

THESE

présentée devant



n° 15181

L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR

SPECIALITE : GENIE CIVIL ET SCIENCES DE LA CONCEPTION

par

Marzouk CHERRED

Ingénieur Ecole Nationale Polytechnique d'Alger
Titulaire D.E.A. (I.N.S.A.-Lyon)

**ELABORATION D'UNE METHODOLOGIE POUR LA
DETERMINATION DES FLUX REJETES PAR LES
RESEAUX D'ASSAINISSEMENT UNITAIRES**

soutenue le 10 Janvier 1991 devant la Commission d'Examen

MM. H. BOTTA
M. DESBORDES
R. HOUPERT
A. NAVARO
B. CHOCAT
P. ALLAIN

SOMMAIRE

I - INTRODUCTION GENERALE.....	21
II - L'HYDROLOGIE ET L'ASSAINISSEMENT. ASPECT GENERAUX.....	27
II.1. La pluviométrie	29
II.2. L'urbanisation et ses conséquences sur l'assainissement	32
II.3. Les réseaux d'assainissement.....	35
II.4. La station de traitement des eaux usées	40
II.5. Notions hydrologiques fondamentales	42
III - PROBLEMATIQUE.....	49
III.1. Présentation du problème.....	51
III.2. Importance et réalité du problème.....	53
III.3. Impact des déversements unitaires sur le milieu récepteur	55
III.4. Nécessité d'une caractérisation des rejets unitaires	62
IV - ETUDE ANALYTIQUE DES PHENOMENES LIES AUX DEVERSEMENTS	65
IV.1. La pollution des effluents unitaires. Ses origines.....	67
IV.2. Les phénomènes liés aux déversements	71
V - ANALYSE DES METHODES EXISTANTES POUR LA DETERMINATION DES DEVERSEMENTS UNITAIRES. BILAN DES CONNAISSANCES ACTUELLES.....	87
V.1. Méthodologie de base.....	89
V.2. Les méthodes expérimentales.....	94

V.3. Méthodes basées sur la simulation du fonctionnement du réseau	113
VI - CONCLUSIONS SUR L'ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES.....	143
VII - DEFINITION D'APPROCHES METHODOLOGIQUES POUR L'ESTIMATION DES FLUX REJETES PAR LES DEVERSOIRS D'ORAGE. PROPOSITION DE METHODES	151
VII.1. Analyse méthodologique d'études de cas concrets	154
VII.2. Proposition de méthodes et définition d'un cadre méthodologique pour les comparer et les tester.....	169
VIII - REALISATION DES TESTS	185
VIII.1. Démarche utilisée	187
VIII.2. Présentation du modèle de simulation hydraulique. Le modèle MMRA (Modélisation Macroscopique des Réseaux d'Assainissement).....	188
VIII.3. Recueil et traitement des données.....	192
VIII.4. Tests réalisés et méthodes de réalisation.....	209
IX - RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATIONS.....	221
IX.1. Influence du mode de représentation de la pluviométrie	224
IX.2. Influence du modèle structuel utilisé pour la modélisation.....	245
IX.3. Influence du mode de prise en compte des concentrations	250
IX.4. Analyse des effets saisonniers	256
IX.5. Analyse des effets rapides.....	264
X - CONCLUSIONS DE L'ETUDE.....	271

- X -

CONCLUSIONS DE L'ETUDE

Ce travail n'a pas la prétention d'offrir aux responsables de l'assainissement des solutions définitives aux problèmes de l'estimation des rejets unitaires. Nous pensons cependant que les conclusions auxquelles nous avons abouti peuvent leur apporter quelques éléments de réponse d'ordre méthodologique, susceptibles de les aider dans le choix de la méthode la mieux adaptée à leur cas particulier.

Avant de présenter les principales conclusions de l'étude, rappelons tout d'abord les étapes de sa réalisation et les objectifs poursuivis dans chacune d'entre elles.

- La première étape a consisté en un recensement des connaissances utilisables (maîtrise des phénomènes, méthodes de mesures, modèles, ...).
- La deuxième s'est appuyé sur une analyse d'études françaises d'assainissement dans le but de recenser les méthodes utilisées en France, les résultats obtenus, les données disponibles, ...
- La troisième étape, d'ordre méthodologique nous a permis de bâtir un cadre conceptuel permettant de classifier les méthodes et de bâtir un plan de tests.
- La dernière étape a consisté à réaliser les tests et à analyser les résultats.

Chacune de ces étapes nous a permis de mettre en évidence des conclusions intéressantes.

X.1. CONCLUSIONS SUR L'ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES

Bien que certains phénomènes hydrologiques soient relativement maîtrisés, nous avons constaté un manque de connaissance concernant le transport des polluants dans les réseaux, leur distribution au droit des seuils déversants, la liaison éventuelle entre les paramètres qualitatifs des déversements et les paramètres hydrologiques et/ou géométriques du système, etc...

Nous avons constaté aussi une grande variabilité des résultats rencontrés dans la littérature (voir annexe 1), due essentiellement à la diversité des réseaux étudiés et à la variété des méthodologies utilisées. Les dispositifs de mesure sont également très variés,

mal décrits et souvent inadaptés. Cette hétérogénéité des informations ne permet pas une exploitation efficace des résultats.

En ce qui concerne la modélisation, plusieurs modèles ont été présentés ; les uns simples mais imprécis, les autres plus détaillés mais complexes à utiliser. Ceci est dû surtout au grand nombre de phénomènes à simuler, au grand nombre de paramètres qui entrent en jeu, et à la pauvreté de l'information fournie par les mesures existantes. Au total, le besoin en recherches apparaît criant.

X.2. CONCLUSIONS SUR LES ETUDES D'ASSAINISSEMENT EN FRANCE

D'une façon générale, dans ce genre d'études, deux types d'objectifs peuvent être visés :

- Des objectifs de recherche (développement de modèles mathématiques, ...) ;
- La résolution de problèmes locaux.

En France, nous avons constaté l'absence d'études destinées à répondre à des objectifs de recherche. Toutes les études visent à résoudre des problèmes locaux. Et souvent la priorité est donnée aux problèmes des eaux parasites et du dimensionnement. Quant à la réalisation, chaque chargé d'étude utilise "sa méthode" selon ses propres moyens.

Cette diversité de méthodologies utilisées pour résoudre des problèmes souvent en marge de celui qui nous préoccupait, nous a posé des difficultés dans le recueil et l'exploitation des données nécessaires à notre étude. Ces difficultés sont dues essentiellement :

- à l'hétérogénéité des formes sous lesquelles se trouvent ses données (pluviométriques notamment) ;
- au manque de données permettant de tester les méthodes définies ;
- à la pauvreté des informations concernant la qualité des effluents unitaires.

En terme d'étude de diagnostic de réseau d'assainissement, d'une façon générale, nous pensons qu'il est très important de définir et de mettre en application des normes méthodologiques. Ne serait-ce que pour offrir aux chercheurs des sources d'informations homogènes. L'application de ces normes dans ce type d'études

apporterait beaucoup de souplesse à la recherche hydrologique en France, et donc des progrès plus rapides dans ce domaine. En effet, les recherches actuelles sont lourdes à réaliser en raison d'une part de l'insuffisance des données disponibles en général, et d'autre part de la diversité des moyens d'acquisition de ces données.

L'absence de telles normes fait que de telles études, souvent onéreuses, aboutissent à des informations sur le fonctionnement du réseau, qui sont dans la plupart des cas difficilement ou non exploitables pour des besoins de recherche en général.

Nous pensons que cette normalisation peut être apportée à 4 niveaux :

- au niveau du recueil des données pluviométriques : il faudrait définir une forme "standard" sous laquelle ce type de données devrait être disponible ;
- au niveau de la caractérisation du système de drainage qui constitue la base de toute étude ultérieure : il faudrait définir un nombre minimum de données à acquérir sur les zones d'apport (bassins versants) du système - qui devraient être "homogènes" -, sur les apports d'eau (usée, pluviale et parasite) dans le réseau et sur les ouvrages élémentaires et spéciaux du réseau lui-même ;
- au niveau de la méthodologie de mesures et de prélèvement d'échantillons d'eau : il faudrait préconiser un choix de matériel par type de mesure, des critères pour la définition des points de mesures dans le réseau, et des critères pour la réalisation des prélèvements et des analyses des échantillons d'eau ;
- au niveau des modes d'évaluation des flux : il faudrait préconiser une forme homogène des résultats à obtenir (valeurs instantanées, valeurs ponctuelles, moyennes journalières,...) par type d'objectif ou en fonction du phénomène à décrire.

Pour affiner ces normes, il serait plus qu'intéressant de prévoir une bibliothèque nationale de données qui pourrait contenir toutes les données acquises sur les différents sites français. A l'aide des moyens télé-informatiques actuels, les organismes intéressés pourraient avoir accès à ces données plus facilement.

Nous sommes conscients que ce type de normes pourrait imposer des contraintes au chargé d'étude d'assainissement et donc des conséquences financières plus lourdes pour la collectivité concernée. Mais nous pensons que ce coût supplémentaire éventuel

serait plus qu'amorti à l'avenir puisque les données seraient mieux exploitées, les modèles plus affinés et les campagnes de mesures plus allégées.

Pour finir, nous pensons aussi qu'il serait très intéressant de prévoir une étude à l'échelle nationale dans laquelle on devrait :

- prendre en compte un nombre suffisant de bassins versants "homogènes" ,
- disposer d'une base de données importante sur la relation pluie - déversement en termes quantitatifs et qualitatifs ;
- mettre en évidence les paramètres permettant d'expliquer le phénomène.

X.3. CONCLUSIONS D'ORDRE METHODOLOGIQUE

Les conclusions principales que nous pouvons déduire des différents tests réalisés sont les suivantes :

- * Pour la simulation des pluies, il ne faut négliger aucun événement pluvieux, a priori. Tous les événements pluvieux semblent avoir leur importance dans la quantité et la qualité des eaux de déversement. En simulant des séries limitées d'événements, le risque d'erreur est important et le gain de temps est limité.
- * L'application sans précaution d'une méthode basée sur la simulation de classes pluviométriques peut s'avérer hasardeuse et dangereuse. Les résultats obtenus montrent qu'il y a des risques d'erreur importants. Cependant, cette méthode peut être conseillée si l'on ne dispose pas d'une série chronologique de hyéto-grammes ou si le gain de temps le justifie (plusieurs simulations à faire avec les mêmes données par exemple). Il est alors conseillé de procéder de la façon suivante :

. Recenser les événements les plus importants et les conserver tous.

. Classifier le reste des événements selon leurs hauteur totale et durée de précipitation. Il est conseillé de définir les classes en vérifiant les deux conditions suivantes :

- le nombre d'événements par classe ne doit pas être trop important ; en particulier pour les classes moyennes et fortes ;

- la différence de hauteur et de durée de précipitation entre deux événements d'une même classe ne doit pas être trop importante.

. Représenter chaque classe par une pluie réelle lui appartenant et dont les caractéristiques hauteur-durée sont proches des hauteur et durée moyennes de la classe.

. Simuler les pluies réelles représentatives des classes et les événements pluvieux importants qui ont été conservés et non classés.

. Si possible, faire un contrôle en simulant par exemple tous les événements de deux ou trois classes d'importance différente et comparer les résultats par classe.

• Pour une bonne modélisation du système réel, il est indispensable de rechercher tous les déversoirs d'orage importants et de les simuler.

• Pour l'évaluation des masses polluantes déversées, le choix du mode de représentation de la concentration en polluant apparaît important :

. Pour l'évaluation de la masse polluante à effet rapide ou saisonnier, l'utilisation d'une concentration unitaire variable par événement pluvieux est conseillée. La méthode basée sur le calage d'une loi de type $C = a.H^b.I^c.T^d$ et son extrapolation sur les événements pluvieux non mesurés, semble intéressante. Pour cela, il est indispensable d'échantillonner un nombre suffisant d'événements pluvieux afin de vérifier la qualité du calage, et de couvrir les petits, moyens et grands événements.

. Pour l'évaluation de la masse annuelle, trois méthodes peuvent être conseillées. Elles semblent suffisantes à cette échelle.

- Soit utiliser une concentration unitaire variable par événement (citée ci-dessus).

- Soit utiliser une concentration unitaire moyenne déduite de mesures réalisées si possible sur des déversements importants et sur un nombre suffisant d'événements pluvieux.

- Soit utiliser des concentrations moyennes pour l'eau pluviale et pour l'eau usée séparément, en procédant de la façon suivante :

- . Une concentration moyenne pour l'eau pluviale. L'importance de ces eaux dans la pollution des eaux déversées est indiscutable ; il est donc conseillé d'avoir des valeurs mesurées.
- . Pour l'eau usée, l'utilisation d'une concentration moyenne journalière peut être suffisante. Mais il est sans doute plus intéressant d'utiliser des concentrations horaires. Le choix d'une variable entre le jour et la nuit est déconseillé.

- Dans le cadre d'une étude visant à évaluer les volumes et les masses maximum à effets rapide ou saisonnier, les tests effectués montrent qu'une loi de type :

$$Y = a \cdot X^b$$

avec :

- Y : indicateur étudié (volume ou masse)
- X : période de retour (en mois)
- a et b : coefficients spécifiques au site étudié

permet un ajustement correct des valeurs maximales des volumes et des masses polluantes susceptibles d'être rejetés lors d'événements ou périodes courtes pluvieux, et de leurs fréquences d'apparition. Cependant, l'extrapolation de cette loi au-delà de la durée de la période étudiée présente des risques d'erreur.

PERSPECTIVES :

Sur le plan de la simulation, l'influence de l'allure d'un événement pluvieux sur les déversements semble importante. Une étude permettant de définir les différences pouvant être obtenues dans les volumes déversés, en simulant d'abord uniquement les événements pluvieux caractérisés par des périodes de précipitation intenses (sur de courtes durées), puis en simulant tous les événements pluvieux, serait intéressante.

L'étude de la classification des pluies sur la base des précipitations intenses et leurs durées devrait aussi aboutir à des résultats intéressants.

Les déversements d'eaux unitaires dans les milieux récepteurs ont beaucoup augmenté ces vingt dernières années. En raison de la rapide urbanisation dans les années 1960 et 1970, de nouvelles superficies ont été connectées aux anciens réseaux d'assainissement dont la capacité est limitée, conduisant à une augmentation des volumes rejetés par les déversoirs d'orage et donc une augmentation de la charge polluante.

Le problème de ces déversements a commencé par provoquer des prises de conscience locales dues aux impacts sur l'environnement récepteur. Dans les grandes et moyennes villes notamment, le problème se manifeste par d'importantes productions d'algues dans certains lacs (dûs aux rejets d'azote et de phosphore) et de grandes quantités de sédiments transportés et déposés dans les eaux réceptrices en général. En particulier, dans les zones drainées majoritairement par les systèmes unitaires et où les déversements sont relativement fréquents.

Les responsables de l'assainissement savent maintenant que les rejets unitaires sont responsables, pour une part importante, de la pollution des milieux récepteurs. En outre, cette prise de conscience est internationale.

Il est donc nécessaire d'évaluer l'apport des déversements unitaires dans la pollution des milieux récepteurs pour mieux gérer le fonctionnement des ouvrages mis en cause (les déversoirs d'orage) et voir quelle solution peut-on apporter à ce problème.

Cette étude découle donc de problèmes réels d'environnement. Il s'agit d'une investigation de recherche d'ordre méthodologique, destinée à répondre à des besoins concrets.

Ces éléments de réponse doivent permettre de faciliter d'une part la tâche aux services techniques d'assainissement dans leurs études d'estimation des rejets unitaires, d'autre part la prise en compte de l'aspect qualitatif des problèmes d'assainissement unitaire dans les études de simulation et de conception de ces systèmes.

Les objectifs de l'étude ont donc été définis sur la base des deux critères suivants :

- les besoins formulés par les spécialistes de l'assainissement concernés par le problème, et
- les connaissances disponibles en France et à l'étranger permettant de distinguer ce qui existe et ce qui manque dans ce domaine.

Le premier critère découle de contraintes et de manque de connaissances observés par les services techniques de l'assainissement lorsqu'ils viennent à traiter le problème. Pour ce qui est des contraintes, elles concernent presque toujours le budget. En effet, les campagnes de mesure qui représentent le meilleur moyen d'acquérir des connaissances relativement précises et correctes sur le phénomène, posent deux problèmes majeurs : le premier d'ordre budgétaire touche les moyens nécessaires qui sont très onéreux, le second d'ordre pratique réside dans la façon de mesurer correctement. Même si le second problème vient à être résolu, le premier reste, dans ce cadre, incontournable ; en particulier si la période d'étude est assez longue. D'où l'intérêt d'envisager des méthodes basées sur la modélisation et la simulation informatique, même si celles-ci nécessitent un peu de mesures pour le calage et la vérification.

Pour ce qui est du problème relatif au manque de connaissances, il découle d'un certain nombre de questions que ces mêmes spécialistes de l'assainissement se posent, à savoir : Comment faire une estimation relativement "précise" des flux rejetés au moindre Coût ? Comment optimiser les campagnes de mesure et de prélèvement tout en satisfaisant les objectifs ? Comment mesurer correctement ? Comment traiter correctement les données pluviométriques lors d'une simulation visant à résoudre le problème ? etc... Beaucoup de questions auxquelles les réponses ne sont pas connues au stade actuel des connaissances.

Quand au second critère, il reflète les connaissances actuelles sur les méthodes d'approche existantes permettant de traiter le problème et sur les phénomènes hydrologiques lui étant liés. Ce critère doit donc permettre de définir des pistes de recherche.

C'est dans ce sens que l'étude est entreprise au départ, sachant que les réponses à toutes ces questions nécessitent beaucoup de données réelles observées sur différents sites.

Pour cela, nous nous sommes proposés d'orienter cette étude suivant deux axes de recherche :

- rechercher les éléments de réponse permettant de définir des méthodes de mesure "efficaces". Ceci implique la mise en évidence des lacunes actuelles ;
- rechercher des méthodes de modélisation en tenant compte des possibilités et contraintes rencontrées sur différents cas en France. Ces méthodes doivent découler des possibilités offertes par les données disponibles afin de pouvoir les tester sur des sites réels.

La méthodologie permettant de réaliser cette étude doit être définie sur la base des connaissances actuelles.

Ceci nous a donc amené à faire d'abord un bilan de connaissances actuelles en France et à l'étranger, concernant d'une part les phénomènes liés aux déversements unitaires pour mieux comprendre ce phénomène et d'autre part les méthodes utilisées pour estimer les flux rejetés. C'est l'objet des chapitres IV et V respectivement.

Les conclusions concernant cette première étude sont présentées dans la partie VI.

Nous avons ensuite dépouillé et analysé huit études de cas français (sélectionnées sur un certain nombre de critères) afin de recenser les différentes méthodes utilisées par les bureaux d'études français, de mettre en évidence les lacunes d'ordre méthodologique concernant les méthodes de mesure et de modélisation utilisées, d'apporter des éléments de réponse en confrontant méthodes, moyens et résultats, et de définir enfin des méthodes d'approche, améliorées ou nouvelles, dans un organigramme méthodologique conceptuel permettant de les tester et de les comparer. C'est l'objet du chapitre VII.

Dans le cadre de cette deuxième phase d'étude, des fiches techniques type (dont un exemple est donné en annexe 3) ont été construites afin d'homogénéiser les informations recueillies. Ces informations montrent d'une part la diversité des méthodologies utilisées, ce qui rend difficile l'exploitation des données, et d'autre part, le manque important de connaissances dans le domaine des mesures, en particulier dans les prélèvements et l'analyse des échantillons d'eau. Ce qui explique en grande partie le fait que cette étude soit essentiellement axée sur des méthodes basées sur la modélisation et la simulation.

Le test de ces méthodes sur des cas réels nécessite un minimum de données caractérisant les systèmes unitaires choisis, des points de vue structurel, hydrologique, hydraulique et qualitatif. Cependant, l'analyse de huit sites retenus montre que seuls trois répondent aux critères permettant la réalisation des tests. En outre, certaines méthodes ont pu être testées sur un cas mais pas sur un autre ; de même une méthode n'a jamais pu être appliquée.

Cette troisième phase d'étude fait l'objet du chapitre VIII. Les principaux résultats de ces tests sont présentés dans le chapitre IX.

Enfin, les conclusions générales concernant cette étude font l'objet de la dixième et dernière partie (X).