagnes où les mesures de débit ne sont disponibles que pour les pollutogrammes

5.5.2.Comparaison des positions des pointes des pollutogrammes et des hydrogrammes

5.5.2.1.Description des situations observées sur les sites

Afin de comparer la position des pointes des hydrogrammes avec celle des pollutogrammes, les moments d'apparition des pointes ont été repérés pour chacun des événements possédant un pollutogramme. Les événements ont ensuite été classés en trois catégories:

- * Retard: lorsque la pointe du pollutogramme apparaît après celle de l'hydrogramme;
- * Coïncidence: lorsque la pointe du pollutogramme apparaît en même temps que celle de l'hydrogramme; comme il s'agit de concentration moyenne sur un pas de temps, cela signifie que le débit maximal est enregistré pendant l'intervalle de temps qui possède la concentration la plus élevée;
- * Avance: lorsque la pointe du pollutogramme apparaît avant celle de l'hydrogramme.

Hémain (1983 c) a été plus précis dans ses découpages. Il ajoute deux situations qu'il appelle intermédiaire avance et intermédiaire retard, dans le cas où une pointe de débit secondaire existe. Dans le premier cas, la

pointe de concentration est avant le débit de pointe principal mais coïncide avec un débit de pointe secondaire. Dans le second cas, la pointe de concentration intervient après celle du débit mais en même temps qu'un débit de pointe secondaire. Ces distinctions plus précises qui font intervenir l'existence d'une pointe secondaire ne sont pas applicables à certains des sites étudiés, à cause de l'imprécision des méthodes d'échantillonnage. En effet, elles ne permettent pas toujours d'obtenir suffisamment de valeurs de concentration pour pouvoir les comparer aux différentes pointes de débit.

Lors de la mise en oeuvre des calculs, nous avons rencontré deux difficultés majeures:

Le faible nombre des pollutogrammes sur certains des sites: pour comparer les sites, nous n'avons pas utilisé Centre Urbain, Chesnay et Baudile pour lesquels seulement 5 pollutogrammes sont disponibles. Par conséquent, pour les sites séparatifs pollués, seuls Ulis Nord et Grammont sont disponibles, et ne sont indiqués dans le tableau 5.25 que le minimum et le maximum des valeurs.

La mauvaise précision de la méthode d'échantillonnage: par exemple sur Malnoue et Grammont, les méthodes d'échantillonnage sont très sommaires. Bien que l'échantillonnage soit à pas de volume constant, le nombre de concentrations mesurées pendant un événement est parfois faible. Il est alors très difficile, à partir des mesures moyennes sur des pas de temps finalement assez longs (1h) d'avoir une image précise de l'évolution de la concentration dans le temps. De plus, dans ces cas précis, on perçoit toute l'importance de la définition du protocole de mesures sur les exploitations possibles des mesures. En effet, pour ces campagnes, l'objectif principal était d'évaluer les masses annuelles rejetées par chacun des collecteurs. Pour cela un minimum de 25 mesures de concentrations moyennes par événement était prévu. En ce qui concerne les pollutogrammes, ce n'est que pendant la campagne qu'il a été décidé d'en constituer quelques uns pour voir leurs formes.

Les résultats du tableau 5.25 montrent que:

- * il y a une prédominance des pollutogrammes en avance sur les hydrogrammes;
- * néanmoins, il existe certains échantillons pour lesquels les pollutogrammes coïncident avec les hydrogrammes sont les plus nombreux (Ulis Sud, Malnoue, Grammont);
- * les pollutogrammes en retard ne sont jamais majoritaires, en revanche ils représentent jusqu'à 35% des pollutogrammes sur certains sites.

Paramètre	Position	Type de réseau	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
MES	Avance	Séparatif	30	52	75	17
		Séparatif pollué	43		64	
		Unitaire	47	63	88	14
	Coïncidence	Séparatif	8	31	67	20
		Séparatif pollué	36		43	
		Unitaire	0	16	25	8
	Retard	Séparatif	0	17	30	9
		Séparatif pollué	0		14	
		Unitaire	11	20	35	10
DCO	Avance	Séparatif	50	67	85	13
		Séparatif pollué	57		71	
		Unitaire	56	71	88	12
	Coïncidence	Séparatif	8	24	44	14
		Séparatif pollué	21		29	
		Unitaire	0	15	29	9
	Retard	Séparatif	0	9	17	5
		Séparatif pollué	7		14	
		Unitaire	6	13	28	7
DBO5	Avance	Séparatif	53	69	79	10
		Séparatif pollué	71		71	
		Unitaire	59	70	88	9
	Coïncidence	Séparatif	0	17	33	10
		Séparatif pollué	14		29	
		Unitaire	0	15	29	9
	Retard	Séparatif	0	14	26	10
		Séparatif pollué	0		14	
		Unitaire	11	14	22	4

Tableau 5.25: Pourcentage de pollutogrammes en retard, coïncident ou en avance sur la pointe de l'hydrogramme

5.5.2.2. Différence de comportement d'un paramètre à un autre

Lorsqu'on compare les polluants on constate que le nombre de pollutogrammes en avance sur les hydrogrammes est en général plus élevé pour la DCO et la DBO5 que pour les MES.

Dans 3 cas cette relation n'est pas vraie: Aix Zup, Vélizy et la Briche PHI. Pour les deux derniers sites, ce sont les pollutogrammes en retard qui sont plus élevés pour la DBO5 que pour la DCO et les MES. Cela est surprenant dans la mesure où jusqu'à présent les résultats obtenus ont abouti à la conclusion que la DBO5 est rejetée avant les MES pendant un écoulement. De toute façon, dans ces cas précis le nombre de pollutogrammes en retard sur l'hydrogramme reste bien inférieur au nombre de pollutogrammes en avance.

5.5.2.3. Influence des caractéristiques des sites

En ce qui concerne le *type de réseau*, lorsqu'on observe les variations du nombre de pollutogrammes de chaque catégorie, on constate que les domaines de variation se recouvrent. On obtient les mêmes fourchettes de valeur pour les 3 types de réseau, il n'y a pas de différence entre eux (figures 5.17 à 5.19).

Lorsqu'on observe les variations en fonction de la *surface active moyenne*, on constate que (figures 5.20 à 5.22):

- * pour les pollutogrammes en retard sur l'hydrogramme, il n'y a pas de relation avec la surface;
- * pour les pollutogrammes en avance :
 - * pour les sites de moins de 30 ha, leur nombre diminue lorsque la surface augmente, particulièrement pour les MES et la DCO;
 - * pour les sites de plus de 30 ha qui correspondent aux sites unitaires de la Briche, aucune tendance n'est visible, les valeurs sont très dispersées.

La limite de 30 ha n'a rien de définitif. En fait, il n'y a pas de donnée disponible pour des surfaces entre 30 et 500 ha. Par conséquent la tendance mise en évidence demande à être confirmée avec d'autres données.

Les variations en fonction du *temps de concentration*, ainsi que de la *pente moyenne*, ont été étudiées. Mais, aucune tendance n'apparaît: les valeurs sont très dispersées. On observe autant de pollutogrammes en avance sur l'hydrogramme pour des sites dont le temps de concentration vaut moins de 30 mn que plus de 30 mn.

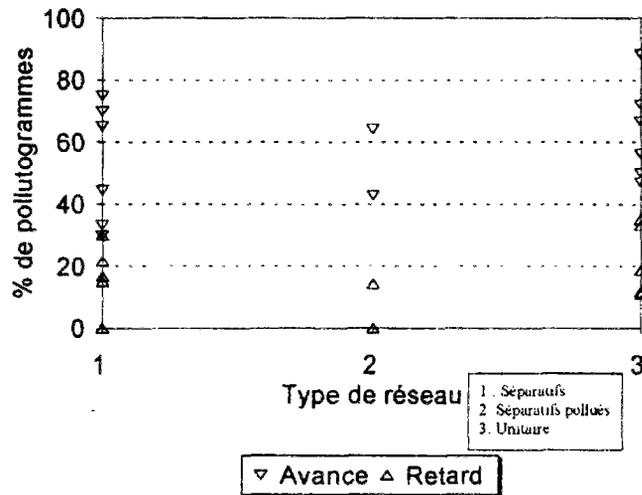


Figure 5.17 Pourcentage des pollutogrammes en MES, en avance et en retard, en fonction du type de réseau

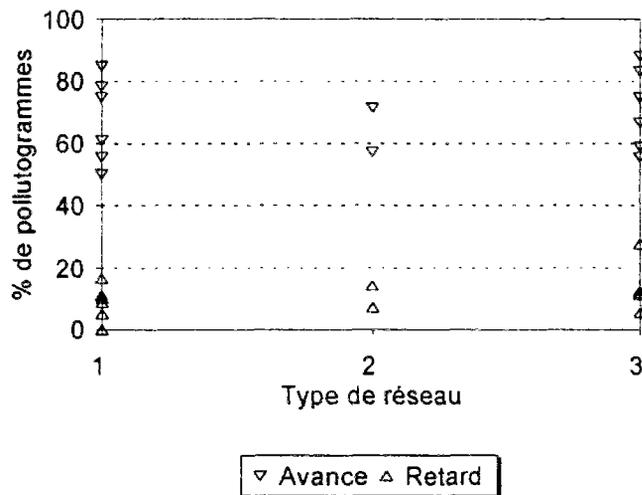


Figure 5.18 Pourcentage des pollutogrammes en DCO, en avance et en retard, en fonction du type de réseau

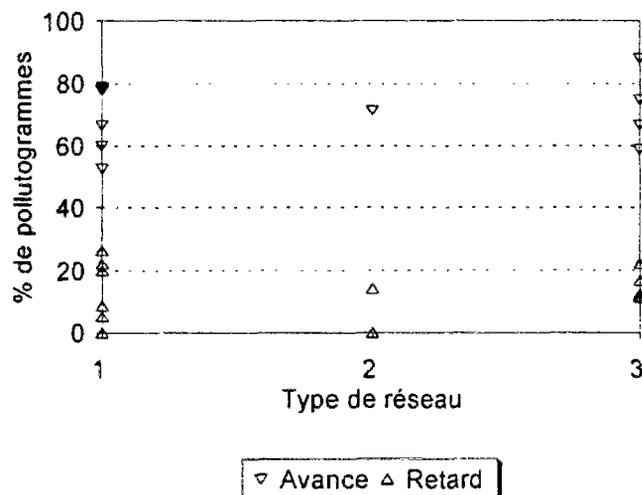


Figure 5.19 Pourcentage de pollutogrammes en DBO5, en avance et en retard, en fonction du type de réseau

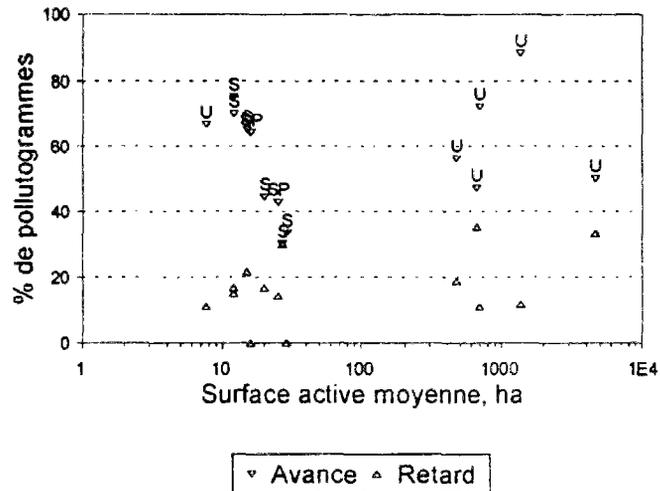


Figure 5.20 Pourcentage de pollutogrammes en MES, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne

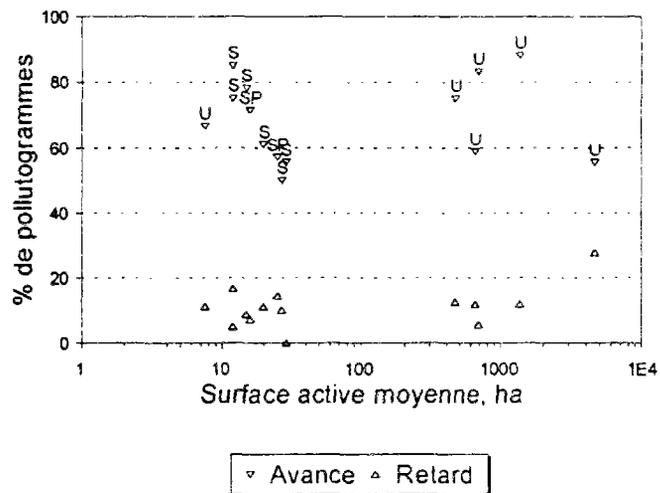


Figure 5.21 Pourcentage de pollutogrammes en DCO, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne

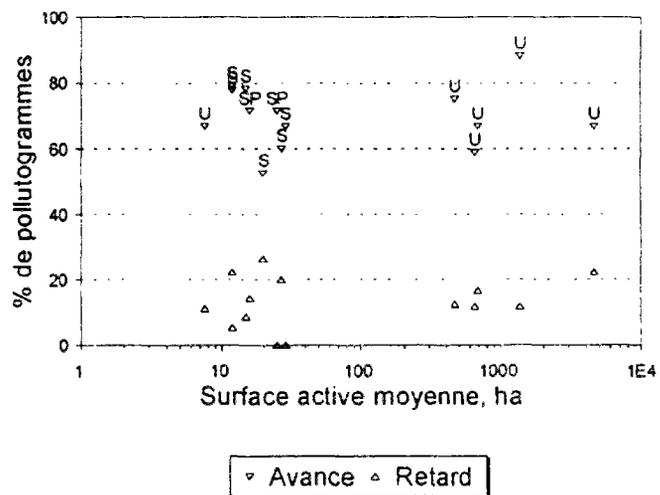


Figure 5.22 Pourcentage de pollutogrammes en DBO5, en avance et en retard, en fonction de la surface active moyenne

5.5.3. Répartition des masses avec le volume en cours d'événement

5.5.3.1. Les représentations utilisées

Dans le paragraphe précédent, la caractérisation de la pollution rejetée en cours d'événement est fondée sur le temps: à quels moments interviennent les pointes de pollution et de débit, quelles sont leurs positions relatives. Lorsqu'on s'intéresse au traitement des rejets, le facteur limitant n'est pas le temps, car les installations peuvent fonctionner pendant des durées variables. En revanche, il est impossible de dépasser leur capacité. Dans le cas de stockage par exemple, le volume des eaux qui peut être traité est fixé. Par conséquent, pour évaluer la pollution qu'on peut éliminer, il faut connaître également sa répartition en fonction du volume écoulé.

Afin de comparer les événements, puis les sites, nous adoptons une représentation adimensionnelle, où les masses et les volumes écoulés sont exprimés en pourcentage des valeurs totales produites pendant l'événement. Seuls les pollutogrammes possédant plus de 3 mesures de concentration ont été conservés, puis seuls les sites possédant plus de 5 de ces pollutogrammes ont été utilisés. C'est pourquoi les sites de Chesnay et Grammont n'ont pas pu être utilisés.

Les courbes sont très différentes d'un événement à un autre. L'ensemble des événements mesurés sur un site fournit un large fuseau de courbes. De chaque fuseau, cinq courbes caractéristiques ont été extraites:

- * une courbe inférieure (Courbe Inf.): toutes les courbes se situent au-dessus;
- * une courbe à 25% (Courbe 25): à chaque fraction de volume, 25% des courbes sont au-dessous;
- * une courbe moyenne (Courbe Moy.): à chaque fraction de volume, correspond la moyenne arithmétique sur l'ensemble des événements des fractions de masse;
- * une courbe à 75% (Courbe 75): corollaire de la courbe à 25%, pour chaque fraction de volume 75% des courbes sont au-dessous;
- * une courbe supérieure (Courbe Sup.): toutes les courbes se situent au-dessous.

Les figures 5.23 et 5.24 sont un exemple des courbes obtenues pour tous les événements et des courbes caractéristiques pour les MES sur le site de Vélizy.

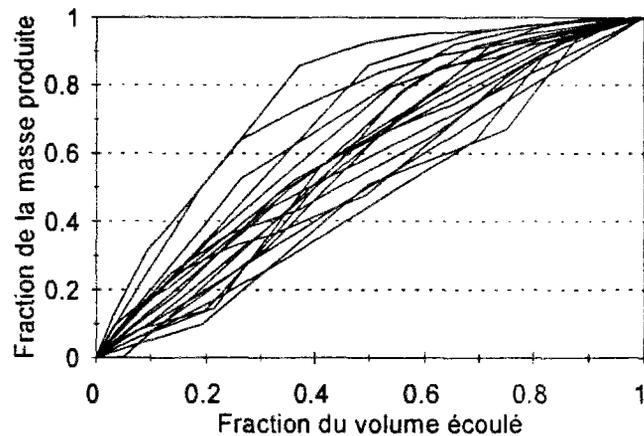


Figure 5.23 Ensemble des événements sur Vélizy pour les MES

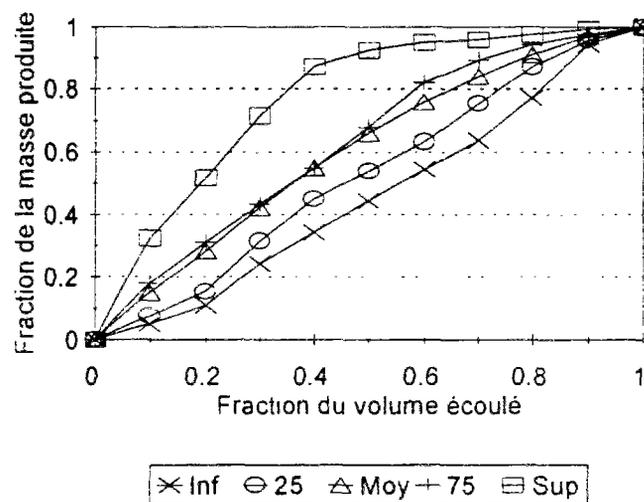


Figure 5.24 Fuseau synthétique sur Vélizy pour les MES

Afin d'approfondir les raisons d'une telle dispersion, des mises en relation ont été entreprises entre la forme des courbes et les caractéristiques des événements pluvieux (Marquet, 1993) sur les données des quatre bassins de la campagne nationale (Maurepas, Ulis Nord, Aix Zup et Aix Nord). Les principaux résultats sont les suivants :

Pour les courbes les plus hautes traduisant un effet de chasse (courbes comprises entre la courbe à 75% et la courbe supérieure) pour les MES, la DCO et la DBO5, certaines tendances ont pu être relevées :

- * des pointes de débit et de concentration situées en début d'événement;
- * des durées de temps sec et des intensités (intensité maximale de pluie sur 5 minutes, débit de pointe) fortes dans l'ensemble.

Pour les courbes inférieures traduisant un effet de dilution (courbes comprises entre la courbe

inférieure et la courbe à 25%) les tendances sont les suivantes:

- * des situations variées en ce qui concerne la position des pointes de pollution et de débit, avec une légère prédominance pour la présence des pointes dans la deuxième partie de l'écoulement;
- * des durées de pluie et des volumes écoulés en moyenne plus élevés que pour les autres courbes.

Une recherche de régression a été entreprise entre un indicateur de la forme des courbes et les caractéristiques des événements pluvieux. Deux types d'indicateurs de forme ont été définis:

- * les valeurs des fractions de la masse rejetée pour des fractions de volume donné (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 et 90%), elles sont relevées sur les courbes mesurées, ainsi il y a 9 indicateurs de forme par courbe;
- * les paramètres d'une fonction puissance par laquelle on représente les courbes:

$$y = x^a \quad \text{Eq. 5}$$

y est la fraction de la masse rejetée, x est la fraction du volume écoulé, a est le coefficient de l'équation, c'est l'indicateur de forme qu'on recherche pour chaque courbe

Sur Maurepas et Ulis Nord, l'analyse multivariable ne fournit aucune relation.

Sur Aix Zup. les antécédents pluviométriques semblent expliquer le mieux la variabilité des courbes

Sur Aix Nord il s'agit plutôt des durées de pluie et des volumes.

Afin de compléter cette étude, puisque les résultats sont peu concluants, on va tenter de comparer les sites:

- * en utilisant les courbes déduites des mesures qui représentent synthétiquement la forme de chaque fuseau (les enveloppes inférieures et supérieures, les courbes à 25 et 75% , les moyennes);
- * en caractérisant chaque courbe par 2 points (car comparer deux courbes sur l'ensemble de leurs points n'est pas aisé):
 - * en début d'écoulement, pour une fraction d'écoulement qui vaut 20% du volume total, pour caractériser les premiers flots et savoir s'ils sont plus pollués que le reste de l'écoulement;
 - * en milieu d'écoulement, lorsque la moitié du volume s'est écoulé car elle correspond au point où les fuseaux sont les plus larges en général.

5.5.3.2. Largeur et forme générale des fuseaux

Pour un site donné, l'ensemble des événements fournit des fuseaux de courbes réelles très larges. Mais pour chaque type de courbe caractéristique (inférieure, à 25%, moyenne, à 75% et supérieure), le fuseau qui représente l'ensemble des sites est également très étendu. Leur comparaison montre que (figures 5.25 à 5.33):

Pour les courbes inférieures et intermédiaires à 25%

- * les fuseaux se recouvrent en grande partie, surtout dans la première partie de l'écoulement;
- * on en compte un nombre important sous la diagonale (jusqu'à 35% des sites): pour les sites correspondant au moins un quart des événements présentent des concentrations élevées dans la deuxième moitié de l'écoulement.

Pour les courbes moyennes:

- * elles sont toutes au-dessus de la diagonale, pour les trois paramètres MES, DCO et DBO5;
- * elles constituent le fuseau le moins large.

Pour les courbes supérieures:

- * elles constituent le fuseau le plus large;
- * pour un volume écoulé qui représente 40% du volume total, la fraction de la masse rejetée varie entre 55 et 100%. Cette valeur provient d'un événement sur Ulis Nord pour la DBO5, où une très forte concentration intervient en même temps que le débit de pointe, puis est suivie durant le reste de l'événement par des concentrations 10 fois moins élevées.

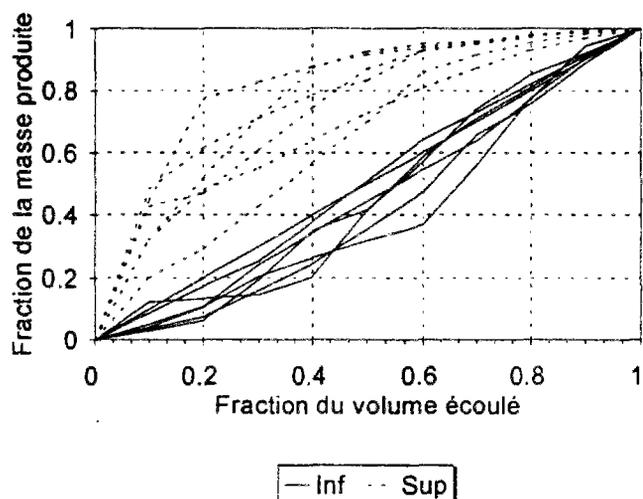


Figure 5.25 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour les MES

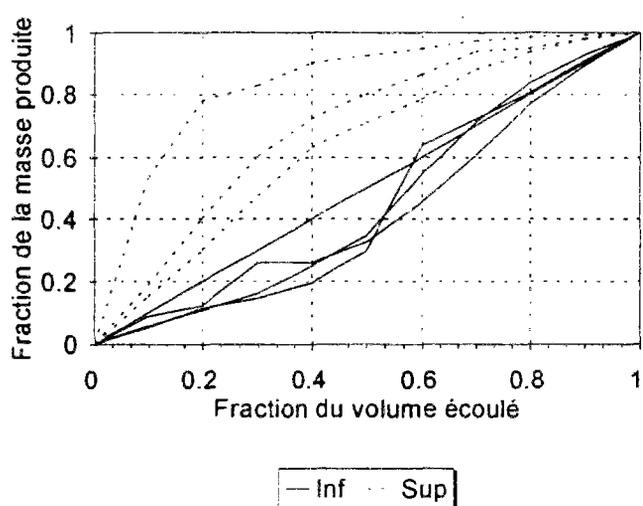


Figure 5.26 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour les MES

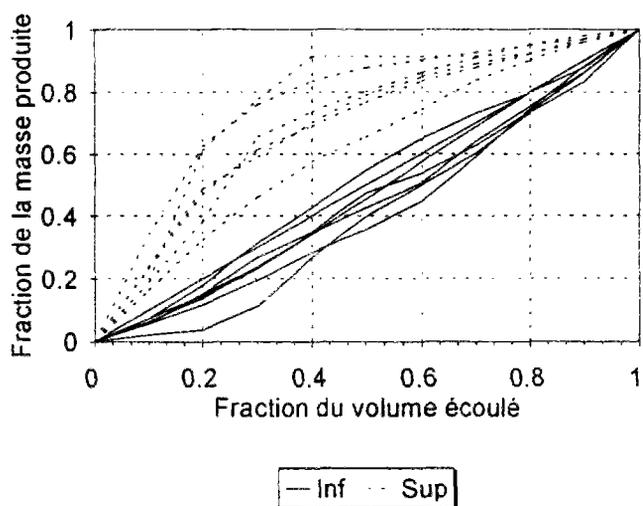


Figure 5.27 Courbes inférieures Masse-Volume et supérieures des sites unitaires pour les MES

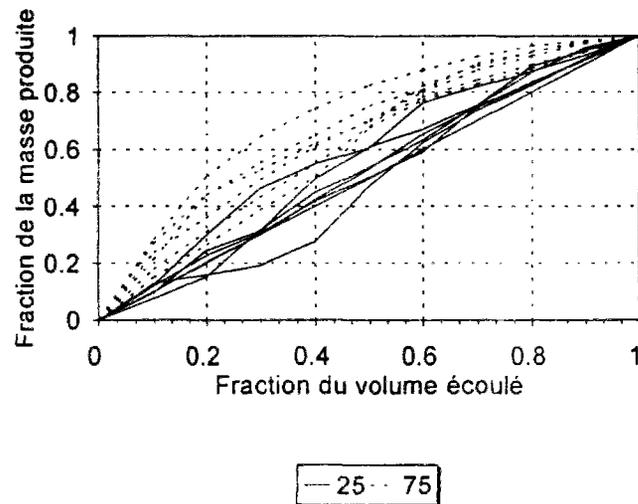


Figure 5.28 Courbes Masse-Volume 25 et 75 pour les sites séparatifs pour les MES

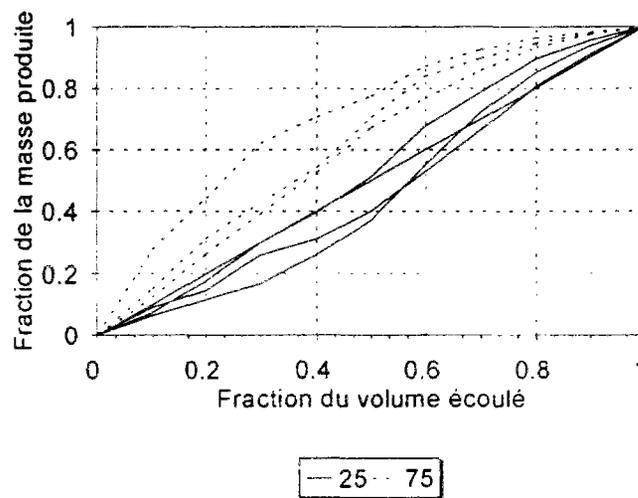


Figure 5.29 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour les MES

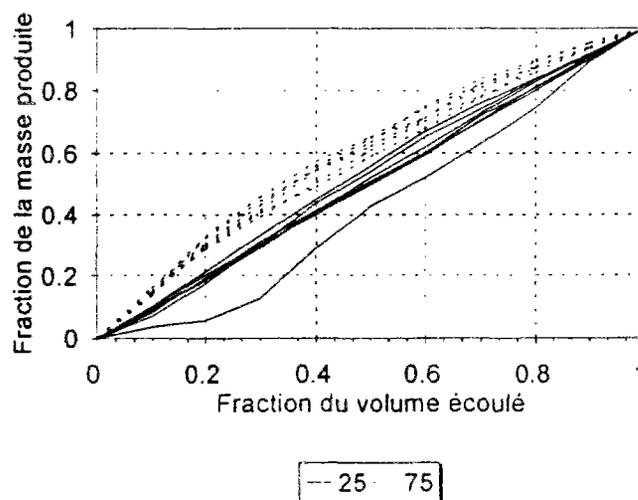
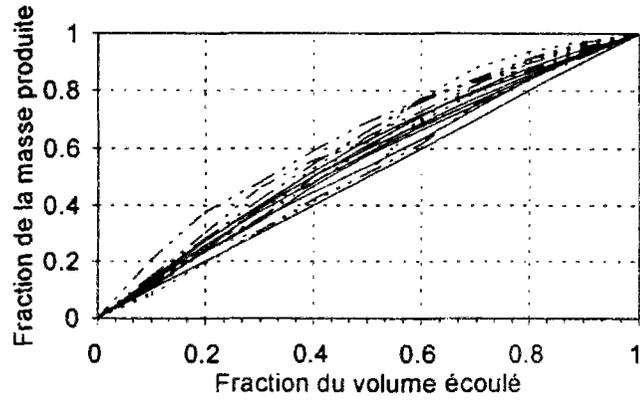
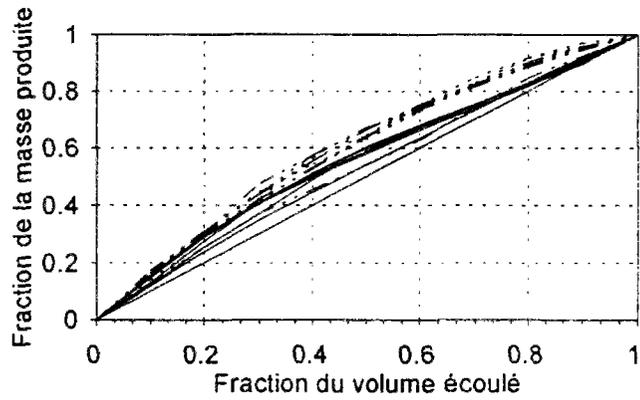


Figure 5.30 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour les MES



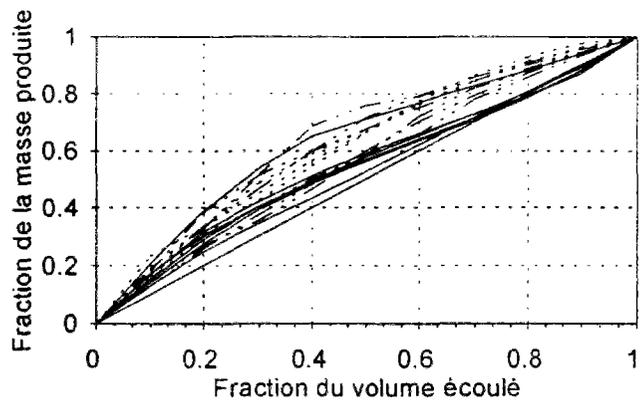
— Séparatif - - - Séparatif pollué . . . Unitaire

Figure 5.31 Courbes Masse-Volume moyennes pour les MES



— Séparatif - - - Séparatif pollué . . . Unitaire

Figure 5.32 Courbes Masse-Volume moyennes pour la DCO



— Séparatif - - - Séparatif pollué . . . Unitaire

Figure 5.33 Courbes Masse-Volume moyennes pour la DBO5

5.5.3.3. Comparaison du comportement des différents paramètres

Sur les figures 5.34 à 5.39 qui suivent, on constate que sur les courbes inférieures les valeurs les plus faibles des fractions de masse sont observées pour les MES. D'ailleurs, lorsqu'on étudie site par site:

- * sur les courbes inférieures
 - * à 20 % du volume écoulé, la fraction de masse de MES est plus faible que celle de la DCO pour 13 sites sur 15, et de la DBO5 pour 12 sites sur 15;
 - * à 50% du volume écoulé, les proportions passent à 10 sites sur 15 pour la DCO et 8 sur 15 pour la DBO5;
- * sur les courbes supérieures
 - * à 20% du volume écoulé, les proportions sont de 7 sites sur 15 pour la DCO et 10 sur 15 pour la DBO5;
 - * à 50% du volume écoulé, il s'agit de 6 sites sur 15 et 8 sites sur 15.

Ces remarques montrent que dans la première partie de l'écoulement (moins de 20% du volume total) la DBO5 est produite en plus grande quantité que les MES. Cet ordre de production est beaucoup moins net lorsqu'on passe à 50% du volume écoulé. A ce stade, la production de MES a rejoint celle de la DCO et de la DBO5. La différence de comportement entre MES, DCO et DBO5 a été mise en évidence par Marquet dans (Marquet, 1993), où pour chaque événement les courbes de répartition de la masse avec le volume ont toujours le même ordre: les courbes pour la DBO5 et la DCO sont supérieures à celle des MES.

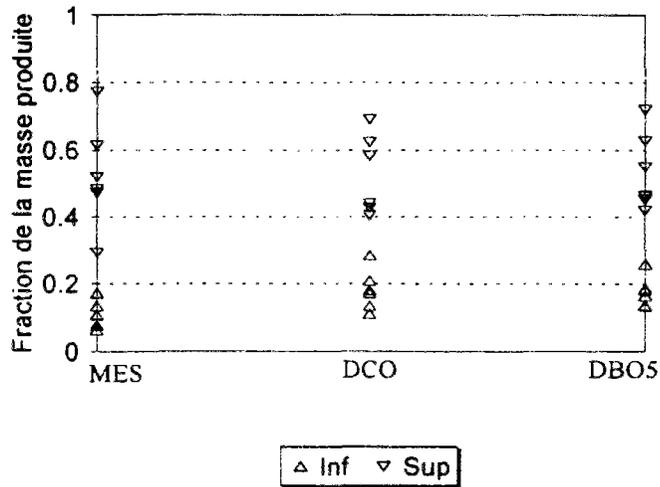


Figure 5.34 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé sur les sites séparatifs

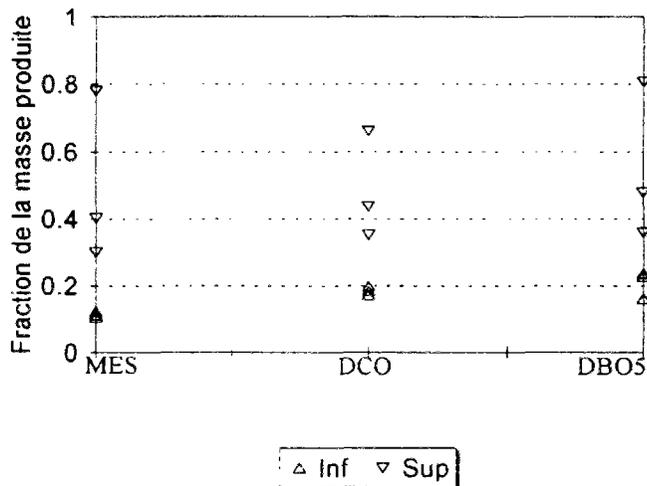


Figure 5.35 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé sur les sites séparatifs pollués

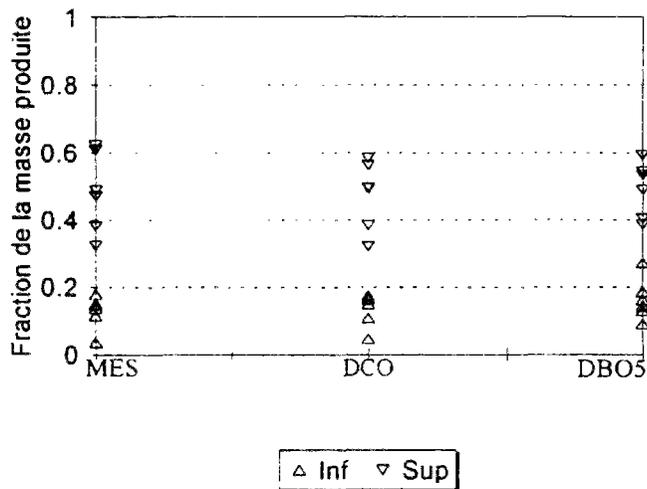


Figure 5.36 Fraction de la masse produite à 20% du volume écoulé pour les sites unitaires

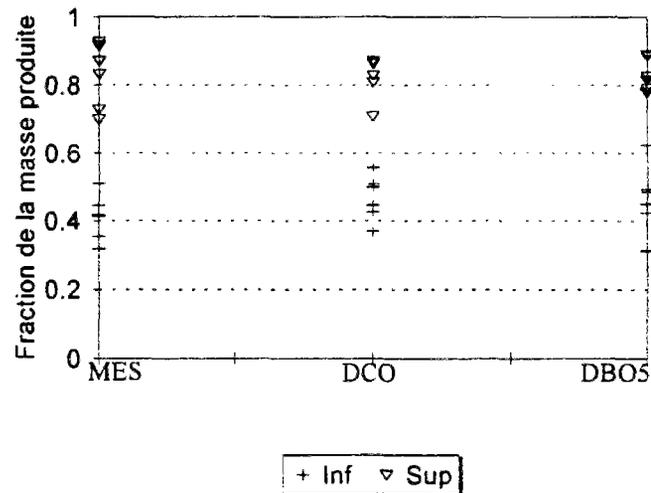


Figure 5.37 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites séparatifs

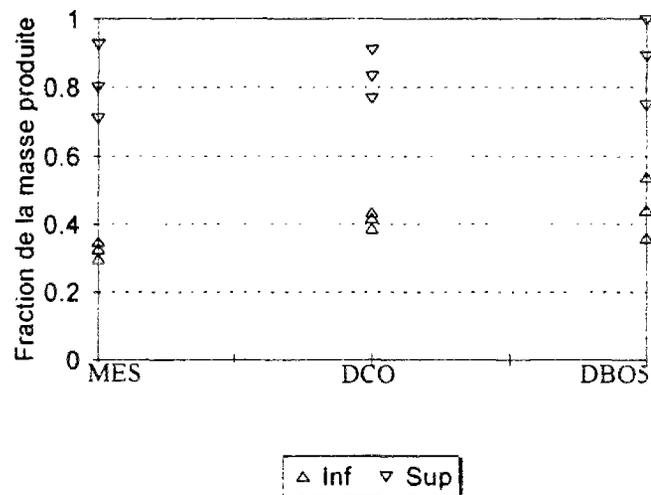


Figure 5.38 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites séparatifs pollués

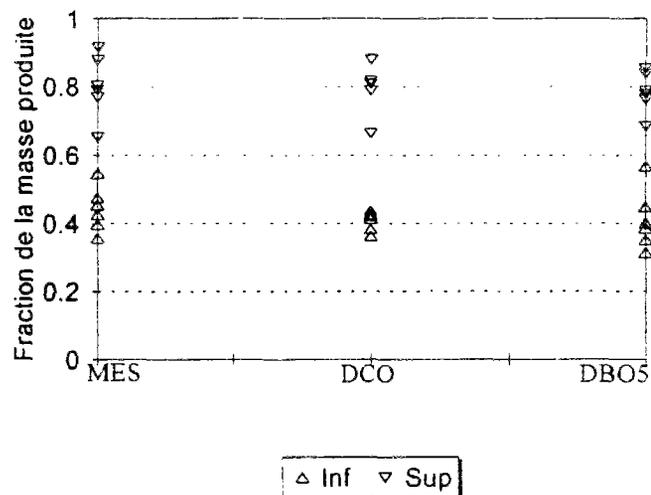


Figure 5.39 Fraction de la masse produite à 50% du volume écoulé sur les sites unitaires

Type de courbe	Fraction du volume	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Inférieure	20	Séparatif	6	11	17	4
		Séparatif pollué	11	11	12	1
		Unitaire	4	13	18	5
	50	Séparatif	32	41	51	6
		Séparatif pollué	30	32	35	2
		Unitaire	36	44	55	6
25	20	Séparatif	15	21	30	5
		Séparatif pollué	12	15	18	2
		Unitaire	6	17	21	5
	50	Séparatif	47	54	61	5
		Séparatif pollué	37	43	51	6
		Unitaire	43	51	56	4
Moyenne	20	Séparatif	24	28	38	5
		Séparatif pollué	20	24	28	3
		Unitaire	24	25	28	2
	50	Séparatif	51	62	69	6
		Séparatif pollué	52	58	66	6
		Unitaire	54	59	63	3
75	20	Séparatif	26	39	51	8
		Séparatif pollué	27	34	44	7
		Unitaire	28	30	33	2
	50	Séparatif	68	72	83	5
		Séparatif pollué	67	72	78	4
		Unitaire	59	63	65	2
Supérieure	20	Séparatif	29	52	77	15
		Séparatif pollué	30	49	78	21
		Unitaire	32	48	62	11
	50	Séparatif	70	83	93	9
		Séparatif pollué	71	81	92	9
		Unitaire	65	80	92	8

Tableau 5.26: Domaine de variation des fractions de masse produite en MES, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements

Type de courbe	Fraction du volume	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Inférieure	20	Séparatif	11	18	28	6
		Séparatif pollué	17	18	20	1
		Unitaire	5	14	18	4
	50	Séparatif	37	47	56	6
		Séparatif pollué	39	41	43	2
		Unitaire	36	41	44	3
25	20	Séparatif	15	24	29	5
		Séparatif pollué	19	22	26	3
		Unitaire	7	20	23	6
	50	Séparatif	54	59	66	5
		Séparatif pollué	43	50	61	8
		Unitaire	43	50	54	4
Moyenne	20	Séparatif	26	30	31	2
		Séparatif pollué	27	29	31	2
		Unitaire	24	27	30	2
	50	Séparatif	54	64	67	4
		Séparatif pollué	63	64	64	1
		Unitaire	54	58	60	2
75	20	Séparatif	34	41	53	7
		Séparatif pollué	31	38	52	10
		Unitaire	28	32	37	3
	50	Séparatif	66	73	84	6
		Séparatif pollué	66	73	79	5
		Unitaire	59	63	67	3
Supérieure	20	Séparatif	40	53	69	11
		Séparatif pollué	35	48	66	13
		Unitaire	32	47	58	9
	50	Séparatif	71	82	87	6
		Séparatif pollué	77	84	91	6
		Unitaire	67	79	88	6

Tableau 5.27: Domaine de variation des fractions de masse produite en DCO, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements

Type de courbe	Fraction du volume	Type de site	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Inférieure	20	Séparatif	13	18	26	4
		Séparatif pollué	16	21	24	3
		Unitaire	9	16	27	6
	50	Séparatif	31	46	62	9
		Séparatif pollué	36	45	54	7
		Unitaire	32	41	57	8
25	20	Séparatif	19	27	35	6
		Séparatif pollué	17	25	33	6
		Unitaire	20	24	31	4
	50	Séparatif	49	60	75	9
		Séparatif pollué	43	51	63	9
		Unitaire	45	50	59	5
Moyenne	20	Séparatif	26	31	38	4
		Séparatif pollué	31	33	34	1
		Unitaire	25	30	39	4
	50	Séparatif	59	65	76	7
		Séparatif pollué	66	67	67	1
		Unitaire	53	59	71	6
75	20	Séparatif	26	41	57	10
		Séparatif pollué	33	41	57	11
		Unitaire	28	35	48	7
	50	Séparatif	65	74	86	6
		Séparatif pollué	69	77	85	7
		Unitaire	57	63	76	6
Supérieure	20	Séparatif	42	54	72	11
		Séparatif pollué	36	55	81	19
		Unitaire	39	49	59	8
	50	Séparatif	78	83	89	4
		Séparatif pollué	75	88	100	10
		Unitaire	69	79	85	5

Tableau 5.28: Domaine de variation des fractions de masse produite en DBO₅, correspondant à une fraction de volume écoulé de 20 et 50%, sur les courbes caractéristiques des fuseaux d'événements

5.5.3.4. Influence des caractéristiques des sites sur la largeur des fuseaux

Afin de comprendre les variations qui existent entre les différents sites, on étudie l'influence des caractéristiques sur la forme des fuseaux. Les tendances qui suivent ont été observées sur les courbes inférieures et supérieures, et sur les fractions de masse correspondant à 20 et 50% du volume écoulé.

Pour le *type de réseau*, sur les courbes caractéristiques inférieures et supérieures en MES, DCO ou DBO5, on ne peut pas distinguer un site unitaire d'un site séparatif (figures 5.40 à 5.42). Sur les masses rejetées à 20 et 50% du volume écoulé, les domaines de variation des fractions de masse se recouvrent pour les trois types de réseau.

Lorsqu'on étudie l'influence des *surfaces* sur la largeur des fuseaux, on constate qu'il n'y a pas de relation linéaire entre les fractions de masse relevées sur les courbes inférieures et supérieures et les surfaces totales, imperméables ou actives moyennes (figures 5.43 à 5.45). En revanche, on peut découper les sites en deux catégories:

- * les *petits sites*: leur surface active moyenne est inférieure à 30 hectares;
- * les *grands sites*: leur surface active moyenne dépasse 200 hectares.

Ces définitions n'ont qu'un rôle indicatif, car parmi les données disponibles il n'y a pas de sites entre 30 et 200 hectares de surface active.

Ce découpage met en évidence quelques tendances:

Pour les grands sites:

- * sur les courbes inférieures, les fractions de masse sont stables. C'est-à-dire que la fraction de la masse la plus faible que peut atteindre un événement est stable d'un site à un autre, et varie dans les proportions suivantes:

pour les MES	pour 20% du volume écoulé	entre 10 et 20%
	pour 50% du volume écoulé	entre 35 et 55%
pour la DCO	pour 20% du volume écoulé	entre 10 et 20%
	pour 50% du volume écoulé	entre 40 et 45%
pour la DBO5	pour 20% du volume écoulé	entre 10 et 20%
	pour 50% du volume écoulé	entre 30 et 45%
- * sur les courbes supérieures, les valeurs ne sont pas stables, et ne suivent pas de relation linéaire avec la surface active moyenne.

Pour les petits sites:

- * les fractions des masses relevées sur les courbes inférieures ont tendance à augmenter avec la surface:

- * les fractions des masses relevées sur les courbes supérieures ont tendance à diminuer avec la surface.

Ainsi la largeur des fuseaux sur les petits sites diminue lorsque la surface active augmente. Cela est particulièrement marqué pour 20% du volume écoulé. Toutefois, lorsque la tendance n'est pas fortement visible, on peut définir une enveloppe minimale qui augmente avec la surface ainsi qu'une enveloppe maximale qui diminue quand la surface augmente. C'est-à-dire que la limite au-dessous de laquelle la fraction de la masse ne descend pas pour un site augmente avec sa surface. Et inversement, pour les fractions de masse les plus fortes, la limite qu'elles ne dépassent pas pour un site diminue avec sa surface.

En ce qui concerne l'influence du *temps de concentration*, (figures 5.46 à 5.48):

- * il n'y a pas de relation particulière sur les valeurs des courbes inférieures;
- * les valeurs des courbes supérieures pour les MES, la DCO et la DBO5 diminuent lorsque le temps de concentration augmente:
 - * particulièrement pour les sites séparatifs, et pour 20% du volume écoulé;
 - * pour les sites unitaires, on ne dispose pas des temps de concentration des sites de la Briche, sur les graphes on les a pris égaux à 80mn mais même alors, les valeurs ne rentrent pas dans la tendance.

En ce qui concerne les *pentés moyennes*, on n'observe pas de relation particulière. Mais, il faut noter que le nombre de valeurs disponibles est faible.

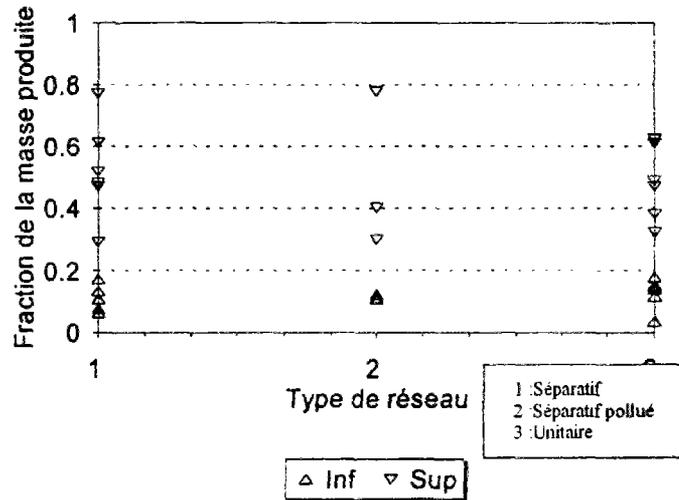


Figure 5.40 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau

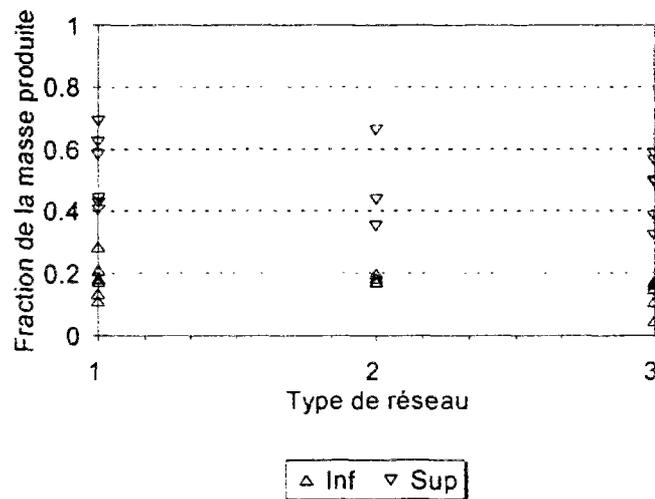


Figure 5.41 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau

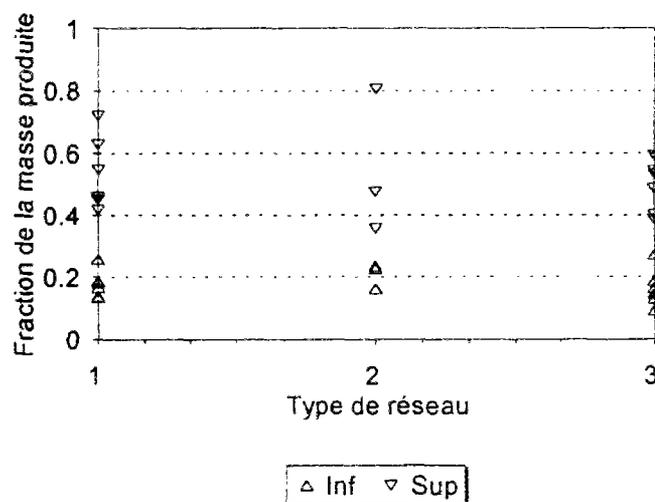


Figure 5.42 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction du type de réseau

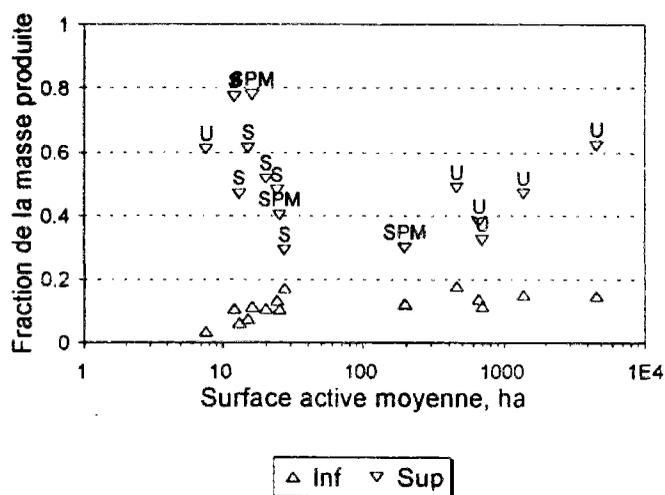


Figure 5.43 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

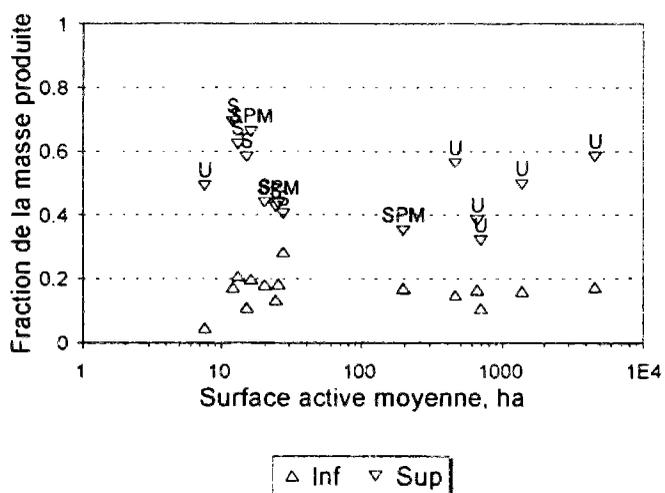


Figure 5.44 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

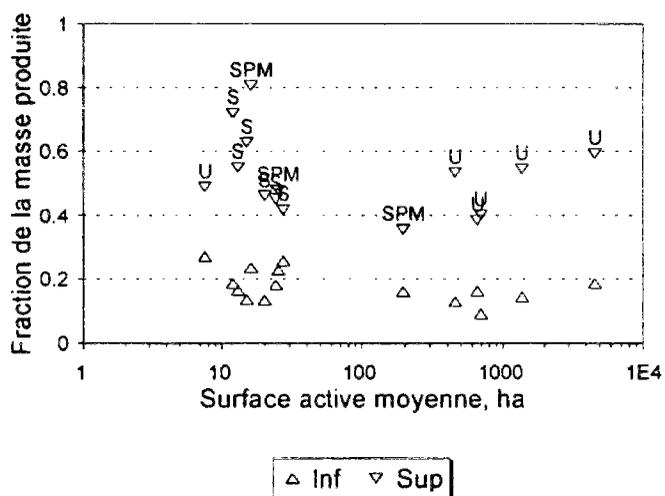


Figure 5.45 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

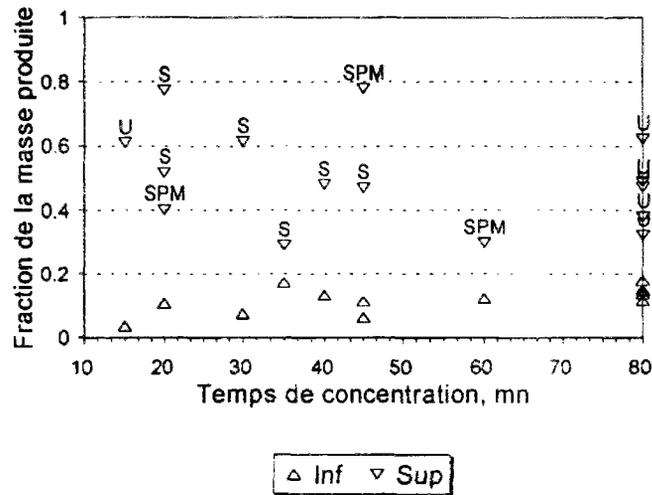


Figure 5.46 Fraction de la masse produite en MES à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

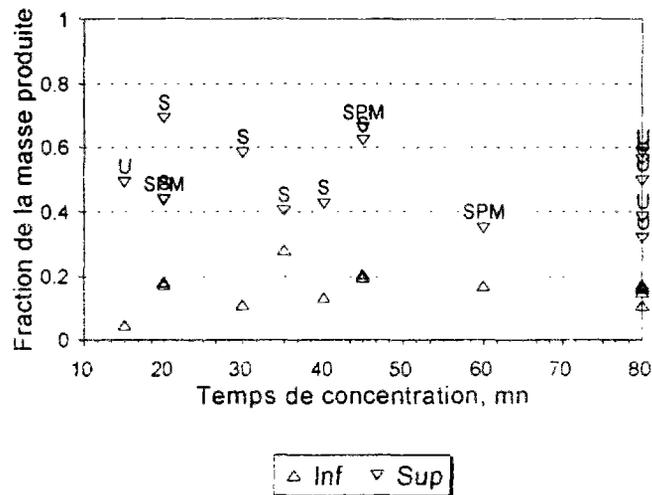


Figure 5.47 Fraction de la masse produite en DCO à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

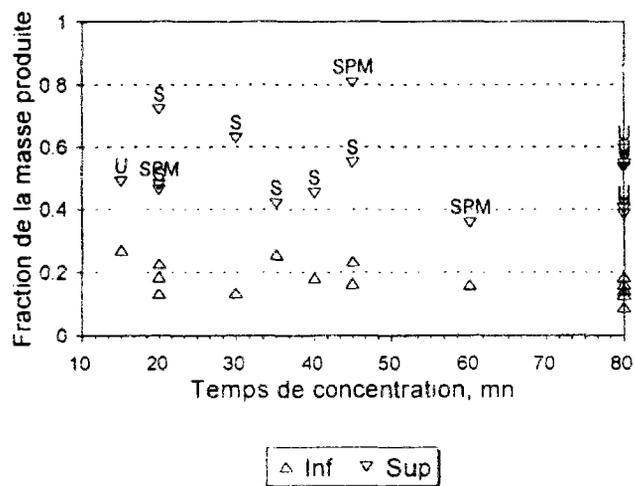


Figure 5.48 Fraction de la masse produite en DBO5 à 20% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

5.5.4. Conclusion

Connaître la répartition de la pollution à l'intérieur des événements représente un enjeu important dans le cadre du traitement des rejets. En effet, une idée assez répandue prête aux premiers flots d'orage une pollution prépondérante par rapport à la pollution déversée pendant le reste de l'écoulement. Cette hypothèse est à l'origine de stratégies de lutte contre la pollution qui préconisent la mise en place de bassins qui n'interceptent que les premiers flots (FNDAE, 1988). Or, les résultats que nous avons obtenus montrent que cette hypothèse n'est pas vérifiée, à moins d'étendre les premiers flots jusqu'à 40 ou 50% du volume écoulé pendant un événement.

Les pollutogrammes sur lesquels ont porté notre étude se sont révélés être ceux d'événements importants en terme de volume écoulé. Nous avons donc ainsi une bonne représentation des événements qui posent le plus de problème, car ils dépassent les capacités hydrauliques des réseaux et de la station d'épuration dans le cas de réseau unitaire.

Pour les pollutogrammes disponibles, il apparaît que:

- * la pointe des pollutogrammes est majoritairement en avance sur celle des hydrogrammes;
- * il existe néanmoins un nombre non négligeable d'événements (jusqu'à 30% des pollutogrammes sur un site) pour lesquels la pointe de concentration suit celle du débit;
- * nous n'avons pas vu d'influence des caractéristiques des sites sur la position de la pointe de concentration, en particulier le temps de concentration ne semble pas influencer l'apparition de la concentration maximale.

Pour identifier les volumes les plus pollués, il est courant d'utiliser comme représentation, la variation de la masse avec le volume. Pour ces courbes, on observe que:

- * les fuseaux obtenus en représentant pour chaque site tous les pollutogrammes disponibles sont très larges;
- * les courbes enveloppes de chaque site sont également très différentes, pour l'illustrer:
 - sur les courbes inférieures, à 20% du volume écoulé correspond entre 4 et 20% de la masse produite de MES;
 - sur les courbes supérieures, à 20% du volume écoulé correspond entre 30 et 80% de la masse produite de MES;

- * la masse de DBO5 rejetée dans les premiers volumes (jusqu'à 20%) est supérieure d'en moyenne 10% à celle des MES;
- * il n'y a pas de distinction notable sur la forme des courbes entre les sites séparatifs et unitaires;
- * pour une fraction donnée du volume (20 ou 50%), les fractions des masses les plus grandes ont tendance à diminuer avec la surface active moyenne, alors que les valeurs les plus faibles ont tendance à augmenter.

Dans la littérature, on peut trouver des études similaires. Ellis (1985) estime qu'en général 30 à 60% de la pollution totale est rejetée dans 30% du volume écoulé pendant un intervalle de temps correspondant au temps de concentration. Mais il insiste sur le fait que les variations d'un événement à un autre sont très importantes, et que pour certains événements les masses rejetées continuent à être très fortes même longtemps après le temps de concentration.

De même, Geiger (1986) a effectué ce style d'investigation sur des données recueillies à Munich-Harlaching durant 5 ans. Il estime que pour les MES, 25% des événements présentent une pollution importante en début d'écoulement, c'est-à-dire que les courbes de la masse en fonction du volume s'écartent de 20% au moins au dessus de la diagonale qui traduit une concentration constante. Pour les autres polluants, il compte moins de 15% des événements dans ce cas. Mais, il note que les variations d'un événement à un autre sont tellement importantes que finalement les courbes moyennes sont très proches de la diagonale.

Ces études confirment donc notre conclusion concernant les premiers flots d'écoulement qui ne sont pas particulièrement les plus pollués. Par conséquent, baser une stratégie de rétention uniquement sur leur interception ne limiterait que grossièrement les pollutions déversées.

Chapitre 6

Dimensions des ouvrages d'interception

6.1.Présentation

Toutes les études qui peuvent être menées sur les rejets urbains par temps de pluie sont entreprises parce qu'il est urgent maintenant de protéger les milieux naturels contre les nuisances qu'ils engendrent, voilà pourquoi le dernier chapitre est consacré aux ouvrages de dépollution qui peuvent être envisagés pour traiter ces rejets. Dans le chapitre 5, nous avons mené un certain nombre d'investigations sur les paramètres pouvant expliquer la formation et l'importance de leur pollution. Nous allons utiliser les résultats obtenus, en particulier les concentrations, les masses et les volumes qui ont été reconstitués, et les courbes de répartition de la masse avec le volume. Pour notre étude, deux types d'ouvrage ont été retenus: des ouvrages à dominante stockage-décantation et des ouvrages de traitement au fil de l'eau.

Le paragraphe 6.2 présente les ouvrages que nous étudions, il explique quelles efficacités nous calculons et avec quelles méthodes.

Le paragraphe 6.3 présente les efficacités des ouvrages de stockage. Les résultats sont les suivants:

- * pour les efficacités à long terme:
 - * l'influence de la reconstitution des masses produites par événement;
 - * des ordres de grandeurs des efficacités en fonction des volumes d'interception;
 - * des indications sur l'influence des caractéristiques des sites sur les variabilités observées;
- * pour les efficacités à court terme:
 - * des ordres de grandeur des efficacités sur les masses produites les plus grandes en fonction des volumes d'interception;
 - * l'importance des masses non interceptées.

Le paragraphe 6.4 présente les efficacités des ouvrages de traitement au fil de l'eau calculées sur les 4 bassins versants expérimentaux. Les résultats sont les suivants:

- * pour les efficacités à long terme:

- * l'influence des reconstitutions de la répartition de la masse rejetée avec le volume écoulé;
- * des ordres de grandeur des efficacités d'interception en fonction des débits de traitement;
- * pour les efficacités à court terme:
 - * des ordres de grandeur des efficacités d'interception des masses produites les plus grandes en fonction des débits de traitement;
 - * l'importance des masses non interceptées.

6.2. Définition et méthode de calcul des efficacités d'interception

6.2.1. Les ouvrages de traitement et leur efficacité

6.2.1.1. Le principe des ouvrages de traitement

Les ouvrages de traitement doivent être conçus pour tenir compte des spécificités des rejets urbains par temps de pluie. Tout d'abord, les volumes et les débits de pointe concernés sont très importants, beaucoup plus grands que les valeurs admissibles à l'entrée d'une station d'épuration classique, d'où la mise en place de déversoirs. De plus, ces valeurs importantes interviennent sur des durées relativement courtes (quelques heures).

D'autre part, la pollution contenue dans les rejets urbains de temps de pluie apparaît également spécifique avec des teneurs en métaux et des concentrations de MES, à l'échelle d'un événement, qui sont largement supérieures à celles des eaux usées. Elle présente de plus une pollution beaucoup moins organique. Toutes ces spécificités entraînent des perturbations importantes sur le fonctionnement des étages biologiques des stations d'épuration lors de l'introduction de rejets pluviaux.

En revanche, d'autres caractéristiques fournissent des pistes pour mettre en place des techniques de traitement adaptées aux rejets urbains de temps de pluie. Il est apparu à la suite de campagnes de mesure sur les solides en réseau d'assainissement (Chebbo et al., 1990) que la pollution est majoritairement fixée sur les particules solides, tant pour la DCO, la DBO₅ que pour les hydrocarbures et le plomb. De plus, les solides en suspension sont en grande proportion très fins: 70 à 80% de la masse totale est constitué de particules dont la taille est inférieure à 100 μm . Elles ont des masses volumiques très grandes, entre 2.19 et 2.56 g/cm^3 pour des collecteurs séparatifs, et entre 1.66 et 2.15 g/cm^3 pour des collecteurs unitaires. Cela explique en partie que leurs vitesses de chute en eau calme sont également très fortes, de l'ordre de quelques m/h.

Ces derniers points montrent que la décantation se révèle bien être une solution efficace. Deux types d'ouvrage par décantation peuvent être identifiés. Les plus simples à concevoir sont des capacités de stockage qui interceptent les volumes les plus pollués. Or, nous avons vu dans le chapitre précédent qu'ils représentent des fractions parfois importantes de l'écoulement total. Par conséquent, il est impossible de se limiter aux premiers m^3 déversés, et les capacités d'interception-décantation seront de volume important. Ce type d'ouvrage a l'avantage d'être simple et efficace, mais en zone urbaine où l'espace disponible est limité, leur encombrement représente un réel inconvénient. C'est pourquoi on envisage également des ouvrages de traitement par décantation de type décanteur lamellaire, qui traitent les effluents au fil de l'eau et dont les volumes sont considérablement limités. De plus, ces dernières années des expérimentations ont pu montrer que ce type d'ouvrage, utilisé jusqu'ici pour des débits faibles, pouvait être efficace pour des débits importants

comme ceux observés par temps de pluie (Dastugnes et al., 1993).

Les critères pour représenter le fonctionnement des ouvrages ont été choisis de manière simple, il s'agit:

- * du volume, pour les ouvrages de type stockage-décantation;
- * du débit maximal admissible, pour les ouvrages de traitement au fil de l'eau.

L'objectif de notre étude est d'en donner des ordres de grandeur de manière à répondre aux questions: quels sont les volumes ou les débits qu'il faut intercepter pour être efficace dans la lutte contre la pollution des rejets urbains par temps de pluie ?

6.2.1.2. Les impacts sur le milieu récepteur et leurs indicateurs

Pour savoir dans quelle mesure les ouvrages de traitement sont efficaces, il faut définir des critères pour mesurer leur efficacité. Les ouvrages de traitement sont mis en place pour protéger les milieux naturels. Ces critères doivent donc être en rapport avec les impacts engendrés par les rejets. Or, dans les études menées pour mieux connaître les réactions aux rejets urbains, il est d'usage de faire la distinction entre les différentes échelles de temps qui permettent la disparition des polluants: lorsque la durée des effets est plus courte que l'intervalle séparant deux événements pluvieux, et lorsque la durée des effets est très supérieure à celle d'un événement.

Les indicateurs que nous utilisons pour représenter les impacts sont basés sur ces deux échelles de temps. Il s'agit:

- * des masses rejetées pendant les événements les plus pollués, pour représenter les effets de choc;
- * des masses rejetées pendant plusieurs mois, considérée comme une longue période, pour les effets cumulatifs.

Ces indicateurs représentent une simplification extrême de ce qui se passe dans les milieux récepteurs. Mais ces variables sont les plus simples et les plus courantes à obtenir. En outre, elles respectent les deux échelles de temps qui sont au centre des études sur les impacts qui jusqu'à présent ne fournissent pas d'indicateurs plus précis.

6.2.1.3. Définition des efficacités d'interception

Beaucoup d'études concernant les ouvrages tels que des décanteurs sont axées sur leur efficacité de traitement, c'est-à-dire évaluer et augmenter la fraction de la pollution entrante qui peut être décantée. Les efficacités de traitement sont alors obtenues en comparant la pollution qui entre dans les ouvrages avec celle qui en sort. Or, un ouvrage est efficace vis-à-vis du milieu récepteur, s'il permet de réduire, voire d'éliminer,

les masses rejetées. C'est pourquoi il paraît pertinent tout d'abord, de comparer la pollution qu'un ouvrage intercepte avec celle qu'il ne peut pas intercepter, et qui est rejetée directement. Combiner les 2 types de comparaisons permettrait d'obtenir une efficacité totale qui tient compte à la fois de l'efficacité d'interception et de l'efficacité de traitement.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés uniquement aux efficacités d'interception. Dans un premier temps, nous associons donc à un ouvrage une efficacité d'interception qui est définie à deux échelles de temps et qui tient compte des indicateurs sur les impacts:

- * A l'échelle d'un événement pluvieux, l'efficacité d'interception d'un ouvrage est le rapport de la masse interceptée et de la masse produite totale, cette dernière se décompose en fraction interceptée et fraction non interceptée, c'est-à-dire rejetée directement.

$$\text{Efficacité d'interception pour un événement} = \frac{\text{Masse interceptée pendant l'événement}}{\text{Masse produite pendant l'événement}} \quad \text{Eq. 6}$$

- * A long terme, la définition de l'efficacité d'interception d'un ouvrage reste la même, c'est le rapport de la masse interceptée pendant la période considérée et de la masse produite sur cette période. La masse interceptée est donc la somme des masses interceptées pour chaque événement de la période, et la masse produite totale est la somme des masses produites pendant chaque événement.

$$\text{Efficacité d'interception à long terme} = \frac{\sum \text{Masse interceptée pendant un événement}}{\sum \text{Masse produite pendant un événement}} \quad \text{Eq. 7}$$

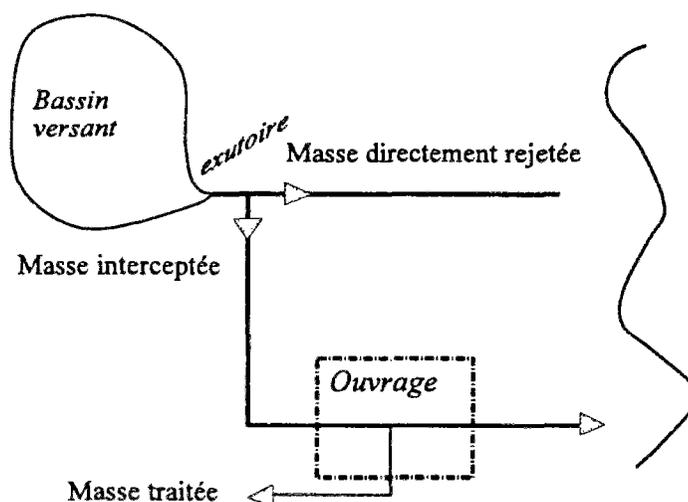


Figure 6.1 Définition de l'efficacité d'interception d'un ouvrage de traitement

6.2.1.4. Définition des rejets résiduels

Toutefois, l'interception ne suffit pas pour estimer si un ouvrage protège efficacement le milieu naturel. En effet, l'interception pour un événement peut être, par exemple de 80%, sans que cela garantisse une masse rejetée inoffensive. Il faut donc également s'intéresser à ce qui est rejeté. Or, l'état actuel des connaissances sur les impacts engendrés par les rejets urbains par temps de pluie, ne permet pas de fournir des ordres de grandeur des masses, à court terme aussi bien qu'à long terme, qu'un milieu peut recevoir sans dommage. Par conséquent, nous n'avons pas de valeurs de référence auxquelles nous pourrions comparer ce que les ouvrages rejettent. Les masses interceptées restent notre seul critère de comparaison pour donner des ordres de grandeur des volumes et des débits à traiter.

Pour le long terme, les ordres de grandeur des masses produites ne sont pas les mêmes et dépendent des caractéristiques des sites, donc pour comparer les sites, on compare les pourcentages des masses interceptées.

Pour le court terme, à défaut d'une masse seuil, que la masse rejetée ne devrait pas dépasser, la masse la plus grande produite sur l'ensemble des événements peut jouer un rôle de valeur de référence, en tant que pollution extrême enregistrée pendant la campagne. Pour un événement, on évalue la fraction de la masse qui n'est pas interceptée par l'ouvrage et qui est donc rejetée directement, puis on la compare à la masse la plus grande, afin de définir l'importance du rejet résiduel et de déterminer pour quels événements le rejet est le plus important. Car il ne s'agit pas toujours des événements pour lesquels la masse produite est la plus grande.

De plus, les sites étudiés ne disposaient pas d'ouvrage de traitement. Par conséquent l'objectif de ce chapitre est de donner le volume ou le débit maximal pour des ouvrages qui pourraient être installés. Les caractéristiques des sites sont très différentes, en particulier leur surface. Par conséquent, on ne peut pas comparer directement les volumes ou les débits des ouvrages sur différents sites. Dans les premières études concernant les efficacités d'interception (Bachoc et al., 1991), les dimensions sont ramenées à la surface imperméable. Or, l'étude des données hydrauliques de l'ensemble des sites utilisés montre que les surfaces actives sont suivant les cas de l'ordre de la surface imperméable ou beaucoup plus petites. De plus, connaissant les incertitudes sur l'estimation des surfaces imperméables, il paraît plus juste pour comparer les sites d'utiliser la surface active. Les dimensions des ouvrages sont donc exprimées en m^3 par hectare actif (noté m^3/ha act) pour le stockage, et en l/s par hectare actif (noté l/s/ha act) pour le traitement au fil de l'eau.

6.2.2. Méthodes de calcul des efficacités d'interception

6.2.2.1. Principes de calcul et données nécessaires

Le calcul des efficacités d'interception repose sur l'évaluation de la masse interceptée par un ouvrage pendant chaque événement. Pour mener à bien ces calculs de manière cohérente, sur l'ensemble des événements et des sites, certaines hypothèses communes sont nécessaires pour les deux types d'ouvrage. Le détail des calculs est ensuite différent suivant le type d'ouvrages.

Les hypothèses communes aux deux types d'ouvrages et concernant les données enregistrées pendant un événement sont les suivantes:

- * pour un événement, l'hydrogramme et le pollutogramme commencent et finissent en même temps;
- * le début de l'interception correspond au début du pollutogramme;
- * la variation du débit entre deux mesures est supposée linéaire avec le temps;
- * les courbes qui représentent les masses rejetées en fonction du volume écoulé comprennent des points, qui correspondent aux mesures des concentrations; on suppose que ces points sont reliés par des droites;
- * pour les sites étudiés, les mesures de concentration au cours d'un événement correspondent à des moyennes entre deux temps.

Dans le cas des ouvrages de stockage, le principe de calcul est le suivant:

on note V_{ion} le volume d'interception fixé pour tous les événements, V_{ruist} le volume ruisselé total au cours d'un événement. Pour un événement, le calcul de la masse interceptée se déroule de la façon suivante:

- * si $V_{ion} \geq V_{ruist}$, tout l'écoulement est intercepté: le volume intercepté est égal au volume total de l'écoulement et la masse interceptée est égale à la masse produite totale pendant l'événement;
- * si $V_{ion} < V_{ruist}$, une partie de l'écoulement seulement est interceptée: le volume intercepté est égal à V_{ion} et la masse interceptée est la masse produite depuis le début de l'écoulement jusqu'à ce que le volume écoulé soit égal à V_{ion} ; sa valeur se lit sur la courbe donnant la masse écoulée en fonction du volume écoulé.

Dans le cas des ouvrages au fil de l'eau, les principes de calcul sont les suivants:

On note Q_s le débit seuil au-dessus duquel le débit écoulé n'est plus intercepté en totalité. Il faut superposer les mesures de concentration et de débit en fonction du temps. Si elles ne sont pas disponibles aux mêmes moments, il faut combler les valeurs manquantes tant en concentration qu'en débit, afin de disposer d'une mesure de débit pour chaque mesure de concentration et inversement. Le calcul des valeurs manquantes se fait grâce aux hypothèses de linéarité des débits entre 2 mesures. Après ces calculs, entre deux valeurs successives de débit Q_1 et Q_2 , mesurées aux temps t_1 et t_2 , on applique les règles suivantes:

- * si Q_s est supérieur à Q_1 et à Q_2 , toute la masse produite entre t_1 et t_2 est interceptée, elle se calcule avec le débit variant linéairement de Q_1 à Q_2 ;
- * si Q_s est compris entre Q_1 et Q_2 , une fraction de la masse est interceptée, dont une partie se calcule avec le débit variant entre Q_1 et Q_s , et l'autre partie avec le débit constant égal à Q_s ;
- * si Q_s est inférieur à Q_1 et Q_2 , une fraction de la masse est interceptée, elle se calcule avec le débit constant égal à Q_s .

Après avoir effectué les calculs pour toutes les valeurs de débit constituant un événement, il faut sommer les masses interceptées pour aboutir à la masse interceptée pendant la totalité de l'événement.

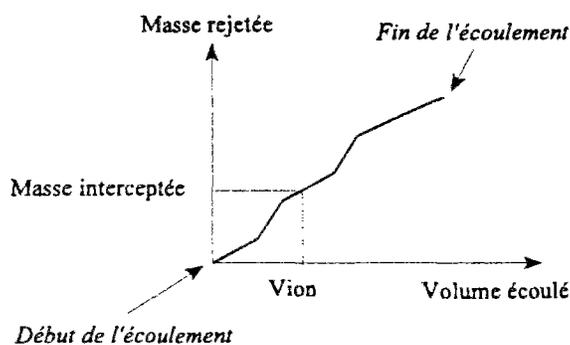


Figure 6.2 Masse interceptée pendant un événement pour un volume d'interception donné, V_{ion}

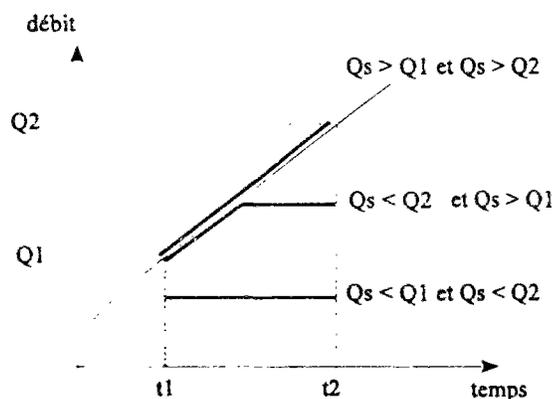


Figure 6.3 Débit pour calculer la masse interceptée entre 2 mesures de débit, en fonction du débit seuil

6.2.2.2. Méthodes de reconstitution des données pour le calcul des efficacités

L'exposé du paragraphe précédent montre que pour calculer la masse interceptée par un ouvrage

- * pour les volumes à traiter, il faut la courbe de répartition de la masse rejetée avec le volume écoulé

- * pour les débits à traiter, il faut l'hydrogramme et le pollutogramme;
- * pour les 2 types d'ouvrages, il faut la masse produite totale et le volume écoulé total.

Pour la répartition de la masse en fonction du volume

Pour effectuer le calcul de la masse interceptée, il faut la répartition de la masse rejetée en fonction du volume écoulé. Cette courbe ne peut pas être établie s'il manque l'hydrogramme ou le pollutogramme. Sur les données disponibles, on a pu constater que la situation "un pollutogramme sans hydrogramme" n'existe pas. On peut donc ramener l'inexistence de cette courbe à l'inexistence du pollutogramme. Dans le cas où elle n'existe pas, on utilise une courbe adimensionnelle identique pour tous les événements. Ensuite, par multiplication par la masse et par le volume de l'événement, on obtient une courbe dimensionnelle reconstituée.

Plusieurs courbes adimensionnelles peuvent être utilisées. L'étude du chapitre 5 a montré que les courbes réelles de répartition de la masse avec le volume sont très différentes d'un événement à un autre. Aussi, l'utilisation d'une courbe obtenue en faisant la moyenne sur les courbes mesurées s'avère beaucoup trop imprécise, elle donne des ordres de grandeur sans estimer leur incertitude. Lors d'une étude sur les quatre bassins expérimentaux (Marquet, 1993) les courbes extrêmes (courbes inférieures et supérieures des fuseaux de courbes mesurées) ont été utilisées afin de donner des fourchettes de valeurs. Or, cette méthode est la plus pessimiste, dans le cas de la courbe inférieure on ne peut pas sous-estimer plus les efficacités, et à l'opposé avec la courbe supérieure l'estimation ne peut pas être plus sur-estimée. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser des courbes caractéristiques intermédiaires, à 25 et 75% qui définissent des fuseaux au-dessous desquels se trouvent respectivement 25 et 75% des courbes mesurées.

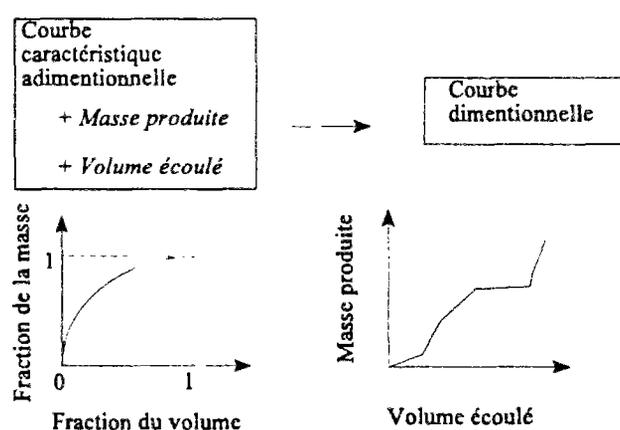


Figure 6.4 Reconstitution de la masse en fonction du volume à partir d'une courbe caractéristique adimensionnelle

Pour le pollutogramme

La reconstitution du pollutogramme s'effectue en trois étapes:

- * calcul de la répartition de la masse en fonction du volume comme cela est expliqué ci-dessus, afin d'obtenir les concentrations moyennes à chaque fraction de volume;
- * calcul des volumes écoulés en fonction du temps, à partir des données de l'hydrogramme;
- * superposition de ces deux représentations pour obtenir les concentrations en fonction du temps.

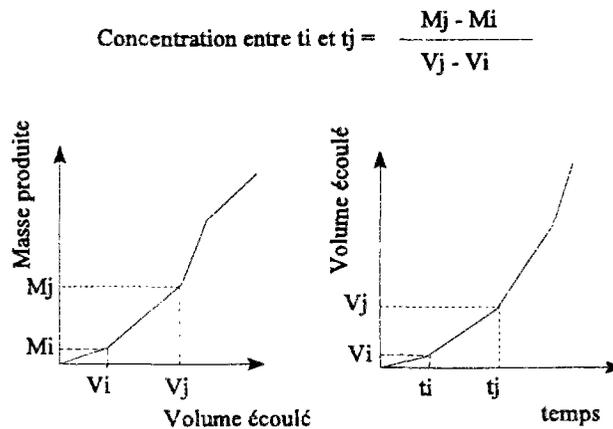


Figure 6.5 Reconstitution d'un pollutogramme à partir de la répartition de la masse en fonction du volume et de celle du volume avec le temps

Pour les volumes

Si l'hydrogramme n'a pas été mesuré, le volume total écoulé pendant l'événement n'a pas pu être calculé. Or cette valeur est nécessaire au calcul des masses en fonction des volumes. Deux méthodes peuvent être appliquées pour son calcul:

- * utiliser le coefficient volumétrique moyen et les pertes initiales établis dans le chapitre 4;
- * utiliser les équations de régression établies dans le chapitre 4 pour établir les masses annuelles.

Pour les concentrations moyennes par événement et les masses

La masse totale de l'événement est utilisée pour calculer la courbe de variation des masses avec le volume. Dans le chapitre 4, des équations de régression ont été établies pour les concentrations moyennes par événement et pour les masses totales. Or, leur utilisation dans le calcul des masses annuelles a montré que l'application des équations de régression n'est pas possible sur l'ensemble des événements. Pour le calcul des masses interceptées, on peut envisager de comparer deux méthodes:

- * utiliser les équations de régression, et calculer les masses interceptées uniquement sur les événements où cela est possible;
- * utiliser la concentration moyenne et la multiplier par le volume, et calculer les masses interceptées sur les événements pour lesquels le volume est disponible.

La comparaison des deux méthodes permettra de savoir pour le calcul des masses interceptées, si une

information peu précise comme la concentration moyenne n'est pas suffisante.

Pour les hydrogrammes

Pour le débit de traitement, le calcul nécessite un pollutogramme et un hydrogramme, car dans ce cas on ne peut pas se passer du temps. Les premiers calculs effectués pour estimer des débits à traiter utilisaient des données pratiquement complètes (plus de 90% des événements ont un hydrogramme mesuré sur les bassins de Maurepas, Les Ulis, Aix Zup et Aix Nord) la question de la reconstitution ne se posait donc pas. En revanche, sur les autres séries de données peu d'hydrogrammes sont disponibles. Mais dans le cadre de cette étude, il n'a pas été envisagé de les reconstituer.

6.2.2.3. Application aux données disponibles

Pour les volumes à traiter, les calculs pourront se faire sur l'ensemble des sites utilisés jusqu'à présent. En effet, les données disponibles correspondent aux données utilisées directement dans les calculs ou dans les reconstitutions. En revanche, pour les débits à traiter, les calculs sont limités aux quatre bassins versants expérimentaux. Car, ce sont les seuls sites qui possèdent des hydrogrammes en quantité suffisante.

Les efficacités à long terme sont calculées sur les événements ayant servis au calcul des masses annuelles. Il s'agit donc parfois de durées inférieures à l'année. En ce qui concerne les concentrations moyennes par événement et les masses, la méthode de reconstitution utilisée est celle qui a été retenue pour la masse annuelle (Cf tableau 4.9).

6.3. Les ouvrages de stockage

6.3.1. Efficacité d'interception à long terme

6.3.1.1. Influence de la répartition de la masse avec le volume en cours d'événement

Comme le paragraphe 6.2 le présente, pour reconstituer les variations de la masse produite en fonction du volume écoulé en cours d'événement, on utilise les deux courbes caractéristiques à 25 et 75%. Par la suite elles seront appelées respectivement "courbe 25" et "courbe 75". Elles séparent les fuseaux des courbes mesurées sur un site en deux zones: 25% des courbes mesurées sont au-dessous de la courbe 25 et 75% des courbes mesurées sont au-dessous de la courbe 75.

Pour estimer l'influence des courbes 25 et 75, on compare la répartition de la masse interceptée en fonction du volume intercepté avec la répartition de la masse en fonction du volume donnée par les courbes 25 et 75:

- * pour le premier type de répartition chaque courbe correspond à un site, toutes les courbes appartiennent à un fuseau assez resserré sauf quelques unes qui s'écartent de plus de 20% au-dessus des autres courbes;
- * pour le deuxième type de répartition, les sites correspondant à ces courbes présentent également les courbes les plus hautes; il existe quelques cas pour lesquels les courbes sont très inférieures aux autres. On retrouve ces sites sur le premier type de répartition parmi les masses interceptées les plus faibles. Mais les différences avec les autres sites sur les masses interceptées sont très faibles.

Par conséquent, sur les courbes extrêmes supérieures il y a incontestablement une relation étroite entre la masse interceptée et la répartition de la masse en cours d'événement. Dans le cas des courbes extrêmes inférieures, la relation est beaucoup moins forte.

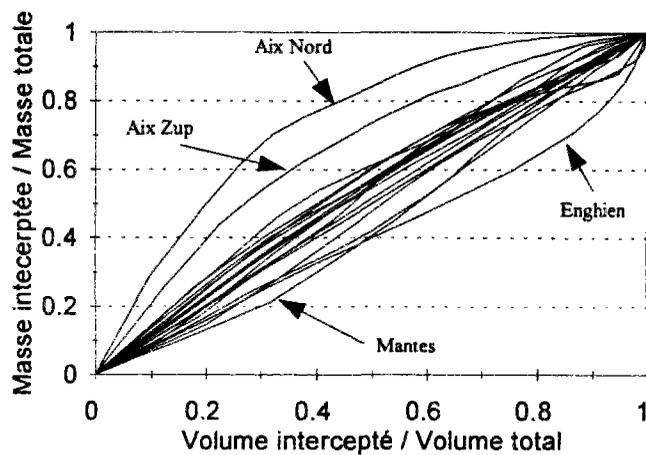


Figure 6.6 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25

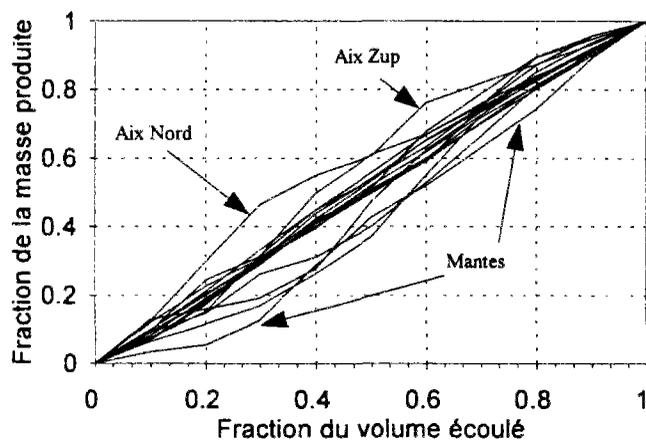


Figure 6.7 Répartition de la masse de MES avec le volume en cours d'événement, courbes 25

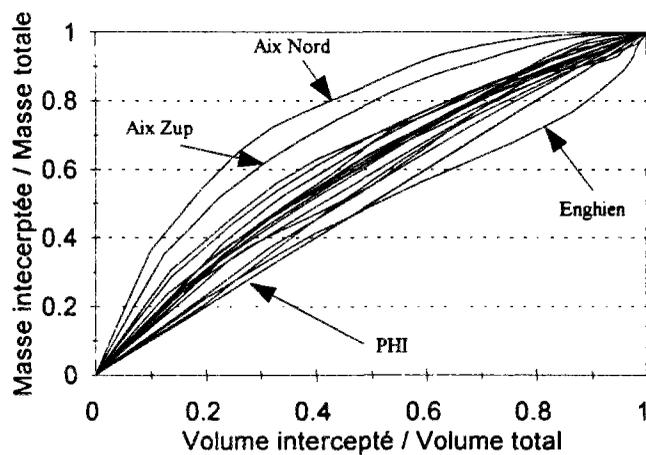


Figure 6.8 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75

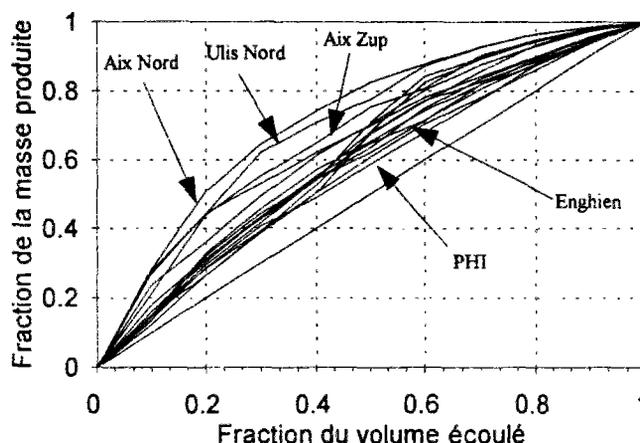


Figure 6.9 Répartition de la masse de MES avec le volume en cours d'événement, courbes 75

6.3.1.2. Influence des volumes écoulés

On s'intéresse maintenant aux volumes d'interception correspondant aux masses interceptées. Lorsqu'on trace pour chaque site, les courbes de répartition de la masse interceptée en fonction du volume d'interception (et non plus du volume intercepté), on constate que:

- * les courbes forment un fuseau continu d'où sortent 2 ou 3 courbes;
- * les courbes remarquables se situent dans la partie supérieure des fuseaux, c'est-à-dire que pour certains sites, la masse interceptée pour un volume d'interception donné est toujours largement supérieure aux autres valeurs;
- * ces sites ne correspondent pas à ceux mis en évidence dans le paragraphe précédent. Ainsi, Aix Nord et Aix Zup qui possèdent des courbes 25 et 75 très supérieures aux autres, n'ont pas des masses interceptées très fortes pour un volume d'interception donné comparés aux autres sites;
- * pour les retrouver, il faut tracer les variations des volumes interceptés en fonction du volume d'interception.

Cela met en évidence un fait important, à savoir que les volumes les plus grands enregistrés sur chaque site ne sont pas comparables. Ils varient entre 100 et 800 m³/ha act. Ils correspondent également aux volumes nécessaires pour intercepter 100% de la masse produite. Par conséquent les variations observées sur les efficacités d'interception proviennent plus des différences sur les volumes enregistrés sur chaque campagne que la répartition de la pollution à l'intérieur des événements.

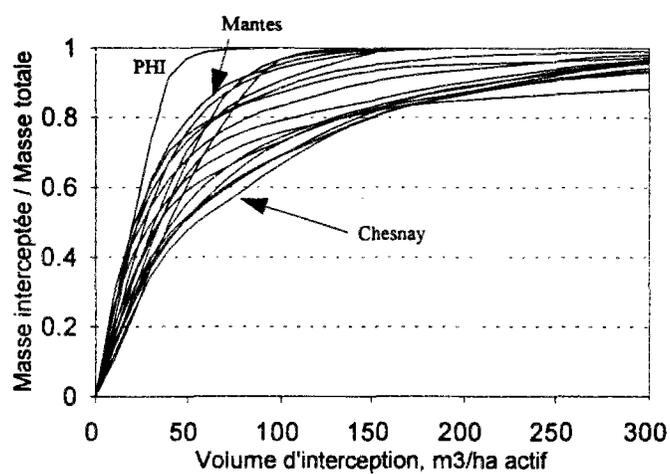


Figure 6.10 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25

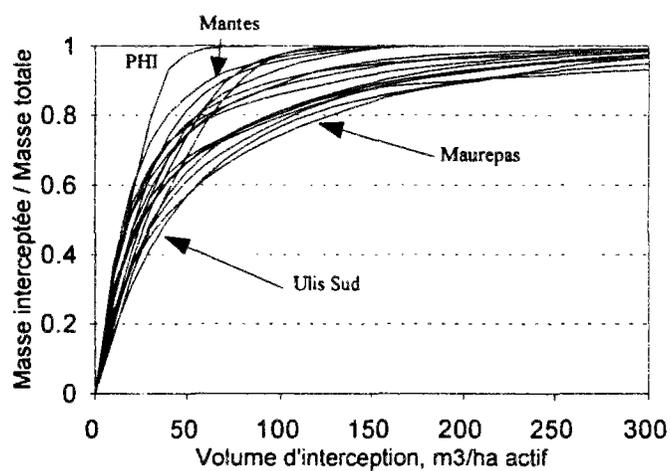


Figure 6.11 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75

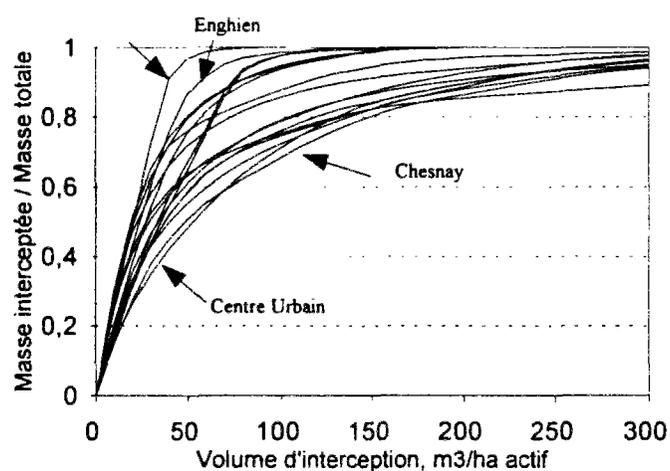


Figure 6.12 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25

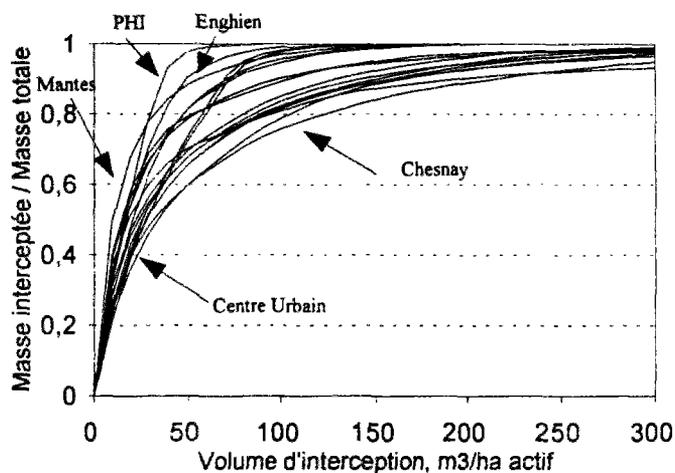


Figure 6.13 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75

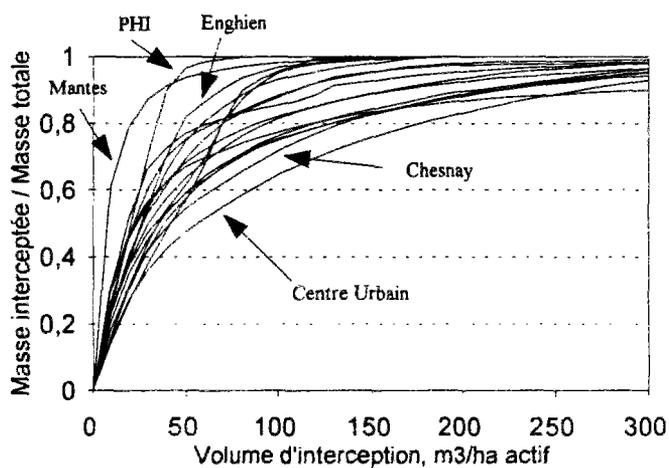


Figure 6.14 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 25

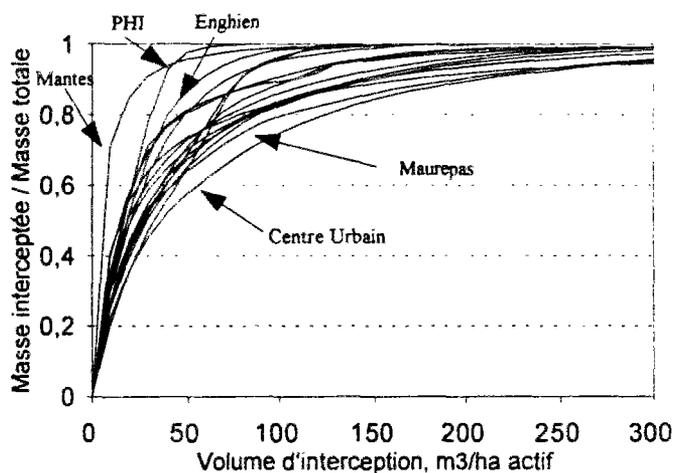


Figure 6.15 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume d'interception, courbes 75

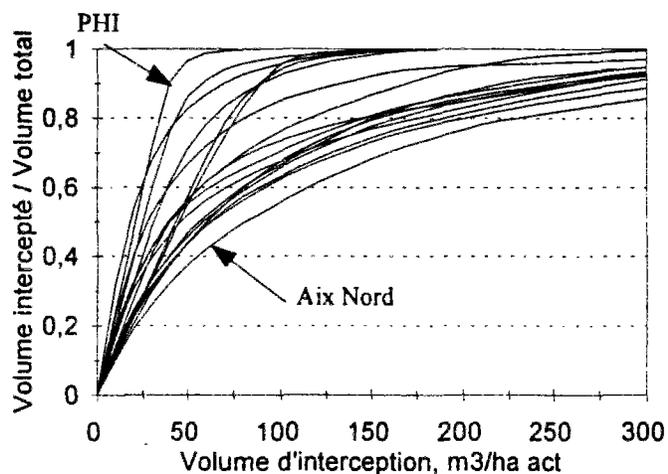


Figure 6.16 Volume intercepté en fonction du volume d'interception

6.3.1.3. Ordre de grandeur des efficacités et des volumes d'interception

Malgré la remarque précédente, nous présentons les ordres de grandeur que nous avons obtenus sur les volumes d'interception et leur efficacité. Ce ne sont que des chiffres indicatifs qui demandent à être confirmés sur d'autres campagnes. Les tableaux 6.1 à 6.6 sont des synthèses de ceux de l'annexe G.

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m3/ha actif					
Séparatif	25	26	38	48	9
	75	31	45	54	8
Séparatif pollué et mixte	25	24	30	34	4
	75	37	42	47	5
Unitaire	25	23	36	49	9
	75	34	46	59	9
50 m3/ha actif					
Séparatif	25	51	62	75	11
	75	57	68	78	8
Séparatif pollué et mixte	25	48	56	64	6
	75	61	67	74	5
Unitaire	25	61	75	97	11
	75	68	81	98	9
100 m3/ha actif					
Séparatif	25	69	79	88	8
	75	74	83	90	6
Séparatif pollué et mixte	25	67	73	79	4
	75	78	81	86	3
Unitaire	25	90	96	100	3
	75	93	97	100	2

Tableau 6.1: Synthèse des efficacités d'interception à long terme des MES, pour 20, 50 et 100 m3/ha actif

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	26	40	49	8
	75	36	47	58	8
Séparatif pollué et mixte	25	27	34	43	6
	75	39	44	51	4
Unitaire	25	31	41	52	8
	75	38	51	68	10
50 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	48	65	79	10
	75	60	70	81	9
Séparatif pollué et mixte	25	51	58	64	5
	75	65	68	70	2
Unitaire	25	64	78	97	11
	75	72	84	98	9
100 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	71	81	94	8
	75	76	85	95	6
Séparatif pollué et mixte	25	68	73	76	3
	75	81	82	84	1
Unitaire	25	94	97	100	2
	75	96	98	100	1

Tableau 6.2: Synthèse des efficacités d'interception à long terme de la DCO, pour 20, 50 et 100 m³/ha actif

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	27	42	57	9
	75	36	48	60	8
Séparatif pollué et mixte	25	30	36	46	6
	75	39	47	55	6
Unitaire	25	26	44	79	17
	75	35	53	85	16
50 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	47	67	84	11
	75	58	71	86	9
Séparatif pollué et mixte	25	54	59	67	5
	75	65	69	74	3
Unitaire	25	57	78	97	15
	75	65	83	98	12
100 m ³ /ha actif					
Séparatif	25	65	81	90	8
	75	75	85	92	6
Séparatif pollué et mixte	25	72	75	77	2
	75	82	83	83	0
Unitaire	25	93	96	100	2
	75	95	97	100	2

Tableau 6.3: Synthèse des efficacités d'interception à long terme de la DBO₅, pour 20, 50 et 100 m³/ha actif

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception de 50% de la masse produite					
Séparatif	25	22	37	57	13
	75	18	27	48	10
Séparatif pollué et mixte	25	35	42	56	9
	75	23	28	33	5
Unitaire	25	20	28	37	6
	75	17	22	29	5
Interception de 80% de la masse produite					
Séparatif	25	74	117	153	34
	75	63	92	131	26
Séparatif pollué et mixte	25	107	130	150	16
	75	67	92	107	15
Unitaire	25	34	55	68	13
	75	31	47	60	10
Interception de 100% de la masse produite					
Séparatif	25 ou 75	480	586	840	119
Séparatif pollué et mixte	25 ou 75	410	685	1130	278
Unitaire	25 ou 75	90	170	220	40

Tableau 6.4: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en MES

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception de 50% de la masse produite					
Séparatif	25	22	34	53	11
	75	16	26	37	8
Séparatif pollué et mixte	25	27	38	49	8
	75	19	25	29	4
Unitaire	25	19	27	36	6
	75	11	20	29	6
Interception de 80% de la masse produite					
Séparatif	25	74	105	138	26
	75	54	83	118	24
Séparatif pollué et mixte	25	119	133	149	11
	75	85	90	94	3
Unitaire	25	34	52	65	10
	75	31	44	59	11
Interception de 100% de la masse produite					
Séparatif	25 ou 75	480	586	840	119
Séparatif pollué et mixte	25 ou 75	410	685	1130	278
Unitaire	25 ou 75	90	163	190	33

Tableau 6.5: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en DCO

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception de 50% de la masse produite					
Séparatif	25	19	33	56	11
	75	17	25	37	7
Séparatif pollué et mixte	25	23	35	42	7
	75	16	23	30	5
Unitaire	25	16	28	43	9
	75	10	21	33	8
Interception de 80% de la masse produite					
Séparatif	25	62	111	177	35
	75	46	86	125	24
Séparatif pollué et mixte	25	119	126	135	7
	75	79	84	89	4
Unitaire	25	35	53	69	13
	75	31	46	66	14
Interception de 100% de la masse produite					
Séparatif	25 ou 75	480	586	840	119
Séparatif pollué et mixte	25 ou 75	410	685	1130	278
Unitaire	25 ou 75	90	170	220	40

Tableau 6.6: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme en DBO5

Les valeurs des tableaux précédents montrent que:

Pour un volume donné les efficacités d'interception sont très variables d'un site à un autre:

- * pour des volumes d'interception faibles de 20 m³/ ha act, les efficacités pour certains sites sont médiocres (entre 20 et 30% de la masse est interceptée), alors que pour d'autres sites l'efficacité atteint 85%;
- * pour des volumes d'interception intermédiaires de 50 m³/ ha act, l'efficacité dépasse toujours 50%, et atteint presque 100% sur quelques sites;
- * pour des volumes importants de 100 m³/ ha act, pour certains sites l'efficacité ne dépasse pas 70%, ce qui est faible compte tenu de l'importance du volume d'interception.

Lorsqu'on compare les trois polluants:

- * L'efficacité en DCO et en DBO5 est toujours meilleure que celle en MES. Cela rejoint les observations du chapitre 5 sur les courbes de la variation de la masse en fonction du volume. En effet, les courbes pour la DCO et la DBO5 sont supérieures à celles des MES, ce qui signifie que les deux paramètres sont rejetés avant les MES. Par conséquent, leur interception se produit également avant celle des MES, conduisant à des efficacités plus grandes surtout pour les faibles volumes.

Pour des volumes d'interception fixés:

- * L'efficacité est meilleure pour la DCO et la DBO5 que pour les MES.
- * Le corollaire de ce résultat exprime que pour des efficacités fixées, les volumes d'interception nécessaires sont plus faibles pour la DCO et la DBO5 que pour les MES.

La comparaison entre les deux types de courbes qui entrent dans la reconstitution des variations de la masse en fonction du volume pour chaque événement montre que

- * Les écarts entre les résultats ne sont pas très grands sur l'ensemble des sites.
- * On observe au maximum 10% d'écarts entre les efficacités, pour les MES et pour 20 m³/ha act. L'écart peut paraître important mais les valeurs concernées sont très faibles pour les deux courbes. Il s'agit d'efficacité entre 20 et 30%.

6.3.1.4. Influence des caractéristiques des sites

Malgré le classement par type de réseau, les remarques précédentes montrent l'importante variabilité des résultats d'un site à un autre. Sur les figures présentées précédemment, on voit que pour le site de la Briche PHI, pour lequel les efficacités d'interception sont très supérieures aux autres valeurs, l'efficacité atteint 100% pour un volume de l'ordre de 80 m³/ha act. Cette valeur correspond au volume le plus grand écoulé pour un événement pendant la campagne. Pour les autres sites, ces valeurs sont très différentes mais toutes supérieures à 150 m³/ha act. En définitive, cela met l'accent sur l'une des lacunes de nos données. Nous ne connaissons pas les périodes de retour des volumes écoulés les plus grands pour chaque site. Nous comparons des campagnes de mesure sans savoir si elles correspondent aux mêmes événements. Par conséquent, les valeurs indiquées pour les volumes d'interception correspondent à des valeurs particulières à chaque campagne de mesure. Néanmoins, avoir des indications sur les volumes d'interception nécessaires pour chaque campagne disponible correspond à une étape préliminaire indispensable pour donner des ordres de grandeur. De plus, les mises en relation qui suivent montrent que les comparaisons ne sont pas complètement stériles.

Le regroupement des valeurs par *type de réseau* indique les tendances suivantes:

- * Pour les faibles volumes d'interception (20 m³/ha act): il n'y a aucune différence entre les sites séparatifs et unitaires. Pour la DBO5, l'efficacité obtenue sur Mantes dépasse de 20% la plus grande

des efficacités des autres sites unitaires. Sans cette valeur, le domaine de variation est le même que pour les sites séparatifs.

- * Pour les volumes plus forts (d'abord 50 m³/ha act, puis 100 m³/ha act) les efficacités deviennent plus élevées pour les sites unitaires. Pour 100 m³/ha act, les efficacités atteignent 100% uniquement sur les sites unitaires.

En ce qui concerne la *surface active*, les variations des efficacités dépendent du type de réseau et du polluant:

Pour les sites unitaires: pour les MES, la DCO et la DBO5, les valeurs sont très dispersées sauf pour 100 m³/ha act où toutes les valeurs sont proches de 100%

Pour les sites séparatifs: pour les MES, la DCO et la DBO5, le pourcentage de la masse interceptée à tendance à diminuer lorsque la surface active augmente

Pour les sites séparatifs pollués pour les MES, la DCO et la DBO5, le pourcentage de la masse interceptée diminue lorsque la surface active augmente

En ce qui concerne l'influence du *temps de concentration*, il faut noter qu'on ne dispose que de la valeur de Mantes pour les sites unitaires et que cette valeur est la plus petite (15 minutes). De manière à faire apparaître tout de même les sites de la Briche (unitaires, surfaces actives supérieures à 500 ha), nous leur avons attribués un temps de concentration de 80 mn qui constitue une valeur plus grande que celles qui ont été mesurées pour les autres sites. Pour les trois polluants, on observe une décroissance de l'efficacité entre des temps de concentration de 15 et 30 minutes. Puis pour la DCO et les MES l'efficacité augmente à nouveau jusqu'à atteindre pour des temps de concentration de 60 minutes des efficacités du même ordre que pour 15 minutes. Pour la DBO5, les valeurs ont plutôt tendance à se stabiliser.

En ce qui concerne la *pente moyenne* des bassins versants, on ne possède que la valeur de Mantes pour les sites unitaires. Pour les trois polluants, on ne distingue aucune tendance, les efficacités sont très dispersées quelle que soit la valeur de la pente.

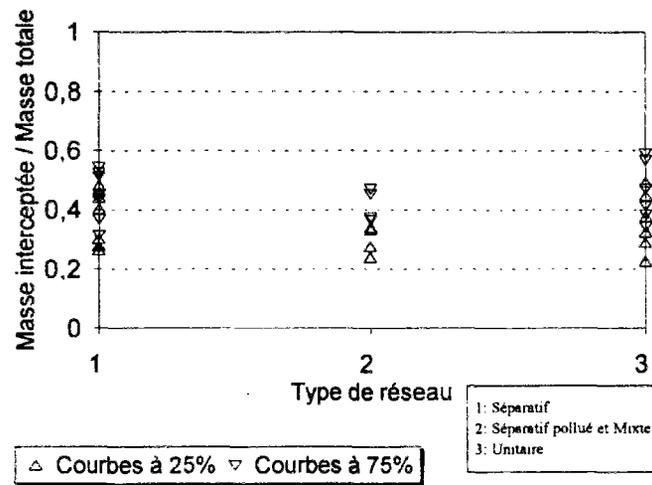


Figure 6.17 Masse de MES interceptée à long terme par 20 m³/ha act en fonction du type de réseau

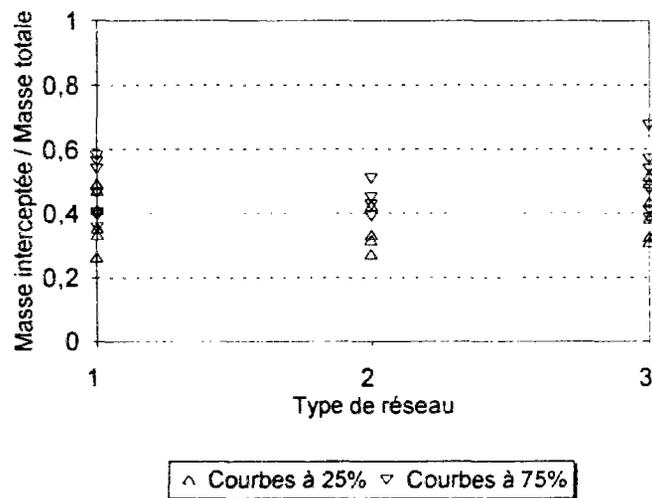


Figure 6.18 Masse de DCO interceptée à long terme par 20 m³/ha act en fonction du type de réseau

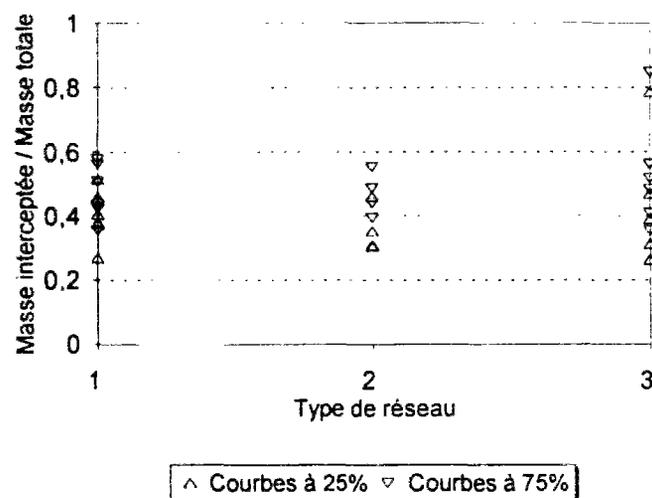


Figure 6.19 Masse de DBO₅ interceptée à long terme par 20 m³/ha act en fonction du type de réseau

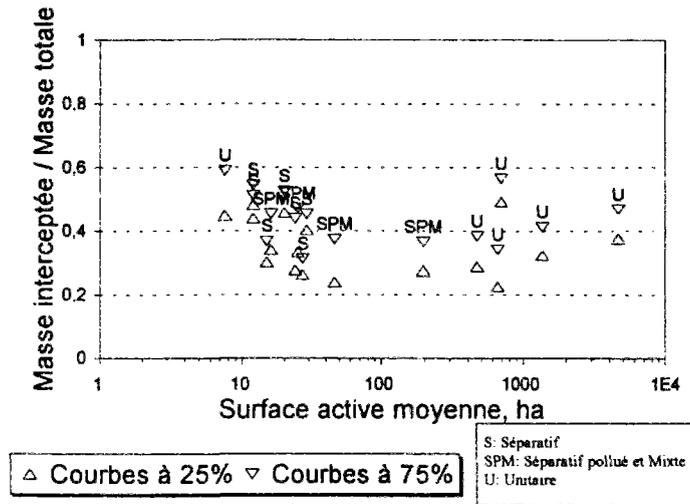


Figure 6.20 Masse de MES interceptée à long terme par 20 m3/ha act en fonction de la surface active moyenne

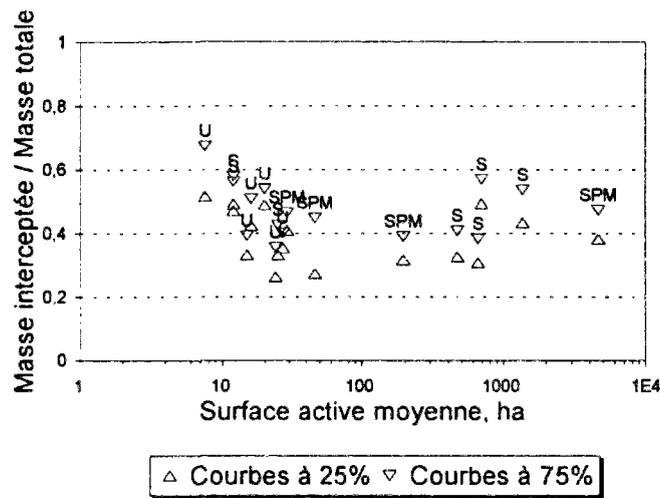


Figure 6.21 Masse de DCO interceptée à long terme par 20 m3/ha act en fonction de la surface active moyenne

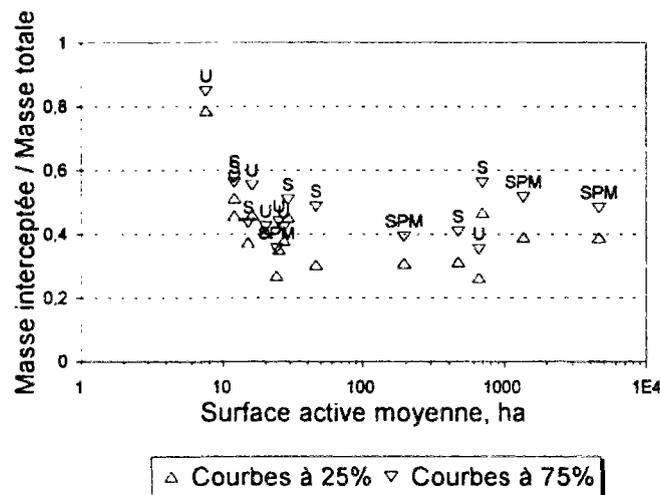


Figure 6.22 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20m3/ha act en fonction de la surface active moyenne

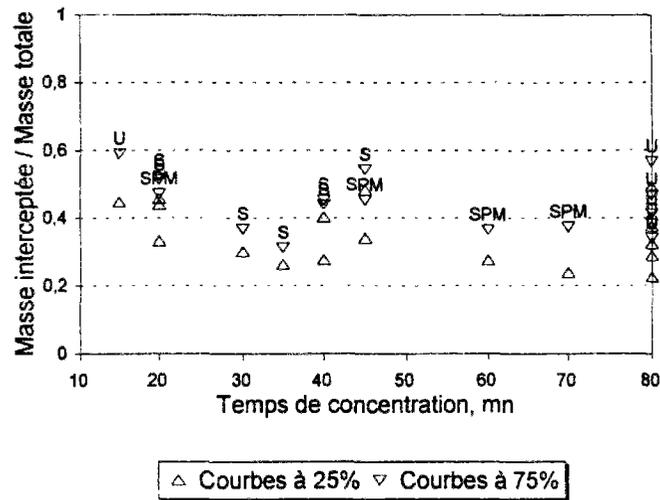


Figure 6.23 Masse de MES interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction du temps de concentration

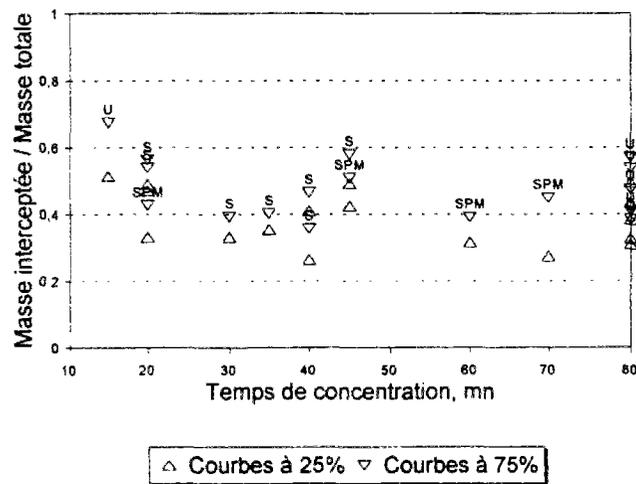


Figure 6.24 Masse de DCO interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction du temps de concentration

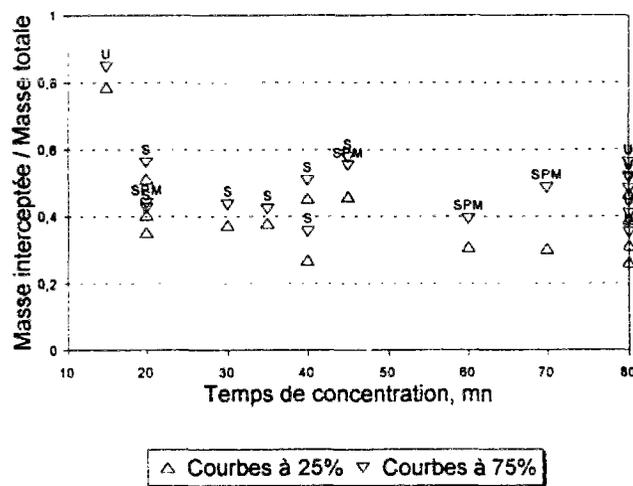


Figure 6.25 Masse de DBO₅ interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction du temps de concentration

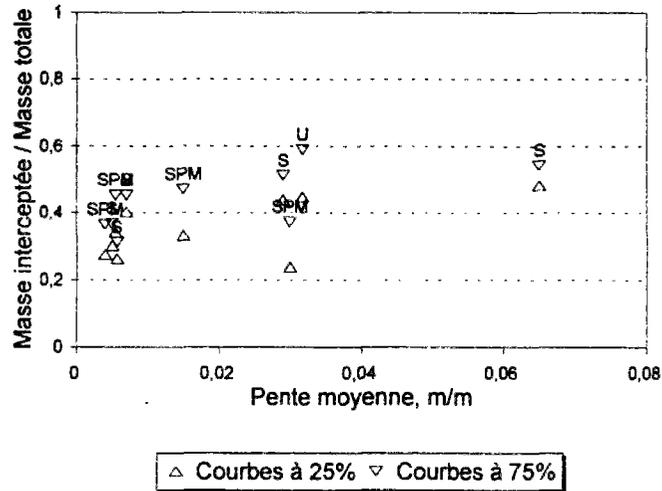


Figure 6.26 Masse de MES interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction de la pente moyenne

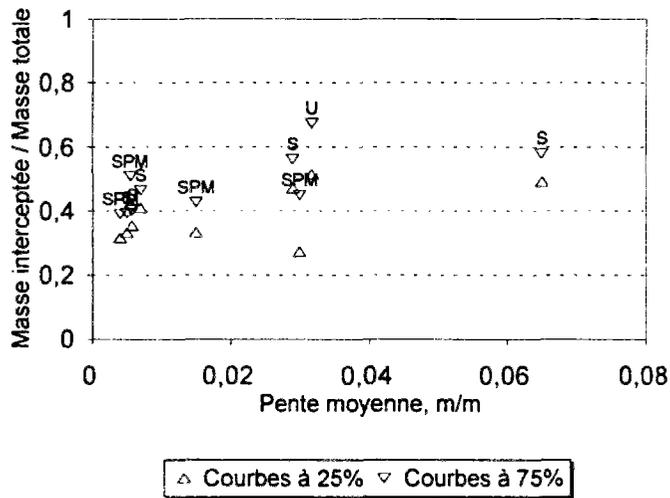


Figure 6.27 Masse de DCO interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction de la pente moyenne

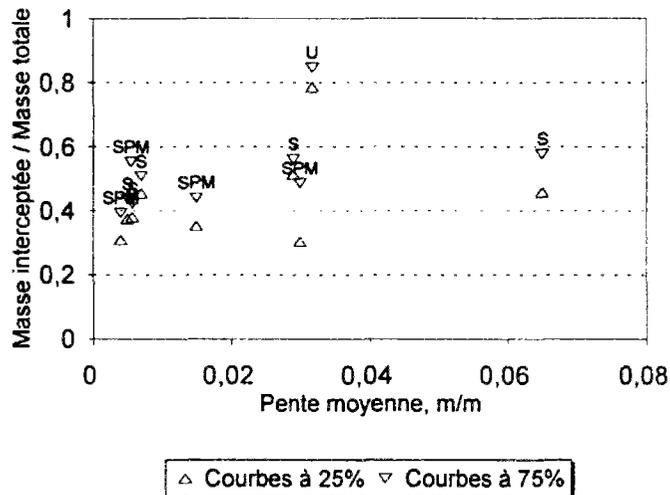


Figure 6.28 Masse de DBO5 interceptée à long terme par 20m³/ha act en fonction de la pente moyenne

6.3.2. Efficacité à court terme

6.3.2.1. Efficacité d'interception sur les masses produites les plus grandes

Les efficacités d'interception des masses produites les plus fortes sont très variables:

- * pour les faibles volumes d'interception de 20 m³/ha act:
 - * l'efficacité ne dépasse pas en moyenne 20%;
 - * pour certains événements, elle peut être très bonne (75%), et pour d'autres très faibles (5%);
- * avec des volumes d'interception dix fois plus grands, de 200 m³/ha act:
 - * il reste des événements pour lesquels l'interception est efficace pour moins de 40% pour les MES et pour les sites séparatifs. Sur les sites unitaires, l'interception est totale.

Alors qu'à long terme 100 m³/ha act permettent d'intercepter plus de 70% de la masse produite pour tous les sites en MES, DCO et DBO₅, cette même valeur intercepte moins de 30% de la masse de certains événements. Cela signifie que la fraction qui n'est pas interceptée à long terme correspond aux quelques événements très pollués, pour lesquels parfois même 200 m³/ha act ne permettent d'intercepter que 40% de la masse. D'ailleurs, les calculs inverses, qui consistent à estimer les volumes d'interception nécessaires pour atteindre certaines efficacités, montrent que pour atteindre une efficacité de 50% il faut plus de 200 m³/ha act.

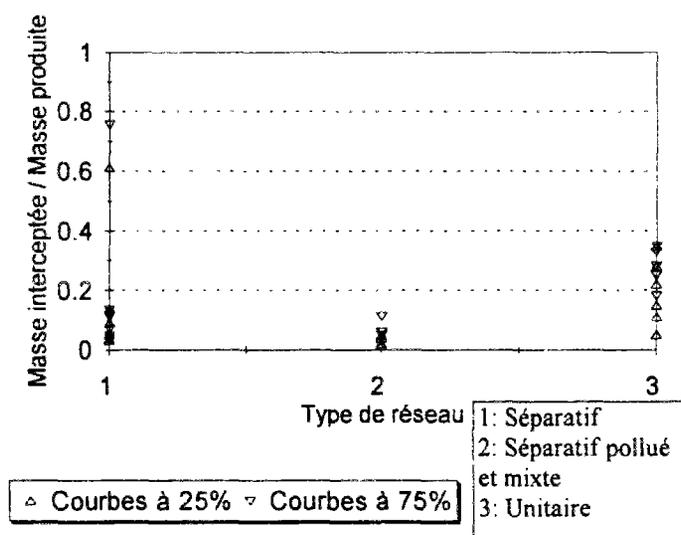


Figure 6.29 Masse de MES interceptée par 20 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau

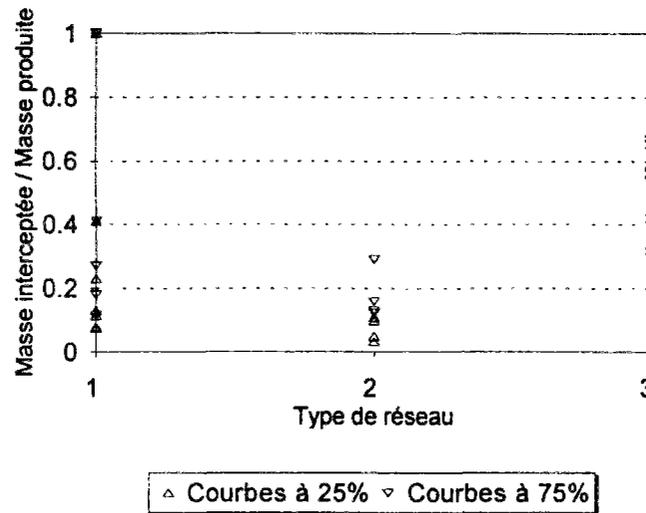


Figure 6.30 Masse de MES interceptée par 50 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau

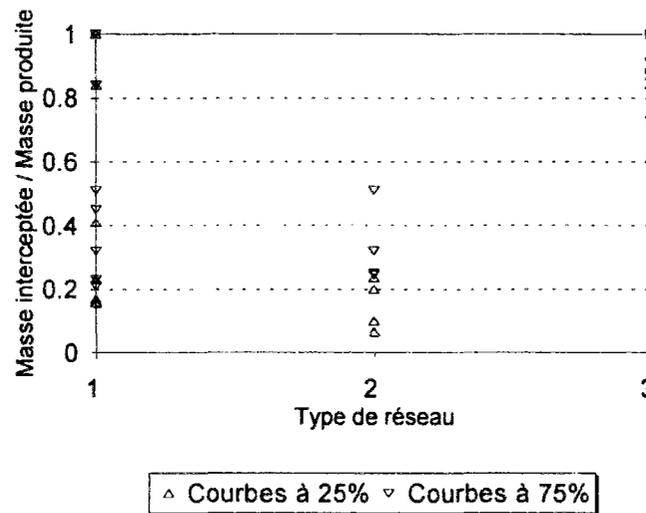


Figure 6.31 Masse de MES interceptée par 100 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau

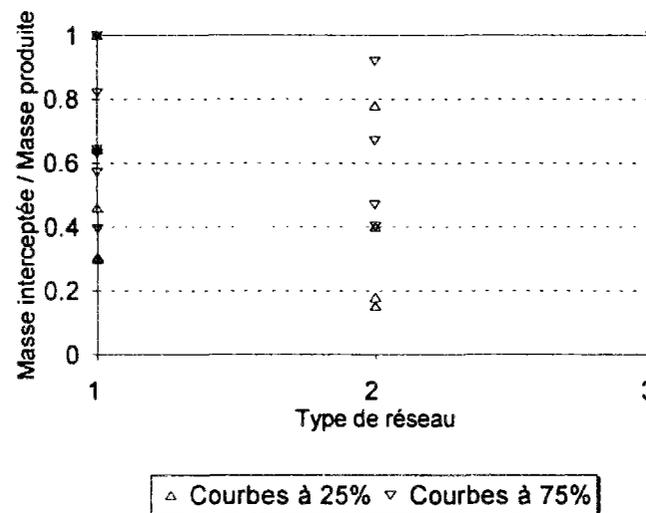


Figure 6.32 Masse de MES interceptée par 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, en fonction du type de réseau

6.3.2.2. Les événements pour lesquels les masses non interceptées sont les plus importantes

La première étape consiste à identifier les événements correspondants aux rejets résiduels les plus importants.

Plusieurs situations se présentent:

- * Lorsque la masse produite la plus importante correspond à un volume écoulé également important (parmi les 5 premiers), alors c'est pour cet événement que les masses non interceptées sont les plus grandes, pour les petits comme pour les grands volumes d'interception.
- * Lorsque la masse produite la plus grande correspond à un volume écoulé moyen (entre les 10 et 20 premiers), c'est cet événement qui rejette le plus pour les faibles volumes d'interception (20 m³/ha act). Pour les volumes d'interception supérieurs, la masse non interceptée devient prépondérante pour des événements qui correspondent à des volumes écoulés de rangs supérieurs (parmi les 5 premiers). D'ailleurs le rang en volume écoulé, correspondant à la masse non interceptée la plus grande, augmente lorsque le volume d'interception augmente. Néanmoins les masses produites concernées doivent rester parmi les 10 premières.
- * Lorsque la masse produite la plus grande correspond à un volume écoulé très faible (moins de 20 m³/ha act), l'événement correspondant n'apparaît jamais parmi les rejets les plus forts. Ils se trouvent parmi les masses produites suivantes qui présentent des volumes écoulés importants.

6.3.2.3. Ordre de grandeur des masses non interceptées les plus grandes par événement

Sauf pour quelques cas, où la masse produite la plus grande correspond à un volume écoulé faible:

- * Pour 20 m³/ha act, les masses non interceptées restent supérieures à 65% de la masse produite la plus forte.
- * Pour 100 m³/ha act, pour certains sites unitaires, tous les événements sont interceptés en totalité. Mais il reste certaines masses rejetées pour les sites séparatifs qui représentent entre 75 et 90% de la masse maximale

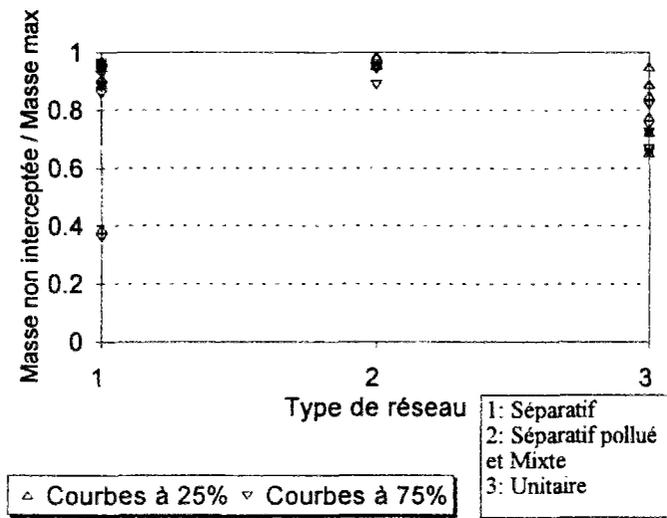


Figure 6.33 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 20 m³/ha act, en fonction du type de réseau

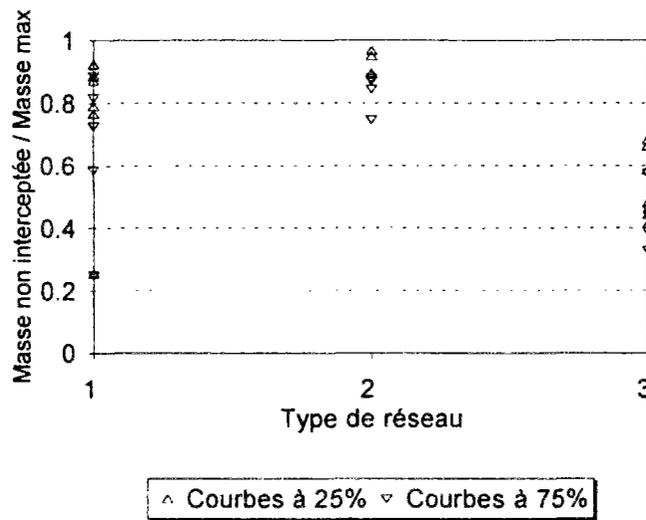


Figure 6.34 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 50 m³/ha act, en fonction du type de réseau

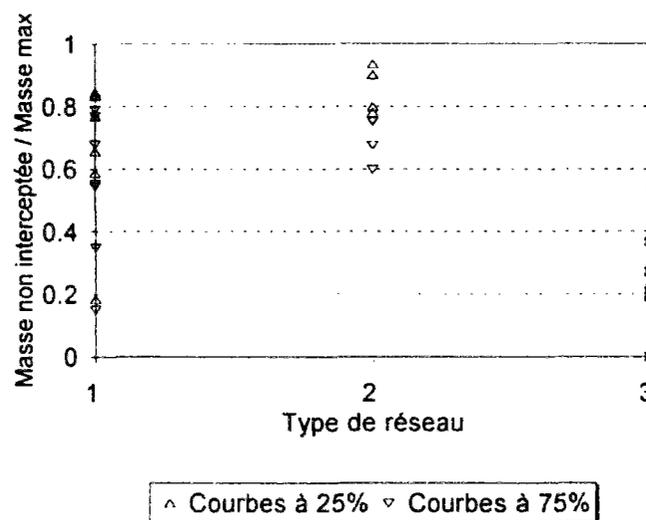


Figure 6.35 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 100 m³/ha act, en fonction du type de réseau

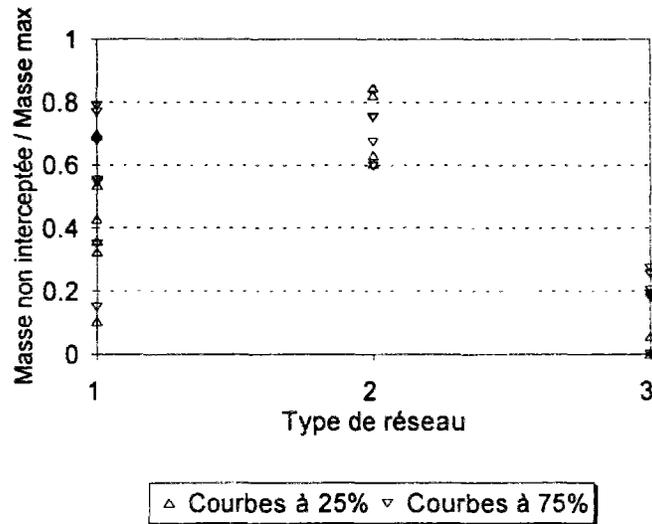


Figure 6.36 Masse de MES la plus grande non interceptée pendant un événement par 200 m³/ha act, en fonction du type de réseau

6.4. Les ouvrages au fil de l'eau

Pour ce type d'ouvrage, il faut rappeler que le calcul des masses interceptées est impossible sans hydrogramme. Cela limite les sites utilisés aux quatre bassins versants expérimentaux: Maurepas, Ullis Nord, Aix Zup et Aix Nord. De plus, sur ces sites, la reconstitution des masses manquantes s'est faite à partir de la concentration moyenne calculée sur les valeurs mesurées pendant la campagne. La reconstitution des volumes manquants utilise le coefficient volumétrique moyen et les pertes initiales.

6.4.1. Efficacité à long terme

6.4.1.1. Influence de la répartition de la masse avec le volume en cours d'événement

Les valeurs des tableaux en annexe G montrent que le type de courbe qu'on utilise pour reconstituer la variation en cours d'événement de la masse avec le volume, a peu d'influence sur la valeur de la masse interceptée par un débit donné. En effet, on observe une différence maximale de 1% sur la masse interceptée à long terme pour les débits indiqués dans les tableaux.

Pour expliquer cela, il faut revenir au niveau d'un événement. Lorsqu'on calcule un pollutogramme à partir d'une courbe de répartition de la masse en fonction du volume, cette dernière a une influence sur la position dans le temps de la pointe de la concentration, et pas beaucoup sur sa valeur. La pointe de la concentration est en début d'écoulement avec la courbe 75 et en fin d'écoulement avec la courbe 25. Sauf pour des événements exceptionnels, ces positions correspondent à des débits faibles. Par conséquent, les volumes écoulés correspondant à la tranche où la concentration est maximale sont sensiblement les mêmes pour les deux courbes, et par suite les masses rejetées dans ces tranches. (figure 6.37)

Dans le cas où la pointe de débit se situe vers la fin de l'écoulement, comme la concentration maximale obtenue par la courbe 75, la masse interceptée est plus forte avec la courbe 75 qu'avec la courbe 25. Alors que pour un volume d'interception donné, la masse interceptée est toujours plus importante avec une courbe 75 qu'avec une courbe 25.

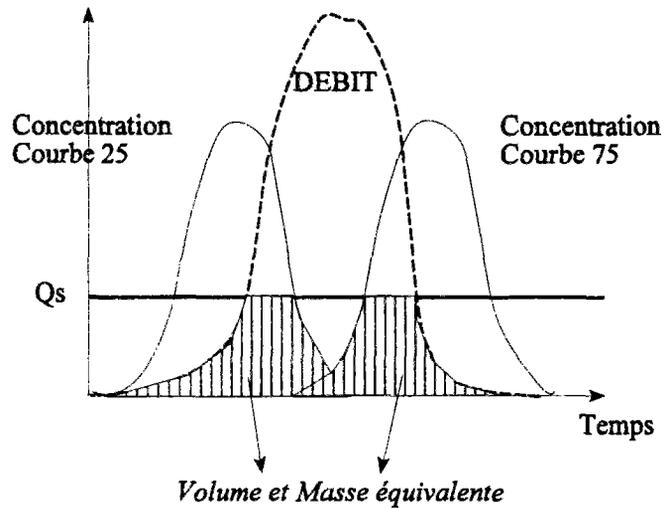


Figure 6.37 Equivalence des masses interceptées à partir des courbes 25 et 75 pour un débit d'interception

Comme cela a été fait pour les volumes d'interception, on regarde comment évolue la masse interceptée avec le volume intercepté. On constate que sur les quatre sites les différences sont peu importantes. Les différences les plus fortes sont observées pour les MES. Pour la DCO et la DBO5, les courbes se rapprochent de la diagonale, c'est-à-dire que la fraction de la masse interceptée est égale à la fraction du volume intercepté.

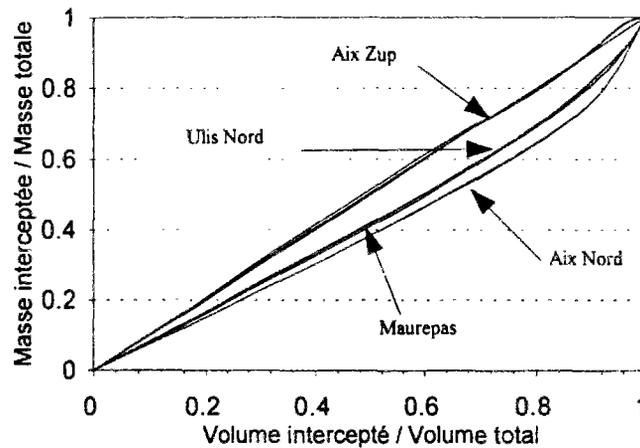


Figure 6.38 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception

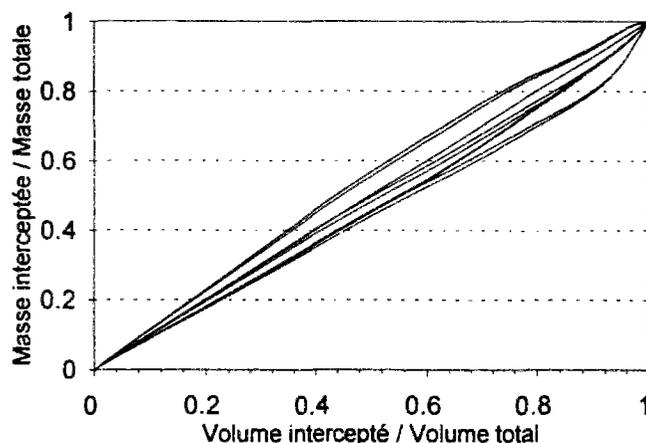


Figure 6.39 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception

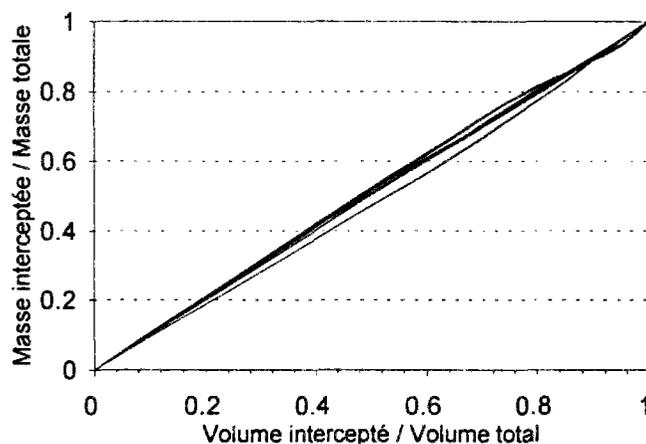


Figure 6.40 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25 et 75, cas des débits d'interception

6.4.1.2. Ordre de grandeur des efficacités et des débits d'interception

Nous donnons dans les tableaux 6.7 et 6.8 les efficacités obtenues sur chacun des sites. Sur les quatre sites disponibles, pour des débits supérieurs à 6 l/s/ha act, les masses interceptées sur Aix Nord sont systématiquement plus faibles que pour les autres sites. D'ailleurs, sur Aix Nord, le débit le plus fort enregistré pendant un événement est largement supérieur à celui des autres sites. Pour l'événement correspondant sur Aix Nord, la masse produite de MES représente 15% de la masse totale produite par l'ensemble des événements, 16% pour la DCO et 9% pour la DBO5. Sur les autres sites, on ne retrouve pas d'événement comparable. D'ailleurs, un calcul des masses interceptées sur Aix Nord sans cet événement

donne des résultats comparables aux autres sites:

- * un faible débit de 4 l/s/ha act permet d'intercepter:
 - pour les MES, 45 à 60% de la masse à long terme;
 - pour la DCO, 50 à 65%;
 - pour la DBO5, 55 à 62%;

- * pour un débit moyen de 10 l/s/ha act, l'interception sur les masses à long terme représente:
 - pour les MES, 70 à 80%;
 - pour la DCO, 75 à 85%;
 - pour la DBO5, 75 à 80%;

- * pour un débit important de 30 l/s/ha act, l'interception sur les masses à long terme représente:
 - pour les MES, 85 à 95%;
 - pour la DCO, 90 à 95%;
 - pour la DBO5, 90 à 95%.

Les efficacités sur Aix Nord en tenant compte de l'événement au plus fort débit sont 10 à 20% moins élevées que les chiffres précédents (figures 6.41 à 6.43). L'influence d'un tel événement montre que les chiffres que nous indiquons doivent être utilisés avec prudence. Cet exemple montre que pour comparer les sites, il nous manque des indications sur les périodes de retour des événements que nous utilisons.

Lorsqu'on compare les trois polluants (MES, DCO et DBO5) les efficacités d'interception sont toujours meilleures pour la DBO5 et la DCO que pour les MES.

Lorsqu'on effectue les calculs des débits nécessaires pour intercepter une fraction donnée de la masse. On constate que:

- * pour intercepter 50% de la masse, les débits nécessaires ne dépassent pas:
 - 5 l/s/ha act pour les MES;
 - 4 l/s/ha act pour la DCO et la DBO5;

- * pour atteindre 80% d'efficacité, les débits doivent être multipliés par 4 ou 5.

Autrement dit, accroître les capacités d'interception d'un ouvrage, ne permet pas d'augmenter les efficacités d'interception dans la même proportion.

Ne disposant que de 4 sites, de plus tous séparatifs, il n'est pas possible de déterminer l'influence des caractéristiques des sites sur les masses interceptées. On voit sur les figures suivantes que l'ordre des sites ne suit pas celui des surfaces actives moyennes. (Aix Nord et Aix Zup 12 ha, Maurepas 15 ha et Ulis Nord 16 ha)

Site	Courbe	Masse produite tonne	Débit max l/s/ha act	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des débits(l/s/ha act) de			
				4	10	20	30
MES							
Aix Zup	25	18	200	61	78	88	94
	75			60	77	88	93
Aix Nord	25	32	360	39	50	60	67
	75			39	50	61	68
Maurepas	25	23	190	49	72	83	87
	75			49	72	83	87
Ulis Nord	25	38	72	52	78	91	96
	75			52	78	91	96
DCO							
Aix Zup	25	12	200	66	84	91	95
	75			65	83	91	94
Aix Nord	25	16	360	45	56	66	72
	75			46	58	67	73
Maurepas	25	12	190	54	78	88	92
	75			54	78	88	92
Ulis Nord	25	18	72	59	83	94	97
	75			60	84	94	98
DBO5							
Aix Zup	25	2.1	200	62	80	88	91
	75			61	80	87	91
Aix Nord	25	2.2	360	51	65	76	83
	75			53	67	78	84
Maurepas	25	1.7	190	56	80	91	94
	75			56	80	91	94
Ulis Nord	25	3.5	72	62	86	96	98
	75			63	86	96	98

Tableau 6.7: Efficacités d'interception de la masse produite à long terme pour des débits de 4,10,20 et30 l/s/ha act pour les MES, la DCO et la DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Débit (l/s/ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
			50%	80%	100%
MES					
Aix Zup	25	18	2.8	11.7	200
	75		2.9	11.9	
Aix Nord	25	32	9.9	58.3	360
	75		9.7	58.0	
Maurepas	25	23	4.0	16.0	190
	75		4.2	16.3	
Ulis Nord	25	38	3.8	11.1	72
	75		3.8	11.1	
DCO					
Aix Zup	25	12	2.2	7.7	200
	75		2.4	8.1	
Aix Nord	25	16	6.1	47.4	360
	75		5.6	46.0	
Maurepas	25	12	3.6	11.3	190
	75		3.6	11.4	
Ulis Nord	25	18	3.1	8.9	160
	75		3.0	8.5	
DBO5					
Aix Zup	25	2.1	2.7	10.2	200
	75		2.8	10.4	
Aix Nord	25	2.2	3.8	25.2	360
	75		3.6	23.2	
Maurepas	25	1.7	3.4	10.2	190
	75		3.4	10.1	
Ulis Nord	25	3.5	2.9	7.8	160
	75		2.8	7.6	

Tableau 6.8: Débits pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES, DCO et DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord

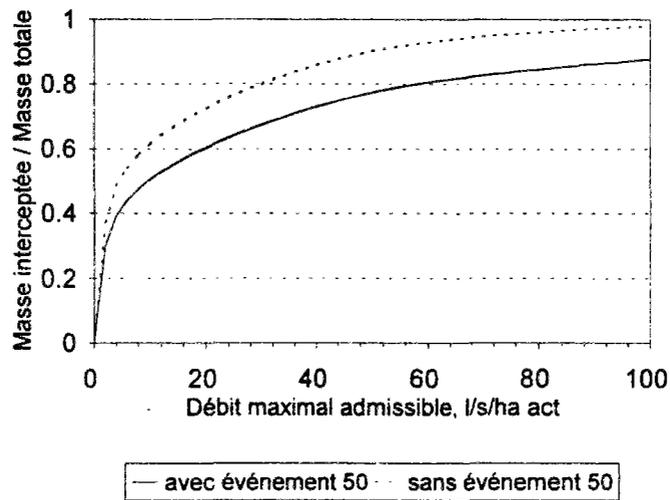


Figure 6.41 Masse de MES interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit

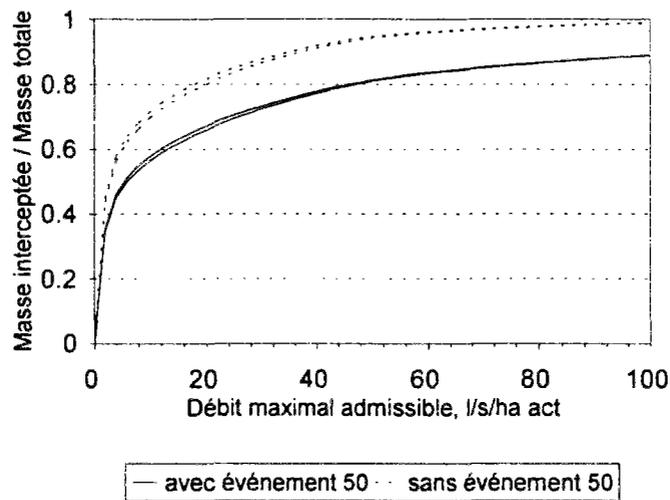


Figure 6.42 Masse de DCO interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit

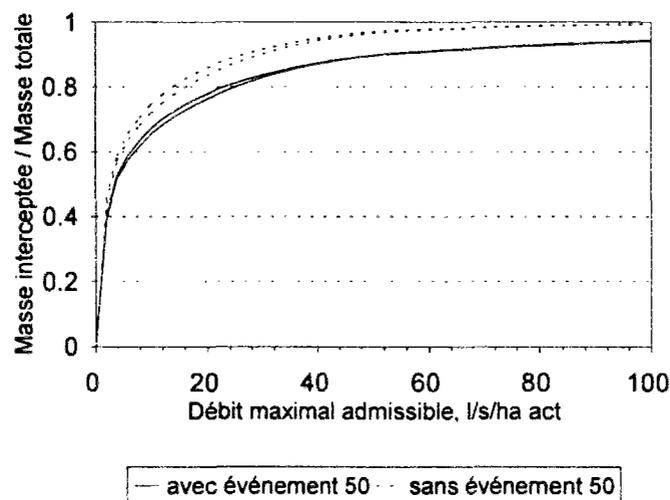


Figure 6.43 Masse de DBO5 interceptée à long terme sur Aix Nord en fonction du débit d'interception, avec et sans l'événement au plus fort débit

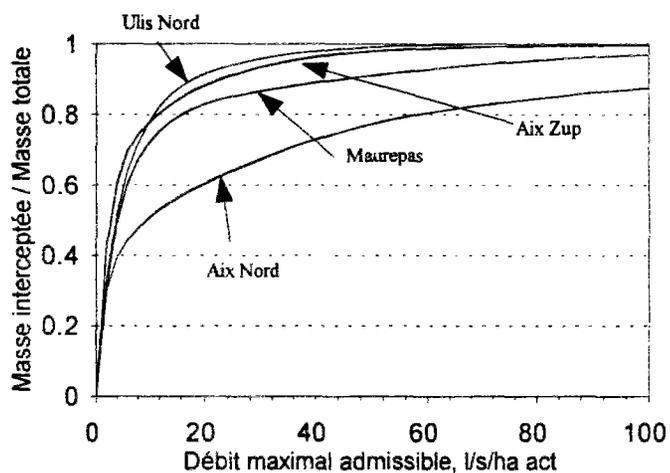


Figure 6.44 Masse de MES interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

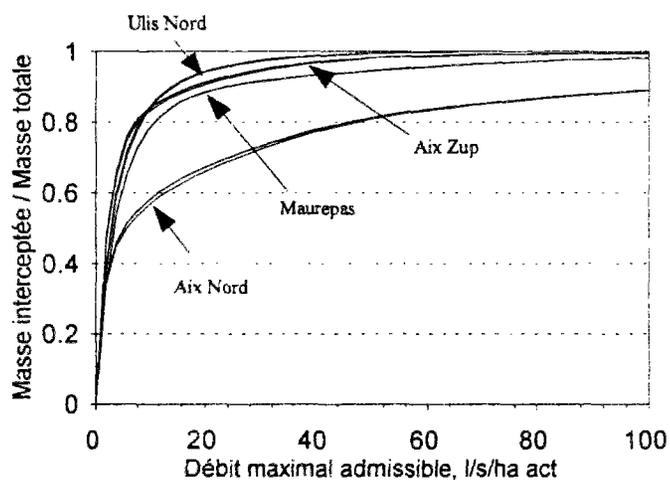


Figure 6.45 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

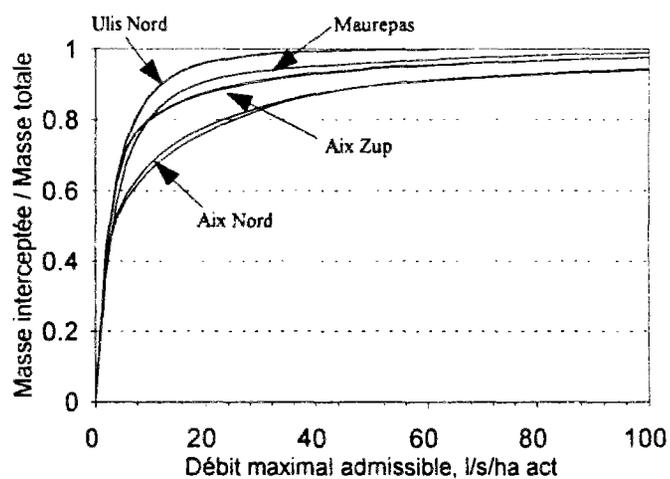


Figure 6.46 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

6.4.2. Efficacité à court terme

6.4.2.1. Efficacité d'interception sur les masses produites les plus grandes

Les efficacités d'interception des masses produites les plus fortes sont très variables (figures 6.47 à 6.49):

- * pour Aix Nord et Aix Zup, pour les MES et la DCO, les efficacités dépassent 78% dès 4 l/s/ha act;
- * pour Maurepas et les Ulis, même avec 30 l/s/ha act, on n'intercepte pas plus de 50% de la masse la plus forte avec des débits qui valent jusqu'à 30 l/s/ha act;
- * pour la DBO5:

Aix Zup et Ulis Nord présentent des efficacités très faibles de moins de 50%;
sur Maurepas, 4 l/s/ha act permet d'intercepter plus de 90% de la masse la plus forte.

Ces efficacités comparées à celles obtenues sur le long terme pour des débits similaires montrent que si on veut simultanément limiter l'accumulation et protéger des effets de choc, il faut dimensionner pour limiter les effets de choc. En effet, les dimensions des ouvrages sont alors telles que les masses rejetées annuellement sont très faibles.

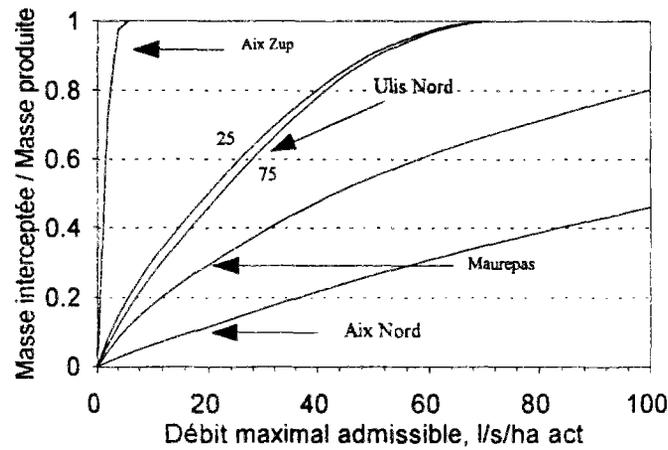


Figure 6.47 Masse de MES interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

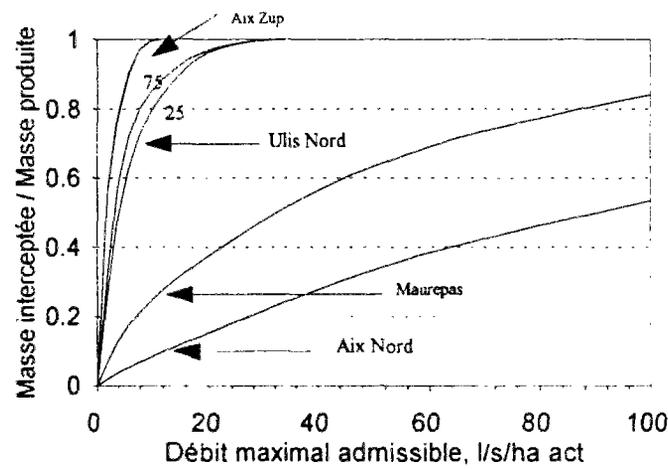


Figure 6.48 Masse de DCO interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

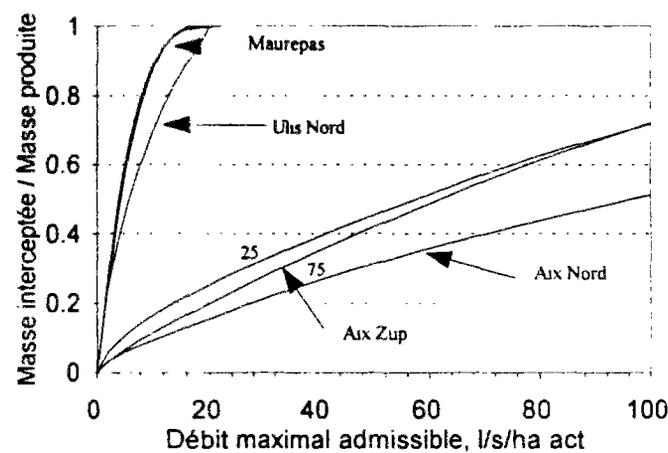


Figure 6.49 Masse de DBO5 interceptée pour l'événement dont la masse produite est la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

6.4.2.2. Les événements pour lesquels les masses non interceptées sont les plus importantes

Lorsqu'on base l'interception sur le volume, les deux caractéristiques qui déterminent pour un événement si le rejet résiduel (ce qui n'est pas intercepté) est important, sont la masse produite et le volume écoulé. Pour les débits à traiter, ce sont logiquement la masse produite et le débit de pointe. En effet, sur les quatre sites:

- * lorsque la masse produite la plus forte correspond au débit de pointe le plus grand, l'événement correspondant rejette la masse la plus importante pour tous les débits d'interception envisagés. (Ulis Nord pour MES, DCO et DBO5, Maurepas pour MES et DCO, Aix Zup pour MES);
- * lorsque les deux maximaux ne sont pas observés en même temps, c'est l'événement pour lequel le débit de pointe est maximum avec une masse produite importante (la deuxième sur Aix Nord pour MES, DCO et DBO5) qui rejette le plus.

6.4.2.3. Ordre de grandeur des masses non interceptées

Pour les faibles débits de 4 l/s/ha act, la masse rejetée la plus forte représente plus de 80% de la masse produite la plus forte sauf dans deux cas (figures 6.50 à 6.52). Sur Aix Zup pour la DCO, et sur Maurepas pour la DBO5, les débits les plus importants correspondent à des masses faibles, et les masses produites les plus fortes à des débits de pointe faibles, par conséquent des débits d'interception limités suffisent à intercepter une fraction importante de la masse produite.

Pour des débits importants de 20 ou 30 l/s/ha act, il reste des cas où la masse rejetée représente plus de 70% de la masse produite la plus grande. Dans ce cas, on ne peut pas dire que l'ouvrage est efficace pour ces événements exceptionnels.

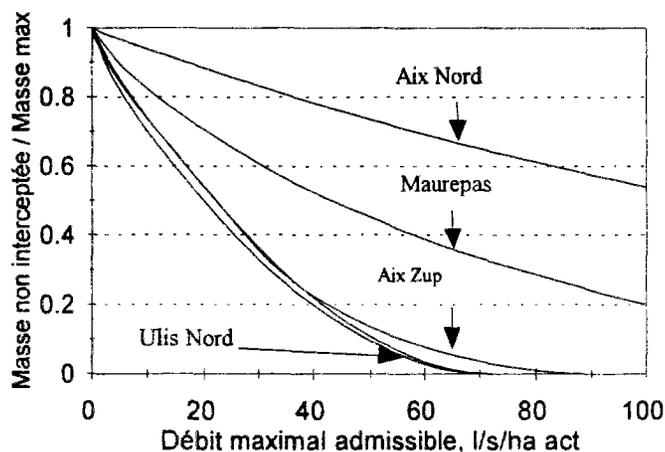


Figure 6.50 Masse de MES non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

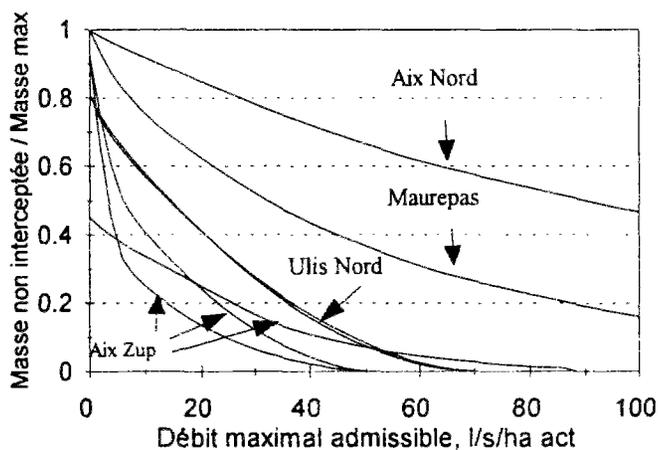


Figure 6.51 Masse de DCO non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

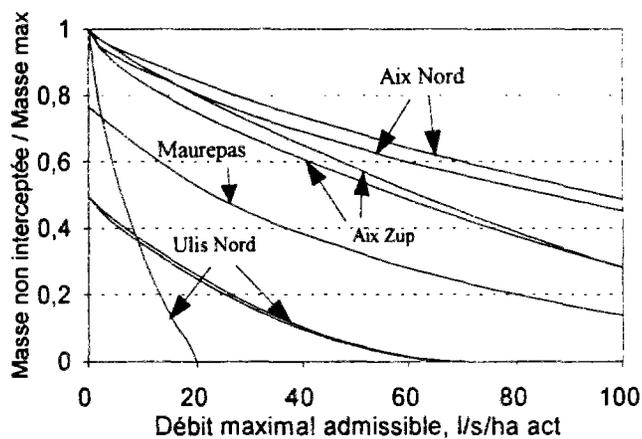


Figure 6.52 Masse de DBO5 non interceptée la plus grande en fonction du débit d'interception, courbes 25 et 75

6.5. Conclusion

Sur les données dont nous disposons, nous avons calculé l'efficacité d'interception d'ouvrages qui auraient pu se trouver à l'exutoire des bassins versants. L'objectif est de donner des ordres de grandeur des dimensions requises pour les ouvrages de traitement pour qu'ils interceptent une fraction prépondérante de la pollution rejetée. Les dimensions auxquelles nous nous intéressons sont:

- * les volumes pour des ouvrages de stockage et décantation;
- * les débits pour les ouvrages de traitement au fil de l'eau.

Nous avons rencontré quelques difficultés:

- * faute de données adéquates, nous n'avons pas pu affectuer les calculs pour les débits sur l'ensemble des sites, seuls quatre bassins séparatifs ont été utilisés;
- * les volumes mesurés pendant les campagnes ne sont pas du même ordre de grandeur; en particulier les volumes les plus grands pour un événement varient entre 90 et 1130 m³/ha act. Les disparités que nous obtenons sur les dimensions proviennent probablement moins des différences sur les sites que des différences sur les volumes écoulés mesurés.

Néanmoins, nous indiquons les dimensions que nous obtenons pour donner des premiers ordres de grandeur. Les résultats sont exprimés par hectare actif. La surface active telle que nous l'avons définie représente le site au moment de la campagne. Il s'agit du rapport entre les volumes écoulés et les hauteurs précipitées pendant toute la campagne. Il nous manque des données pour juger de sa stabilité. Les dimensions que nous obtenons sont résumés dans les tableaux suivants 6.9 et 6.10. Ils indiquent les dimensions requises pour intercepter la masse à deux échelles de temps différentes. Dans certains cas, les dimensions sont du même ordre de grandeur, alors que dans d'autres les dimensions pour intercepter la masse la plus grande sont largement supérieures à celles nécessaires pour intercepter la masse sur la campagne. Cela montre que diminuer l'accumulation à long terme dans les milieux récepteurs ne garantit pas de protéger contre les effets de choc provoqués par des événements exceptionnels.

Pour intercepter 80% de la masse produite pendant les campagnes			
Polluant	Type de site	Volume, m³/ha act	Débit, l/s/ha act
MES	Séparatif	60 - 150	11 - 60
	Séparatif pollué et mixte	70 - 150	
	Unitaire	30 - 70	
DCO	Séparatif	50 - 140	8 - 47
	Séparatif pollué et mixte	85 - 150	
	Unitaire	30 - 65	
DBO5	Séparatif	45 - 180	8 - 25
	Séparatif pollué et mixte	80 - 135	
	Unitaire	30 - 70	

Tableau 6.9: Volumes et débits pour intercepter 80% de la masse produite pendant les campagnes

Pour intercepter 80% de la masse produite la plus grande			
Polluant	Type de site	Volume, m³/ha act	Débit, l/s/ha act
MES	Séparatif	20 - 500	3 - 200
	Séparatif pollué et mixte	150 - 800	
	Unitaire	60 - 130	
DCO	Séparatif	20 - 480	4 - 180
	Séparatif pollué et mixte	240 - 760	
	Unitaire	60 - 150	
DBO5	Séparatif	20 - 420	8 - 200
	Séparatif pollué et mixte	50 - 740	
	Unitaire	30 - 160	

Tableau 6.10: Volumes et débits pour intercepter 80% de la masse produite la plus grande

L'étude des rejets résiduels les plus importants montre qu'ils ne correspondent pas toujours à la masse produite la plus grande. Pour les ouvrages de stockage et pour les ouvrages de traitement au fil de l'eau, cela dépend de la valeur respectivement du volume écoulé ou du débit de pointe. Si la masse la plus forte correspond à un volume ou à un débit faible, le rejet résiduel est peu important, et les masses non interceptées les plus importantes correspondent au volume ou au débit le plus grand. Les rejets résiduels les plus importants sont:

* pour un faible volume, 20 m³/ha act, et un faible débit, 4l/s/ha act, respectivement jusqu'à 65 et 80%

de la masse la plus grande;

- * pour un volume important, 100 m³/ha act, et un débit important, 20 l/s/ha act, respectivement jusqu'à 90 et 70% de la masse la plus grande.

Les volumes et les débits qu'on indique ici sont très importants. Dans des agglomérations il paraît difficile que des ouvrages de cette ampleur puissent être construits. Ces chiffres doivent être confirmés sur d'autres sites pour lesquels des données plus nombreuses seraient disponibles. Il faut aussi envisager de combiner les deux types d'ouvrages afin de réduire au maximum la dimension totale. On peut envisager d'installer un traitement au fil de l'eau avec un débit maximal donné, et de stocker la fraction excédentaire.

Il existe des méthodes pour dimensionner les ouvrages de stockage, mais beaucoup d'entre elles sont basées sur des considérations hydrauliques. Leur application nécessite une connaissance statistique des pluies (durée, intensité, fréquence) En supposant un débit de fuite constant au bassin, il est possible de déterminer son volume en fonction des caractéristiques des pluies qu'on désire stocker. La méthode allemande, souvent citée dans la littérature, a pour objet de dimensionner des bassins de surverse sur des systèmes unitaires pour réduire les rejets aux déversoirs d'orage. Elle assure de plus que la pollution rejetée dans le milieu récepteur par le réseau unitaire (déversoir d'orage + rejet de la station d'épuration) ne dépasse pas la pollution rejetée si le réseau était séparatif. Geiger (1986) a utilisé les données recueillies à Munich-Harlaching (site unitaire de 540 hectares) pour vérifier si les hypothèses de cette réglementation était vérifiée. Les calculs donnent un volume de 15 m³/ha imp. Il montre en utilisant différentes hypothèses de décantation que pour intercepter 80% de la pollution annuelle aux déversoirs d'orage il faut entre 10 et 30 m³/ha imp, ce qui correspond sur nos données à des volumes entre 30 et 100 m³/ha act. Les ordres de grandeur sont donc équivalents aux nôtres.

Chapitre 7

Conclusion

Les rejets urbains par temps de pluie engendrent des impacts sur les milieux récepteurs dont les conséquences sont dévastatrices. Actuellement une forte volonté existe pour protéger les milieux récepteurs. Mais les rejets restent mal connus: les sources et les taux de production ne sont pas toujours bien identifiés, les relations entre les pluies, les sites et les quantités rejetées ne sont pas exprimées clairement.

En France, de nombreuses campagnes de mesure existent. Afin de faire le point des connaissances et de tirer le maximum d'information des données existantes, elles ont été rassemblées dans une base de données. Les 17 campagnes sélectionnées pour y figurer répondent aux critères suivants:

- * mesures simultanées des pluies, des écoulements dans le réseau et de la qualité des écoulements;
- * mesures de préférence à l'exutoire d'un bassin versant;
- * au minimum 6 mois de mesures en continu, ou 10 événements échantillonnés complètement.

Les difficultés rencontrées lors de l'élaboration, puis de la constitution de la base de données montrent que la tâche n'était pas aussi simple qu'il paraissait tout d'abord: les données récupérées étaient souvent incomplètes et sur des supports très variés.

La base de données constituée a ensuite été critiquée et complétée. Les moyens pour compléter sont:

- * pour les volumes écoulés, une équation de régression sur la hauteur de pluie comprenant les pertes initiales et un coefficient de ruissellement volumétrique moyen;
- * pour les concentrations moyennes par événement, la concentration moyenne de la campagne ou une équation de régression faisant intervenir la hauteur de pluie, la durée de précipitation, l'intensité moyenne maximale sur 5 mn et sur le temps de concentration, le volume écoulé, la durée de l'écoulement, le débit de pointe, la durée de temps sec antécédent, les hauteurs précipitées 7, 14 et 28 jours avant l'événement;
- * pour les masses produites par événement, calcul avec la concentration et le volume calculés, ou directement avec une équation de régression établie à partir des mêmes variables que celles utilisées pour les concentrations.

7.1. Bilan sur les exploitations entreprises

Les masses annuelles: L'objectif des compléments était principalement de permettre le calcul des masses annuelles. Finalement, malgré l'effort apporté à l'étape de complément, les valeurs des masses annuelles montrent que les équations ne permettent pas une reconstitution fiable. Nous avons utilisé au mieux les données disponibles, mais la qualité des résultats ne peut pas dépasser la qualité des données. Nos essais pour expliquer la variabilité des masses annuelles n'a pas abouti à des lois précises. Les tendances relevées sont les suivantes:

- * les masses annuelles varient dans des proportions plus grandes pour les sites unitaires que pour les sites séparatifs;
- * pour la DBO₅:
 - pour les sites unitaires la production dépasse 800 kg/ha act;
 - pour les sites séparatifs la production est comprise entre 100 et 400 kg/ha act;
- * pour les MES et la DCO, la production des grands sites unitaires (plus de 500 hectares de surface active) se ramène à celles des sites séparatifs:
 - entre 1000 et 2000 kg/ha act pour les MES;
 - entre 500 et 2000 kg/ha act pour la DCO.

Les relations entre les caractéristiques des événements pluvieux et les concentrations ou les masses:

A une échelle de temps plus fine que celle de l'année, nous avons cherché à expliquer les variations des concentrations et des masses. Les coefficients de corrélation linéaire simple amènent aux conclusions suivantes:

- * il y a peu d'échantillons sur lesquels une caractéristique présente un coefficient significatif de plus de 0.7;
- * les coefficients sont en général plus élevés pour les masses que pour les concentrations;
- * le classement par type de réseau montre que pour les sites séparatifs les masses semblent liées au débit de pointe, pour les autres sites aucune variable ne ressort;
- * le regroupement des variables en 3 catégories montre que les concentrations présentent des relations avec l'antécédent pluviométrique (QTS, DTS, H7, H14 ou H28), et les masses avec l'intensité des événements (IMTC, IMAX5 ou QMAX), toutefois ces relations ne sont pas observées sur les sites unitaires.

Les événements les plus pollués: les événements les plus pollués permettent de caractériser les impacts qu'un milieu subit sur quelques heures. Les valeurs que les concentrations moyennes par événement peuvent atteindre varient sur nos données entre:

650 et 3800 mg/l de MES;

500 et 2700 mg/l de DCO;

50 et 820 mg/l de DBO5;
5 et 320 mg/l d'hydrocarbure;
420 et 1300 µg/l de plomb;
20 et 6300 µg/l de zinc.

Les domaines de variation sont énormes, mais comme nous le remarquons, il nous manque la période de retour des événements correspondants pour savoir si on compare le même type d'événements. Les variations sont également importantes lorsqu'on compare les masses les plus fortes aux masses annuelles, elles représentent:

entre 1 et 27% de la masse annuelle de MES;
entre 1 et 28% de la masse annuelle de DCO;
entre 1 et 17% de la masse annuelle de DBO5.

L'examen des caractéristiques des événements correspondant montrent que:

- * il n'y a pas une variable qui est systématiquement parmi les plus fortes lorsque la masse ou la concentration fait partie des valeurs les plus grandes;
- * l'association des caractéristiques en catégorie fait ressortir que les masses les plus fortes correspondent à des événements pluvieux intenses (c'est-à-dire forte intensité précipitée sur le temps de concentration ou sur 5 mn, ou débit de pointe important), mais pour les concentrations rien ne ressort;
- * avec 2 catégories, il ressort que 75% des concentrations et 80% des masses les plus grandes correspondent à des durées de temps sec antécédent importantes ou à des pluies intenses.

Les répartitions en cours d'événement: A une échelle de temps encore plus fine, nous regardons comment évolue la concentration à l'intérieur d'un événement. Sur l'ensemble des pollutogrammes disponibles:

- * les pointes des pollutogrammes sont majoritairement en avance sur celle des hydrogrammes correspondants;
- * il existe néanmoins un nombre non négligeable d'événements (jusqu'à 30% des pollutogrammes sur un site) pour lesquels la pointe de concentration intervient après celle du débit;
- * nous n'avons pas vu d'influence des caractéristiques des sites sur la position de la pointe de concentration, en particulier le temps de concentration ne semble pas influencer l'apparition de la concentration maximale.

Pour identifier les volumes les plus pollués, il est courant d'utiliser comme représentation, la variation de la masse avec le volume. Pour ces courbes, on observe que:

- * les fuseaux obtenus en représentant pour chaque site tous les pollutogrammes disponibles sont très larges;
- * les courbes enveloppes de chaque site sont également très différentes, pour l'illustrer:
sur les courbes inférieures, à 20% du volume écoulé correspond entre 4 et 20% de la masse

produite de MES;

sur les courbes supérieures, à 20% du volume écoulé correspond entre 30 et 80% de la masse produite de MES;

- * la masse de DBO5 rejetée dans les premiers volumes (jusqu'à 20%) est supérieure d'en moyenne 10% à celle des MES;
- * il n'y a pas de distinction notable sur la forme des courbes entre les sites séparatifs et unitaires;
- * pour une fraction donnée du volume (20 ou 50%), les fractions des masses les plus grandes ont tendance à diminuer avec la surface active moyenne, alors que les valeurs les plus faibles ont tendance à augmenter.

Les dimensions des ouvrages d'interception: Nous avons calculé les dimensions que des ouvrages de traitement doivent avoir pour intercepter une fraction importante de la pollution produite. Ces dimensions sont le volume pour des ouvrages de stockage et le débit pour des ouvrages de traitement au fil de l'eau. Les ordres de grandeur des volumes que nous obtenons sur nos données sont les suivants:

- * pour intercepter 80% de la masse produite pendant les campagnes les volumes varient:
 - pour les sites séparatifs, entre 45 à 180 m³/ha act;
 - pour les sites séparatifs pollués et mixtes, entre 70 à 150 m³/ha act;
 - pour les sites unitaires, entre 30 à 70 m³/ha act;
- * pour intercepter 80% de la masse produite la plus grande les volumes varient:
 - pour les sites séparatifs, entre 20 à 500 m³/ha act;
 - pour les sites séparatifs pollués et mixtes, entre 50 à 800 m³/ha act;
 - pour les sites unitaires, entre 30 à 160 m³/ha act;

Pour les débits, seuls quatre sites ont été utilisés, et donnent les ordres de grandeur suivants:

- * pour intercepter 80% de la masse produite pendant les campagnes les débits varient:
 - entre 8 à 60 l/s/ha act,
- * pour intercepter 80% de la masse produite la plus grande les débits varient:
 - entre 3 à 200 l/s/ha act.

7.2.Perspectives

L'une des caractéristiques des données qui nous a gêné pour mener certaines comparaisons est l'absence de critères de comparaison des événements, tels que des périodes de retour. Il serait bon pour certaines exploitations de disposer de séries de pluie très longues (plusieurs années) afin de vérifier l'influence des périodes de retour sur nos résultats.

Dans le cadre des dimensions des ouvrages de traitement, les valeurs obtenues sont particulièrement élevées pour les volumes. De nombreuses méthodes existent pour dimensionner les ouvrages de stockage. Dans le

paragraphe 6.5 on a commencé à comparer ces résultats à d'autres méthodes. Continuer cette comparaison permettrait de confirmer ces résultats ou de les infirmer. D'autre part, il paraît peu probable qu'en milieu très urbanisé des ouvrages de ces dimensions puissent être installés. Il faut compléter les études par l'estimation des dimensions lorsqu'on combine le deux types d'ouvrage. On peut imaginer de traiter au fil de l'eau un débit donné, et de stocker la fraction supplémentaire. Le coût des ouvrages interviendrait comme un critère d'optimisation des combinaisons.

Pour les ouvrages au fil de l'eau, le manque de données (les hydrogrammes) a considérablement limité les conclusions qu'on peut apporter. Afin d'aller plus loin, et puisqu'il est peu probable de disposer d'ici peu de temps de données nombreuses, on peut envisager d'effectuer les dimensionnements sur des données reconstituées par des modèles.

Alors que les objectifs fixés au début de ce travail étaient axés principalement sur l'explication des variabilités (des masses produites, des répartitions en fonction du temps, des dimensions des ouvrages) il s'avère que les facteurs explicatifs que nous avons pu mettre en évidence ne sont pas très nombreux. Cela peut s'expliquer de deux manières: nous ne les avons pas recherché parmi les bonnes variables, ou les données disponibles pour ce travail ne conviennent pas. Dans le premier cas, cela constitue un résultat, on sait maintenant que les explications ne doivent pas être recherchées parmi celles que nous avons explorées. Dans le second cas, cela est un appel à des données plus nombreuses, en particulier des pollutogrammes, et avec des techniques de mesure plus fiables.

Bibliographie

- Aalderink R.H., Van Duin E.H.S., Peels C.E. and Scholten M.J.M. (1990) : Some Characteristics of Run-Off Quality from a Separated Sewer System in Lelystad, the Netherlands. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 427-432
- Ariav G. and Clifford J. (1986) New Directions for Database Systems ed. Ariav et Clifford, Norwood, Ablex Publishing Corporation
- AVCO (American Economic Systems Corporation) (1970) : Storm Water Pollution from Urban Land Activity. FWQA Water Pollution Control Series. PB 145281. Washington D.C.
- Bachoc A., Saget A., Chebbo G. et Hababou C. (1991) : Rejets pluviaux urbains: distribution de leur pollution et efficacité de bassins stockage-décantation. Rapport CERGREN-Plan Urbain - AGHTM 112p + annexe
- Bachoc A. (1992) : Le Transfert des Solides dans les Réseaux d'Assainissement Unitaires. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Spécialité : Physique et Chimie de l'Environnement 281p+annexes.
- Bachoc A., Tabuchi J.P., Chebbo G., Philippe J.P. (1994) : Exposé introductif, thème 1: La pollution des rejets urbains par temps de pluie: Quantité, Origine et Nature. In: La Houille Blanche, n° 1/2 1994 p 21-33
- Balades J.D., Bourgogne P., Madiec H., Tenière C. (1993) : Assessment of reduction in pollution flow using various compensating techniques In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol2 pp 1163-1168
- Banos D., Malbose M. (1988) Merise Pratique I. Les Points Clés de la Méthode Ed Eyrolles Paris
- Bartoli, Leroy, Clerc, Mercier (1987) : Etude de la pollution des effluents d'un réseau unitaire par temps de pluie. Ville de Rambouillet Direction Départementale de l'Équipement des Yvelines.
- Bastian R.K. (1986) : Potential Impacts on Receiving Waters. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 157-169
- Bedient P.B. et al (1980) : Stormwater Pollutant Load-Runoff Relationships. In: Journal WPCF vol 52, No 9, pp 2396-2404
- Berlamont J., Ratinckx P. and Glas D. (1987) : Determination of the Impact of Combined Sewer Overflows on Receiving Waters. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 161-164
- Bertrand-Krajewski J-L., Briat P., Bellefleur D., Scrivener O. (1993) : HYPOCRAS : a Conceptual Model for Solid Production and Transfer in Small Urban Catchments. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 778-783
- Bertrand-Krajewski J-L., Breuil B., Herremans L., Renard D. (1994) : Exposé introductif, thème 3: Le moyens de réduire les rejets ou les impacts. In: La Houille Blanche, n° 1/2 1994 p 155-169

- Bras R.L. (1990): Hydrology. An introduction to hydrologic science. Addison-Wesley Publishing Company 643p
- Brown R.G. (1984) : Relationship between Quantity and Quality of Storm Runoff and Various Watershed Characteristics in Minnesota , USA. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 791-799
- Brunner P. (1975) : Die Verschmutzung des Regenwasserabflusses in Trennverfahren. Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung des Niederschlagverhältnisse im voralpinen Raum Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen. In : Technische Universität, München, n°9
- Bryan E.H. (1971) : Quality of stormwater drainage from urban land. In : 7th American Water Resources Association Meeting, Washington D.C.
- Burm R.J., Krawczyk D.F., Harlow G.L. (1968) : Chemical and physical comparison of combined and separate sewer discharges. In : Journal WPCF, 40, n°1, pp 112-126
- Butler D., Clark P. et Payne J. (1993) : Management of sediment in drainage catchments. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 736-741
- Carleton M.G. (1990) : The Relative Contribution of Separate Sewer Overflows and Storm Water Runoff to Pollution of Receiving Waters. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 523-528
- Chebbo G. (1992) : Solides des rejets pluviaux urbains- Caractérisation et traitabilité. Thèse de doctorat de l'ENPC-Spécialité: Sciences de l'Environnement 410 p+annexe
- Chebbo G., Musquere P. and Bachoc A. (1990) : Solids Transferred into Sewers: Hydrodynamic Characteristics and Pollutant Loading. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol2 885-890
- Chocat B. (1992) : La pollution due aux rejets urbains de temps de pluie. 37 pages, 6 figures et 17 tableaux pour commencer à expliquer. Sept 92. Document provisoire. INSA de Lyon.
- Chocat B., Cathelain M., Mares A., Mouchel J-M. (1993) : La pollution due aux rejets urbains par temps de pluie. Impact sur les milieux récepteurs. Exposé introductif thème 2, 146ième session du Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France
- Chocat B., Seguin D., Thibault S. (1982) : Sciences et techniques de l'assainissement. INSA de Lyon 4 tomes
- Coleman T.J. (1993) : A Comparaison of the Modelling of Suspended Solids using SWMM3 Quality Prediction Algorithms with a Model based on Sediment Transport Theory. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 784-795
- Cottet J. (1980) : La pollution des eaux pluviales en zone urbaine. Travail de fin d'étude ENPC effectué à l'agence de bassin Seine-Normandie 135p
- Das K.C. (1987) : Combined Sewer Overflow Quality and its Impact. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality. Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 171-172
- Dastugne S., Vignoles M., Herremans L., Zobrist C., Bernard C. (1993) : Treatment of stormwater -Use of lamellar decantation. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol2 pp 1139-1144

- Davies J.W. (1987) : Laboratory Study Related to the First Foul Flush in Combined Sewers. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 47-48
- DeFilippi J.A., Shih C.S. (1971) : Characteristics of separated storm and combined sewer flows. In : Journal WPCF, 43, No 10, pp 2033-2058
- Desbordes M. (1984) : Modélisation en hydrologie urbaine. Recherches et applications. LHM 183p
- Desbordes M. (1985a) : Bilan des Etudes et Recherches sur la Pollution du Ruissellement Pluvial Urbain dans les Pays de l'Europe de l'Ouest et de l'Amérique du Nord. Rapport LHM 18/85, 89p.
- Desbordes M. (1985b) : Les incertitudes liées à la météorologie en Hydrologie Urbaine; leurs incidences sur l'estimation des coefficients de ruissellement. Rapport LHM 17/85 de Déc 1985, 123p.
- Desbordes M. (1987) : Contribution à l'Analyse et à la Modélisation des Mécanismes Hydrologiques en Milieu Urbain. Rapport de thèse. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- Desbordes M. (1991) : Les acquis de la recherche. In: L'Eau dans la Ville. Acte du colloque de Nancy (nov 90) Plan Urbain, 1991
- Desbordes M. et Hémain J.C. (1982) : Problèmes posés par la Modélisation de la Qualité des Eaux Pluviales Urbaines. In: L'Assainissement de Demain. Hydraulique des Eaux Pluviales et Usées. Question II Evolution des rejets. SHF 17ième journées de l'hydraulique. Nantes 3.1-3.7
- Desbordes M., Hémain J-C. (1990) : Further research needs for impact estimates of urban storm water pollution. In: Water Science and Technology vol 22 n°10/11 pp 9-14
- Desbordes M. et Servat E. (1983) : Exploitation Statistique des données de MES enregistrées sur les bassins versants expérimentaux et en Seine-Saint-Denis. CETE Alpes-Méditerranée-Corse, Rapport LHM 39/1983 de Déc 1983, 94p+annexes.
- Desbordes M. and Servat E. (1984) : Solids in Urban Runoff. Statistical Analysis of French Experimental Data. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 947-956
- Desbordes M. and Servat E. (1987) : Transport Model over Urban Catchment Surfaces regarding TSS, BOD5 and COD. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 75-76
- Driscoll E.D. (1986) : Detention and Retention Controls for Urban Runoff. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 381-393
- Driscoll E.D., Strecker E.W. (1993) : Assessment of BMP's being used in the US and Canada. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 945-950
- Driver N.E. (1990) : Summary of Nationwide Analyses of Storm-Runoff Quality and Quantity in Urban Watersheds. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 333-344
- Driver N.E. and Lystrom D.J. (1986) : Estimation of Urban Storm-Runoff Loads. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 122-132

- Driver N.E. and Lystrom D.J. (1987) : Estimation of Urban Storm-Runoff Loads and Volumes in the United States. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality. Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 214-219
- Ellis J.B. (1977) : The Characterization of particulate solids and quality of water discharge from an urban catchment. In : IAHS-AISH Publication No 123, London.
- Ellis J.B. (1985) : Pollutional Aspects of Urban Runoff. In: Urban Runoff Pollution, H.C.Torno, J. Marsalek and M.Desbordes (Eds), NATO ASI Series G: Vol 10 Springer-Verlag 1-38
- Ellis J.B. (1986) : Physical and Chemical Data Needs for Design. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 49-59
- Ellis J.B. (1993) : Wetland BMP design for urban runoff pollution control in Europe and Australia. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 957-962
- Fiel ., Pitt R.E. (1989) : Urban storm induced discharge impacts: US Environmental Protection gency Research Program Review In: Second Wageningen Conference On Urban storm water quality and ecological effects upon receiving waters CHO-IAC
- Fisher G.T. and Katz B.G. (1989) : Urban Stormwater Runoff - Selected Background Information and Techniques for Problem Assessment, with a Baltimore, Maryland, Case Study. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2347
- Freund A.P., Johnson C.D. (1980) : Comparison and Relationships of Stormwater Quality and Basin Characteristics. In : International Symposium of Urban Storm Runoff. University of Kentucky, Lexington, USA
- Gardarin G. et Valduriez P. (1986) : Bases de Données Relationnelles. Analyse et Comparaison des Systèmes Ed Eyrolles
- Geiger W.F. (1984) : Characteristics of Combined Sewer Runoff. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 851-860
- Geiger W.F. (1986) : Variation of combined runoff quality and resulting pollutant retention strategies. In: Proceedings of the international conference in Urban Storm Water Quality and Effects upon Receiving Waters, Wageningen, the Netherlands. F.H.M. van de Ven, J.C. Hooghart (Eds), The Hague, the Netherlands p 71-91
- Geiger W.F. (1987) : Flushing Effects in Combined Sewer Systems. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality. Planning and Management. W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 40-48
- Geiger W.F. (1990) : New Drain-New Dimensions in Urban Drainage. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 33-48
- Gibert A. et al (1981) Les Nouvelles Bases de Données. Concept, Schemas, Techniques de Mise en Oeuvre, Base de Données Relationnelles, Bases de Données Réparties, Exemple de SGBD, Paris, ed CENTI
- Göttle A. (1978) : Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung-Ein Beitrag zur Modellierung der Abflussbeschaffenheit in Städtischen Gebieten. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen. Technische Universität, München No 23.

- Grizzard T.J., Randall C.W., Weand B.L. and Ellis K.L. (1986) : Effectiveness of Extended Detention Ponds. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 323-337
- Hall M.J., Ellis J.B and Brizio M.G. (1990) : On th Statistical Distribution of Event Mean Concentrations of Pollutants in Stormwater Runoff. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol 1 317-324
- Halverson H.G., DeWalle D.R. and Sharpe W.E. (1984) : Contribution of Precipitation to Quality of Urban Storm Runoff. In: Water Ressources Bulletin, vol 20, no 6 Dec 1984 859-864
- Harremoës P. (1989) : Overflow Quantity, Quality and Receiving Water Impact. In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts, J.B. Ellis (Ed) Pergamon Press , 9-16
- Harrop D.O., WARREN R.S. and Beckwith P.R. (1987) : Urban Stormwater Impact on Receiving Stream Water Quality. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality. Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 179-180
- Hémain J.C. (1983a) : Mesure de la Pollution du Ruissellement Pluvial Urbain. Rapport No1 Suivi et Bilan de la Campagne expérimentale. Note LHM 21/83 de Jul 1983, 54p
- Hémain J.C. (1983b) : Mesure de la Pollution du Ruissellement Pluvial Urbain. Rapport No2 Exploitation des données. Note LHM 25/83 de Août 1983, 37p+annexes
- Hémain J.C. (1983c) : Mesure de la Pollution du Ruissellement Pluvial Urbain. Rapport No3 Interprétation des résultats. Note LHM 38/83 de Nov 1983, 72p
- Hémain J.C. (1985) : Statistically Based Modelling of Urban Runoff Quality : State of the Art. In: Urban Runoff Pollution. H.C.Tomo. J. Marsalek and M.Desbordes (Eds), NATO ASI Series G: Vol 10 Springer-Verlag 277-303
- Hémain J.C. (1987) : Reliability of Regression Equations in Predicting Pollutants Annual Loads. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality. Planning and Management. W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 220-221
- Hémain J.C. and Deutsch J.C. (1984) : Main Results of the French National Programme of Urban Runoff Quality Measurement. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 939-946
- Hémain J.C., Bachoc A., Kovacs Y. and Breuil B. (1990) : The Current Position in France as Regards Urban Stormwater Quality Data : the Need for a Data Base. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage. Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 351-356
- Hermann R., Kari F.G. (1990) : Grain size dependant transport of non polar organic trace pollutants (PAH, PCB) by suspended sediments during urban storm runoff. In: Proceedings of the fifth international conference on urban storm drainage. July 23-27. Ed. Iwasa and Sueishi. Osaka, Japan p 499-503
- Hogland W., Berndtsson R., and Larson M.(1984) : Estimation of Quality and Pollution Load of Combined Sewer Overflow Discharge. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 841-850
- Huber W.C. (1985) : Deterministic Modeling of Urban Runoff Quality. In: Urban Runoff Pollution, H.C.Tomo. J. Marsalek and M.Desbordes (Eds), NATO ASI Series G: Vol 10 Springer-Verlag 167-242

- Huber W.C. (1986) : Modeling Urban Runoff Quality : State-of-the-Art. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 34-48
- Hvitved-Jacobsen T. (1985) : Conventiønnal Pollutant Impacts on Receiving Waters. In: Urban Runoff Pollution, H.C.Torno, J. Marsalek and M.Desbordes (Eds), NATO ASI Series G: Vol 10 Springer-Verlag 345-378
- Hvitved-Jacobsen T. and Schaarup-Jensen K. (1990) : Analysis of Combined Sewer Overflow Impact on the Dissolved Oxygen Concentration of Receiving Streams. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 517-522
- Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds.) (1990) : Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka, Japan, 2 vol
- Jacobi D; (1990) : Evaluation of Pollutant-Load-Calculation-Methods by Measurement-Comparaison and Evaluation of the Methods. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 371-376
- Jennings M.E. and Miller T.L. (1986) : Urban Stormwater-Quality Investigations by the USGS. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 29-33
- Jewell T.K.,Adrian D.D. (1981) : Development of Improved Stormwater Quality Models. In: Journal of the Environmental Engineering Division ASCE vol 107 No EE5 pp 957-974
- Jones J.E. (1986) : Urban Runoff Impacts on Receiving Waters. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 192-216
- Krejci V., Dauber L., Novak B. and Guger W. (1987) : Contribution of Different Sources to Pollutant Loads in Combined Sewers. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management. W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 34-39
- Krier J. (1994) : Des îlots de survie pour les poissons! La réoxygénation de la Seine dans les situations critiques. In: La Houille Blanche n° 1/2 1994 p169-174
- Laplace D., Sanchez Y., Dartus D and Bachoc A. (1990) : Trunk Sewers Clogging Development Observation and First Interpretations. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage. Iwasa Y and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol2 897-902
- Larson M., Berndtsson R., Hogland W., Spangberg A. and Bernnerstedt (1990) : Field Measurements and Mathematical Modeling of Pollution Build-up and Pipe-Deposit Wash-out in Combined Sewers. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol1 325-332
- Lavallé P., Lessard P. and Villeneuve J P (1984) : Water Quality Variations in Running Waters due to Combined Sewer Overflowing Evaluation of Negative Influence. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 761-770
- Laveuf L., Philippe J.P., Ranchet J (1979) : Bassin versant urbanisé de Mantes-la-Ville : Etude de la pollution véhiculée par les eaux de ruissellement en réseau unitaire. Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien. 46p+annexes
- Lawrence A.I., Phililips B.C. (1993) : A review of best management practices in Australia. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. J. Marsalek, C. Torno (Eds)

- Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 933-938
- Legret M., Demare D., Colandini V., Balades J.D., Madiec H. (1993) : Behaviour of metallic pollutants in pervious road construction. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol2 pp 1201-1206
- Le Nouvel Ordre Relationnel, Le Monde Informatique juillet 1991, p21-38
- Les Bases de Données pour Compatibles PC, L'Ordinateur Individuel n°11 octobre 1990, p114-122
- Lessard P. and Lavallée P. (1984) : Combined Sewer Overflows : the Québec City Experience. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P.-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 831-840
- Leviandier T. (1991) Un Système d'Information pour l'Hydrologie, document provisoire Cemagref
- Lijklema L., Roijackers and Cuppen J.G.M.(1989) : Biological Assessment of effects of combined Sewer Overflows and Storm Water Discharges. In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts, J.B. Ellis (Ed) Pergamon Press , 37-46
- Lin H. (1992) : Le transport solide en collecteurs unitaires d'assainissement et sa modélisation. Thèse de doctorat de l'ENPC-Spécialité: Sciences et Techniques de l'Environnement.
- Lindholm O. et al (1975) : Forurensning i overvann. NIVA 0-57/74. PRA 4.7. Oslo
- Lindholm O., Aaby L. (1989) : In-pipe Flushing and its Implication for Overflow Quality. In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts, J.B. Ellis (Ed) Pergamon Press , 17-25
- Lisper P. (1974) : On the composition of urban runoff and its variations (in Swedish). Ph D. Thesis at Chalmers University of Technology
- Malmqvist P.-A. (1982) : Urban Stormwater Pollutant Sources. An Analysis of Inflows and Outflows of Nitrogen, Phosphorus, Lead, Zinc and Copper in Urban Areas. Chalmers University of Technology. Göteborg.
- Malmqvist P.-A. (1985) : Fields studies of urban runoff quality. In: Urban Runoff Pollution, Ed. Torno. Marsalek et Desbordes. NATO ASI Serie G Vol 10 p89-102.
- Mancini J.L. (1989) : Urban Discharges and Water Quality Criteria : towards the Development of Wet Weather Criteria. In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts. J.B. Ellis (Ed) Pergamon Press , 65-73
- Mancini J.L. and Plummer A.H. (1986) : Urban Runoff and Water Quality Criteria. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 133-149
- Marsalek J. (1986) : Report on NATO Workshop on Urban Runoff Quality. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 15-28
- Marsalek J. (1990) : PAH transport by urban runoff from an industrial city. In: Proceedings of the fifth international conference on urban storm drainage. July 23-27. Ed. Iwasa and Sueishi. Osaka, Japan p481-486
- Marsalek J. (1991) : Pollutant Loads in Urban Stormwater : Review of Methods for Planning-Level Estimates. In: Water Resources Bulletin. vol 27, no 2 April 1991 283-291

- J. Marsalek, C. Torno (Eds) (1993) : Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Ontario, Canada, 2 vol
- Marquet R. (1993) : Répartition du flux polluant au cours du ruissellement pluvial urbain- Influence sur les volumes à traiter. Rapport de stage de DEA de Mécanique et ingénierie, Filière Sciences de l'eau. ENGEES CERGRENE ULP-IMF 82p +annexe
- Melanen M. (1981) : Quality of runoff Water in Urban Areas. Water Research Institute. No 42, pp 123-190. Helsinki
- Mombers K. (1990) A Relational Database for the descriptive inventory of the Euro-Mediterranean Research Basins. VUB Brussels, Cemagref Lyon
- Morrison G.M. et al. (1985) : The physical-chemical Speciation of Zinc, Cadmium, Lead and Copper in Urban Stormwater. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 pp 1001-1008
- Morrison G.M., Wei C. (1993) : Urban Platinum. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 652-657
- Nakamura E., Kawai T. and Ozawa N. (1987) : Physical Treatability of Wet Weather Combined Sewage. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 155-160
- Ng H.Y.F. (1987) : Rainwater Contribution to the Dissolved Chemistry of Storm Runoff. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 21-26
- Novouy V., Chesters G. (1981) : Handbook of nonpoint pollution. Sources and Management. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series. Ed: Van Nostrand Reinhold Company 535p +annexes
- Osborne M.P. and Hutchings C.J. (1990) : Data requirements for urban water quality modelling and limitations of the existing UK database. In: Proceedings of the fifth international conference on urban storm drainage, July 23-27. Ed. Iwasa and Sueishi. Osaka, Japan p357-364
- Paffoni C. (1992) : Caractérisation des eaux déversées par temps de pluie à l'usine de Clichy. 2ème Partie. Synthèse des résultats d'analyse. SIAAP CRITER
- Païtry A. (1987) : Décantabilité des eaux de ruissellement. Les surverses des réseaux unitaires. La Molette. Service Départemental d'Assainissement de la Seine Saint Denis.
- Païtry A. et Renard D. (1984) : Etude des cinq principaux rejets pluviaux en Marne Rapport de synthèse. LREP-DDE93-LROP juin 1984 117p+annexes
- Palmgren T. et Bennerstedt K. (1984) : Heavy metals in storm water - Content and sources. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P-A and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol3 919-928
- Payne J.A., Moys G.D., Hutchings C.J., Henderson R.J. (1989) : Development, Calibration and further data Requirements of the Sewer Flow Quality Model MOSQUITO. In: Second Wageningen Conference On Urban storm water quality and ecological effects upon receiving waters CHO-IAC
- Philippe J.P. et Ranchet J. (1987) : Pollution des Eaux de Ruissellement Pluvial en Zone Urbaine. Synthèse

- des Mesures sur dix Bassins Versants en Région Parisienne. Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports. LCPC. Rapport de recherche LPC No 142 Fev 1987 76pp.
- PIREN-Seine (1993) : Impact des surverse d'orage ur la qualité des eaux de la Seine dans l'agglomération parisienne. Rapport du groupe "Orages"
- Price R.K., Mance G. (1978) : A suspended solids model for stormwater runoff . In: Helliwell P.R. (Ed): Urban Storm Drainage , Pentech Press, London p 546-555
- Ponce V.M. (1989) : Engineering Hydrology. Principles and practices. Prentice Hall 640p
- Pratt C.J. (1993) : An assessment of the effectiveness of a BMP strategy in urban drainage in the UK. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 951-956
- Prych E.A. and Ebbert J.C. (1987) : Effects of Street Sweeping on Runoff Quality. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management. W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 53-54
- Ranchet J., Charitte A. (1979) : Pollution véhiculée par les eaux de ruissellement en zone urbanisée de l'Orge (Bassin versant des Ullis Sud) 62p+annexes
- Ranchet J., Cheron U. (1976) : Pollution des eaux de ruissellement en zone urbaine. Bassin de Vélizy Ouest. Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien. 33p+annexes
- Roesner L.A. (1986) : Pollution Sources and Potential Impacts- Next Steps. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology. B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 150-156
- Russ H-J., Uhl M. (1989) : Comparison of Pollutant Load Calculation Methods based on Measurement Data. In: Second Wageningen Conference On Urban storm water quality and ecological effects upon receiving waters CHO-IAC
- Saget A. (1990) : Traitements de données sur la pollution des eaux de ruissellement pluvial urbain. Rapport de stage de DEA Physique et Chimie de l'Environnement à l'IMF de Toulouse.
- Saget A., Chebbo G. and Bachoc A. (1992) : Evaluation of Urban Runoff Volume to be Treated at the Outlet of Separatly Sewered Catchments. In: Wat. Sci. Tech. Vol 25, No 8, 225-232
- Saget A., Kovacs Y, Chebbo G. et Bachoc A. (1993a) : Base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie: analyse organique. Rapport CERGRENE- Agence de l'Eau Seine Normandie. 43p
- Saget A., Chebbo G. et Bachoc A. (1993b) : Fonctionnalités de la base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie. Rapport CERGRENE- Agence de l'Eau Seine Normandie. 40p
- Saget A., Chebbo G. et Bachoc A. (1993c) : Description des données contenues dans la base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie. Rapport CERGRENE- Agence de l'Eau Seine Normandie. 61p
- Saget A., Chebbo G. et Bachoc A. (1993d) : Base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie: un exemple d'utilisation. Rapport CERGRENE- Agence de l'Eau Seine Normandie. 24p+annexe
- Saporta G. (1990): Probabilités. Analyse des données et statistique. Edition Technip 428p + annexes

- Sartor J.D., Boyd G.B. (1972) : Water pollution aspects of street surface contaminants. In : EPA-R2-72-081
- Saul A.J. and Ellis D.R (1987) : Design of Storage Tanks for Self-cleansing Operation. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 127-128
- Saul A.J. and Ellis D.R. (1990) : Storage Tank Design in Sewerage Systems. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol2 713-718
- Saul A.J. and Thornton R.C. (1989) : Hydraulic Performance and Control of Pollutants Discharged from a Combined Sewer Storage Overflow. In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts, J.B. Ellis (Ed) Pergamon Press , 113-122
- Servat E. (1984) : Etude des MES du Ruissellement Pluvial à l'Echelle d'un Petit Bassin Versant Urbain. Rapport de synthèse. STU-LHM rapport LHM 14/1984 de Août 1984, 84p+annexes.
- Servat E. (1985) : Etude de la DBO5 et de la DCO du Ruissellement Pluvial Urbain. Essai de Modélisation. Plan Urbain-LHM. Note LHM 11/85 de Sept 1985, 72p+annexes.
- Singh V.P. (1982) : Rainfall runoff relationships. Water resources publications 580p
- Söderlund G., Lehtinen H., Friberg S. (1970) : Physicochemical microbiological properties of urban stormwater runoff. In : 5th International Water Pollution Research Conference
- Stahre P. (1993) : Assessment of BMP's being used in Scandinavia. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 939-944
- Stotz G. and Krauth Kh. (1984) : Factors Affecting First Flushes in Combined Sewers. In: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden. vol3 869-878
- STU (1982) : Recherche en Hydrologie Urbaine : Réflexions et Pratiques. Document de travail.
- Sztruhar D., Wheeler H.S. (1993) : Experimental and numerical study of stormwater infiltration through pervious parking lots. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada. vol1 pp 1098-1103
- Tasker G.D. and Driver N.E (1988) : Nationwide Regression Models for Predicting Urban Runoff Water Quality at Unmonitored Sites. In: Water Resources Bulletin, vol 24, no 5 Oct 1988 1091-1101
- Thornton R.D. and Saul A.J. (1987) : Temporal Variation of Pollutants in two Combined Sewer Systems. In: Proceedings of the Fourth Internationale Conference In Urban Storm Drainage. Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management, W. Gujer and V. Krejci (Eds), Lausanne, Switzerland 51-52
- Torno H. (1984) : The EPA Nationwide Urban Runoff Program (NURP). In : Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, P. Balmer, Malmqvist P-A. and A. Sjöberg (Eds) Göteborg, Sweden, vol4 pp 1465-1474
- Tabuc P. et al. (1989) : Pollution apportée par les rejets urbains de temps de pluie. Résumé présenté en commission de l'AFBSN le 22.03.89
- Uhl M. (1990) : Measurement projects in two differently configured combined sewer systems. In: Proceedings of the fifth international conference on urban storm drainage. July 23-27. Ed. Iwasa and

- Sueishi. Osaka, Japan p345-350
- Urbonas B. (1993) : Assessment of BMP use and technology today. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, J. Marsalek, C. Torno (Eds) Niagara Falls, Ontario, Canada, vol1 pp 927-932
- Valiron F., Tabuchi J.P. (1992) : Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie. Etat de l'art. Ed: Tech et Doc Lavoisier Paris 396p +annexes
- Van de Ven F.H.M. (1990) : Storage-Design Discharge-Frequency Curves as a basis for Storm Sewer Design in Flat Areas. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol2 577-580
- Ven te Chow (1964) : Handbook of applied hydrology. A compendium of water resources technology. Mac Graw Hill Book Company 1420p
- Verbanck M., Vanderborcht J.P. and Wollast P. (1990) : Size Distributions of Suspended Particles in Combined Sewers during Dry-and Wet-Weather. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Iwasa Y. and Sueishi T. (Eds) Osaka, Japan, vol2 891-896
- Viessman W. Jr, Lewis G.L, Knapp J.W (1989) : Introduction to hydrology. Third edition. Harper and Row publishers 780p
- Villeneuve J.P. and Lavallee P. (1985) : Measured CSO Contribution to River Quality Deterioration and Methodologic Approach for Negative Influence Evaluation. In: Urban Runoff Pollution, H.C. Torno, J. Marsalek and M.Desbordes (Eds), NATO ASI Series G: Vol 10 Springer-Verlag 379-418
- Weibel S.R., Andersson R.J. Woodward R.L. (1964) : Urban land runoff as a factor of in stream pollution. In : Journal WPCF 36:914
- Wiegand C., Schueler T., Chittenden W. and Jellick D. (1986) : Cost of Urban Runof Quality Controls. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 366-380
- X (1990) : Etude de fonctionnement des réseaux à l'amont des bassins de la Briche. Qualité des eaux par temps de pluie. Mise en forme et édition des données. Prolog Ingénierie DEA Seine Saint Denis.
- Yousef Y.A., Wanielista M.P. and Harper H.H. (1986) : Design and Effectiveness of Urban Retention Basins. In: Urban Runoff Quality-Impact and Quality Enhancement Technology, B. Urbonas and L.A. Roesner (Eds) ASCE 338-350

Annexe A

Description de la base de données

Structure de la base de données

Les données sont regroupées par fichier suivant le type d'information qu'elles procurent..

Tout d'abord, celles contenant des descriptifs ou des mesures:

Carac_bv : description du bassin versant où les mesures ont été faites.

- surface totale du bassin versant (en hectare)
- nature du sol naturel (par exemple argileux, sablonneux ...)
- penne moyenne du bassin versant, en m/m
- penne minimale mesurée sur le bassin
- penne maximale mesurée sur le bassin
- méthode de calcul de la penne
- précipitation annuelle moyenne (en mm)
- direction du vent dominant

Campagne : description de chaque campagne de mesures.

- durée de la campagne de mesures, en mois
- date à laquelle a débuté la campagne de mesures
- surface drainée au point de mesure de débit
- temps de concentration du bassin versant au moment de la campagne
- coefficient volumétrique moyen au moment de la campagne
- coefficient d'imperméabilisation du bassin au moment de la campagne
- surface équivalente (rapport du volume total écoulé et mesuré pendant la campagne sur la hauteur d'eau précipitée correspondante)
- méthode de calcul du coefficient d'imperméabilisation
- densité de population du bassin au moment de la campagne, en habitant / hectare
- indication des ouvrages pouvant exister sur le réseau, comme des bassins de retenue
- type d'assainissement :
- longueur du réseau
- présence de dépôt dans les collecteurs
- mode d'entretien du réseau
- fréquence des curages (nombre de mois séparant 2 curages)
- type d'avaloirs rencontrés sur le réseau : avec ou sans décantation
- densité d'avaloirs sur le réseau : nombre d'avaloirs par km de réseau
- mode d'entretien des voiries du bassin versant
- fréquence des entretiens des voiries (nombre de jours séparant 2 entretiens successifs)

Pluie : caractéristiques globales des pluies.

- date du début de la pluie
- heure à laquelle a commencé la pluie
- durée de la pluie
- durée de temps sec depuis la pluie précédente
- hauteur totale d'eau précipitée pendant la pluie, en mm
- intensité moyenne sur la durée de la pluie, en mm/h
- intensité moyenne maximale sur le temps de concentration du bassin, en m/h

intensité moyenne maximale sur 5 minutes, en mm/h
 intensité moyenne maximale sur 6 minutes, en mm/h
 intensité moyenne maximale sur 15 minutes, en mm/h
 code indiquant la qualité de la mesure

Hyétogramme : variation au cours du temps de la hauteur d'eau précipitée et de l'intensité, pendant chaque pluie.

heure de début d'une mesure
 heure de fin de la même mesure
 hauteur d'eau précipitée entre les 2 dates précédentes
 intensité moyenne sur la durée séparant les 2 dates précédentes
 code de qualité des mesures

Ruissellement : caractéristiques globales des ruissellements observés par temps de pluie et par temps sec.

date du début de ce ruissellement
 heure à laquelle a commencé le ruissellement
 durée du ruissellement
 durée de temps sec depuis le dernier ruissellement
 volume total ruisselé pendant ce ruissellement en m³
 débit maximal enregistré pendant ce ruissellement en l/s (valeur instantanée)
 débit moyen sur la durée du ruissellement
 code de qualité des mesures

Hydrogramme : variation au cours du temps du débit d'eau ruisselé dans le collecteur, par temps de pluie et par temps sec, pendant chaque événement.

heure à laquelle a été faite la mesure du débit
 débit en l/s (valeur instantanée)
 code de qualité des mesures

Qualité : caractéristiques globales de la qualité des eaux par temps de pluie et par temps sec.

pour chaque paramètre de qualité
 concentration moyenne par événement, en mg/l sauf pour les métaux en µg/l
 flux moyen en kg/h sauf pour les métaux en g/h
 masse rejetée en kg sauf pour les métaux en g
 concentration maximale obtenue pendant l'événement (existe si un pollutogramme a été mesuré)
 flux maximal obtenu pendant l'événement
 code de qualité des mesures

Pollutogramme : variation au cours du temps des concentrations et des flux polluants, par temps de pluie et par temps sec, pendant chaque événement.

pour chaque paramètre de qualité
 heure à laquelle débute la mesure (par exemple début de remplissage d'un flacon)
 heure à laquelle prend fin la mesure (par exemple fin de remplissage d'un flacon)
 concentration moyenne entre les deux instants précédents
 flux moyen entre les deux instants précédents
 volume écoulé dans le réseau entre les deux instants précédents
 code de qualité des mesures

Carac_solide : caractéristiques des solides en réseau sous forme de courbe de répartition:

courbe granulométrique: % en masse des particules d'un diamètre compris entre 2 valeurs
 courbe de densité
 courbe de vitesse de chute: % en masse des particules dont la vitesse de chute est inférieure à un valeur donnée

Viennent ensuite des résultats obtenus à partir des données précédentes:

Bilan: valeurs moyennes ou maximales représentatives de la qualité des ruissellements pendant une

campagne.

concentration moyenne sur la durée de la campagne en mg/l, pour les métaux en $\mu\text{g/l}$
 flux moyen sur la durée de la campagne en kg/h, pour les métaux en g/h
 maximum des concentrations moyennes par événement en mg/ pour les métaux en $\mu\text{g/l}$
 maximum des flux moyens par événement en kg/h pour les métaux en g/h
 maximum des masses produites par événement en kg, pour les métaux en g
 maximum des concentrations maximales pendant un événement en mg/l, pour les métaux en $\mu\text{g/l}$
 maximum des flux maximaux pendant un événement en kg/h sauf pour les métaux en g/h
 masse annuellement produite en kg sauf pour les métaux en g
 masse annuellement produite par hectare en kg sauf pour les métaux en g
 masse annuellement produite par hectare imperméabilisé en kg, pour les métaux en g
 masse annuellement produite par habitant en kg sauf pour les métaux en g
 masse annuellement produite par millimètre de pluie en kg, pour les métaux en g
 masse annuellement produite par millimètre de pluie et par hectare en kg, pour les métaux en g
 maximum du volume ruisselé par événement en m^3
 volume annuellement ruisselé en m^3
 débit de temps sec moyen en l/s
 débit de temps de pluie moyen sur la campagne en l/s
 maximum des débits moyens par événement en l/s
 maximum des débits maximaux pendant un événement en l/s

Traiter : efficacité d'interception de réservoirs de stockage ou de traitement au fil de l'eau.

volume d'interception en $\text{m}^3/\text{ha imp}$ ou débit d'interception en l/s/haimp
 masse ou volume intercepté
 masse ou volume non intercepté

Fréquence : nombre d'événements dont la masse non interceptée représente certaines valeurs de la masse annuelle.

volume d'interception en $\text{m}^3/\text{ha imp}$ ou débit d'interception en l/s/haimp
 nombre d'événement dont la masse rejetée représente :
 0% de la masse annuelle
 entre 0 et 0.1% de la masse annuelle
 entre 0.1 et 1 % de la masse annuelle
 entre 1 et 5 % de la masse annuelle
 entre 5 et 10 % de la masse annuelle
 supérieur à 10 % de la masse annuelle

Mas_vol : répartition de la masse rejetée en fonction du volume ruisselé pendant un événement.

fraction du volume total
 pourcentage de masse rejetée jusqu'à ce que la fraction du volume s'écoule
 code de qualité des mesures

Enfin pour des raisons de clarté et de commodité 2 entité se sont détachées :

Surface : répartition de la surface du bassin versant entre différents types d'occupation des sols.: habitat individuel, habitat collectif dense, habitat collectif lâche, zones commerciales, zones industrielles, zones de loisir, zones non urbanisées, voies de communication.

Appareil: description des appareils de mesures utilisés.

type de mesures faites sur l'appareil
 type d'appareil utilisé
 utilisation de la mesure

Paramètre: donne pour chaque paramètre codé sous forme numérique, le nom, les unités de concentration, de masse et de flux.

Description des appareils de mesure

Site	Description des appareils	Dépouillement
Aix Zup, Aix Nord, Maurepas, Ulis- Nord	appareils installés pour la campagne, au coeur des bassins de Aix-Zup et Aix-Nord, à la limite des bassins pour Maurepas et Ulis-Nord bague réceptrice de 1000cm ² , une impulsion tous les 2/10mm	
Vélizy	appareil de la Météorologie Nationale, bague réceptrice de 2000cm ² , une impulsion tous les 1/10mm	à intensité constante et pas de temps variable, le temps sec est l'intervalle entre deux pluies engendrant des écoulements avec une valeur minimale de 30mn, la hauteur minimal est de 1mm
Ulis-Sud	appareil installé pour la campagne sur un centre commercial, bague réceptrice de 1000cm ² , une impulsion tous les 2/10mm	la hauteur minimale est de 1mm, IMTC minimale de 1mm/h, l'intervalle de temps séparant 2 pluies doit dépasser 2 fois TC
Centre Urbain, Malnoue, Grammont, Chesnay, Baudile	appareils du Service départemental de la Seine Saint Denis à auget basculeur, de capacité 0.1mm ou 0.2mm suivant l'appareil	à pas de temps fixe, le temps minimal pour distinguer 2 pluies est de 1h sans basculement d'auget, la hauteur minimal considérée est de 0.5mm
Mantes	appareil installé pour la campagne dans un cimetière, bague réceptrice de 1000 cm ² , une impulsion tous les 2/10mm	la hauteur minimale est de 0.4mm
la Briche DD11, D11, PHL, Enghien	le même appareil du réseau de la Seine Saint Denis utilisé pour les 4 sites, une impulsion tous les 1/10 ou 2/10mm suivant les appareils	à pas de temps constant, la hauteur minimale est de 3mm, la durée de temps sec entre 2 pluies est au minimum de 1h
la Briche PLB	6 appareils du réseau de la Seine Saint Denis, une impulsion tous les 1/10 ou 2/10mm suivant les appareils	à pas de temps constant, la hauteur minimale est de 3mm, la durée de temps sec entre 2 pluies est au minimum de 1h

Tableau A.1: Description des pluviomètres utilisés sur les sites de mesure

Site	Description des chaînes de mesure de débit
Aix Zup, Aix Nord, Maurepas, Ulis-Nord	-un limnimètre de type bulle à bulle -un convertisseur hauteur-débit utilisant une courbe d'étalonnage de la section de mesure établie sur un déversoir rectangulaire à contraction latérale pré étalonné et avec la formule de Manning-Strickler -un intégrateur de volume
Vélizy	-un limnimètre bulle à bulle -un calculateur par la formule de Bazin
Centre Urbain	-un limnimètre bulle à bulle dans la gamme 0 à 2m -un convertisseur à micro-processeur hauteur-débit nécessitant une courbe d'étalonnage mesurée par la formule de Manning-Strickler -un calculateur de débit
Ulis Sud	-un limnimètre bulle à bulle -un linéarisateur nécessitant une courbe de tarage établie sur un déversoir à seuil épais avec la formule de Bélanger -un totalisateur de volume écoulé
Malnoue	-un limnimètre bulle à bulle dans la gamme de 0 à 90cm -un convertisseur optique hauteur-débit nécessitant une courbe de tarage obtenue par la formule de Manning-Strickler -un calculateur de volume
Grammont	-un limnimètre bulle à bulle dans la gamme de 0 à 90cm -un convertisseur optique hauteur-débit nécessitant une courbe de tarage obtenue sur un orifice de grande dimension -un calculateur de volume
Baudile	-de mars à août 1981 un limnigraphe muni de capteurs de pression associés à un bullage -de août à décembre 1981 un débitmètre ISCO de gamme de 0 à 2m avec linéarisateur à micro-processeurs -convertisseur hauteur-débit nécessitant une courbe d'étalonnage obtenue par la formule de Manning-Strickler -intégrateur pour calculer les volumes
Mantes	-un limnimètre bulle à bulle -un linéarisateur nécessitant une courbe de tarage, établie sur un canal jaugeur préétalonné pour des hauteurs d'écoulement inférieures à 10cm, et faisant l'extrapolation par application de la formule de Manning-Strickler -un totalisateur de volume

Tableau A.2: Calcul du débit par mesure de la hauteur de l'écoulement seule

Site	Description des chaînes de mesure de débit
la Briche DD11	-un limnimètre à capteur de pression -une sonde de vitesse à ultrason -un calculateur de débit
la Briche D11	-un limnimètre bulle à bulle (erreur absolue < 1cm sur la plage 0-15m) -une sonde de vitesse à ultrason de précision à +-1% -aucune précision sur le calculateur
la Briche PHI	-un limnimètre à capteurs à ultrason -2 sondes de vitesse à ultrason -un calculateur de débit
la Briche Enghien	-un limnimètre de type bulle à bulle -2 sondes de vitesse à ultrason
la Briche PLB	-un limnimètre par capteur de pression -2 sondes de vitesse à ultrason -un calculateur de débit

Tableau A.3: Calcul de débit par la mesure de la hauteur de l'écoulement et de sa vitesse

Site	Description des échantillonneurs
Aix Zup, Aix Nord, Maurepas, Ulis-Nord	-un dispositif de déclenchement temporisé des préleveurs lorsque le débit franchit un seuil -un préleveur d'échantillons moyens asservi au débit remplissant un bac de 30l tous les 60m ³ sur Maurepas, 40m ³ sur Ulis-Nord, 90m ³ sur Aix-Zup, 140m ³ sur Aix-Nord -un échantillonneur de 28 flacons de 2l chacun rempli en 8 pompages tous les 20m ³ sur Maurepas et Ulis-Nord, 30m ³ sur Aix-Zup, 70m ³ sur Aix-Nord
Centre Urbain, Malnoue, Grammont, Chesnay, Baudile	-un module d'asservissement composé par: -une sonde de détection à quelques cm au-dessus du niveau normal de l'écoulement de temps sec -un amplificateur actionnant un relais dès que la sonde fonctionne -un circuit de temporisation calé à 1mn 30' -un préleveur qui recueille des prélèvements instantanés dans une cuve de 11l (18l sur Baudile), le volume de chaque prélèvement est réglable ainsi que le volume écoulé entre 2 pompages -un échantillonneur à sélecteur rotatif de 28 flacons, constitué chacun de 4 prélèvements unitaires de 0.5l
la Briche DD11, D11, Enghien	-un module de commande pour asservir le préleveur au temps et pour démarrer à une hauteur de consigne -une pompe péristaltique -un échantillonneur de 28 flacons remplis en 2 prélèvements tous les 1/4 d'heure
la Briche PHI, PLB	-un module de commande pour asservir le préleveur au débit et pour démarrer à une hauteur de consigne -une pompe péristaltique -un échantillonneur de 28 flacons remplis en un prélèvements tous les 1280m ³ pour PHI et 12800m ³ pour PLB

Tableau A.4: Echantillonnage à pas de volume fixe

Site	Description des échantillonneurs
Vélizy	<ul style="list-style-type: none"> -une sonde électronique composé d'une électrode à 13cm au dessus du fond du collecteur reliée à un temporisateur calé à 2mn -une pompe mono cellulaire de 210l/mn -un préleveur à cuiller de contenance variant entre 5 et 40ml, un flacon est rempli avec 50 à 400 prélèvements avec une cadence de prélèvements fixée à 4,5s -un échantillonneur à sélecteur rotatif de 24 flacons de 2l, chacun rempli en 1h30 à plusieurs jours <p>ensuite les flacons sont divisés par lot, chaque lot permet de constituer un échantillon unitaire par pondération par les volumes écoulés pendant chaque flacon, un pollutogramme est composé de 6 à 10 échantillons unitaires, les échantillons moyens sont obtenus par pondération de l'ensemble des flacons</p>
Ulis Sud	<ul style="list-style-type: none"> -une sonde électronique composée d'une électrode suspendue au-dessus du niveau des eaux de temps sec, reliée à un temporisateur calé à 1mn30 -une pompe monocellulaire débitant entre 500 et 600l/h -un préleveur à cuiller de contenance variant entre 5 et 40cm³, un flacon est rempli avec 50 à 400 prélèvements avec une cadence de prélèvement variant entre 4,5 et 18s -un échantillonneur à sélecteur rotatif de 24 flacons de 2l, chacun rempli en 1h30 à 32 jours <p>ensuite les flacons sont divisés par lot, chaque lot permet de constituer un échantillon unitaire par pondération par les volumes écoulés pendant chaque flacon, un pollutogramme est composé de 6 à 10 échantillons unitaires, les échantillons moyens sont obtenus par pondération de l'ensemble des flacons du 1er préleveur</p>
Mantes	<ul style="list-style-type: none"> -un module d'asservissement temporisé -une pompe péristaltique de débit nominal 2500l/h -un préleveur à cuiller de contenance variant entre 5 et 40cm³ un flacon est rempli avec 400 ou 500 prélèvements avec des cadences de prélèvement variant entre 4,5 et 18s -un échantillonneur à sélecteur rotatif de 24 flacons de 2l, chacun rempli entre 1h30 et 32 jours <p>ensuite les flacons sont divisés par lot, chaque lot permet de constituer un échantillon unitaire par pondération par les volumes écoulés pendant chaque flacon, un pollutogramme est composé de 6 à 10 échantillons unitaires, les échantillons moyens sont obtenus par pondération de l'ensemble des flacons</p>

Tableau A.5: Echantillonnage à pas de temps fixe

Annexe B

Equations de régression sur les concentrations et les masses par événement

Rappels théoriques sur les équations de régression

Avant de décrire les équations de régression que nous avons obtenues, il paraît utile de rappeler comment elles sont calculées.

Estimation des paramètres de l'équation par la méthode des moindres carrés

Déterminer une équation de régression linéaire multiple pour expliquer une variable Y , dont on dispose d'un échantillon de N valeurs observées Y_j , consiste à trouver la meilleure relation linéaire entre Y et un ensemble de variables $X^1, X^2 \dots X^k$. On utilise les variables x^i qui sont les variables X^i centrées autour de leur moyenne \bar{X}^i :

$$x^i = X^i - \bar{X}^i \quad \text{Eq. B.1}$$

La relation qu'on cherche s'écrit:

$$Y = \alpha + \beta^1 x^1 + \beta^2 x^2 + \dots + \beta^k x^k \quad \text{Eq. B.2}$$

On suppose généralement que les variables $X^1, X^2 \dots X^k$ sont linéairement indépendantes, mais elles peuvent ne pas être statistiquement indépendantes, et en particulier être corrélées. En considérant chaque Y_j , comme une variable aléatoire, on émet des hypothèses afin de simplifier le problème:

- * les Y_j sont statistiquement indépendants et de même loi
- * pour chaque Y_j sa moyenne est sur la droite de régression et vaut:

$$\text{Moyenne} = \alpha + \beta^1 x_j^1 + \beta^2 x_j^2 + \dots + \beta^k x_j^k \quad \text{Eq. B.3}$$

- * et sa variance notée σ^2 est la même pour tous les Y_j

La meilleure relation est celle qui minimise les erreurs lorsqu'on remplace les valeurs observées Y_j par les valeurs estimées par l'équation \hat{Y}_j .

$$\hat{Y}_j = \alpha + \beta^1 x_j^1 + \beta^2 x_j^2 + \dots + \beta^k x_j^k \quad \text{Eq. B.4}$$

L'erreur e_j pour chaque observation s'écrit:

$$e_j = Y_j - \hat{Y}_j \quad \text{Eq. B.5}$$

Les e_j sont des variables aléatoires indépendantes, de moyenne nulle, dont la variance est égale à σ^2 . La loi de distribution des e_j est la même que celle des Y_j , mais translatée sur une moyenne nulle. On suppose que les e_j sont indépendants des X^i .

Les valeurs de $\alpha, \beta^1, \beta^2, \dots, \beta^k$ qui définissent la meilleure relation, doivent satisfaire le critère des moindres carrés: ils doivent rendre minimale S la somme des carrés des erreurs.

$$S = \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2 \quad \text{Eq. B.6}$$

Autrement dit, les dérivées partielles de S par rapport à α , β^1 , β^2 , ..., et β^k doivent être nulles. Pour α :

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = -2 \sum_{j=1}^N (Y_j - \alpha - \beta^1 x_j^1 - \dots - \beta^k x_j^k) \quad \text{Eq. B.7}$$

d'où on tire $\alpha = \bar{Y}$, moyenne des Y_j

Pour chaque β^i :

$$\frac{\partial S}{\partial \beta^i} = -2 \sum_{j=1}^N x_j^i (Y_j - \alpha - \beta^1 x_j^1 - \dots - \beta^k x_j^k) \quad \text{Eq. B.8}$$

soit:

$$\sum_{j=1}^N x_j^i Y_j - \beta^1 \sum_{j=1}^N x_j^1 x_j^i - \dots - \beta^k \sum_{j=1}^N x_j^k x_j^i = 0 \quad \text{Eq. B.9}$$

On obtient ainsi un système de k équations à k inconnues, dont la résolution donne les expressions de β^1 , β^2 , ..., et β^k .

Prédiction des valeurs et intervalle de confiance

Les équations de régression que nous avons établies sont utilisées pour prédire des valeurs qui nous manquent. Avec les valeurs prédites, il faut fournir un intervalle de confiance dans lequel se trouve la vraie valeur avec une probabilité de se tromper qui dépend de la largeur de l'intervalle. La valeur qu'on cherche à estimer s'obtient à partir d'un jeu de valeur noté x_0^1, \dots, x_0^k et des valeurs estimées des coefficients $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}^1 \dots \hat{\beta}^k$, et s'écrit:

$$Y_0 = \hat{\alpha} + \hat{\beta}^1 x_0^1 + \dots + \hat{\beta}^k x_0^k + e_0 \quad \text{Eq. B.10}$$

On peut montrer d'autre part que α , $\beta^1 \dots \beta^k$ ne sont pas corrélés entre eux, alors la variance de Y_0 peut s'écrire:

$$\text{var}(Y_0) = \text{var}(\hat{\alpha}) + (x_0^1)^2 \text{var}(\hat{\beta}^1) + \dots + (x_0^k)^2 \text{var}(\hat{\beta}^k) + \text{var}(e_0) \quad \text{Eq. B.11}$$

avec

$$\text{var}(\hat{\alpha}) = \frac{\sigma^2}{N}, \text{var}(e_0) = \sigma^2, \text{ et } \text{var}(\hat{\beta}^i) = \text{fonction}(\sigma^2) \quad \text{Eq. B.12}$$

Les β^i peuvent s'écrire comme une combinaison linéaire des Y_j . Par conséquent si les Y_j (et donc les e_j) suivent une loi normale, alors α , $\beta^1 \dots$ et β^k suivent également une loi normale. Si les Y_j ne suivent pas une loi normale, mais si la taille de l'échantillon est grande alors α , $\beta^1 \dots$ et β^k suivent de toute façon une loi normale. Sous ces conditions, Y_0 à son tour suit une loi normale. La variance de Y_0 dépend de σ^2 , qui n'est pas connu mais qu'on estime par s

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}}{(N - 1)} \quad \text{Eq. B.13}$$

On obtient la largeur de l'intervalle en utilisant la valeur critique de la fonction du "t" de Student, qui laisse une probabilité donnée que la vraie valeur de t la dépasse. L'intervalle autour de Y_0 s'écrit:

$$[\hat{Y}_0 - t \sqrt{\text{var}(Y_0)}] ; [\hat{Y}_0 + t \sqrt{\text{var}(Y_0)}] \quad \text{Eq. B.14}$$

Analyse de variance

Après avoir obtenu les coefficients de l'équation, l'analyse de la variance va montrer jusqu'à quel point l'équation permet de reproduire les observations. C'est-à-dire jusqu'à quel point les écarts entre les valeurs observées et les valeurs estimées par l'équation ont été minimisés.

Pour une observation j , on peut écrire:

$$Y_j - \bar{Y} = (\hat{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_j - \hat{Y}_j) \quad \text{Eq. B.15}$$

Pour l'ensemble de l'échantillon:

$$\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y}) = \sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y}) + \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j) \quad \text{Eq. B.16}$$

Pour la somme des carrés:

$$\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2 + 2 \sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y})(Y_j - \hat{Y}_j) + \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2 \quad \text{Eq. B.17}$$

On montre en remplaçant \hat{Y}_j par son expression, et en tenant compte de la relation établie dans l'équation 18 pour chaque β^1 , que:

$$\sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y})(Y_j - \hat{Y}_j) = 0 \quad \text{Eq. B.18}$$

Donc l'équation 26 s'écrit simplement:

$$\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2 + \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2 \quad \text{Eq. B.19}$$

Autrement dit: Variation totale = $\frac{\text{Variation expliquée par l'équation}}{\text{Variation restée inexpliquée}}$

D'autre part, on définit le coefficient de corrélation multiple R comme le coefficient de corrélation simple entre les valeurs observées et les valeurs estimées de Y . On montre ainsi que:

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} = \frac{\text{Variation expliquée}}{\text{Variation totale}} \quad \text{Eq. B.20}$$

R^2 est compris entre 0 et 1. Plus il approche de 1, plus la variation expliquée se rapproche de la variation totale. Cela signifie que l'équation permet de reproduire les valeurs observées avec une grande précision. A l'inverse, plus R^2 est faible, moins l'équation permet d'expliquer les variations de Y . R^2 est donc utilisé comme un indicateur de la fiabilité de l'équation.

Sélection des variables

Jusqu'à présent on a supposé que les variables X^1, X^2, \dots, X^k ont été choisies a priori avant de rechercher l'équation. Mais si on dispose d'un ensemble de variables parmi lesquelles on ne sait pas lesquelles introduire ni dans quel ordre, il existe des méthodes pour le faire. Parmi elles, la méthode que nous avons choisie est la méthode pas-à-pas, ou stepwise, qui fonctionne de la manière suivante:

- * la première variable qui est introduite est celle qui présente la meilleure relation avec la variable Y
- * puis on ajoute successivement celles qui font progresser le plus le coefficient de signification de la

relation R^2

De plus à chaque étape, des tests sont effectués pour ne pas introduire des variables non significatives et pour éliminer éventuellement des variables déjà introduites qui ne seraient plus informatives, compte tenu de la dernière variable sélectionnée. La sélection s'arrête lorsqu'on ne peut plus ajouter ni retrancher de variable. Pour ajouter une variable, on teste l'hypothèse nulle: cette nouvelle variable n'a pas de relation avec Y. Pour cela, on décompose tout d'abord la variation totale en 3 composantes:

$$\begin{aligned} \text{Variation totale} = & \text{Variation expliquée par les variables précédemment introduites} \\ & + \text{Variation supplémentaire expliquée par la variable testée} \\ & + \text{Variation restée inexpliquée} \end{aligned}$$

On calcule ensuite le ratio F:

$$F = \frac{\text{Variation supplémentaire expliquée par la variable}}{\text{Variation restée inexpliquée}} \quad \text{Eq. B.21}$$

En supposant que l'hypothèse nulle est vraie, le nombre F suit une loi de Fisher. On regarde alors quelle est la probabilité d'obtenir la valeur F sur les tables qui donnent la loi de probabilité de Fisher avec les degrés de liberté qui valent 1 au numérateur et $n-k-2$ au dénominateur, k est le nombre de variables déjà introduites.

Site	Taille	Coefficient de corrélation R tel que $P(r>R)=0.10$
Vélizy Ouest	20	0.38
Centre Urbain MES et DBO5 (DCO)	23 (17)	0.35 (0.41)
Ulis Sud	31	0.30
Malnoue MES et DBO5 (DCO)	15 (13)	0.44 (0.48)
Grammont	14	0.46
Chesnay MES et DBO5 (DCO)	18 (9)	0.40 (0.58)
Baudile MES et DBO5 (DCO)	17 (13)	0.41 (0.48)
Mantes la Ville	22	0.36
La Briche DD11	9	0.58
La Briche D11 MES et DCO (DBO5)	13 (12)	0.48 (0.50)
La Briche PHI 1400	15	0.44
La Briche Enghien	10	0.55
La Briche PLB	13	0.48

Tableau B.1: Taille des échantillons utilisés pour établir les équations de régression et seuil de signification des coefficients de corrélation tel que la probabilité de dépasser ce seuil vaut 10%

Les équations de régression linéaire multiple sur les concentrations et les masses en MES, DCO et DBO5

Les tableaux B.2 à B.4 présentent les équations sur la concentration et la masse pour chaque site et chaque paramètre, avec indication du coefficient de signification des équations, R^2 .

Notations :

VRUIST	Volume écoulé pendant l'événement en m^3
DR	Durée de l'écoulement en h
QMAX	Débit maximal en l/s
QTS	Débit de temps sec précédent en l/s
HPT	Hauteur précipitée totale en mm
DP	Durée de la pluie en h
IMTC	Intensité moyenne maximale sur le temps de concentration en mm/h
IMAX5	Intensité moyenne maximale sur 5 minutes en mm/h
DTS	Durée de temps sec antécédent en h
HPRECED	Hauteur précipitée pendant l'événement précédent en mm
H7,H14,H28	Hauteur précipitée 7, 14 et 28 jours avant, en mm

SITE	CONCENTRATION MOYENNE PAR ÉVÈNEMENT EN MES		MASSE PAR ÉVÈNEMENT EN MES	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Sites séparatifs				
Vélizy Ouest	0.92DTS -50DP +335	0.54	0.85QMAX +1.2DTS -241	0.91
Centre Urbain	-0.035VRUIST+8.5IMAX5 +288	0.45	77IMTC +292	0.25
Ulis Sud	-78DP +0.47QMAX +698	0.48	0.45VRUIST +2.2QMAX -211DP +213	0.91
Malnoue			370IMTC -30H14 +410HPT -0.94VRUIST -1300	0.90
Sites séparatifs pollués				
Grammont	-2.6H28 +445	0.28	2.8QMAX -420	0.85
Chesnay	3.6DTS +350	0.68	460IMTC +1200	0.26
Baudile	0.91DTS +298	0.21	95IMAX5+3100	0.52
Sites unitaires				
Mantes la Ville	2.3QMAX +73DP -1.1VRUIST +84HPRECED +0.79DTS +220	0.88	1.4QMAX +14DP -59	0.96
La Briche DD11	-66DR+1100	0.77	910HPT +12000	0.67
La Briche D11			0.49VRUIST -720HPT -3400	0.72
La Briche Phi 1400	-0.012VRUIST +732	0.37		
La Briche Enghien	-0.079QMAX +13IMAX5 +396	0.76	1700DP +1200	0.53
La Briche PLB	-15H7 +0.031QMAX -32HPT +340	0.73	8.4QMAX +53DTS -9200HPT +0.35VRUIST -51000	0.91

Tableau B.2: Equations de régression concernant la concentration et la masse de MES

SITE	CONCENTRATION MOYENNE PAR ÉVÈNEMENT EN DCO		MASSE PAR ÉVÈNEMENT EN DCO	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Sites séparatifs				
Vélizy Ouest	0.59DTS -0.047VRUIST +147	0.57	0.27QMAX +0.66DTS -75	0.85
Centre Urbain	-7.8HPT +172	0.31	12.5DP +3.7HPRECED +96	0.50
Ulis Sud	0.37DTS -38HPT +28IMTC +234	0.73	0.099VRUIST -39DP +0.30QMAX +115	0.89
Malnoue	20H28 -16H14-12HPRECED - 1.9DTS + 66	0.91		
Sites séparatifs pollués				
Grammont	-8H7 +346	0.43	1.2QMAX -3.4H14 +65	0.86
Chesnay	5.1DTS +333	0.91	4.3DTS +1400	0.48
Baudile	1.6DTS+10.9iMAX5 -60iMTC +222	0.97	0.5QMAX+220DR+8.7DTS-539	0.82
Sites unitaires				
Mantes la Ville	-93DR +0.78DTS +523	0.40	0.14QMAX +12HPT +1.8H7 +28	0.74
La Briche DD11	-57DR +1100	0.80	-6.1QMAX +4800	0.52
La Briche D11	-17H7 +589	0.35	0.27VRUIST -1200HPT +6.3QMAX - 3800	0.75
La Briche Phi 1400	-0.016VRUIST +1100	0.41		
La Briche Enghien	-0.11QMAX +703	0.64	2520DR -5.7QMAX +19000	0.79
La Briche PLB	0.25DTS +445	0.31	0.34VRUIST +44DTS +23000	0.55

Tableau B.3: Equations de régression concernant la concentration et la masse de DCO

SITE	CONCENTRATION MOYENNE PAR ÉVÉNEMENT EN DBO5		MASSE PAR ÉVÉNEMENT EN DBO5	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Sites séparatifs				
Vélizy Ouest	0.15DTS -0.017VRUIST - 3.5HPRECED +54	0.68	0.13DTS +3.1IMTC -10	0.92
Centre Urbain	-0.18H14 +22	0.13	0.02VRUIST +2.1HPRECED - 0.073QMAX +2.6	0.79
Ulis Sud	-5.0HPT +0.077DTS +0.02QMAX - 1.5HPRECED +44	0.74	0.010VRUIST +0.028QMAX - 0.33H14 +14	0.90
Malnoue	-1.6H7 +1.3H28 -0.96H14 - 0.21DTS +44.7	0.73	10HPT -5.1H7 +63	0.69
Sites séparatifs pollués				
Grammont	-2.8H7 +110	0.57	0.45QMAX-4.3H7 -14.4IMTC+116	0.85
Chesnay	1.5DTS -6.2DR +139	0.83	1.1DTS ++58DP-7.7H14+199	0.57
Baudile				
Sites unitaires				
Mantes la Ville	-0.09VRUIST +133	0.19	3.6HPT +5.2HPRECED +6	0.54
La Briche DD11	3.3IMAX5 +154	0.61	150IMAX5 +4300	0.80
La Briche D11	-4.2HPT +155	0.31	0.076VRUIST -440HPT +1.9QMAX - 470HPRECED +1400	0.88
La Briche Phi 1400	0.13DTS -12HPT +251	0.43	342DR +2400	0.21
La Briche Enghien	-0.39QMAX +233	0.56	54000DR +1.9QMAX +5800	0.73
La Briche PLB			0.22VRUIST -4100HPT -800H7 +1.5QMAX -780	0.88

Tableau B.4: Equations de régression concernant la concentration et la masse de DBO5

Annexe C

Etablissement des équations de régression linéaire multiple sur les volumes écoulés, les durées d'écoulement et les débits maximaux, à partir des données sur la pluie

La liste des variables utilisées est la même que dans l'étude sur les concentrations et les masses privée des variables hydrauliques qui sont ici les variables dépendantes qu'on cherche à expliquer par les variables de pluie:

- * Débit de temps sec précédent l'écoulement, QTS en l/s;
- * Hauteur totale précipitée pendant l'événement, HP en mm;
- * Durée de la pluie, DP en h;
- * Intensité moyenne maximale sur le temps de concentration, IMTC en mm/h;
- * Intensité moyenne maximale sur 5 minutes, IMAX5 en mm/h;
- * Durée de temps sec antécédent, DTS en h;
- * Hauteur précipitée pendant l'événement précédent, HPRECED en mm;
- * Hauteur précipitée 7, 14 et 28 jours avant l'événement, H7,H14,H28 en mm.

Les données disponibles sur chacun des sites nous amènent à restreindre cette liste sur certains sites. Le tableau C.1 donne les variables utilisées et la taille des échantillons.

VARIABLES ÉLIMINÉES DE LA LISTE	LISTE DES SITES (TAILLE DE L'ÉCHANTILLON)
AUCUNE	Baudile poste de Clichy (28), Chesnay poste de Clichy (22), Grammont (52), Malnoue (36), Centre Urbain (52)
IMAX5	Vélizy Ouest (22), Ulis Sud (74), Mantes (22)
IMTC, H14, H28	La Briche D11 (13), La Briche PLB (13), La Briche Phi 1400 (15)
IMTC, H7, H14, H28, HPRECED	La Briche DD11 (9), La Briche Enghien (10)

Tableau C.1: Description des échantillons utilisés pour l'établissement des équations de régression sur le volume, la durée du ruissellement et le débit maximal

Résultats sur le volume écoulé

Les résultats sur le calcul des volumes donnent des coefficients de signification très élevés, dans l'ensemble supérieurs à 0.80. Seul Ulis Sud présente des résultats moins bons, mais l'étude hydraulique avait effectivement montré un problème dans les mesures de volume. De même les sites de La Briche, à part DD11 et PLB, présentent des résultats très moyens. Mais cela n'est guère étonnant au vu de la configuration des sites : bassins très complexes et très grands, pluviomètres peu nombreux et pas nécessairement représentatifs.

Par rapport au coefficient de corrélation linéaire simple entre le volume et la hauteur de pluie, les coefficients des tableaux C.2, C.3 et C.4 sont toujours supérieurs. Le gain d'une régression multiple ne fait ici aucun doute. La variable qui entre en première position dans les équations est souvent la hauteur de pluie. Mais pour

les sites unitaires, elle n'intervient qu'en deuxième position après la durée de la pluie, la durée de temps sec ou la hauteur précipitée 7 jours avant. Pour la Briche D11 elle n'intervient pas du tout.

Résultats sur le débit maximal

Les résultats sur le débit maximal sont dans l'ensemble moins significatifs, et moins bons que pour les volumes, car expliquer le débit maximal, qui est une valeur instantanée, demande une connaissance beaucoup plus précise des phénomènes que pour le volume qui somme les effets. Néanmoins, sur Ulis Sud, La Briche Phi1400 et la Briche Enghien, le degré d'explication atteint par les équations est plus élevé que celui du volume, mais les coefficients pour le volume sont très faibles sur ces sites. Mais, compte tenu d'une part des anomalies de comportement du bassin des Ulis, d'autre part de la mauvaise représentativité des pluviomètres, ce résultat est difficilement interprétable.

Pour les sites séparatifs, la variable qui entre en première position dans les équations est IMTC. Pour les sites séparatifs pollués, elle n'est plus qu'en deuxième ou troisième position. Enfin pour les sites unitaires, on ne la retrouve que pour Mantes qui présente d'ailleurs un coefficient très élevé. Pour les autres sites les variables qui interviennent sont très variées. Sans doute pour les sites unitaires, la présence des eaux usées parasitent beaucoup les résultats. Il faudrait certainement introduire des variables complémentaires spécifiques aux réseaux unitaires comme le débit maximal des eaux usées pendant l'événement, ou le débit des eaux usées à l'instant où le débit total est maximal. Mais ces informations sont jusqu'à présent inexistantes, et de toute façon difficiles à mesurer.

Résultats sur la durée de ruissellement

On note aussi que les résultats sur les sites unitaires sont médiocres avec des coefficients de signification inférieurs à 0.5. Mais dans ces sites, le début d'un événement n'est pas facile à définir. Lorsque le débit commence à augmenter, cela peut provenir d'un début effectif de l'écoulement dû au ruissellement, mais cela peut aussi être une augmentation du débit d'eaux usées. Généralement, le début du ruissellement est défini quand le débit total dans le réseau atteint une valeur moyenne fixée par rapport au débit maximal moyen de temps sec. Mais lorsque le débit d'eaux usées est plus faible que cette valeur, on rate le début du ruissellement, et à l'inverse si le débit d'eaux usées dépasse cette valeur, on anticipe le début de l'écoulement. Bref, les durées de ruissellement mesurés dans les sites unitaires sont des valeurs approximatives.

Dans les réseaux séparatifs, où les écoulements de temps sec sont très limités, on obtient des coefficients de signification pour les équations de régression supérieurs à 0.79, si on ne tient pas compte de Ulis Sud (participation d'une zone agricole). De plus, les variables qui interviennent sont DP et HP.

SITE	VOLUME RUISSELÉ		DURÉE DU RUISSELLEMENT	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Mantes la Ville	110HPT -16IMTC +30	0.96	0.46HP -0.15IMTC +1.2	0.45
La Briche D11	-180DTS +1300DP +60000	0.51	-0.016DTS +8.7	0.37
La Briche DD11	1800DP +28000	0.52		
La Briche PLB	18000DP +12000 HPT +6700H7 +73DTS +8800	0.89	0.65dp +9	0.32
La Briche Phi 1400	680H7 +1300HPT +18000	0.55	-0.72HPRECED +0.25IMAX5 - 0.003DTS +12.5	0.66
La Briche Enghien	6500HPT +38000	0.31		

Tableau C.2: Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites unitaires

SITE	VOLUME RUISSELÉ		DURÉE DU RUISSELLEMENT	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Baudile poste Clichy	2056HPT -330	0.96	0.75DP +0.18HPT +1.1	0.85
Chesnay poste Clichy	930HPT -2000IMTC +1700	0.86	0.67HPT +0.078H14 -1.2IMTC +3.5	0.72
Grammont	340HPT +58DP -340	0.98	1.1DP +0.12IMAX5 +0.51	0.89

Tableau C.3: Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites mixtes et séparatifs pollués

SITE	VOLUME RUISSELÉ		DURÉE DU RUISSELLEMENT	
	Equation	R ²	Equation	R ²
Malnoue	380HPT -400	0.99	0.81DP +0.33HPT +1.0	0.93
Centre Urbain	320HPT +16H7 -565	0.91	0.5HPT +0.63DP +0.54	0.85
Vélizy Ouest	240HPT -61DP -16	0.97	0.51DP +0.22HPT +0.041H7 -0.68	0.79
Ulis Sud	620HPT +46H28 -2200	0.44	1.3HPT +0.054H28 -0.58IMTC - 0.009DTS +1.5	0.40

Tableau C.4: Equation de régression sur le volume et la durée de ruissellement pour les sites séparatifs

SITE	DÉBIT MAXIMAL	
	Equation	R ²
Mantes la Ville	29IMTC +16HPT -61	0.96
La Briche D11		
La Briche DD11		
La Briche PLB	730HPT +7500	0.46
La Briche Phi 1400	72HP +730	0.51
La Briche Enghien	-230DP +5500	0.33

Tableau C.5: Equation de régression sur le débit maximal pour les sites unitaires

SITE	DÉBIT MAXIMAL	
	Equation	R ²
Baudile poste Clichy	909IMTC -298	0.53
Chesnay poste Clichy	14HPT +73IMTC +58	0.73
Grammont	28IMTC +11HPT +7.7IMAX5 -27	0.91

Tableau C.6: Equation de régression sur le débit maximal pour les sites mixtes et séparatifs pollués

SITE	DÉBIT MAXIMAL	
	Equation	R ²
Malnoue	79IMTC +22HPT -44	0.88
Centre Urbain	35IMTC +2.7H14 +8.7IMAX5 -35	0.53
Vélizy Ouest	85IMTC -110	0.97
Ulis Sud	90IMTC +1.4H28 +9.4DP -130	0.82

Tableau C.7: Equation de régression sur le débit maximal pour les sites séparatifs

Annexe D

Estimation des masses annuelles

Définition des intervalles de confiance de la masse annuelle

Le logiciel qui établit les équations de régression le fait de manière automatique. Il introduit une variable si le coefficient de signification R^2 croît. En pratique, augmenter la complexité d'une équation augmente également la complexité de son application. Par conséquent nous n'avons conservé les variables que lorsque l'augmentation de R^2 qui en découle est supérieure à 1%. Ainsi certaines variables fournies par le logiciel n'ont pas été conservées pour Chesnay sur la concentration de MES, pour Malnoue sur la masse de MES, pour la Briche PLB sur la masse de MES, pour Vélizy sur la masse de DBO5, pour Ulis Sud sur les masses de DCO et DBO5, pour Mantes sur la concentration de MES.

Les équations que nous avons établies sont de 2 types, sur des concentrations moyennes par événement ou sur des masses rejetées par événement. L'équation la plus fiable des 2 est utilisée pour reconstituer des valeurs manquantes, afin d'obtenir une série de valeurs sur une année et de permettre ainsi le calcul de la masse annuelle. Cette dernière peut s'obtenir à partir des concentrations moyennes, ou à partir des masses par événement. On note C_j les concentrations, M_j les masses et V_j les volumes. La masse annuelle M_{an} s'écrit:

$$\begin{aligned} M_{an} &= \sum_{j=1}^M M_j \\ &= \sum_{j=1}^M V_j C_j \end{aligned} \quad \text{Eq. D.1}$$

Avec une équation de régression sur les masses, les résultats sont les valeurs estimées des M_j , et leur écart type. En supposant que les M_j sont indépendants, on peut écrire la variance de la masse annuelle:

$$\text{var} (M_{an}) = \sum_{j=1}^M \text{var} (M_j) \quad \text{Eq. D.2}$$

Avec une équation de régression sur les concentrations, les résultats sont les valeurs estimées des C_j et leur écart type. La masse annuelle n'est pas directement la somme des C_j il s'agit d'une combinaison linéaire des C_j dont les coefficients sont les volumes V_j , supposés constants pour chaque C_j dans un premier temps. En supposant les C_j indépendants, la variance de la masse annuelle s'écrit:

$$\text{var} (M_{an}) = \sum_{j=1}^M (V_j)^2 \text{var} (C_j) \quad \text{Eq. D.3}$$

Parmi les M valeurs utilisées pour obtenir la masse annuelle, N sont des valeurs observées dont la variance vaut σ^2 . D'autre part, même si les M_j ou les C_j ne suivent pas une loi normale, le nombre de valeurs utilisées pour établir la masse annuelle est grand, donc la masse annuelle suit une loi normale, et on peut calculer un intervalle de confiance.

$$\begin{aligned} & \left[\sum_{j=1}^M M_j - z \sqrt{\text{var}(M_m)} ; \sum_{j=1}^M M_j + z \sqrt{\text{var}(M_m)} \right] \\ & \left[\sum_{j=1}^M V_j C_j - z \sqrt{\text{var}(M_m)} ; \sum_{j=1}^M V_j C_j + z \sqrt{\text{var}(M_m)} \right] \end{aligned} \quad \text{Eq. D.4}$$

z est la valeur seuil pour la loi normale telle que la probabilité de dépasser cette valeur est égale à 0.05, $z=1.64$

En pratique, il n'a pas été possible d'obtenir les $V_j C_j$ sur une année à cause de valeurs manquantes de V_j . Par conséquent, elles ont été reconstituées par des équations de régression. Dans ce cas, l'équation D.3 n'est plus valable, il faut calculer les variances du produit $V_j C_j$, où V_j et C_j sont des variables aléatoires. Si elles sont indépendantes, on a:

$$\text{var}(V_j C_j) = \mu_{V_j}^2 \text{var}(C_j) + \mu_{C_j}^2 \text{var}(V_j) + \text{var}(V_j) \text{var}(C_j) \quad \text{Eq. D.5}$$

D'après les hypothèses faites sur le modèle de régression, les moyennes sont les valeurs estimées par la régression:

$$\mu_{C_j} = \hat{C}_j \quad \text{et} \quad \mu_{V_j} = \hat{V}_j \quad \text{Eq. D.6}$$

La variance de la masse annuelle s'écrit alors:

$$\text{var}(M_m) = \sum_{j=1}^M \hat{V}_j^2 \text{var}(C_j) + \sum_{j=1}^M \hat{C}_j^2 \text{var}(V_j) + \sum_{j=1}^M \text{var}(V_j) \text{var}(C_j) \quad \text{Eq. D.7}$$

Masses annuelles totales et masses annuelles spécifiques

Les tableaux D.1 à D.6 indiquent pour chaque site, pour chaque méthode (Méth.):

- * la borne inférieure (borne inf.) et la borne supérieure (borne sup.) de l'intervalle de confiance à 90%, pour la méthode A cet intervalle n'a pas été évalué
- * la valeur estimée (valeur est.)
- * le coefficient de signification R^2 des équations de régression sur la concentration pour les méthodes B et B', sur la masse pour les méthodes C et C', sur le volume pour la méthode A
- * la longueur, en mois, des séries ayant servi au calcul (DR)
- * le nombre de valeurs manquantes dans la série (Nbre manq.)
- * le rapport du nombre de valeurs manquantes sur le nombre de valeurs utilisées (Manq / Util)
- * le nombre de valeurs utilisées (Nbre util.)
- * le nombre de mesures parmi les valeurs utilisées (Nbre mes.)

Les tableaux D.7 à D.9 présentent les valeurs des masses annuelles calculées par la méthode A sur des séries d'événement de longueurs différentes.

Les tableaux D.10 à D.13 présentent les valeurs des masses annuelles finalement retenues, ainsi que les masses annuelles ramenées à des caractéristiques spécifiques.

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq .	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valeur est.	borne sup.						
Sites séparatifs										
Vélizy	A		28,3		0,94	14,4	0	0	141	22
	B'	19,9	26,0	32,2	0,54	12,1	1	0,01	120	22
Centre Urbain	A		35,1		0,69	14,0	0	0	144	25
	B	45,2	54,8	64,3	0,45	5,4	0	0	57	16
	B'	53,2	67,0	82,0	0,45	11,6	1	0,01	123	21
Ulis Sud	C	66,9	71,2	75,6	0,25	13,1	0	0	136	23
	A		117		0,77	11,9	0	0	130	31
	B'	163	179	196	0,48	10,4	0	0	123	31
Mal noue	C'	158	178	198	0,91	9,3	4	0,04	108	28
	A		51,3		0,92	15,2	2	0,01	176	26
Sites séparatifs pollués et mixtes										
Grammont	A		44,3		0,88	15,2	0	0	162	27
	B	55,2	68,8	82,5	0,28	3,9	1	0,02	58	21
	B'	58,4	67,3	76,3	0,28	9,7	1	0,01	114	16
Chesnay	A		223		0,58	11,7	0	0	163	22
	B	145	169	193	0,68	6,0	0	0	41	22
	B'	133	219	314	0,68	11,3	11	0,09	121	22
	C	291	308	325	0,26	11,5	10	0,07	145	22
Baudile	A		257		0,72	11,3	0	0	185	27
	B	386	462	534	0,21	6,7	8	0,12	68	26
	B'	433	528	627	0,21	11,5	15	0,09	163	27
	C	644	663	683	0,52	11,8	19	0,11	166	27

Tableau D.1: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la MES et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq.	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valeur est.	borne sup.						
Mantes	A		24.7		0.90	10.7	0	0	234	25
	B'	24.9	31.9	39.6	0.88	3.3	6	0.07	84	19
DD11	A		2050		0,32	10,0	0	0	96	16
	C	1950	2010	2070	0,67	9,0	5	0,06	89	12
D11	A		1890		0,28	10,1	0	0	93	17
	C'	2630	3840	5200	0,72	4,3	1	0,02	66	13
PHI	A		1310		0,23	9,8	0	0	90	18
	B'	999	1110	1180	0,37	6,8	1	0,02	57	16
Enghien	A		1950		0,31	10,2	0	0	96	17
	B'	1670	2360	2960	0,76	9,2	3	0,03	88	15
	C	1540	1630	1730	0,53	9,0	3	0,03	87	16
PLB	A		10100		0,49	9,9	0	0	93	18
	B'	6680	9990	14100	0,73	6,4	0	0	58	15
	C'	7510	10800	14100	0,91	7,2	0	0	64	17

Tableau D.2: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la MES et pour les sites unitaires

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq.	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valeur est.	borne sup.						
Sites séparatifs										
Vélizy	A		36,3		0,94	14,4	0	0	141	22
	B'	14,0	16,1	18,1	0,57	14,4	3	0,02	138	22
Centre Urbain	A		33,0		0,69	14,0	0	0	144	25
	B	29,0	32,7	36,4	0,31	5,4	0	0	57	17
	B'	21,7	25,6	29,8	0,31	10,6	4	0,03	118	22
Ulis Sud	C	26,1	26,8	27,5	0,50	13,1	0	0	135	23
	A		29,3		0,77	11,9	0	0	130	31
	B'	43,7	47,7	51,9	0,73	9,4	3	0,03	110	30
Mal noue	C'	39,2	43,1	47,1	0,89	10,0	0	0	119	30
	A		42,2		0,92	15,2	2	0,01	176	26
	B'	115	133	150	0,91	6,3	1	0,01	78	13
Sites séparatifs pollués et mixtes										
Grammont	A		42,2		0,88	15,2	0	0	162	27
	B	47,5	58,3	69,2	0,43	2,8	2	0,04	53	16
	B'	48,4	55,6	63,1	0,43	9,0	1	0,01	104	16
	C	58,0	62,7	67,4	0,86	2,4	0	0	42	13
	C'	29,2	32,4	35,7	0,86	12,0	2	0,02	100	20
Chesnay	A		261		0,58	11,7	0	0	163	22
	B	168	195	222	0,91	6,4	0	0	45	21
	B'	144	239	343	0,91	11,3	11	0,09	121	22
	C	264	271	279	0,48	11,5	10	0,07	145	22
Baudile	A		283		0,72	11,3	0	0	185	27
	B	364	381	398	0,97	6,7	8	0,12	68	26
	B'	316	361	410	0,97	11,5	15	0,09	163	27
	C	337	361	386	0,82	6,7	11	0,17	65	26

Tableau D.3: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la DCO et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq.	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valor est.	borne sup.						
Mantes	A		14,0		0,90	10,7	0	0	234	25
	B'	15,2	16,4	17,2	0,40	11,3	0	0	227	25
DD11	A		1980		0,32	10,0	0	0	96	16
D11	A		2150		0,28	10,1	0	0	93	17
	B'	2630	3630	4710	0,35	3,3	0	0	47	9
PHI	A		1820		0,23	9,8	0	0	90	18
	B'	1560	1690	1750	0,41	6,8	1	0,02	57	16
Enghien	A		2790		0,31	10,2	0	0	96	17
	B'	1440	2150	2190	0,64	9,2	2	0,02	88	15
PLB	A		11900		0,49	9,9	0	0	93	18
	B'	11400	14100	16900	0,31	7,2	0	0	64	17
	C'	11100	13200	15500	0,55	7,2	0	0	64	17

Tableau D.4: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la DCO et pour les sites unitaires

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq.	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valeur est.	borne sup.						
Sites séparatifs										
Vélizy	A		15,30		0,94	14,4	0	0	141	22
	B'	4,88	5,39	5,86	0,68	13,6	1	0,01	131	22
	C	4,71	4,81	4,91	0,92	12,2	20	0,19	107	20
Centre Urbain	A		3,11		0,69	14,0	0	0	144	25
	B	3,06	3,78	4,49	0,13	5,0	0	0	51	17
	B'	2,99	3,60	4,24	0,13	11,2	2	0,02	116	22
	C	3,57	4,17	4,76	0,79	5,4	0	0	55	17
	C'	3,40	3,89	4,38	0,79	10,9	2	0,02	111	21
Ulis Sud	A		3,97		0,77	11,9	0	0	130	31
	B'	5,34	5,98	6,66	0,74	9,9	4	0,04	112	29
	C'	4,67	5,04	5,42	0,90	10,5	0	0	125	31
Mal noue	A		6,45		0,92	15,2	0	0	176	26
	B	6,34	8,63	10,9	0,73	3,2	0	0	36	12
	B'	10,9	12,60	14,4	0,73	7,6	2	0,02	83	13
	C	6,21	7,40	8,58	0,69	5,8	1	0,02	47	15
Sites séparatifs pollués et mixtes										
Gram mont	A		8,1		0,88	15,2	0	0	162	27
	B	13,4	16,3	19,2	0,57	2,8	2	0,04	53	16
	B'	13,8	15,6	17,5	0,57	10,4	2	0,02	115	16
	C	19,5	20,9	22,2	0,85	2,8	3	0,06	52	16
	C'	9,7	11,0	12,3	0,85	13,4	3	0,03	119	21
Chesnay	A		42,3		0,58	11,7	0	0	163	22
	B	27,5	36,4	45,2	0,83	6,2	0	0	43	21
	B'	28,8	46,2	62,6	0,83	7,9	0	0	72	22
	C	36,4	45,7	55,1	0,57	5,6	0	0	58	17
Baudile	A		120		0,72	11,3	0	0	185	27

Tableau D.5: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la DBO5 et pour les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Méth	Masse annuelle, en tonnes			R ²	Durée en mois	Nbre manq.	Manq /util	Nbre util.	Nbre mes.
		borne inf.	valeur est.	borne sup.						
Mantes	A		3,42		0,90	10,7	0	0	234	25
	B'	3,98	4,81	5,65	0,19	10,4	1	0	231	25
	C	5,97	6,16	6,35	0,54	10,7	0	0	234	25
DD11	A		711		0,32	10,0	0	0	96	16
	B'	636	878	1130	0,61	9,0	5	0,06	89	12
	C	675	695	714	0,80	9,0	5	0,06	89	12
D11	A		930		0,28	10,1	0	0	93	17
	B'	1100	1420	1780	0,31	4,9	1	0,01	71	13
PHI	A		864		0,23	9,8	0	0	90	18
	B'	552	655	766	0,43	6,8	1	0,02	57	16
	C'	628	711	797	0,21	6,5	1	0,02	59	16
Enghien	A		1130		0,31	10,2	0	0	96	17
PLB	A		4830		0,49	9,9	0	0	93	18
	C'	3720	5080	6520	0,88	7,2	0	0,00	64	17

Tableau D.6: Masses annuelles estimées et intervalles de confiance à 90% pour la DBO5 et pour les sites unitaires

Site	MES		DCO		DBO5	
	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois
Vélizy	28.9 - 31.9	12	36.5 - 41.2	12	15.7 - 17.2	12
	26.1	12.1	36.3	14.4	15.5	12.2
	28.3	14.4			12.7	13.6
					15.3	14.4
Centre Urbain	40.1	5.4	38.5	5.4	3.98	5
	40.7	11.6	38.1	10.6	3.76	5.4
	32.2 - 36.8	12	28 - 30.9	12	3.73	10.9
	36.8	13.1	33.5	13.1	3.75	11.2
	35.1	14	33	14	2.85 - 3.29	12
				3.11	14	
Ulis Sud	141	9.3	29.7	9.4	4.09	9.9
	119	10.4	34.4	10	4.43	10.5
	117	11.9	29.3	11.9	3.97	11.9
Malnoue	49.4 - 53.4	12	50.6	6.3	7.17	3.2
	51.3	15.2	38.7- 43.5	12	5.9	5.8
			42.2	15.2	7.1	7.6
					6.13 - 6.59	12
				6.45	15.2	

Tableau D.7: Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites séparatifs

Site	MES		DCO		DBO5	
	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois
Grammont	66.8	3.9	60.3	2.4	14.3	2.8
	56.2	9.7	63.6	2.8	10.3	10.4
	42.4 - 47	12	51.1	10.4	7.60 - 8.55	12
	44.3	15.2	38.4 - 44.7	12	8.02	13.4
			36.1	13.4	8.1	15.2
Chesnay			42.2	15.2		
	164	6	194	6	31.5	5.6
	151	11.3	179	11.3	27.0	6.2
	157	11.5	184	11.5	25.1	7.9
	223	11.7	261	11.7	42.3	11.7
Baudile	423	6.7	465	6.7	120	11.3
	256	11.5	283	11.3		
	240	11.8	281	11.5		

Tableau D.8: Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites séparatifs pollués et mixtes

Site	MES		DCO		DBO5	
	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois	Man tonne	durée mois
Mantes	32.5	3.3	14	10.7	3.17	10.4
	24.7	10.7	11.9	11.3	3.42	10.7
DD11	2110	9	1980	10	734	9
	2050	10			711	10
D11	3120	4.3	3220	3.3	1470	4.9
	1890	10.1	2150	10.1	930	10.1
PHI	1180	6.8	1620	6.8	774	6.8
	1310	9.8	1820	9.8	829	6.5
					864	9.8
Enghien	1870	9	2880	9.2	1130	10.2
	1960	9.2	2790	10.2		
	1950	10.2				
PLB	9420	6.4	11340	7.2	4630	7.2
	9630	7.2	11900	9.9	4830	9.9
	10100	9.9				

Tableau D.9: Calcul de la masse annuelle par la méthode A sur différentes séries de 12 mois (valeur minimale-valeur maximale), et sur des séries de longueur différentes, pour les sites unitaires

Sites	Masses annuelles totales en tonne			Masses annuelles par habitant en kg/hab		
	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
sites séparatifs						
Aix Zup	17	12	1,7	6,5	4,5	0,65
Aix Nord	25	14	2,2	6,9	3,8	0,6
Maurepas	23	10	1,5	8,6	3,9	0,58
Vélizy	26	16	4,8	5,2	3,2	1,0
Centre Urbain	32	27	3,9			
Ulis Sud	180	43	5			
Malnoue	51	130	13	4,8	12,1	1,2
sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	41	20	3,8	2,7	1,3	0,25
Grammont	45	32	11	4,2	3,0	1,0
Chesnay	220	240	46	4,1	4,5	0,9
Baudile	660	360	120	13,1	7,1	2,4
sites unitaires						
Mantes	25	14	6,2	5,2	2,9	1,3
DD11	2010	1980	695			
D11	1890	2150	930			
PHI	1310	1820	860			
Enghien	2360	2150	1130			
PLB	10800	13200	5080			

Tableau D.10: Valeurs des masses annuelles totales et des masses annuelles par habitant

Sites	Masses par millimètre en kg/mm			Masses par millimètre et par habitant en g/mm/hab		
	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
sites séparatifs						
Aix Zup	21	15	2,1	8,2	5,9	0,8
Aix Nord	31	17	2,7	8,4	4,6	0,7
Maurepas	18	8,3	1,2	6,7	3,1	0,4
Vélizy Ouest	53	68	29	10,6	13,6	5,8
Centre Urbain	55	46	4,9			
Ulis Sud	227	57	7,7			
Malnoue	94	54	10	8,8	5,0	0,9
sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	63	30	5,7	4,2	2,0	0,4
Grammont	71	50	12	6,7	4,7	1,1
Chesnay	250	280	47	4,7	5,2	0,9
Baudile	580	610	270	11,5	12,1	5,4
sites unitaires						
Mantes	64	36	8,8	13,3	7,5	1,8
DD11	2200	2000	700			
D11	2400	2600	1200			
PHI	2900	3900	1900			
Enghien	2700	5300	2000			
PLB	17600	21000	9400			

Tableau D.11: Valeurs des masses annuelles par millimètres et par millimètre par habitant

Sites	Masses annuelles par hectare en kg/ha			Masses annuelles par hectare imperméabilisé en kg/ha imp		
	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
sites séparatifs						
Aix Zup	650	450	65	830	580	83
Aix Nord	270	150	24	780	440	69
Maurepas	860	390	58	1400	650	96
Vélizy	489	301	90	910	560	170
Centre Urbain	153	119	17	640	490	72
Ulis Sud	2600	622	72	6360	1520	180
Malnoue	278	703	70	790	2010	200
sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	960	460	87	2300	1100	210
Grammont	310	222	76	1240	890	310
Chesnay	393	429	82	2070	2260	430
Baudile	576	314	105	1920	1050	350
site unitaire						
Mantes	347	194	86	890	500	220

Tableau D.12: Valeurs des masses annuelles par hectare et par hectare imperméabilisé

Sites	Masses par millimètre et par hectare en kg/mm/ha			Masses par millimètre et par hectare imperméabilisé en kg/mm/ha imp		
	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5
sites séparatifs						
Aix Zup	0,82	0,59	0,08	1,05	0,75	0,11
Aix Nord	0,34	0,18	0,03	0,96	0,53	0,08
Maurepas	0,7	0,31	0,04	1,12	0,52	0,07
Vélizy	0,99	1,28	0,54	1,84	2,36	1,01
Centre Urbain	0,24	0,20	0,02	1,01	0,85	0,09
Ulis Sud	3,29	0,82	0,11	8,01	2,01	0,27
Malnoue	0,51	0,29	0,05	1,45	0,83	0,15
sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	1,46	0,70	0,13	3,48	1,66	0,31
Grammont	0,49	0,35	0,08	1,97	1,39	0,33
Chesnay	0,45	0,50	0,08	2,35	2,63	0,44
Baudile	0,51	0,53	0,24	1,69	1,78	0,79
site unitaire						
Mantes	0,89	0,50	0,12	2,28	1,28	0,31

Tableau D.13: Valeurs des masses annuelles par millimètre par hectare et par millimètre par hectare imperméabilisé

Annexe E

Les événements les plus pollués

Concentration moyenne et masse par événement les plus grandes

Les tableaux E.1 à E.3 présentent les concentrations moyennes par événement les plus fortes mesurées sur chaque site.

Les tableaux E.4 à E.6 présentent les masses rejetées par événement les plus fortes mesurées sur chaque site.

Site	Maximum des concentrations moyennes par événement en mg/l						
	MES	DCO	DBO5	MES ad2	DCOad2	DBO5ad2	MVS
Sites séparatifs							
Aix Zup	2010	1220	745		520	160	430
Aix Nord	3780	1260	300		570	86	1150
Maurepas	890	590	110		180	95	280
Vélizy	1150	650	159	900	470	78	
Centre Urbain	645	880	48	372	110	22	460
Ulis Sud	1480	500	87	545	220	33	
Malnoue	1300	1500	170	95	480	32	880
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	2475	2715	670		280	82	1560
Grammont	840	2410	250	295	540	56	310
Chesnay	2065	2660	820	103	650	35	800
Baudile	780	930	620	79	110	42	505
Sites unitaires							
Mantes	1760	1070	290	300	560	180	
DD11	950	920	395				
D11	695	840	255				
PHI1400	760	1120	480				
Enghien	740	920	315				
PLB	900	940	260				

Tableau E.1: Maximum des concentrations moyennes par événement

Site	Maximum des concentrations moyennes par événement en µg/l						
	Plomb	Cadmium	Zinc	Cuivre	Chrome	Mercure	Nickel
Sites séparatifs							
Aix Zup	835	5.4	908		31	11	68
Aix Nord	1125	7.3	1560		86	23	59
Maurepas	440	65	45	75	25	26	1230
Vélizy	1440						
Centre Urbain	820	17	1011			3.4	
Ulis Sud	1420	17	5310	170	50	29	
Malnoue	880	13	1280			0.9	
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	730	47	18	61	106	17	1920
Grammont	422	10	300			1.4	
Chesnay	600	9.6	1460			4.4	
Baudile	771	9.1	1390			2.2	
Sites unitaires							
Mantes	830	28	6270				
DD11	930	20	4400			29	
D11	1150	32	4440				
PHI1400	1330	34	2700			4.2	
Enghien	610	24	2570			6.9	
PLB	680	70	3600			27	

Tableau E.2: Maximum des concentrations moyennes par événement (suite)

Site	Maximum des concentrations moyennes par événement en mg/l						
	Azote Kjeldhal	Azote ammoniacal	Nitrate	Ortho phosphate	Phosphore total	Hydrocarbure	Carbone organique total
Sites séparatifs							
Aix Zup	40	6.8	75	6.0	3.6	16	
Aix Nord	33	1.6	16	4.1	3.4	5.1	
Maurepas	11	5.1	15	5.6	5.2	43	
Vélizy				0.4		159	
Centre Urbain						7.2	42
Ulis Sud	48	6.8	30			26	150
Malnoue						7.0	17
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	35	14	7.8	6.2	9.9	67	
Grammont						18	
Chesnay						9.2	90
Baudile						7.0	45
Sites unitaires							
Mantes	73	84	7.6			38	
DD11						114	
D11						172	
PHI1400						320	
Enghien						84	
PLB						210	

Tableau E.3: Maximum des concentrations moyennes par événement (suite)

Site	Maximum des masses par événement en kg						
	MES	DCO	DBO5	MES ad2	DCO ad2	DBO5ad2	MVS
Sites séparatifs							
Aix Zup	1460	840	580		320	55	660
Aix Nord	6600	3770	270		330	54	6830
Maurepas	2080	1190	174		340	152	1015
Vélizy	2700	1110	180	1660	460	57	
Centre Urbain	1900	2510	350	344	254	42	730
Ulis Sud	10520	2220	210	3690	1110	88	
Malnoue	5320	2900	545	612	350	110	1974
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	2845	1070	160		160	56	833
Grammont	2330	1425	270	700	360	98	1060
Chesnay	6110	9860	1280	1125	1130	318	4790
Baudile	16200	17370	7700	2565	3250	960	10030
Sites unitaires							
Mantes	1540	580	55	116	94	37	
DD11	38500	30000	14570				
D11	43600	49100	13500				
PHI	16400	26300	9450				
Enghien	44000	44600	16200				
PLB	144000	165000	62300				

Tableau E.4: Maximum des masses rejetées par événement

Site	Maximum des masses par événement en g						
	Plomb	Cadmium	Zinc	Cuivre	Chrome	Mercuré	Nickel
Sites séparatifs							
Aix Zup	540	14	1714		11	75	105
Aix Nord	5410	21	9864		240	67	210
Maurepas	3190	181	17	300	130	19	15370
Vélizy	1000						
Centre Urbain	2650	51	2980			23	
Ulis Sud	6180	67	9730	1060	530	215	
Malnoue	3520	93	12830			10	
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	1920	159	28	111	39	13	2550
Grammont	1555	118	2980			3	
Chesnay	2810	127	8720			26	
Baudile	20930	223	43530			86	
Sites unitaires							
Mantes	490	24	1860				
DD11	40630	903	132800			560	
D11	70670	2600	230000			480	
PHI	35950	919	54200			110	
Enghien	51330	1678	94600			470	
PLB	136000	15040	804000			3000	

Tableau E.5: Maximum des masses rejetées par événement (suite)

Site	Maximum des masses par événement en kg						
	Azote Kjeldhal	Azote ammoniacal	Nitrate	Ortho phosphate	Phosphore total	Hydro carbure	Carbone organique total
Sites séparatifs							
Aix Zup	25	8.1	100	5.0	7.0	15	
Aix Nord	48	5.7	25	2.3	5.4	11	
Maurepas	60	22	100	7.9	14	47	
Vélizy				0.3		180	
Centre Urbain						8	70
Ulis Sud	94	17	310			34	590
Malnoue						47	160
Sites séparatifs pollués et mixtes							
Ulis Nord	35	55	13	5.4	13	80	
Grammont						34	
Chesnay						85	150
Baudile						144	1270
Sites unitaires							
Mantes	19	21	3.0			11	
DD11						4220	
D11						13500	
PHI1400						9560	
Enghien						6320	
PLB						62230	

Tableau E.6: Maximum des masses rejetées par événement (suite)

Pourcentage de correspondance entre les concentrations moyennes par événement ou les masses et les caractéristiques pluviométriques et hydrauliques des événements les 5 plus importants

Tableau E.7 à E.10 : Pourcentages de correspondance entre les concentrations et les caractéristiques des événements

Tableau E.11 à E.14 : Pourcentages de correspondance entre les masses et les caractéristiques des événements

Variables:

hp: Hauteur de pluie précipitée
imtc: Intensité moyenne maximale sur le temps de concentration
imax5: Intensité moyenne maximale sur 5 minutes
dts: Durée de temps sec antécédent
vr: Volume écoulé
qmax: Débit de pointe
qmoy: Débit moyen

Classement des variables par catégorie:

Antécédent: dts
Intensité: imtc, imax5, qmax, qmoy
Volume: hp, vr

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec						
				hp	imtc	imax5	dts	vr	qmax	qmoy
MES	Séparatif	7	395	14	26	20	23	14	34	26
	Séparatif pollué	4	224	5	20	20	45	5	20	15
	Unitaire	6	86	33	7	37	57	30	30	40
DCO	Séparatif	7	389	6	9	11	29	6	11	9
	Séparatif pollué	4	220	0	5	20	35	0	10	10
	Unitaire	6	86	27	3	40	67	23	27	30
DCO ad2	Séparatif	7	241	17	26	23	37	20	23	20
	Séparatif pollué	4	66	45	45	50	60	45	50	50
DBO5	Séparatif	7	378	3	6	6	43	6	3	3
	Séparatif pollué	4	212	5	0	10	35	0	10	10
	Unitaire	6	86	20	3	33	63	20	23	20
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	17	29	26	46	26	29	26
	Séparatif pollué	4	67	50	50	55	60	50	55	55
MVS	Séparatif	5	215	8	28	28	32	8	24	16
	Séparatif pollué	4	96	30	35	35	60	30	40	35

Tableau E7: Pourcentages de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables les 5 plus fortes

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec						
				hp	lmtc	imax5	dts	vr	qmax	qmoy
HC	Séparatif	7	160	26	34	40	63	26	31	29
	Séparatif pollué	4	71	25	30	35	55	35	25	25
	Unitaire	6	86	27	3	33	37	40	27	30
Plomb	Séparatif	7	173	9	23	23	23	11	17	14
	Séparatif pollué	4	87	40	50	50	40	35	45	45
	Unitaire	6	86	23	10	40	57	23	43	37
Cadmium	Séparatif	6	152	33	47	43	37	33	50	43
	Séparatif pollué	4	56	50	65	60	55	55	60	60
	Unitaire	6	86	33	10	40	43	33	40	43
Zinc	Séparatif	6	161	23	37	40	47	27	33	27
	Séparatif pollué	4	59	45	40	45	50	45	45	45
	Unitaire	6	86	37	10	30	63	33	33	43
Mercure	Séparatif	6	103	50	47	40	40	43	47	47
	Séparatif pollué	4	30	35	40	35	40	35	40	45
	Unitaire	5	62	40	0	40	48	36	32	44

Tableau E.8: Pourcentages de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables les 5 plus fortes, suite

Paramètre	Type de sites	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec la catégorie		
				Antécédent	Intensité	Volume
MES	Séparatif	7	395	23	37	14
	Séparatif pollué	4	224	45	35	5
	Unitaire	6	86	57	60	40
DCO	Séparatif	7	389	29	20	6
	Séparatif pollué	4	220	35	20	0
	Unitaire	6	86	67	53	33
DCO ad2	Séparatif	7	241	37	40	20
	Séparatif pollué	4	66	60	60	45
DBO5	Séparatif	7	378	43	11	6
	Séparatif pollué	4	212	35	10	5
	Unitaire	6	86	63	50	27
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	46	49	26
	Séparatif pollué	4	67	60	65	50
MVS	Séparatif	5	215	32	40	8
	Séparatif pollué	4	96	60	45	30
HC	Séparatif	7	160	63	46	29
	Séparatif pollué	4	71	55	40	35
	Unitaire	6	86	37	47	43
Plomb	Séparatif	7	173	23	29	11
	Séparatif pollué	4	87	40	65	45
	Unitaire	6	86	57	63	30
Cadmium	Séparatif	6	152	37	67	33
	Séparatif pollué	4	56	55	65	55
	Unitaire	6	86	43	63	43
Zinc	Séparatif	6	161	47	57	27
	Séparatif pollué	4	59	50	55	45
	Unitaire	6	86	63	60	47
Mercure	Séparatif	6	103	40	60	50
	Séparatif pollué	4	30	40	60	35
	Unitaire	5	62	48	60	48

Tableau E.9 : Pourcentages de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables d'une même catégorie

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec les associations		
				Antécédent ou Volume	Antécédent ou Intensité	Volume ou Intensité
MES	Séparatif	7	395	31	51	37
	Séparatif pollué	4	224	50	70	35
	Unitaire	6	86	80	87	63
DCO	Séparatif	7	389	31	43	20
	Séparatif pollué	4	220	35	50	20
	Unitaire	6	86	80	87	57
DCO ad2	Sépartif	7	241	46	51	43
	Séparatif pollué	4	66	65	70	60
DBO5	Séparatif	7	378	46	49	14
	Séparatif pollué	4	212	40	40	15
	Unitaire	6	86	73	80	53
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	60	69	51
	Séparatif pollué	4	67	65	70	65
MVS	Séparatif	5	215	40	56	40
	Séparatif pollué	4	96	70	80	50
HC	Séparatif	7	160	69	69	51
	Séparatif pollué	4	71	70	75	50
	Unitaire	6	86	63	67	53
Plomb	Séparatif	7	173	31	37	29
	Séparatif pollué	4	87	70	85	65
	Unitaire	6	86	70	87	67
Cadmium	Séparatif	6	152	50	70	67
	Séparatif pollué	4	56	70	70	70
	Unitaire	6	86	73	83	70
Zinc	Séparatif	6	161	53	63	57
	Séparatif pollué	4	59	60	65	55
	Unitaire	6	86	87	93	67
Mercure	Séparatif	6	103	67	63	67
	Séparatif pollué	4	30	45	60	60
	Unitaire	5	62	72	76	72

Tableau E.10: Pourcentages de correspondance entre les concentrations moyennes par événement et les variables de deux catégories

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec						
				hp	lmtc	imax5	dts	vr	qmax	qmoy
MES	Séparatif	7	395	40	57	34	14	46	63	43
	Séparatif pollué	4	224	40	45	40	10	40	45	35
	Unitaire	6	86	47	10	43	47	47	47	53
DCO	Séparatif	7	389	34	37	23	11	43	43	31
	Séparatif pollué	4	220	30	35	35	15	40	50	35
	Unitaire	6	86	43	10	37	43	47	47	47
DCO ad2	Séparatif	7	241	60	54	37	29	71	57	51
	Séparatif pollué	4	66	70	60	60	55	80	60	50
DBO5	Séparatif	7	378	43	34	23	17	51	43	37
	Séparatif pollué	4	212	35	10	20	25	30	30	35
	Unitaire	6	86	40	10	33	47	47	37	40
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	49	37	20	26	63	43	51
	Séparatif pollué	4	67	80	70	70	55	75	65	65
MVS	Séparatif	5	215	64	60	64	12	68	68	52
	Séparatif pollué	4	96	50	60	60	50	60	75	60

Tableau E.11: Pourcentages de correspondance entre les masses par événement et les variables les 5 plus fortes

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec						
				hp	imtc	imax5	dts	vr	qmax	qmoy
HC	Séparatif	7	160	51	54	49	51	54	57	46
	Séparatif pollué	4	71	65	75	65	40	85	75	70
	Unitaire	6	86	47	10	40	33	60	43	43
Plomb	Séparatif	7	173	43	49	37	17	60	54	51
	Séparatif pollué	4	87	60	65	65	45	75	80	60
	Unitaire	6	86	60	10	40	37	60	60	63
Cadmium	Séparatif	6	152	57	63	50	30	70	70	70
	Séparatif pollué	4	56	60	60	60	50	70	70	60
	Unitaire	6	86	53	10	37	33	60	47	60
Zinc	Séparatif	6	161	60	63	50	33	77	67	67
	Séparatif pollué	4	59	65	55	55	50	75	60	50
	Unitaire	6	86	50	10	33	47	57	43	57
Mercure	Séparatif	6	103	63	57	50	40	67	60	60
	Séparatif pollué	4	30	45	45	40	40	45	50	50
	Unitaire	5	62	48	0	48	48	52	44	60

Tableau E.12: Pourcentages de correspondance entre les masses par événement et les variables les 5 plus fortes, suite

Paramètre	Type de sites	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec la catégorie		
				Antécédent	Intensité	Volume
MES	Séparatif	7	395	14	69	46
	Séparatif pollué	4	224	10	65	45
	Unitaire	6	86	47	73	53
DCO	Séparatif	7	389	11	51	43
	Séparatif pollué	4	220	15	55	40
	Unitaire	6	86	43	70	53
DCO ad2	Séparatif	7	241	29	66	74
	Séparatif pollué	4	66	55	65	80
DBO5	Séparatif	7	378	17	54	54
	Séparatif pollué	4	212	25	45	35
	Unitaire	6	86	47	63	50
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	26	66	66
	Séparatif pollué	4	67	55	75	80
MVS	Séparatif	5	215	12	72	68
	Séparatif pollué	4	96	50	80	60
HC	Séparatif	7	160	51	69	63
	Séparatif pollué	4	71	40	85	85
	Unitaire	6	86	33	67	63
Plomb	Séparatif	7	173	17	54	63
	Séparatif pollué	4	87	45	90	80
	Unitaire	6	86	37	83	70
Cadmium	Séparatif	6	152	30	80	70
	Séparatif pollué	4	56	50	70	70
	Unitaire	6	86	33	73	67
Zinc	Séparatif	6	161	33	73	77
	Séparatif pollué	4	59	50	65	75
	Unitaire	6	86	47	70	63
Mercure	Séparatif	6	103	40	70	70
	Séparatif pollué	4	30	40	70	45
	Unitaire	5	62	48	72	64

Tableau E.13 : Pourcentages de correspondance entre les masses par événement et les variables d'une même catégorie

Paramètre	Type de site	Nb sites	Nb mesures	% de correspondance avec les associations		
				Antécédent ou Volume	Antécédent ou Intensité	Volume ou Intensité
MES	Séparatif	7	395	51	77	77
	Séparatif pollué	4	224	55	75	70
	Unitaire	6	86	80	90	77
DCO	Séparatif	7	389	49	57	60
	Séparatif pollué	4	220	55	65	70
	Unitaire	6	86	80	90	73
DCO ad2	Séparatif	7	241	80	71	86
	Séparatif pollué	4	66	85	75	80
DBO5	Séparatif	7	378	66	66	74
	Séparatif pollué	4	212	60	60	65
	Unitaire	6	86	80	83	70
DBO5 ad2	Séparatif	7	199	71	71	80
	Séparatif pollué	4	67	85	75	90
MVS	Séparatif	5	215	80	80	92
	Séparatif pollué	4	96	80	95	90
HC	Séparatif	7	160	86	83	83
	Séparatif pollué	4	71	85	90	100
	Unitaire	6	86	73	80	77
Plomb	Séparatif	7	173	71	63	69
	Séparatif pollué	4	87	85	95	95
	Unitaire	6	86	90	93	90
Cadmium	Séparatif	6	152	73	80	87
	Séparatif pollué	4	56	75	70	80
	Unitaire	6	86	83	87	83
Zinc	Séparatif	6	161	80	77	83
	Séparatif pollué	4	59	80	70	75
	Unitaire	6	86	87	90	77
Mercure	Séparatif	6	103	83	73	80
	Séparatif pollué	4	30	55	70	70
	Unitaire	5	62	84	84	84

Tableau E.14: Pourcentages de correspondance entre les masses par événement et les variables de deux catégories

Annexe F

Répartition des masses en cours d'événement

Position des pointes des pollutogrammes et des hydrogrammes

Tableau F.1: Comparaison de la position des pointes des hydrogrammes et des pollutogrammes en MES

Tableau F.2: Comparaison de la position des pointes des hydrogrammes et des pollutogrammes en DCO

Tableau F.3: Comparaison de la position des pointes des hydrogrammes et des pollutogrammes en DBO5

Site	Position de la pointe de concentration par rapport à la pointe de débit			Nb pollutogrammes
	avance	coïncidence	retard	
% du nombre de pollutogrammes				
Sites séparatifs				
Aix Zup	70	15	15	20
Aix Nord	75	8	17	12
Maurepas	65	17	22	23
Vélizy	44	39	17	18
Centre Urbain	60	20	20	5
Ulis Sud	30	40	30	10
Malnoue	33	67	0	9
Sites séparatifs pollués				
Ulis Nord	64	36	0	14
Grammont	43	43	14	7
Chesnay	40	20	40	5
Baudile	80	20	0	5
Sites unitaires				
Mantes	67	22	11	9
DD11	56	25	19	16
D11	47	18	35	17
PHI	72	17	11	18
Enghien	88	0	12	17
PLB	50	17	33	18

Tableau F.1: Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour les MES

Site	Position de la pointe de concentration par rapport à la pointe de débit			Nb pollutogrammes
	avance	coïncidence	retard	
% du nombre de pollutogrammes				
Sites séparatifs				
Aix Zup	85	10	5	20
Aix Nord	75	8	17	12
Maurepas	78	13	9	23
Vélizy	61	28	11	18
Centre Urbain	80	0	20	5
Ulis Sud	50	40	10	10
Malnoue	56	44	0	9
Sites séparatifs pollués				
Ulis Nord	71	21	7	14
Grammont	57	29	14	7
Chesnay	60	40	0	5
Baudile	100	0	0	5
Sites unitaires				
Mantes	67	22	11	9
DD11	75	13	13	16
D11	59	29	12	17
PHI	83	11	6	18
Enghien	88	0	12	17
PLB	56	17	28	18

Tableau F.2: Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour la DCO

Site	Position de la pointe de concentration par rapport à la pointe de débit			Nb pollutogrammes
	avance	coïncidence	retard	
% du nombre de pollutogrammes				
Sites séparatifs				
Aix Zup	79	16	5	19
Aix Nord	78	0	22	9
Maurepas	78	13	9	23
Vélizy	53	21	26	19
Centre Urbain	100	0	0	5
Ulis Sud	60	20	20	10
Malnoue	67	33	0	9
Sites séparatifs pollués				
Ulis Nord	71	14	14	14
Grammont	71	29	0	7
Chesnay	80	20	0	5
Baudile	100	0	0	5
Sites unitaires				
Mantes	67	22	11	9
DD11	75	13	13	16
D11	59	29	12	17
PHI	67	17	17	18
Enghien	88	0	12	17
PLB	67	11	22	18

Tableau F.3: Comparaison de la position des pointes de concentration et de débit pour la DBO5

Répartition des masses avec le volume en cours d'événement

Figure F.1 à F.6 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures, 25 et 75 pour la DCO

Figure F.7 à F.12 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures, 25 et 75 pour la DBO5

Figure F.13 à F.15 Fraction de la masse produite à 50% du volume en fonction du type de réseau pour les MES, la DCO et la DBO5

Figure F.16 à F.18 Fraction de la masse produite à 50% du volume en fonction de la surface active moyenne pour les MES, la DCO et la DBO5

Figure F.19 à F.21 Fraction de la masse produite à 50% du volume en fonction du temps de concentration pour les MES, la DCO et la DBO5

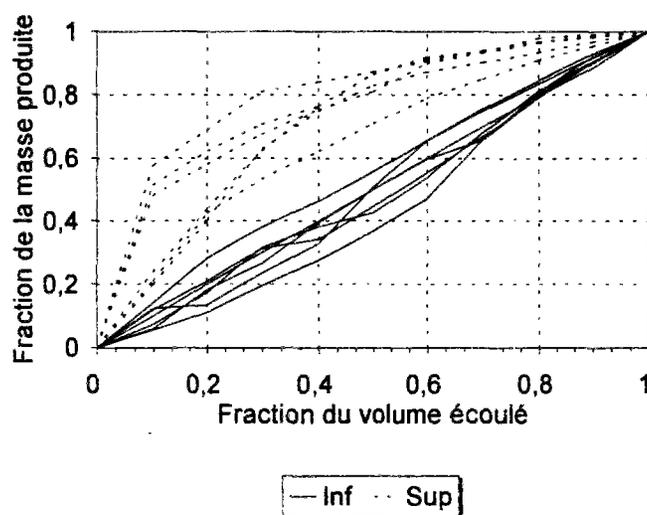


Figure F.1 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour la DCO

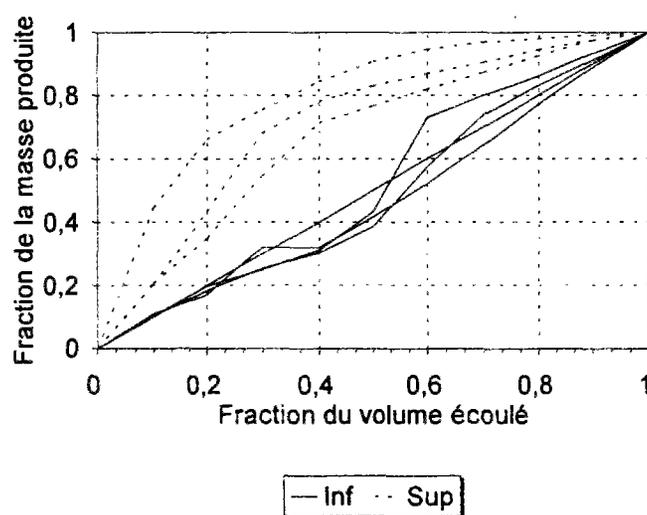


Figure F.2 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour la DCO

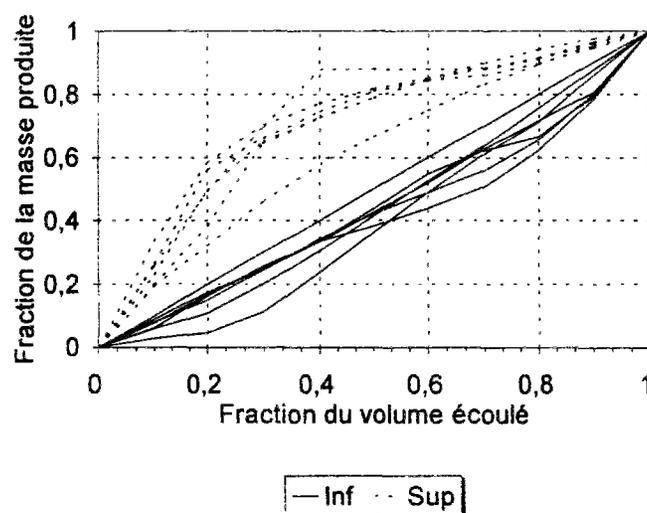


Figure F.3 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites unitaires pour la DCO

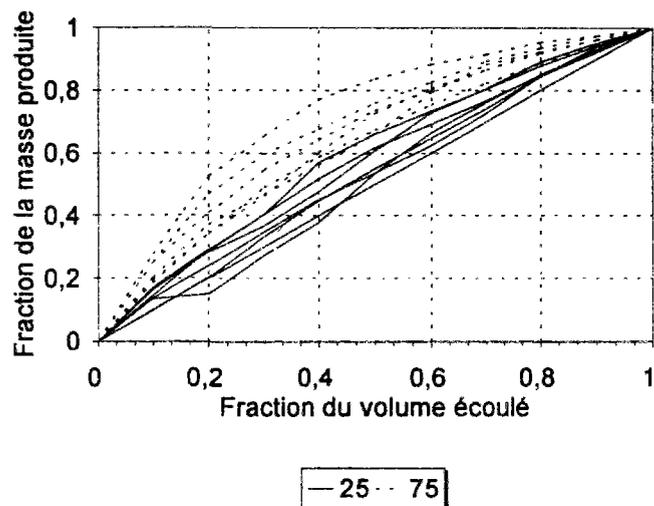


Figure F.4 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pour la DCO

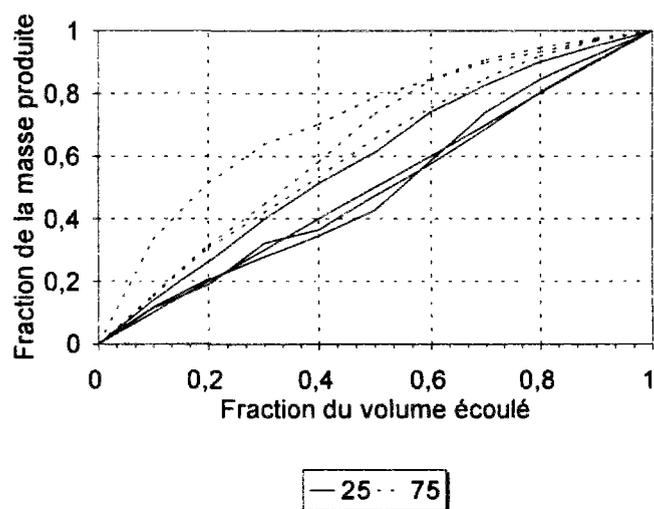


Figure F.5 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour la DCO

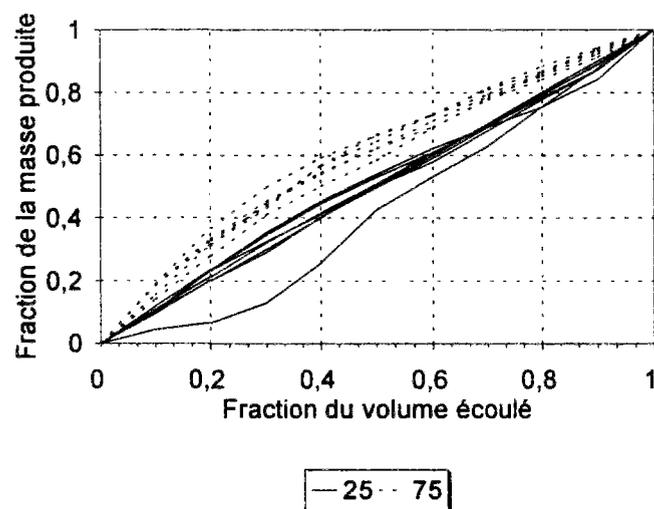


Figure F.6 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour la DCO

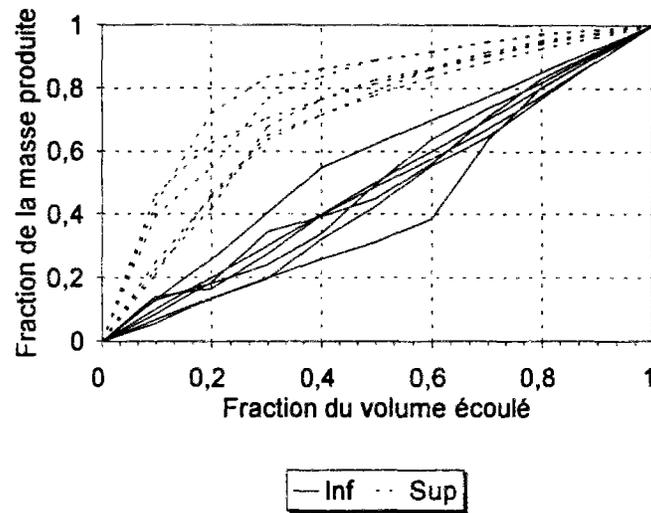


Figure F.7 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pour la DBO5

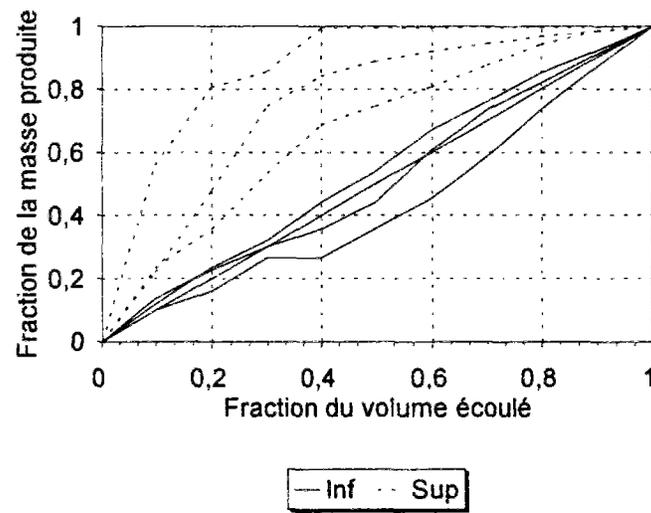


Figure F.8 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites séparatifs pollués pour la DBO5

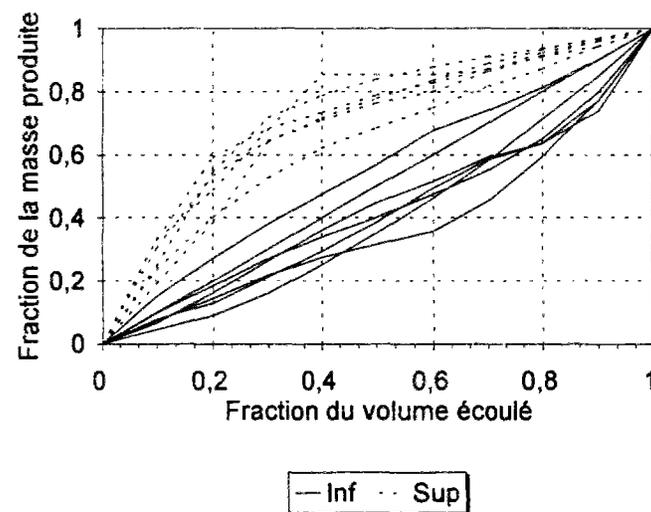


Figure F.9 Courbes Masse-Volume inférieures et supérieures des sites unitaires pour la DBO5

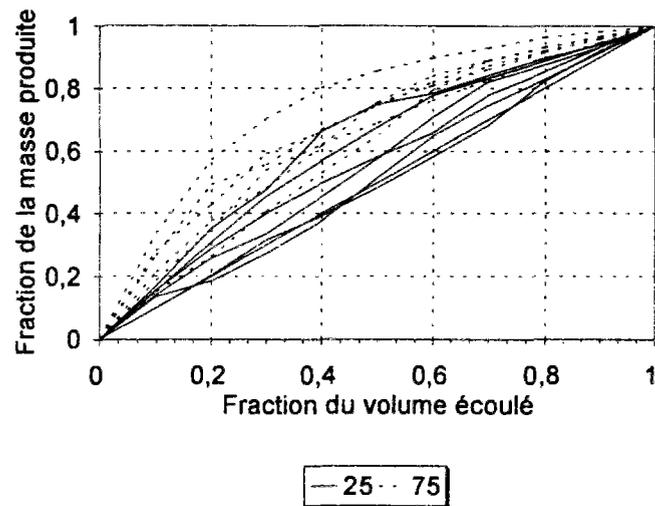


Figure F.10 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pour la DBO5

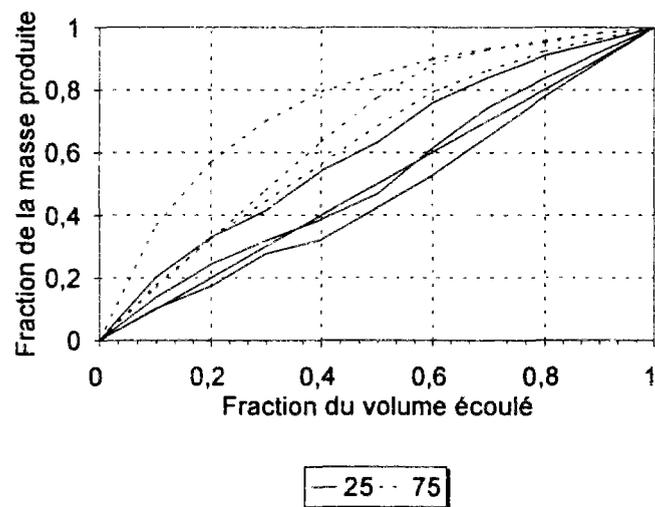


Figure F.11 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites séparatifs pollués pour la DBO5

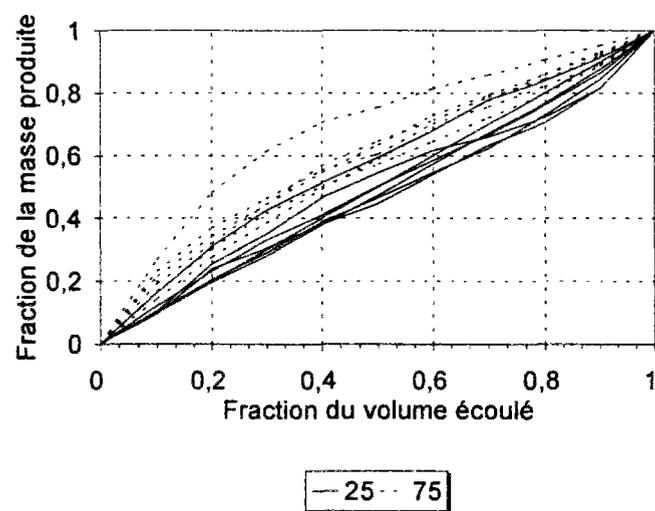


Figure F.12 Courbes Masse-Volume 25 et 75 des sites unitaires pour la DBO5

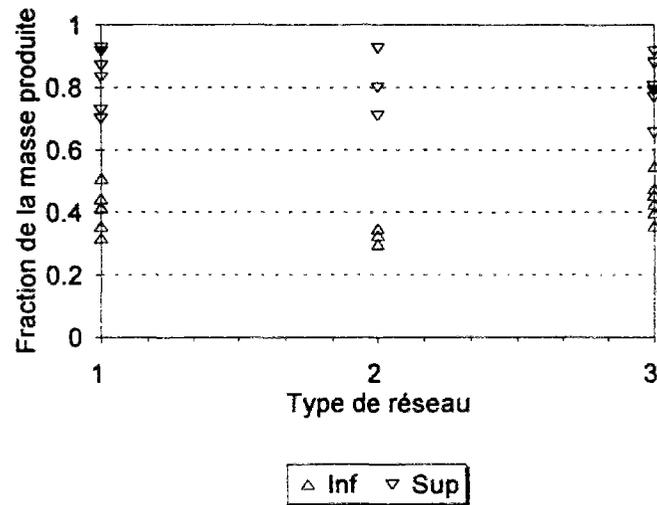


Figure F.13 Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau

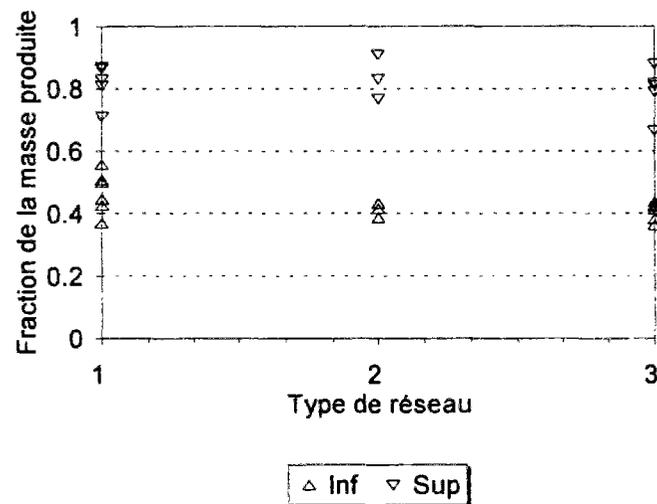


Figure F.14 Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau

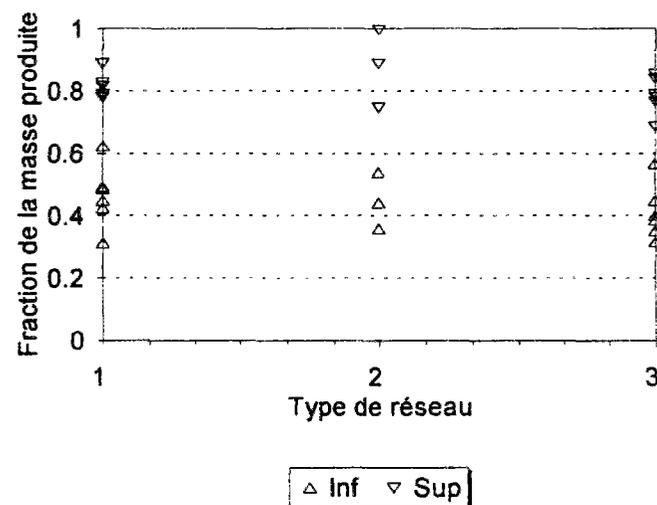


Figure F.15 Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction du type de réseau

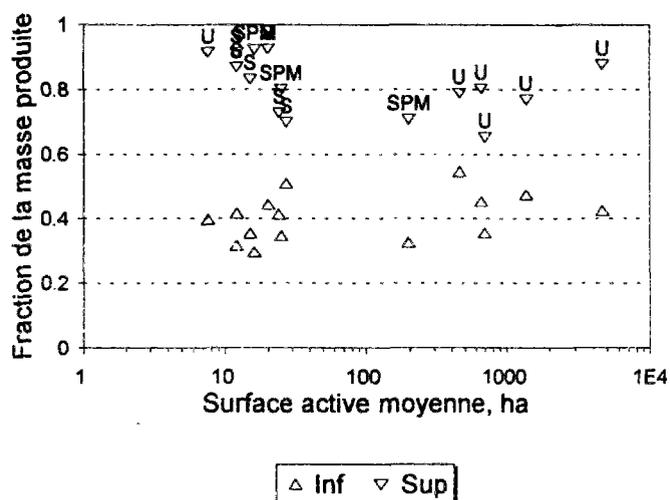


Figure F.16 Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

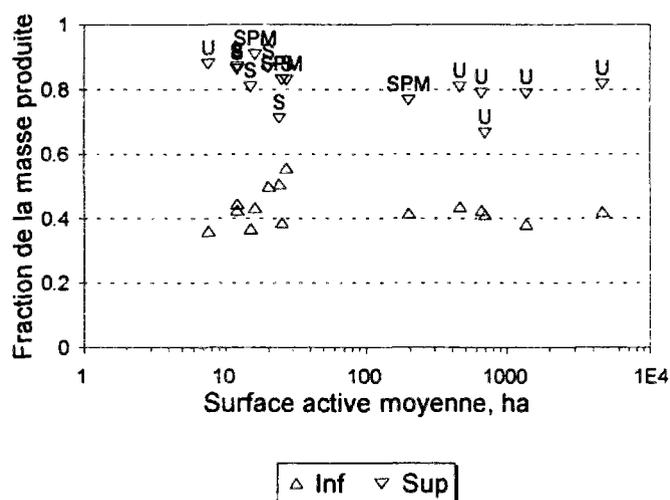


Figure F.17 Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

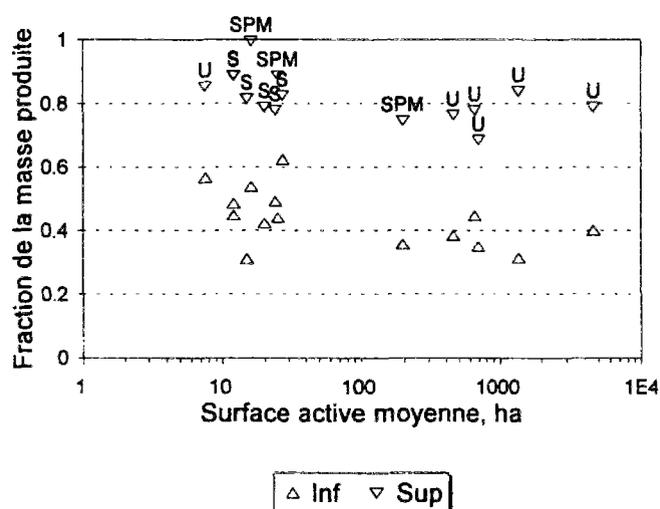


Figure F.18 Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction de la surface active moyenne

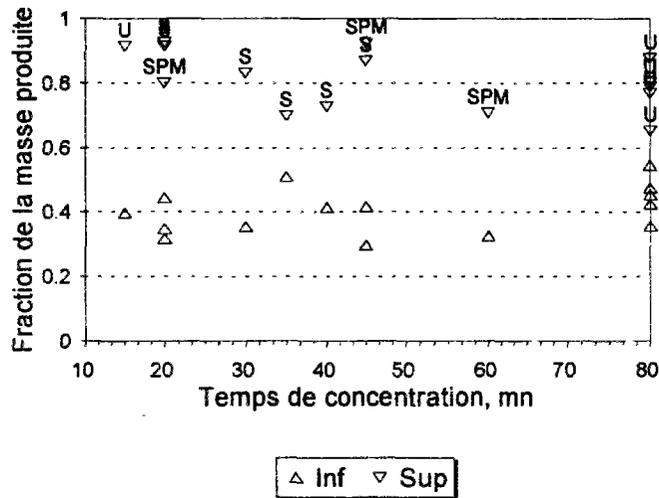


Figure F.19 Fraction de la masse produite en MES à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

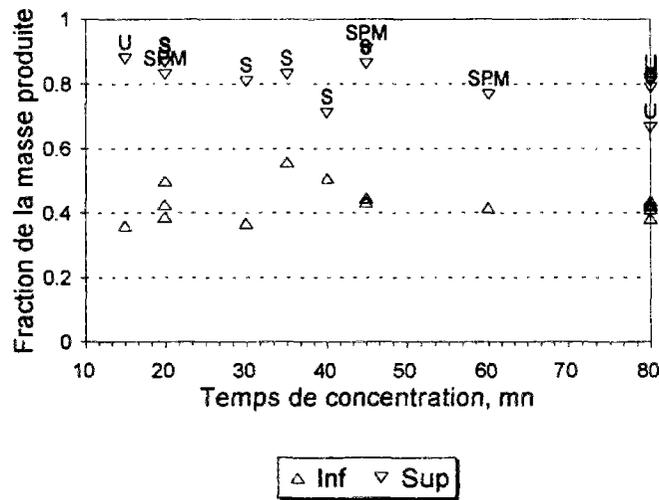


Figure F.20 Fraction de la masse produite en DCO à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

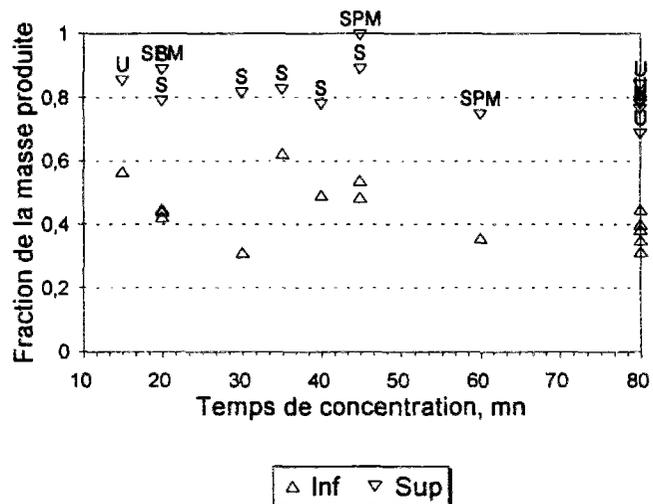


Figure F.21 Fraction de la masse produite en DBO5 à 50% du volume écoulé en fonction du temps de concentration

Annexe G

Ouvrages d'interception

Equations utilisées lors du calcul de la masse interceptée pour un volume d'interception ou un débit maximal donné

Volume intercepté entre deux débits en fonction du débit maximal admissible par un ouvrage de traitement au fil de l'eau

On note:

- qi la première valeur de débit
- qj la deuxième valeur de débit
- ti le temps correspondant au premier débit
- tj le temps correspondant au second débit (ti < tj)
- Qs débit maximal admissible par l'ouvrage

Si $Q_s < q_i$ et $Q_s < q_j$

$$\text{Volume intercepté} = Q_s \times (t_j - t_i) \quad \text{Eq. G.1}$$

Si $Q_s > q_i$ et $Q_s > q_j$

$$\text{Volume intercepté} = \frac{(q_j + q_i)}{2} \times (t_j - t_i) \quad \text{Eq. G.2}$$

Si $q_i < Q_s < q_j$ ou $q_j < Q_s < q_i$

$$\text{Volume intercepté} = \frac{(t_j - t_i)}{\text{Abs}(q_j - q_i)} (2Q_s \text{Max}(q_i, q_j) - Q_s^2 - \text{Min}(q_i, q_j)^2) \quad \text{Eq. G.3}$$

Reconstitution des temps correspondant à une concentration lorsqu'on ne connaît que les volumes écoulés

On note:

- qi la mesure de débit qui précède la concentration
- qj la mesure de débit qui suit la concentration
- ti le moment correspondant au premier débit
- tj le temps correspondant au second débit (ti < tj)
- Vi le volume écoulé depuis le début de l'écoulement jusqu'au temps ti
- V le volume écoulé depuis le début de l'écoulement jusqu'à la concentration

q le débit correspondant à la concentration
t le temps correspondant à q

La différence entre V et Vi est estimée par l'aire d'un trapèze:

$$V - V_i = \frac{(q + q_i)}{2} \times (t - t_i) \quad \text{Eq. G.4}$$

On exprime la linéarité sur l'hydrogramme par :

$$\frac{(q_j - q_i)}{(t_j - t_i)} = \frac{(q - q_i)}{(t - t_i)} \quad \text{Eq. G.5}$$

En combinant les deux équations on obtient l'équation du second degré à laquelle t est solution:

$$a t^2 + b t + c = 0 \quad \text{Eq. G.6}$$

avec

$$a = q_j - q_i \quad \text{Eq. G.7}$$

$$b = -2t_i q_j + 2t_j q_i \quad \text{Eq. G.8}$$

$$c = t_i^2 (q_j + q_i) - 2t_i t_j q_i + 2(t_j - t_i)(V_i - V) \quad \text{Eq. G.9}$$

Masse rejeté entre deux moments

On note:

qi la première valeur de débit
qj la deuxième valeur de débit
ti le moment correspondant au premier débit
tj le temps correspondant au second débit (ti < tj)
Ci la concentration correspondante au premier débit
Cj la concentration correspondante au deuxième débit

$$\text{Masse} = (t_j - t_i) \times \left(q_i \left(\frac{C_j}{2} + C_i \right) + q_j \left(\frac{C_i}{2} + C_j \right) \right)$$

s'il s'agit d'une concentration moyenne entre ti et tj, c'est-à-dire Ci=Cj=C

$$\text{Masse} = \frac{3}{2} (t_j - t_i) \times (q_i + q_j) C$$

Volume d'interception

Interception à long terme

Dans les tableaux:

Courbe = type de courbe utilisée pour reconstituer la répartition de la masse en fonction du volume pour chaque événement

 courbe 25 = 25% des courbes mesurées sont au dessous

 courbe 75 = 75% des courbes mesurées sont au dessous

N° = numéro de l'événement pour lequel la masse rejetée est la plus grande

m/M = rapport entre la masse de l'événement et la masse maximal sur l'ensemble des événements

rang M = rang en masse de l'événement parmi l'ensemble des événements

v/V = rapport entre le volume de l'événement et le volume maximal sur l'ensemble des événements

rang V = rang en volume de l'événement parmi l'ensemble des événements

%int = efficacité d'interception de l'événement

Les rangs sont obtenus dans l'ordre décroissant des valeurs: pour la valeur la plus forte le rang vaut 1.

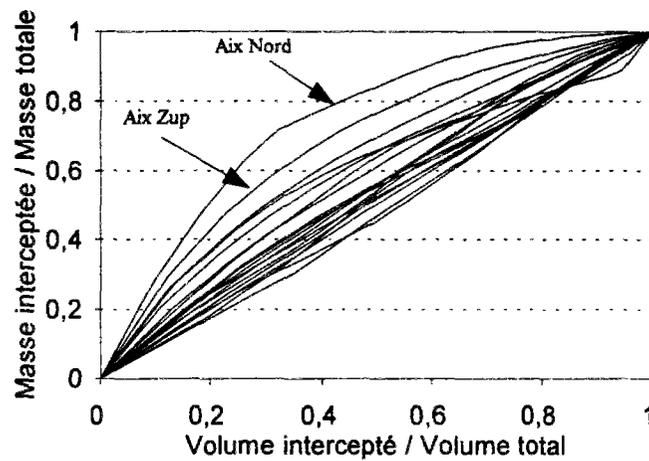


Figure G.1 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25

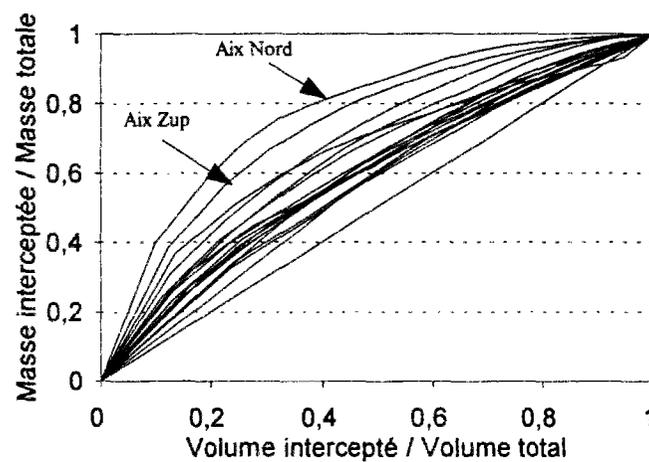


Figure G.2 Masse de DCO interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75

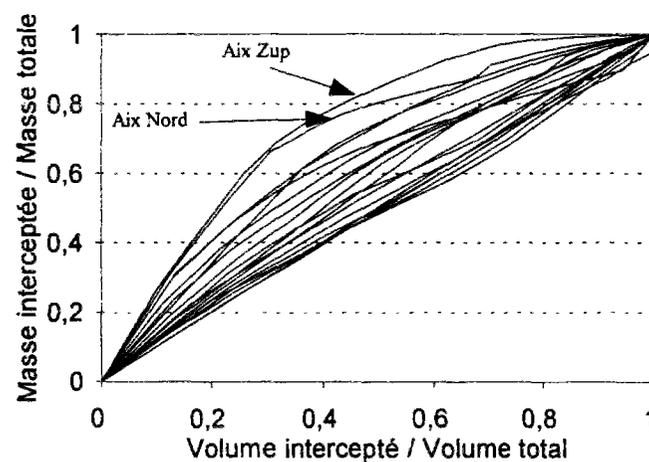


Figure G.3 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 25

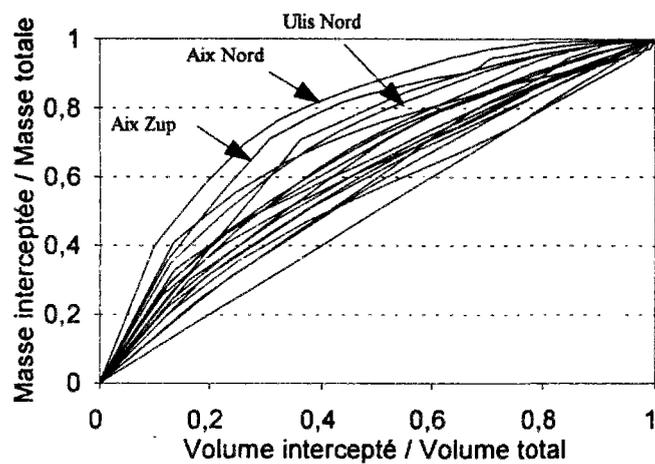


Figure G.4 Masse de DBO5 interceptée à long terme en fonction du volume intercepté, courbes 75

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m ³ /ha act) de		
				20	50	100
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	18	6.5E+04	48	73	87
	75			54	77	90
Aix Nord	25	37	6.9E+04	48	75	88
	75			54	76	89
Maurepas	25	23	1.6E+05	20	52	69
	75			37	57	74
Vélizy	25	34	1.3E+05	46	73	87
	75			53	78	90
Centre Urbain	25	41	2.1E+05	28	51	69
	75			44	66	81
Ulis Sud	25	110	3.0E+05	26	51	73
	75			31	57	77
Mainoue	25	37	1.4E+05	40	62	76
	75			45	67	79
Sites séparatifs pollués et mixte						
Ulis Nord	25	47	1.14E+05	34	59	73
	75			45	68	80
Grammont	25	30	1.2E+05	33	64	79
	75			47	74	86
Chesnay	25	150	4.5E+05	24	48	67
	75			37	61	78
Baudile	25	240	1.8E+06	28	55	74
	75			37	64	81

Tableau G.1: Efficacités d'interception de la masse de MES produite à long terme pour 20, 50 et 100 m³/ha act, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m3/ha act) de		
				20	50	100
Mantes	25	22	4.3E+04	45	79	95
	75			59	85	97
la Briche DD11	25	1700	3.9E+06	29	67	97
	75			38	74	98
la Briche D11	25	1400	4.7E+06	23	61	97
	75			34	68	98
la Briche PHI	25	1100	2.6E+06	49	97	100
	75			57	98	100
la Briche Enghien	25	1700	6.9E+06	33	71	90
	75			41	77	93
la Briche PLB	25	6500	2.0E+07	38	76	94
	75			47	82	96

Tableau G.2: Efficacités d'interception de la masse de MES produite à long terme pour 20, 50 et 100 m3/ha act sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m ³ /ha act) de		
				20	50	100
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	11	6.5E+04	47	72	85
	75			55	78	90
Aix Nord	25	19	6.9E+04	49	76	88
	75			58	79	89
Maurepas	25	13	1.6E+05	33	55	72
	75			39	60	76
Vélizy	25	43	1.3E+05	49	79	94
	75			54	81	95
Centre Urbain	25	38	2.2E+05	26	48	71
	75			36	60	79
Ulis Sud	25	29	3.0E+05	36	61	79
	75			40	66	82
Malnoue	25	53	2.5E+05	41	63	79
	75			47	69	85
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	22	1.1E+05	43	64	75
	75			51	70	81
Grammont	25	53	2.4E+05	33	59	75
	75			43	68	82
Chesnay	25	180	4.5E+05	27	51	68
	75			45	68	84
Baudile	25	270	1.8E+06	32	58	76
	75			39	65	82

Tableau G.3: Efficacités d'interception de la masse de DCO produite à long terme pour 20, 50 et 100 m³/ha act, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m ³ /ha act) de		
				20	50	100
Mantes	25	12	4.3E+04	52	80	95
	75			68	88	97
la Briche DD11	25	1700	3.9E+06	33	67	98
	75			41	74	98
la Briche D11	25	1800	4.7E+06	31	64	98
	75			38	72	98
la Briche PHI	25	1500	2.6E+06	49	97	100
	75			57	98	100
la Briche Enghien	25	2400	6.9E+06	43	87	99
	75			54	90	99
la Briche PLB	25	7700	2.0E+07	38	75	94
	75			47	81	96

Tableau G.4: Efficacités d'interception de la masse de DCO produite à long terme pour 20, 50 et 100 m³/ha act, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m ³ /ha act) de		
				20	50	100
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	3.3	6.5E+04	57	84	90
	75			60	86	92
Aix Nord	25	2.8	6.9E+04	46	75	88
	75			58	81	91
Maurepas	25	2	1.6E+05	37	59	75
	75			44	64	80
Vélizy	25	18	1.3E+05	41	70	88
	75			43	71	89
Centre Urbain	25	3.6	2.2E+05	27	47	65
	75			36	58	75
Ulis Sud	25	3.9	3.0E+05	38	64	81
	75			42	67	84
Malnoue	25	8.2	2.5E+05	45	68	82
	75			51	73	86
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	4.3	1.1E+05	47	67	77
	75			55	74	83
Grammont	25	10	2.4E+05	35	59	75
	75			44	68	83
Chesnay	25	29	4.5E+05	30	54	72
	75			49	70	83
Baudile	25	110	9.5E+05	31	57	76
	75			39	65	82

Tableau G.5: Efficacités d'interception de la masse de DBO5 produite à long terme pour 20, 50 et 100 m³/ha act sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Efficacité (% de la masse produite à long terme) pour des volumes(m ³ /ha act) de		
				20	50	100
Mantes	25	3.0	4.3E+04	79	94	98
	75			85	96	99
la Briche DD11	25	590	3.9E+06	31	62	95
	75			41	69	96
la Briche D11	25	790	4.7E+06	26	57	96
	75			35	65	96
la Briche PHI	25	710	2.6E+06	47	97	100
	75			56	98	100
la Briche Enghien	25	960	6.9E+06	39	82	97
	75			52	88	98
la Briche PLB	25	3100	2.0E+07	39	75	93
	75			48	81	95

Tableau G.6: Efficacités d'interception de la masse de DBO5 produite à long terme pour 20, 50 et 100 m³/ha act, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	18	6.5E+04	26	83	570
	75			19	64	
Aix Nord	25	37	6.9E+04	22	74	560
	75			18	67	
Maurepas	25	23	1.6E+05	46	144	840
	75			35	124	
Vélizy	25	34	1.3E+05	26	79	490
	75			20	63	
Centre Urbain	25	41	2.1E+05	49	149	500
	75			26	95	
Ulis Sud	25	110	3.0E+05	57	153	660
	75			48	131	
Malnoue	25	37	1.4E+05	31	135	480
	75			25	103	
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	47	1.1E+05	27	83	500
	75			19	58	
Grammont	25	30	1.2E+05	35	107	500
	75			23	67	
Chesnay	25	150	4.5E+05	56	150	700
	75			33	107	
Baudile	25	240	1.8E+06	42	129	410
	75			32	95	

Tableau G.7: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	22	4.3E+04	27	68	220
	75			18	51	
la Briche DD11	25	1700	3.9E+06	35	63	190
	75			28	57	
la Briche D11	25	1400	4.7E+06	37	68	170
	75			29	60	
la Briche PHI	25	1100	2.6E+06	20	34	90
	75			17	31	
la Briche Enghien	25	1700	6.9E+06	24	45	170
	75			19	39	
la Briche PLB	25	6500	2.0E+07	26	53	180
	75			21	45	

Tableau G.8: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de MES, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	11	6.5E+04	23	74	570
	75			16	54	
Aix Nord	25	19	6.9E+04	22	75	560
	75			16	60	
Maurepas	25	13	1.6E+05	40	138	840
	75			31	118	
Vélizy	25	43	1.3E+05	26	79	490
	75			20	65	
Centre Urbain	25	38	2.2E+05	53	131	500
	75			35	105	
Ulis Sud	25	29	3.0E+05	44	128	660
	75			37	109	
Malnoue	25	53	2.5E+05	29	107	480
	75			23	79	
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	22	1.1E+04	21	72	500
	75			15	51	
Grammont	25	53	2.4E+05	38	134	500
	75			27	89	
Chesnay	25	180	4.5E+05	49	149	700
	75			25	85	
Baudile	25	270	1.8E+06	38	119	410
	75			29	92	

Tableau G.9: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DCO, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	12	3.3E+04	19	50	180
	75			11	33	
la Briche DD11	25	1700	3.5E+06	34	63	190
	75			27	57	
la Briche D11	25	1800	4.9E+06	36	65	170
	75			29	59	
la Briche PHI	25	1500	2.6E+06	20	34	90
	75			17	31	
la Briche Enghien	25	2400	6.9E+06	25	46	170
	75			19	39	
la Briche PLB	25	7700	2.0E+07	26	54	180
	75			20	45	

Tableau G.10: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DCO, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	3.3	6.5E+04	19	62	570
	75			17	46	
Aix Nord	25	2.8	6.9E+04	30	122	560
	75			21	85	
Maurepas	25	2	1.6E+05	34	129	840
	75			26	100	
Vélizy	25	18	1.3E+05	27	84	490
	75			22	70	
Centre Urbain	25	3.6	2.2E+05	56	177	500
	75			37	125	
Ulis Sud	25	3.9	3.0E+05	40	115	660
	75			35	102	
Malnoue	25	8.2	2.5E+05	25	89	480
	75			19	72	
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	3.7	9.4E+04	18	61	500
	75			12	42	
Grammont	25	10	2.4E+05	36	129	500
	75			26	86	
Chesnay	25	29	4.5E+05	42	135	700
	75			21	83	
Baudile	25	110	9.5E+05	39	120	410
	75			30	89	

Tableau G.11: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DBO5, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	3.0	4.3E+04	16	43	220
	75			10	31	
la Briche DD11	25	590	3.9E+06	36	69	190
	75			29	63	
la Briche D11	25	790	4.9E+06	43	69	170
	75			33	66	
la Briche PHI	25	710	2.6E+06	21	35	90
	75			18	32	
la Briche Enghien	25	960	6.9E+06	27	48	170
	75			19	40	
la Briche PLB	25	3100	2.0E+07	26	55	180
	75			20	46	

Tableau G.12: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite à long terme de DBO5, sur les sites unitaires

Interception à court terme

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha act					
Séparatif	25	3	14	61	20
	75	4	18	76	24
Séparatif pollué et mixte	25	1	3	5	1
	75	5	7	11	3
Unitaire	25	5	19	35	10
	75	18	27	35	5.6
50 m ³ /ha act					
Séparatif	25	7.6	29	100	31
	75	12	34	100	29
Séparatif pollué et mixte	25	3	7	11	3
	75	12	18	29	7
Unitaire	25	32	48	66	13
	75	42	57	67	8.2
100 m ³ /ha act					
Séparatif	25	16	42	100	33
	75	21	51	100	28
Séparatif pollué et mixte	25	7	15	24	7
	75	25	33	51	11
Unitaire	25	61	86	100	13
	75	73	90	100	9.2
200 m ³ /ha act					
Séparatif	25	30	62	100	27
	75	39	72	100	21
Séparatif pollué et mixte	25	15	38	78	25
	75	40	62	92	20
Unitaire	25	100	100	100	0
	75	100	100	100	0

Tableau G.13: Synthèse des efficacités d'interception des MES, pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m3/ha act					
Séparatif	25	4	21	61	18
	75	6	29	76	23
Séparatif pollué et mixte	25	2	4	6	1
	75	6	7	7	0.4
Unitaire	25	5	16	25	7
	75	21	25	33	4
50 m3/ha act					
Séparatif	25	10	42	100	29
	75	15	52	100	30
Séparatif pollué et mixte	25	6	10	13	3
	75	15	17	19	2
Unitaire	25	12	39	59	15
	75	45	53	68	8
100 m3/ha act					
Séparatif	25	21	64	100	31
	75	27	70	100	29
Séparatif pollué et mixte	25	12	19	25	6
	75	29	34	36	3
Unitaire	25	50	72	100	17
	75	71	81	100	10
200 m3/ha act					
Séparatif	25	41	79	100	26
	75	47	81	100	22
Séparatif pollué et mixte	25	23	33	47	10
	75	47	60	68	8
Unitaire	25	100	100	100	0.0
	75	100	100	100	0.0

Tableau G.14: Synthèse des efficacités d'interception en DCO, pour 20, 50, 100 et 200 m3/ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha act					
Séparatif	25	4	18	72	23
	75	6	23	72	22
Séparatif pollué et mixte	25	3	12	37	14
	75	6	15	37	13
Unitaire	25	13	35	72	20
	75	22	38	72	17
50 m ³ /ha act					
Séparatif	25	10	32	100	29
	75	16	40	100	28
Séparatif pollué et mixte	25	7	26	75	28
	75	16	34	75	24
Unitaire	25	31	61	100	27
	75	45	66	100	22
100 m ³ /ha act					
Séparatif	25	19	47	100	28
	75	28	56	100	25
Séparatif pollué et mixte	25	14	40	100	35
	75	32	53	100	28
Unitaire	25	55	81	100	20
	75	73	87	100	13
200 m ³ /ha act					
Séparatif	25	39	67	100	24
	75	49	76	100	19
Séparatif pollué et mixte	25	23	49	100	30
	75	52	71	100	18
Unitaire	25	92	99	100	3.0
	75	96	99	100	1.5

Tableau G.15: Synthèse des efficacités d'interception en DBO₅, pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha actif, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception à 50%					
Séparatif	25	14	165	307	96
	75	10	126	259	75
Séparatif pollué et mixte	25	154	333	554	153
	75	98	182	264	62
Unitaire	25	32	54	80	17
	75	32	43	60	9
Interception à 80%					
Séparatif	25	27	265	499	152
	75	23	223	426	125
Séparatif pollué et mixte	25	204	459	806	227
	75	153	355	557	167
Unitaire	25	66	91	129	20
	75	61	84	111	15
Interception à 100%					
Séparatif	25	40	370	654	191
Séparatif pollué et mixte	25	269	627	1130	332
Unitaire	75	84	117	163	25

Tableau G.16: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception à 50%					
Séparatif	25	17	108	251	85
	75	9	85	213	73
Séparatif pollué et mixte	25	213	310	441	92
	75	147	169	218	29
Unitaire	25	42	68	100	20
	75	34	49	57	8
Interception à 80%					
Séparatif	25	28	222	484	174
	75	22	187	404	155
Séparatif pollué et mixte	25	323	487	759	180
	75	243	355	591	139
Unitaire	25	68	114	147	28
	75	61	100	120	21
Interception à 100%					
Séparatif	25 ou 75	40	341	833	290
Séparatif pollué et mixte	25 ou 75	405	668	1130	293
Unitaire	25 ou 75	84	137	175	32

Tableau G.17: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
Interception à 50%					
Séparatif	25	13	145	248	85
	75	13	104	205	67
Séparatif pollué et mixte	25	30	253	417	145
	75	30	124	187	58
Unitaire	25	9	49	91	30
	75	9	37	58	17
Interception à 80%					
Séparatif	25	23	254	419	137
	75	23	208	361	115
Séparatif pollué et mixte	25	54	406	739	250
	75	54	282	466	157
Unitaire	25	29	93	162	49
	75	29	82	126	37
Interception à 100%					
Séparatif	25 ou 75	67	365	654	186
Séparatif pollué et mixte	25 ou 75	91	589	1130	382
Unitaire	25 ou 75	49	116	220	60

Tableau G.18: Synthèse des volumes nécessaires pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha act					
Séparatif	25	39	86	97	20
	75	36	83	96	20
Séparatif pollué et mixte	25	95	97	99	2
	75	89	93	95	3
Unitaire	25	65	81	95	10
	75	65	73	82	6
50 m ³ /ha act					
Séparatif	25	25	77	92	22
	75	25	70	89	21
Séparatif pollué et mixte	25	89	93	97	3
	75	75	83	88	3
Unitaire	25	41	54	68	11
	75	33	44	58	8
100 m ³ /ha act					
Séparatif	25	18	67	84	22
	75	15	55	79	21
Séparatif pollué et mixte	25	78	85	93	7
	75	60	70	75	6
Unitaire	25	0	24	38	13
	75	0	18	27	9
200 m ³ /ha act					
Séparatif	25	11	45	70	20
	75	7	32	61	17
Séparatif pollué et mixte	25	60	73	85	11
	75	33	46	60	11
Unitaire	25	0	1	6	2
	75	0	1	3	1

Tableau G.19: Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en MES, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha act					
Séparatif	25	39	81	96	18
	75	27	76	94	22
Séparatif pollué et mixte	25	94	96	98	1
	75	93	93	94	1
Unitaire	25	75	84	95	7
	75	67	75	79	4
50 m ³ /ha act					
Séparatif	25	25	72	90	21
	75	21	66	85	21
Séparatif pollué et mixte	25	87	90	94	3
	75	81	83	85	2
Unitaire	25	41	61	88	15
	75	32	47	55	8
100 m ³ /ha act					
Séparatif	25	20	61	84	21
	75	14	50	73	19
Séparatif pollué et mixte	25	75	81	88	6
	75	64	66	71	3
Unitaire	25	0	29	50	16
	75	0	20	29	10
200 m ³ /ha act					
Séparatif	25	11	41	61	17
	75	7	31	53	15
Séparatif pollué et mixte	25	53	67	77	10
	75	32	40	53	8
Unitaire	25	0	0	0	0
	75	0	0	0	0

Tableau G.20: Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en DCO, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act

Type de site	Type de courbe	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart type
20 m ³ /ha act					
Séparatif	25	52	86	96	14
	75	52	83	94	13
Séparatif pollué et mixte	25	91	95	97	2
	75	88	91	93	2
Unitaire	25	59	72	87	11
	75	59	68	78	8
50 m ³ /ha act					
Séparatif	25	24	74	90	21
	75	19	66	84	21
Séparatif pollué et mixte	25	85	88	93	4
	75	76	79	84	3
Unitaire	25	43	54	69	10
	75	32	44	55	8
100 m ³ /ha act					
Séparatif	25	19	62	81	21
	75	17	51	72	18
Séparatif pollué et mixte	25	73	79	86	5
	75	59	62	67	3
Unitaire	25	0	27	45	15
	75	0	19	27	9
200 m ³ /ha act					
Séparatif	25	9	42	61	18
	75	5	31	51	15
Séparatif pollué et mixte	25	56	65	77	9
	75	28	37	48	8
Unitaire	25	0	1	8	3
	75	0	1	4	2

Tableau G.21: Synthèse des masses non interceptées les plus fortes en DBO₅, exprimées en pourcentage de la masse produite la plus grande, pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de			
		20	50	100	200
Sites séparatifs					
Aix Zup	25	14	41	84	100
	75	14	41	84	100
Aix Nord	25	61	100	100	100
	75	76	100	100	100
Maurepas	25	4	12	23	64
	75	4	12	23	64
Vélizy	25	3	8	17	46
	75	7	18	32	57
Centre Urbain	25	5	13	16	30
	75	11	27	45	63
Ulis Sud	25	3	8	16	31
	75	5	12	21	39
Malnoue	25	9	23	41	64
	75	12	27	51	82
Sites séparatifs pollués et mixtes					
Ulis Nord	25	1	3	6	15
	75	5	12	25	40
Grammont	25	5	11	24	78
	75	11	29	51	92
Chesnay	25	2	5	10	18
	75	5	13	25	47
Baudile	25	4	10	20	40
	75	6	16	32	67

Tableau G.22: Efficacités d'interception en MES pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de			
		20	50	100	200
Mantes	25	5	34	85	100
	75	25	54	91	100
la Briche DD11	25	35	66	100	100
	75	35	66	100	100
la Briche D11	25	28	56	87	100
	75	28	56	87	100
la Briche PHI	25	22	59	100	100
	75	33	67	100	100
la Briche Enghien	25	11	32	61	100
	75	18	42	73	100
la Briche PLB	25	15	42	84	100
	75	25	56	88	100

Tableau G.23: Efficacités d'interception en MES pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de :			
		20	50	100	200
Sites séparatifs					
Aix Zup	25	26	60	93	100
	75	46	80	97	100
Aix Nord	25	61	100	100	100
	75	76	100	100	100
Maurepas	25	11	24	44	63
	75	11	24	44	63
Vélizy	25	4	10	21	46
	75	8	21	38	58
Centre Urbain	25	14	41	88	100
	75	29	61	91	100
Ulis Sud	25	4	11	22	41
	75	6	15	27	47
Malnoue	25	25	46	77	100
	75	29	62	90	100
Sites séparatifs pollués et mixtes					
Ulis Nord	25	2	6	12	23
	75	6	15	29	47
Grammont	25	5	13	23	40
	75	7	18	36	68
Chesnay	25	3	7	14	23
	75	7	18	34	60
Baudile	25	6	13	25	47
	75	7	19	36	65

Tableau G.24: Efficacités d'interception en DCO pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de :			
		20	50	100	200
Mantes	25	5	12	50	100
	75	21	48	71	100
la Briche DD11	25	15	36	64	100
	75	22	46	71	100
la Briche D11	25	25	51	81	100
	75	25	51	81	100
la Briche PHI	25	23	59	100	100
	75	33	68	100	100
la Briche Enghien	25	13	33	59	100
	75	22	45	74	100
la Briche PLB	25	17	42	80	100
	75	27	57	87	100

Tableau G.25: Efficacités d'interception en DCO pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de :			
		20	50	100	200
Sites séparatifs					
Aix Zup	25	72	100	100	100
	75	72	100	100	100
Aix Nord	25	16	33	70	100
	75	31	56	82	100
Maurepas	25	10	23	41	69
	75	18	36	60	82
Vélizy	25	4	10	21	41
	75	6	16	28	55
Centre Urbain	25	6	14	19	39
	75	8	19	36	63
Ulis Sud	25	5	12	24	46
	75	7	16	30	49
Malnoue	25	12	30	51	72
	75	17	37	58	85
Sites séparatifs pollués et mixtes					
Ulis Nord	25	4	9	18	30
	75	6	16	32	52
Grammont	25	6	15	27	44
	75	8	20	37	72
Chesnay	25	3	7	14	23
	75	10	24	41	60
Baudile	25	37	75	100	100
	75	37	75	100	100

Tableau G.26: Efficacités d'interception en DBO5 pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des volumes (m ³ /ha act) de :			
		20	50	100	200
Mantes	25	15	34	56	92
	75	24	52	73	96
la Briche DD11	25	41	61	100	100
	75	41	61	100	100
la Briche D11	25	27	48	75	100
	75	27	48	75	100
la Briche PHI	25	39	100	100	100
	75	39	100	100	100
la Briche Enghien	25	13	31	55	100
	75	22	45	74	100
la Briche PLB	25	72	92	100	100
	75	72	92	100	100

Tableau G.27: Efficacités d'interception en DBO5 pour 20, 50, 100 et 200 m³/ha act, pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	1,5	2,0E+03	59	93	170
	75			59	93	170
Aix Nord	25	6,6	4,8E+02	14	27	40
	75			10	23	40
Maurepas	25	2,1	5,7E+03	158	246	383
	75			158	246	383
Vélizy	25	2,5	9,6E+03	219	355	481
	75			172	281	481
Centre Urbain	25	2,2	1,2E+04	251	375	485
	75			129	306	485
Ulis Sud	25	10,5	1,8E+04	307	499	654
	75			259	426	654
Malnoue	25	5,3	1,1E+04	144	259	376
	75			98	187	376
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	6,9	1,8E+04	554	806	1130
	75			264	597	1130
Grammont	25	2,3	6,7E+03	154	204	269
	75			98	153	269
Chesnay	25	12,9	3,2E+04	389	504	700
	75			211	412	700
Baudile	25	19,9	8,0E+04	234	322	405
	75			154	257	405

Tableau G.28: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	1,5	8,7E+02	67	96	115
	75			46	83	115
la Briche DD11	25	39,1	4,5E+04	32	72	97
	75			32	72	97
la Briche D11	25	43,0	7,7E+04	42	89	118
	75			42	89	118
la Briche PHI	25	23,9	5,8E+04	42	66	84
	75			35	61	84
la Briche Enghien	25	54,0	2,3E+05	80	129	163
	75			60	111	163
la Briche PLB	25	277,8	6,9E+05	60	96	124
	75			44	86	124

Tableau G.29: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de MES pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	0,8	1,4E+03	41	80	115
	75			22	51	115
Aix Nord	25	3,8	4,8E+02	17	28	40
	75			9	22	40
Maurepas	25	1,2	1,2E+04	120	404	833
	75			120	404	833
Vélizy	25	3,2	9,6E+03	217	364	481
	75			160	292	481
Centre Urbain	25	2,5	2,8E+03	57	88	119
	75			37	79	119
Ulis Sud	25	2,2	1,8E+04	251	484	654
	75			213	386	654
Malnoue	25	2,9	4,3E+03	57	105	150
	75			38	75	150
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	3,3	1,8E+04	441	759	1130
	75			218	591	1130
Grammont	25	2,5	1,1E+04	236	327	432
	75			147	243	432
Chesnay	25	15,1	3,2E+04	350	539	700
	75			162	323	700
Baudile	25	22,3	8,0E+04	213	323	405
	75			150	263	405

Tableau G.30: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	0,5	1,3E+03	100	147	175
	75			53	120	175
la Briche DD11	25	35,8	7,5E+04	73	138	161
	75			57	119	161
la Briche D11	25	44,0	7,4E+04	48	99	113
	75			48	99	113
la Briche PHI	25	33,3	5,8E+04	42	68	84
	75			34	61	84
la Briche Enghien	25	77,6	2,3E+05	81	134	163
	75			57	112	163
la Briche PLB	25	326,4	6,9E+05	61	100	124
	75			43	88	124

Tableau G.31: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DCO pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Sites séparatifs						
Aix Zup	25	0,6	8,1E+02	13	23	67
	75			13	23	67
Aix Nord	25	0,3	2,0E+03	73	114	168
	75			35	96	168
Maurepas	25	0,2	4,8E+03	129	233	320
	75			78	187	320
Vélizy	25	1,4	9,6E+03	248	376	481
	75			180	292	481
Centre Urbain	25	0,4	1,2E+04	240	376	491
	75			137	324	491
Ulis Sud	25	0,2	1,8E+04	221	419	654
	75			205	361	654
Malnoue	25	0,5	1,1E+04	94	237	376
	75			80	174	376
Sites séparatifs pollués et mixtes						
Ulis Nord	25	0,6	1,1E+04	417	739	1130
	75			417	466	1130
Grammont	25	0,5	1,1E+04	226	329	432
	75			135	226	432
Chesnay	25	2,4	3,2E+04	337	502	700
	75			142	380	700
Baudile	25	10,0	1,8E+04	30	54	91
	75			30	54	91

Tableau G.32: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites séparatifs et séparatifs pollués

Site	Type de courbe	Masse produite tonne	Volume écoulé m ³	Volume (m ³ /ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
				50%	80%	100%
Mantes	25	0,1	1,7E+03	85	162	220
	75			47	126	220
la Briche DD11	25	14,6	4,5E+04	30	79	97
	75			30	79	97
la Briche D11	25	49,4	7,4E+04	54	104	113
	75			54	104	113
la Briche PHI	25	23,4	3,4E+04	26	41	49
	75			26	41	49
la Briche Enghien	25	31,5	2,3E+05	91	145	163
	75			58	116	163
la Briche PLB	25	155,1	2,5E+05	9	29	55
	75			9	29	55

Tableau G.33: Volumes pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse de DBO5 pour l'événement dont la masse produite est la plus grande, sur les sites unitaires

Débits d'interception

Interception à court terme

Site	Type de courbe	Efficacité (% de la masse produite la plus grande) pour des débit (l/s/ha act) de			
		4	10	20	30
MES					
Aix Zup	25	97	100	100	100
	75	98	100	100	100
Aix Nord	25	90	100	100	100
	75	91	100	100	100
Maurepas	25	8	17	29	39
	75	8	17	29	39
Ulis Nord	25	11	23	38	49
	75	9	16	27	35
DCO					
Aix Zup	25	77	100	100	100
	75	78	99	100	100
Aix Nord	25	90	100	100	100
	75	91	100	100	100
Maurepas	25	13	25	38	48
	75	13	25	38	48
Ulis Nord	25	11	22	35	44
	75	10	19	29	37
DBO5					
Aix Zup	25	9	16	25	33
	75	5	11	20	28
Aix Nord	25	30	40	49	57
	75	41	52	61	69
Maurepas	25	48	88	100	100
	75	45	86	100	100
Ulis Nord	25	11	22	34	44
	75	9	17	26	33

Tableau G.34: Efficacités d'interception de la masse la plus grande de MES, DCO et DBO5 pour des débits de 4, 10, 20 et 30 l/s/ha act, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord

Site	Type de courbe	Masse produite kg	Débit (l/s/ha act) nécessaire pour intercepter la masse produite à		
			50%	80%	100%
MES					
Aix Zup	25	1460	1.4	2.6	4.7
	75		1.4	2.5	
Aix Nord	25	6400	109	194	360
	75		109	194	
Maurepas	25	2080	43.2	99.6	190
	75		43.2	99.6	
Ulis Nord	25	2850	19.9	39.9	72
	75		20.1	41.5	
DCO					
Aix Zup	25	844	1.8	4.4	11.7
	75		1.8	4.3	
Aix Nord	25	3480	90	176	360
	75		90	176	
Maurepas	25	670	32.4	87.4	190
	75		32.4	87.4	
Ulis Nord	25	1070	4.2	10.3	33
	75		3.4	8.0	
DBO5					
Aix Zup	25	176	57.6	118.2	200
	75		62.0	115.7	
Aix Nord	25	253	96.5	187	360
	75		96.5	193	
Maurepas	25	77	4.2	8.3	21
	75		4.6	8.7	
Ulis Nord	25	154	6.1	13	20
	75		6.1	13	

Tableau G.35: Débits pour intercepter 50, 80 et 100% de la masse produite pour l'événement dont la masse est la plus grande en MES, DCO et DBO5, sur Aix Zup, Aix Nord, Maurepas et Ulis Nord