

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

présenté

à

l'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

JEAN-MARC AUBERT

Ing. chimiste, Université de Genève

et

JOSEE DARTOIS

D.U.E.S. (chimie-biologie), Université de Dijon

"ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DU COMPORTEMENT D'UN EGOUT
COMBINE DESSERVANT UN SECTEUR RESIDENTIEL D'UNE VILLE QUEBECOISE"

OCTOBRE 1976

RESUME

Grâce à une station installée avec la collaboration de la Ville de Sainte-Foy et du ministère des Richesses naturelles, une campagne de mesures est effectuée sur un réseau d'égouts combinés desservant un bassin de 39 acres strictement résidentiel (800 habitants) situé à SAINTE-FOY. L'étude se déroule sur l'automne, l'hiver et le printemps 1973-1974, et comporte des mesures quantitatives (débits dans l'égout, pluies sur le bassin) et des mesures qualitatives (prélèvements d'échantillons d'eau d'égout sur lesquels sont analysés le carbone organique, le phosphore total, les solides en suspension, les chlorures).

Les données sont traitées de façon à caractériser les apports domestiques ainsi que l'influence de différents événements météorologiques (pluies, fonte de neige) sur les débits et les charges polluantes rencontrés dans l'égout.

REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier notre directeur de thèse, Monsieur Jean-Pierre VILLENEUVE, qui nous a laissé beaucoup d'autonomie et d'initiatives tout au long de ce travail, et a su montrer beaucoup de patience.

Nos remerciements vont également à Monsieur Hubert DEMARD qui nous a apporté une précieuse aide et de nombreux encouragements dans toutes les étapes de ce travail.

Nous tenons à remercier d'autre part tous ceux qui ont participé à la réalisation de cette étude:

- Monsieur Jules LAMY, ingénieur à la Ville de Saint-Foy qui nous a apporté sa collaboration dans le choix du site d'étude, ainsi que la VILLE DE SAINTE-FOY qui nous a procuré l'abri nécessaire à nos appareils de mesures et nous a offert les services de ses techniciens à maintes reprises,
- Monsieur Jean-Paul BOUCHER du Ministère des Richesses naturelles (Service de l'Hydrométrie) qui a consenti à nous prêter l'appareillage nécessaire aux mesures de débit, et nous a assistés durant toute la campagne de mesures,
- Monsieur André FRECHETTE, du Ministère des Richesses naturelles (Service de Météorologie) qui a procédé à l'installation de la station pluviométrique,
- Madame TREMBLAY qui a bien voulu se charger de l'opération de la station pluviométrique sise sur sa propriété,

- le personnel de soutien du laboratoire de l'INRS-Eau qui nous a procuré toutes les facilités requises pour effectuer nos analyses physico chimiques,
- enfin, Mlle Lise Raymond et MM. Magella Cantin et André Parent, du service de l'édition de l'INRS-Eau, qui ont permis l'achèvement de ce travail.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
RESUME.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	x
1. INTRODUCTION.....	1
2. REVUE DE LA LITTERATURE SUR LES RESEAUX D'EGOUTS COMBINES.....	4
2.1 Caractéristiques des débits dans les réseaux d'égouts combinés	6
2.2 Caractéristiques qualitatives des eaux de réseaux d'égouts combinés.....	9
3. SELECTION DU SECTEUR D'ETUDE ET DESCRIPTION DE L'INSTALLATION.	14
3.1 Choix du bassin.....	14
3.1.1 Protocole de sélection.....	14
3.1.2 Caractéristiques du réseau d'égouts combinés et de son bassin.....	15
3.2 Installation de la station de mesures.....	18
3.2.1 Mesure des débits dans l'égout.....	18
3.2.2 Dispositif d'échantillonnage.....	22
3.2.3 Enregistrement des précipitations.....	25
4. ETUDE DES DEBITS SANITAIRES ET DES RELATIONS PRECIPITATIONS-DEBITS.....	27
4.1 Acquisition et traitement des données.....	27
4.1.1 Données de précipitations.....	27
4.1.2 Données de niveau.....	27
4.1.3 Validité des données de niveau.....	28
4.1.3.1 Conditions hydrauliques au point de mesure.....	28
4.1.3.2 Problèmes reliés à la mesure du niveau.....	28

	<u>PAGE</u>
4.1.3.3 Données retenues pour l'analyse.....	31
4.1.4 Conversion niveau-débit.....	31
4.1.5 Recommandations sur les mesures.....	34
4.2 Examen général des débits.....	35
4.3 Etude de la composante sanitaire du débit.....	37
4.3.1 Etude préliminaire.....	37
4.3.2 Auto-corrélogrammes.....	38
4.3.3 Première analyse de Fourier.....	41
4.3.4 Redistribution des jours secs.....	42
4.3.5 Deuxième analyse de Fourier.....	43
4.3.6 Moyennes mobiles.....	44
4.3.6.1 Moyenne mobile "rectangulaire".....	45
4.3.6.2 Moyenne mobile "normalisée".....	46
4.3.7 Simulation de la composante sanitaire et estimation du débit sanitaire journalier.....	48
4.3.8 Etude des cycles hebdomadaires.....	50
4.4 Etude des pluies.....	51
4.4.1 Elimination de la composante sanitaire.....	51
4.4.2 Etude des périodes de tarissement.....	53
4.4.3 Conclusion.....	55
5. ETUDE DE LA QUALITE DES EAUX DE L'EGOUT COMBINE.....	57
5.1 Acquisition des données.....	57
5.1.1 Données de qualité.....	57
5.1.2 Données de débit et données météorologiques.....	60
5.1.3 Validité des données.....	61
5.2 Caractérisation du comportement de l'égout par temps sec.....	64
5.2.1 Variations temporelles.....	64
5.2.1.1 Variations horaires.....	64

	<u>PAGE</u>
5.2.1.2 Variations entre les jours.....	71
5.2.2 Calcul des charges moyennes par personne et par jour..	72
5.3 Influence des conditions hivernales sur la qualité des eaux de l'égout combiné.....	76
5.3.1 Identification des phénomènes de fonte et de "dégla- çage".....	77
5.3.2 Interprétation d'un cas de fonte et d'un cas de "dé- glaçage".....	78
5.3.2.1 Cas de "déglaçage".....	79
5.3.2.2 Cas de fonte.....	79
5.3.2.3 Evaluation des charges en chlorures, carbone et phos- phore.....	80
5.4 Etude de la qualité des eaux de l'égout combiné pendant une pluie.....	82
6. CONCLUSION.....	85
BIBLIOGRAPHIE.....	90
TABLEAUX.....	95
FIGURES.....	120
ANNEXE A (analyse de Fourier).....	146
ANNEXE B (liste des jours étudiés dans le chapitre 4).....	149
ANNEXE C (méthodes d'analyses).....	150

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
2.1	Composition moyenne d'une eau d'égout sanitaire..... 96
2.2	Charges sanitaires en grammes par personne et par jour.. 97
2.3	Gamme de concentrations des principaux éléments retrouvés dans des eaux de ruissellement urbain..... 98
2.4	Comparaison entre les charges apportées par les eaux de ruissellement pluvial et les charges sanitaires (bassin résidentiel de 27 acres et 245 habitants)..... 99
2.5	Comparaison des déversements de réseaux pluviaux et combi- nés en période de pluie..... 100
4.1	Résultats des étalonnages niveau-débit..... 101
4.2	Débits moyens (aux 2 heures) calculés sur 20 jours secs. 102
4.3	Analyse selon Fourier sur 29 jours secs..... 103
4.4	Analyse selon Fourier sur 29 jours secs (minimum du jour déduit et débits restants standardisés)..... 103
4.5	Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (débits diminués du profil minimum linéarisé et standardisés)..... 104
4.6	Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (chronologie réajus- tée)..... 104
4.7	Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (tendance enlevée par une moyenne mobile "rectangulaire")..... 104
4.8	Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (tendance enlevée par une moyenne mobile "normalisée")..... 105
4.9	Débit sanitaire journalier moyen pour 14 jours secs d'autom- ne..... 106

	<u>PAGE</u>
4.10	Données utilisées pour l'étude des cycles hebdomadaires et estimation des moyennes mensuelles de débit..... 106
4.11	Moyenne de débit de chaque jour de la semaine (calculée sur un ensemble de 154 jours)..... 107
4.12	Coefficients d'autocorrélation calculés sur les résidus (profil sanitaire et tendance enlevés)..... 108
4.13	Coefficients d'autocorrélation calculés sur les résidus (profil sanitaire enlevé)..... 108
4.14	Intervalles de confiance du facteur B de l'exposant de la courbe de tarissement pour chaque pluie..... 109
5.1	Charges moyennes horaires en carbone organique, phosphore et solides en suspension (jours secs)..... 110
5.2	Distribution du carbone organique dans les différentes fractions d'une eau d'égout sanitaire..... 111
5.3	Éléments caractéristiques des profils moyens journaliers (apports sanitaires)..... 112
5.4	Identification des pointes de charges pour chaque jour (jours secs)..... 113
5.5	Charges journalières en carbone organique (jours secs).. 114
5.6	Charges journalières en phosphore total (jours secs).... 114
5.7	Charges journalières en solides en suspension (jours secs) 115
5.8	Comparaison des charges sanitaires per capita (en grammes par jour) à Ste-Foy avec des données de la littérature.. 116
5.9	Comparaison de la variance S^2 (échantillonnage horaire) avec les variances S_F^2 (échantillonnage aux 2 heures, 4

	heures ou 6 heures).....	117
5.10	Comparaison de la moyenne \bar{X} (échantillonnage horaire) avec les moyennes \bar{X}_F (échantillonnage aux 2 heures, 4 heures ou 6 heures).....	117
5.11	Charges journalières en chlorures.....	118
5.12	Données pour la pluie du 30 octobre 1973.....	119

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>	
2.1	Exemple de réponse à une pluie observée dans un égout combiné.....	121
2.2	Exemple de réponse à une pluie de faible intensité observée dans un égout combiné.....	121
3.1	Plan du réseau d'égout combiné étudié.....	122
3.2	Schéma des installations à la station de mesures.....	123
3.3	Schémas de quelques dispositifs proposés pour créer une section critique dans une conduite d'égout.....	124
3.4	Schéma du collet installé dans l'égout.....	125
4.1	Comparaison des deux méthodes de calcul des débits.....	126
4.2	Débits du 5 au 8.11.73 (moyennes aux 2 heures).....	127
4.3	Comparaison entre la consommation en eau dans une zone résidentielle et le débit dans l'égout combiné par temps sec.....	128
4.4	Première série d'autocorrélogrammes sur les débits (période du 18.10 au 27.11.73).....	129
4.5	Deuxième série d'autocorrélogrammes sur les débits (moyennes aux 2 heures).....	130
4.6	Illustration de l'apport sanitaire.....	132
4.7	Réponse en fréquence d'un filtre.....	132
4.8	Allure de la série des coefficients $C(J)$ de pondération des débits.....	133
4.9	Schématisation du vecteur débit sanitaire.....	133
4.10	Schéma de la simulation d'une courbe de tarissement.....	133

4.11	Simulation du tarissement (débit diminué de l'apport sanitaire).....	134
5.1	Résultats de l'échantillonnage de février-mars 1974.....	135
5.2	Résultats de l'échantillonnage d'avril 1974.....	136
5.3	Résultats de l'échantillonnage de mai 1974.....	137
5.4	Charge en phosphore total: évolution moyenne sur 24 heures et intervalle de confiance à 95% (sur 7 jours secs).	138
5.5	Charge en carbone organique: évolution moyenne sur 24 heures et intervalle de confiance à 95% (sur 10 jours secs).	139
5.6	Charge en solides en suspension: évolution moyenne sur 24 heures et intervalle de confiance à 95% (sur 12 jours secs).....	140
5.7	Variation journalière de la pollution organique et de la consommation d'eau d'après certains auteurs.....	141
5.8	Evolution du débit et des charges lors d'un "déglaçage"..	142
5.9	Evolution du débit et des charges lors d'une fonte.....	143
5.10	Charges en carbone organique et phosphore (jour de fonte).	144
5.11	Evolution du débit et des charges en solides en suspension lors d'une pluie d'automne.....	145

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

Abréviations

CIT	Carbone Inorganique Total
COT	Carbone Organique Total
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
GPCJ	Gallons (impériaux) Per Capita par Jour
GPJ	Gallons (impériaux) Par Jour
G	Gallons (impériaux)
PCS	Pied Cube par Seconde
SS	Solides en Suspension
ST	Solides Totaux
g/l	grammes par litre
g/mn	grammes par minute
l/mn	litres par minute
mg/l	milligrammes par litre
ml	millilitre
\bar{X}	moyenne des valeurs de x

Symboles

Ca	calcium
Cl ⁻	ion chlorure
Na	sodium
NH ₄ ⁺	ion ammonium
NO ₃ ⁻	ion nitrate
P	phosphore
PO ₄ [≡]	ion phosphate

Conversion en unités métriques

1 pouce (po.) = 0.0254 mètre (m)

1 pied (pi.) = 0.305 mètre (m)

1 mille (mi.) = 1609 mètres (m)

1 livre (lb.) = 0.454 kilogramme (Kg)

1 acre = 4047 mètres carrés (m²) = 0.4047 hectare (ha)

1 gallon impérial (G) = 4.55 litres (l)

1 pied cube (pc) = 28.3 litres (l)

CHAPITRE 1

1. Introduction

Différents types de réseaux d'égouts desservent les agglomérations:

- réseaux d'égouts combinés lorsqu'une conduite unique reçoit les eaux sanitaires et les eaux de précipitation (eaux de ruissellement et eaux de percolation)
- réseaux d'égouts séparés quand deux réseaux distincts existent, l'un véhiculant les eaux sanitaires et l'autre les eaux de précipitation
- réseaux d'égouts pseudo-séparés dans le cas où le réseau sanitaire intercepte une partie des eaux de précipitation.

En règle générale, au Québec, les municipalités sont équipées en grande partie de réseaux d'égouts combinés, et dans les municipalités importantes ils desservent la majorité de la population; à cet effet, on peut citer le cas de Montréal où 98% de la population est raccordée sur des réseaux d'égouts combinés (COMITE AQTE, 1974). Depuis une dizaine d'années cependant, on s'oriente vers une politique de séparation, et les nouveaux développements sont dotés de réseaux d'égouts séparés, ou plus exactement pseudo-séparés, que l'on retrouve d'ailleurs très souvent raccordés sur un réseau d'égouts combinés.

L'opération de ces réseaux d'égouts, et particulièrement des réseaux d'égouts combinés, ainsi que la mise en place d'unités de traitement causent actuellement des difficultés majeures en raison des surcharges hydrauliques de ces réseaux, suivies de débordements, de l'apport d'une pollution notable par les eaux de ruissellement, ou de la dilution excessive des polluants sani-

taires par des eaux de ruissellement ou par des eaux d'infiltration. Il se fait donc sentir un besoin impérieux d'améliorer la gestion de ces réseaux, d'en établir un contrôle et de définir des politiques cohérentes pour la construction des réseaux futurs.

Cette étude ne prétend pas apporter de solution, ni trancher la question "combiné ou séparé?"; par contre il est essentiel que de telles décisions soient fondées sur une connaissance des phénomènes susceptibles de se produire dans les réseaux existants. Les données québécoises dans ce domaine sont peu nombreuses et il nous a donc paru intéressant de suivre le comportement d'un réseau d'égouts combinés sur une période de neuf mois, pour tenter d'évaluer in situ la réponse de l'égout à différents événements, en mettant l'accent sur les conditions climatiques particulières du Québec (influence des conditions hivernales et de la fonte de neige au printemps).

Les eaux véhiculées dans un réseau d'égouts combinés ont des origines très diverses; il est alors difficile de faire une interprétation valide des phénomènes observés à l'exutoire d'un vaste réseau. Nous avons donc accordé une grande importance à la sélection d'un réseau d'égouts combinés drainant un bassin de petite taille où il serait aisé d'identifier les différentes provenances des eaux: eaux sanitaires, eaux résultant de la fonte de neige ou de pluie.

Dans cette étude qui a fait l'objet d'un travail conjoint de septembre 1973 à mai 1974, respectivement sur les aspects quantitatifs et qualitatifs, nous proposons de caractériser le débit et la composition des eaux véhiculées dans l'égout combiné au cours de trois périodes typiques, soit: en période sèche, lors de la fonte de neige, et au cours de pluies.

Dans une première partie (chapitre 4), on trouvera une analyse des débits mesurés par temps sec et au cours de périodes humides. Plus précisément cette analyse porte en premier lieu sur l'identification du débit d'origine sanitaire et nous amène à proposer une méthode de simulation de la composante sanitaire du débit. Lors des périodes humides ensuite, après avoir isolé la composante sanitaire précédemment définie, nous tentons d'analyser les débits résultant d'apports autres que l'apport sanitaire, comme les apports reliés aux pluies; l'analyse des débits en période de fonte ne sera pas fournie, en raison d'un nombre insuffisant de données pour effectuer une interprétation globale.

Dans une seconde partie (chapitre 5), il s'agira de caractériser l'évolution d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques en relation avec la provenance des eaux. Pour cela nous étudions les variations temporelles ainsi que les charges totales de cinq paramètres (solides en suspension, carbone organique, phosphore total, chlorures et calcium) au cours de chacune des périodes mentionnées précédemment. Ceci nous conduit à caractériser d'une part le comportement qualitatif de l'égout par temps sec (eaux de provenance sanitaire) puis à étudier l'influence des périodes de fonte de neige et de pluie sur la composition des eaux véhiculées dans l'égout.

CHAPITRE 2

2. Revue de la littérature sur les réseaux d'égouts combinés

Les premiers réseaux d'égouts ont été des réseaux combinés et jusqu'à une époque récente, on a poursuivi la construction de ce type de réseau. Pendant les périodes humides (pluies, fonte des neiges), les débits peuvent atteindre cinquante à cent fois le débit moyen par temps sec (FIELD et STRUZESKI, 1972) et la majeure partie des eaux sont dirigées directement vers le milieu récepteur; en effet, les stations d'épuration, pour des raisons de coût et d'efficacité de traitement sont dimensionnées pour traiter deux à cinq fois le débit moyen par temps sec (MARSALEK, 1972; WALLER, 1969). Avec l'urbanisation croissante, la présence de polluants sanitaires dans les eaux de débordements des égouts combinés rend de plus en plus inacceptable cette pratique: jusqu'à 90% du volume des eaux sanitaires générées pendant une pluie peuvent être entraînées (WALLER, 1969; DUBOIS, 1969), et l'on s'oriente vers la construction de réseaux d'égouts séparés. La proportion d'égouts combinés est encore cependant considérable, surtout dans les grandes agglomérations. Dans ces conditions, on peut se demander s'il est justifié de penser reconvertir tous les réseaux d'égouts combinés existants en réseaux séparés. Une estimation des coûts de cette reconversion conduit à des montants excessifs que les municipalités en général ne peuvent engager; Marsalek (MARSALEK, 1972) arrivait à une évaluation de 5.6 milliards de dollars pour un projet de séparation totale au Canada. La séparation n'est par ailleurs, qu'une solution partielle à la réduction de la pollution et aux problèmes de surcharges des réseaux. Alors

que l'on prévoit traiter la totalité des eaux sanitaires, aucun traitement en général n'est envisagé pour les eaux des égouts pluviaux qui sont pourtant aussi fortement polluées: une étude de l'E.P.A. à Bucyrus, aux Etats-Unis, démontre que la séparation n'entraînerait qu'une réduction de 50% de la pollution pendant les périodes humides (NOLAND et DECARLO, 1970). D'autre part des possibilités de surcharges hydrauliques des réseaux sanitaires ne sont pas exclues (infiltration, apports de certaines eaux de ruissellement dans le cas d'une pseudo-séparation).

La reconversion des réseaux d'égouts combinés existants apparaît donc actuellement comme une entreprise coûteuse et incertaine et il serait sans doute plus profitable de se tourner vers d'autres solutions, opinion partagée par Waller (WALLER, 1969): "l'objectif de la séparation est l'élimination de la pollution des égouts combinés; des alternatives seront valables si elles réduisent la pollution, que les égouts combinés disparaissent ou non". Des solutions dans ce sens ont été proposées (ANDERSON, 1970) et sont appliquées dans certains cas comme à Chicago (KIELZER *et al.*, 1969), Cleveland (PEW *et al.*, 1973); ces solutions visent à réduire les volumes d'eaux interceptés dans les réseaux, à étaler et à amortir les pointes de débit ainsi qu'à améliorer la qualité des eaux de débordement (contrôle de la pollution à la source, rétention et traitement partiel des eaux les plus polluées). Il est clair qu'il n'existe pas une solution unique, mais l'établissement des caractéristiques du bassin et une meilleure connaissance des relations "précipitations (fonte) - débit - qualité des eaux" devraient permettre à chaque municipalité de sélectionner les mesures appropriées.

L'étude des réseaux combinés fait l'objet d'une littérature abondante; nous rappellerons les principales notions nécessaires à la compréhension

des phénomènes que l'on peut observer sur un réseau d'égouts combinés, à la fois du point de vue qualitatif et quantitatif.

2.1 Caractéristiques des débits dans les réseaux d'égouts combinés

Les caractéristiques des débits sont étroitement reliées à la provenance des eaux qui sont véhiculées dans le réseau.

Lorsque les seuls apports sont des eaux sanitaires et qu'il s'agit d'une zone résidentielle, on peut s'attendre à ce que les variations du débit soient directement liées à la consommation d'eau des résidences, montrant un minimum vers 4-5 heures du matin et deux maximums, l'un au milieu de la journée, l'autre le soir (DEMARD, 1970); la forme de l'hydrogramme en un point aval du réseau d'égouts dépend en outre de la taille du bassin et présente un amortissement et un décalage des pointes si le réseau est très grand. Au Québec, pendant la période très froide des mois de janvier et février, les apports par le ruissellement ou l'infiltration sont pratiquement inexistantes, et on ne retrouve alors que des eaux de provenance sanitaire. Notons que ce que l'on désigne généralement sous le terme de "débit par temps sec" peut inclure d'autres apports que les seules eaux sanitaires, comme par exemple des eaux de percolation résultant d'un écoulement retardé après une pluie, ou éventuellement des eaux d'infiltration provenant d'une remontée de la nappe jusqu'au niveau des conduites. Ces apports peuvent représenter une contribution notable dans certains bassins, dépendamment de la nature du sol; on en tient généralement compte dans le dimensionnement des conduites sans pour cela essayer d'identifier et de quantifier précisément ces apports supplémentaires.

Lors d'une pluie, les eaux de ruissellement qui atteignent l'égout combiné modifient considérablement les caractéristiques du débit par temps sec

et peuvent conduire à des débits jusqu'à cent fois supérieurs (FIELD et STRUZESKI, 1972). La pointe de débit ainsi que le temps de réponse du réseau dépendent de nombreux facteurs:

- caractéristiques de la précipitation (intensité, durée)
- caractéristiques du bassin (superficie, pente, pourcentage de surfaces imperméables)...
- caractéristiques des ouvrages de canalisation des eaux de ruissellement (types de branchements des drains de toits et des drains de fondation, étendue et ramification du réseau, pente des conduites).

On a cherché dès le siècle dernier, à relier la précipitation avec le débit résultant dans un égout afin de dimensionner adéquatement les conduites. Le premier modèle qui fut appliqué (introduit par KUICHLING en 1889) et qui est resté presque exclusivement la seule méthode employée jusqu'en 1969 est la "formule rationnelle" (McPHERSON, 1969). Bien que populaire, cette méthode ne renseigne que sur la pointe de débit; la pointe de débit calculée correspond à une intensité de pluie dont la période de récurrence est en général 10 ans pour les zones résidentielles (KOCH, 1967). Cette méthode ne permet pas le contrôle d'un égout au fur et à mesure des événements hydrologiques. Dans ce cas, il est nécessaire d'avoir un hydrogramme complet, c'est-à-dire une simulation continue; c'est ce qui a conduit à élaborer différents modèles fournissant une représentation plus fidèle et plus détaillée du comportement quantitatif d'un égout au cours d'une pluie. Les modèles qui ont été développés jusqu'ici peuvent être classés sommairement comme suit (LINSLEY, 1971):

- les formules empiriques, comme la méthode rationnelle
- les modèles de régression: on relie ici la pluie et/ou les caractéristiques du bassin à la pointe de débit ou au volume écoulé (NARAYANA, 1971);

ces modèles sont en général mal transposables sur d'autres bassins

- les modèles à analyse de fréquence ou modèles statistiques: on se base sur la similitude existant entre un bassin inconnu à aménager, et un bassin dont on connaît une longue série de débits. Ceci permet d'établir une régression reliant les deux bassins. Ces modèles sont peu précis (erreur: $\pm 40\%$) et la simulation n'est pas continue
- les modèles à synthèse hydrologique: lorsqu'on dispose de peu de données, on effectue deux opérations:
 - établissement d'une relation entre la pluie et le ruissellement:
 - 1) par des relations de régression
 - 2) en faisant intervenir l'infiltration, soit simplement par des indices d'infiltration, soit en tenant compte de la conductivité capillaire, et, dans le cas le plus élaboré, en faisant intervenir l'état d'humidité du sol
 - synthèse de l'hydrogramme:
 - 1) par un système linéaire analogue à celui de l'hydrogramme unitaire. Cette approche ignore les phénomènes qui se passent au niveau du bassin et constitue une sorte de boîte noire
 - 2) ou par une analyse physique du ruissellement faisant appel aux équations de St-Venant ou en version simplifiée, à la théorie de l'onde cinématique (YEVJEVICH et BARNES, 1970).

La combinaison de ces diverses possibilités donne les types de modèles suivants:

1. les modèles linéaires qui conviennent mal pour les applications urbaines où la réponse du bassin évolue au cours du temps
2. les modèles à "cheminement" où l'on achemine un hydrogramme virtuel d'entrée à travers le bassin jusqu'à l'exutoire:

- sans fonction d'infiltration comme dans "Road Research Laboratory Model" (TERSTRIEP et STALL, 1969)
 - avec fonction d'infiltration simple comme dans "Storm Water Management Model" (METCALF et EDDY, 1971), "University of Cincinnati Urban Runoff Model" (PAPADAKIS et PREUL, 1972)
3. les modèles à simulation continue de l'équilibre de l'eau dans le sol
- à cheminement linéaire comme dans plusieurs versions du "Stanford Watershed Model" (CRAWFORD et LINSLEY, 1966)
 - à cheminement non linéaire: version "Hydrocomp" du "Stanford Watershed Model" (CRAWFORD, 1971).

Ces derniers modèles deviennent très complexes et serrent la réalité de près en simulant toute une gamme de phénomènes: interception, aires imperméables, infiltration, écoulement superficiel, écoulement hypodermique, eau souterraine, rétention de surface, humidité du sol, cheminement en caniveaux. En hydrologie urbaine, on fait rarement appel à des modèles aussi sophistiqués et on se contente en général des modèles du deuxième type. Enfin, on notera que peu de modèles d'hydrologie urbaine tiennent compte des phénomènes de fonte de neige, ce qui constitue une lacune importante quand on veut appliquer un modèle dans le cas du Québec.

2.2 Caractéristiques qualitatives des eaux de réseaux d'égouts combinés

Les polluants des eaux d'égouts combinés ont pour origine les rejets sanitaires et les polluants entraînés par les eaux de précipitation et de fonte. Afin de comprendre les phénomènes qui se produisent dans un égout combiné, il importe de pouvoir caractériser ces différents types d'apports.

Apports sanitaires (on ne considérera pas les rejets industriels

même s'ils sont envoyés dans le réseau sanitaire car chaque rejet d'industrie a ses caractéristiques propres). Ils sont reliés aux activités humaines et sont essentiellement caractérisés par la présence de substances organiques. Parmi les paramètres les plus couramment analysés, on trouve la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), le carbone organique total (COT), l'azote organique, le phosphore; des paramètres plus spécifiques tels que les détergents, les polyphosphates, l'ammoniaque qui résulte de l'hydrolyse de l'urée et les coliformes fécaux sont de bons indicateurs des rejets sanitaires. Les concentrations de ces différents éléments dépendent des volumes d'eaux qui y sont associés (eau d'aqueduc et eaux supplémentaires ainsi qu'on l'a mentionné au paragraphe 2.1); le tableau 2.1 fournit des ordres de grandeur pour les concentrations des paramètres caractéristiques des eaux sanitaires. Pour des zones résidentielles, les apports sanitaires sont relativement constants d'un jour à l'autre, et l'on peut établir des charges moyennes par personne et par jour (tableau 2.2).

Apports par les eaux de précipitation ou de fonte: les eaux de ruissellement et de percolation entraînent dans l'égout une grande variété de substances provenant du lavage de l'atmosphère par la pluie, du lavage des surfaces imperméables (surfaces asphaltées, toits), de la chasse des puisards de rues, de l'érosion des terrains, du lessivage des premières couches de sol. Ces apports sont caractérisés par une forte proportion de matières inorganiques ou non biodégradables, dont une grande partie est insoluble; la présence d'huiles, de plomb, de nitrates, de streptocoques fécaux, de sels de fonte (chlorures de sodium, de calcium) caractérise plus spécifiquement ces types d'apports.

Contrairement au cas des eaux sanitaires, les concentrations des éléments qu'on peut retrouver dans ces eaux sont extrêmement variables (tableau 2.3), dépendant à la fois des caractéristiques du bassin (topographie, type

de sol, utilisation du territoire, densité de population, pourcentage de surfaces asphaltées...) et des conditions climatiques (nature et fréquence des précipitations, intensité et durée des pluies, saisons).

Outre leur grande variabilité d'un endroit à l'autre, ces apports sont temporaires et se traduisent par l'arrivée subite de charges considérables dans les réseaux d'égouts (tableau 2.4).

Du point de vue qualitatif, un égout combiné connaîtra donc plusieurs types de comportement selon que l'on est en période sèche ou humide.

Par temps sec, son comportement peut se comparer à celui d'un égout sanitaire, à la seule différence cependant, qu'une partie des solides particuliers a tendance à sédimenter dans les conduites combinées du fait des faibles vitesses d'écoulement qui y existent.

Lors d'une pluie, l'arrivée des eaux de ruissellement dans le réseau se traduit par une augmentation considérable des concentrations, typiquement 125 à 200% des concentrations de temps sec (FRIEDLAND *et al.*, 1970), et des charges de polluants, résultant d'une part du lavage des surfaces et d'autre part, d'une remise en suspension des dépôts sanitaires accumulés dans les conduites pendant la période sèche antérieure. Cette pointe de concentrations précède en principe la pointe de débit (figures 2.1 et 2.2) car l'essentiel du lavage des surfaces et des conduites est effectué par les premiers volumes d'eaux qui ruissellent; en réalité, on n'observe pas toujours un tel décalage entre les pointes de débit et de concentrations car ce phénomène dépend de nombreux facteurs dont l'intensité et la durée de la pluie (DE FILIPPI et SHIH, 1971), la taille et la configuration du réseau, la durée de la période sèche antécédente qui conditionne les quantités de dépôts accumulés en surface (SARTOR et BOYD, 1972) et dans les conduites (WALLER, 1969). Après cette pointe, on assiste à une diminution des concentrations, jusqu'à 25% des concentrations

de temps sec (FRIEDLAND *et al.*, 1970): les apports par les eaux de ruissellement diminuent au fur et à mesure que le lavage des surfaces est complété, et les apports sanitaires sont dilués.

La composition des eaux de débordements d'égouts combinés varie au cours du déversement, conformément à cette description. Si l'on compare les charges déversées par un réseau combiné à celles d'un réseau pluvial, il apparaît clairement que l'entraînement d'eaux et de dépôts sanitaires peut avoir de lourdes conséquences sur le milieu (tableau 2.5).

Les nombreuses études effectuées dans ce domaine restent cependant difficilement transposables d'un endroit à l'autre en raison du grand nombre de variables associées à ces phénomènes. Par ailleurs comme on l'a mentionné au paragraphe 1.2 au sujet des aspects quantitatifs, il n'existe pratiquement pas de données concernant l'impact de la période de fonte de neige sur la qualité des eaux d'égouts combinés; citons seulement pour mémoire deux études respectivement de Söderlund (SÖDERLUND *et al.*, 1970) en Norvège, et de Pravoshinsky (PRAVOSHINSKY et GATILLO, 1969) en URSS, mentionnant un certain nombre d'analyses sur des eaux d'égouts pluviaux au cours de la fonte; l'acquisition de données québécoises dans ce domaine constitue donc à l'heure actuelle un réel besoin.

Compte tenu de la pollution représentée par les débordements d'égouts combinés, on doit chercher à améliorer la qualité des eaux destinées à déborder en établissant un contrôle des débordements, ce qui peut consister à retenir la fraction des eaux la plus polluée, c'est-à-dire celle du début de la pluie, et à la traiter. C'est en ce sens que l'on commence à introduire dans certains modèles hydrologiques des sousroutines de qualité comme dans le cas de "Storm Water Management Model" (METCALF et EDDY, 1971) ou de "STORM"

(ROESNER *et al.*, 1974) qui fournissent une simulation continue de la qualité des eaux en concentrations et en charges, au cours d'une pluie donnée (pollutogramme); ces modèles comportent une fonction traduisant l'accumulation des polluants et une fonction de lavage de ces polluants. L'élaboration de ces modèles n'est cependant pas une tâche facile du fait des nombreuses variables qui doivent être prises en compte; ils s'en tiennent actuellement à la simulation d'un nombre limité de paramètres (solides en suspension, DBO, azote, phosphates, coliformes pour "STORM"), et ils demandent à être plus largement vérifiés.

CHAPITRE 3

3. Sélection du secteur d'étude et description de l'installation

Sainte-Foy, municipalité de 80,000 habitants, à vocation essentiellement résidentielle est desservie par des réseaux d'égouts combinés, et des réseaux séparés dans les quartiers les plus récents; elle se prête donc bien à cette étude dans la mesure où nous projetions initialement d'étudier un réseau d'égouts combinés et de comparer son comportement à celui d'un réseau d'égouts séparés ayant la même situation géographique et des caractéristiques voisines de superficie, de population et d'utilisation du territoire. Deux bassins sont choisis mais seul le réseau combiné est instrumenté en raison des contraintes de temps et du coût élevé des installations.

3.1 Choix du bassin

3.1.1 Protocole de sélection

Comme on l'a mentionné dans l'introduction, une grande importance est accordée au choix de secteurs où l'on peut facilement identifier la provenance et l'utilisation des eaux. Les critères suivants ont guidé la sélection des bassins:

- existence d'un exutoire unique
- égout sanitaire et égout pluvial desservant le même secteur dans le cas du réseau séparé
- vérification lors de la délimitation du bassin de drainage des eaux de surface, que les eaux de ruissellement de secteurs voisins (terrains

- vagues, autoroutes, voie ferrée) ne contribuent pas au réseau combiné (ou pluvial) et que des ruisseaux ne sont pas captés dans le réseau
- uniformité de l'utilisation du territoire sur tout le bassin (secteur strictement résidentiel et si possible homogène du point de vue du type d'habitations)
 - possibilité d'isoler le réseau d'aqueduc sur le même secteur pour une mesure éventuelle de la consommation d'eau
 - point de mesure pouvant être instrumenté sans gêner la circulation ni les riverains.

Une localisation sommaire des différents secteurs est effectuée à l'aide du plan général des égouts de la Ville de Sainte-Foy (échelle: 1/4800) et du plan de l'aqueduc (échelle: 1/6000). Une étude plus détaillée est poursuivie sur les plans de construction des rues (échelle 1/1200) qui fournissent le diamètre, la longueur et la pente des conduites, l'emplacement des puits de regard, les cotes d'arrivée et de départ des conduites dans les puits de regard (indication de la voie empruntée par les eaux). Avant d'arrêter un choix, une visite sur les lieux, et des rencontres avec l'ingénieur municipal permettent de compléter l'information sur le secteur.

3.1.2 Caractéristiques du réseau d'égouts combinés et de son bassin

Situation: C'est un quartier de la Ville de Sainte-Foy ayant pour limites nord la rue Edmond Gagnon, est l'avenue Du Coteau, sud le Chemin des Quatre-Bourgeois, ouest l'avenue Rigaud.

Caractéristiques du bassin:

Superficie: la zone construite a une superficie de 37 acres (15 ha). Un terrain non développé au sud du Chemin des Quatre-Bourgeois (délimité d'après

les courbes de niveaux) fait en outre partie du bassin de drainage des eaux de surface; la superficie totale du bassin s'établit alors à 39 acres (15.8 ha)

Pente: les trois avenues du secteur (Du Coteau, De Mons et Rigaud) sont en pente relativement forte, descendant du sud au nord; la pente moyenne est de l'ordre de 2%

Utilisation du territoire: le quartier est résidentiel avec des maisons unifamiliales au nombre de 175, avec de plus sur le Chemin des Quatre-Bourgeois un bâtiment avec deux commerces. D'après le rôle d'évaluation municipale de janvier 1975, la valeur moyenne des propriétés se situe à \$18,000. La superficie développée (37 acres) se répartit comme suit: 30% de surfaces asphaltées (rues et entrées), 17% de surfaces construites, 53% de terrains en pelouse

Population: 800 habitants

Caractéristiques du réseau d'égouts combinés:

D'après la figure 3.1, il n'existe aucun raccordement avec les réseaux d'égouts situés à l'est, au sud et à l'ouest du secteur délimité, et le premier puits de regard à l'extrémité sud de l'avenue Rigaud est le point de départ du réseau. Les eaux du bassin sont acheminées par une conduite de 18 pouces située à l'extrémité est de la rue Edmond Gagnon, vers la conduite principale du Chemin Sainte-Foy. On notera que la conduite de 12 pouces à l'extrémité nord de l'avenue Rigaud n'est pas raccordée au réseau: toutes les eaux véhiculées par la conduite de l'avenue Rigaud sont donc acheminées dans la conduite de 24 pouces de la rue Edmond Gagnon; on peut cependant s'attendre à ce qu'une certaine proportion des eaux de ruissellement de surface en provenance de l'avenue Rigaud atteignent le Chemin Sainte-Foy en raison de la pente de la rue.

Le réseau qui a été construit en 1957-1958, est constitué de conduites en béton de 12, 15, 18 et 24 pouces de diamètre et les joints sont en ciment. La pente des conduites, selon les plans, varie de 0.32% à 4%; il est intéressant de remarquer qu'il ne s'agit pas nécessairement des pentes réelles, une fois le réseau construit. On peut signaler à cet effet que la pente de la conduite de 24 pouces à l'exutoire du réseau, qui était selon les plans de 0.53%, a été vérifiée in situ et trouvée égale à 2%; il est permis de se poser des questions sur le degré de responsabilité de l'entrepreneur qui effectue la construction ou sur la nature de la surveillance dont il devrait être l'objet. La longueur totale des conduites est environ 8920 pieds (2720 mètres) et le trajet le plus long de l'eau dans les conduites est de 3690 pieds (1125 mètres) soit le parcours Du Coteau sud, Jacques Amyot, Rigaud, Edmond Gagnon.

Puits de regard de mesures:

Il s'agit du puits de regard situé à l'exutoire du bassin, sur une servitude à l'extrémité est de la rue Edmond Gagnon (figure 3.1). C'est un puits de regard de 13 pieds de profondeur, de dimensions classiques (diamètre de l'ouverture supérieure: 21 pouces, et diamètre intérieur du puits: 36 pouces). L'arrivée des eaux se fait par une conduite de 24 pouces et elles repartent à angle droit par une conduite de 18 pouces.

Remarque: les possibilités d'un isolement du réseau d'aqueduc desservant ce bassin n'ont pas été étudiées plus à fond.

Mentionnons pour mémoire que le bassin doté d'un système d'égouts séparés qui a été retenu est un bassin d'environ 15 acres, résidentiel (résidences multifamiliales avec une population estimée de 1500 habitants), limité au nord par le Chemin des Quatre-Bourgeois, au sud par l'avenue Maricourt, à l'ouest par le Carré Tilly et à l'est par le Carré Rolland. Le réseau pluvial et le ré-

seau sanitaire ont un tracé parallèle, desservant le même bassin, et les stations de mesures, respectivement sur le réseau sanitaire et le réseau pluvial pourraient être localisées dans les deux puits de regard situés à l'angle des rues Francheville et De Noue.

3.2 Installation de la station de mesures

La station de mesures (figure 3.2) comprend:

- un dispositif de mesures des débits localisé dans la conduite de 24 pouces en amont du puits de regard
- un dispositif pour prélever des échantillons d'eau dans le puits de regard
- un pluviomètre installé sur un terrain privé voisin du puits de regard.

L'appareillage nécessaire aux mesures est installé dans un abri construit au dessus du puits de regard; une entrée de 110 volts est aménagée, et l'abri est chauffé en hiver.

3.2.1 Mesure des débits dans l'égout

Le régime existant dans une conduite d'égout est un écoulement à surface libre sauf dans des cas exceptionnels de mise en charge des conduites. Il n'existe pas de méthode simple qui soit bien adaptée à la mesure des débits dans un égout combiné en raison des contraintes suivantes:

- grandes variations des débits pouvant atteindre de un à cent, avec possibilité d'un écoulement en charge
- présence dans le milieu de solides en suspension et débris flottants
- accès difficile au point de mesure et espace restreint pour l'installation.

En conséquence, ceci nécessite un dispositif ayant une large gamme de mesures, répondant rapidement aux brusques variations de débit et ayant une précision élevée pour assurer la validité des mesures de faibles débits. Il ne doit pas être affecté par la présence des solides véhiculés par l'égout, doit être résistant et très fiable et enfin doit fournir un enregistrement continu.

Deux types de méthodes peuvent être utilisées pour la mesure des débits:

- a) des méthodes directes telles les méthodes chimiques (méthodes par injection d'un traceur). Seul le choix du traceur demande des précautions: cette substance ne doit pas être adsorbée sur les dépôts ou les parois des conduites; à cette fin, on peut recommander le chlorure de lithium. Ces méthodes se prêtent difficilement à une mesure en continu mais elles sont utilisées pour la calibration des autres méthodes de mesures.
- b) des méthodes indirectes qui font appel à une mesure de hauteur. Le débit est calculé à l'aide de la relation "hauteur-débit" propre à chaque installation. Parmi ces méthodes on doit distinguer le cas où l'on fait une simple mesure de hauteur que l'on relie au débit par la formule de Manning et le cas où la hauteur est mesurée à proximité d'une section critique.

En utilisant la Formule de Manning, très populaire en raison de sa simplicité, on doit satisfaire à l'hypothèse que l'écoulement est en régime permanent et uniforme. La précision de cette méthode risque d'être affectée du fait de la variabilité des conditions hydrauliques et il peut être difficile d'autre part de déterminer avec exactitude la valeur du coefficient de rugosité intervenant dans la formule de Manning.

Dans le second cas, on crée une section critique, ce qui permet d'assurer une relation "hauteur-débit" univoque, grâce à un dispositif adéquat (rétrécissement de la section du canal et/ou seuil). Parmi les dispositifs qu'on peut utiliser à cette fin, citons:

- les déversoirs qui sont peu recommandés en raison de leur tendance à retenir les débris
- le canal Parshall qui transporte bien les solides en suspension, mais dont l'installation est très difficile dans une conduite ou un puits de regard existants
- le canal Palmer-Bowlus (WELLS et GOTAAS, 1956) qui permet également un passage facile des solides en suspension, et à l'avantage de pouvoir s'insérer dans une conduite existante ou dans un canal en U (figure 3.3a)
- des dispositifs particuliers proposés pour des mesures en égouts, tels le déversoir de Stevens (STEVENS, 1964) (figure 3.3b), les dispositifs de Diskin (DISKIN, 1963) (figure 3.3c) et Wenzel (WENZEL, 1968) (figure 3.3d).

Il existe également des systèmes permettant une mesure directe de la vitesse, ce qui évite le recours à une section critique. Parmi ces systèmes de mesure, on peut mentionner les sondes tensométriques et les sondes aux ultrasons.

Pour la mesure des hauteurs, plusieurs dispositifs sont disponibles:

- les flotteurs qui sont peu utilisables pour des applications dans les égouts de petit diamètre; ils nécessitent de préférence d'être installés dans un puits de tranquillisation que l'on n'a pas toujours la place d'implanter
- les limnimètres à bulles qui ont l'avantage de pouvoir être installés même dans les conditions les plus défavorables, comme par exemple à l'intérieur

d'une conduite

- les dispositifs plus nouveaux, actuellement à l'essai pour des mesures en égouts: sonde capacitive, sonde de surface, sonde aux ultrasons.

Méthode de mesure retenue:

Après avoir fait l'hypothèse, comme cela est mentionné au paragraphe 4.1.3 que l'écoulement reste en régime fluvial dans la conduite de 24 pouces, on utilise la formule de Manning pour déterminer le débit:

$$Q = \frac{1.486 A R_H^{2/3} \sqrt{i}}{n}$$

où Q = débit en pied cube par seconde

R_H = rayon hydraulique en pied (rapport de la section mouillée sur le périmètre mouillé)

i = pente de la conduite

n = coefficient de rugosité

A = section mouillée en pied carré.

La pente et le diamètre de la conduite étant connus, et le coefficient de rugosité étant choisi en fonction de la nature de la conduite, le débit est obtenu à partir d'une mesure de hauteur d'eau dans la conduite. Plus tard, en raison des difficultés dans le choix du coefficient de rugosité et d'une erreur possible dans la valeur de la pente de la conduite, on établira une relation hauteur-débit par jaugeage chimique et par méthode volumétrique pour les faibles débits.

La mesure de débit revient en définitive à une mesure du niveau d'eau à l'intérieur de la conduite de 24 pouces (figure 3.2). Dans ces conditions, on a recours à un limnimètre à bulles: les bulles de gaz sont envoyées dans un tuyau de cuivre de 1/8 pouce de diamètre, fixé à un pied (0.30 mètre) en amont dans la conduite, tel que schématisé à la figure 3.4.

L'installation du limnimètre à bulles est réalisée par le Service d'hydrométrie du ministère des Richesses naturelles qui en assure par la suite l'entretien. Le système comprend une bonbonne d'azote, un régulateur de pression et un servomanomètre à mercure. La pression du gaz envoyé est traduite en hauteur d'eau et est transmise à deux enregistreurs:

- un enregistreur graphique OTT qui sert de contrôle visuel
- un enregistreur à bande perforée FISHER-PORTER où la hauteur est enregistrée en centièmes de pied toutes les quinze minutes

La précision de la mesure de niveau assurée par ce système (selon la notice technique) est de 3/100 pied (9 mm) ce qui constitue un inconvénient majeur pour la mesure des faibles hauteurs.

3.2.2 Dispositif d'échantillonnage

Quand on veut observer des fluctuations rapides de certains paramètres physico-chimiques, ce qui est notre cas, on doit recourir à un mode d'échantillonnage assurant l'obtention de plusieurs échantillons distincts sur une période donnée (TARAZI *et al.*, 1970). Il existe actuellement sur le marché des appareils conçus pour réaliser cette opération automatiquement, sur une base de temps ou proportionnellement au débit.

Une eau d'égout est un milieu hétérogène, où les réactions biochimiques sont très rapides, et il est difficile de recueillir des échantillons représentatifs des eaux véhiculées dans l'égout. Le choix d'un échantillonneur automatique est donc une opération délicate, et l'on doit essayer de tenir compte de certaines exigences:

- le diamètre du tuyau de prélèvement doit être suffisant pour permettre un prélèvement représentatif des solides en suspension sans risque d'obstruc-

tion; des diamètres intérieurs de 3/8 pouce à 1/2 pouce sont recommandés pour échantillonner une eau d'égout (SHELLEY et KIRKPATRICK, 1973)

- la pompe ne doit pas être affectée par la présence de solides en suspension, ni de substances corrosives. Elle doit pouvoir pomper jusqu'à des profondeurs d'environ 15 pieds (4.5 mètres) et être autoamorçable. Elle doit par ailleurs, assurer une vitesse d'ascension supérieure à la vitesse de sédimentation des solides; cette contrainte est liée au diamètre du tuyau de prélèvement et l'on conseille une vitesse de 2 à 3 pieds par seconde (0.60 à 0.90 m/s.) pour les diamètres de tuyau mentionnés ci-dessus
- il ne doit pas y avoir de contamination d'un échantillon à l'autre ce qui implique un rinçage du tuyau avant chaque prélèvement, ou au minimum une vidange complète du tuyau entre chaque prélèvement
- la composition des échantillons ne doit pas être modifiée entre le moment du prélèvement et leur arrivée au laboratoire; à cette fin, la réfrigération de l'enceinte où sont conservés les échantillons est souhaitable.

D'une façon générale, l'appareillage doit être très résistant car il est appelé à fonctionner dans les conditions les plus sévères; il doit avoir en outre des dimensions compatibles avec une installation éventuelle à l'intérieur d'un puits de regard.

Parmi les échantillonneurs actuellement commercialisés pour une utilisation sur les eaux d'égouts, aucun ne semble répondre à l'ensemble de ces critères (SHELLEY et KIRKPATRICK, 1973). Les systèmes de pompage font en particulier défaut; les appareils les plus satisfaisants seraient ceux qui sont dotés d'une pompe sous vide.

L'échantillonneur utilisé est un appareil SIGMAMOTOR (modèle WM-2-24) qui fournit 24 échantillons distincts d'un volume maximum de 450 ml, prélevés sur une base de temps. Ses caractéristiques sont les suivantes:

- fréquence d'échantillonnage réglable entre 2 et 62 minutes
- durée de pompage réglable entre 1 et 61 minutes
- purge du tuyau de prélèvement durant 1 minute après chaque prélèvement
- pompe péristaltique réversible, pouvant pomper jusqu'à un maximum de 6 pieds (1.80 mètre) et assurant un débit de 60 ml/minute soit une vitesse d'ascension 0.5 pied par seconde (0.15 m/s.)
- diamètre intérieur du tuyau de prélèvement: 1/8 pouce
- alimentation: 12 volts CC ou 110 volts CA

Bien qu'il soit vendu pour échantillonner des eaux d'égouts, on remarque que la conception de cet appareil est loin d'être satisfaisante: diamètre du tuyau de prélèvement trop petit, vitesse d'ascension trop faible, réfrigération absente.

Pour son opération, l'échantillonneur est placé au sommet du regard (figure 3.2) et l'eau est amenée en continu dans un réservoir à l'aide d'une pompe à doigts (SIGMAMOTOR - modèle T-8) qui assure un débit identique à celui de la pompe de l'échantillonneur (le diamètre du tuyau de la pompe T-8 est également 1/8 pouce); le volume du réservoir est minimum (10 ml) et il y a un transfert immédiat de l'eau vers l'échantillonneur. Pendant les périodes sans échantillonnage, le trop plein est évacué dans l'égout.

L'orientation et la localisation de la tête de prélèvement dans l'égout sont également des facteurs déterminants pour le prélèvement d'échantillons représentatifs. La prise doit en principe pointer face à l'écoulement;

pratiquement, il est plutôt recommandé de la diriger vers l'aval pour diminuer les risques de colmatage, même si les concentrations de solides ainsi prélevés sont sous-estimées. Il est préférable par ailleurs, d'utiliser plusieurs prises localisées à différentes profondeurs de façon à prélever aussi bien les solides en suspension, que les débris flottants, et que les éléments du transport de fond. Enfin il a été démontré que la vitesse de prélèvement au niveau de la prise doit être égale à la vitesse de l'écoulement dans la conduite (UNIVERSITY of IOWA, 1941) pour que la concentration en solides de l'échantillon soit représentative de celle du milieu. Dans notre cas, l'installation de la tête de prélèvement a demandé une longue mise au point et a compromis de nombreux échantillonnages. Dans sa version finale, le tuyau de prélèvement est lesté et est maintenu fixe à 3/4 pouce du fond du puits de regard; la prise est dirigée vers l'aval et est, de plus, protégée par une grille aux mailles de 1/8 pouce.

3.2.3 Enregistrement des précipitations

Deux pluviomètres sont installés sur un terrain privé à proximité de la station de mesures, à l'extrémité nord du bassin (figure 3.1). L'endroit ne répond pas à toutes les exigences d'installation d'un pluviomètre (éloignement d'au moins 4 fois la hauteur de l'obstacle le plus proche) mais il est indispensable de se protéger d'éventuels actes de vandalisme quand on implante des appareils en milieu urbain.

Le Service de Météorologie du ministère des Richesses naturelles se charge de la pose et de l'entretien des deux appareils:

- un pluviomètre à augets basculeurs (WEATHER MEASURE CORP. Modèle P501) qui mesure une précipitation minimale de 0.01 pouce; il est relié à un enregistreur graphique (modèle P521) ayant une vitesse de déroulement de 12 pouces par vingt-quatre heures

- un pluviomètre standard dont les relevés quotidiens permettent de corriger ceux du pluviographe enregistreur au cas où la précipitation totale diffère de plus de 0.05 pouce d'un appareil à l'autre.

Les relevés de précipitation sont effectués quotidiennement par le propriétaire du terrain où sont installés les pluviomètres, puis nous sont communiqués chaque semaine.

CHAPITRE 4

4. Etude des débits sanitaires et des relations précipitations-débits

4.1 Acquisition et traitement des données

4.1.1 Données de précipitations

La période d'enregistrement s'étend du 27 septembre 1973 au 2 décembre 1973, et du 9 avril 1974 au 28 mai 1974. Comme la différence entre les deux pluviomètres ne dépasse jamais 0.05 pouce par jour, nous conservons telles quelles les données du pluviographe enregistreur.

Les Résumés mensuels du Service de Météorologie de l'aéroport de l'Ancienne Lorette permettent en outre de contrôler les résultats obtenus dans notre secteur.

4.1.2 Données de niveau

La période d'enregistrement s'étend du 26 septembre 1973 au 2 juin 1974. Ces données se trouvent sous deux formes:

- sur cartes perforées (enregistreur FISCHER-PORTER).

Le niveau est donné au centième de pied, toutes les 15 minutes jusqu'au 29 mars 1974, et toutes les 7.5 minutes à partir du 30 mars 1974. L'avancement de la bande enregistreuse est réglé par une horloge transistorisée qui constitue une excellente base de temps. Elle est réglée toute l'année sur l'heure normale de l'est et l'on devra faire les corrections qui s'impo-

sent au moment du changement d'heure.

- sur papier (enregistreur OTT).

Bien que ce système présente l'avantage de l'enregistrement en continu, il comporte les inconvénients d'avoir une base de temps moins stable, et surtout d'avoir un déroulement trop lent du papier. Cet enregistrement est utilisé à titre de contrôle.

4.1.3 Validité des données de niveau

4.1.3.1 Conditions hydrauliques au point de mesure

Afin de vérifier que chaque niveau ne mène qu'à une seule valeur de débit, nous calculons le nombre de Froude pour toutes les hauteurs entre 0.01 pied et 2.00 pieds; pour un coefficient de rugosité de 0.030 et une pente de 2% (pente mesurée), le nombre de Froude reste inférieur à 1.00 (≤ 0.62) indiquant que l'écoulement reste toujours en régime fluvial. Le même calcul effectué pour une pente 0.53% (pente fournie par les plans de construction) et un coefficient de rugosité de 0.020 conduit à un nombre de Froude ne dépassant pas 0.37.

On notera cependant que les conditions hydrauliques régnant à notre station de mesures sont loin d'être idéales et de satisfaire à l'hypothèse d'un régime uniforme et que d'autre part, comme l'égout fait un coude, il se crée des turbulences et des remous qui sont variables selon le débit.

4.1.3.2 Problèmes reliés à la mesure du niveau

a) effet de l'accumulation des débris

L'accumulation de débris dans le puits de regard, notamment lors des périodes de faible débit, rehausse le niveau d'eau et fausse la

mesure de ce dernier. Ainsi les données du 28 novembre 1973 au 6 février 1974 ne sont pas valables car le niveau enregistré reste constamment à 0.6 pied, ce qui est anormal par temps sec et froid; par la suite, on doit procéder à un nettoyage fréquent du fond du puits de regard.

Il faut noter aussi que l'accumulation de papiers sur la prise d'échantillons peut aussi modifier le niveau de l'eau mais dans une moindre mesure. Lors du nettoyage de la prise, on a pu observer un décalage allant jusqu'à 0.14 pied.

Nous n'avons pas tenu compte de ces erreurs dans nos calculs d'auto-corrélation et d'analyse selon Fourier car ce problème a été remarqué et corrigé surtout à partir de février 1974, alors que nous n'utilisons que les données d'automne 1973 pour nos calculs. En effet, nous avons finalement renoncé à inclure le mois de février dans l'étude du sanitaire car l'amplitude entre le minimum et le maximum du jour s'est montrée plus faible qu'en automne, et à l'intérieur de la journée les pointes sont très amorties.

b) dérives de l'appareil

Pendant le mois de mai 1974 la lecture du niveau a accusé une dérive finissant par donner des valeurs deux fois trop élevées. La cause probable en est l'obstruction graduelle du tuyau du cuivre amenant l'azote dans le fond de l'égout, ce qui entraîne une surpression et donc, un niveau trop haut. Cet ennui a pu être détecté par des tests volumétriques lors de la mesure des petits débits (voir 4.1.4).

Pour utiliser les données du mois de mai, il s'est avéré nécessaire de leur apporter une correction tel que décrit ci-après. Lors de l'étalonnage du 14 juin 1974, nous notons une hauteur de 0.32 pied pour

un débit correspondant à une hauteur plus faible, d'après les expériences précédentes. Nous installons alors en parallèle un autre tuyau de cuivre de 1/8 pouce de diamètre, neuf celui-ci. Après l'avoir branché sur le limnigraphe, nous constatons que d'une part, l'installation n'a pas de fuites et que le tube neuf permet de faire une lecture de 0.01 à 0.02 pied lorsqu'il est maintenu à fleur d'eau (le servomanomètre ne revient en effet jamais à 0.00 pied); et que d'autre part la lecture est de 0.16 à 0.17 pied contre 0.32 pied obtenu avec l'ancien tuyau.

Afin que les données du mois de mai soient utilisables, il est donc nécessaire de corriger les niveaux. A cet effet, nous supposons que l'obstruction du tuyau du limnigraphe a été graduelle et linéaire, ce qui est vraisemblable d'après l'examen des niveaux sur le papier OTT; sachant que le niveau du 7 mai à 0h15 est bon et que celui du 14 juin à 24h est deux fois trop élevé, nous appliquons pendant ces 39 jours la formule suivante:

$$\text{niveau corrigé} = \frac{\text{niveau brut}}{F} \quad \text{où } F = 1 + (k/\text{INT})$$

F : facteur de correction

INT: intervalle = 39 jours = 3743 quarts d'heure

K : indice caractérisant la mesure du temps variant de
1 à 3743

c) amortissement du servomanomètre

Un autre facteur d'altération des lectures de niveau est l'amortissement du servomanomètre ce qui a nécessité un réglage à plusieurs reprises. Un amortissement trop faible se traduit par une grande "nervosité" de la plume, remarquée par exemple les 2-3 et 7-14 mars 1974. Un amortissement trop fort donne au contraire trop d'inertie au mécanisme qui a

tendance à niveler les différences, par exemple les 20-25 novembre 1973 et 16-20 mai 1974, ce qui à la limite, masque les variations journalières de débit. La cause de ces dérèglements ne nous est pas connue. Le froid ne nous paraît pas être responsable (à moins que le servomanomètre ne soit ultrasensible aux variations de température) car la cabane est chauffée en permanence; en outre, des périodes d'amortissement se retrouvent même au mois de mai.

4.1.3.3 Données retenues pour l'analyse

Compte tenu des différents problèmes qui ont affecté la mesure du niveau, auxquels se sont ajoutées deux pannes du moteur du servomanomètre (15 novembre 1973 et 4 mars 1974) et le changement des engrenages de transmission (12-17 octobre 1973), on a finalement sélectionné les périodes suivantes pour l'analyse des débits:

- 1) du 26 septembre 1973 au 11 octobre 1973
- 2) du 18 octobre 1973 au 14 novembre 1973
- 3) du 17 novembre 1973 au 27 novembre 1973
- 4) du 4 février 1974 au 4 mars 1974
- 5) du 5 mars 1974 au 2 juin 1974

4.1.4 Conversion niveau-débit

Vu l'instabilité des conditions hydrauliques à l'endroit de la mesure de niveau, il n'est pas possible de déterminer les débits à partir des niveaux, à l'aide d'une formule qui ne soit pas basée sur des mesures faites sur place.

Les étalonnages effectués sont de deux sortes:

- méthode chimique: Le service des Relevés spéciaux du ministère des Ri-

chesses naturelles s'est chargé de faire plusieurs mesures selon la technique de l'injection continue d'une solution de bichromate de sodium dans l'égout. Ce sel est ensuite dosé par une méthode colorimétrique.

- méthode volumétrique: Elle consiste à recueillir le débit entier de l'égout dans un seau de volume connu, grâce à la chute libre qu'on peut utiliser dans un puits de regard situé en aval de notre point de mesure. Entre ces deux points, il n'y a aucun branchement qui pourrait fausser les mesures. Chaque valeur est la moyenne de trois mesures du temps de remplissage du seau. Cette méthode, qui en soi est la plus précise, ne convient ici que pour des petits débits (niveau ≤ 0.20 pied) et n'a été mise en oeuvre qu'à partir de mai 1974, après la fonte des neiges. Les résultats de ces étalonnages figurent au tableau 4.1.

Les premiers résultats d'octobre et novembre 1973 sont peu cohérents mais les conditions climatiques nous ont empêchés de refaire des dosages chimiques avant mars 1974 car la solution de bichromate gèle à une température inférieure à 0°C .

Pour pouvoir commencer à étudier les premières données de débit, nous supposons que la formule de Manning s'applique à nos conditions et nous cherchons la rugosité de l'égout traduite par le coefficient n de Manning, dont les valeurs s'échelonnent de 0.010 à 0.035.

Comme valeur de la pente du tronçon d'égout (longueur = 106.4 pieds) nous prenons successivement la valeur de 0.53% indiquée sur le plan de construction, puis une première valeur mesurée sur place de 0.86%.

Dans ces conditions et en tenant compte des quatre premiers dosages chimiques, nous trouvons des valeurs de n allant de 0.056 à 0.071.

Ces valeurs très élevées du coefficient de rugosité n peuvent avoir quatre causes:

- Le dosage par dilution souffre d'une erreur systématique. Cette cause est improbable car la méthode a été soigneusement vérifiée au Ministère des Richesses naturelles. Il reste la question d'une éventuelle adsorption du bichromate, ce qui n'a pas été vérifié.
- La mesure de niveau est incorrecte. Cette hypothèse nous semble exclue pendant les jours utilisables mentionnés en 4.1.3.3, sauf au mois de mai 1974; pour cette dernière période les niveaux sont corrigés tel que proposé à la page 28.
- La mesure de la pente n'est pas bonne. Nous avons refait une mesure de pente à l'aide d'un niveau, à l'endroit même de la mesure de hauteur. Nous obtenons alors une valeur de 2% qui, introduite dans la formule de Manning avec les débits obtenus lors de l'étalonnage volumétrique du 6 mai 1974, donne un coefficient de rugosité de 0.030. Avec l'étalonnage du 14 juin, on arrive à une valeur de 0.042. Nous pensons qu'en définitive la valeur de 0.035 (correspondant presque à des canaux taillés dans le roc) représente assez bien la réalité.
- La formule de Manning n'est pas applicable dans nos conditions.

Comme nous ne disposons que de 2 étalonnages chimiques au début de nos calculs, nous utilisons provisoirement la formule de Manning avec les paires de valeurs suivantes: d'abord, pente = 0.86% et $n = 0.035$ puis pente = 2% et $n = 0.030$.

Par la suite nous avons pu faire une courbe d'étalonnage avec sept paires de valeurs du tableau 4.1 en écartant les mesures de fin mai 1974 nécessitant une correction. L'équation de la courbe, obtenue par la méthode des moindres carrés est la suivante:

$$Q = 1.34 H^2 + 0.65 H + 0.0044 \text{ avec } H \text{ en pieds}$$

Q en pieds cubes par seconde

La figure 4.1 montre la comparaison entre les débits obtenus par cette méthode et ceux qui découlent de la formule de Manning. Il en ressort que dans nos conditions, les débits ne sont pas proportionnels à la puissance 2.66 du niveau, comme dans la formule de Manning, mais à une puissance inférieure, comprise entre 2 et 2.5. Le fait que nous ayons pris $n = 0.030$ au lieu de $n = 0.035$ change peu de choses à la divergence entre les deux courbes.

On note par ailleurs que les valeurs de fin mai 1974 une fois corrigées se situent assez près de la courbe d'étalonnage.

4.1.5 Recommandations sur les mesures

Les multiples difficultés que nous avons rencontrées au cours de l'acquisition des données nous conduisent à formuler les recommandations suivantes:

- Compte tenu des difficultés inhérentes à l'utilisation de la formule de Manning (hypothèse d'un régime uniforme, choix du coefficient de rugosité, détermination de la pente), il apparaît indispensable de créer une section critique pour effectuer la mesure du débit; dans ces conditions, on est assuré d'avoir une relation hauteur-débit univoque, indépendante de la rugosité de la conduite. A cet effet, on peut proposer, pour les mesures dans les conduites d'égout, l'utilisation d'un canal PALMER-BOWLUS.
- En ce qui concerne la validité des mesures de niveau, il a été établi que la lecture du servomanomètre donne bien le niveau absolu de l'eau

dans l'égoût à 1-2% près. En revanche, plusieurs facteurs contribuent à fausser la lecture au cours du temps. C'est ainsi qu'il conviendrait de choisir ou d'aménager l'endroit des mesures de façon à se prémunir contre les accumulations de débris. A cet égard, la couronne métallique installée dans l'égoût s'est révélée satisfaisante, alors que la prise d'échantillons a été plusieurs fois la cause d'un relèvement artificiel du niveau de l'eau.

Pour contrôler la justesse de la réponse d'un limnigraphe à bulles, il serait souhaitable d'avoir un autre dispositif en parallèle, et indépendant, par exemple une jauge à contact électrique qu'un opérateur pourrait actionner chaque jour.

Si la solution du limnigraphe à bulles paraît élégante par rapport à un flotteur ou à un moulinet, elle n'en reste pas moins tributaire d'un mouvement de matière, en l'occurrence l'azote, qui peut être altéré comme on l'a vu de façon inattendue, et mal expliquée au mois de mai 1974. Il est probable qu'un tuyau de cuivre plus gros (1/4 pouce au lieu de 1/8 pouce) aurait passablement retardé l'obstruction.

Parmi les sondes de niveau sans mouvement de matière, il serait intéressant d'essayer les sondes à ultra-sons, qui n'ont aucun contact mécanique avec le liquide.

4.2 Examen général des débits

Nous travaillons d'abord sur les périodes du 18 octobre 1973 au 27 novembre 1973 (39 jours) et du 7 février 1974 au 26 février 1974, seules disponibles au début et nous calculons la moyenne des débits toutes les deux heures.

- La première constatation est que les événements pluvieux apparaissent peu marqués sur le graphique et se distinguent à peine des variations dues à l'apport sanitaire qui, elles, montrent une périodicité visible de vingt-quatre heures (figure 4.2). Notons que pendant la première période de 39 jours, il n'y a pas de forte pluie, la plus importante mesurée sur le bassin étant de 0.19 pouces, le 30 octobre 1973. On remarque par ailleurs, le lundi matin 5 novembre 1973, jour sans pluie, un pic plus important que les autres jours, probablement dû à un surcroît d'apport sanitaire résultant du lavage domestique.
- A l'examen de ces valeurs, on peut distinguer trois sortes d'événements:
 - les jours "secs", où il ne pleut pas, et où la température extérieure est supérieure à 0°C;
 - les jours "humides" où il pleut ou neige;
 - les jours avec gel où la température extérieure est en dessous de 0°C, et où les phénomènes d'écoulement retardé doivent être considérablement réduits.

Nous avons calculé à titre comparatif les moyennes générales de ces trois catégories:

- sur 20 jours secs *	0.1336 pcs
- sur 27 jours secs et humides:	0.1363 pcs
- sur 11 jours avec gel:	0.0978 pcs
- moyenne des 39 jours:	0.1272 pcs

* Voir la liste à l'annexe B

Ainsi, les jours avec gel se distinguent significativement des autres jours et il semble justifié de tenter de décomposer le débit en plusieurs composantes, à savoir:

- l'écoulement d'origine sanitaire, y compris le débit de base
- l'écoulement provenant des précipitations.

4.3 Etude de la composante sanitaire du débit

4.3.1 Etude préliminaire

a) analyse sur 20 jours secs

Ayant constaté sur le graphique des débits une périodicité de vingt-quatre heures, nous calculons la moyenne par tranche de deux heures sur l'ensemble des 20 jours secs du 18 octobre au 27 novembre 1973 (tableau 4.2).

A l'examen de ces résultats, on reconnaît un minimum d'utilisation d'eau vers 4 h du matin, et deux pointes de consommation vers midi et 19 h.

b) analyse sur 29 jours secs diminués du minimum de nuit

Sur l'ensemble des 29 jours secs du 26 septembre au 27 novembre 1973, nous faisons une première isolation approximative de la composante sanitaire en assumant qu'à un moment de la nuit les rejets sanitaires sont nuls; dans ces conditions, nous soustrayons le minimum du jour (débit de base) à chaque valeur de débit, puis nous calculons la moyenne horaire de chaque heure de la journée à partir de ces 29 jours.

Ayant à notre disposition des données de consommation d'eau d'une zone résidentielle de 1500 personnes de SAINTE-FOY (secteur BOU-

CHERVILLE), nous calculons également les moyennes horaires sur une période de 30 jours (1er au 15 octobre 1969 et 12 au 29 décembre 1969). En portant sur le même graphique (figure 4.3) respectivement nos données sur les 29 jours et ces données de consommation d'eau, on constate une grande similitude de caractère entre les deux courbes, avec une bonne simultanéité entre les deux maximums (10 h et 19 h) et les deux minimums (5 h et 16 h); on remarquera que sur la figure 4.3, l'échelle verticale des débits n'a pas été mentionnée car elle est différente pour les deux bassins, l'un (BOUCHERVILLE) comptant 1500 habitants et l'autre (le bassin étudié) 800 habitants.

4.3.2 Auto-corrélogrammes

Le caractère périodique des débits est d'abord étudié au moyen des auto-corrélogrammes, selon la formule:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=N-LAG_i} (X_{j+1} - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{N \cdot VAR}$$

R_i = coefficient d'autocorrélation de lag_i
 N = nombre d'observations de X
 VAR = variance de la population des X
 X = débit

a) valeurs aux 15 minutes

Travaillant d'abord sur la période du 18 octobre au 27 novembre 1973 et sur les valeurs au quart d'heure nous obtenons pour les 39 jours l'autocorrélogramme de la figure 4.4a. La seule chose qui apparaisse nettement est le cycle de 24 heures ($R_{96} = 0.52$).

Ensuite avec les 20 jours secs de la même période, on note sur la figure 4.4b un pic plus important ($R_{96} = 0.65$) pour 24 heures, mais apparemment pas de cycles de plus courte période.

Avec les 9 jours avec gel de novembre (figure 4.4c) le cycle de 24 heures n'apparaît presque plus, ce qui traduit probablement un défaut d'enregistrement des débits, imputable au dérèglement de l'amortissement du servomanomètre.

Enfin, avec 9 jours pluvieux (figure 4.4d) on n'obtient qu'un faible cycle de 24 heures, ce qui est normal puisqu'il est perturbé par les événements pluvieux.

b) valeurs aux 2 heures

Dans une seconde série, nous travaillons sur les moyennes aux 2 heures (0h15 - 2h; 2h15 - 4h; etc.). Pour avoir une plus longue série de jours consécutifs et afin d'avoir des semaines complètes à juxtaposer, nous comblons les trous dans nos données de la façon suivante: partant du mercredi 26 septembre 1973 nous obtenons une suite continue jusqu'au mardi 27 novembre 1973 en synthétisant les 15 et 16 novembre à l'aide de la moyenne de chaque quart d'heure sur la période du 18 octobre au 27 novembre 1973; par la suite nous ajoutons les données disponibles de 1974, allant jusqu'au 28 mars 1974, en partant du mercredi 6 février 1974, jour que nous synthétisons de la même manière à l'aide des données du 7 au 27 février 1974. Ayant ainsi 107 jours à analyser nous avons la possibilité d'augmenter le lag jusqu'à 7 jours pour déceler un éventuel cycle hebdomadaire. Nous essayons en outre d'éliminer le débit de base en posant l'hypothèse que si les apports supplémentaires sont relativement constants au cours d'une même journée, et si l'apport sanitaire est nul à un moment donné de la nuit, on peut représenter le débit de base par le débit minimum de chaque jour. Cette hypothèse est plausible en pre-

mière approximation car l'addition de la consommation d'eau de dix maisons unifamiliales de Sainte-Foy munies d'un compteur conduit encore à un débit nul vers 4h du matin et ceci chaque jour d'une période de sept jours.

Pour la période de 41 jours, du 18 octobre au 27 novembre 1973 avec les débits bruts (figure 4.5a) on note une tendance générale descendante et le seul cycle bien visible est celui de 24 heures. Le coefficient d'autocorrélation de la pointe journalière passe par un minimum à 4 jours, puis augmente mais seulement jusqu'au sixième jour, si bien qu'un cycle hebdomadaire n'apparaît pas clairement. Lorsque le minimum du jour est soustrait aux moyennes par tranches de 2 heures (figure 4.5b) le cycle de 24 heures est plus net et la tendance descendante est presque éliminée ainsi que l'apparence d'un cycle hebdomadaire.

Si l'on augmente le nombre d'observations en incluant la période très froide et la première fonte (26 septembre au 27 novembre 1973 et 6 février au 28 mars 1974) l'autocorrélogramme est beaucoup plus flou, (figure 4.5c). Il en va de même si l'on soustrait le minimum du jour (figure 4.5d), la moyenne du jour (figure 4.5e), ou si l'on standardise les débits.

On doit conclure qu'il ne fallait pas grouper des données aussi disparates: jours d'automne, jours avec gel et jours de fonte.

En se limitant à 29 jours secs (26 septembre au 11 novembre 1973) on obtient des résultats proches de ceux des figures 4.5a et 4.5b, obtenus sur 41 jours sauf que, paradoxalement, en enlevant le minimum du jour (figure 4.5f), on n'enlève pas bien la tendance descendante. En

conclusion, ces autocorrélogrammes mettent bien en évidence un cycle de 24 heures de période, mais ils ne permettent pas directement de simuler le sanitaire. De plus on ne peut discerner de cycles dont la période est inférieure à 24 heures; c'est pourquoi, il est nécessaire de recourir à une technique d'analyse plus poussée, comme l'analyse de Fourier, ainsi que le propose Zollman (ZOLLMAN, 1973) pour l'étude des variations horaires de la DCO dans un égout.

4.3.3 Première analyse de Fourier (voir annexe A)

- a) Nous travaillons d'abord sur les débits bruts, au quart d'heure, des 29 jours secs du 26 septembre au 27 novembre 1973, et obtenons cinq principaux harmoniques, les autres étant négligeables (tableau 4.3).

Il est à noter que l'harmonique dont la période est de 24 heures n'explique que très peu de variance. En revanche, la période fondamentale et le deuxième harmonique en expliquent davantage. Ces deux premières périodes n'ont aucun sens quant au comportement sanitaire d'un égout combiné à l'échelle d'un jour, et traduisent plutôt une tendance plus étalée dans le temps attribuable aux fluctuations du débit de base.

- b) Afin d'éliminer ce dernier nous refaisons l'analyse en soustrayant le minimum du jour à chaque valeur du débit. Ce procédé fait presque doubler la variance expliquée pour la période de 24 heures (18.3%) et diminue notablement la participation de la fondamentale (6.8%).
- c) Si l'on travaille sur les moyennes horaires ou toutes les 2 heures tout en enlevant le minimum du jour, on ne note qu'une faible augmentation de la variance expliquée pour la période de 24 heures.
- d) Afin de mieux éliminer les 2 premières périodes, et par là, toute tendance, nous standardisons chaque jour les valeurs au quart d'heure, une fois

le minimum du jour déduit (tableau 4.4). Les 2 premières périodes sont maintenant négligeables et les 3 périodes de 24, 12 et 8 heures additionnées expliquent 50% de la variance de la variable.

Cependant cette variable est standardisée, et une simulation qui serait basée sur elle nécessiterait de pouvoir retrouver la variable brute à partir de la variable standardisée. Si l'on peut trouver une relation simple entre la moyenne et l'écart-type, il ne reste plus alors qu'à simuler la moyenne pour avoir le phénomène brut.

Nous calculons donc le coefficient de corrélation R et une droite de régression entre les moyennes μ et les écarts-type σ des 29 jours secs du 26 septembre au 27 novembre 1973 et ceci dans deux conditions:

- sur les débits bruts: $R = 0.81$
 $\sigma = 0.02997 + 0.00575 (\mu - \bar{\mu})$

- sur les débits diminués du minimum du jour:
 $R = 0.90$
 $\sigma = 0.02997 + 0.00762 (\mu - \bar{\mu})$

On voit donc qu'il serait possible de relier la moyenne et l'écart-type puisque le coefficient de corrélation est assez élevé.

4.3.4 Redistribution des jours secs

Les résultats peu concluants, tant des premières analyses selon Fourier que des premières études de résidus par autocorrélation nous ont amenés à mettre en question notre choix des jours secs. En effet, on trouve parmi eux des disparités importantes, tant au point de vue moyenne que minimum du jour. Du 26 septembre au 11 octobre, l'amplitude entre le minimum et le maximum du débit varie de 0.02 à 0.13 pcs, tandis que du 18 octobre au 27 novembre 1973 l'amplitude va de 0.04 à 0.4 pcs. Dans ces conditions, l'analyse selon Fourier

définit un profil sanitaire moyen qui est trop éloigné des profils extrêmes observés.

Pour opérer un meilleur choix des jours secs, nous nous basons alors sur la consommation journalière moyenne d'une maison unifamiliale à Sainte-Foy en 1972, soit 204 gallons impériaux par jour (DEMARD *et al.*, 1975). Comme notre bassin dessert 800 personnes (175 résidences), on obtient un débit moyen de 0.067 pcs qui doit se retrouver dans l'égout pour former la composante sanitaire.

Tout en gardant l'hypothèse que le débit sanitaire s'annule au cours de la nuit, nous essayons de mieux définir le débit de base, en posant que ce dernier suit une succession de lignes droites passant par les minimums respectifs de chaque jour. Ceci donne une nouvelle ligne de base pour le débit sanitaire, dont l'apport journalier en volume est représenté par la surface hachurée de la figure 4.6. Dès lors la moyenne journalière des 96 hauteurs H donne un débit moyen provenant du sanitaire qui devrait être voisin de 0.067 pcs.

Nous faisons ce calcul pour tous les jours du 26 septembre 1973 au 7 avril 1974 et sélectionnons tous les jours sans neige ni pluie, dont l'écoulement sanitaire moyen est d'au moins 0.06 pcs. Les 14 jours secs obtenus (liste en annexe B) sont la base des études suivantes sur la composante sanitaire.

4.3.5 Deuxième analyse de Fourier

Le schéma de cette analyse est le suivant:

- Les débits sont calculés par la formule de Manning, sur la période entière incluant les 14 jours secs, soit 26 jours.

- Après repérage du minimum du jour, on définit et on enlève au débit brut le profil minimum linéarisé (voir 4.3.4).
- On transfère les 14 jours secs remaniés qu'on juxtapose dans un vecteur.
- On standardise par jour les débits de ce vecteur et on procède alors à l'analyse selon Fourier dont les résultats figurent au tableau 4.5.

Ainsi, on note un net progrès par rapport à la période de 29 jours secs puisque la variance expliquée par 4 harmoniques passe de 50% à 68.5%.

Toutefois, nous ne poussons pas plus avant l'analyse avec les variables standardisées car nous n'entrevoions guère de moyen de simuler la moyenne, et nous travaillons plutôt sur les valeurs brutes du débit diminuées du profil minimum linéarisé (tableau 4.6). Notons qu'en tenant compte du changement d'heure qui a lieu le 29 octobre 1973 et qui coupe en deux notre série de 14 jours secs, la correction fait augmenter de près de 2% la variance expliquée pour la période de 24 heures.

Les 11.5% de variance expliquée par la période fondamentale viennent de la tendance du phénomène, que la soustraction du profil minimum linéarisé n'a pas réussi à enlever totalement.

Les 4 harmoniques dont les périodes valent respectivement 24, 12, 8 et 4.8 heures, expliquent au total 61.7% de la variance.

4.3.6 Moyennes mobiles

Renonçant à essayer de représenter le débit de base en faisant des hypothèses de nature physique, nous cherchons alors à éliminer toute tendance autre que les phénomènes périodiques dont la période ne dépasse pas 24 heures, et pour cela nous optons pour l'emploi des moyennes mobiles, technique mathéma-

tique bien adaptée pour éliminer certaines fréquences dans une série de temps, et qui consiste à se déplacer le long de cette série en faisant la moyenne d'un certain nombre de valeurs en chaque point.

4.3.6.1 Moyenne mobile "rectangulaire"

Dans ce cas, la moyenne mobile est définie comme suit:

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=i-n}^{j=i+n} Q_j \quad \text{où } Q \text{ est le débit;}$$

on appellera "intervalle de la moyenne mobile" la valeur: $2n + 1$ unités de temps.

Par ce procédé, on peut niveler tous les cycles dont la période est inférieure ou égale à l'intervalle, et obtenir une courbe qui représente la "tendance". Par soustraction de cette courbe aux débits bruts, on obtient la courbe résultante des cycles dont la période est inférieure ou égale à l'intervalle.

La courbe mentionnée ci-dessus implique que tous les points entrant dans le calcul de la moyenne ont une pondération égale. C'est une moyenne de type "rectangulaire" et nous l'avons utilisée en premier lieu, en raison de sa simplicité.

Aux deux extrémités de la série de temps, nous imposons nécessairement comme contrainte que le débit est d'une part égal à la moyenne du premier jour pour les valeurs de 0h15 à midi, et d'autre part égal à la moyenne du dernier jour, pour les valeurs de 12h15 à minuit.

Le cheminement de l'analyse se fait comme suit:

- calcul des débits avec correction pour le changement d'heure

- calcul de la moyenne mobile sur une série de 26 jours
- soustraction de celle-là aux débits bruts
- groupement des 14 jours secs et analyse selon Fourier (tableau 4.7).

De cette façon nous obtenons le pourcentage le plus élevé de participation à la variance pour la période de 24 heures, et l'addition des harmoniques 14, 28, 42 et 70 expliquent 73.5% de la variance.

Les autres harmoniques et la fondamentale sont négligeables ce qui prouve que la tendance a été bien simulée et éliminée par la moyenne mobile.

Nous vérifions également qu'en soustrayant le sanitaire défini par les 4 harmoniques précités, on arrive bien à un pourcentage de variance négligeable pour chacun de ces harmoniques. Pour ce faire nous nous servons des coefficients A_m et B_m plutôt que de l'amplitude R_m et de la phase ϕ_m , car bien qu'équivalents ces derniers sont d'un maniement plus risqué puisque la phase n'est définie qu'à Π près.

En faisant imprimer simultanément le vecteur du sanitaire ainsi défini, et le vecteur du débit diminué de la moyenne mobile nous vérifions de plus que ces deux courbes coïncident et qu'il n'y a pas de déphasage.

Si l'on utilise une moyenne mobile "rectangulaire" de 48 heures d'intervalle les résultats sont très semblables mais un peu moins bons.

4.3.6.2 Moyenne mobile "normalisée"

Pour la suite nous préférons à la moyenne mobile "rectangulaire" celle dont les coefficients attribués à chaque débit suivent une loi normale. En effet (figure 4.7) la réponse en fréquence d'une moyenne mobile à coefficients égaux peut être négative pour certaines fréquences en raison d'un chan-

gement de signe du signal par le filtre. Il peut en résulter des ondulations aberrantes dans le signal filtré.

Nous attribuons donc le coefficient $C(I)$ maximum au débit $Q(I)$, et des coefficients décroissants, de part et d'autre, à $Q(I-1)$ et $Q(I+1)$, puis $Q(I-2)$ et $Q(I+2)$, etc. Ces coefficients sont choisis de telle manière que leurs somme soit égale à 1.0 et que leur distribution suive une loi normale, soit:

$$f(x) = \frac{1}{2 \Pi} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

Nous convenons de limiter notre courbe normale à $\pm 2.88 \sigma$ (figure 4.8), ce qui fait que les valeurs extrêmes des coefficients $C(J)$ de pondération des débits valent à peu près 1.6% de la valeur centrale. La moyenne mobile dont l'intervalle est de 24 heures devient alors:

$$Q(I) = \sum_{J=I-48}^{J=I+48} Q(J).C(J) \quad \text{avec} \quad \sum_{J=I-48}^{J=I+48} C(J) = 1.$$

La première analyse faite avec cette moyenne mobile "normalisée", dotée d'un intervalle de 24 heures montre que le cycle de 24 heures de période n'est pas assez bien éliminé. Nous augmentons alors l'intervalle à 48 heures ce qui donne:

$$Q(I) = \sum_{J=I-96}^{J=I+96} Q(J).C(J) \quad \text{et} \quad \sum_{J=I-96}^{J=I+96} C(J) = 1.$$

Les résultats obtenus ressemblent de près à ceux que nous avons obtenus avec une moyenne mobile "rectangulaire" à intervalle de 24 heures, et sont considérés comme bons (tableau 4.8A).

Si l'on calcule les débits à l'aide de l'équation du deuxième degré (voir 4.1.4) et si l'on fait ensuite la même analyse, on obtient des résultats semblables, et très légèrement meilleurs (tableau 4.8B).

4.3.7 Simulation de la composante sanitaire et estimation du débit sanitaire journalier

Le premier essai de simulation du sanitaire est tenté en soustrayant le profil minimum linéarisé défini en 4.3.4 aux débits bruts, et en calculant ensuite les moyennes par quart d'heure sur un certain nombre de jours secs, ceci donnant une première image du comportement périodique de l'égout. Par l'analyse de Fourier nous avons pu mieux définir le comportement périodique de l'égout à l'aide du vecteur schématisé à la figure 4.9.

La courbe sinusoïdale $F(T)$ représentant le sanitaire est définie à partir de l'axe OT d'après les 4 harmoniques de période respectivement 24, 12, 8 et 4.8 heures.

$$F(T) = 2 (TA + TB + TC + TD)$$

avec:

$$TA = A_{14} \cos ((2\pi.T.1)/96) + B_{14} \sin ((2\pi.T.1)/96)$$

$$TB = A_{28} \cos ((2\pi.T.2)/96) + B_{28} \sin ((2\pi.T.2)/96)$$

$$TC = A_{42} \cos ((2\pi.T.3)/96) + B_{42} \sin ((2\pi.T.3)/96)$$

$$TD = A_{70} \cos ((2\pi.T.5)/96) + B_{70} \sin ((2\pi.T.5)/96)$$

Les coefficients A_m et B_m sont à tirer du tableau 4.8.A si les débits sont calculés par la formule de Manning, et du tableau 4.8.B s'ils proviennent de l'équation du deuxième degré.

Cependant, comme le débit du sanitaire se mesure à partir de l'axe O'T', nous devons rajouter le décalage d à la courbe F(T) pour obtenir le vecteur S(T) du débit sanitaire:

$$S(T) = 2(TA + TB + TC + TD) + d$$

avec:

d: 0.107 pcs (formule de Manning, pente: 2%, n: 0.030)

d: 0.0464 pcs (équation du 2e degré)

Afin de comparer la consommation en eau et le débit de la composante sanitaire dans l'égout, nous calculons le débit sanitaire moyen pour les 14 jours secs d'automne, et ceci par deux voies différentes:

- par la méthode du profil minimum linéarisé (voir 4.3.4);
- par l'analyse selon Fourier.

Comme la moyenne de la courbe F(T) est nulle (figure 4.9) il suffit de prendre le décalage d comme moyenne du débit sanitaire. En effet,

$Q_{\text{sanitaire}} = S(T) = F(T) + d$ en tous les points; d'où:

$$\bar{Q} = \frac{1}{96} \sum_{T=1}^{96} S(T) = \frac{1}{96} \sum_{T=1}^{96} [F(T) + d] = \frac{1}{96} \sum_{T=1}^{96} F(T) + d = d$$

Les résultats ainsi obtenus (tableau 4.9) se comparent bien avec les valeurs de la consommation d'eau établies dans des résidences de Ste-Foy, soit 45 GPCJ (sur la base de 204 GPJ par maison unifamiliale abritant 4.5 personnes en moyenne (DEMARD *et al.*, 1975)).

En utilisant par ailleurs, les données de consommation d'eau de 157 des 175 maisons de notre bassin pour l'année 1971, nous arrivons à 28,359 GPJ pour 157 maisons soit 50 GPCJ.

Il ressort que ces chiffres de consommation se situent aussi à l'intérieur des deux extrêmes de 31 et 82 GPCJ que nous obtenons au tableau 4.9.

Quand on considère les résultats obtenus avec l'équation du deuxième degré, on note que les deux méthodes de calcul du débit sanitaire donnent des résultats semblables. Ces résultats sont cependant un peu faibles par rapport aux données de consommation d'eau; l'hypothèse de départ d'un débit sanitaire nul la nuit, est sans doute discutable quand il s'agit d'un bassin de 800 personnes mais il n'existait pas alors de données pour chiffrer le débit minimum d'un ensemble de 175 résidences.

4.3.8 Etude des cycles hebdomadaires

Afin de déceler d'éventuelles périodicités d'un ordre plus grand que 24 heures, nous utilisons la presque totalité de nos données, soit 6 mois (tableau 4.10). Ces 154 jours au total s'enchaînent du point de vue des jours de la semaine, ce qui permet en particulier de chercher à détecter un cycle hebdomadaire, à l'aide d'une analyse de Fourier sur les moyennes journalières de débit. Il en ressort que la variance expliquée par les cycles dont la période va de 2 à 12 jours ne dépasse jamais 0.8%. Bien que le cycle hebdomadaire ne soit pas très apparent, nous cherchons cependant à le mettre en évidence en calculant la moyenne de chaque jour de la semaine (tableau 4.11).

Comme prévu, le dimanche est le jour où le débit est le plus faible. En revanche, le maximum attendu du lundi n'apparaît pas. Cela peut provenir en partie de l'influence des pluies et de la fonte de neige. Il conviendrait de refaire les mêmes calculs en n'utilisant que des jours secs, mais en plus grand nombre que ceux que nous avons à disposition.

4.4 Etude des pluies

4.4.1 Elimination de la composante sanitaire

Les représentations que nous avons données jusqu'ici de la composante sanitaire reposaient sur une analyse mathématique des débits et sur une hypothèse physique incomplètement vérifiable quant au comportement de l'égout.

Afin de s'en tenir à une analyse mathématique de nos débits nous décomposent le sanitaire en 3 parties:

- une composante périodique définie plus haut;
- une composante définie par un modèle autorégressif qui exprime l'influence d'un évènement sur l'évènement suivant et qui implique l'étude des "résidus" une fois la composante périodique enlevée;
- une composante aléatoire, de telle sorte qu'on puisse exprimer le débit sanitaire par la somme:

$$X_{ij} = \sum R_m \cos (\omega t + \phi) + \rho X_{(i-1)j} + \varepsilon$$

et éliminer ainsi le sanitaire pour étudier la partie provenant directement ou indirectement des précipitations.

L'étude des résidus est faite au moyen d'autocorrélogrammes en calculant les lags 1-5 qui sont susceptibles d'intervenir dans un modèle autorégressif. Nous utilisons chaque fois les valeurs de débit au quart d'heure puis les moyennes à la demi-heure, à l'heure et aux deux heures, sur les 14 jours secs d'automne.

- a) Dans une première phase, nous avons pensé rendre plus homogènes les données en soustrayant le débit de base, figuré d'abord par le minimum du jour (cas a) puis par le profil minimum linéarisé (cas b). La partie périodique à enlever, est définie par les moyennes au quart d'heure (ou par les moyennes sur 30 minutes, une heure ou deux heures); soient i l'indice des quarts d'heure et j l'indice des jours, la moyenne de chaque quart d'heure est définie par

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{i,j}$$

où i varie de 1 à 96 et j de 1 à n .

A titre d'exemple, les coefficients de corrélation obtenus pour le lag 1 et les valeurs au quart d'heure sont:

cas a: $R = 0.91$

cas b: $R = 0.79$

- b) Par la suite nous enlevons la tendance au moyen d'une moyenne mobile rectangulaire, et la composante sanitaire au moyen de fonctions périodiques, définies par l'analyse de Fourier. Dans ce cas les résultats sont meilleurs (tableau 4.12).
- c) Cependant, comme l'emploi d'un filtre tel que la moyenne mobile est censé autocorréler les résidus, nous l'écartons pour analyser les débits bruts diminués du sanitaire, après avoir vérifié que la soustraction du sanitaire élimine toute variance expliquée par les cycles dont la période est égale ou inférieure à 24 heures (tableau 4.13). On constate que les coefficients R de lag 1 sont encore assez élevés et que les résidus n'ont donc pas un caractère très aléatoire. Ceci est dû à la tendance, qui n'a pas

été éliminée, et qui tend à autocorréler les résidus.

4.4.2 Etude des périodes de tarissement

Etant parvenus à simuler le comportement périodique de l'égout, mais ne disposant pas de renseignements assez sûrs sur la partie de l'écoulement retardé, nous tentons une approche de l'étude du ruissellement en faisant intervenir la courbe de tarissement après une pluie.

En effet pour un même bassin versant, la courbe de tarissement devrait obéir à une seule équation de la forme:

$$Q = Q_0 e^{-\alpha T}$$

avec Q = débit

T = temps

α = coefficient en principe constant pour un bassin donné.

Si l'on arrive à superposer une courbe exponentielle sur la courbe de tarissement d'une pluie I, on pourra alors extrapoler ladite courbe pendant la durée de la pluie suivante (I+1) et simuler ainsi un niveau de base du débit qui ait un sens physique, tel que schématisé à la figure 4.10.

Le calcul de cette exponentielle se fait de la manière suivante:

1. Calcul des débits par la formule de Manning.
2. Soustraction du sanitaire défini plus haut.
3. Lecture de NPI, nombre de pluies intéressantes, de IDP (I), instant du début de la pluie I, et de IFP (I), fin de la pluie I, soit le début du tarissement.
4. Calcul du facteur B de l'équation $Q = Q_0 e^{BT}$ au moyen d'une régression sur le logarithme des débits.

5. Calcul de l'intervalle de confiance de B.
6. Calcul de Q_0 , origine de l'exponentielle de tarissement, par la méthode des moindres carrés.

Pour ce faire, nous étudions 17 pluies sur 22 pendant la période du 26 septembre au 27 novembre 1973. En effet, la pluie No 1 est faible et l'on n'observe aucune courbe de tarissement et les pluies No 5 à 9 ont lieu pendant un arrêt des mesures de débit.

Pour fixer le début du tarissement IFP, nous convenons qu'une heure après la fin de la pluie, la décrue devrait être terminée. A l'examen sur un premier graphique, cette hypothèse s'est révélée bonne dans la plupart des cas, mais nous avons dû malgré tout retarder IFP dans 3 cas (pluies Nos 3, 4 et 10). Partant de l'équation $Q = Q_0 e^{-\alpha T}$, nous posons $B = -\alpha$ et calculons B en écrivant: $\ln Q = \ln Q_0 + BT$, équation de la forme d'une droite de régression dont B est la pente. Sa valeur est donnée par:

$$B = \frac{\sum_{i=J}^K (\log Q_i - \overline{\log Q}) (T_i - \bar{T})}{\sum_{i=J}^K (T_i - \bar{T})^2} \quad \begin{array}{l} J = \text{IFP}(I) + 1 \\ K = \text{IDP}(I + 1) \end{array}$$

Les valeurs de B pour chaque pluie sont données au tableau 4.14. Ayant le facteur $-\alpha$ (ou B), nous devons encore faire un ajustement par la méthode des moindres carrés entre la courbe exponentielle et les valeurs de débits. Il vient:

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^N q_i e^{-\alpha T}}{\sum_{i=1}^N e^{-2\alpha T}}$$

L'illustration d'une partie du résultat de ces calculs est représentée à la figure 4.11.

En conclusion, il ressort les points suivants:

- Sur les 16 intervalles entre deux pluies, on obtient dans douze cas une valeur de B positive ou non significativement différente de zéro, ce qui veut dire qu'une simulation par une exponentielle décroissante n'est pas applicable.
- Dans les quatre cas où B est négatif, il n'y a que deux cas où les intervalles de confiance se recouvrent, et encore n'est-ce qu'à 99% de confiance. On ne peut donc pas conclure qu'il y ait une seule valeur de B valable pour toute notre série de données.
- En faisant imprimer le graphique du logarithme du débit diminué de la composante sanitaire simulée, on note que la seule période de tarissement exponentiel possible se situe après la pluie du 5 octobre 1973, qui est d'ailleurs la plus forte pluie que nous ayons enregistrée.

Dans ces conditions, nous avons dû renoncer à pouvoir isoler la composante provenant du ruissellement, faute de données plus homogènes.

4.4.3 Conclusion

Le but que nous nous étions fixé était l'étude du comportement quantitatif d'un égout combiné ce qui nécessitait de définir les différentes composantes du débit (débit de base, débit sanitaire, débit de ruissellement) et d'en proposer une simulation. Ceci incluait donc la mise au point ou l'utilisation d'un modèle de ruissellement urbain relativement simple, comme par exemple le "Road Research Laboratory Model" (TERSTRIEP et STALL, 1969).

Nous n'avons pas pu aller jusque là, d'une part parce que nous n'avons pas pu expliquer convenablement les variations du débit de base, et d'autre part parce que les tentatives d'utilisation d'une courbe de tarissement pour simuler le débit de base dans l'égout se sont révélées infructueuses. Des investigations plus poussées sur le réseau d'égout et sur la nature du sous-sol seraient nécessaires pour déterminer l'origine du débit de base. Nous nous devons de rappeler aussi que les difficultés d'ordre technique rencontrées dans la mesure des débits ont pu parfois générer des données imprécises ou même erronées.

Mentionnons par ailleurs qu'il serait souhaitable de disposer d'une année entière d'observations, ou au moins d'avoir plus de données portant sur les mois d'été, où les pluies sont plus fréquemment de type orageux. Egalement, il serait précieux d'augmenter la fréquence des mesures de niveau jusqu'à une mesure toutes les 2-5 minutes, tout en veillant avec grand soin à la synchronisation des divers enregistreurs et du pluviographe car pour des bassins dont le temps de concentration est inférieur à 10 minutes, une imprécision d'une minute devient importante.

CHAPITRE 5

5. Etude de la qualité des eaux de l'égout combiné

L'étude des débits de l'égout combiné est couplée à une étude de la qualité des eaux, qui vise à identifier les apports à l'égout en terme de charges polluantes et à caractériser le comportement qualitatif de l'égout par l'analyse des variations temporelles des concentrations et charges des eaux véhiculées. Les eaux interceptées dans un égout combiné ont plusieurs origines (apports sanitaires auxquels viennent s'ajouter à certaines périodes des apports du ruissellement); on caractérisera d'une part le comportement de l'égout par temps sec (eaux de provenance sanitaire) puis on étudiera l'influence des événements humides sur la qualité des eaux de l'égout; à cette fin on analysera la réponse de l'égout pendant les pluies et pendant la période de fonte de neige.

5.1 Acquisition des données

5.1.1 Données de qualité

A) Echantillonnage

Trois campagnes d'échantillonnage ont lieu dans les conditions décrites ci-après:

- un échantillonnage de 4 heures en automne à l'occasion d'une précipitation (30 octobre 1973); les prélèvements sont effectués toutes les 10 minutes avec une durée de prélèvement de 2 minutes;

- neuf échantillonnages en hiver entre le 11 février et le 21 mars 1974, couvrant une journée complète ou plusieurs jours consécutifs; les prélèvements ont une durée de 5 ou 8 minutes et sont effectués selon une fréquence horaire. A la figure 5.1 sont présentés les résultats bruts des 18 et 19 février ainsi que ceux des 18, 19, 20 et 21 mars 1974;
- onze échantillonnages au printemps (1er avril au 18 mai 1974) effectués dans les mêmes conditions que les échantillonnages d'hiver. On trouvera à la figure 5.2 les résultats bruts de la période du 1er au 5 avril 1974, et à la figure 5.3 ceux de la période du 12 au 18 mai 1974.

B) Choix des paramètres

Il s'agit de sélectionner un nombre limité de paramètres qui semblent les plus représentatifs des phénomènes à étudier; ce choix est également guidé par les contraintes reliées à la conservation des échantillons, et par la capacité d'analyses que nous pouvons fournir compte tenu des techniques analytiques en vigueur au laboratoire. Les paramètres retenus sont les suivants:

- le carbone organique et le phosphore total pour la caractérisation des apports sanitaires;
- les solides en suspension pour la caractérisation du ruissellement pluvial et de fonte de neige;
- les ions chlorures, sodium et calcium pour l'étude de la fonte de neige; par la suite les ions sodium ne sont plus considérés en raison de la forte corrélation "chlorures-sodium" que l'on observe.

A titre de vérification, une mesure de la conductivité et de la teneur en solides totaux est effectuée sur les échantillons riches en chlorures et en sodium. On tente en outre de corréler des mesures de turbidité et de solides en suspension sur un certain nombre d'échantillons dans le but de se

limiter par la suite à une simple mesure de turbidité; la relation se montre peu fiable car la taille des particules varie considérablement d'un échantillon à l'autre et l'analyse des solides en suspension est poursuivie.

Le choix du carbone organique comme paramètre pour évaluer la teneur en matière organique des eaux usées mérite une remarque; on a en effet, coutume de déterminer la matière organique des eaux usées par la mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO) ou de la demande chimique en oxygène (DCO). Notre choix a été essentiellement guidé par la rapidité d'analyse du carbone organique à comparer avec les deux autres méthodes. On doit signaler en outre que la DBO n'est pas toujours une mesure adaptée pour évaluer la pollution organique de certaines eaux, telles les eaux de ruissellement qui contiennent soit des éléments toxiques (plomb, fer) qui peuvent interférer avec la mesure, soit de fortes quantités d'éléments non biodégradables ou très lentement, comme les hydrocarbures.

C) Conservation des échantillons et méthodes d'analyses

Si l'on peut analyser les échantillons dans les vingt-quatre heures suivant leur prélèvement, ils sont conservés à une température de 4°C, à l'obscurité, dans des flacons de polyéthylène; sinon ils sont acidifiés (addition d'acide sulfurique jusqu'à pH 3) de façon à préserver la matière organique, et sont analysés dans les trois jours qui suivent. L'acidification permet la conservation du carbone organique ainsi que celle du phosphore total mais les teneurs en différentes formes de phosphore sont modifiées et le carbone inorganique ne peut être déterminé suite à la formation de gaz carbonique. Mentionnons que la meilleure méthode de préservation du carbone organique consiste en l'addition de chlorure mercurique, mais l'on risque d'endommager sérieusement la colonne de l'analyseur de carbone quand il y a un grand nombre d'é-

chantillons à analyser.

Concernant les différentes techniques d'analyses décrites à l'annexe C, on a respectivement recours à:

- une méthode gravimétrique pour les solides en suspension et les solides totaux;
- l'absorption atomique pour le sodium et le calcium;
- un dosage argentométrique pour les chlorures;
- une méthode colorimétrique pour le phosphore total (analyse sur Technicon);
- un analyseur de carbone Beckman pour le carbone organique.

La détermination des chlorures est d'abord essayée à l'aide d'une électrode spécifique, mais cette méthode est abandonnée au profit d'un dosage chimique, en raison de la lenteur de stabilisation des équilibres.

Le carbone organique est analysé sur des échantillons complets (fractions soluble et particulaire) après homogénéisation aux ultra-sons; on admet en effet que dans une eau d'égout les solides en suspension contribuent pour 30 à 40% du carbone organique de l'échantillon (RICKERT et HUNTER, 1967; 1971). L'analyse du phosphore total est confiée à un laboratoire utilisant un analyseur Technicon; dans ce cas les échantillons subissent une filtration préalable sur filtre 0.45 μ .

5.1.2 Données de débit et données météorologiques

Les débits sont calculés à partir des niveaux d'eau enregistrés dans l'égout d'après la relation établie par jaugeage chimique:

$$Q = 1.34 H^2 + .65 H + .0044$$

où Q est le débit en pieds cubes par seconde et H, la hauteur en pieds.

L'enregistrement des niveaux fournissant des données aux 15 minutes pour la période de septembre à mars et aux 7.5 minutes en avril-mai, on utilise, quand la fréquence de prélèvement est d'une heure, un débit moyen horaire pondéré par les débits antérieur et postérieur au prélèvement.

Les données météorologiques proviennent de l'aéroport de Québec et sont complétées, pour certaines périodes, par les enregistrements du pluviographe installé sur le bassin.

5.1.3 Validité des données

A) Données de qualité

- a) Tel qu'il a été mentionné en 3.2.2, l'échantillonneur ne comporte pas de dispositif de réfrigération, et il n'est pas même prévu un compartiment pour mettre de la glace; seule l'enceinte où sont recueillis les échantillons est partiellement isolée avec un quart de pouce de polystyrène. On doit admettre cependant que les risques de dégradation de la matière organique sont minimes lors des échantillonnages d'hiver; la température dans l'abri est de l'ordre de 10-12°C au maximum. Pour les échantillonnages de mai, on prend la précaution de mettre au préalable dans les flacons, de l'acide sulfurique de façon à obtenir un pH final d'environ 3; cette méthode reste discutable car les premières fractions d'échantillon déversées dans le flacon sont très fortement acidifiées.
- b) Du point de vue du prélèvement des fractions particulières, l'échantillonneur assure au plus le prélèvement des fractions solides dites colloïdales (1 μ - 1 μ) et supracolloïdales (1 μ - 100 μ), compte tenu du

diamètre du tuyau et de la vitesse d'ascension fournie par la pompe; le prélèvement des solides en suspension décantables (particules supérieures à 100 μ) n'est pas représentatif des conditions dans l'égout.

- c) Les analyses effectuées sur une eau d'égout brute devraient l'être sur l'échantillon complet, et non comme bien des appareils d'analyses le nécessitent, sur un échantillon filtré. Dans notre cas, une tentative est faite pour déterminer le carbone organique sur les échantillons non filtrés en ayant recours aux ultra-sons pour diviser finement les solides en suspension, et ainsi pouvoir injecter l'échantillon dans l'analyseur de carbone; un nombre restreint d'essais préalables sur l'eau d'égout nous avait montré une différence jusqu'à 50% entre échantillons filtrés et non filtrés. Il reste que l'homogénéisation aux ultra-sons augmente la durée d'analyse et que l'injection d'échantillons non filtrés altère la précision de cette technique (reproductibilité beaucoup moins bonne). Comme on l'a déjà noté le phosphore est seulement analysé sur la fraction soluble.
- d) Faute de temps, aucune relation entre le carbone organique et la mesure standard de DBO n'est établie sur les eaux que nous prélevons. On doit donc utiliser pour comparer nos données à celles d'autres études, une relation moyenne tirée de la littérature; pour l'étude des périodes sanitaires, on adopte la relation fournie par Eckenfelder (ECKENFELDER, 1970) pour des effluents domestiques, à savoir: "DBO = 1.62 X carbone organique".
- e) Dans le cas où l'échantillonnage a lieu selon une fréquence horaire, on rappellera que le prélèvement a lieu durant quelques minutes et est censé être représentatif de l'heure. Un échantillonnage plus représentatif des conditions dans l'égout aurait nécessité de recueillir un échantillon com-

posé, constitué d'un grand nombre de doses unitaires prélevées tout au long de l'heure (sur une base de temps ou en fonction du débit); ceci implique un mode de contrôle de l'échantillonnage beaucoup plus sophistiqué que celui dont était doté notre appareillage.

B) Données de niveau et données météorologiques

Ainsi qu'il a été mentionné en 4.1.3, les lectures des niveaux d'eau dans l'égout sont affectées par différentes causes au cours de la période d'enregistrement:

- un défaut d'amortissement du servomanomètre constaté pour certaines périodes. Ainsi, dans les données de février, l'amplitude entre minimum et maximum journalier est très faible, et les variations à l'intérieur d'une journée sont peu marquées; nous avons cependant utilisé les données relatives à deux jours d'échantillonnage en février pour le calcul des charges, tout en étant conscients des limites de validité de ces données;
- une obstruction du tuyau d'amenée d'azote entre le 7 mai et le 14 juin 1974; une correction des niveaux a été effectuée telle que proposée à la page 28;
- des accumulations de débris dans le puits de regard suite à l'introduction de la prise d'échantillons.

Cette dernière source d'erreurs est la plus critique dans le cas de nos mesures. Aussi, après avoir identifié le phénomène au cours des premiers essais d'échantillonnage, nous avons dû effectuer une surveillance intensive du puits de regard à chaque échantillonnage, avec un nettoyage chaque vingt-

quatre heures, et éventuellement à l'intérieur des vingt-quatre heures. Un échantillonnage dans ces conditions nécessiterait de prévoir une prise rigidement fixée dans la conduite aval, en évitant de laisser libre au fond du puits de regard une portion de tuyau flexible, qui est en réalité responsable de l'accumulation de la majeure partie des papiers.

Pour les données de précipitation, l'utilisation des données de l'aéroport quand on manque de données sur le bassin même, peut introduire des erreurs du fait des différences de conditions locales qui peuvent exister d'un endroit à l'autre (décalage sur le début de la précipitation, essentiellement).

5.2 Caractérisation du comportement de l'égout par temps sec

Pour pouvoir étudier dans un égout combiné les apports sanitaires, on doit sélectionner une période d'échantillonnage pendant laquelle les apports du ruissellement sont au minimum; à cette fin, on peut choisir pour un égout de la région de Québec, la seconde moitié de l'hiver (février-mars) avant la fonte de neige. Au niveau des apports sanitaires, les variations les plus notables se produisent à l'intérieur d'une journée alors que les variations d'un jour à l'autre ou d'une saison à l'autre sont en comparaison négligeables. On procède donc à des échantillonnages sur vingt-quatre heures, à raison d'un échantillon par heure, et on analyse chaque échantillon individuellement.

5.2.1 Variations temporelles

5.2.1.1 Variations horaires

Un premier examen des variations horaires des concentrations de soli-

des en suspension, carbone organique et phosphore total sur deux exemples de jours secs (20 mars et 2 avril) tel que présenté aux figures 5.1 et 5.2 permet de faire ressortir un certain nombre de caractéristiques: un minimum de concentrations entre 3 heures et 5 heures du matin avec un second minimum dans l'après-midi, trois pointes de concentrations respectivement le matin, en début d'après-midi vers 13 heures - 14 heures, et le soir, traduisant fidèlement les pointes d'activité à l'intérieur des résidences. On notera que la pointe de concentrations du matin (2 avril) est observée à 11 heures dans le cas du phosphore alors que les pointes de solides et de carbone sont antérieures (8 heures - 9 heures); ceci peut constituer une indication sur l'origine d'une partie du phosphore (polyphosphates des détergents), le lavage étant traditionnellement effectué dans la matinée.

Par comparaison, les variations de débit qu'on peut observer à l'intérieur de ces deux jours sont beaucoup plus amorties (on se référera à la discussion qui a été faite précédemment sur la validité des données de débit), mais on retrouve cependant le même profil de variations. Alors que les solides, le carbone et le phosphore présentent une évolution typique reflétant les activités domestiques, les chlorures restent relativement constants au cours de la journée (2 avril) ou présentent des pointes de concentrations (20 mars) qui ne peuvent pas être reliées à une activité domestique quelconque; dans ce dernier cas, on a affaire à un phénomène de "déglçage" sur lequel nous reviendrons plus loin (voir 5.3.1). Les concentrations de carbone et de solides ainsi que le débit n'apparaissent pas cependant modifiés par cet événement, ce qui nous a conduits à considérer ce jour comme sec.

Afin d'évaluer l'impact des périodes humides sur la qualité des eaux de l'égout, il s'agit de définir en premier lieu la composante sanitaire qui doit être connue, puisqu'au moment des périodes de ruissellement on ne peut

physiquement isoler les apports sanitaires. En faisant l'hypothèse au départ que les variations entre les jours sont négligeables, on détermine sur un ensemble de jours secs choisis d'après les données météorologiques (absence de précipitations ou de fonte) et les données de débit, un profil sanitaire moyen journalier pour les trois paramètres qui ont une origine typiquement sanitaire (solides, carbone organique, phosphore).

Comme le nombre de jours secs échantillonnés au cours de la période février-avril est trop restreint, il est nécessaire d'ajouter un certain nombre d'échantillonnages de mai effectués sur des jours sans pluie; à cette époque, le débit mesuré est en moyenne une fois et demie plus élevé qu'en hiver (influence de la fin de la fonte de neige) et les concentrations sont diluées d'autant. Afin de traiter des données homogènes, nous sommes donc conduits à pondérer les données de concentrations par le débit en calculant des charges: charges (g/mn) = concentration (g/l) X débit (l/mn).

Dans ces conditions, douze jours secs sont retenus à savoir:

1. 11 février (12 h) - 12 février (9 h)
2. 18 février (10 h) - 19 février (9 h)
3. 18 mars (15 h) - 19 mars (10 h)^a
4. 19 mars (16 h) - 20 mars (15 h)
5. 20 mars (16 h) - 21 mars (14 h)
6. 1er avril (11 h) - 2 avril (10 h)
7. 2 avril (11 h) - 3 avril (9 h)
8. 13 mai (12 h) - 14 mai (11 h)
9. 14 mai (12 h) - 15 mai (11 h)
10. 15 mai^b (12 h) - 16 mai (11 h)
11. 16 mai (12 h) - 17 mai^c (9 h)

12. 17 mai (14 h) - 18 mai (10 h)

- a) les données de 11 à 13 heures du 19 mars sont éliminées en raison d'un début de fonte
 - b) le 15 mai ont lieu deux pluies et un lavage de rues (entre 20 et 21 heures) ce qui nous a fait éliminer les données de 17 à 23 heures;
 - c) le 17 mai une faible précipitation mesurée à l'aéroport (0.1 pouce en 3 heures) nous a fait également éliminer les données de 10 à 13 heures.
- A) Représentation de l'évolution moyenne au cours d'une journée des charges en carbone, phosphore et solides

A l'aide de ces données, on détermine pour chaque heure de 0 heure à 23 heures, une charge moyenne calculée sur l'ensemble des jours secs soit:

$$\bar{C}_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_{h_i}$$

où: \bar{C}_h : charge moyenne de l'heure h

C_{h_i} : charge de l'heure h du jour i

N : nombre de jours secs utilisés dans le calcul

Le domaine de variation relatif à chaque valeur horaire est défini sous forme d'un intervalle de confiance à 95% calculé sur les N valeurs (tableau 5.1). Les profils journaliers ainsi calculés sont présentés aux figures 5.4, 5.5 et 5.6 respectivement pour le phosphore total (7 jours secs), le carbone organique (10 jours secs) et les solides en suspension (12 jours secs).

Comme dans le cas des concentrations des 20 mars et 2 avril, on iden-

tifie trois pointes caractéristiques:

- l'une le matin,
 - à 10 heures pour le phosphore (205% de la moyenne journalière)
 - à 10 heures pour le carbone (186%)
 - à 9 heures pour les solides (155%)
- l'autre en début d'après-midi, à 13 heures représentant respectivement pour le phosphore, le carbone et les solides, 157%, 159% et 189% de la moyenne journalière
- la troisième, le soir,
 - à 20 heures pour le phosphore (150% de la moyenne journalière)
 - à 19 heures pour le carbone (165%)
 - à 19 heures pour les solides (152%).

On observe par ailleurs deux valeurs minimales:

- l'une la nuit,
 - à 5 heures pour le phosphore (13% de la moyenne)
 - à 5 heures pour le carbone (21.5% de la moyenne)
 - à 4 heures pour les solides (22.5% de la moyenne)
- l'autre en milieu d'après-midi,
 - à 16 heures pour le phosphore (69% de la moyenne)
 - à 16 heures pour le carbone (89% de la moyenne)

La gamme de variations maximales au cours d'une journée s'établit donc respectivement de 1 à 16, 1 à 9 et 1 à 8.5, pour le phosphore, le carbone et les solides.

B) Comparaison de l'évolution des trois paramètres au cours d'une journée

Si l'on considère maintenant les trois profils, on constate une analogie remarquable dans l'évolution des trois paramètres, à l'intérieur d'une journée. Le calcul du coefficient de corrélation ρ entre ces paramètres pris deux à deux, sur l'ensemble des données de jours secs confirme en partie cette observation:

ρ (carbone-phosphore): 0.80 (0.74 - 0.84)^a pour 7 jours

ρ (carbone-solides) : 0.71 (0.64 - 0.77)^a pour 10 jours

ρ (phosphore-solides): 0.51 (0.39 - 0.62)^a pour 7 jours

La simultanéité des pointes de carbone et de phosphore ainsi que la forte corrélation entre ces deux paramètres peut cependant paraître surprenante dans la mesure où l'on peut s'attendre à une distribution différente de ces deux éléments selon l'origine. Ainsi dans LIGMAN *et al.*, (1974), et PAINTER et VINEY (1959), on trouve la répartition suivante en grammes/personne/jour:

REFERENCE	LIGMAN <i>et al</i> (1974)		PAINTER ET VINEY (1959)	
	DBO ₅	phosphore	carbone organique	phosphore
Urine	10.5	1.00	5	1.5
Fèces	11.5	0.50	17	0.75
Bains	9.0			
Lavage	9.5	2.50	7	?
Cuisine (vaisselle)	6.0	0.50	8	?
TOTAL	46.5	4.50	37	-

^a intervalle de confiance à 95% sur le coefficient de corrélation

Ainsi, 50 à 60% du carbone organique ou de la DBO et seulement 33% du phosphore sont attribuables aux rejets physiologiques. La majeure partie du phosphore, ayant à la différence du carbone, une origine non physiologique, on se serait attendu plutôt à observer la principale pointe de phosphore plus tard dans la matinée que celle du carbone, comme dans le cas du 2 avril. On peut expliquer en partie ce phénomène par le fait que nous n'avons pas prélevé les solides dits "décantables" qui sont responsables d'une fraction importante du carbone organique; notre évaluation du carbone organique est sans doute sous-estimée et erronée du fait des conditions de prélèvement. Il aurait été préférable d'analyser également l'azote organique et l'azote ammoniacal qui existe sous forme soluble essentiellement, afin de mieux préciser l'origine des polluants et leurs interrelations. En ce qui concerne la relation carbone-solides, la forte corrélation entre ces deux paramètres tend à confirmer qu'une grande partie du carbone organique est attribuable aux solides en suspension (tableau 5.2); rappelons que le carbone organique est analysé sur l'échantillon tel que prélevé, sans filtration préalable. Par contre la relation phosphore-solides beaucoup moins étroite peut être une indication de la différence d'origine de ces deux éléments ou encore être une conséquence de la méthode d'analyse utilisée qui ne prend pas en compte le phosphore particulaire.

C) Comparaison avec des résultats de la littérature

Peu d'études font état d'une analyse des rejets sanitaires sur une base horaire. Nous disposons cependant des données de Fair et Geyer (FAIR *et al.*, 1968) qui signalent un seul maximum de la charge organique au cours de l'après-midi (figure 5.7) et de ceux de Pobis (POBIS, 1968) qui fournit, pour une ville résidentielle de 64,000 habitants (URSS) un profil journalier des charges en DBO_5 (figure 5.7) très comparable à ceux que nous ob-

tenons, avec en particulier une pointe en début d'après-midi analogue à la pointe de 13 heures que nous observons; la pointe la plus élevée (tableau 5.3) se produit par contre le soir au lieu du matin dans notre cas, et le minimum de la nuit est plus faible, 5-9% de la moyenne journalière à comparer à 13-23% dans nos résultats. Il reste difficile cependant de donner une interprétation de ces différences qu'on peut attribuer aux modes de vie des habitants, à la taille des réseaux, à leur configuration respective et enfin, aux imprécisions de la mesure du débit dans notre cas. Il est intéressant par ailleurs de comparer nos résultats avec les résultats de mesures de consommation d'eau dans des résidences unifamiliales et multifamiliales de Sainte-Foy (figure 5.7) où l'on identifie également trois pointes de consommation à 9 heures, 13 heures et 19 heures.

Pour les fins de cette étude, il aurait été nécessaire comme cela a été fait sur les débits, d'établir un modèle de simulation de la composante périodique qui caractérise les apports d'origine sanitaire; pour cela, on pouvait penser faire une analyse de Fourier sur une série de jours secs de façon à isoler les principales harmoniques; rappelons que les harmoniques 24 heures, 12 heures, 8 heures ont été retenues dans le cas du débit. Les données que nous possédons ne nous ont pas permis de finaliser ce travail, étant donné l'absence d'une série convenable de données; nous nous en sommes donc tenus par la suite à une comparaison sommaire des données en période humide avec les données moyennes de temps sec.

5.2.1.2 Variations entre les jours

Bien que l'on ait fait comme hypothèse de départ, que la variabilité d'un jour à l'autre pouvait être négligée devant celle qui existe à l'intérieur

d'une journée, on peut cependant noter que les charges calculées pour chacun des trois paramètres sont très homogènes d'un jour à l'autre pour la période (1 heure - 6 heures), alors qu'elles sont beaucoup plus variables le reste de la journée (figures 5.5, 5.5, 5.6); à titre d'indications, on a déterminé indépendamment pour chaque jour, l'heure des trois maxima et le pourcentage que représente la charge maximale par rapport à la moyenne (tableau 5.4). Les charges en carbone organique apparaissent plus homogènes que celles en phosphore; on se gardera de faire des interprétations sur les solides, la variabilité qu'on observe pouvant être en partie attribuable au système de prélèvement. On possède trop peu de données pour interpréter valablement les causes de ces variations; mentionnons seulement le cas d'un échantillonnage effectué un lundi (13 mai) qui montre la matin à 10 et 11 heures une pointe notable de concentration en phosphore alors que le carbone organique ne présente pas de pointe particulière (figure 5.3). Il est justifié dans ce cas de relier cet événement à l'habitude du lavage le lundi matin, dans la mesure où l'on a vérifié que les détergents couramment vendus dans le commerce à ce moment là, sont une source importante de phosphore: pour un dosage correspondant aux habitudes courantes d'utilisation domestique des détergents, on retrouve des concentrations de phosphore entre 125 et 390 mg/l.

Une meilleure définition de la composante sanitaire nécessiterait donc une analyse des données sur plusieurs semaines de façon à pouvoir établir les caractéristiques de chaque jour de la semaine.

5.2.2 Calcul des charges moyennes par personne et par jour

Lorsqu'on étudie des apports sanitaires, on a coutume de caractériser ces apports en terme de charge par personne par jour; la charge de 54 grammes de DBO_5 par personne par jour est en effet la norme couramment utili-

sée pour le dimensionnement des stations d'épuration.

Comme nous connaissons précisément le nombre d'habitants raccordés au réseau (800 habitants), il semble intéressant de comparer nos données avec celles qui sont fournies dans la littérature. Dans ces conditions, on calcule sur l'ensemble des jours secs retenus les charges moyennes journalières par personne en carbone organique, phosphore et solides en suspension (tableaux 5.5, 5.6 et 5.7) ce qui conduit à des évaluations de 27.1 grammes pour le carbone organique (sur 9^a jours), 5.6 grammes pour le phosphore (sur 7 jours), et 37.6 grammes pour les solides en suspension (sur 11^a jours). Bien que le nombre de valeurs utilisées pour ces calculs soit restreint, on notera l'homogénéité des charges en carbone d'un jour sur l'autre (coefficient de variation: 0.077) alors que les charges en phosphore et solides sont plus variables (coefficients de variation de 0.13 à 0.15 respectivement), ce que l'on peut rapprocher des remarques faites à la page précédente.

On trouvera au tableau 5.8, à titre de comparaison, des estimations de charges journalières par personne, faites par différents auteurs, ainsi qu'un bref résumé des conditions de chaque étude. Mis à part le débit, les valeurs obtenues par Zanoni (ZANONI et RUTKOWSKI, 1972) dont les conditions d'étude se rapprochent les plus des nôtres, se comparent bien à nos valeurs dans le cas du carbone et des solides; la charge en phosphore est cependant nettement plus faible à Sainte-Foy (environ 50%), ce qu'on peut expliquer sans doute par une diminution (mais non un abandon total ainsi qu'on l'a souligné précédemment) de l'utilisation des phosphates dans les détergents. Les autres études citées donnent des estimations supérieures aux nôtres pour les

^a le 1er avril 1974 avait été considéré comme jour sec d'après les données de débit; on l'a cependant éliminé dans le calcul de la charge moyenne journalière car les valeurs semblaient très élevées par rapport aux autres jours.

solides en suspension et le carbone organique, ce qui est sans doute attribuable au dispositif de prélèvement qui dans notre cas n'assure pas un échantillonnage représentatif des solides particuliers. Si l'on se réfère au tableau 5.2, on ne mesurerait que 65 à 75% du carbone organique en ne tenant pas compte des solides décantables; si l'on admet que c'est effectivement notre cas, nous arriverions à une valeur de 36 à 41 grammes par personne et par jour de carbone organique au lieu de 27.1 grammes. La valeur donnée par Fair *et al.*, (1968) au tableau 5.2, pour les solides en suspension non décantables (36 grammes) serait alors en accord avec la nôtre (37.6 grammes).

Remarque

On a discuté précédemment de l'importance du dispositif de prélèvement des échantillons et des méthodes d'analyses; il importe également de souligner l'influence du mode d'échantillonnage dans l'évaluation des charges. Comme nous avons procédé à un échantillonnage horaire, nous avons évalué à quelles charges aurait conduit une fréquence d'échantillonnage plus basse. Pour cela, nous comparons la charge obtenue à l'aide d'un échantillonnage horaire avec celles qu'on aurait obtenues si l'échantillonnage avait été respectivement effectué aux deux heures, aux quatre heures, ou aux six heures. A titre d'exemple, on choisit le carbone organique dont on possède dix jours secs d'analyses.

Selon le test de Fisher ($\alpha = 5\%$), les différentes variances s_f^2 (sur des valeurs prises aux deux heures, aux 4 heures ou aux 6 heures) ne sont pas significativement différentes de la variance s^2 ($= 78.38$) obtenue sur les valeurs horaires (tableau 5.9).

L'égalité des moyennes aux niveaux 5% et 1% est alors testée en

calculant

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{x}_f}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

avec: $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^{N_2} (x_{fi} - \bar{x}_f)^2}{(N_1 - 1) + (N_2 - 1)}$

où: x_i : valeurs horaires

x_{fi} : valeurs aux 2 heures (ou 4 h. ou 6 h.)

\bar{x} : moyenne sur les valeurs horaires = 15.2

\bar{x}_f : moyenne sur les valeurs aux 2 heures (ou 4 h. ou 6 h.)

N_1 : nombre de valeurs horaires

N_2 : nombre de valeurs aux 2 heures (ou 4 h. ou 6 h.)

A l'aide de la table de Student, qui permet de déterminer la zone d'acceptation, l'hypothèse de l'égalité des moyennes est acceptée ou refusée (tableau 5.10).

Un échantillonnage aux deux heures n'aurait pas conduit à une charge différente de celle obtenue sur une base horaire; par contre si l'échantillonnage est pratiqué aux quatre heures et a fortiori aux six heures, on peut arriver selon les heures échantillonnées à des estimations significativement différentes, ce qui laisse suggérer qu'un échantillonnage selon une fréquence beaucoup plus élevée que celle que nous avons choisie pouvait conduire à des évaluations différentes. Ces résultats ne sont cependant donnés qu'à titre d'indication: la validité du test de comparaison est limitée car nous avons affaire à une série de données non indépendantes (phénomène cyclique).

En conséquence, il apparaît que le choix de la fréquence d'échantillonnage est déterminante pour le calcul des charges, et doit donc faire l'objet d'une étude préliminaire consistant en un échantillonnage à haute fréquence et une analyse des erreurs introduites quand cette fréquence est abaissée. Notons par ailleurs que le calcul que nous avons fait s'applique au seul mode d'échantillonnage que peut assurer notre échantillonneur (échantillonnage instantané de quelques minutes, à intervalles de temps réglables). Il serait préférable, pour le calcul des charges journalières de travailler sur un échantillon composé, formé d'un maximum de doses unitaires prélevées proportionnellement au débit.

5.3 Influence des conditions hivernales sur la qualité des eaux de l'égout combiné

Dans une région à climat nordique, un égout combiné est appelé à intercepter en hiver et au printemps une partie des eaux de fonte de neige et il importe de déterminer l'impact de cet apport sur la qualité des eaux de l'égout.

En milieu urbain, on peut s'attendre à observer deux types de fonte. Un premier type est déclenché artificiellement à différentes reprises au cours de l'hiver et résulte de l'épandage de sels dans les rues, dans le but de faciliter la circulation. Il s'agit essentiellement d'un "déglacage" des chaussées; les volumes d'eaux qui ruissellent sont peu importants, par contre ce sont des eaux très chargées en sels. Le second type qui se produit à la fin de l'hiver et au printemps correspond à une fonte naturelle du stock de neige sous l'effet combiné d'une augmentation de température, du rayonnement et souvent d'une pluie; c'est une fonte massive et les eaux de ruissellement entraînent les polluants accumulés depuis le début de l'hiver dans les bancs de neige.

On connaît cependant peu d'éléments concernant les charges atteignant l'égout au moment de la fonte, ni sur le mécanisme d'apport de ces polluants à l'égout. Il s'est donc agi de procéder à des échantillonnages sur un certain nombre de jours en hiver et au printemps. Les échantillonnages sont effectués sur une base horaire et les paramètres suivants sont analysés: solides en suspension, carbone organique, phosphore total, chlorures, sodium et calcium. On cherche ainsi à déterminer l'importance des apports de solides, carbone et phosphore résultant de la fonte, à comparer avec les apports moyens sanitaires. On cherche d'autre part à relier les concentrations et les charges de chlorures de sodium et calcium retrouvées dans l'égout à la nature des mélanges de fonte (et si possible aux quantités) répandus sur les chaussées; les sels communément utilisés sont le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de calcium (CaCl_2), et bien que le chlorure de calcium soit un "déglaçant" plus efficace que le chlorure de sodium, on a l'habitude d'utiliser un mélange des deux sels, avec prédominance de chlorure de sodium; signalons qu'à Sainte-Foy, pour cent soixante-dix milles de chaussées, on utilise en moyenne par hiver, dix à douze mille tonnes de chlorure de sodium et seulement huit cent livres de chlorure de calcium.

5.3.1 Identification des phénomènes de fonte et de "déglçage"

Une première observation des 13 jours échantillonnés en hiver et au printemps permet de distinguer trois types d'événements:

- a) périodes caractérisées par de faibles débits et des concentrations de chlorures entre 70 et 120 mg/l; les concentrations varient peu à l'intérieur d'une journée (ex.: 2 avril, figure 5.2) et l'on peut considérer que les apports sont essentiellement d'origine sanitaire;

- b) périodes caractérisées par des débits faibles et des pointes de concentrations de chlorures ainsi qu'une augmentation notable du calcium; ainsi le 18 février 1975, pour un débit de 280 litres/minute, on observe à 15 heures et 16 heures des concentrations de chlorures de 2,850 et 2,715 mg/litre alors que simultanément la concentration de calcium atteint 125 mg/litre soit deux fois et demie les concentrations antérieures. Ces pointes sont de courte durée, sur une heure seulement, ou sur quelques heures en milieu de journée (entre 12 et 18 heures); la température extérieure reste nettement inférieure à 0°Celsius et les concentrations de solides et de carbone ne paraissent pas notablement modifiées par rapport aux conditions sanitaires (ex.: 18 février et 20 mars - figure 5.1). Un tel comportement dans l'égout apparaît typique des cas de "déglaçage" artificiel des chaussées;
- c) une période caractérisée par des débits élevés, de fortes concentrations de chlorures, une température au-dessus de 0°Celsius, s'accompagnant d'une forte augmentation des concentrations de solides en suspension (ex.: le 3 avril - figure 5.2), conditions qui correspondent à une fonte massive du stock de neige.

5.3.2 Interprétation d'un cas de fonte et d'un cas de "déglaçage"

Trois exemples sont choisis, respectivement le 2 avril, les 18-19 février, et le 3 avril pour illustrer les trois types d'événements identifiés précédemment (jour sec, jour avec "déglaçage", jour de fonte) et on a représenté aux figures 5.8 et 5.9 l'évolution des charges de chlorures et de solides, ainsi que celle du débit et de la température extérieure, dans chacun des cas.

5.3.2.1 Cas de "déglaçage"

Il ressort que le principal impact du "déglaçage" se fait sentir sur les charges de sels entraînées à l'égout telles que figurées au tableau 5.11. Nos conditions d'échantillonnage avec un échantillon instantané par heure, ont cependant pu masquer certains phénomènes, en particulier la pointe de chlorures a pu être plus importante que celle que nous avons décelée. Pour l'étude de cet événement, on est donc amené à proposer un échantillonnage beaucoup plus fréquent, de l'ordre de toutes les dix minutes, avec un repère exact du moment du début de l'épandage de sels dans le quartier. Il serait nécessaire par ailleurs d'effectuer l'analyse d'un plus grand nombre de paramètres en relation avec la composition du mélange de fonte; les sels de fonte contiennent des impuretés tels des nitrates et des phosphates (HARTT, 1973) ainsi que des additifs comme le chrome (inhibiteur de corrosion). On peut donc soupçonner que ces brusques déversements à l'égout pendant les périodes de "déglaçage" auront des conséquences non négligeables sur une station de traitement ou sur le milieu récepteur et il resterait à les évaluer plus précisément.

5.3.2.2 Cas de fonte

A partir des résultats du 3 avril qui semblent assez typiques des conditions de fonte*, il apparaît que celle-ci est provoquée par un réchauffement de l'atmosphère qui se traduit dans l'égout, après une dizaine d'heures au-dessus de 0°Celsius, par une augmentation considérable du débit; ce comportement est observé entre 9 heures et 18 heures et l'effet de rayonnement s'ajoute à l'effet de température (des données de rayonnement auraient cependant été nécessaires). La brusque augmentation de débit provoque une augmenta-

* Les 6-7 mars, 7-8 mars et 12-13 mars n'ont pas été retenus car les débits mesurés sont anormalement élevés en raison d'une dérive de l'appareil de mesure.

tion simultanée des concentrations de chlorures et de solides en suspension (figure 5.2) mais tandis que le débit continue à croître les chlorures diminuent très rapidement; en concentrations on observe donc nettement une pointe de chlorures (726 mg/l) antérieure de trois heures à la pointe de débit (1590 litres/minute) alors que les solides en suspension ont plutôt tendance à suivre la même évolution que le débit. Ceci peut s'expliquer dans la mesure où les chlorures sont des ions très mobiles qui vont migrer rapidement à travers la neige; par contre, le taux d'entraînement des solides accumulés dans les bancs de neige augmente plutôt au fur et à mesure que les volumes d'eaux de ruissellement mis en jeu croissent. On remarque d'ailleurs que lors de la pluie qui suit (figure 5.2), les chlorures ont diminué (concentrations ne dépassant pas 200 mg/l) alors que les solides en suspension présentent à nouveau une pointe de concentrations.

En terme de charges (figure 5.9), de la même façon, on observe d'abord une pointe de chlorures, puis deux heures après, une pointe de solides simultanée au maximum de débit; on a figuré par comparaison le profil sanitaire moyen déterminé précédemment pour les solides en suspension, ce qui permet de visualiser l'importance de l'apport résultant du ruissellement de fonte. Globalement, la charge sanitaire moyenne journalière en solides en suspension est multipliée par six (182 Kg pour le 3 avril contre 30 Kg en moyenne pour un jour sec).

5.3.3.3 Evaluation des charges en chlorures, carbone et phosphore

Pour les chlorures, on trouvera au tableau 5.11 une évaluation des charges journalières pour différents jours secs, avec "déglaçages", avec fonte; la charge d'un jour de "déglaçage" est d'environ 1.5 à 2.5 fois celle

d'un jour sec, alors que celle du 3 avril, jour de fonte atteint près de 4 fois celle d'un jour sec. Les charges calculées pour les deux jours considérés comme secs sont cependant très élevées, puisque la charge par personne et par jour atteint 74 grammes, valeur qu'on ne peut attribuer entièrement à des rejets d'origine sanitaire ou à l'apport de l'eau d'aqueduc; on évalue à environ 10 grammes par personne et par jour les chlorures d'origine physiologique (LECLERC, 1970) et l'eau d'aqueduc de Sainte-Foy serait responsable d'un apport de 7 grammes par personne et par jour, basé sur une consommation de 40 GPCJ et une concentration de chlorures qui peut atteindre 40 mg/l en hiver. En conséquence, tout au long de l'hiver on a sans doute des apports à l'égout de sels de "déglaçage", et l'hiver n'est pas une période appropriée pour déterminer la charge sanitaire en chlorures.

Concernant le carbone organique et le phosphore total, les concentrations du 3 avril (figure 5.2) sont nettement diluées par rapport à celles du jour sec précédent. Par contre en charges, tel que présenté à la figure 5.10, on observe par comparaison avec le profil moyen établi pour un jour sec, une augmentation notable du carbone organique essentiellement dans la phase ascendante de l'hydrogramme; la charge totale du 3 avril (0h à 23h) s'établit à 30.3 Kg soit une augmentation de 40% par rapport à la charge sanitaire moyenne établie sur l'ensemble des jours secs (21.7 Kg sur la base de 27 grammes par personne et par jour). La charge totale de phosphore reste identique à celle déterminée sur les jours secs (4.5 Kg). Cependant au cours de la phase ascendante de l'hydrogramme, on observe une perte de phosphore (figure 5.10). Ceci s'expliquerait par une précipitation des phosphates sous forme insoluble suite à la présence de fer par exemple; on peut en effet présumer qu'il existe de fortes concentrations de fer dans les eaux de ruissellement de fonte, dont une origine est probablement la rouille des carrosseries de voiture.

En définitive, une période de fonte de neige apporte des quantités considérables de solides, chlorures et carbone organique à l'égout, et représente sans doute un "choc" de charges plus important que lors d'une pluie, dans la mesure où les quantités entraînées résultent d'une accumulation de longue durée (décembre à avril) aussi bien en surface que dans les conduites. On doit donc s'interroger sur les conséquences que cela peut représenter d'une part sur le milieu mais aussi sur une unité de traitement en raison de la composition très particulière de ces eaux: présence d'éléments toxiques comme les métaux lourds, eaux très chargées en solides en suspension, avec de fortes concentrations de sels, et ayant une température assez basse. Ces résultats préliminaires ne font que poser le problème et il importe d'analyser avec beaucoup plus de détails les conséquences de l'arrivée d'eaux de fonte dans un égout combiné en étudiant, en particulier, les apports en métaux lourds, huiles, éléments nutritifs (azote, phosphates); cela reste une étude complexe car il existe plusieurs périodes de fonte au cours de l'hiver et au printemps, chacune ayant ses caractéristiques propres. Cet aspect mérite cependant d'être étudié, et on ne peut guère parler d'implanter des unités de traitement au Québec tant qu'on ne connaîtra pas suffisamment la nature des eaux véhiculées par les égouts en hiver et au printemps.

5.4 Etude de la qualité des eaux de l'égout combiné pendant une pluie

L'importance des périodes pluvieuses sur la qualité des eaux d'égouts combinés a déjà été abondamment étudiée et en particulier on s'est intéressé à la pollution attribuable aux débordements d'égouts combinés. Dans notre cas, il s'est agi de suivre le comportement d'un égout combiné à l'exutoire d'un bassin de petite taille et bien délimité.

Faute de temps, cette étude est restée très sommaire et on donnera

seulement à titre d'indication, les résultats obtenus lors d'une pluie d'automne.

Cette pluie du 30 octobre 1973 est une pluie faible (0.15 pouce en onze heures, mesuré sur le bassin), caractéristique des pluies d'automne. Elle ne provoque pas une forte augmentation de débit dans l'égout (figure 5.11) mais on observe cependant une pointe de débit à 16 heures qu'on peut attribuer à l'apport du ruissellement; typiquement, le débit sanitaire présente un minimum entre 15h et 17h. Les concentrations de solides en suspension analysés sur des échantillons prélevés chaque dix minutes sont par contre beaucoup plus remarquables (maximum de 565 mg/l) et une comparaison des charges au moment de cette pluie avec les charges moyennes attribuables aux apports sanitaires met en évidence une pointe de charge dix fois supérieure à la charge sanitaire de ce moment de la journée. La concentration maximum ainsi que la charge maximum sont sensiblement simultanés à la pointe de débit et on ne peut pas parler dans ce cas d'effet de premier lavage qui se traduit en principe par un maximum de débit postérieur à la pointe de concentrations. La précipitation est en effet de faible intensité au début et ne peut donc contribuer au lavage des surfaces: ces premières eaux ne ruissellent pas mais s'infiltrent dans les surfaces imperméables et sont retenues dans les dépressions de surface. On peut situer le début du ruissellement après que 0.06 pouce de pluie soient tombés.

Comme on l'a déjà mentionné ces résultats sont trop succincts pour en tirer une interprétation quelconque. De plus, les débits sont mesurés toutes les quinze minutes ce qui constitue une fréquence beaucoup trop basse pour analyser la réponse à une pluie sur un petit bassin; dans ces conditions, il est nécessaire d'avoir une mesure environ toutes les cinq minutes. Enfin on ne peut s'en tenir à une seule analyse des solides en suspension pour conclure de l'impact d'une pluie sur un égout combiné; on a cependant décelé un apport

très important de solides dans le cas d'une pluie d'automne de faible intensité, phénomène qu'il serait intéressant d'étudier plus à fond, en tenant compte d'un plus grand nombre de paramètres (matière organique, éléments nutritifs, huiles, fer, plomb) et en essayant de relier la composition de l'eau d'égout à la nature des dépôts de surface (accumulation de feuilles en automne).

Remarque

Lors de l'échantillonnage de mai, il s'est trouvé quelques périodes pluvieuses que l'on peut repérer à la figure 5.3 et qui se manifestent par des pointes de concentrations de solides en suspension et de carbone organique. La forte pluie du 12 mai (1.07 pouce) se traduit par contre par une dilution des concentrations de carbone et de phosphore. Mentionnons également que le 15 mai, outre deux faibles précipitations (0.05 pouce à 17h. et 0.05 pouce à 21h45), les Services de la Voirie de la Ville de Sainte-Foy ont procédé à un lavage des rues du quartier entre 20 et 21 heures environ, ce qui pourrait expliquer les fortes concentrations de solides en suspension (pointe de 820 mg/l) et de carbone organique (pointe de 75 mg/l) mesurées à 21 heures; le phosphore apparaît dilué suite à l'augmentation de débit, et il ne semble donc pas constituer un apport important lors du ruissellement de rues. L'échantillonnage était toutefois effectué à ce moment-là sur une base horaire et certains phénomènes sont sans doute passés inaperçus; l'on est en droit cependant de soupçonner qu'un lavage de rues a un impact notable sur la qualité des eaux de l'égout et qu'il s'agit là d'un phénomène intéressant à considérer.

CHAPITRE 6

6. Conclusion

Nous tenons d'abord à rappeler que les difficultés d'ordre technique rencontrées tout au long de la campagne de mesures ont limité la portée de cette étude qui doit être considérée comme un travail préliminaire. Néanmoins un certain nombre de conclusions et de recommandations se dégagent de cette étude.

A Recommandations sur la prise des données et les analyses

La prise de données aussi bien quantitatives que qualitatives dans un réseau d'égouts de petite taille (la conduite a 24 pouces de diamètre) nécessite une longue mise au point d'ordre technique; il n'existe pas en effet, d'instrumentation conçue spécifiquement pour ce genre de travail. Les recommandations que nous pouvons tirer de notre expérience dans ce domaine sont les suivantes:

- a) Concernant la mesure en continu des débits, la méthode la plus simple et qui est relativement peu coûteuse consiste à déterminer le débit par calcul à partir de mesures de hauteurs. Compte tenu des difficultés que nous avons eues pour établir une relation hauteur-débit, il apparaît nécessaire d'assurer une relation univoque hauteur-débit en créant une section critique; à cet effet, on peut penser utiliser, pour une application dans une conduite d'égout existante, même de petit diamètre, un canal PALMER-BOWLUS. Pour la mesure des niveaux, le principe du limnimètre à bulles nous semble satisfaisant puisque ce système peut être employé dans les conditions les

plus défavorables (mesures à l'intérieur d'une conduite); il reste que la mesure de pression exige un appareil très sensible avec une précision d'au moins un dixième de pouce dans notre cas, et assurant une réponse rapide aux brusques variations de niveaux. La mesure du débit par temps sec dans un égout combiné demeure un problème, car on se trouve à travailler à l'extrémité inférieure de la gamme de mesures où la précision est souvent mauvaises.

- b) Du point de vue du dispositif d'échantillonnage, il semblerait préférable d'utiliser, afin de prélever des échantillons représentatifs des conditions du milieu, une pompe à haut débit munie d'un tuyau d'un diamètre d'au moins un pouce, alimentant en continu un réservoir (avec un trop plein d'évacuation) dans lequel l'échantillonnage serait effectué avec un appareil automatique conventionnel, après broyage et homogénéisation de la totalité des substances prélevées; on aura intérêt en outre à choisir avec soin le point de localisation de la prise de prélèvement dans l'égout, dans une zone de bon mélange des eaux. Quant à l'échantillonneur lui même, on devra sélectionner un appareil permettant de composer in situ des échantillons à partir de plusieurs doses unitaires, de préférence à un dispositif fournissant des échantillons uniques et instantanés.
- c) Enfin, un effort devrait être fait pour mettre au point des techniques d'analyses automatisées sur des échantillons d'eau d'égout "entiers", c'est-à-dire ne subissant pas de filtration avant l'analyse.

B Conclusions de l'étude

De façon à évaluer les conséquences de l'interception d'eaux de ruissellement dans un égout combiné, on a, dans une première étape, cherché à caractériser le comportement de l'égout en période sèche. Par l'analyse des débits de jours secs, on a défini la composante périodique qui provient de l'écou-

lement sanitaire. Après avoir éliminé les tendances présentes dans nos données grâce à l'utilisation de moyennes mobiles, nous simulons le signal périodique restant, en faisant une analyse de Fourier, ce qui donne une série d'harmoniques parmi lesquels nous en avons retenu quatre principaux, ayant respectivement une période de 24 heures, 12 heures, 8 heures et 4.8 heures. L'addition de ces quatre harmoniques donne une fonction sinusoidale qui correspond au caractère périodique de l'écoulement d'origine sanitaire et qui explique plus de 70% de la variance du signal. Il resterait à vérifier si le pourcentage de variance expliquée peut être amélioré en concevant un modèle autorégressif qui rende compte de l'influence d'un événement sur le suivant.

Du point de vue qualitatif, une campagne d'échantillonnage effectuée en hiver (7 à 12 jours de données) permet d'établir des charges journalières par personne pour un certain nombre de paramètres: carbone organique (27 grammes), solides en suspension (37.6 grammes de solides non décantables), phosphore total (5.6 grammes sous forme de phosphates); étant données les conditions météorologiques de cette période, on peut admettre que ces apports sont d'origine strictement sanitaire pour les paramètres concernés. Les variations de ces charges, étudiées sur une base horaire, se reproduisent sur une période de 24 heures avec trois maximums (à 10 heures, 13 heures et 19 heures) et deux minimums (entre 4 heures et 6 heures, et dans l'après-midi entre 15 heures et 17 heures); ce type d'évolution peut être considéré caractéristique des apports sanitaires en milieu résidentiel. Une période d'étude plus étendue (deux à trois semaines consécutives en janvier-février) serait nécessaire pour simuler comme dans ce cas des débits, la composante périodique caractérisant les apports sanitaires, et mettre éventuellement en évidence les fluctuations d'un jour à l'autre de la semaine.

Un trop faible nombre de données a empêché de mener à bien l'analyse de la réponse de l'égout combiné en période de pluie. Il n'a pas été possible de vérifier un modèle de ruissellement sur le bassin à partir de nos données de débit car nous n'avons pu, dans une première étape, isoler la composante attribuable au ruissellement. En ce qui concerne les aspects qualitatifs, on a décelé un apport notable de solides en suspension lors d'une pluie, même de faible intensité; la mise en évidence d'une brusque augmentation des charges au début d'une pluie, n'est possible que si la fréquence d'échantillonnage et la fréquence d'enregistrement des débits sont suffisamment élevées, de l'ordre de toutes les cinq minutes dans le cas d'un petit bassin ayant une faible temps de concentration. Bon nombre de pluies doivent être échantillonnées afin de pouvoir évaluer respectivement l'influence de l'intensité des pluies, de leur durée, ainsi que de la durée de la période sèche qui précède la pluie.

Dans le contexte climatique du QUEBEC, les conséquences de la fonte de neige au niveau des réseaux d'égouts méritent d'être considérées aussi bien du point de vue des débits qui doivent y être véhiculés que des apports en divers polluants et on ne peut guère penser implanter des unités de traitement au QUEBEC, tant qu'il n'existera pas une meilleure connaissance concernant les quantités et la nature des eaux véhiculées par les égouts en hiver et au printemps. Les résultats de cette étude, bien que restreints montrent que, outre un apport considérable de sels durant l'hiver pendant les périodes de "déglaçage" des rues et à la fonte de printemps, il existe au moment de la principale fonte printanière des apports de carbone organique et de solides en quantités qui semblent très supérieures à celles qui résultent des périodes pluvieuses; au cours des périodes de "déglaçage" en hiver, par contre, les débits mis en jeu sont très faibles et peu de dépôts solides sont lavés et entraînés à l'égout. L'échantillonnage que nous avons effectué sur une base horaire semble

apporter suffisamment d'information sur une journée de fonte car l'évolution des paramètres se montre plus lente que lors d'une pluie. Par comparaison, le "déglacage" en hiver se traduit par de brusques pointes de chlorures de courte durée et demande donc à être étudié à une fréquence beaucoup plus élevée.

En conclusion, le choix d'un réseau d'égout combiné de petite taille, dont on connaît bien les utilisateurs, se justifie pour essayer de comprendre les phénomènes observés à l'égout sans faire intervenir le temps de transport ou le problème de la diversité des usagers raccordés au réseau. Mais il est nécessaire que l'étude proprement dite s'étende au minimum sur une année pour étudier respectivement les trois principaux aspects abordés dans ce travail (apports sanitaires, apports résultant de la fonte de neige, apports du ruissellement pluvial), et ceci après que l'ensemble des appareillages de mesures et de prélèvement aient été mis au point.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON, J.J. (1970). Real-time computer control of urban runoff. ASCE J. Hydraulics Div. 96 (HYI): 153-164.
- APHA, AWWA, WPCF. (1971). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 13e edition, Washington 874 p.
- BURM, R.J., KRAWCZYK, D.F., HARLOW, G.L. (1968). Chemical and physical comparison of combined and separate sewer discharges. WPCF J. 40(1): 112-126.
- CAILLE, A., CAMPBELL, P.G., MEYBECK, M. et SASSEVILLE, J.L. (1973). Etude du fleuve Saint-Laurent (tronçon Cornwall-Varenes): effluents urbains. INRS-Eau, rapport technique no 18, 203 p. (Pour le comité Canada-Québec sur l'étude du fleuve Saint-Laurent).
- COMITE AQTE-MISE A JOUR. (1974). Inventaire des équipements en eau des municipalités du Québec.
- CRAWFORD, N.H., LINSLEY, R.K. (1966). Digital simulation in hydrology. Stanford Watershed Model IV. Tech. Report 39, Dept. Civil Eng., Stanford University.
- CRAWFORD, N.H. (1971). Studies on the application of digital simulation to urban hydrology. Hydrocomp International, Palo Alto, California.
- DE FILLIPI, J.A., SHIH, C.S. (1971). Characteristics of separated storm and combined sewer flows. WPCF J. 43(10): 2033-2058.
- DEMARD, H. (1970). Consommation d'eau des résidences unifamiliales et caractéristiques socio-économiques. Mémoire de maîtrise ès-sciences. Université de Sherbrooke.
- DEMARD, H., BOBEE, B., VILLENEUVE, J.P. (1975). Analysis and management of water distribution system. ASCE J. Urban Planning and Development Div. 101(2): 167-182.

- DISKIN, M.H. (1963). Temporary flow measurements in sewers and drains. ASCE, J. Hyd. Div. 89 (HY4): 141-159.
- DUBOIS, A. (1969). Pollution du milieu naturel par les déversements des systèmes unitaires d'assainissement. Techniques et sciences Municipales. 64(11): 151-167, 64(12): 191-202.
- ECKENFELDER, W.W. Jr. (1970). Water quality engineering for practicing engineers. Barnes and Noble Inc. New York.
- ELLIS, W., JOHNSTON, C.T. (1963). A field method of Measuring and Recording Flow in sewers. Public Works June 1963: 124-125.
- FAIR, G.M., GEYER, J.C., OKUN, D.A. (1968). Water and Wastewater Engineering Vol. I, Water Supply and Waste Water Removal, Vol. 2, Water Purification and Wastewater treatment and disposal (Wiley & Sons Inc., N.Y.)
- FIELD, R., STRUZESKI, E.J. (1972).
Management and control of combined sewer overflows. WPCF J. 44(7): 1393-1415.
- FRIEDLAND, A.D., SHEA, T.G., LUDWIG, M.F. (1970). Quantity and quality relationships for combined sewer overflows. Advances in Water Poll. Research Vol. I, p 1/1 - 1/6.
- HARTT, J.P. (1973). A study of pollution loadings from urban runoff. Water Pollution Research in Canada, 1973, 8: 16-25.
- HOLLOWAY, J.L. (1958). Smoothing and filtering of time series and space fields. Advances in Geophysics, vol. 4, 351-389.
- KIELZER, V.A., BAUER, W.I., DALTON, F.E. (1969). The Chicago area deep tunnel project WPCF J. 41(3): 515-535.
- KOCH (1967). Les réseaux d'égout (Dunod).
- LECLERC, E. (1970). Notes du cours d'épuration des eaux. Cours professé à l'Université de Liège.

- LIGMAN, D., HUTZLER, N., BOYLE, W.C. (1974). Household wastewater characterization. ASCE J. Env. Eng. Div. 100(EEI): 201-213.
- LINSLEY, R.K. (1971). A critical review of currently available hydrologic models for analysis of urban stormwater runoff. Hydrocomp International, Palo Alto, California, 83 p.
- MARSALEK, J. (1972). Abatement of pollution due to combined sewer overflows. Canada-Environnement. Eaux Intérieures. Technical Bull. No. 66, 67 p.
- McPHERSON, M.B. (1969). Some notes on the rational method of storm drain design. ASCE, Urban Water Resources Research Program T.M.6, ASCE, New York, 84 p.
- METCALF & EDDY. (1971). Storm Water Management Model Vol. I. Final Report EPA, WPCRS 11024, DOC 07/71.
- NARAYANA, V.V.D. (1971). Simulation of runoff from urban watersheds. Water Resources Bull. 7(1): 54-68.
- NOLAND, R.F., DECARLO, D.A. (1970). Stream pollution and abatement from combined sewers (combined sewer overflow abatement technology FWQA Symposium, EPA Report no 11024-06/70, 336 p.)
- PAINTER, H.A., VINEY, M. (1959). Composition of a domestic sewage J. of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering 1(2): 143-162).
- PAPADAKIS, G.N., PREUL, H.C. (1972). University of Cincinnati Urban Runoff Model. ASCE J. Hyd. Div. 98 HY10: 1789-1804.
- PER, K.A., CALLERY, R.L., BRANDSTETTER, A., ANDERSON, J.J. (1973). Data acquisition and combined sewer controls in Cleveland. WPCF J. 45(11): 2276-2289.
- POBIS, J. (1968). L'équivalent - habitant des villes modernes comme valeur fondamentale pour le calcul des stations d'épuration. La Tribune du Cebadaeu. 21(299): 438-447.

- PRAVOSHINSKY, N.H., GATILLO, P.D. (1969). Determination of the polluttional effects of surface runoff. *Advances in Water Pollution Research* Vol. I, p. 187-203.
- RICKERT, D.A., HUNTER, J.V. (1967). Rapid fractionation and materials balance of solids fractions in wastewater and wastewater effluents. *WPCF J.* 39(9): 1475-1486.
- RICKERT, D.A., HUNTER, J.V. (1971). General nature of soluble and particulate organics in sewage and secondary effluent. *Water Research* 5(7): 421-436.
- ROESNER, L.A., KIBLER, D.F., MOSER, J.R. (1972). Use of storm drainage models in urban planning. *AWRA Proceedings No 14*, p. 400-405.
- ROESNER, L.A., NICHANDROS, M.M., SHUBINSKY, R.P. (1974). A model for evaluation runoff-quality in metropolitan master planning *Urban Water Resources Res. Program, ASCE, T.M. 23*, 73 p.
- SARTOR, J.D., BOYD, G.B. (1972). Water Pollution aspects of street surface contaminants. U.S. Environmental Protection Agency, Report No R2-72-081, 236 p.
- SHELLEY, P.E., KIRKPATRICK, G.A. (1973). An assessment of automatic sewer flow samplers, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Monitoring, Environmental Technology Series, EPA-R2-73-261, 233 p.
- SÖDERLUND, G., LETHINEN, H., FRIBERG, S. (1970). Physico-chemical and microbiological properties of urban storm-water runoff. *Advances in Water Pollution Research* p 12/1 - 12/10.
- STEVENS, J.C. (1964). Temporary flow measurements in sewers and drains (discussion). *ASCE J. Hyd. Div. 90(HY6)*: 241-247.
- TARAZI, D.S., HISER, L.L., CHILDERS, R.E., BOLDT, C.A. (1970). Comparison of wastewater sampling techniques. *WPCF J.* 42(5): 708-732.

- TERSTRIEP, M.L., STALL, J.B. (1969). Urban runoff by Road Research Laboratory Method. ASCE J. Hyd. Div. 95(6): 1809-1934.
- THOMAN, R.V. (1972). System analysis and water quality management. Environmental Research and Application Inc., New-York.
- UNIVERSITY OF IOWA (1941). Laboratory investigations of suspended sediment samplers. University of Iowa Hydraulic Lab. Report No 5, 99 p.
- WALLER, D.H. (1969). Pollution from combined sewers overflows. C.I.C. Pollution conference. SMU Halifax, p. 67-80.
- WALLER, D.M. (1969). Combined sewers in Canada. Engineering J. 52(6): 22-30.
- WATSON, K.S., FARELL, R.P., ANDERSON, J.S. (1967). The contribution from the individual home to the sewer system. WPCF J. 39(12): 2039-2054.
- WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J., WOODWARD, R.L. (1964). Urban land runoff as a factor in stream pollution. WPCF J. 36(7): 914-924.
- WEIBEL, S.R., WEIDNER, R.B., CHRISTIANSON, A.G., ANDERSON, R.J. (1966). Characterization, treatment and disposal of urban stormwater. Advances in Water Pollution Research. Vol. I, p. 329-343.
- WELLS, E.A., GOTAAS, H.B. (1956). Design of Venturi flumes in circular conduits. ASCE Transactions. Paper No 2937, p. 749-775.
- WENZEL, H.G. (1968). A critical review of methods of measuring discharge within sewer pipe. ASCE Urban Water Resources Research Program, T.M. 4.
- YEVJEVICH, Y., BARNES, A.H. (1970). Flood routing through storm drains I. Solution of problems of unsteady free surface flow in storm drains. Hydrologic papers. Colorado State Univ. 43(10).
- ZANONI, A.E., RUTKOWSKI, R.J. (1972). Per capita loadings of domestic waste water. WPCF J. 44(9): 1756-1762.
- ZOLLMAN, D.M. (1973). Statistical characterization of the hourly variations in COD of a combined municipal sewage. Master thesis. University of Idaho.

TABLEAUX

TABLEAU 2.1: Composition moyenne d'une eau d'égout sanitaire

Solides totaux	800 (450 - 1200)	mg/l
Solides totaux volatils	400 (250 - 800)	mg/l
Solides en suspension	300 (100 - 400)	mg/l
Solides en suspension volatils	130 (80 - 200)	mg/l
Solides décantables	150	mg/l
DBO ₅	180 (100 - 450)	mg/l
Azote total (N)	50 (15 - 100)	mg/l
Azote organique (N)	20 (5 - 35)	mg/l
Azote ammoniacal (N)	28 (10 - 60)	mg/l
Nitrates et nitrites (N)	2 (0 - 6)	mg/l
Polyphosphates	10 (5 - 25)	mg/l
Orthophosphates	10 (5 - 25)	mg/l
Coliformes totaux (nombre/100 ml)	2 10 ⁶ - 50 10 ⁶	
Coliformes fécaux (nombre/100 ml)	3 10 ⁶ - 17 10 ⁶	
Débit (GPCJ)	105 (84 - 168)	

Source: Thomann (1972)

TABLEAU 2.2: Charges sanitaires en grammes par personne et par jour

	(1)	(2)
Solides totaux	250	186
Solides totaux volatils	145	81
Solides en suspension	90	38
Solides en suspension volatils	65	33.5
DBO ₅	54	44
DCO	-	88.5
Azote total (N)	10	-
Azote organique (N)	-	3.9
Azote NH ₄ ⁺	-	2.6
Phosphates totaux	-	11.2
Orthophosphates	-	5.4
Graisses	15	-
Débit (GPCJ)	67.5	49

Source:

(1) Fair *et al.*, (1968). Valeurs moyennes pour des eaux domestiques

Source:

(2) Zanoni et Rutkowski (1974). Valeurs déterminées sur un égout sanitaire d'un quartier strictement résidentiel (1207 habitants).

TABLEAU 2.3: Gamme de concentrations des principaux éléments retrouvés dans des eaux de ruissellement urbain

Solides totaux	450 - 14,600	mg/l
Solides totaux volatils	12 - 1,600	mg/l
Solides en suspension	2 - 11,300	mg/l
Solides décantables	.5 - 5,400	ml/l
DBO ₅	1 - 700	mg/l
DCO	5 - 3,100	mg/l
Orthophosphates	.1 - 10	mg/l
Phosphates totaux	.1 - 125	mg/l
Azote organique	.1 - 16	mg/l
Azote ammoniacal	.1 - 2.5	mg/l
Huiles	0 - 110	mg/l
Plomb	0 - 1.9	mg/l
Phénols	0 - .2	mg/l
Chlorures	2 - 25,000 ^a	mg/l
Coliformes totaux ^b	200 - 146 10 ⁶	
Coliformes fécaux ^b	55 - 112 10 ⁶	
Streptocoques fécaux ^b	200 - 1.2 10 ⁶	

a) Données d'hiver

b) Nombre d'organismes par 100 ml

Source: Field et Struzeski (1972)

TABLEAU 2.4: Comparaison entre les charges apportées par les eaux de ruissellement pluvial et les charges sanitaires dans le cas d'un bassin résidentiel de 27 acres avec 245 habitants (Cincinnati, Ohio, E.-U.)

PARAMETRE	CHARGES PLUVIALES (LB/ACRE/AN)	CHARGES SANITAIRES (LB/ACRE/AN)	PLUVIAL ^a % SANITAIRE	PLUVIAL ^b SANITAIRE %
Solides en suspension	730	540	140	2400
Solides en susp. vol.	160	360	44	--
DBO	33	540	6	110
DCO	240	960	25	520
Phosphates solubles	2.5	27	9	--
Phosphates totaux	--	68	--	70
Azote total (N)	8.9	82	11	200

a: rapport établi sur une base annuelle

b: rapport établi pendant les périodes de pluies

1b/acre x 1.12 = kg/ha

Source: Weibel *et al.* (1964)

Weibel *et al.* (1966)

TABLEAU 2.5: Comparaison des déversements de réseaux pluviaux et combinés en période de pluie

SOURCE	BURM <i>et al</i> (1968)		DE FILIPPI ET SHIH (1971)	
	Détroit	Détroit	Washington	Washington
Lieu	22,000	3,800	110 et 264	265
Aire (acres)	400,000	67,000	4800 et 14000	10,000
Population	juin-août	juin-août	mai-sept.	mai-sept.
Période étudiée	combiné (dé- bordement)	pluvial	combiné	pluvial
Type d'égout				
	CHARGE EN LB/ACRE		CHARGE EN LB/MN	
Solides totaux	-	-	420	333
Solides tot. vol.	-	-	125	24
Solides en susp.	200	1,010*	323	293
Solides en susp. vol.	93	185	86	16.5
Solides décantables	185	780*	166	10
DBO	90	31	28	1.7
DCO	-	-	157	19
Phosphates totaux	11	2.8	1.8	0.09
Azote total (N)	-	-	1.6	0.11
Azote - NH ₄ ⁺	6.2	0.70	-	-
Azote organique	1.6	0.40	-	-
Azote - NO ₃ ⁻	0.15	0.80	-	-

* Remarque: le sol du bassin pluvial était fortement sujet à l'érosion.

1b/acre x 1.12 = Kg/ha

TABLEAU 4.1: Résultats des étalonnages niveau-débit

DATE	NIVEAU (pieds)	NIVEAU CORRIGE*	DEBIT (pcs)	METHODE
--	0.00		0.00	contrainte
23.10.73	0.15		0.10	chimique
22.11.73	0.16		0.16	chimique
04.03.74	0.60		0.86	chimique
07.03.74	0.87		1.59	chimique
06.05.74	0.18		0.23	volumétrique
27.05.74	0.32	0.21	0.22	chimique
28.05.74	0.37	0.23	0.19	chimique
29.05.74	0.28	0.17	0.13	chimique
29.05.74	0.28	0.17	0.13	chimique
14.06.74	0.16		0.13	volumétrique

* Voir page 30.

TABLEAU 4.2: Débits moyens (aux 2 heures) calculés sur 20 jours secs

<u>HEURE</u>	<u>DEBIT</u> (pcs)
0 - 2	.098
2 - 4	.086
4 - 6	.085
6 - 8	.113
8 - 10	.154
10 - 12	.155
12 - 14	.154
14 - 16	.130
16 - 18	.142
18 - 30	.150
20 - 22	.136
22 - 0	.127
Débit moyen journalier	.1275 (215 l/mn)
Débit moyen journalier par personne	13.77 (388 l.)

TABLEAU 4.3: Analyse selon Fourier sur 29 jours secs

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %
1	696	28.7
2	348	16.1
29	24	9.7
58	12	5.0
87	8	0.7

TABLEAU 4.4: Analyse selon Fourier sur 29 jours secs (minimum
du jour déduit, et débits restants standardisés)

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %
1	696	0.009
2	348	0.057
29	24	28.6
58	12	18.9
87	8	3.0

TABLEAU 4.5: Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (débits diminués du profil minimum linéarisé et standardisés)

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %
14	24	46.3
28	12	18.6
42	8	2.4
70	4.8	1.2

TABLEAU 4.6: Analyse selon Fourier sur 14 jours secs (débits diminués du profil minimum linéarisé, chronologie réajustée)

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %
1	336	11.5
3	112	1.6
4	84	1.1
14	24	40.8
28	12	17.1
42	8	2.5
70	4.8	1.3

TABLEAU 4.7: Analyse selon Fourier sur 14 jours, secs (tendance enlevée par une moyenne mobile "rectangulaire" de 24 h d'intervalle)

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %	A_m	B_m
1	336	<0.1		
2	168	<0.1		
14	24	48.7	-0.02287	-0.02317
28	12	20.5	0.00996	-0.01866
42	8	2.7	-0.00302	0.00700
70	4.8	1.6	0.00096	-0.00581

TABLEAU 4.8: Analyse selon Fourier (tendance enlevée par une moyenne mobile "normalisée" dont l'intervalle est de 48 h.)

4.8.A Débits calculés par la formule de Manning

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %	A_m	B_m
14	24	44.8	-0.02322	-0.02401
28	12	22.7	0.01101	-0.02104
42	8	2.9	-0.00342	0.00783
70	4.8	1.8	0.00106	-0.00657
TOTAL		72.2 %		

4.8.B Débits calculés par l'équation du 2e degré

ORDRE DE L'HARMONIQUE	PERIODE (heures)	PARTICIPATION A LA VARIANCE %	A_m	B_m
14	24	45.9	-0.00959	-0.01047
28	12	22.9	0.00479	-0.00882
42	8	2.6	-0.00103	0.00320
70	4.8	1.7	0.00040	-0.00270
TOTAL		73.1 %		

TABLEAU 4.9: Débit sanitaire journalier moyen pour 14 jours secs d'automne

\bar{Q} SANITAIRE	CALCULE PAR LE PROFIL MINIMUM LINEARISE		CALCULE PAR L'ANALYSE DE FOURIER	
	Q calculé par Manning	Q calculé par équation 2e de- gré	Q calculé par Manning	Q calculé par équation 2e de- gré
PCS	0.122	0.0525	0.107	0.0464
GPJ	65745	28292	57662	25005
GPCJ	82	35	72	31

TABLEAU 4.10: Données utilisées pour l'étude des cycles hebdomadaires et estimation des moyennes mensuelles de débit

MOIS	PERIODE	NOMBRE DE JOURS	DEBIT MOYEN (pcs)
Octobre	18 au 31	14	0.165
Novembre	1 au 27	27	0.158
Février	6 au 28	23	0.186
Mars	1 au 31	31	0.429
Avril	1 au 30	30	0.426
Mai	1 au 29	29	0.125*

* Débits corrigés du 7 au 29 mai.

Tableau 4.11: Moyenne de débit de chaque jour de la semaine
(calculée sur un ensemble de 154 jours)

Lundi	0.263 pcs
Mardi	0.255 pcs
Mercredi	0.278 pcs
Jeudi	0.298 pcs
Vendredi	0.266 pcs
Samedi	0.241 pcs
Dimanche	0.241 pcs

TABEAU 4.12: Coefficients d'autocorrélation calculés sur les résidus obtenus par soustraction de la moyenne mobile et du profil sanitaire défini par l'analyse selon Fourier

Données au		Moyennes à					
1/4 h		1/2 h		1 h		2 h	
lag	R	lag	R	lag	R	lag	R
0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0
1/4 h	0.65544	1/2 h	0.65213	1 h	0.59892	2 h	0.38528
1/2 h	0.54475	1 h	0.45513	2 h	0.27730	4 h	-0.00971
3/4 h	0.45087	1½ h	0.33242	3 h	0.08694	6 h	-0.27021
1 h	0.36574	2 h	0.22157	4 h	-0.01747	8 h	-0.36598
1¼ h	0.31606	2½ h	0.14133	5 h	-0.12716	10 h	-0.23365

TABEAU 4.13: Coefficients d'autocorrélation calculés sur les résidus obtenus par soustraction du sanitaire défini par l'analyse selon Fourier

Données au		Moyennes à					
1/4 h		1/2 h		1 h		2 h	
lag	R	lag	R	lag	R	lag	R
0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0
1/4 h	0.80305	1/2 h	0.81680	1 h	0.81107	2 h	0.74420
1/2 h	0.73972	1 h	0.71414	2 h	0.65884	4 h	0.57795
3/4 h	0.68643	1½ h	0.64298	3 h	0.56759	6 h	0.47041
1 h	0.63818	2 h	0.59108	4 h	0.51798	8 h	0.43952
1¼ h	0.60914	2½ h	0.54825	5 h	0.46352	10 h	0.47298

TABLEAU 4.14: Intervalles de confiance du facteur B de l'exposant de la courbe de tarissement après chaque pluie étudiée

No de la pluie initiale	Période de tarissement (date-année 1973)	Intervalle de confiance de B			
			inférieur	B	supérieur
2	4.10	A95%	-0.1969	-0.1629	-0.1272
		A99%	-0.2087	-0.1670	-0.1154
3	4.10 - 5.10	A95%	-0.0927	-0.0248	+0.0430
		A99%	-0.1162	-0.0248	+0.0665
4	6.10 -11.10	A95%	-0.0119	-0.0106	-0.0093
		A99%	-0.0122	-0.0106	-0.0089
9	18.10 -23.10	A95%	+0.0001	+0.0003	+0.0004
		A99%	+0.0001	+0.0003	+0.0005
10	23.10	A95%	-0.0142	-0.0073	-0.0004
		A99%	-0.0166	-0.0073	+0.0019
11	23.10 -30.10	A95%	-0.0005	-0.0002	-0.0000
		A99%	-0.0005	-0.0002	+0.0001
12	30.10 - 1.11	A95%	+0.0005	+0.0040	+0.0074
		A99%	-0.0006	+0.0040	+0.0085
13	1.11 - 2.11	A95%	+0.0263	+0.0714	+0.1165
		A99%	+0.0110	+0.0714	+0.1317
14	2.11 - 8.11	A95%	+0.0020	+0.0024	+0.0027
		A99%	+0.0019	+0.0024	+0.0028
15	8.11	A95%	-0.0837	-0.0407	+0.0023
		A99%	-0.1013	-0.0407	+0.0200
16	8.11 -12.11	A95%	+0.0001	+0.0010	+0.0019
		A99%	-0.0002	+0.0010	+0.0022
17	12.11 -13.11	A95%	-0.0406	+0.0032	+0.0469
		A99%	-0.0605	+0.0032	+0.0668
18	13.11	A95%	-0.0421	-0.0288	-0.0156
		A99%	-0.0477	-0.0288	-0.0099
19	13.11	A95%	-0.0026	+0.0061	+0.0149
		A99%	-0.0057	+0.0061	+0.0180
20	13.11 -19.11	A95%	-0.0153	-0.0141	-0.0128
		A99%	-0.0157	-0.0141	-0.0125
21	19.11 -23.11	A95%	-0.0018	+0.0003	+0.0024
		A99%	-0.0025	+0.0003	+0.0030

TABLEAU 5.1: Charges moyennes horaires (en carbone organique, phosphore et solides en suspension (jours secs)).

HEURE	CARBONE ORGANIQUE			PHOSPHORE TOTAL			SOLIDES EN SUSPENSION		
	N	MOYENNE G/MN	$\pm t \sqrt{\frac{s^2}{N}}$	N	MOYENNE G/MN	$\pm t \sqrt{\frac{s^2}{N}}$	N	MOYENNE G/MN	$\pm t \sqrt{\frac{s^2}{N}}$
12	8	22.2	4.9	6	3.25	.65	10	37.0	18.2
13	8	24.7	5.1	6	4.90	2.71	10	41.1	17.6
14	9	20.2	5.1	7	3.59	1.48	11	30.1	14.6
15	9	14.3	4.3	7	2.78	1.46	11	24.7	11.8
16	10	13.9	3.5	7	2.15	.88	12	23.5	9.6
17	9	14.8	2.4	6	2.53	1.22	11	21.7	5.8
18	10	17.2	3.2	7	2.7	1.05	12	26.8	9.2
19	10	25.5	3.3	7	4.44	2.00	12	33.1	7.6
20	10	19.2	3.4	7	4.71	2.21	12	28.3	7.4
21	9	16.0	3.1	6	3.36	.97	11	22.1	7.5
22	9	15.0	4.9	6	3.40	1.18	11	20.1	7.5
23	9	14.1	2.3	6	3.19	1.26	11	17.6	4.4
0	10	10.0	1.8	7	2.14	.51	12	12.8	4.9
1	9	6.6	1.1	6	1.36	.59	11	11.2	3.9
2	10	5.6	1.0	7	.75	.32	12	8.6	2.7
3	10	4.6	.7	7	.71	.32	12	5.7	1.1
4	10	3.8	.6	7	.50	.20	12	4.9	1.4
5	10	3.3	.6	7	.40	.10	12	8.7	4.4
6	10	4.7	.7	7	.79	.39	12	7.9	2.3
7	10	12.3	4.8	7	3.07	1.65	12	14.9	10.4
8	10	24.0	3.4	7	5.85	1.75	12	24.9	9.5
9	10	26.3	2.8	7	6.26	1.74	12	33.7	9.7
10	8	28.9	5.9	5	6.42	3.60	9	27.4	11.4
11	7	24.4	4.6	5	5.87	2.21	8	36.3	15.3

N = nombre de valeurs utilisées pour le calcul des moyennes.

TABLEAU 5.2: Distribution du carbone organique dans les différentes fractions d'une eau d'égout sanitaire

	SOLIDES G/CAP./JOUR	DBO ₅ G/CAP.7 JOUR	COT %
	(1)	(1)	(2)
Fraction soluble	160	12 (22%)	42
Solides en suspension			
totaux	90	42 (78%)	58
décantables	54	19 (35%)	27
<u>non décantables</u>	36	23 (43%)	<u>31</u>

Source:

(1) Fair *et al.* (1968)

(2) Rickert et Hunter (1971)

TABLEAU 5.3: Eléments caractéristiques des profils moyens journaliers (apports sanitaires)

	POBIS (1968)		SAINTE-FOY		
	(1) DBO ₅	(2) DBO ₅	COT	P _t	SS
Charge moyenne du jour (7h-22h) en % de la moyenne sur 24 heures	139	140	129	130	128
Charge moyenne de la nuit (23h-6h) en % de la moyenne de 24 heures	22	20	42	39	44
Heure du maximum	20h	21h	10h	10h	13h
Charge maximum en % de la moyenne sur 24 heures	189	200	186	205	189
Heure du minimum	3-4h	3-4h	5h	5h	4h
Charge minimum en % de la moyenne sur 24 heures	9	5	21.5	13	22.5

(1) Ville résidentielle de 64,000 h.

(2) Cité dortoir de 9,000 h.

TABLEAU 5.4: Identification des pointes de charges pour chaque jour (jours secs)

Date	CARBONE ORGANIQUE							PHOSPHORE TÓTAL						
	Moyenne jour G/MN	MAXIMA						Moyenne jour G/MN	MAXIMA					
		Heure	Coef.	Heure	Coef.	Heure	Coef.		Heure	Coef.	Heure	Coef.		
18-19/03	15.1	10	1.82	--	--	18	1.69							
19-20/03	15.0	10	1.79	13	1.96	19	1.63							
20-21/03	14.0	10	2.22	13	1.62	19	1.98							
1- 2/04	19.4	10	1.77	12	1.72	19	1.53	3.09	11	2.69	13	1.13	19	1.94
2- 3/04	16.4	--	--	14	1.85	19	1.73	3.65	--	--	14	1.67	19	2.30
13-14/05	14.6	9	2.45	14	1.42	19	1.47	2.36	9	3.52	14	1.48	19-20	1.44
14-15/05	14.3	10	2.96	12	1.91	19	1.27	3.07	10	3.55	13	1.37	20	1.17
15-16/05	15.1	8	1.99	13	1.32	19	1.69	3.10	9-10	2.32	13	2.93	18	1.13
16-17/05	17.4	--	--	13	1.87	19	1.85	3.47	--	--	13	2.05	20	2.79
17-18/05	13.8	9	1.81	--	--	19	2.04	3.17	11	2.15	--	--	18	1.48
PROFIL MOYEN	15.5	10	1.86	13	1.59	19	1.65	3.13	10	2.05	13	1.57	20	1.50

Coef.: Rapport du maximum à la moyenne du jour

TABLEAU 5.5: Charges journalières en carbone organique (jours secs)

JOUR	CHARGE MOYENNE G/MN	CHARGE G/JOUR	CHARGE G/CAPITA/JOUR
18-19/03	15.1	21,703	27.13
19-20/03	15.0	21,634	27.04
20-21/03	14.0	20,206	25.25
01-02/04	19.4**	27,885**	34.85**
02-03/04	16.4	23,585	29.48
13-14/05	14.6	21,006	26.25
14-15/05	14.3	20,520	25.65
15-16/05	15.1	21,784	27.23
16-17/05	17.4	25,118	31.39
17-18/05	13.8	19,848	24.81
MOYENNE SUR 9 JOURS	15.08	21,711	27.14 (25.51-28.75*)
C_V	.077		

TABLEAU 5.6: Charges journalières en phosphore total (jours secs)

JOUR	CHARGE MOYENNE G/MN	CHARGE G/JOUR	CHARGE G/CAPITA/JOUR
01-02/04	3.09	4450	5.56
02-03/04	3.65	5250	6.56
13-14/05	2.36	3403	4.25
14-15/05	3.07	4421	5.52
15-16/05	3.10	4467	5.58
16-17/05	3.47	4997	6.25
17-18/05	3.17	4565	5.71
MOYENNE SUR 7 JOURS	3.13	4507	5.63 (4.96-6.30*)
C_V	.13		

* intervalle de confiance à 95%

** valeur non utilisée pour le calcul de la moyenne

C_V = coefficient de variation (entre les jours)

TABLEAU 5.7: Charges journalières en solides en suspension (jours secs)

JOUR	CHARGE MOYENNE G/MN	CHARGE G/JOUR	CHARGE G/CAPITA/JOUR
11-12/02	24.5	35,228	44.0
18-19/02	21.2	30,527	38.2
18-19/03	20.5	29,521	36.9
19-20/03	20.2	29,050	36.3
20-21/03	16.4	23,602	29.5
01-02/04	39.4**	56,779**	70.9**
02-03/04	25.0	36,002	45.0
13-14/05	22.2	31,958	39.9
14-15/05	23.0	33,120	41.4
15-16/05	21.3	30,735	38.4
16-17/05	21.7	31,283	39.1
17-18/05	14.2	20,379	25.5

MOYENNE SUR 11 JOURS	20.9	30,127	37.6 (33.8-41.5*)
C_v	.15		

* intervalle de confiance à 95%

** valeur non utilisée pour le calcul de la moyenne

C_v = coefficient de variation (entre les jours)

TABLEAU 5.8: Comparaison des charges sanitaires per capita (en grammes par jour) à Ste-Foy avec des données de la littérature

Caractéristique	Fair et al (1968)	Pobis (1968)		Watson et al (1967)			Zanoni (1972)	Caillé et al. (1973)	Ste-Foy
		A	B	A	B	C			
Sol. en susp.	90	-	-	106	73	44	38(20-52)	-	37.6
DBO	54	51.5	31	158	71	44	44	-	43.9*
COT	33.3*	31.8*	19*	97.5*	43.8*	27.2*	27.2*	29.8-77.1	27.1
Phosphore tot.	-	-	-	13.9	17.5	6.2	11.2(9-13)	1.9-7.3	5.6
Débit (l/cap./jour)	-	263	197	295	250	95	220	-	388**

* valeur estimée à partir du rapport DBO/COT = 1.62 fourni par Eckenfelder (1970) pour des eaux domestiques

** débit calculé sur 20 jours secs (octobre et novembre 1973) tel que mentionné au tableau 4.2

REMARQUES SUR LES ETUDES CITEES:

Fair et al : rejets moyens d'un égout municipal

Pobis : étude russe sur une ville résidentielle (A) de 64,000 h. et une cité dortoir (B) de 9,000 h.

Watson : étude sur 3 résidences (A,B,C), avec chacune 5 habitants, et ayant respectivement comme évaluation (1965): \$45,000 (A), \$25,000 (B) et \$18,000 (C).

Zanoni : étude sur une zone strictement résidentielle de 1200 habitants (sur 6 mois)

Caillé : étude sur 13 effluents résidentiels de la région de Montréal

TABLEAU 5.9: Comparaison de la variance S^2 (échantillonnage horaire) avec les variances S^2_f (échantillonnage aux deux heures, quatre heures ou six heures).

$-S^2 = 78.38$ (sur 225 données de carbone organique)

Echantillonnage	Heure Début	S^2_f	v_1	v_2	F_1	$F_c = \frac{S^2}{S^2_f}$	F_2	Conclusion
aux 2 heures	12 h	78.32	224	113	.79	1.00	1.31	+
	13 h	79.36	224	110	.79	.99	1.31	+
aux 4 heures	12 h	66.98	224	57	.72	1.17	1.48	+
	13 h	85.65	224	54	.72	.91	1.48	+
	14 h	91.15	224	55	.72	.86	1.48	+
	15 h	74.51	224	55	.72	1.05	1.48	+
aux 6 heures	12 h	57.21	224	37	.66	1.37	1.70	+
	13 h	89.89	224	36	.66	.87	1.70	+
	14 h	71.14	224	38	.67	1.10	1.70	+
	15 h	78.51	224	37	.66	.99	1.70	+
	16 h	102.83	224	36	.66	.76	1.70	+
	17 h	67.31	224	35	.66	1.16	1.70	+

VARIANCES EGALES = +

F_1, F_2 d'après la table de Fischer déterminent la zone d'acceptation pour F_c . ($\alpha = 5\%$; v_1 et v_2 = nombre de degrés de liberté).

TABLEAU 5.10: Comparaison de la moyenne \bar{X} (échantillonnage horaire) avec les moyennes \bar{X}_f (échantillonnages aux deux heures, quatre heures ou six heures)

$\bar{X} = 15.2$ g/MN (sur 225 données de carbone organique)

Echantillonnage	Heure Début	Charge /Capita /Jour	\bar{X}_f g/MN	v	$t_{calculé}$	Zone acceptation $\alpha = 5\%$ [-1.96 ; 1.96]	Zone acceptation $\alpha = 1\%$ [-2.57 ; 2.57]
aux 2 heures	12 h	27.01	15.01	337	.186	+	+
	13 h	27.70	15.39	334	-.183	+	+
aux 4 heures	12 h	27.54	15.30	281	-.539	+	+
	13 h	27.25	15.14	278	.279	-	+
	14 h	26.49	14.72	279	2.399	-	+
	15 h	28.13	15.63	279	-2.186	-	+
aux 6 heures	12 h	23.58	13.10	261	7.875	-	-
	13 h	30.92	17.18	260	-7.058	-	-
	14 h	30.89	17.16	262	-7.435	-	-
	15 h	27.59	15.33	261	-.464	+	+
	16 h	26.48	14.71	260	1.712	+	+
	17 h	24.50	13.61	259	5.640	-	-

MOYENNES EGALES = +

MOYENNES DIFFERENTES = -

(v = nombre de degrés de liberté)

TABLEAU 5.11: Charges journalières en chlorures

JOUR	CHARGES JOURNALIERES		CARACTERISTIQUES		
	charge moyenne g/mn	charge totale g/jour	débit moyen l/mn	température* moyenne oC	type de phénomène
11-12/02/74	41.1	59,124	355	-11°C	jour sec
18-19/02/74	106.9	154,043	240	-10.5°C	déglaçages
18-19/03/74	73.8	106,314	340	- 3.5°C	déglaçages
19-20/03/74	121.1	174,360	360	- 8.5°C	déglaçages
20-21/03/74	67.5	97,230	370	-12°C	déglaçages
02/03/74	41.2	59,280	365	- 2°C	jour sec
03/04/74	156.8	225,725	695	+ 2.5°C	fonte

* température à l'aéroport de Québec

TABLEAU 5.12: Données pour la pluie du 30 octobre 1973.

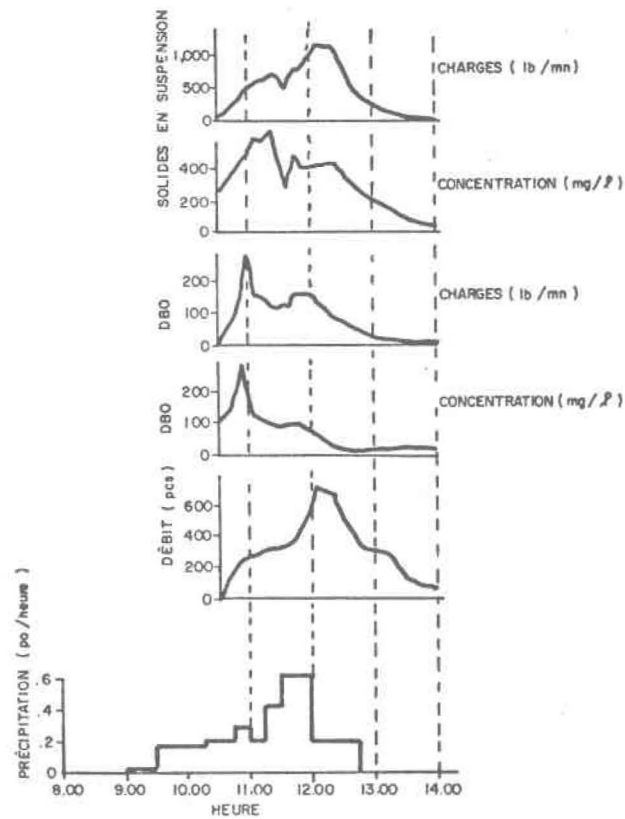
Heure	Débit l/mn	SS mg/l	SS G/MN
12 ¹⁰ *	-	-	-
12 ¹⁵	242	-	-
12 ³⁰	242	-	-
12 ⁴⁵	242	-	-
13	280	-	-
13 ¹⁰	(290)	148	43
13 ¹⁵ *	299	-	-
13 ²⁰	(351)	93	32.5
13 ³⁰	403	60	24
13 ⁴⁰	(414)	48	20
13 ⁴⁵	425	-	-
13 ⁵⁰	(403)	51	20.5

Heure	Débit	SS mg/l	SS G/MN
14*	382	68	26
14 ¹⁰	(360)	59	21
14 ¹⁵	340	-	-
14 ²⁰ *	(330)	64	21
14 ³⁰	319	66	21
14 ⁴⁰ *	(299)	88	26
14 ⁴⁵	280	-	-
14 ⁵⁰	(280)	127	36
15*	280	105	29.5
15 ¹⁰	(280)	73	20.5
15 ¹⁵	280	-	-
15 ²⁰	(320)	174	56

Heure	Débit	SS mg/l	SS G/MN
15 ³⁰	360	418	150.5
15 ⁴⁰	(415)	565	234
15 ⁴⁵ *	471	-	-
15 ⁵⁰	(460)	283	130
16	448	241	108
16 ¹⁰	(425)	200	85
16 ¹⁵	403	-	-
16 ²⁰ *	(381)	182	69
16 ³⁰	360	184	66
16 ⁴⁰ *	(350)	90	31.5
16 ⁴⁵	340	-	-
16 ⁵⁰	(340)	53	18
17*	340	92	31

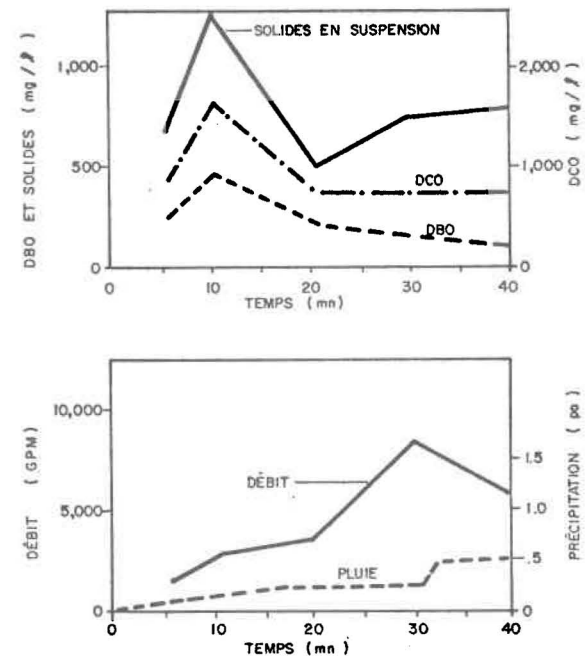
* = .01 pouce de pluie

FIGURES



(SAN FRANCISCO - BASSIN 3,800 ACRES)

Fig. 2.1 . Exemple de réponse à une pluie observée dans un égoût combiné (Roesner et al., 1972)



(WASHINGTON - BASSIN 264 ACRES)

Fig. 2.2 . Exemple de réponse à une pluie de faible intensité observée dans un égoût combiné (De Filippi et Shih, 1971)

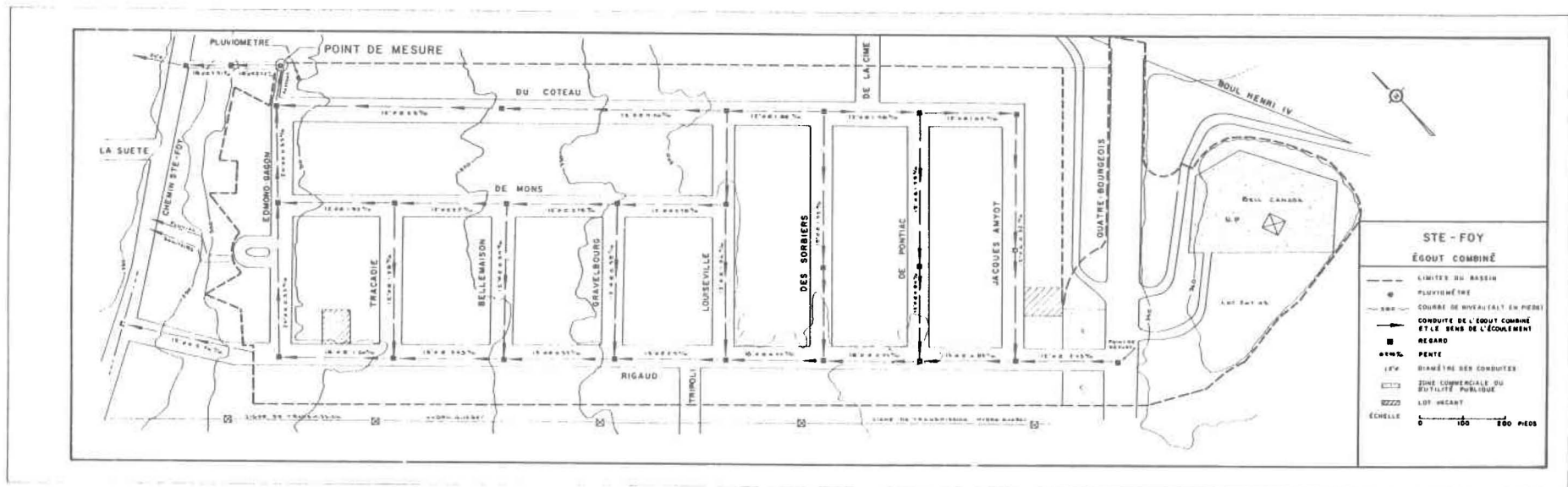
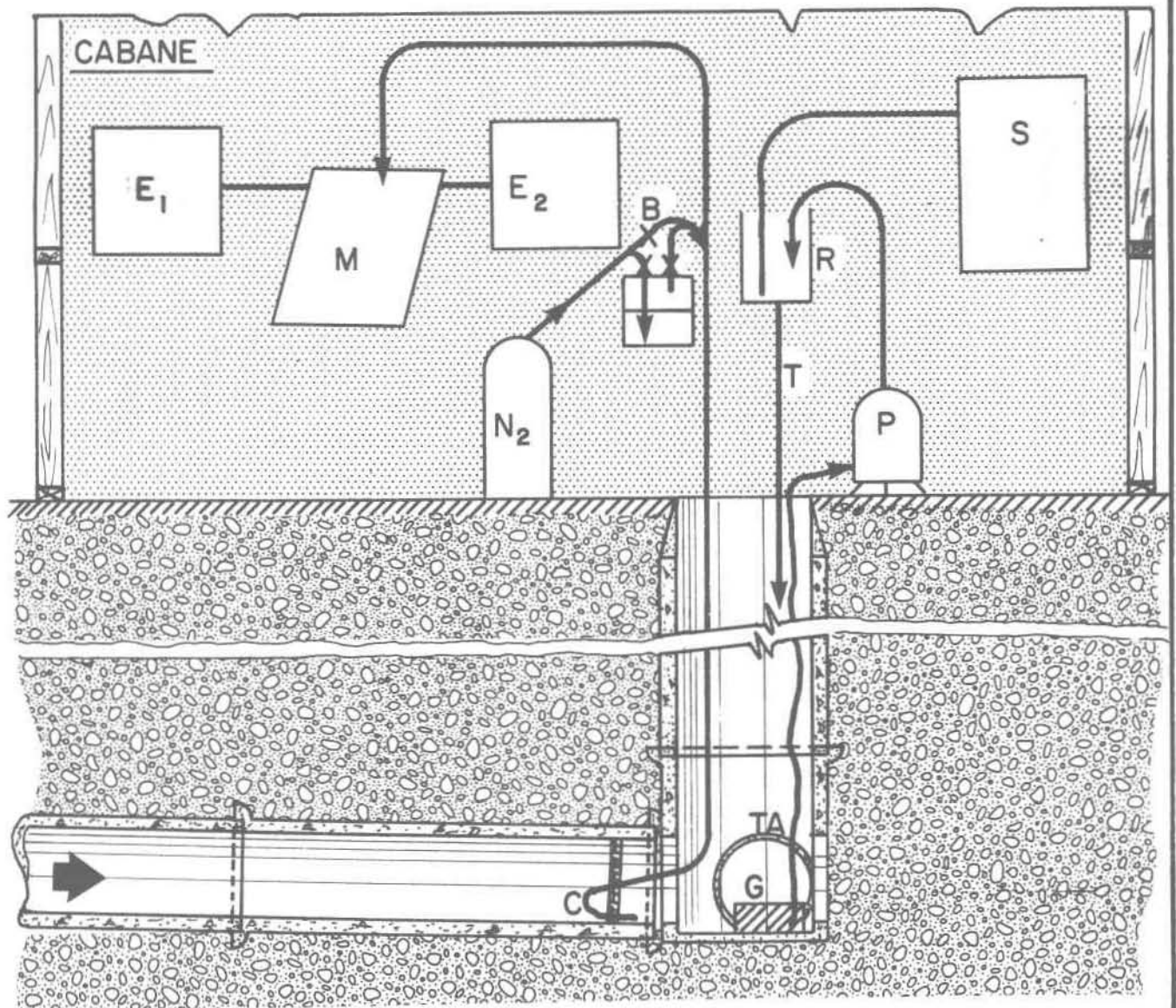


Fig. 3.1. Plan du réseau d'égout combiné étudié.

Schéma des installations à la station de mesures .



- E₁** = Enregistreur à bande perforée Fischer & Porter.
E₂ = Enregistreur sur papier Ott. * = Robinet
M = Servomanomètre à mercure.
N₂ = Bonbonne d'azote .
C = Collet et extrêmité du tuyau de cuivre
G = Prise d'eau et grille
TA = Tuyau d'amenée
P = Pompe aspirante
R = Réservoir d'un gallon
S = Échantillonneur Sigmamotor
T = Trop-plein (tuyau de 1.5" de diamètre intérieur)

Fig . 3.2 .

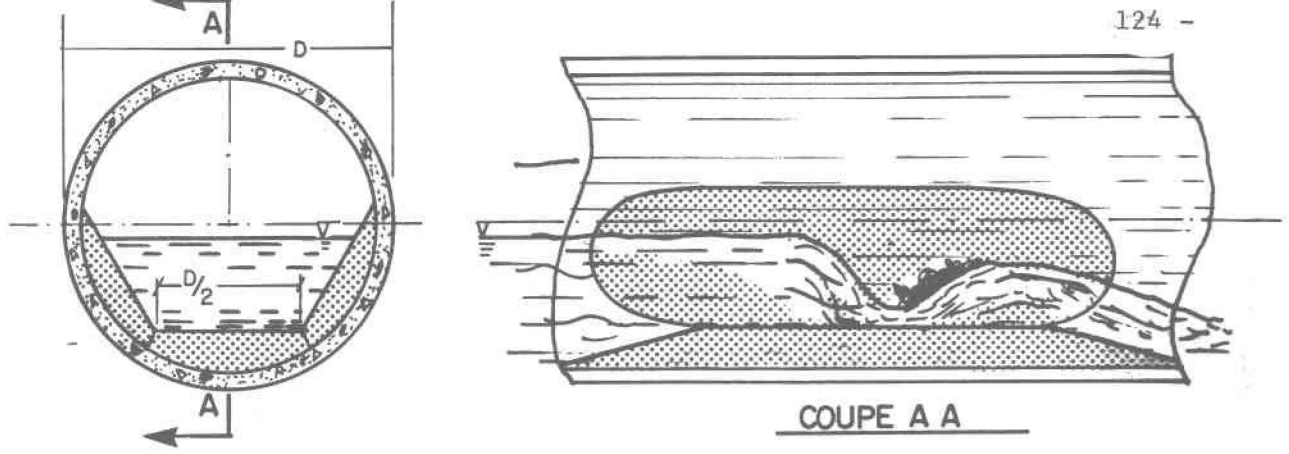


Fig. 3.3a . Canal Palmer Bowlus .

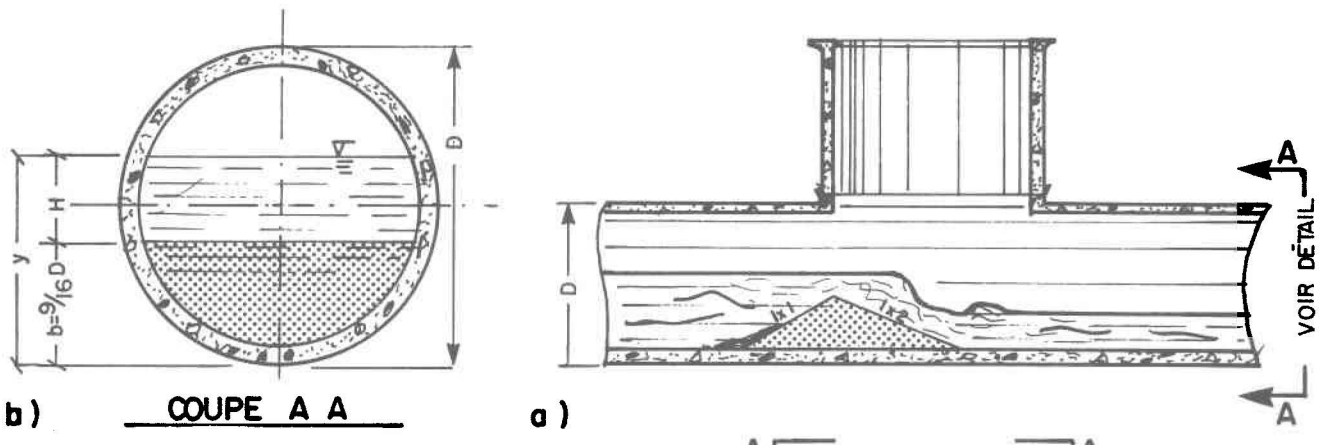


Fig. 3.3b . Déversoir de Stevens pour égouts.

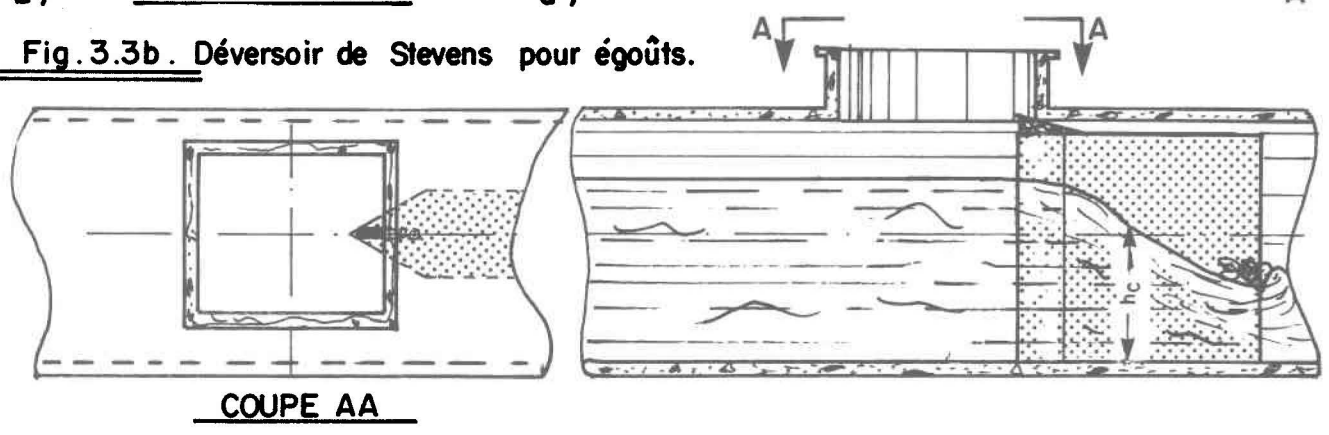


Fig. 3.3c . Dispositif proposé par Diskin , 1963 .

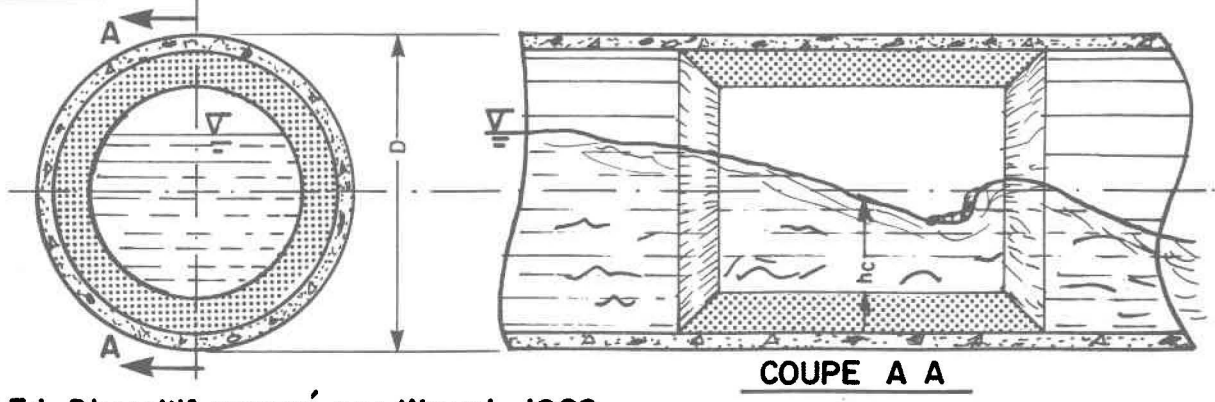
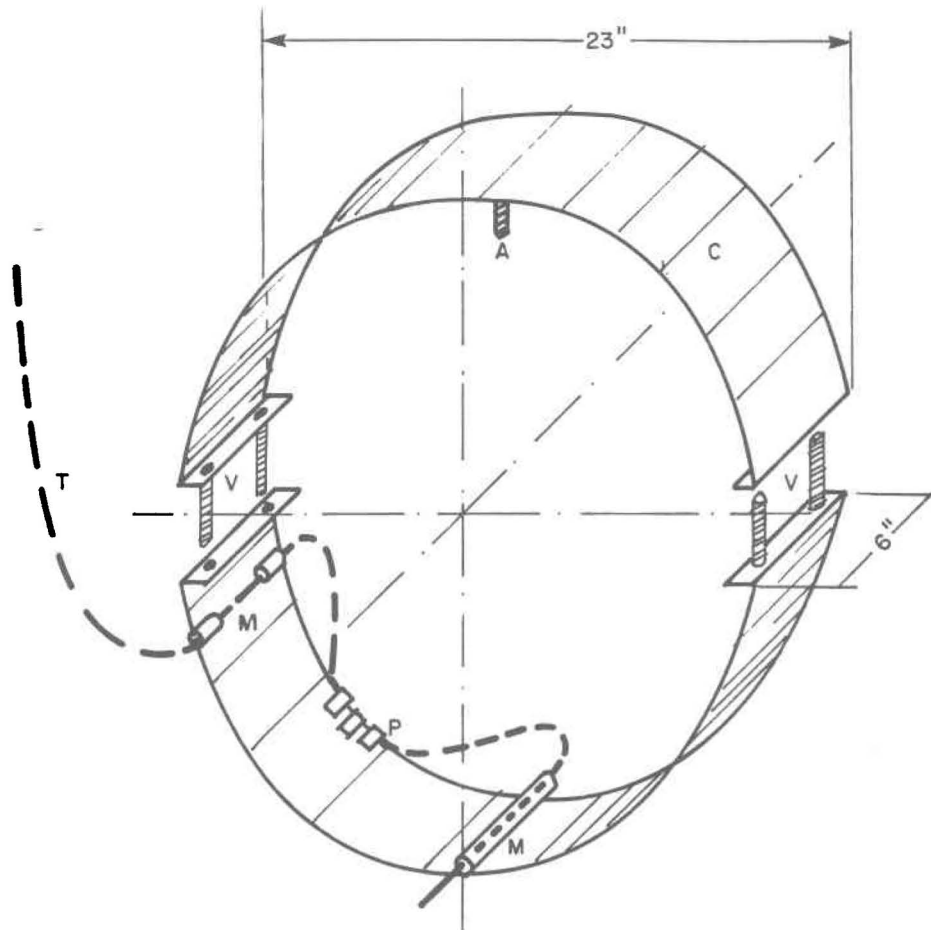


Fig. 3.3d . Dispositif proposé par Wenzel , 1968 .

Fig.3.3. Schémas de quelques dispositifs proposés pour créer une section critique dans une conduite d'égout.



- A = Vis soudée à la tôle et servant à fixer une barre de fixation pour la pose dans l'égoût .
 C = Collet en tôle galvanisée de $1/16''$
 M = Manchons de $1/2''$ de diamètre intérieur, soudés.
 P = Brides de métal courbées pour maintenir le tuyau
 T = Tuyau de cuivre de $1/8''$ de diamètre intérieur et $3/16''$ de diamètre extérieur, fixé dans les
 3 manchons par des raccords en matière plastique pour tuyaux de caoutchouc
 V = Vis de $3/8''$.

Fig.3.4 . Schéma du collet installé dans l'égoût (Ellis et Johnston, 1963).

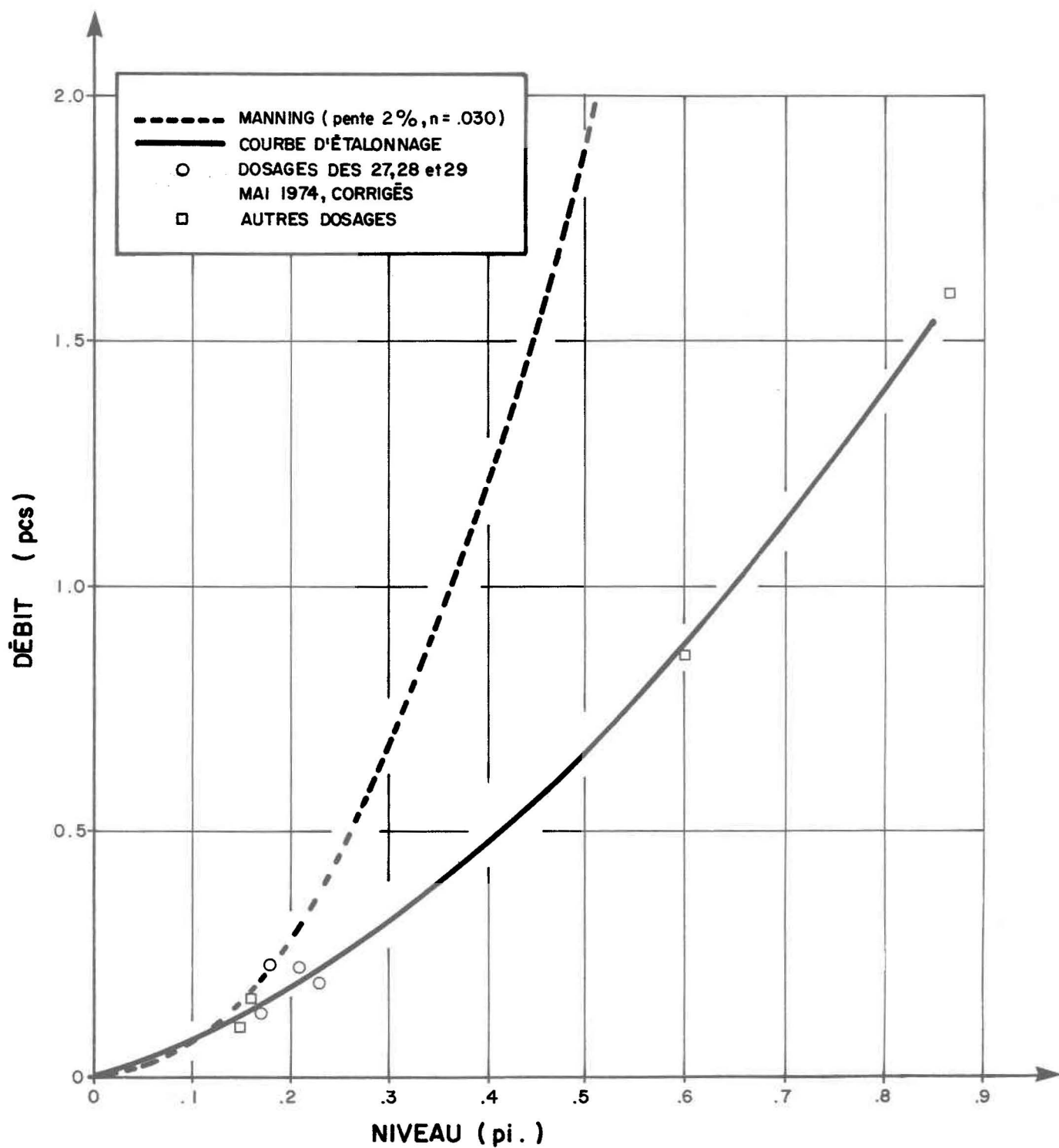


Fig. 4.1 . Comparaison des 2 méthodes de calcul des débits: par la formule de Manning (pente : 2%, $n=.030$) et la courbe d'étalonnage .

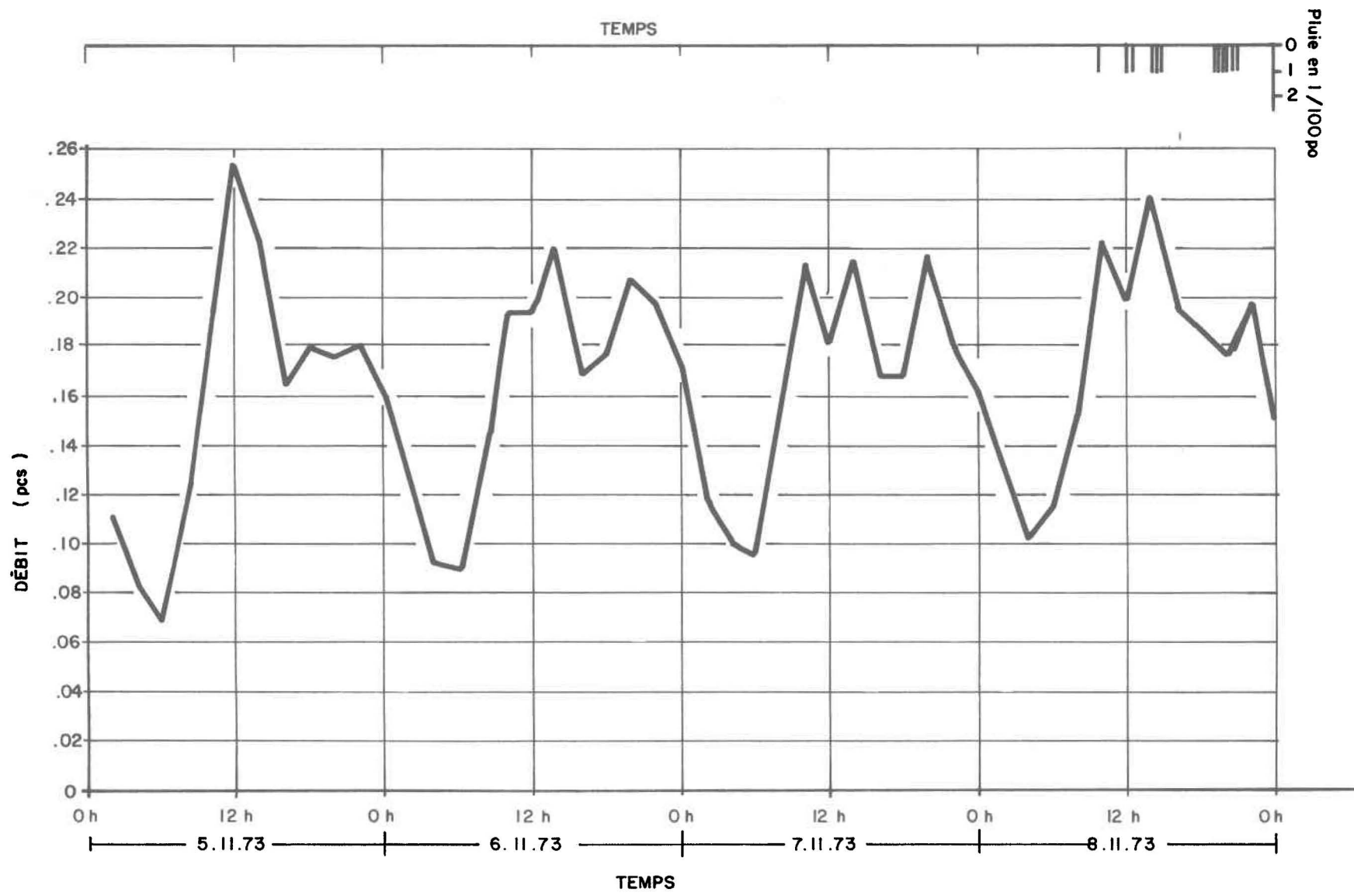


Fig. 4.2 . Débits du 5 au 8.11.73 (moyennes aux 2 heures) .

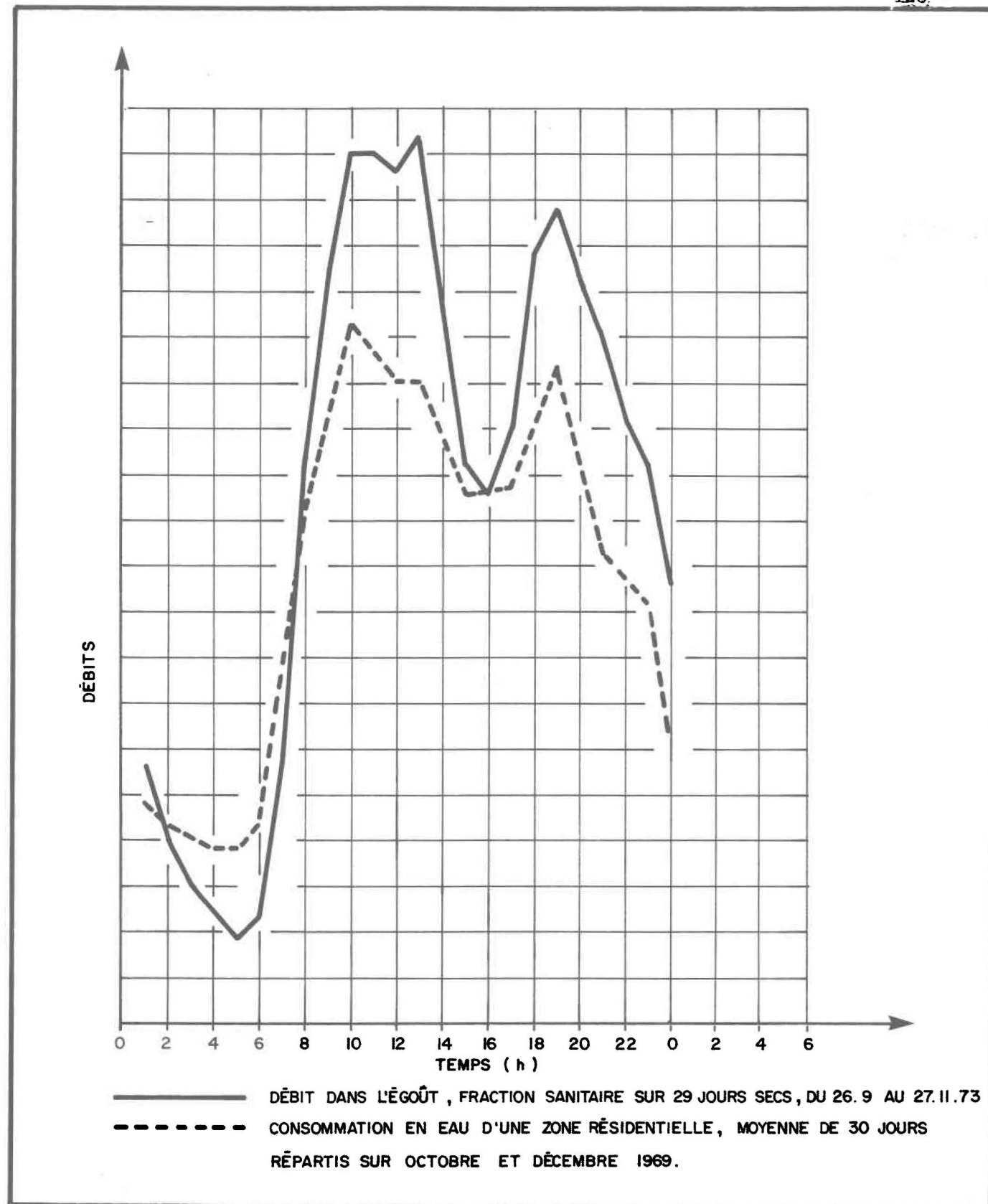
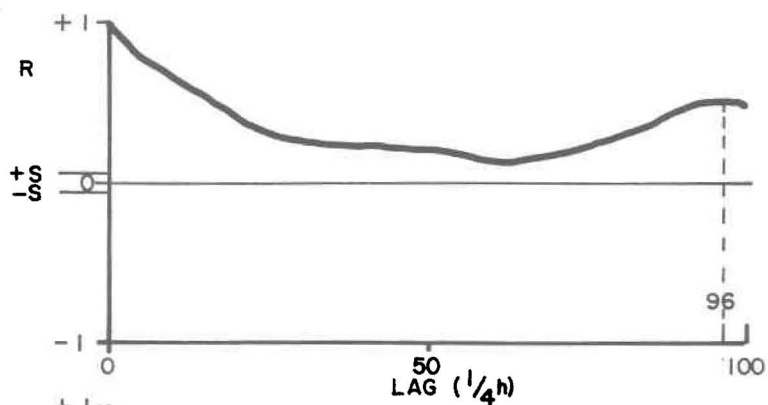
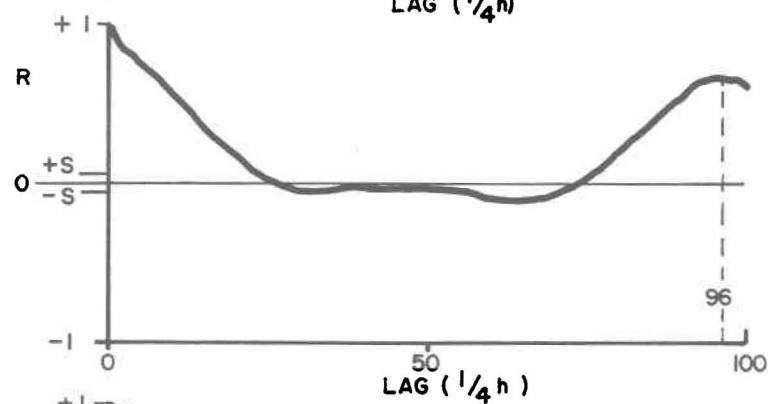
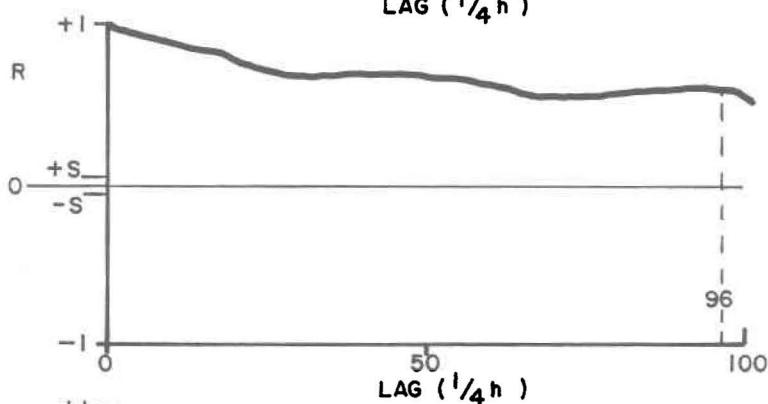
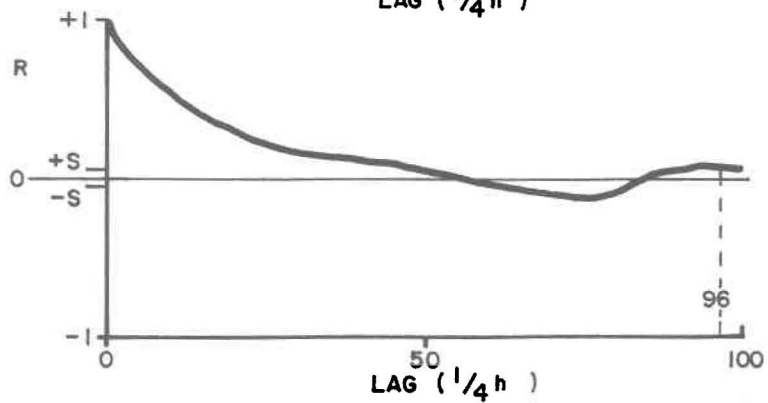
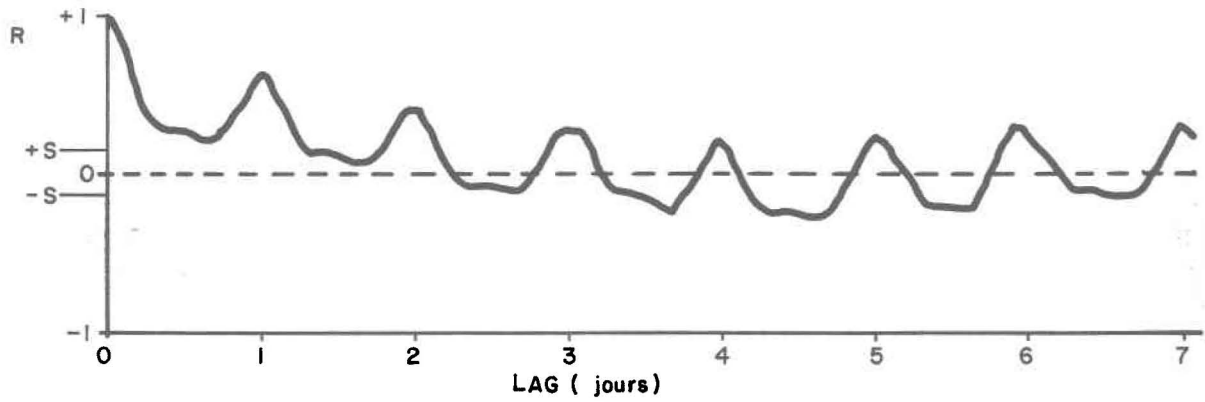


Fig. 4.3. Comparaison entre la consommation en eau dans une zone résidentielle et le débit dans l'égoût combiné par temps sec.

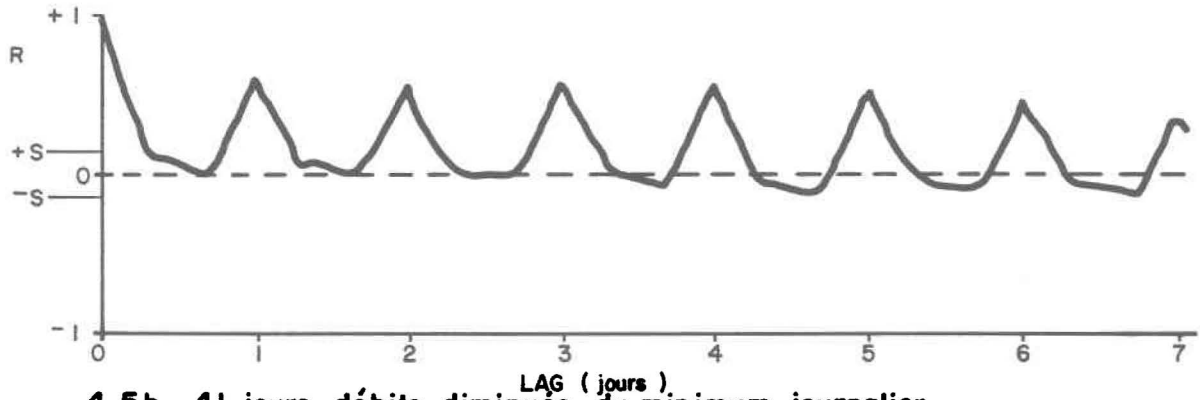
4.4a**39 jours = total****4.4 b****20 jours secs****4.4c****9 jours gelés****4.4d****9 jours pluvieux**

NOTE : Entre -S et +S les coefficients de corrélation ne sont pas significativement différents de zéro.

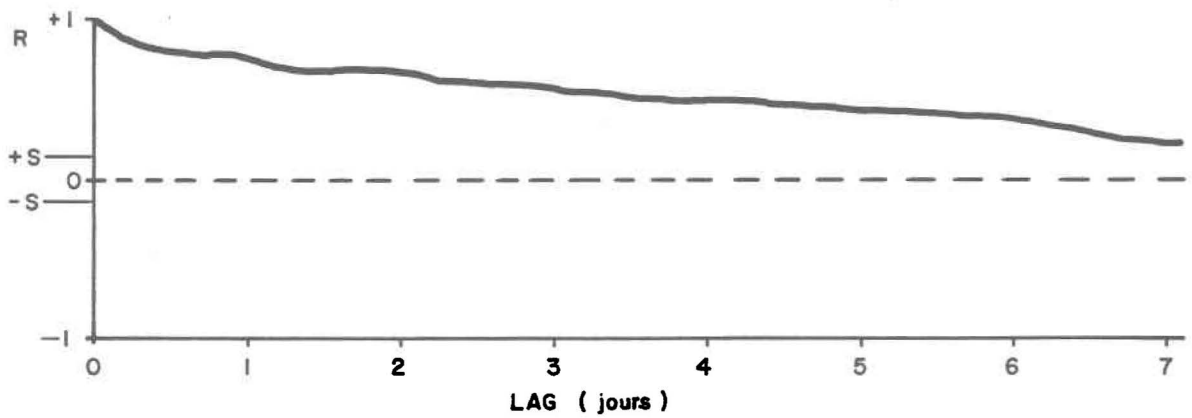
Fig. 4.4 . Première série d'autocorrélogrammes sur les débits (période du 18. 10 au 27. 11. 73).



4.5a . 41 jours, débits bruts .



4.5b . 41 jours, débits diminués du minimum journalier .



4.5c . 107 jours, débits bruts .

Fig. 4.5 . Deuxième série d'autocorrélogrammes sur les débits (moyennes aux 2 heures).

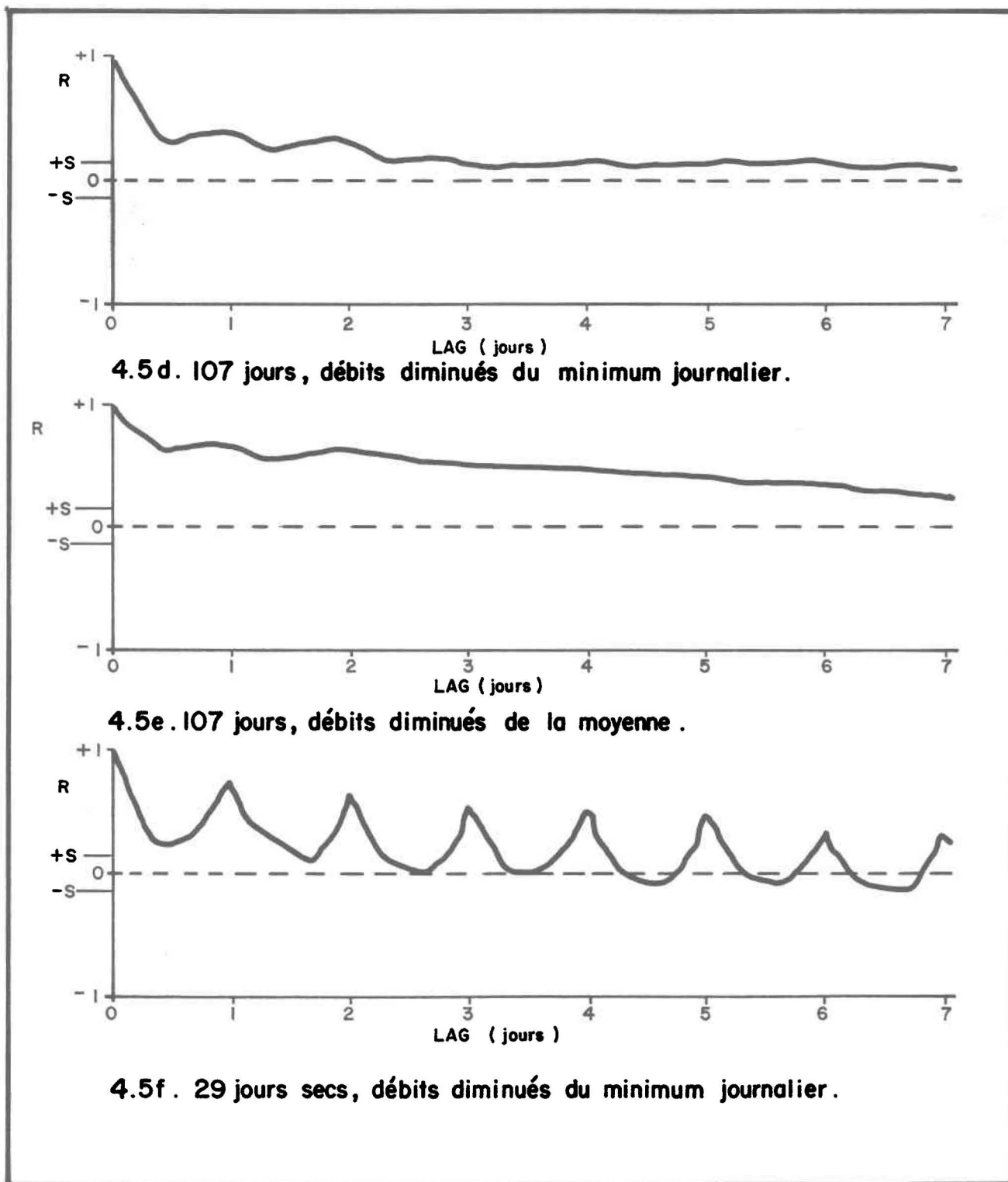


Fig. 4.5. (suite)

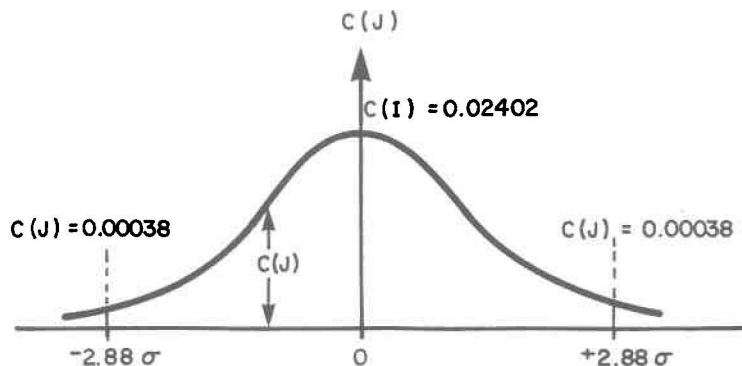


Fig. 4.8 . Allure de la série des coefficients $C(J)$ de pondération des débits .

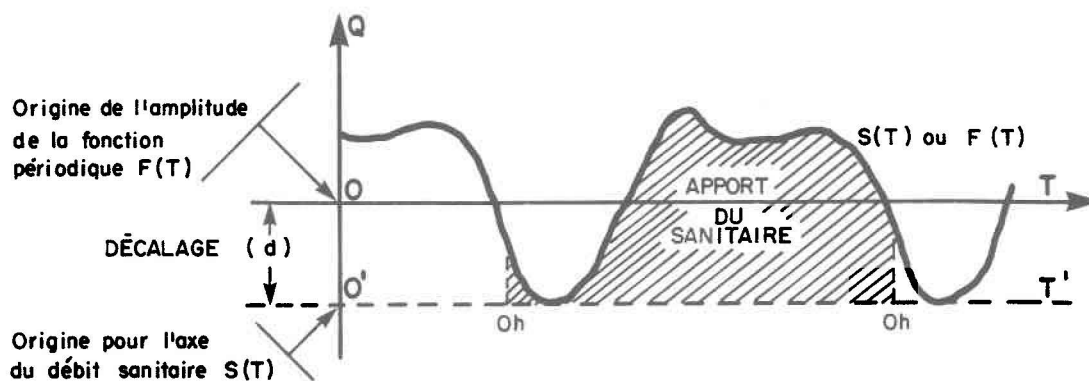


Fig . 4.9 . Schématisation du vecteur débit sanitaire .

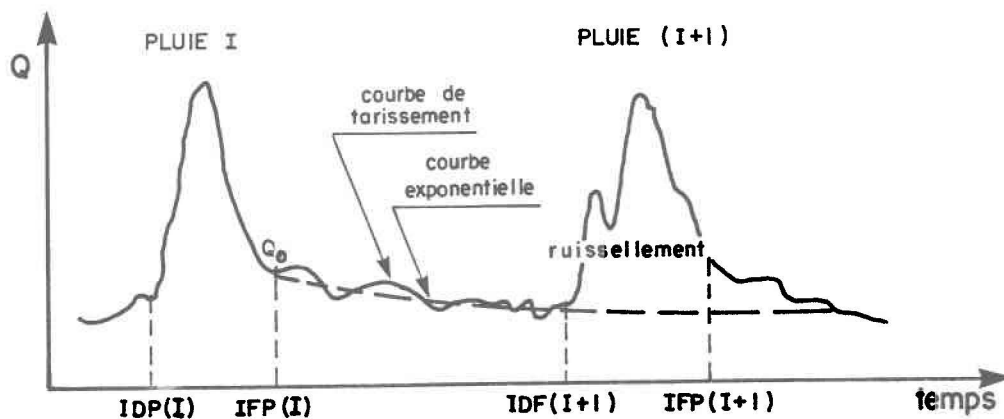


Fig. 4.10 . Schéma de la simulation d'une courbe de tarissement .

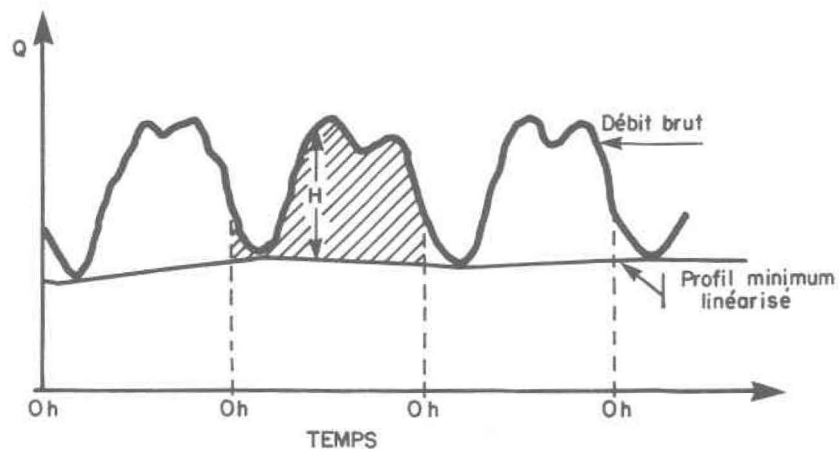


Fig. 4.6 . Illustration de l'apport sanitaire, limité par la courbe du débit brut et la ligne du profil minimum linéarisé .

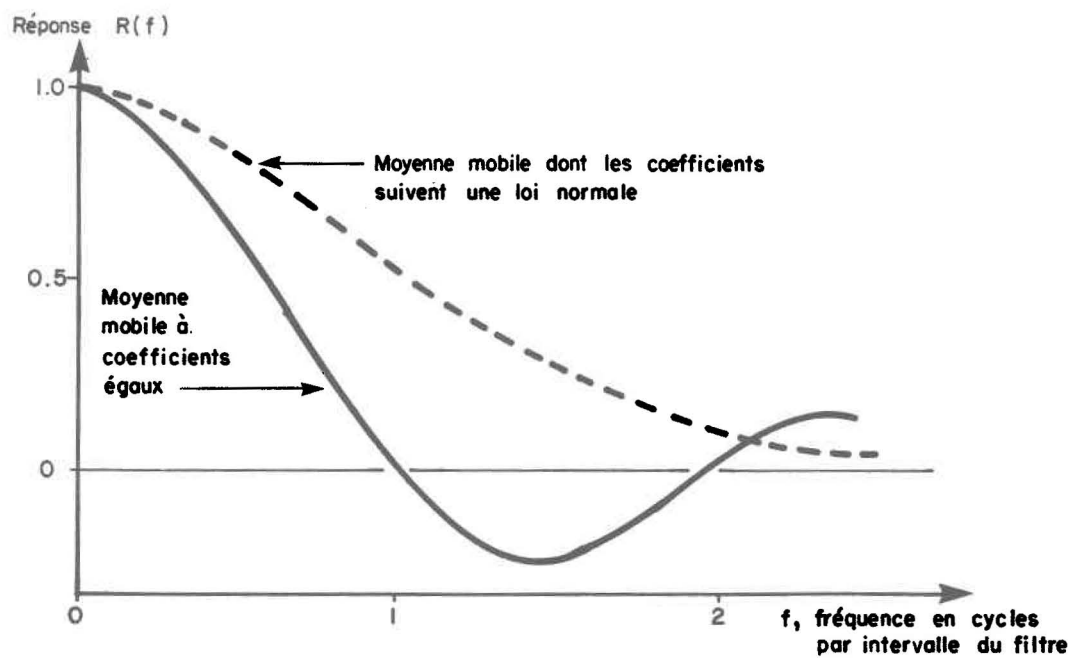


Fig. 4.7 . Réponse en fréquence d'un filtre (Holloway, 1958) .

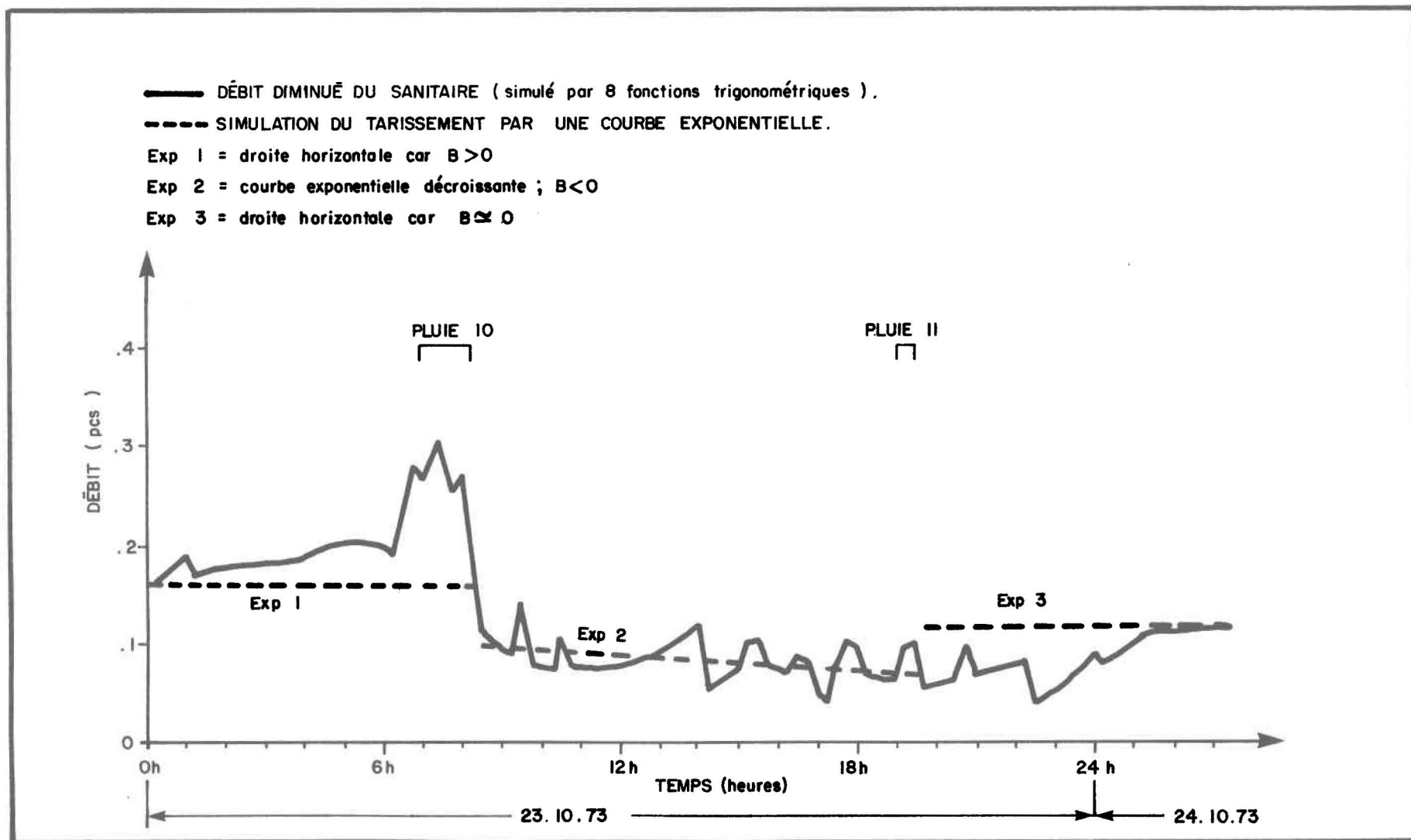


Fig. 4. II . Simulation du tarissement (débit diminué de l'apport sanitaire).

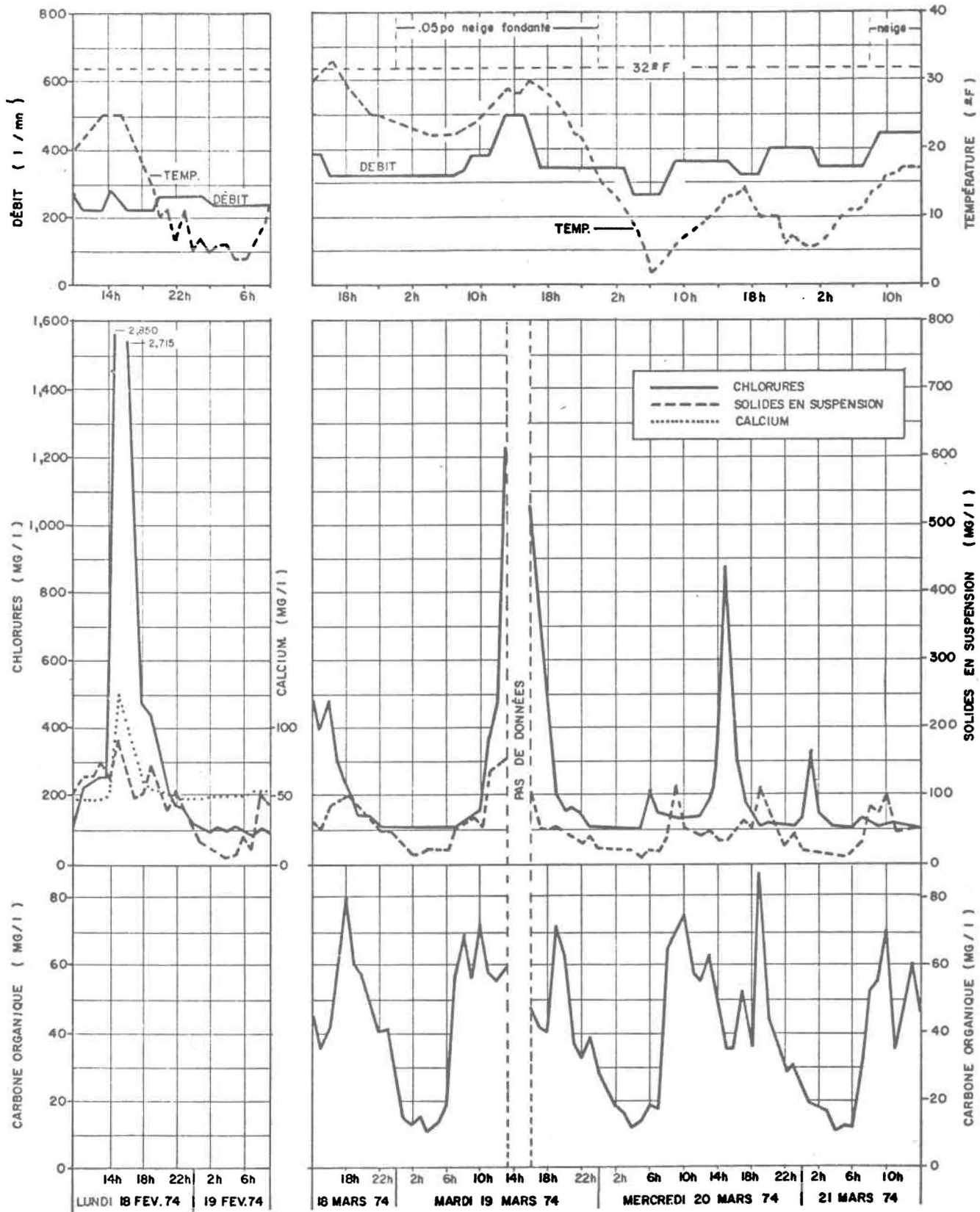


Fig. 5.1. Résultats de l'échantillonnage de février - mars 1974 .

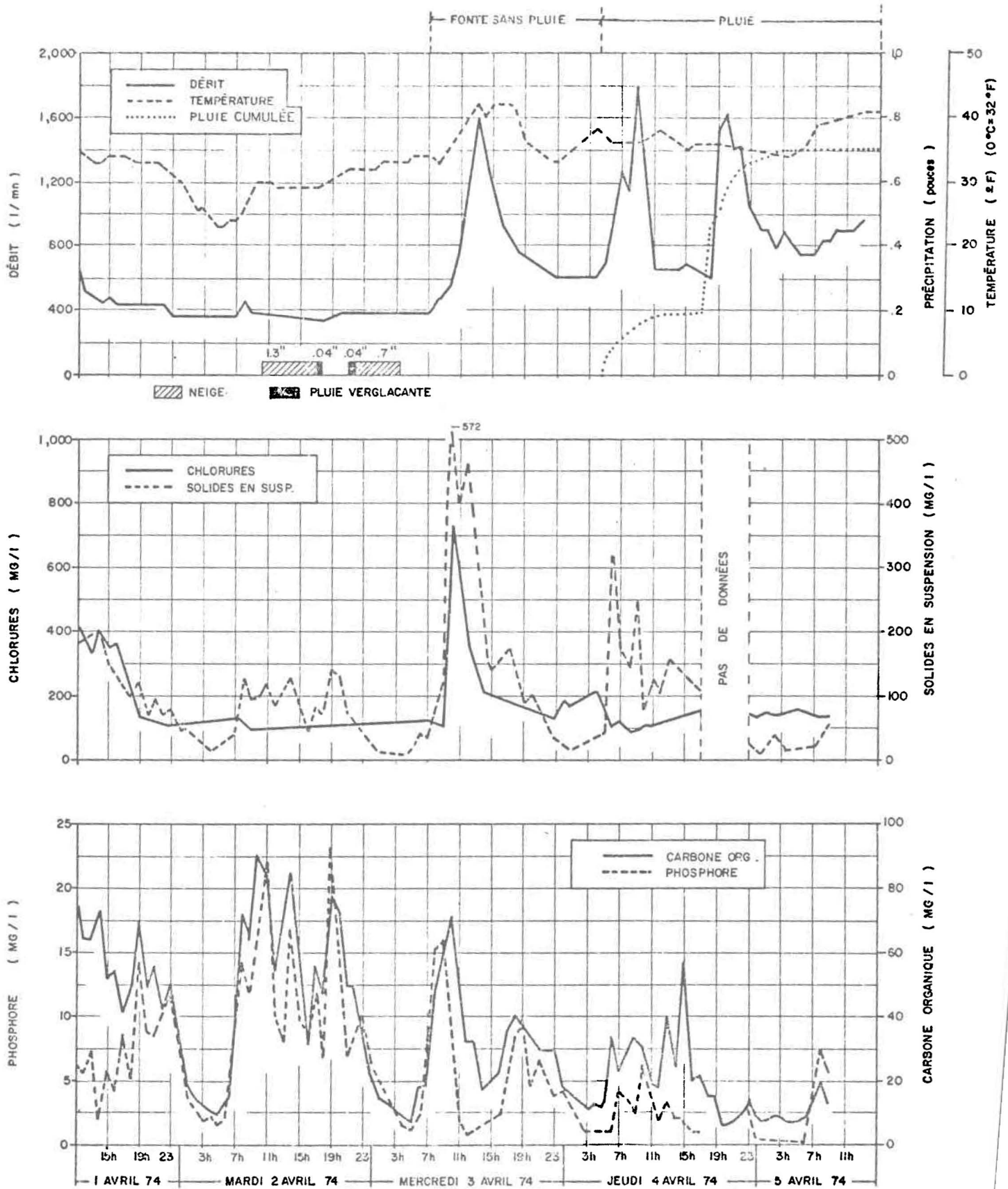


Fig. 5.2. Résultats de l'échantillonnage d'avril 1974.

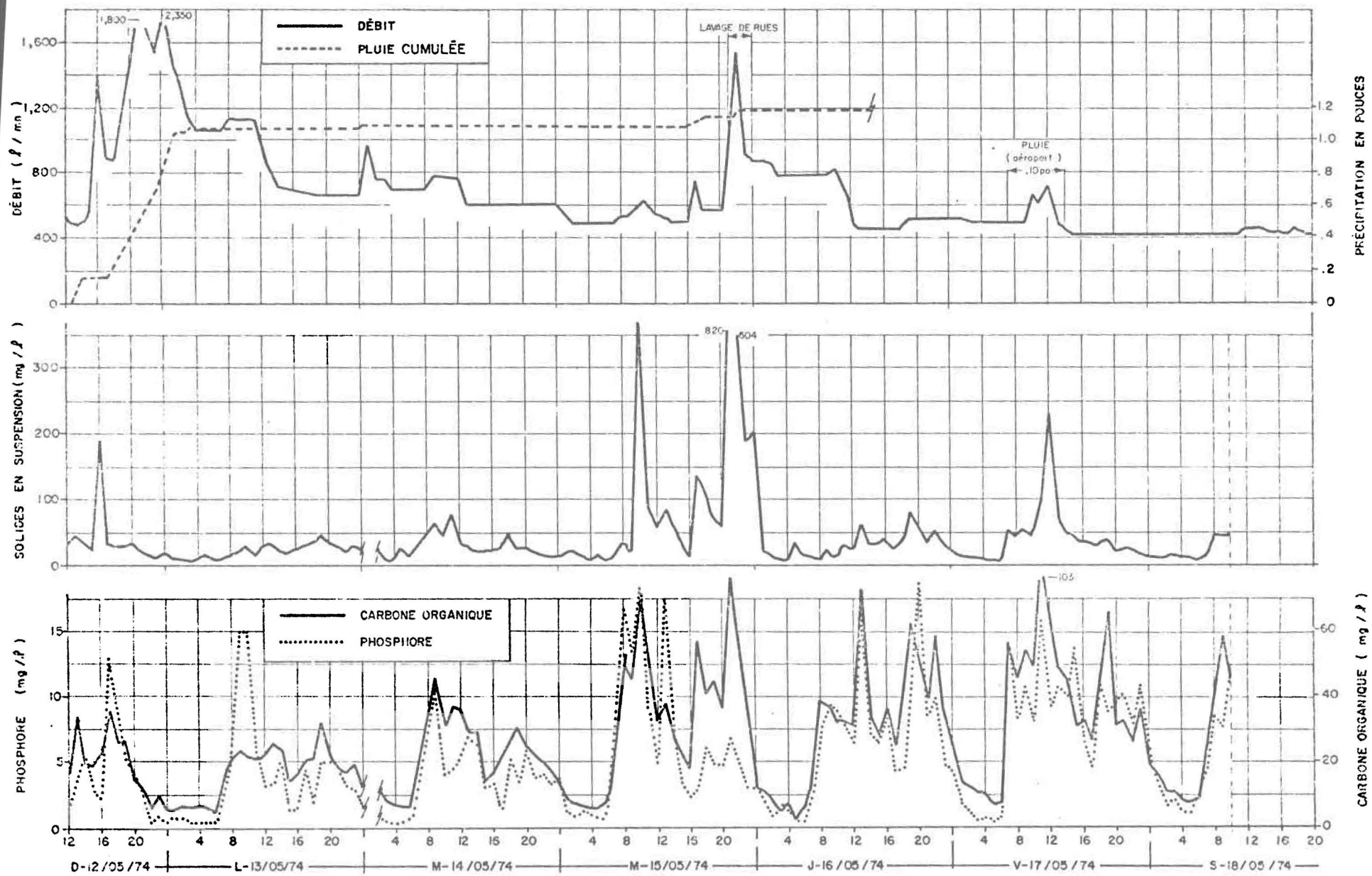


Fig. 5.3. Résultats de l'échantillonnage de mai 1974.

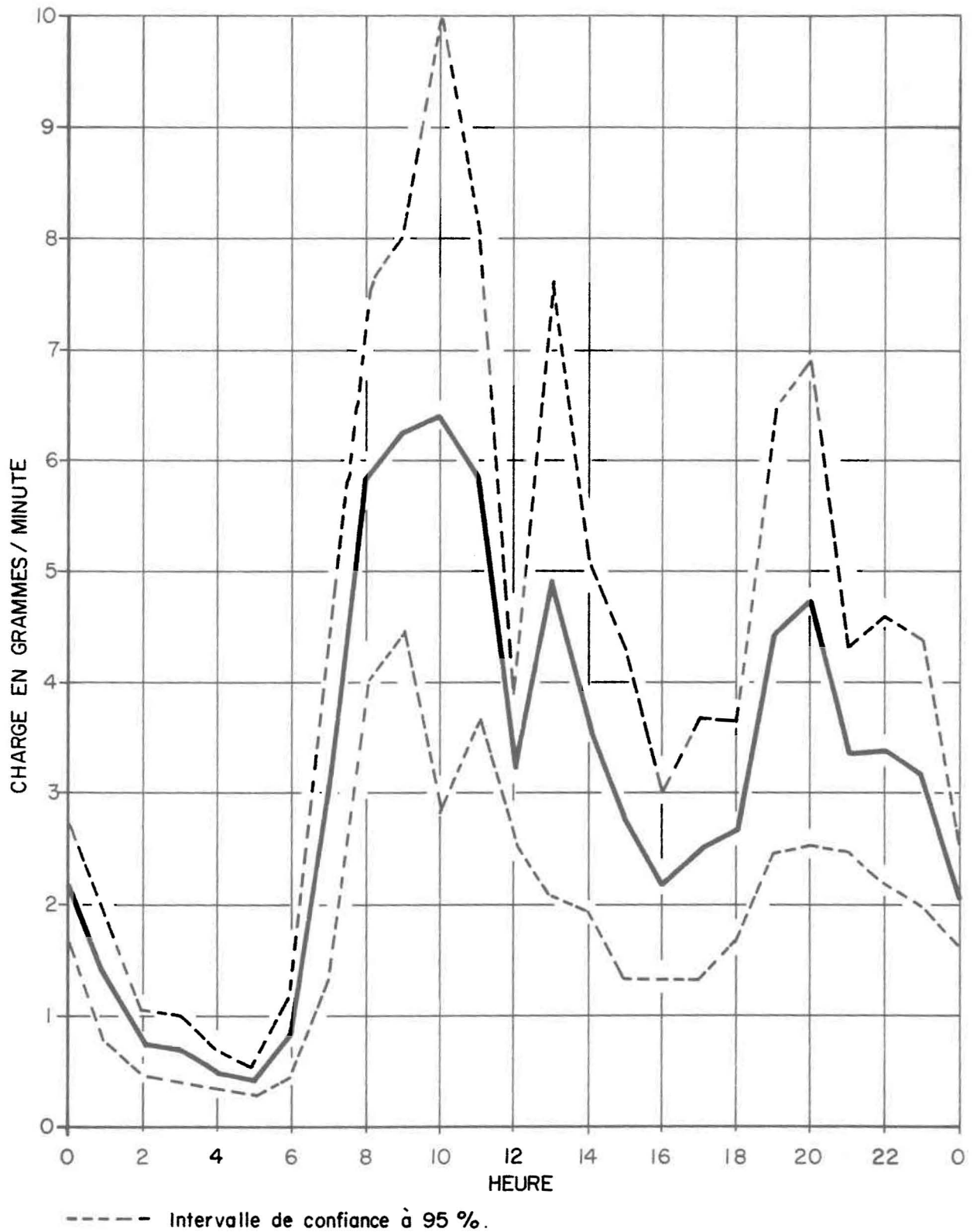


Fig.5.4 . Charge en phosphore total : évolution moyenne journalière et intervalle de confiance à 95 % (sur 7 jours secs) .

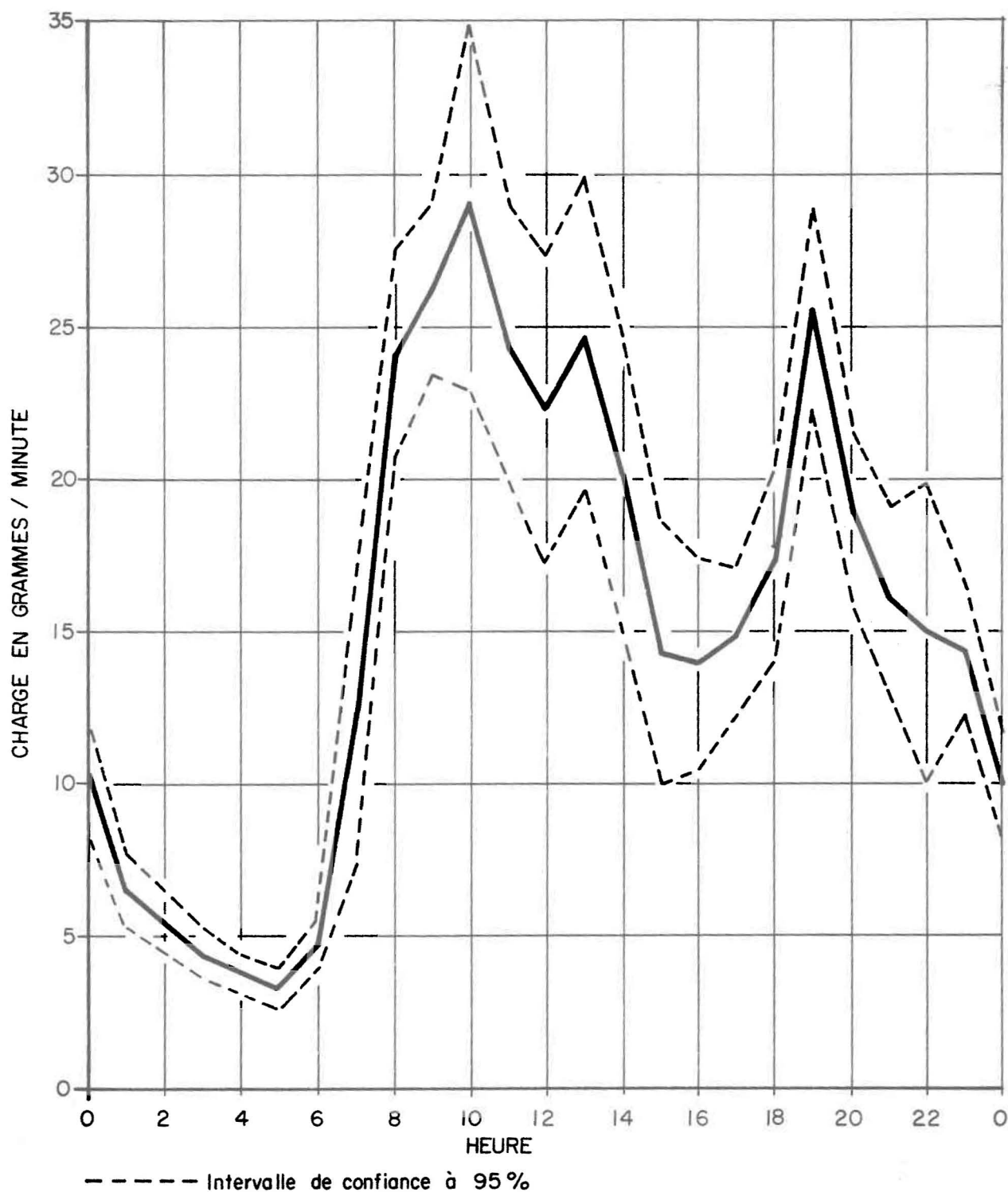
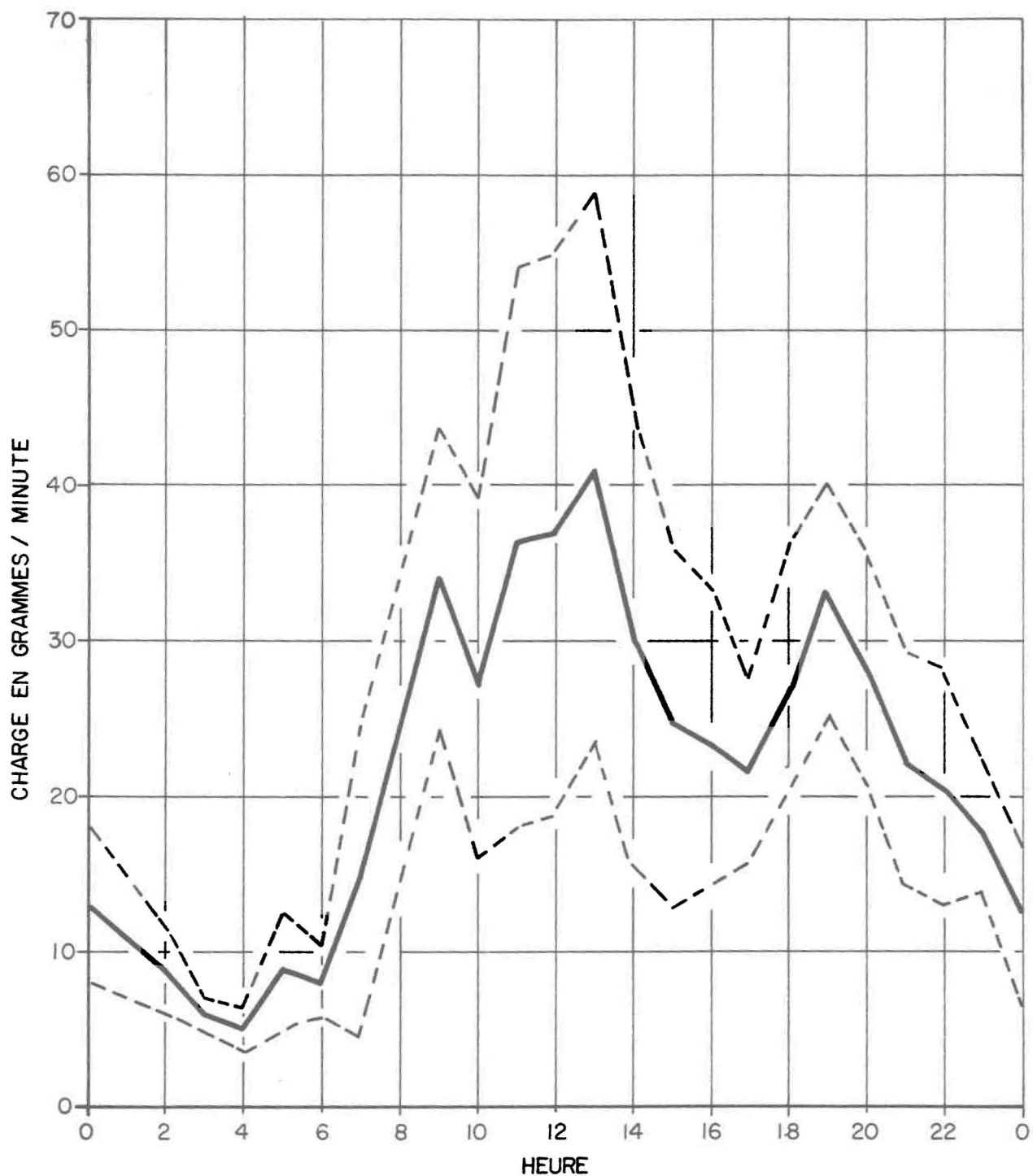


Fig .5.5 . Charge en carbone organique : évolution moyenne journalière et intervalle de confiance à 95% (sur 10 jours secs).



----- Intervalle de confiance à 95 %

Fig .5.6 . Charge en solides en suspension : évolution moyenne journalière et intervalle de confiance à 95 % (sur 12 jours secs) .

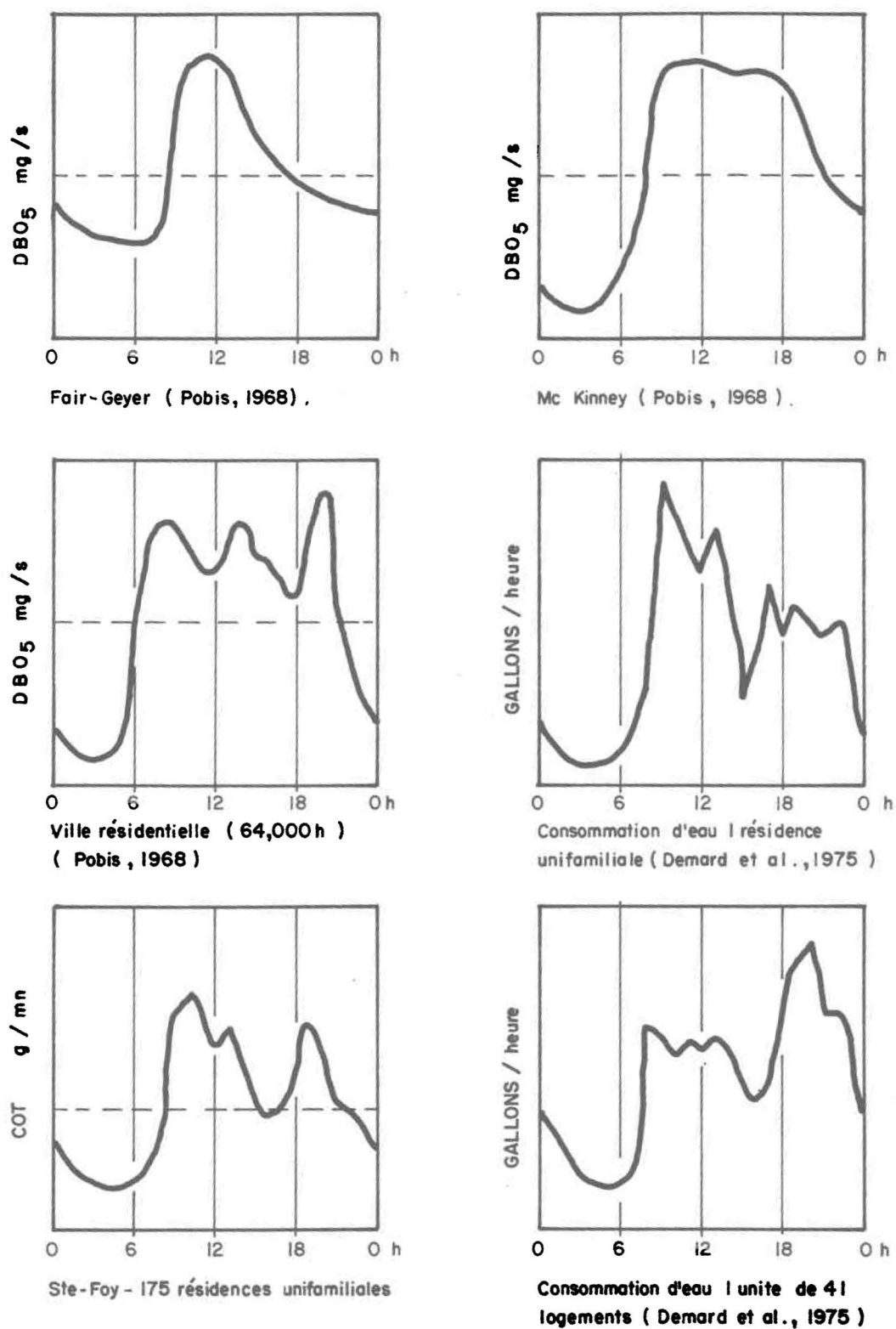


Fig. 5.7. Variation journalière de la pollution organique ou de la consommation d'eau d'après certains auteurs .

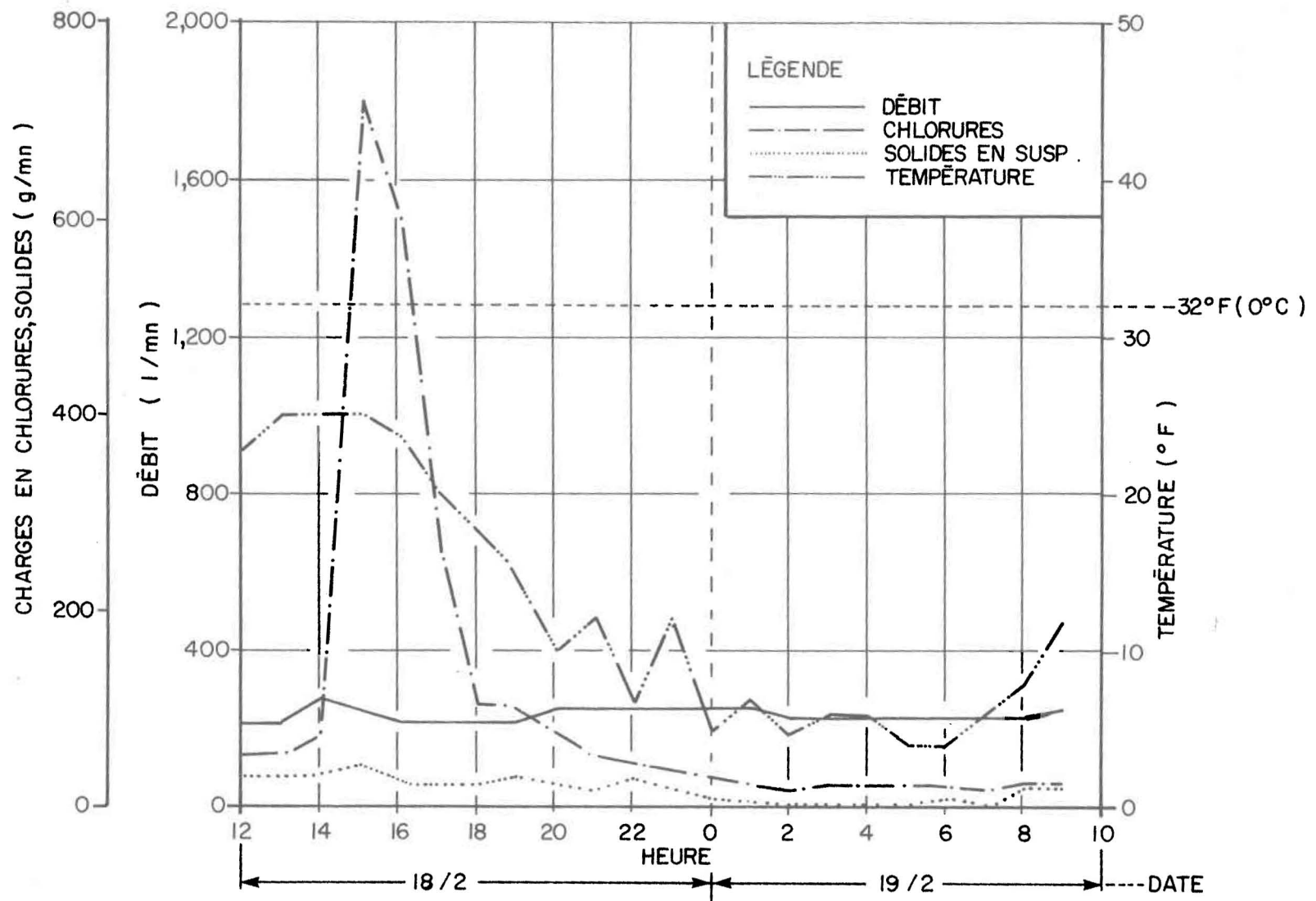


Fig. 5.8. Évolution du débit et des charges lors d'un "déglacage".

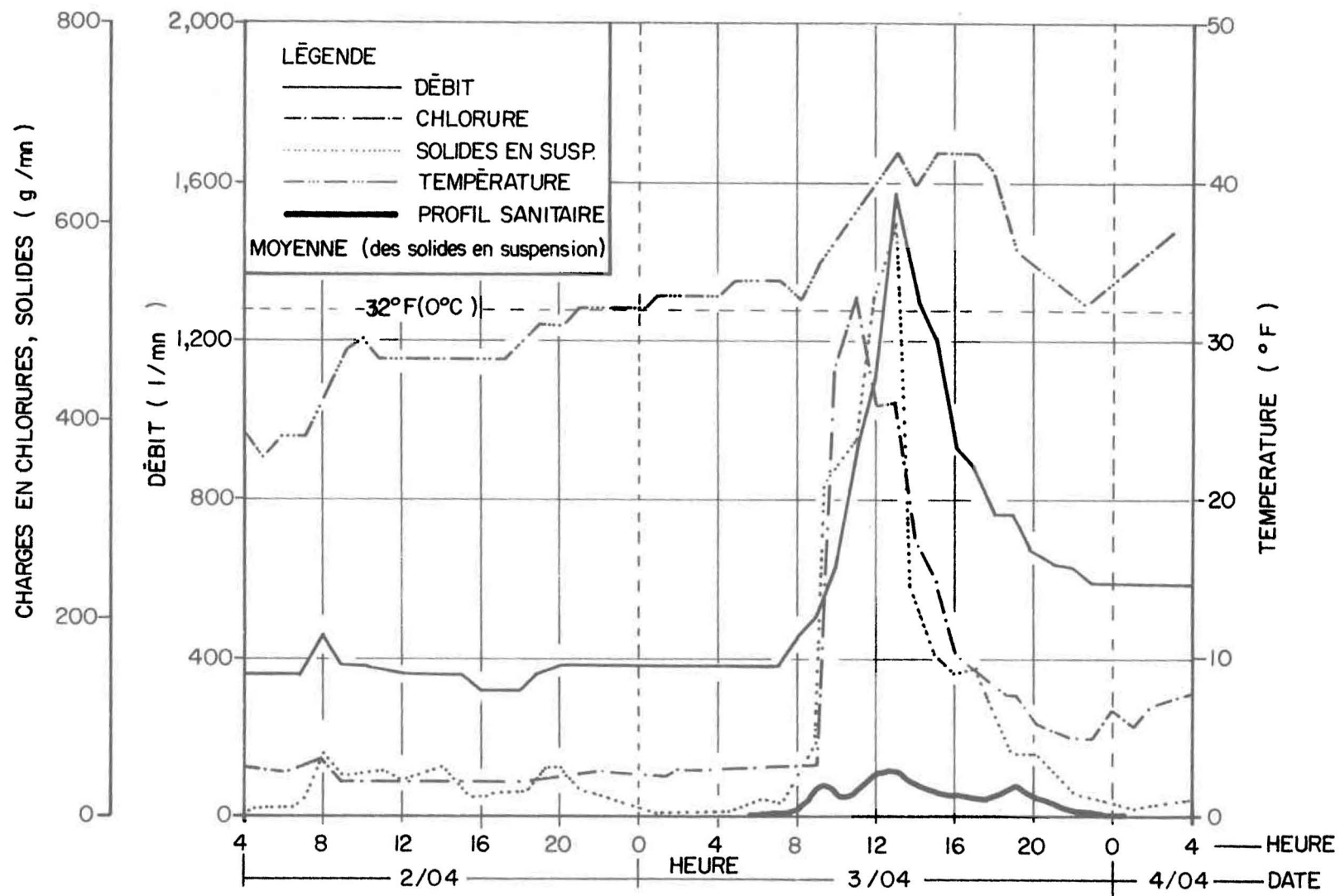


Fig. 5.9. Évolution du débit et des charges lors d'une fonte .

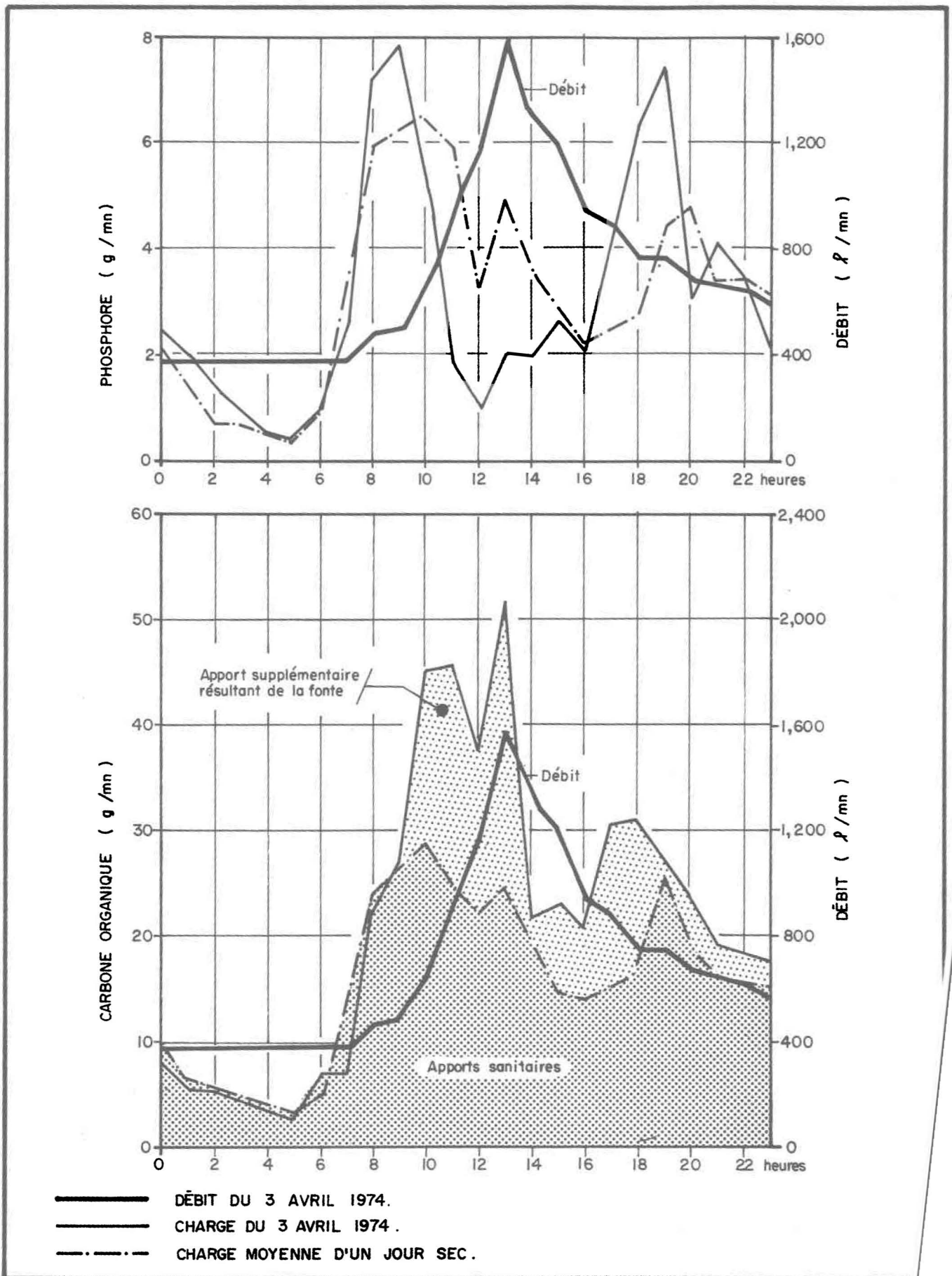


Fig .5. 10 . Charges en carbone organique et phosphore (jour de fonte).

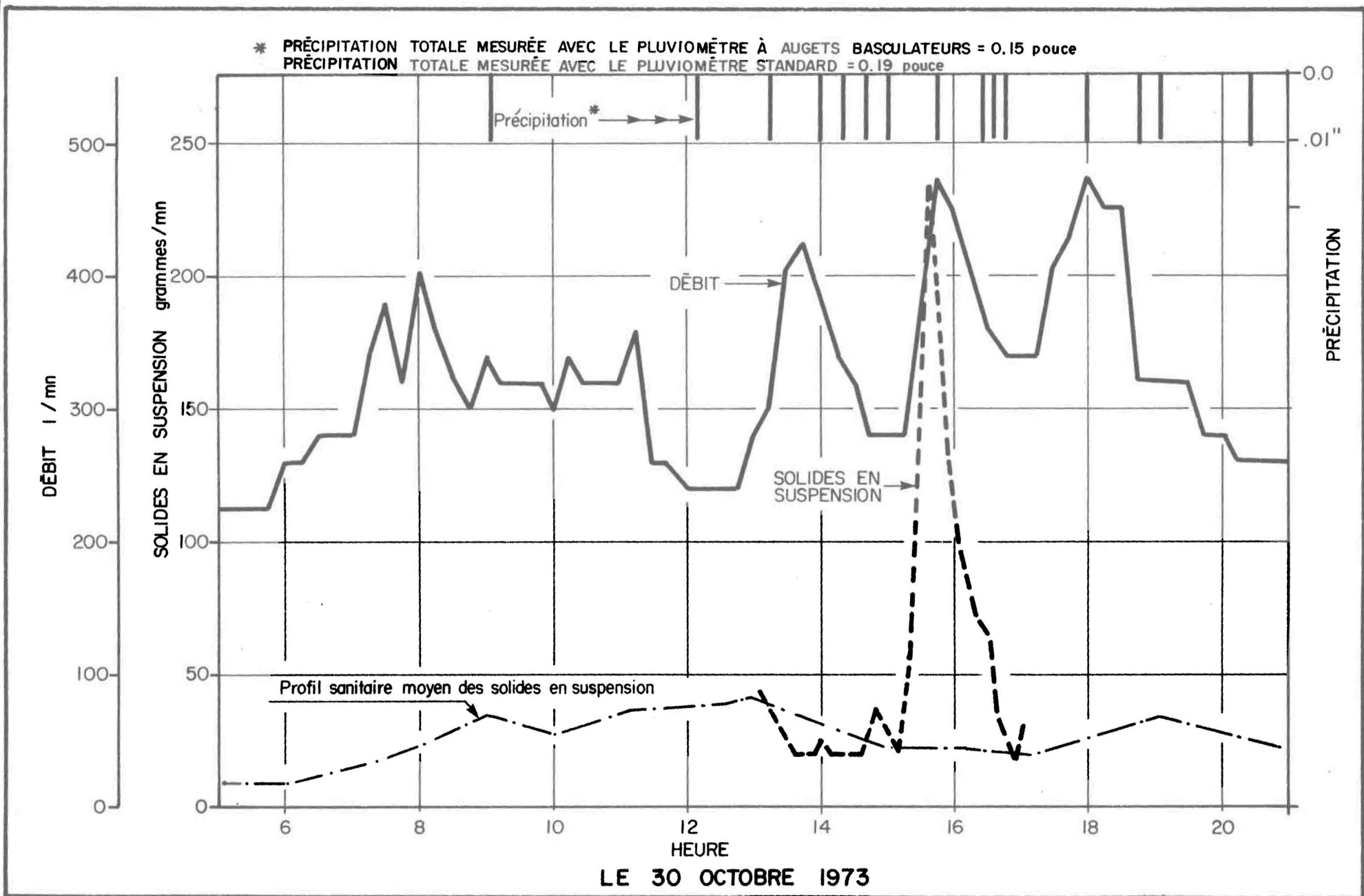


Fig. 5. II. Évolution du débit et des charges en solides en suspension lors d'une pluie d'automne .

ANNEXES

ANNEXE A

Principe de l'analyse selon Fourier

Un signal périodique $s(t)$ défini par n ou $2n$ observations peut être décomposé en une somme de fonctions trigonométriques simples:

$$s(t) = A_0 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} (A_m \cos 2\pi m f_1 t + B_m \sin 2\pi m f_1 t) + A_n \cos 2\pi n f_1 t$$

A_0 (ou R_0) = amplitude moyenne du signal

m = ordre de l'harmonique: va de 1 à $n-1$

f_1 = période fondamentale

ou, exprimé en fonction de l'amplitude et de la phase:

$$s(t) = R_0 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m \cos(2\pi m f_1 t + \phi_m) + R_n \cos 2\pi n f_1 t$$

où $R_m = \sqrt{A_m^2 + B_m^2}$ est l'amplitude et

$\phi_m = \arctan \left(-\frac{B_m}{A_m} \right)$ est la phase.

Les coefficients A_m et B_m sont donnés par les relations suivantes:

$$A_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} S_r \cos \frac{2\pi m r}{N} \quad \text{ou, selon la notation de nos programmes:}$$

$$AM(I) = \frac{1}{KO} \sum_{IJ=0}^{KO-1} S_J \cos \frac{2\pi \cdot I \cdot IJ}{KO} \quad \begin{array}{l} 1 \leq J \leq KO \\ IJ = J - 1 \end{array}$$

$$B_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} S_r \sin \frac{2\pi m r}{N} \text{ ou:}$$

$$BM(I) = \frac{1}{KO} \sum_{IJ=0}^{KO-1} S_J \sin \frac{2\pi \cdot I \cdot IJ}{KO}$$

Sachant que la variance totale σ^2 du signal est égale à:

$$\text{VAR} = 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m^2 + R_n^2$$

on en déduit que la participation à la variance de chaque harmonique est donnée par:

$$\text{PCT} = \frac{2R_m^2}{\text{VAR}}$$

On peut ainsi déceler quels sont les harmoniques qui représentent la majeure partie du signal et simuler celui-ci.

ANNEXE B

LISTE DES JOURS SECS, HUMIDES ET GELES D'AUTOMNE 1973

20 jours secs: 18,19,20,21,22,24,25,26,27,28,29,31 octobre et 3,4,5,6,7,9,10,
11 novembre 1973

14 jours secs: 18,19,20,22,26,27 octobre et 3,4,5,6,7,9,10,11 novembre 1973

27 jours secs et humides: 18-31 octobre et 1-13 novembre 1973

11 jours gelés: 14,17,18,19,20,21,22,24,25,26,27 novembre 1973

LISTE DES PLUIES D'OCTOBRE ET NOVEMBRE 1973

No	Date	Heure du début	Intensité au pluviomètre standard (pouces)
1	2.10	16 h 20	0.13
2	3.10	17 h 30	0.98
3	4.10	17 h 35	0.03
4	5.10	4 h 45	2.15
5	13.10	5 h 15	0.19
6	13.10	14 h 25	0.05
7	13.10	22 h 45	0.26
8	14.10	9 h 30	0.19
9	15.10	15 h 10	0.03
10	23.10	7 h 05	0.03
11	23.10	19 h 05	0.03
12	30.10	8 h 10	0.19
13	1.11	11 h	0.16
14	2.11	9 h 35	0.01
15	8.11	9 h 40	0.07
16	8.11	19 h 15	0.08
17	12.11	14 h 10	0.05
18	12.11	20 h	0.08
19	13.11	3 h 40	0.09
20	13.11	22 h	0.01
21	19.11	12 h 05	0.05

ANNEXE C

	Page
	1
METHODE D'ANALYSE DU CALCIUM ET DU SODIUM	1
METHODE D'ANALYSE DU CARBONE ORGANIQUE	2
METHODE D'ANALYSE DES CHLORURES	3
METHODE D'ANALYSE DU PHOSPHORE	3
METHODE D'ANALYSE DES SOLIDES EN SUSPENSION	

METHODE D'ANALYSE DU CALCIUM ET DU SODIUM

Le calcium (Ca^{++}) et le sodium (Na^+) sont dosés par absorption atomique.

Conditions d'opération:

Caractéristiques	Calcium	Sodium
Longueur d'onde	4232 Å	3202 Å
Courant de la lampe	5 m A	5 m A
Flamme	air/ C_2H_2 */ N_2O **	air/ C_2H_2
Etalon	CaCO_3	NaCl
Gamme de mesures	25 - 75 mg/l	50 - 200 mg/l
Précision	± 4 mg/l	± 2 mg/l

* C_2H_2 = acétylène

** N_2O = oxyde nitreux

Le volume d'échantillon requis pour chaque analyse est d'environ 10 à 20 ml

METHODE D'ANALYSE DU CARBONE ORGANIQUE

Les substrats organiques carbonés sont oxydés à haute température (950°C) en gaz carbonique. Les substances inorganiques carbonatées sont décomposées à 150°C en gaz carbonique. Le gaz carbonique produit est détecté à l'aide d'un analyseur à l'infra-rouge. Le carbone organique est obtenu par différence entre le carbone total déterminé à 950°C et le carbone inorganique déterminé à 150°C .

Un volume d'échantillon de 20 μ l est injecté dans l'analyseur de carbone (BECKMAN) où il est entraîné par un gaz vecteur; l'eau est vaporisée et le gaz carbonique produit est acheminé au détecteur infra-rouge.

Etalons:

- a) carbone organique (1000 mg/l): 2.125 g de phtalate bipotassique sec par litre d'eau décarbonatée;
- b) carbone inorganique (1000 mg/l): 4.404 g de bicarbonate de sodium + 3.497 g de carbonate de sodium par litre d'eau décarbonatée.

Gammes de mesures utilisées:

- a) Carbone total : 10 - 150 mg/l
- b) Carbone inorganique : 5 - 50 mg/l

Remarque: les échantillons sont injectés sans filtration préalable, mais après homogénéisation aux ultra-sons pendant 45 secondes.

Limite de détection: 1 mg/l de carbone

Précision : estimée à \pm 10% sur les échantillons non filtrés.

METHODE D'ANALYSE DES CHLORURES

Les chlorures sont analysés par la méthode argentométrique (Standard Methods 1971).

Pour éliminer les risques d'interférence (avec les sulfures, sulfites, thiosulfates) on procède à un traitement à l'eau oxygénée (H_2O_2 à 30%) après alcalinisation; le dosage est effectué après avoir ramené le pH à 7 par acidification.

Précision: erreur relative 1.7% (d'après Standard Methods 1971)

La méthode argentométrique est comparée par ailleurs avec la méthode au thiocyanate utilisée dans l'analyseur TECHNICON; la limite de détection est dans ce cas .2 mg/l dans une gamme 0-10 mg/l. Une comparaison sur 12 échantillons d'eaux d'égout ayant des concentrations entre 84 et 556 mg/l démontre un accord entre les deux méthodes à $\pm 5\%$; la méthode argentométrique est alors retenue.

METHODE D'ANALYSE DU PHOSPHORE

Le phosphore total est déterminé automatiquement à l'aide d'un analyseur TECHNICON. L'échantillon est soumis à une digestion (pentoxyde de vanadium, soude, acide perchlorique, acide sulfurique). Les ortho-phosphates formés sont dosés par colorimétrie après formation d'un complexe de phospho-molybdène de coloration bleue.

Limite de détection: .02 mg/l dans la gamme de mesures 0-1 mg/l de $P-PO_4$.

Les résultats sont exprimés en phosphates ($P-PO_4$).

METHODE D'ANALYSE DES SOLIDES EN SUSPENSION TOTAUX

Les solides en suspension totaux sont déterminés conformément à la méthode décrite dans Standard Methods (1971).

Des creusets de GOOCH ainsi que des filtres en fibre de verre (REEVE ANGEL 934AH, ϕ : 2.4cm) sont utilisés. La température du four est réglée à $105^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.

Le volume d'échantillon filtré varie de 25 ml à 100 ml.

La précision de la méthode est évaluée sur des échantillons de l'eau d'égout combiné, dans nos conditions d'analyses. Dix déterminations sur un même échantillon conduisent à une moyenne de 191 mg/l et un écart-type de 10.7 mg/l; huit déterminations sur un autre échantillon fournissent une moyenne de 150.7 mg/l et un écart-type de 10.5 mg/l.