



n° 15801

Institut de Mécanique
des Fluides
URA CNRS 854
Strasbourg



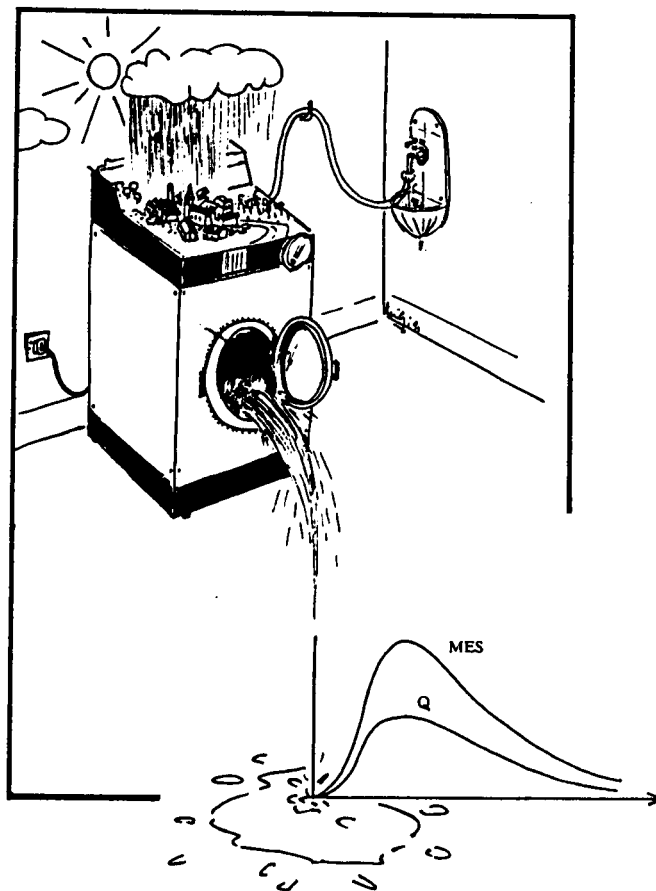
Ecole Nationale des Ingénieurs
des Travaux Ruraux et des
Techniques Sanitaires
Strasbourg



Lyonnaise des Eaux -
Dumez
Bordeaux

MODELISATION DES DEBITS ET DU TRANSPORT SOLIDE EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI

Avril 1991

RESUME

Cette étude bibliographique est consacrée à deux domaines essentiels de la modélisation en hydrologie urbaine : la transformation pluie-débit et le transfert des particules solides en réseau d'assainissement.

On distinguera les modélisations déterministes fondées sur une approche mécaniste descriptive des phénomènes physiques, et les modélisations globales fondées sur une approche conceptuelle et/ou simplifiée.

La première partie concerne les phénomènes hydrologiques et hydrauliques. On y aborde les notions de pluies de projet et de variabilités spatiale et temporelle de la pluie. Les pertes avant ruissellement (interception, évaporation, infiltration et stockage) sont évoquées, ainsi que leurs modélisations.

La transformation pluie-ruissellement sur un bassin versant et le transit des débits dans les collecteurs sont étudiés, différentes approches modélisatrices de ces phénomènes sont présentées.

La deuxième partie concerne le transfert des particules solides depuis la surface du bassin versant jusqu'à la sortie du réseau d'assainissement. Après une description de ces particules, on étudie les différentes étapes de leur parcours : accumulation à la surface du bassin versant, entraînement par la pluie et le ruissellement, transit, sédimentation et érosion dans les collecteurs. Un rappel des formules classiques de transport solide pour des particules cohésives ou non précède une description des différents modèles proposés dans le cadre de l'hydrologie urbaine.

ABSTRACT

This review presents two main domains of urban drainage modelling : the rainfall-runoff process and the solid particles transfer in sewer systems.

A distinction is proposed between deterministic modelling, based on a mechanistic and descriptive approach of physical phenomena, and global modelling, based on a conceptual and/or simplified approach.

The first part deals with hydrological and hydraulic points of view. Design rainfalls and spatial and temporal rainfall variabilities are presented. The losses before runoff (interception, evaporation, infiltration and storage) and their modelling are described. The rainfall-runoff process on a catchment basin and the runoff propagation in sewer systems are studied. Their different modelling approaches are then presented.

The second part deals with solid particles transfer from the catchment surface to the sewer system outlet. After a description of these particles, the steps of their way are presented : build-up and wash-off on the catchment basin, transfer, deposition and erosion in sewer pipes. Usual solid transport formulas for cohesive and non cohesive particles are given before a description of some models proposed in the field of urban hydrology.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.	7
- PREMIÈRE PARTIE : MODÉLISATION DES DÉBITS -	9
CHAPITRE 1 : LA PLUIE.	11
1.1. INTRODUCTION.	11
1.2. LES PLUIES DE PROJET.	12
1.2.1. Pluie en bloc.	12
1.2.2. Pluie de type Chicago.	12
1.2.3. Pluie de type I.S.W.S.	14
1.2.4. Pluie de type "cluster".	15
1.2.5. Pluie de type Normand.	16
1.2.6. Pluie de type double-triangle.	17
1.2.7. Pluie de type Šifalda.	18
1.2.8. Séries de pluies types.	18
1.2.9. Pluies réelles.	19
1.3. VARIABILITÉ SPATIALE DE LA PLUIE.	20
1.4. DÉPLACEMENT DES AVERSES.	25
1.5. CONCLUSION.	27
CHAPITRE 2 : LES PERTES AVANT RUISSELLEMENT.	29
2.1. INTERCEPTION PAR LES VÉGÉTAUX.	29
2.2. L'ÉVAPORATION.	29
2.3. L'INFILTRATION.	30
2.4. STOCKAGE DANS LES DÉPRESSIONS DU SOL.	33
2.5. CALCUL DES PERTES DANS LES MODÈLES.	35
2.5.1. Pour les surfaces imperméables.	37
2.5.2. Pour les surfaces perméables.	40
2.6. CONCLUSION.	44
CHAPITRE 3 : LE RUISSELLEMENT.	47
3.1. LE PHÉNOMÈNE DE RUISSELLEMENT.	47
3.1.1. Les écoulements surfaciques.	47
3.1.2. Les écoulements dans les caniveaux.	47
3.2. APPROCHE MODÉLISATRICE DÉTERMINISTE.	48

3.3. APPROCHE MODÉLISATRICE GLOBALE.	50
3.3.1. Calcul d'une valeur de débit maximum.	50
3.3.1.1. Méthode rationnelle.	50
3.3.1.2. Méthode de Caquot.	52
3.3.2. Calcul d'un hydrogramme de ruissellement par les méthodes dérivées de la méthode rationnelle.	53
3.3.2.1. Méthode rationnelle adaptée au calcul d'un hydrogramme.	53
3.3.2.2. Méthode des courbes isochrones.	54
3.3.2.3. Méthode de l'hydrogramme unitaire.	55
3.3.3. Les modèles de type réservoir.	58
 CHAPITRE 4 : LE TRANSFERT DES DEBITS DANS LES COLLECTEURS.	65
4.1. APPROCHE DÉTERMINISTE.	65
4.1.1. Méthode des caractéristiques.	69
4.1.2. Méthodes par différences finies.	74
4.1.3. Autres méthodes.	77
4.2. APPROCHE GLOBALE.	78
4.2.1. Méthodes issues du modèle Muskingum.	78
4.2.2. Méthode du time-offset.	81
4.3. CAS PARTICULIERS DES ÉCOULEMENTS EN CHARGE.	82
4.3.1. Méthode du stockage.	82
4.3.2. Méthode de translation simple.	82
4.3.3. Méthode Sogreah.	82
4.3.4. Méthode du programme SERAFL.	83
4.4. TABLEAU RÉCAPITULATIF.	85
 CHAPITRE 5 : CONCLUSION SUR LA MODELISATION DES DEBITS.	87
 - DEUXIÈME PARTIE : MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE -	89
 CHAPITRE 6 : CARACTERISTIQUES DE LA POLLUTION VEHICULEE DANS LES RESEAUX. .	93
6.1. EAUX USÉES DE TEMPS SEC.	93
6.2. EAUX PLUVIALES.	95
6.2.1. Quantification et caractérisation de la pollution.	95
6.2.2. Origines de la pollution des eaux pluviales.	98
6.2.2.1. Pollution d'origine atmosphérique.	98
6.2.2.2. Pollution stockée sur les toitures.	99
6.2.2.3. Pollution accumulée sur les surfaces imperméables du sol.	100

6.3. MODÉLISATION DE L'ACCUMULATION DES POLLUANTS DE SURFACE.	106
6.3.1. Modèle S.W.M.M.	106
6.3.2. Modèle FLUPOL.	107
6.3.3. Modèle de Servat.	107
CHAPITRE 7 : LES DEPOTS DANS LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT.	109
7.1. ORIGINES ET CARACTÉRISTIQUES DES DÉPÔTS.	109
7.1.1. Granulométrie des dépôts.	109
7.1.2. Teneur en matières organiques.	111
7.1.3. Classification.	112
7.2. EVOLUTION DES DÉPÔTS.	114
7.2.1. En temps sec :	114
7.2.2. En temps de pluie :	115
CHAPITRE 8 : MOBILISATION DE LA POLLUTION DE SURFACE PAR LA PLUIE.	117
8.1. PHÉNOMÈNES PHYSIQUES.	117
8.2. APPROCHE MODÉLISATRICE DÉTERMINISTE.	118
8.2.1. Modèle de Tan.	118
8.2.2. Modèle de Zhang et Cundy.	119
8.3. APPROCHE MODÉLISATRICE GLOBALE.	122
8.3.1. Modèle S.W.M.M.	122
8.3.2. Modèle de Brombach.	124
8.3.3. Modèle de Göttle.	125
8.3.4. Modèle NPS.	126
8.3.5. Modèle MOSQUITO.	127
8.3.6. Modèle HLOAD.	129
8.3.7. Modèle de Servat.	129
8.3.8. Modèle de Driver et Troutman.	130
8.3.9. Autres modèles.	132
8.3.10. Tableau comparatif des modèles globaux.	133
CHAPITRE 9 : TRANSIT DES MES ET DES DEPOTS DANS UN RESEAU.	135
9.1. LIMINAIRE.	135
9.2. NOTION D'AUTOCURAGE ET PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT (MACKE 1980).	135
9.3. NOTIONS GÉNÉRALES SUR LE TRANSPORT DE PARTICULES NON COHÉSIVES.	137
9.4. LE CHARRIAGE.	137
9.4.1. Formule de Meyer-Peter-Müller (1948).	137
9.4.2. Formule d'Einstein (1942).	138
9.4.3. Formule de Novak - Nalluri (1975, 1984).	139
9.4.4. Compléments.	140

9.5. LA SUSPENSION.	143
9.5.1. Formule de Larras (1965).	143
9.5.2. Formule de Van Rijn (1984b).	143
9.5.3. Formule de Rouse (1939).	144
9.6. LE TRANSPORT TOTAL.	146
9.6.1. Formules de Van Rijn.	146
9.6.2. Formules d'Ackers - White.	149
9.6.3. Formule de Macke (1982).	152
9.7. NOTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AU TRANSPORT DE PARTICULES COHÉSIVES.	153
9.8. TRANSPORT DES PARTICULES EN SUSPENSION ET DES POLLUANTS DISSOUS.	157
9.8.1. Méthode de Koussis.	157
9.8.2. Méthode de Holly-Preissmann (1977).	159
9.8.3. Autres méthodes.	164
CHAPITRE 10 : MODELISATION DES DEPOTS ET DU TRANSPORT SOLIDE EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT.	165
10.1. MODÉLISATION DES DÉPÔTS EN TEMPS SEC.	165
10.1.1. Modèles Pisano-Queiroz.	165
10.1.2. Modèle THALLIA.	166
10.2. MODÉLISATION D'ENSEMBLE DU TRANSPORT SOLIDE EN RÉSEAU.	168
10.2.1. Modèle S.W.M.M.	168
10.2.2. Modèle de Sonnen.	169
10.2.3. Modèle THALLIA.	172
10.2.4. Modèle de Vélikanov.	173
10.2.5. Modèle FLUPOL.	174
10.2.6. Modèle MOSQUITO.	175
10.2.7. Modèle de Berndtsson <i>et al.</i>	177
10.2.8. Modèles de Isabel <i>et al.</i>	179
10.2.9. Modèle KOSIM.	179
CHAPITRE 11 : CONCLUSION SUR LA MODELISATION DU TRANSPORT SOLIDE.	183
CONCLUSION GENERALE.	185
Notations.	187
Références bibliographiques.	191

INTRODUCTION.

Un réseau d'assainissement unitaire a pour but l'évacuation conjointe des eaux usées domestiques et industrielles et des eaux pluviales. Les eaux transportées véhiculent des charges polluantes, présentes sous forme dissoute ou particulaire, cette dernière forme étant transportée par suspension, par charriage ou par saltation. Dans cette synthèse bibliographique, nous nous intéresserons aux phénomènes hydrauliques (débits, volumes) qui affectent le réseau ainsi qu'aux phénomènes de production et de transport de la pollution particulaire, par temps sec et par temps de pluie. Le schéma de la figure 1 illustre l'ensemble de ces phénomènes et leurs principales interactions :

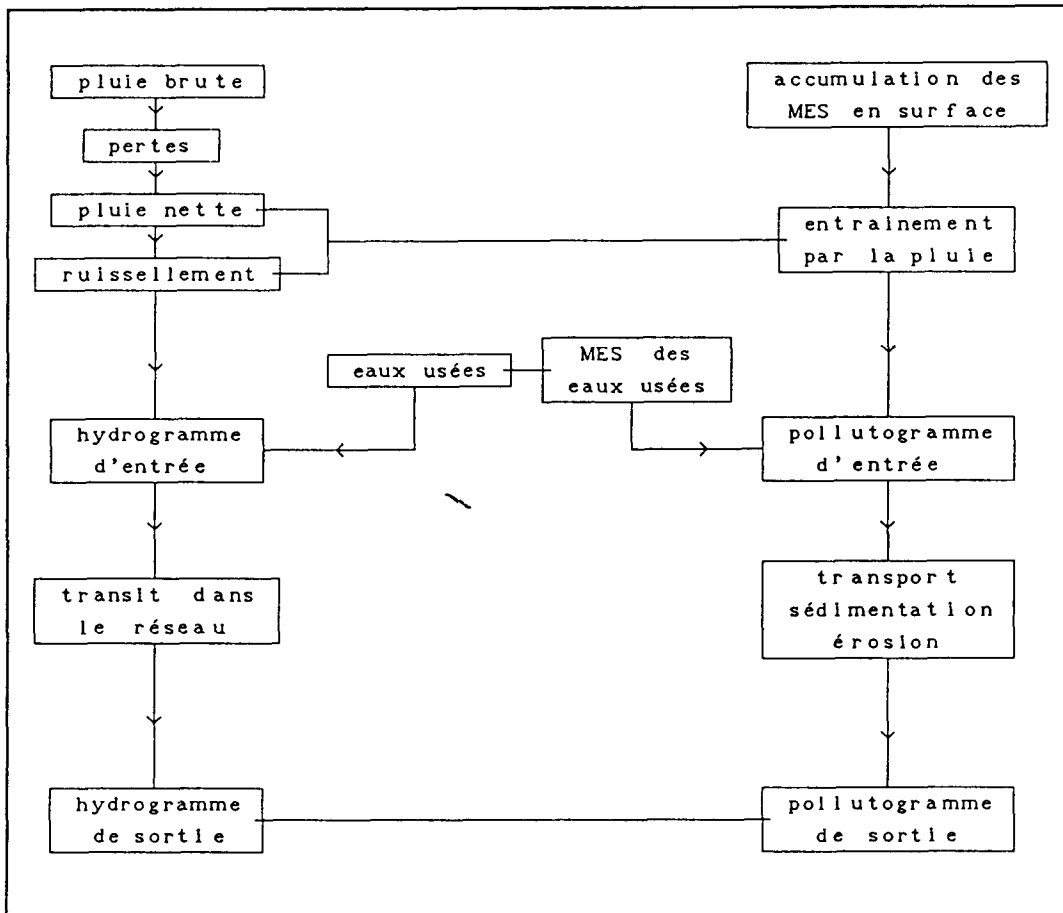


figure 1 : Fonctionnement général d'un réseau unitaire.

Chacune des étapes de ce schéma fera l'objet d'une description au niveau physique. On en présentera ensuite diverses approches modélisatrices proposées dans la littérature.

La première partie (chapitres 1 à 5) traitera de la modélisation des débits transités en réseaux d'assainissement. La deuxième partie (chapitres 6 à 11) concernera la modélisation du transport solide.

CONCLUSION GENERALE.

L'ensemble des questions touchant à la modélisation des débits et des flux de particules solides dans les réseaux d'assainissement a été abordé.

Au niveau hydraulique, toutes les étapes de la transformation pluie-hydrogramme à l'exutoire sont modélisables, avec un degré de complexité et une précision variables selon les besoins des utilisateurs, depuis les modèles déterministes complets jusqu'aux modèles globaux : ces modèles permettent de traiter la transformation pluie brute-pluie nette, les pertes avant ruissellement, la transformation pluie nette-ruissellement de surface, le transit des débits dans le réseau.

Il reste naturellement des mécanismes à élucider, des phénomènes à mieux appréhender, des influences à mieux cerner, mais, d'une manière générale, on peut considérer que les modèles hydrauliques actuels donnent satisfaction dans la plupart des cas, à condition de connaître leurs avantages, leurs limites et de disposer de données expérimentales pour leur calage.

Au niveau de la pollution solide (MES et dépôts), il reste encore beaucoup à faire pour mieux connaître les caractéristiques et le comportement des solides transitant dans les réseaux. Cela permettra de développer des modèles propres aux réseaux d'assainissement et de ne plus transposer directement des modèles issus de l'hydraulique fluviale ou marine.

Les modèles sont encore peu nombreux, notamment les modèles de types global, mais les résultats obtenus sont déjà très intéressants. Toutefois le manque de données expérimentales pour les valider et les caler demeure encore un obstacle à leur développement.

D'autres aspects de la modélisation, et non des moindres, concernent les techniques de calage et de vérification des paramètres, ainsi que les analyses de sensibilité (Jewell *et al.* 1978; Marsalek 1979; Mac Cuen 1973; Desbordes, Raous 1976; Desbordes 1990). Ces questions, qui n'ont pas été abordées ici, sont importantes pour mieux comprendre le fonctionnement des modèles, et donc pour mieux les utiliser en connaissant les avantages et les limites (Villiermaux, Antoine 1978).