

**Record Number:**

**Author, Monographic:** Bobée, B.//Coudert, J. F.//Couillard, D.//Demard, H.//Faure, T.//Leclerc, M.//Mascolo, D.//Langham, E. J.//Potvin, L.//Villeneuve, J. P.

**Author Role:**

**Title, Monographic:** Systèmes urbains de distribution d'eau : étude du système et de la demande

**Translated Title:**

**Reprint Status:**

**Edition:**

**Author, Subsidiary:**

**Author Role:**

**Place of Publication:** Québec

**Publisher Name:** INRS-Eau

**Date of Publication:** 1973

**Original Publication Date:**

**Volume Identification:**

**Extent of Work:** x, 49

**Packaging Method:** pages et 3 annexes

**Series Editor:**

**Series Editor Role:**

**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche

**Series Volume ID:** 12

**Location/URL:**

**ISBN:** 2-89146-010-3

**Notes:** Rapport annuel 1972-1973

**Abstract:** Rapport épuisé

**Call Number:** R000012

**Keywords:** rapport/ ok/ dl

<b>SELECTED WATER RESOURCES ABSTRACTS</b> INPUT TRANSACTION FORM		<b>W</b>
4. <b>URBAN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS - SYSTEM AND DEMAND ANALYSIS (Systèmes urbains de distribution d'eau - Etude du système et de la demande),</b>		7. <i>Report Title</i> 8. <i>Principal Organization Report No.</i>
INRS-Eau - Groupe Système Urbain		9. <i>Organization</i>
Québec Université. Institut National de la Recherche Scientifique-Eau (INRS-Eau).		10. <i>Contract Number</i>
11. <i>Sponsoring Organization</i> 12. <i>Reporting Dates</i> INRS-Eau, Technical Report No 12, 1973. 49 p. 3 append.		13. <i>Type of Report and Period Covered</i>
<p>This report sums up the group activities and points out further researches to come, concerning the water distribution and demand.</p> <p>Two steps can be distinguished: firstly, the analysis of the consumption pattern and of the distribution network behaviour; and secondly, the study of the methods to optimize the distribution. This last step is to provide the consumers with the best possible service, in accordance with the needs and the capability of the network to meet the demand.</p> <p>Furthermore, along with those studies, our group has developed some flow measuring devices and studied their behaviour.</p>		
17a. <i>Descriptors</i> *Water supply, *Water distribution, *Head loss, *Orifice flow, *Water demand, Flowmeters, Distribution Systems.		
17b. <i>Subjects</i> *Residential water use, Orifice Meter, Pulsation, Pulsation Damping, Water Loss, Pulsating flow measurement, Demand analysis, Consumption Pattern, Distribution optimization.		
3D		
		Send To: WATER RESOURCES SCIENTIFIC INFORMATION CENTER U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR WASHINGTON, D. C. 20240
M. Cantin		INRS-Eau

Systèmes urbains de distribution d'eau -  
étude du système et de la demande

INRS-Eau  
UNIVERSITE DU QUEBEC  
C.P. 7500, Sainte-Foy  
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 12  
1973

Rapport rédigé pour  
INRS-Eau

par  
Groupe système urbain

## SOMMAIRE

### Systemes urbains de distribution d'eau - Etude du systeme et de la demande.

Ce rapport fait le point des activités du groupe et dégage les directions futures de recherche dans le domaine de la distribution d'eau et de la consommation.

On peut distinguer deux niveaux: d'une part l'analyse de la structure de consommation, et du comportement du réseau de distribution; d'autre part la recherche des moyens à mettre en cours pour optimiser la distribution en donnant au consommateur le meilleur service possible estimé à partir des besoins et de la capacité des systèmes d'y répondre.

De plus, ces études ont conduit notre groupe à développer des équipements de mesure de débit et à en étudier le comportement.

INRS-Eau - Groupe Système Urbain. "Systèmes urbains de distribution d'eau - Etude du système et de la demande". *INRS-Eau, Rapport Technique No 12*, 49 p. 1973.

## ABSTRACT

### Urban Water Distribution Systems - System and Demand Analysis.

This report sums up the group activities and points out further researches to come, concerning the water distribution and demand.

Two steps can be distinguished: firstly, the analysis of the consumption pattern and of the distribution network behaviour; and secondly, the study of the methods to optimize the distribution. This last step is to provide the consumers with the best possible service, in accordance with the needs and the capability of the network to meet the demand.

Furthermore, along with those studies, our group has developed some flow measuring devices and studied their behaviour.

INRS-Eau - Groupe Système Urbain. "Systèmes urbains de distribution d'eau - Etude du système et de la demande". *INRS-Eau, Rapport Technique No 12*, 49 p. 1973.

Québec, le 1er septembre 1972

Le rapport qui suit est à la fois le résumé des travaux qu'effectuent depuis quatre ans certains membres de l'équipe et la description des objectifs que l'équipe espère poursuivre dans les prochaines années.

L'équipe de l' INRS-EAU, qui travaille actuellement sur le système urbain, est composée des personnes suivantes:

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| - Bernard Bobee          | Ing. Hydraulicien          |
| - Jean-François Coudert  | Ing. Hydraulicien          |
| - Denis Couillard        | Ing. Chimiste              |
| - Hubert Demard          | Ing. Arts et Métiers       |
| - Thierry Faure          | Ing. Hydraulicien          |
| - Michel Leclerc         | Ing. Civil                 |
| - Dominique Mascolo      | Ing. Civil                 |
| - E. J. Langham          | Physicien                  |
| - Lise Potvin            | Géographe                  |
| <br>                     |                            |
| - Jean-Pierre Villeneuve | Ing. Civil (Responsable) * |

\* Jusqu'à mai 1972, Dominique Mascolo, actuellement détaché en Côte d'Ivoire, était responsable de cette équipe.

## TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	v
Bibliographie	vi
1 - Position du problème	1-1
2 - Utilisation de l'eau en environnement urbain	2-1
2.1 - Production totale	2-2
2.2 - Production de pointe	2-5
2.3 - Consommation résidentielle	2-10
2.4 - Consommation industrielle	2-17
2.5 - Consommation commerciale	2-18
2.6 - Pertes	2-19
3 - Comportement des systèmes urbains	3-1
3.1 - Mise en équation	3-1
3.2 - Méthodes classiques de résolution	3-3
3.3 - But et utilisation des mesures	3-4
3.4 - Analyse des données	3-6
3.5 - Méthode de détermination des pertes	3-7
3.6 - Contrôle et gestion par ordinateur	3-8
4 - Instrumentation: mesure et contrôle	4-1
4.1 - Consommation résidentielle	4-1
4.2 - Réseau pilote de Sherbrooke	4-3
4.3 - Développements	4-4
4.3.1 - Mesures	4-4
4.3.2 - Acquisition de données, algorithmes et contrôle	4-4
a) Evaluation de la demande	
b) Etude du comportement du système	
c) Contrôle	

	<u>PAGE</u>
5 - Tarification de l'utilisation	5-1
5.1 - Tarification actuelle	5-1
5.2 - Analyse des coûts	5-1
5.3 - Compteurs et tarification	5-3
5.4 - Conclusion	5-5
Annexes	
A-1 Estimation de la consommation de résidences unifamiliales	A1-1
A-2 Estimation de la consommation industrielle et commerciale	A2-1
A2-1 Consommation industrielle	A2-1
A2-2 Consommation commerciale	A2-6
A-3 Orifice	A3-1
A3-1 Introduction	A3-1
A3-2 La mesure de pression	A3-1
A3-3 L'étude des orifices	A3-1



## LISTE DES TABLEAUX

- 2-3 - Importance relative des variables de la fonction demande en pourcentage de la production globale.
- 2-4 - Production par classes de population.
- 2-6 - Production en fonction du pourcentage de compteurs selon les classes de population.
- 2-7 A- Production d'eau par jour et par personne.
- 2-7 B- Production d'eau pour le Québec et la Nouvelle-Angleterre.
- 2-9 - Productions de pointe horaire et journalière.
- 2-11 - Résultats des études accomplies par différents chercheurs.
- 2-12 - Consommation résidentielle d'après Linaweaver et al (1967).
- 3-9 - Répartition des coûts impliqués par l'installation d'un débitmètre CEQUEAU à réponse continue.
- 5-2 - Statistiques sur l'instrumentation dans les systèmes canadiens de distribution d'eau.
- A2-2- Estimation de la consommation industrielle, coefficients moyens annuels.
- A2-5- Consommations minimales et maximales pour différentes usines d'une même industrie.

A2-8- Estimation de la consommation des lieux publics, coefficients  
moyens annuels.

## LISTE DES FIGURES

- 2-14 - Histogrammes de quelques résidences.
- 2-15 - Coefficient moyen de pointe journalière pour différentes unités de temps (résidences unifamiliales).
- 2-20 - Probabilité cumulative des débits de consommation domestique.
- 2-21A - Courbe typique de précision d'après Sisco.
- 2-21B - Précision moyenne d'un débitmètre en fonction du temps.
- 4-2 - Schéma du système d'acquisition de données (SAD) utilisé à Sherbrooke.
- 4-7 - Exemple de système de contrôle et de stockage de données.
- A3-4 - Schéma fonctionnel d'un système de mesures de pression.
- A3-6 - Géométrie de l'écoulement à travers un orifice.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS Fluid Meters, their theory and application, 5th ed. Report of ASME Research Committee on Fluid Meters. The American Society of Mechanical Engineers New York 203, pp. 1959
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS Power test codes, Flow Measurement Ch. 4 1959
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Data Communications: A Primer, Journal AWWA, Aug. 1971
- BAFFA, J.J. "Design of Small Sewage Treatment Plants", Public Works, pp: 116, août 1957
- BAGUENIER, G. "Production, consommation et distribution d'eau potable dans les Communes Urbaines" Techniques et Sciences Municipales l'eau, supplément au no. 11/70.
- BANKER, R.F. et BENSON, R.B. "Utility Water Rate Structuring", Journal AWWA, pp: 203-205, April. 1971
- BOWER, B.T. "Industrial Water Demands" Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada 1968
- BOWER, B.T. "Water Utilization in Petroleum Refining" Rapport préliminaire, Resources for the Future 1966
- CAMPBELL, F.C. "Distribution System Leakage Survey", Journal of AWWA, pp: 400-402, April 1970
- COBERLY, C.H. "Measuring Sewage Flow from Schools", Public Works, pp: 143 Mai 1964
- DEHOUSSE, N.M.; COYETTE, P. et PIRAPRE, E. "Le calcul par ordinateur des réseaux maillés de distribution d'eau", Rapport technique Université de Liège 27p. 1966
- FREDERICK, J.C. "Sewage Flow Considerations in Institutional Treatment Plant Design", Public Works, pp: 112, avril 1957
- GYSI, M. et LOUCKS, D.P. "Some Long Run Effects of Water - Pricing Policies", Water Resources Research, pp: 1371-1382, Dec. 1971
- HANKE, S.H. "Demand for Water Under Dynamic Conditions", Water Resources Research, pp: 1253-1261, Oct. 1970

- HITTMAN ASSOCIATES INC. "Main I: A System of Computerized Models for Calculating and Evaluating Municipal Water Requirements", Vol. 1, Hittman Associates Inc., Columbia 1968
- HITTMAN ASSOCIATES INC. "Price, Demand, Cost and Revenue in Urban Water Utilities", Report no. HIT - 474, Sept. 1970
- HOWE, C.W. et LINAWEAVER, F.P., Jr. "The Impact of Price on Residential Water Demand and its Relation to System Design and Price Structure", Water Resources Research, Vol. 3 no. 1, pp: 13-32 1967
- HOWE, C.W.; RUSSELL, C.S.; YOUNG, R.A. "Future Water Demands: 1970-1990" Resources for the Future, June 1970
- HUDSON, H.E. et JANET, A.L. "Water for Industry", American Association for the Advancement of Science, Washington DC, Publication no.45 1956
- HUDSON, W.D. "Reduction of Unaccounted for Water", Journal of AWWA, pp: 143-148, Feb. 1964
- IBERALL, A.S. "Attenuation of Oscillatory Pressures in Instrument Lines", Journ l of Research of the National Bureau of Standards U.S. Dept. of Commerce - R.P. 2115 - Vol. 45, July 1950
- KELLOW, R.L. "A Study of Water-Use in Single-Dwelling Residences in the City of Calgary, Alberta", Departement of Agricultural Economics and Rural Sociology, University of Alberta, Edmonton, Report 1, 176 pages, May-1970
- KNEESE, A.V. et LOF, G.O. "The Economics of Water Utilization in the Beet Sugar Industry", "The Johns Hopkins Press" pour Resources for the Future, Inc., Baltimore, Maryland 1968
- LARSON, B.O. et HUDSON, H.E., sr. Residential Water Use and Family Income, Journal AWWA, pp: 603-611, Aug. 1951
- O'LEARY, T. "Meter Reading Revolution, Journal AWWA, Aug, 1971 pp: 481-484
- McPHERSON, M.B. "Application of System Analysers", Water and Sewage Works, Vol. 109, pp: 53-67, Nov. 1962
- MANN, P.C. "A New Focus in Water Supply Economics Urban Water Pricing", Journal AWWA, pp: 534-537, Sept. 1970

- MARTIN, D. et PETERS, G. "The Application of Newton's Method to Network Analyses, by digital Computer", Journal of the Institution of Water Engineers, Vol. 17 pp: 115-129  
1963
- MARTIN, J.L. "Teleprocessing Network Organization. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1970
- MASCOLO, D. "Analyse générale des systèmes de distribution et application à un réseau municipal de distribution d'eau". Transaction of the Engineering Institute of Canada, pp: 1-8 vol. 12, June 1969
- MASCOLO, D. et BOBEE, B. "Computer identification of the Head Loss Coefficient Matrix in a Water Distribution Network", proceedings EIC Regional V Technical Conference, "Computer Applications-Canada's Opportunity" Peterborough, Ont., April 1970
- MASCOLO, D.; BOBEE, B.; DEMARD, H. "Urban Water System: The Case of the Missing Water". Communication présentée à la 85ème assemblée annuelle de l'Institut Canadien des Ingénieurs, Québec, 15-16-17 sept. 1971
- MASCOLO, D. et DEMARD, H. "Consommation en eau de résidences unifamiliales", Rapport 2-72, CEQUEAU, Québec 1972
- MILLIMAN, J.W. "Policy Horizons for Future Urban Water Supply", Land Econ., vol. 39, no.2, pp: 109-132, May 1963
- MOSELEY, D.S. "Measurement Error in the Orifice Meter on Pulsating Water Flow". Flow Measurement Symposium ASME Pittsburgh, Pa., pp: 103-123. Sept. 26-28 1966
- PFEIFFER, A. "A Note on the Theory of Corrugated Diaphragms for Pressure - Measuring Instruments". The Review of Scientific Instruments, Vol. 18, no.9, pp: 660-664 Sept. 1967
- PORGES, R. "Factors Influencing per capita Water Consumption", Water and Sewage Work, pp: 199-204, May 1957
- PATTERSON. W.L. "Demand Rates for Water Service", Journal AWWA, pp: 1261-1268, Oct. 1961
- QURAIACHI, G.M. "Domestic Water Use in Sweden", Journal AWWA, pp: 451-455, April 1963

- RAMEY, J.C. "Remote and Encoder Meter Register", Subcommittee on Remote and Encoder Registers, Journal AWWA pp: 586-588, Sept. 1971
- REID, G.W. "Technical Report I for Bureau of Reclamation", United States Department of Interior, Oklahoma Univ. Research Institute Norman, Ok.
- REPLOGLE, J.A. "Flow Meters for Water Resource Management", Water Resources Bulletin, Vol. 6, no.3, pp: 345-375 May-June 1970
- SALVATO, J.A. "Environmental Sanitation", John Wiley and Sons. 1958
- SEIDEL, H.F. et CLEASBY, J.L. "A Statistical Analysis of Water Works Data for 1960", Journal AWWA V. 58, no.12, pp: 1507-1527, Dec. 1966
- SHAMIR, U. et HOWARD, C. "Water Distribution Systems Analysis Part I, ASCE, proc.-hyd. Division, Jan. 1967
- SHARP, C. "Kansas Turnpike Sewage Treatment Plants" Public Works, pp: 142, Aug. 1957
- SISCO, R.C. "The Case for Meter Replacement Programs", Journal AWWA, pp:1449-1455, Nov. 1967
- SPARKS, C.R. "A Study of Pulsation Effects ou Orifice Metering of Compressible Flow", Flow Measurement Symposium, ASME, Pittsburg, Pa. pp: 124-138, Sept.26-28 1966
- TERRELL, C.E. et BEAN, H.S., Eds. "A.G.A. Gas Measurement Manual", A.G.A. 1er Edition 1963
- THURSTON, G.B. "Periodic Fluid Flow Through Circular Tubes", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 24, no.6 pp: 653-656, Nov. 1952
- WATER WORKS MANUAL and DIRECTORY "Directory of Municipal Water Supply System in Canada" 1963
- WALLER, R.O. "Locating Leaks in Mains and Services", Journal AWWA, pp: 403-404, July, 1970
- WARE, J.E.; NORTH, R.M. "The Price and Consumption of Water for Residential use in Georgia", Research Papaer no.40, Bureau of Business and Economic Research, Georgia State College, Oct. 1967

- WILDHACK, W.A.; DRESSLER, R.F. and LLOYD, E.C. "Investigation of the Properties fo Corrugated Diaphragus", Trans. ASME, pp: 65-8 , Jan. 1957
- WILLIAMS, T.J. "Pulsating Damping in Pressure Gauge Connections Indicating True Mean Pressure", The Engineer, pp: 378-379, March 6, 1959
- WISINESKI, K.S.; GARBER, M. "Per Capita Use of Water in Public Schools", Public Works, pp: 97, July 1953
- ZAREK, J.M. "The Neglected Parameters in Pulsating Flow Measurement", Flow Measurement Symposium ASME 1966



## 1 - POSITION DU PROBLEME

De plus en plus on considère l'eau comme un bien économique dont la disponibilité est limitée aussi bien en quantité qu'en qualité, comme tel son marché répond en particulier à la loi de l'offre et de la demande (AFIFI et BASSIE (1969), MILLIMAN (1964)). Pour satisfaire la demande, deux orientations s'affrontent actuellement dans le domaine de l'alimentation en eau. D'une part certains voudraient voir continuer la tendance à l'augmentation de la production et répondre à cette nouvelle demande par la construction de nouvelles structures (usine de filtration, stations de pompage, réservoirs, conduites). D'autre part une orientation récente se fait jour où l'on cherche à optimiser la distribution et l'utilisation de l'eau dans le cadre d'une gestion et d'un développement à long terme cohérent. Dans cette optique, un groupe de recherche a été formé au Centre Québécois des Sciences de l'Eau et ce texte constitue son rapport d'avancement ainsi qu'une présentation du programme.

Le but recherché est de fournir au consommateur le meilleur service possible estimé à partir des besoins et de la capacité du système d'y répondre.

L'ensemble du système comprend l'alimentation, la distribution et la consommation et notre approche se limite aux deux derniers aspects et comporte pour chacun deux niveaux:

- a) Analyse: qui comprend l'identification du comportement du réseau de distribution et des consommateurs;
- b) Moyens d'optimisation: de la distribution et de la consommation.

Ceci nous a amené à distinguer les étapes suivantes:

- 1 - identification de la fonction de demande des différents consommateurs urbains;
- 2 - analyse du comportement des différents éléments physiques d'un système urbain de distribution d'eau;
- 3 - développement de nouveaux types d'équipement pour la mesure des débits en conduite ainsi que la demande des différents consommateurs;
- 4 - analyse du comportement réel d'un réseau de distribution;
- 5 - développement théorique et expérimental de l'optimisation de l'utilisation de l'eau dans les systèmes urbains et du contrôle en temps réel de cette utilisation;
- 6 - identification et localisation automatiques des pertes ponctuelles dans le réseau;
- 7 - étude des différentes politiques en usage concernant la tarification des usagers des systèmes urbains.

Les quatre premières étapes de ce programme sont partiellement complétées et les travaux sur les étapes subséquentes sont en cours.

Les résultats pratiques de nos travaux peuvent actuellement se résumer ainsi:

- 1- conception et développement d'un débitmètre à réponse continue réduisant par un facteur 5 environ le coût d'instrumentation nécessaire à la mesure des débits instantanés en conduite et la transmission de l'information;
- 2- conception et mise en opération des différents éléments d'un système d'acquisition des données (SAD) devant servir de base à la gestion par ordinateur de l'ensemble d'un système de distribution d'eau;
- 3- durant les trois dernières années, et à titre expérimental, une première version d'un tel système a été installée et opérée à Sherbrooke pour obtenir:
  - a) le comportement dynamique du réseau de distribution du campus de l'Université de Sherbrooke (10 points de mesure de débit et 5 points de mesure de pression depuis mai 1970 jusqu'en octobre 1971) - nous indique les variations des débits et des pressions dans les conduites. Les données relevées ont été utilisées dans le modèle de comportement du système;
  - b) les caractéristiques de la consommation résidentielle (août 69 - août 71) - 12 résidences unifamiliales ayant des caractéristiques socio-économiques différentes ont été branchées sur le SAD et leurs débits de consommation mesurés à raison d'une valeur par résidence à toutes les 10 secondes. En plus des hydrogrammes de consommation journalière, les résultats de cette étape sont la détermination de la consommation horaire et demi-horaire maximale, l'importance de la pointe horaire journalière par rapport à la consommation journalière moyenne, la localisation dans le temps des pointes journalières, la durée des consommations selon le type d'utilisation interne, la simultanéité des

consommations de deux à 7 résidences, la variation de l'utilisation selon les jours de la semaine, etc...

Une des conclusions majeures de cette étape réside dans le fait que la consommation moyenne journalière per capita s'est avérée inférieure à 60 gal. U.S. Ce résultat si on le compare avec les normes habituelles (plus de 100 gal. par jour et par personne) est vraisemblablement un des éléments de réponse au problème des pertes.

## 2 - UTILISATION DE L'EAU EN ENVIRONNEMENT URBAIN

La demande en eau dans un environnement urbain est caractérisée par différents types de consommation reliés entre eux par la relation qualitative suivante:

$$D(t) = S(t) \cdot R(t) + I(t) + C(t) + M(t) + P(t) \quad (1)$$

où  $t$  est le temps

$D(t)$	représente la fonction globale de demande en eau
$S(t)$	représente le nombre de services résidentiels
$R(t)$	représente la consommation par service résidentiel
$I(t)$	représente l'utilisation industrielle totale
$C(t)$	représente l'utilisation commerciale totale
$M(t)$	représente l'utilisation municipale pour fins collectives
$P(t)$	représente les eaux perdues dans le réseau ainsi que les imprécisions dans les mesures.

L'importance relative de chacune de ces variables de la fonction de demande varie selon les localités, le prix de l'eau par unité consommée, sa qualité, la mesure de son utilisation, la pression disponible aux consommateurs et le niveau de vie collectif et individuel de la localité.

Plusieurs investigateurs se sont interrogés sur les différentes variables de cette fonction et parmi les plus importants citons les travaux de HOWE, RUSSELL et YOUNG (1967 - 208 réseaux) du JOHN HOPKINS UNIVERSITY WATER PROGRAM et de HITTMANN ASSOCIATES (1970 - 41 réseaux) aux Etats-Unis et ceux de QURASCHI (1963 - 133 réseaux) en Suède et BAGUENIER (1970 - 386 réseaux) en France. Le pourcentage des services équipés de compteurs dans ces études varient entre 75% et 100%, et la demande moyenne totale en eau se situe entre 1 et 150 MGD.

Le tableau 2-3 sommarise les résultats de l'étude de ces 768 réseaux selon le type d'utilisation. Quoiqu'indicatifs d'une certaine tendance, les résultats ainsi présentés ne doivent pas être pris comme étant valides pour une localité donnée. Ceci est dû au fait que les méthodes de mesure et de compilation ne sont pas uniformes dans tous les réseaux.

## 2.1 PRODUCTION TOTALE

Afin d'avoir une vue d'ensemble aussi valide que possible des productions totales et de pouvoir déterminer les facteurs pouvant influencer cette caractéristique, il nous a été nécessaire de recueillir le plus de données possibles sur le sujet. C'est pourquoi, plusieurs de nos chiffres sont puisés dans des inventaires et des recherches faites aux Etats-Unis. Une fois les facteurs d'influence déterminés, ces chiffres peuvent être aisément transposés aux conditions en vigueur dans le pays.

SEIDEL (1960) qui a fait une étude aux Etats-Unis sur 1,105 municipalités, situe la production journalière moyenne per capita à 128 US GPCD, le minimum pour une municipalité étant de 29, et le maximum 543. Cette différence indique déjà l'importance des facteurs de variations. Dans le tableau 2-4 des productions sont données en fonction d'un groupement par classes de population. Il est intéressant de noter qu'environ 80 pour cent des municipalités impliquées mesuraient entièrement la consommation d'eau résidentielle à l'aide de compteurs.

TABLEAU 2-3

IMPORTANCE RELATIVE DES VARIABLES DE LA

FONCTION DE DEMANDE

POURCENTAGE DE LA PRODUCTION TOTALE

	HOWE, RUSSEL ET YOUNG	HITTMAN ASSOCIATES	QURAIACHI	BAGUENIER (moins de 50,000 hab.)	BAGUENIER (plus de 50,000 hab.)
Résidentielle	41	36.4	52.0	38.3	32.4
Industrielle	24	16.1	] 25.2	10.8	6.9
Agricole	-	-		1.0	7.0
Commerciale	18	14.9		16.5	20.8
Municipale	] 17	15.4	13.9	6.2	7.8
Autres		17.2	8.9	27.0	25.1

TABLEAU 2-4

PRODUCTION PAR CLASSES DE POPULATION (selon SEIDEL 1960)

CLASSES (habitants)	NOMBRE DE MUNICIPALITE	PRODUCTION EN U.S. GPCD MOYENNE
0) 0 - 1,000	1	(85)
1) 1,000 - 5,000	97	121
2) 5,000 - 10,000	261	123
3) 10,000 - 25,000	308	124
4) 25,000 - 50,000	184	137
5) 50,000 - 100,000	109	129
6) 100,000 - 250,000	80	137
7) 250,000 - 500,000	28	131
8) Plus de 500,000	37	147
Toutes les classes	1,105	128
Classes 3 à 8 en 1960	477	137
Classes 3 à 8 en 1950	387	138
Classes 3 à 8 en 1945	398	125



Par ailleurs déjà en 1954, PORGES (1957) avait analysé l'influence des compteurs sur la consommation d'eau. Sa conclusion était que généralement, la consommation d'eau per capita tend à diminuer lorsque le pourcentage des mesures de consommation augmente. Le tableau 2-6 montre d'ailleurs cette tendance. En se basant sur ces données les municipalités ayant 100% des services équipés de compteurs rapportent une consommation inférieure de 25% environ à celles ayant moins de 50% des services équipés de compteurs.

L'analyse de cette simple statistique s'avère fructueuse, aussi, lorsque les municipalités sont regroupées par régions. Cette pratique fait ressortir l'influence du climat et du niveau d'industrialisation sur les consommations en eau. Par exemple toujours selon PORGES (1957), les régions humides de la Nouvelle-Angleterre et de la Côte Atlantique reportaient avoir une production moyenne de 125 US GPCD, ou moins, comparativement aux régions riches des Rocheuses qui avaient 211 US GPCD. La région des Grands Lacs par contre, avait une production d'eau de 163 US GPCD, ce qui s'expliquerait par la croissance économique très rapide que cette région a connue.

Une division par régions des Etats-Unis devient fort intéressante pour notre projet puisqu'on peut tirer certaines comparaisons entre le Québec et la Nouvelle-Angleterre et mettre à profit les recherches faites dans cette région. Ainsi donc au Québec, à partir d'un inventaire datant de 1962 et rapporté dans le "Canadian Municipal Utilities", la consommation d'eau moyenne, prise sur un total de 218 municipalités, s'élève à 135 US GPCD, comparativement aux résultats pris en Nouvelle-Angleterre qui, d'une part donnent en 1960, 108 US GPCD, à la suite de données sur 62 municipalités de 10,000 habitants ou plus et d'autre part, 117 US GPCD pour 153 municipalités en 1954. (Voir tableaux 2-7a,b)

## 2.2 PRODUCTIONS DE POINTE

Comme on l'a dit précédemment, les données annuelles ramenées à des données de production journalières moyennes per capita ne donnent aucune informa-

TABLEAU 2-6

PRODUCTION EN FONCTION DU % DE COMPTEURS SELON LES CLASSES DE POPULATION (SEIDEL 1960)

POPULATION	0-50% COMPTEURS/ USGPCD	50-95% COMPTEURS	95-99% COMPTEURS	PLUS 99% COMPTEURS	TOTAL
5,000 - 9,999	182	124	122	119	<u>129</u>
10,000 - 24,999	189	129	120	127	<u>134</u>
25,000 - 49,999	209	131	123	128	<u>133</u>
50,000 - 100,000	194	137	122	120	<u>129</u>
Plus de 100,000	170	155	149	137	<u>150</u>
TOTAL	<u>174</u>	<u>146</u>	<u>140</u>	<u>131</u>	<u>143</u>

TABLEAU 2-7a

PRODUCTION EN EAU PAR JOUR ET PAR PERSONNE

<u>PROVINCE DE QUEBEC: (1962)</u>	NOMBRE DE MUNICIPALITES	CONSOMMATION	
		I GPCD	US GPCD
POPULATION			
1) 1,000 - 4,999	121	106	127
2) 5,000 - 9,999	42	121	145
3) 10,000 - 24,999	36	122	146
4) 25,000 - 49,999	12	132	158
50,000 et plus	7	123	148
TOTAL	218		

TABLEAU 2-7b

PRODUCTION EN EAU POUR LE QUEBEC ET LA

NOUVELLE-ANGLETERRE

REGION ET ANNEE DES RELEVES	NOMBRE DE MUNICIPALITES	CONSOMMATION US GPCD
Province de Québec - 1962	218	138
Nouvelle-Angleterre * - 1954	153	117
Nouvelle Angleterre - 1960	62 (plus 10,000 hab)	108
* Comprend: Conn., Me., Mass., N.H., R.I., VT.		

tion sur les productions maximales journalières et horaires. Le tableau 2-9 qui provient de relevés faits en 1960 montre que le pic journalier moyen est presque deux fois plus élevé que la valeur de la consommation journalière moyenne pour les petites municipalités et de plus de une fois et demi (160%) celle des grandes communautés.

De même, le pic horaire moyen de production approche 300 pour cent de la production journalière moyenne pour les petits systèmes, et 250 pour cent pour les systèmes plus grands.

Ce type de caractéristique peut servir comme élément de départ dans la recherche des fuites d'un réseau de distribution. En effet, si l'on superpose un débit constant (fuites) aux variations de la demande le coefficient de pointe s'en trouve diminué. Il est à remarquer que toute comparaison dans ce domaine doit être faite entre systèmes de capacités équivalentes.

TABLEAU 2-9

PRODUCTIONS DE POINTE HORAIRE ET JOURNALIERE (SEIDEL 1960)

CLASSES (MGD)	PRODUCTION JOURNALIERE MAXIMUM		PRODUCTION HORAIRE MAXIMUM	
	NOMBRE DE MUNICIPALITES	COEFFICIENT DE POINTE	NOMBRE DE VILLES	COEFFICIENT DE POINTE
0) Moins de 0.1	4	(1.37)	19	3.55
1) 0.1 - 0.5	90	2.12	65	2.92
2) 0.5 - 1.0	157	1.89	68	2.82
3) 1 - 2	179	1.91	73	2.83
4) 2 - 4	155	1.86	43	2.85
5) 4 - 6	82	1.81	42	2.82
6) 6 - 10	78	1.75	44	2.76
7) 10 - 20	75	1.72	44	2.63
8) 20 - 50	55	1.75	32	2.55
9) Plus de 50	46	1.61		2.83
0 - 9	921	1.85	430	

### 2.3 CONSOMMATION RESIDENTIELLE:

Pour des fins d'analyse de la fonction de demande, les consommateurs résidentiels sont généralement regroupés en deux catégories:

- résidences unifamiliales
- résidences multifamiliales

Pour ces deux types de consommateurs on distingue de plus, deux types d'usage de l'eau:

- arrosage;
- usage domestique excluant l'arrosage de l'ensemble de la demande.

L'analyse de la fonction de demande d'un consommateur nécessite la connaissance de la demande moyenne, des coefficients de pointe, correspondant à différentes unités de temps (1 jour, 1 heure), ainsi que la répartition dans le temps de la consommation. Ceci est possible grâce à la mesure de la consommation et le degré de connaissance de la demande est intimement relié aux moyens mis en oeuvre (compteur et traitement des données).

Le tableau 2-11 présente un résumé des résultats de différentes études de la consommation résidentielle unifamiliale. Les résultats de LINAWEAVER et al (1967), pour un ensemble de 41 zones de mesure (incluant des appartements) à travers les U.S.A. apparaissent dans le tableau - LINAWEAVER et al ont surtout utilisé des compteurs placés sur les conduites principales et les chiffres qu'ils mentionnent sont caractéristiques d'un ensemble de services (Tableau 2-12).

TABLEAU 2-11

Résultats des études accomplies par différents chercheurs

Références	Année	Lieu	Echantillon	Source	Consommation journalière globale	Consommation résidentielle journalière	Coefficient de pic journalier	Coefficient de pic horaire	RÉFÉRENCES
Unités			Résidence		gpcd	gpd			
Bracket	1894	Mass.		f	30				
Fuertes	1906	New-York		f	30.2				
Fewkell	1921	Détroit		f	25.2				
Kellow	1970	Calgary	400	a		247 <sup>1</sup>			
				c		432 <sup>2</sup>	2	3	
Geyer & al	1967	USA	1,000	a		458 <sup>1</sup>	2.1 <sup>1</sup>	5.4 <sup>1</sup>	
				b		690 <sup>2</sup>	3.4 <sup>2</sup>	7.5 <sup>2</sup>	
Orndoff	1966	Baltimore	10*	d		322*	2.7*e	23*e	
			12*			226*	3.1*e	26.6*e	
Scott	1957			f			1.5 à 2	3 à 3.5	
Bleu	1965	Paris		b				1.8 à 2	
Dunn	1958	Kankakee III	208	a	155	41 gpcd	1.38		
Larson	1951	Illinois	13 municipalités	a	186	126 à 187			
Campbell	1963	Ontario	1	a		153			
Wolff	1957			f			1.5 à 2		
Linaweaver	1964	USA	150	b		249	3	8.1	
Seidel	1960	USA	91 millions hab.	a		183 à 235	1.6 à 2 <sup>9</sup>	2.5 <sup>9</sup>	
Seidel	1955	USA	70	a		140 à 275			
Demard	1972	Sherbrooke	12	d		281	2.8	6.0	

TABLEAU 2-12

CONSOMMATION RESIDENTIELLE D'APRES LINAWEAVER ET AL (1967)

(d'après une étude sur 41 zones aux USA)

	RESIDENCES UNIFAMILIALES			APPARTEMENTS	ENSEMBLE		
	Avec compteur d'eau		Sans compteur				
	Egoûts publics						
	Ouest USA	Est USA	Fosses septiques				
<u>Consommation totale</u>							
Moyenne annuelle	gpd	458	310	245	692	191	398
Pic journalier	gpd	979	786	726	2,354	368	1,096
Pic horaire	gpd	2,481	1,833	1,835	5,170	960	2,572
<u>Consommation domestique</u>							
Moyenne annuelle	gpd	247	209	191	236	157	215
	gpcd	67	51	47	66	62	59
Pic journalier	gpd	454	271	247	431	220	338
Pic horaire	gpd	1,214	536	530	1,016	659	809
<u>Arrosage</u>							
Moyenne annuelle	gpd	186	80	42	420	18	160
Pic journalier	gpd	707	556	523	2,083	194	857
Pic horaire	gpd	2,076	1,534	1,583	4,812	745	2,251



Ils ont fait ressortir une consommation domestique moyenne de 215 USGPD par service ainsi que des coefficients de pointe de 1.5 et 3.7 correspondant aux maxima journaliers et horaires.

MASCOLO et DEMARD (1972) ont étudié les variations de la consommation d'eau de résidences unifamiliales sur des échelles de temps variant de 10 secondes à 1 semaine. Cette étude a été réalisée à Sherbrooke sur 12 résidences à l'aide du système d'acquisition de données décrit au paragraphe 4.2. Un exemple d'histogramme de consommations d'eau de quelques résidences est présenté en figure 2.14 et met en évidence l'importance des variations horaires. Les coefficients de pointe correspondant à différentes unités de temps augmentent de 1.9 pour la consommation journalière à 56 pour les débits de pointes instantanés correspondant à environ 12 GPM (figure 2-15). MASCOLO et DEMARD (1972) ont également mis en évidence des variations hebdomadaires telles que la consommation des jours de fin de semaine (samedi, dimanche et également lundi) représente plus de la moitié de la consommation de la semaine.

D'autre part, en faisant l'hypothèse d'indépendance des consommations des différentes résidences, il est possible de superposer directement leur demande dans le but d'évaluer les contraintes qu'une rue, un quartier imposent sur un réseau de distribution (figure 2-15).

L'arrosage a fait l'objet d'une étude particulière de LINAWEAVER et al (1967) qui ont constaté que la moyenne d'eau consommée à cet effet correspond en moyenne à l'évapotranspiration calculée à partir des données climatologiques (formule de THORNTHWAITE).

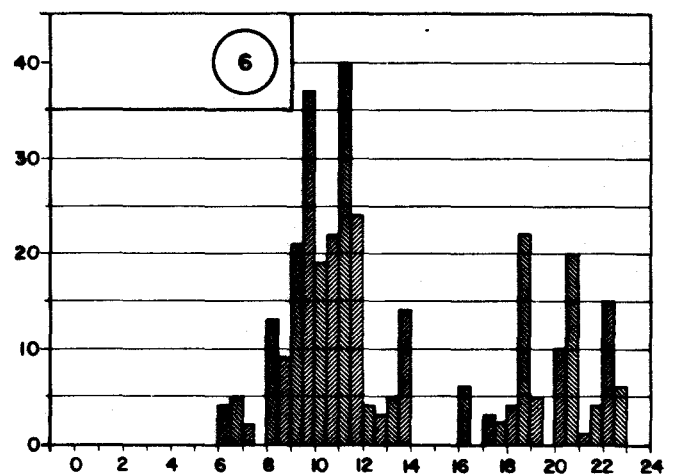
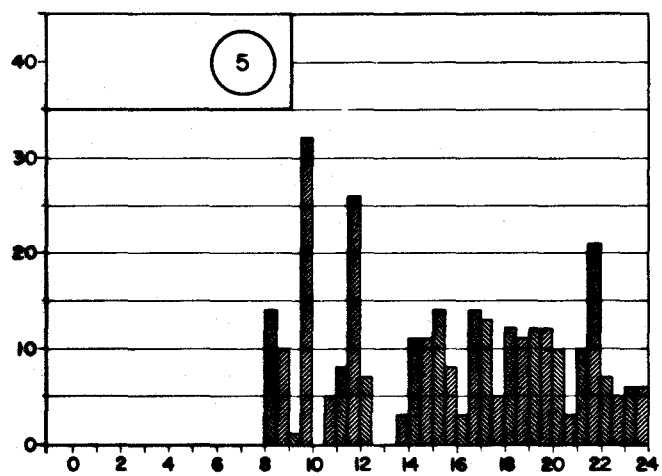
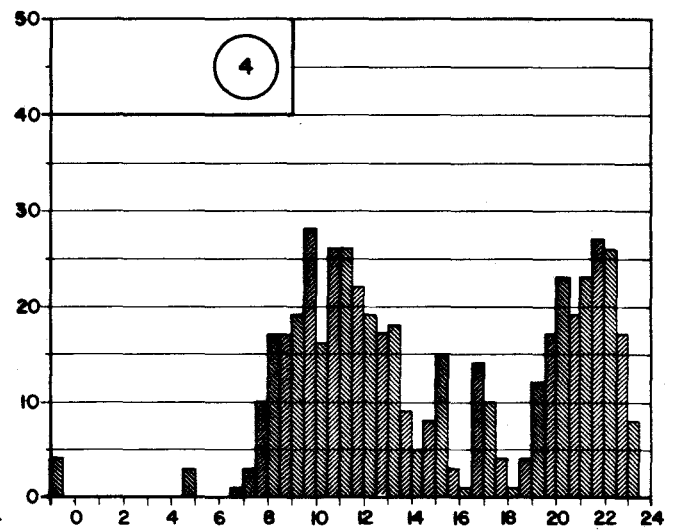
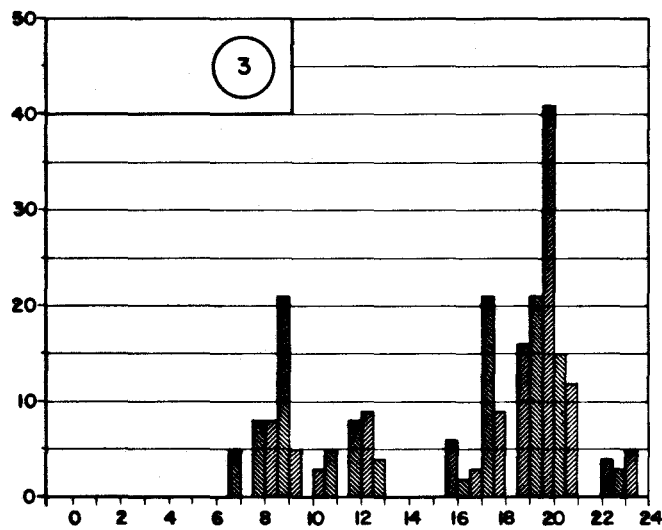
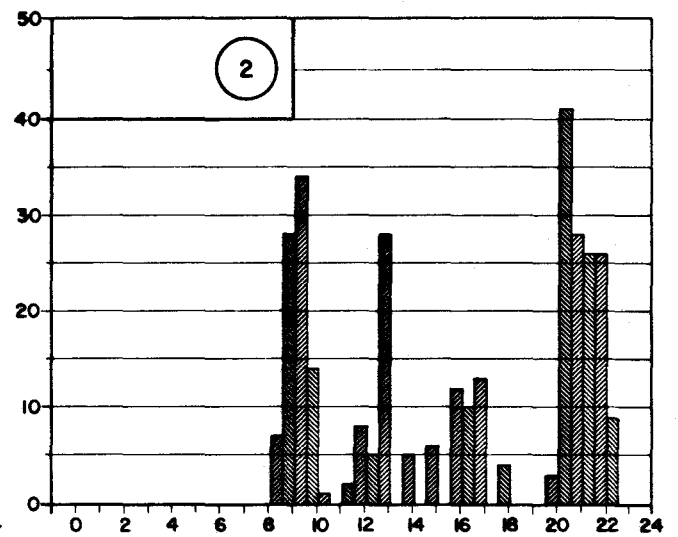
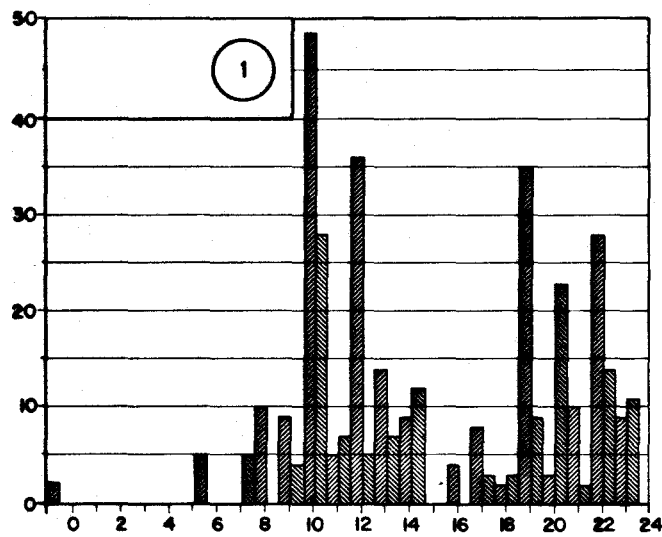


Figure: 2-14 Histogrammes de quelques résidences

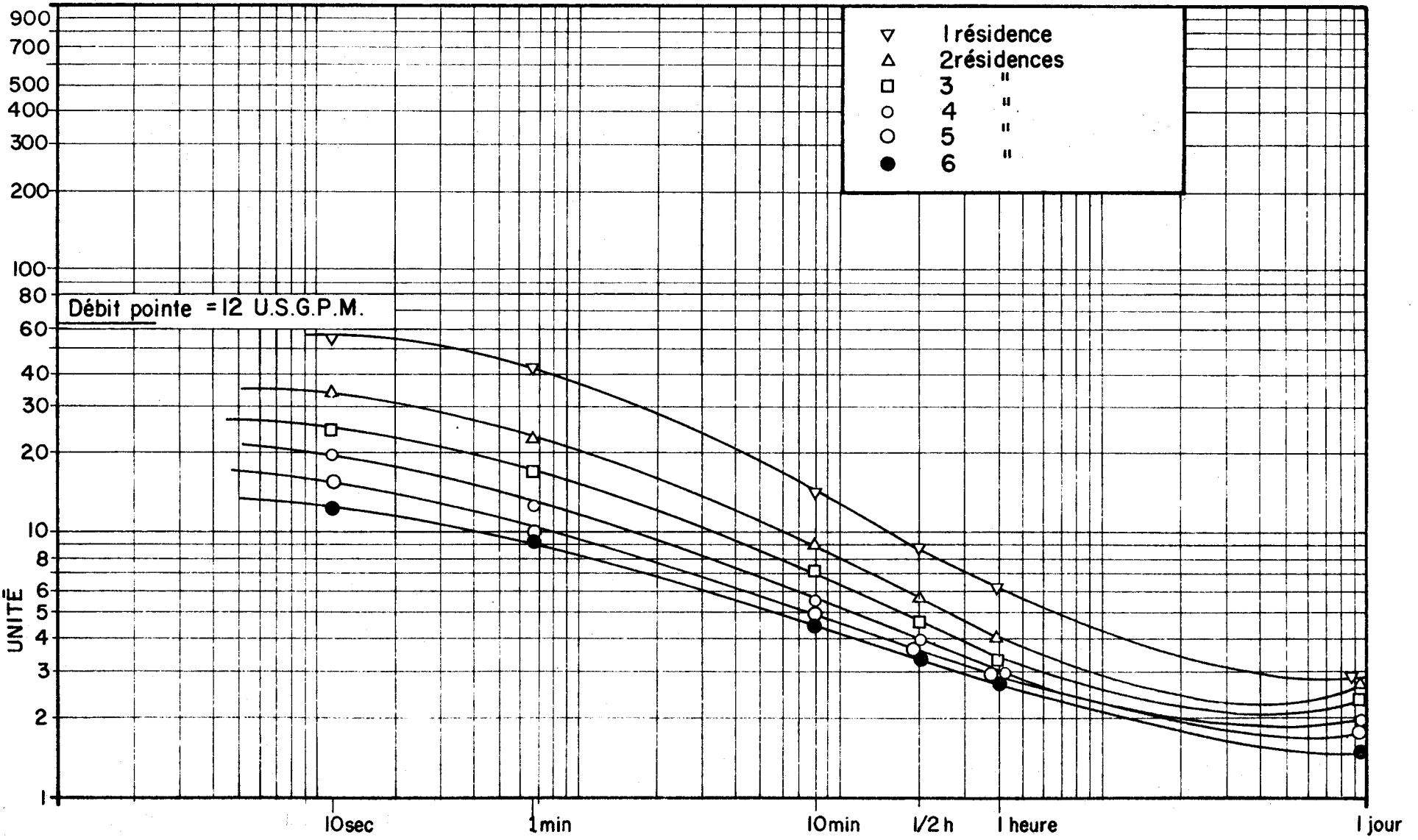


FIG 2.15 Coefficient moyen de pointe journalière pour différentes unités de temps. (Résidences unifamiliales)

Dans une première étape il n'est pas possible d'évaluer directement les caractéristiques de la consommation d'eau de toutes les résidences (manque de compteurs) aussi est-on amené à les estimer. LINAWEAVER et al (1967) et HITTMANN (1968) ont établi des régressions multiples permettant, à partir des caractéristiques socio-économiques d'une résidence ainsi que des données climatologiques, de calculer la consommation domestique moyenne ainsi que l'arrosage (Annexe 1).

Nous envisageons actuellement l'étude de la consommation de résidences multifamiliales, de ses variations tant saisonnières que journalières. L'aspect de la superposition des consommateurs sera également abordé mais par analyse statistique plutôt que par addition directe.

## 2.4 CONSOMMATION INDUSTRIELLE

La fonction de demande industrielle pour une municipalité donnée est certainement l'une des mieux connues tout au moins en ce qui concerne les consommations journalières moyennes. En effet, il s'agit généralement d'utilisateurs dont l'importante consommation a pu justifier l'implantation de compteurs. De plus, si le processus industriel fait appel à l'eau les quantités mises en jeu sont généralement connues si bien que la fonction de demande industrielle sur le réseau municipal n'a pas fait l'objet d'études réellement poussées.

En fait, l'évaluation des besoins en eau du secteur industriel est beaucoup plus difficile à faire que celle se rapportant aux secteurs résidentiel et commercial. En effet, les quantités d'eau nécessaires à l'industrie sont fonction de plusieurs facteurs, en particulier:

- 1 - du degré de recirculation de l'eau dans le procédé. En augmentant la quantité d'eau recirculée, on diminue grandement le volume d'eau nécessaire par unité de production;
- 2 - de la substitution de l'eau potable par une eau de plus faible qualité. Certaines usines demandant de grandes quantités d'eau d'une qualité moindre que celle fournie par le système municipal, développent leur propre système de distribution. Cette eau est utilisée dans la majeure partie du procédé et la compagnie achète l'eau potable du système urbain pour les besoins sanitaires des employés;
- 3 - de la grosseur de l'usine. Une étude fragmentaire réalisée par BOWER (1966) démontre que pour une raffinerie de pétrole, l'eau nécessaire par baril est plus élevée pour une usine de grande capacité;
- 4 - du prix de l'eau. Plusieurs usines préfèrent bâtir leur propre réseau d'alimentation lorsque l'eau est vendue à un prix élevé par la municipalité. Cette politique réduit d'autant le coût de revient du produit.

Compte tenu de ces éléments et après une revue sommaire de la littérature, on se rend compte que toutes les tentatives, pour développer un modèle empirique pour le secteur industriel, ont échoué. Présentement, la seule façon pour évaluer adéquatement la quantité d'eau dans ce secteur est d'étudier les différentes étapes du procédé pour chaque industrie et pour chaque usine en fonction du temps. Cette évaluation a été faite par BOWER (1968) pour les raffineries de pétrole et par KNEESE et LOF (1968) pour l'industrie de la betterave à sucre. HITTMANN (1968) propose la méthode des coefficients permettant l'estimation des quantités d'eau pour l'industrie; cette méthode est présentée en annexe 2.

En conclusion, une mesure directe de la consommation industrielle

- par les compteurs existants avec évaluation des pics d'après les processus industriels mis en jeu;
- par l'implantation de débitmètres dans certains cas

semble plus intéressante qu'une évaluation indirecte telle que mentionnée dans le paragraphe 2.3 pour la consommation résidentielle.

## 2.5 CONSOMMATION COMMERCIALE

De la même façon que pour les usages résidentiels et industriels la fonction de demande des services commerciaux peut-être

- une conséquence des résultats de l'analyse des relevés de compteurs existants;
- une estimation à partir de modèles mathématiques adéquats.

Il est à noter que, le nombre des utilisateurs du type commercial étant plus important que celui des utilisateurs industriels, les estimations des caractéristiques de la consommation en eau sont généralement plus précises. L'annexe 2 donne la méthode proposée par HITTMANN pour évaluer la consommation en eau du secteur commercial à partir de coefficients basés sur l'unité d'utilisation.

## 2.6 PERTES

Nous appelons pertes dans un réseau de distribution, la différence entre la quantité réelle d'eau produite et la quantité d'eau délivrée aux différents consommateurs (et plus précisément la quantité d'eau facturée lorsque les consommateurs disposent de compteurs). Les causes de perte d'eau produite sont

1. mesure inadéquate de l'eau en tête de distribution.
2. fuites dans les conduites principales et aux embranchements des services à ces conduites principales;
3. imprécision dans les débits-mètres existants et employés dans les services domestiques, commerciaux et industriels;
4. utilisation de l'eau depuis les bouches d'incendie;
5. utilisation illégale de l'eau par des connections au système de distribution qui ne sont pas rapportées au distributeur;
6. écoulement à travers des vannes de bout de conduite mal fermées;
7. fuites non identifiées dans les systèmes et présentement non économiques de localiser et de repérer.

Actuellement il n'est pas possible d'estimer l'importance relative de chacune des causes.

Mentionnons au sujet de l'item 3 que HUDSON (1964) conclut qu'après 9 ans de fonctionnement, 20% des compteurs domestiques ne sont plus sensibles aux débits inférieurs à 3/4 GPM. La comparaison - figure 2-20 - entre la distribution des débits tels que relevés par HUDSON (1964) et celle indiquée par MASCOLO et DEMARD (1972) d'après les mesures effectuées à Sherbrooke met en évidence cette sous-estimation des compteurs volumétriques classiques. En outre SISCO (1967) a démontré sur des compteurs neufs l'imprécision des mesures (figures 2-21 a et b).

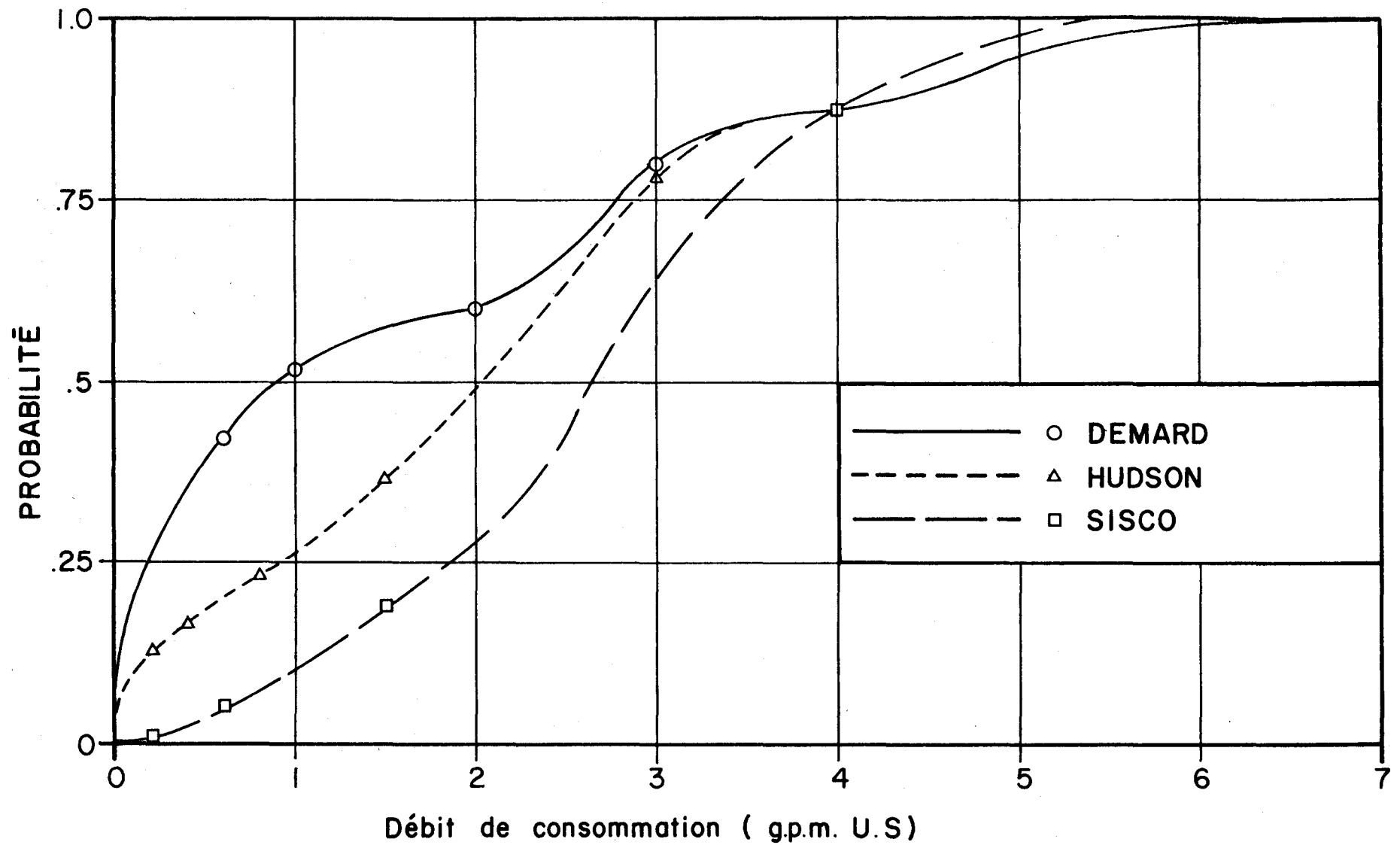
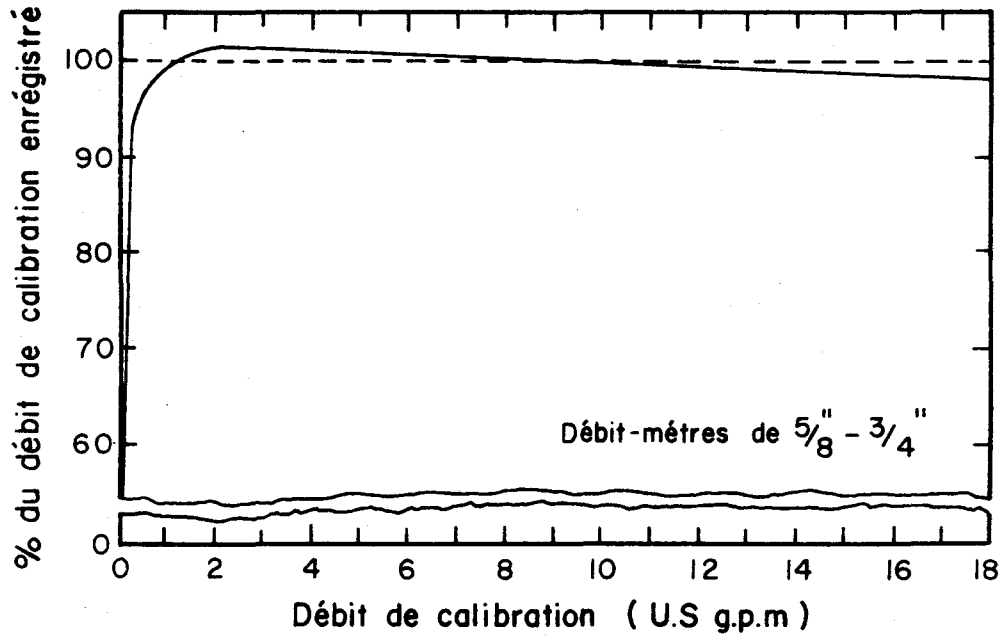


Figure 2-20 Probabilité cumulative des débits de consommation domestique

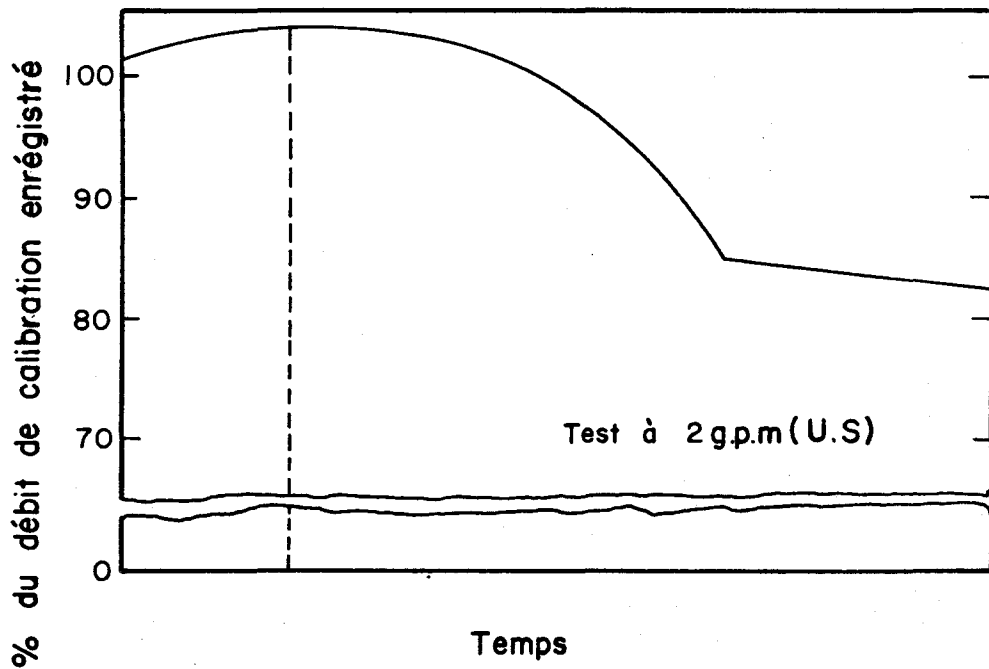


Figure 2-21a



Courbe typique de précision d'après Sisco

Figure 2-21b



Précision moyenne d'un débit-mètre en fonction du temps

Il est à remarquer (AQTE, rapport préliminaire) que la plupart des municipalités sous-estiment les pertes dans leur réseau et que, faute de compteurs, la consommation résidentielle est estimée aux environs de 110 à 130 USGPD. Si l'on compare ces chiffres à ceux avancés par LINAWEAVER (1967 - 310 USGPD pour l'est américain) KELLOW (1970 - 240 USGPD pour Calgary) et MASCOLO et DEMARD (1972 - 290 USGPD pour Sherbrooke), il apparaît une différence d'environ 150 USGPD imputable aux pertes telles que définies précédemment.

Face à ce chiffre, il est toujours possible d'accroître la production à la satisfaction des consommateurs, cependant dans un programme de gestion d'un système de distribution, il nous semble intéressant d'envisager une estimation ainsi que le contrôle des fuites importantes. HOWE, RUSSELL et YOUNG (1970) ont par ailleurs étudié l'économie réalisée par une politique de détection systématique des fuites; ils mentionnent une diminution de 9% de la production correspondant à une réduction de coût d'environ \$0.02 le 1,000 gallons.

En ce qui concerne les petites fuites (item 7) KUICHLING les estime à environ 1,500 à 2,500 GPD par mille de conduites. Les méthodes actuelles de détection des fuites importantes peuvent se résumer aux trois types suivants:

- 1- méthode électro-sonique employant des capteurs amplifiant l'intensité des sons produits par les fuites souterraines;
- 2- méthodes employant des injections de teinture non dommageable (Fuchsine) sous pression; son évolution est ensuite suivie à travers la conduite ou le service impliqué;
- 3- méthodes de proche en proche consistant à isoler une section de conduite, fermant toutes les vannes des services et mesurant la vitesse directement dans la conduite par tube de Pitot ou le débit dans une conduite de diversion.

A mesure que la vérification de l'absence de fuites est complétée sur la première conduite, d'autres sont ajoutées et de proche en proche le système complet est vérifié.

CAMPBELL (1970) rapporte l'utilisation du troisième type de détection sur le système de la ville de Louisville pour l'année 1964. Un total de 266 fuites débitant environ 6 USmgj et de 14 sous-enregistrements équivalant à 3.7 USmgj ont pu ainsi être détectés. En appliquant pour les pertes des coûts respectifs de \$0.03 et \$0.15 du 1,000 gallons, les économies réalisées par ce programme de détection ont permis de payer en une année les coûts directs et indirects de l'étude totalisant environ \$260,000, environ 65% de ce montant ayant servi à payer la main d'oeuvre et les structures de 26 stations permanentes.

### 3 - COMPORTEMENT DES SYSTEMES URBAINS

Dans l'analyse du comportement d'un système urbain de distribution d'eau, un certain nombre d'équations sont disponibles pour déterminer ses caractéristiques hydrauliques (débit, consommation, charge), et physiques (résistance des conduites).

Les méthodes classiques de résolution de ces équations conduisent habituellement à la détermination des charges et des débits en supposant connus les consommations, les résistances et le plan de charge. Notre approche nous permet à l'aide de mesures in situ (pression et débit) de calculer également certaines consommations et résistances.

Les études actuelles de notre groupe sont orientées vers:

- la détermination et la localisation des pertes dans un système urbain;
- le contrôle continu du système à l'aide d'un ordinateur grâce à la connaissance du comportement dynamique du système.

Après identification du problème, ce chapitre présente une rapide revue des méthodes actuelles de résolution et place l'emphase sur l'originalité de notre approche en faisant le point des travaux réalisés et des développements futurs.

#### 3.1 MISE EN EQUATION

Considérons un réseau de  $N$  noeuds et  $P$  conduites, dont la configuration géométrique, (élévation et position des noeuds, diamètre et longueur des conduites) est connue.

Les  $(2N + 2P)$  éléments à calculer ou à estimer sont:

- Les  $N$  consommations algébriques ( $C$ ) ramenées aux noeuds (ce sont les soutirages ou les apports d'eau aux noeuds considérés);
- les  $N$  charges ( $H$ ), c'est-à-dire en chaque noeud, la hauteur de la ligne de charge par rapport à un plan de référence, (plan de charge);
- les  $P$  débits algébriques ( $Q$ ), dans chaque conduite, (le débit peut être positif ou négatif suivant le sens de l'écoulement);
- les  $P$  résistances ( $R$ ), qui sont fonction des caractéristiques géométriques, de la rugosité et de l'âge de la conduite.

Le réseau contient en outre, des éléments singuliers (pompe, vanne, etc....), ils peuvent être alors considérés comme des conduites fictives.

Les équations représentatives du phénomène sont:

- 1 - les équations d'équilibre en chaque noeud exprimant que la somme algébrique des débits et des consommations en ce noeud est nulle:

$$F = \sum Q + C = 0 \quad (3.1-1)$$

où  $F$  est la fonction de continuité au noeud.

Il y a  $N$  équations de ce type liées par une relation exprimant que la somme algébrique de toutes les consommations est nulle (la somme des demandes égale la somme des apports), il y a donc  $(N-1)$  équations de ce type indépendantes.

- 2 - les équations de maille exprimant que la somme des différences de charge sur un contour fermé est nulle, on démontre qu'il y a  $(P-N+1)$  équations indépendantes de ce type.

$$\sum \Delta H = 0 \quad \text{sur une maille} \quad (3.1-2)$$

- 3 - les  $P$  équations de frottement reliant pour chaque conduite, la différence de charge, le débit et la résistance.

$$Q = f(\Delta H, R) \quad (3.1-3)$$

où  $\Delta H$  est la différence de charge entre les extrémités de la conduite.

Ces trois systèmes d'équations ne sont pas indépendants entre eux. En effet, on ne peut déterminer au maximum que  $(P+N-1)$  éléments qui

sont, par exemple, lorsqu'on étudie l'équilibrage d'un réseau:

- les P débits de chaque conduite;
- les (N-1) différences de charge indépendantes.

On peut alors déterminer toutes les charges à partir de la connaissance du plan de charge.

Dans ce cas, on doit estimer (N+P+1) éléments, qui sont les résistances, les consommations et la charge en un noeud.

De manière plus générale, la connaissance par estimation ou mesure de (N+P+1) éléments de l'ensemble (H,Q,R,C) permet la détermination de (N+P-1) autres éléments inconnus de cet ensemble, (il y aura cependant, certaines restrictions dans le choix des inconnus selon la méthode de résolution utilisée).

### 3.2 METHODES CLASSIQUES DE RESOLUTION

Pour une bibliographie des développements pré-1962, Mc-PHERSON (1962) fait une revue des méthodes employées, utilisables sur un ordinateur. Ici, nous considérons les méthodes itératives digitales récentes.

- 1 - DEHOUSSE (1966) en éliminant les différences de charge entre les systèmes d'équations (2) et (3), et en utilisant (3.1-1), détermine les débits des conduites;
- 2 - d'autres auteurs en éliminant le débit entre les systèmes d'équation (3.1-1) et (3.1-3), obtiennent le système de N équations non linéaires:

$$F_j (H,R,C) = 0 \quad j = 1 \dots N$$

(3.2-1)

La résolution de ce système est effectuée par la méthode itérative de Newton-Raphson, à l'aide d'un ordinateur.

MARTIN et PETERS (1963) ne considèrent comme inconnues, que les charges.

SHAMIR et HOWARD (1967) envisagent la possibilité de prendre N inconnues dans l'ensemble (H,R,C) avec certaines restrictions dans ce choix.

MASCOLO (1969), prend N inconnues parmi les charges et les consommations et introduit la notion de comportement dynamique des réseaux.

L'utilisation de la méthode de Newton Raphson, pose en particulier des problèmes de convergence:

La résolution peut être impossible en raison d'un mauvais choix des N inconnues dans l'ensemble (H,R,C); MASCOLO et BOBEE (1970) ont mis en évidence certains cas singuliers que Shamir et Howard n'avaient pas envisagés et proposent une méthode pour identifier le maximum de résistances indépendantes que l'on peut prendre comme inconnues. D'autre part, notre groupe a mis au point un processus d'accélération de la convergence (environ trois fois moins d'itérations), ce qui permet de réduire le coût d'exploitation du programme de manière significative.

### 3.3 BUT ET UTILISATION DES MESURES

La politique de production et de distribution d'eau dans les agglomérations urbaines doit viser à la satisfaction permanente des consommateurs, et ceci au moindre coût. Cet objectif implique l'élaboration d'un mode de gestion efficace basé sur une connaissance des variations dans le temps des caractéristiques du réseau, et des pertes qui s'y produisent. Cet-

te connaissance obtenue à partir de mesures précises nous permettra un contrôle efficace, lorsque celles-ci seront introduites dans le modèle de simulation.

La géométrie du réseau étant connue, i.e., diamètre, longueur des conduites, élévation des noeuds, les caractéristiques mesurables sont:

- les consommations: elles peuvent être obtenues à partir de débitmètres (voir chapitre 4), ou estimées à l'aide de considérations socio-économiques (chapitre 2).
- les pressions: la précision exigée ne peut être atteinte par les instruments de mesure; les études lors du projet-pilote de l'Université de Sherbrooke (voir chapitre 4), ont en effet révélé des pertes de charges linéaires dans les conduites de l'ordre de 1 pied d'eau, et le sens du débit ne pouvait alors être connu que si l'on mesurait les pressions aux extrémités de la conduite avec une précision supérieure à 3/1000.
- les débits: leurs mesures peuvent être effectuées avec une bonne précision, et présentent donc un intérêt majeur.

Pour un réseau de  $N$  noeuds et  $P$  conduites, nous avons vu (2.1) que la connaissance de  $(N+P+1)$  éléments de l'ensemble  $(O,H,R,C)$  peut permettre la détermination des  $(N+P-1)$  autres éléments.

Si donc nous mesurons  $M$  débits, il sera possible de déterminer  $M$  inconnues supplémentaires prises dans l'ensemble  $(C,R)$  en plus des  $(n-1)$  charges indépendantes (une charge est toujours mesurée pour fixer le plan de charge).

En pratique, dans les méthodes de résolution citées (3.2), les débits sont des inconnues du système, donc leur mesure ne



peut servir que de vérification. C'est pourquoi, pour introduire explicitement dans les équations les contraintes dues aux mesures de débits, notre groupe a généralisé ces méthodes.

Les algorithmes obtenus font alors intervenir les débits mesurés, et permettent le calcul d'autres éléments tels que les résistances et les consommations.

Notre travail actuel consiste à comparer les différents algorithmes pour voir lequel converge le plus rapidement.

### 3.4 ANALYSE DES DONNEES

Lors de l'étude-pilote effectuée sur le réseau de l'Université de Sherbrooke, des mesures instantanées de débits et de consommations en différents points ont été relevées au même instant. Les grandeurs obtenues ne représentent pas un état d'équilibre pour deux raisons:

- il y a toujours des oscillations dans les conduites dues à une succession de régimes transitoires;
- une perturbation produite en un point met un certain temps pour se propager aux autres points du réseau, mettant en évidence un décalage temporel de la réponse.

On ne peut donc utiliser directement les données brutes, et il est nécessaire de les analyser pour introduire dans l'algorithme des valeurs correspondant à un état d'équilibre.

L'analyse des données du réseau de Sherbrooke, particulièrement sensible aux perturbations (nombreux soutirages simultanés, taille réduite du réseau), s'est orientée dans deux directions:

- obtention de moyennes des valeurs instantanées sur une période variable avec le phénomène mesuré. Des essais sur des intervalles de temps allant de 4 secondes à 1 heure, permettent d'évaluer la période optimale sur laquelle la moyenne doit être calculée.

- calcul des coefficients de corrélation entre les séries de mesures prises en deux points du réseau avec un décalage de temps de 4 secondes à 20 minutes.

Le coefficient de corrélation est maximum pour un décalage correspondant au temps de propagation d'une perturbation entre les deux points considérés.

Il est alors possible par ces 2 études, d'obtenir les données transformées, compatibles avec l'algorithme. Nous envisageons de poursuivre l'étude des données par une analyse plus complète (analyse spectrale).

### 3.5 METHODE DE DETERMINATION DES PERTES

MASCOLO, BOBEE, DEMARD (1971) ont montré l'importance des pertes d'eau dans les réseaux urbains. Elles peuvent en certains systèmes urbains, représenter jusqu'à 50% de l'eau produite (cf section 2.6 ). La détection des fuites mineures, qui peuvent être importantes en nombre mais qui représentent une faible proportion de l'eau produite, a peu d'intérêt économique.

L'élimination des pertes les plus importantes, par ailleurs au contraire, entraîne des économies significatives directes et indirectes (report de plusieurs années des investissements), et justifie donc les recherches entreprises dans cette direction.

La souplesse de la méthode utilisée permet de prendre des résistances comme inconnues du système. Si donc nous mesurons des débits, il devient possible de calculer les résistances effectives de certaines conduites. MASCOLO, BOBEE (1970) ont cependant montré qu'il y a certaines restrictions dans le choix des résistances inconnues et ont mis au point une méthode de détermination automatique des résistances indépendantes. D'autre part il est aussi possible d'estimer à l'aide

de formules empiriques la résistance d'une conduite donnée, ceci avec une certaine erreur. On obtient ainsi une plage de variation à l'intérieur de laquelle la valeur calculée de la résistance devrait se trouver en l'absence de fuites importantes. Un écart important entre valeurs estimées et calculées indique la présence de fuites. La précision dans la localisation des pertes dépend du nombre de résistances que nous pouvons calculer, donc du nombre de débits mesurés. Leur localisation est donc directement liée à la densité des points de mesures de débits.

L'installation de ces points de mesure de débits dans un système urbain implique des déboursés de l'ordre de \$2,500 à \$4,100 par point de mesure pour des débits-mètres variant entre 10" et 30". Le tableau 3-9 ci-après présente la répartition des coûts selon les différents éléments de l'installation des débits-mètres sur le terrain. C'est donc dire que pour une ville de 100,000 habitants à raison d'un orifice par 1,000 habitants, le coût global de ce système incluant le coût d'achat d'un système d'acquisition des données (voir chapitre 4), et le coût du traitement des données par ordinateur se chiffre à environ \$400,000.

### 3.6 CONTROLE ET GESTION PAR ORDINATEUR:

Les données transformées de débit (3.4), et les valeurs estimées des consommations (cf chapitre 2), et de certaines résistances, permettent de déterminer à l'aide des algorithmes les caractéristiques inconnues lors de différents états d'équilibre du réseau. Il devient alors possible par cette connaissance, de suivre le comportement dynamique du réseau, et l'on peut, dès lors envisager un contrôle par ordinateur permettant d'intervenir sur les éléments du réseau pour satisfaire de manière continue l'utilisateur.

TABLEAU 3-9

REPARTITION DES COUTS IMPLIQUES PAR L'INSTALLATION D'UN

DEBIT-METRE CEQUEAU A REPOSE CONTINUE SUR UNE CONDUITE

	\$	\$
<u>Orifice:</u>		
Achat de matériel, construction et calibration	250	
Cellules DP à pression différentielle	600	850
<u>Installation:</u>		
4 hommes-jour à \$30	120	
Chambre 4'x7'x6' coulée sur place	550	
Excavation et remplissage	250	
Correction de pavage	100	1,020
<u>Transformation tuyauterie:</u>		
Coupe du tuyau, posage du dresseur -		
High Prescon: 14"-\$655 - 20"-\$1,032 - 30"-\$1,700		250 - 1,800 moyen
Fonte: 12"-\$245 - 20"-\$1,192 - 30"-\$1,774		
<u>Electricité:</u>		
Entrée 60amp (15amp de prot. interne)		
\$131 + \$0.64/pied de fil (\$200, en moyenne)		250
Coût du courant - \$1.19/mois	annuellement	15
<u>Lignes téléphoniques:</u>		
Installation - \$5		
Location mensuelle - \$5	annuellement	65
<u>Entretien</u>	annuellement	100
		<hr/>
Coût / point de mesure		2,550 - 4,100

Ce contrôle ainsi que l'élimination des principales pertes, sont les éléments essentiels d'une gestion efficace (c'est-à-dire avec un coût minimum), d'un système urbain de distribution d'eau. Cet objectif ultime de notre groupe pourra être atteint lorsque les différentes étapes du programme seront complétées.

#### 4 - INSTRUMENTATION: MESURE ET CONTROLE.

Aussi bien dans les étapes déjà réalisées (consommation résidentielle, réseau pilote de Sherbrooke) que dans la suite du programme (contrôle) l'instrumentation joue un rôle primordial.

##### 4.1 CONSOMMATIONS RESIDENTIELLES

Cette première étape a permis la mise au point du système d'acquisition de données (SAD) schématisé sur la figure 4-2. Une des principales caractéristiques de ce SAD est l'utilisation du courant DC comme support de mesure et de transmission.

Compte tenu des compteurs domestiques actuellement utilisés et de leur manque d'adaptation à la transmission des informations (NEPTUNE et TRIDENT par exemple) notre choix s'est porté sur des débitmètres du type turbine ou déplacement d'obstacle (BROOKS et COX VR 30) à sortie analogique DC linéaire. Les lignes de type A de la BELL ( $53.5\Omega$  et  $.018$  pF/100 pi) permettent une transmission fiable et l'adaptation d'un filtre RC réduit le problème du bruit à sa plus simple expression. Le contrôle des données a été réalisé par hardware seul par une unité SOLARTRON DTU dotée d'un voltmètre 5 chiffres. Les cycles de mesure sur les 20 canaux d'entrée étaient variables de 10 secondes à 1 minute suivant le type d'analyse requis. Le stockage de l'information a été confié à une enregistreuse magnétique THERMIONIC compatible avec les ordinateurs de grande puissance (800 bpi, 9 pistes).

Le choix de ces divers éléments correspond à un souci de simplicité et d'efficacité dans l'opération et l'entretien du SAD ainsi qu'à une grande souplesse de traitement de l'information (utilisation du 360-40 IBM de l'Université de Sherbrooke).

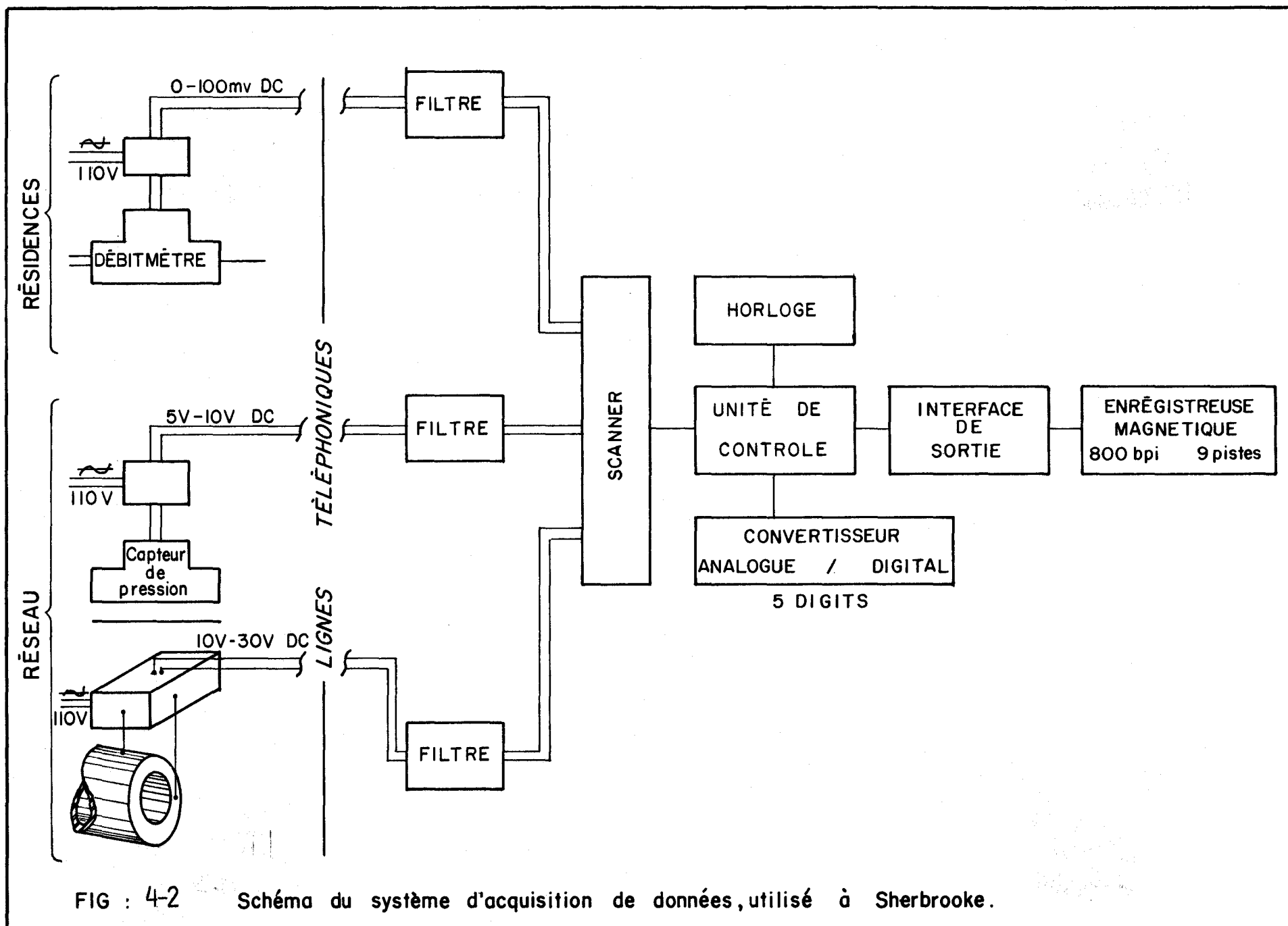


FIG : 4-2 Schéma du système d'acquisition de données, utilisé à Sherbrooke.

## 4.2 RESEAU-PILOTE DE SHERBROOKE:

Au cours de cette étape le même SAD -(figure 4-2) a été utilisé pour mesurer des pressions et des débits instantanés dans des conduites de 4 pouces et plus.

Les mesures de pression statique ont été réalisées à l'aide de capteurs variés (reluctance variable, film de contrainte). En fait, compte tenu du peu d'importance que revêtent ces mesures le choix des capteurs n'est pas un problème.

Par contre l'emphase a été mise sur la mesure de débits par orifice pour les raisons suivantes.

- 1) Facilité et faibles coûts de fabrication et d'implantation.
- 2) Précision et fiabilité intéressantes dans certaines conditions.
- 3) Grand choix de capteurs de pression différentielle.
- 4) Possibilité de mesure de débit dans les deux sens d'écoulement.

Les orifices construits répondent aux normes ASME et BS pour des prises de pression incorporées à la plaque elle-même. Les capteurs de pression différentielle ayant prouvé, sur le terrain, la meilleure stabilité sont des ROSEMOUNT de type capacité variable à sortie 10-100 MA DC. L'amortissement de la lecture qui est un problème propre aux orifices a été réalisé à l'aide de filtres RC ayant des constantes de temps de 2 à 6 secondes. Des étalonnages successifs permettent d'assurer une précision de l'ordre de 5% sur une gamme de mesure de 1 à 20.



## 4.3 DEVELOPPEMENTS

### 4.3.1 MESURES

Dans la perspective de l'ensemble du programme, la priorité dans le domaine de l'instrumentation revient à la mesure des débits dans des conduites de 6 pouces et plus. Compte tenu des 4 raisons précédemment citées et de l'expérience acquise, il semble que les orifices constituent un excellent moyen de mesure des débits. En fait, les problèmes qui apparaissent lors de l'utilisation d'orifices sont reliés aux instabilités de la différence de pression à mesurer. Ces instabilités sont dues:

- à la turbulence créé par l'orifice
- aux oscillations de vitesse dues aux singularités amont
- à dissymétrie de l'écoulement dans la conduite.

Ceci introduit des erreurs d'une part dans la relation entre différence de pression et débit et d'autre part dans la réponse amortie du capteur aux variations de cette différence de pression (Annexe 3 )

Ce dernier problème fait actuellement l'objet d'une étude dont les résultats constitueront un outil de base pour améliorer la connaissance des phénomènes liés aux orifices.

### 4.3.2. Acquisition de données, algorithmes et contrôle:

L'évaluation de la demande, l'étude du comportement du réseau et son contrôle sont les trois préoccupations auxquelles doit répondre la mesure des variables du système (pression, débits).

#### a) Evaluation de la demande:

Pour être capable d'évaluer avec précision la distribution de la demande dans le temps, il faut disposer des mesures en chaque instant. Ceci implique que le dispositif d'acquisition des

données soit capable d'une façon continue et en un temps court, d'évaluer l'état quasi instantané de tout l'ensemble des points de mesure. L'analyse des données ne peut dans ce cas-ci, être faite au fur et à mesure que les données sont relevées, puisqu'elle fait appel à des séries chronologiques longues; il faut donc que ces relevés soient emmagasinés après avoir subi un premier traitement. Il va de soi, que la meilleure procédure dans ce cas consiste à utiliser un mini ordinateur pour le conditionnement et l'emmagasinement de l'information sur bande magnétique. Ces bandes dans un premier temps sont amenées pour être traitées sur un ordinateur de grande puissance en raison des nombreuses opérateurs d'analyse que l'on veut effectuer.

b) Etude du comportement du système:

Une analyse très importante que l'on doit faire, est celle du comportement du système face aux sollicitations que l'on a identifiées. Cette étude fait appel à une série d'algorithmes, et de calculs qui ne peuvent être traités sans l'aide d'un ordinateur de grande puissance. C'est à ce stade que les algorithmes sont mis au point et adapté au système étudié en utilisant comme contrainte d'entrée, les mesures emmagasinées sur bande.

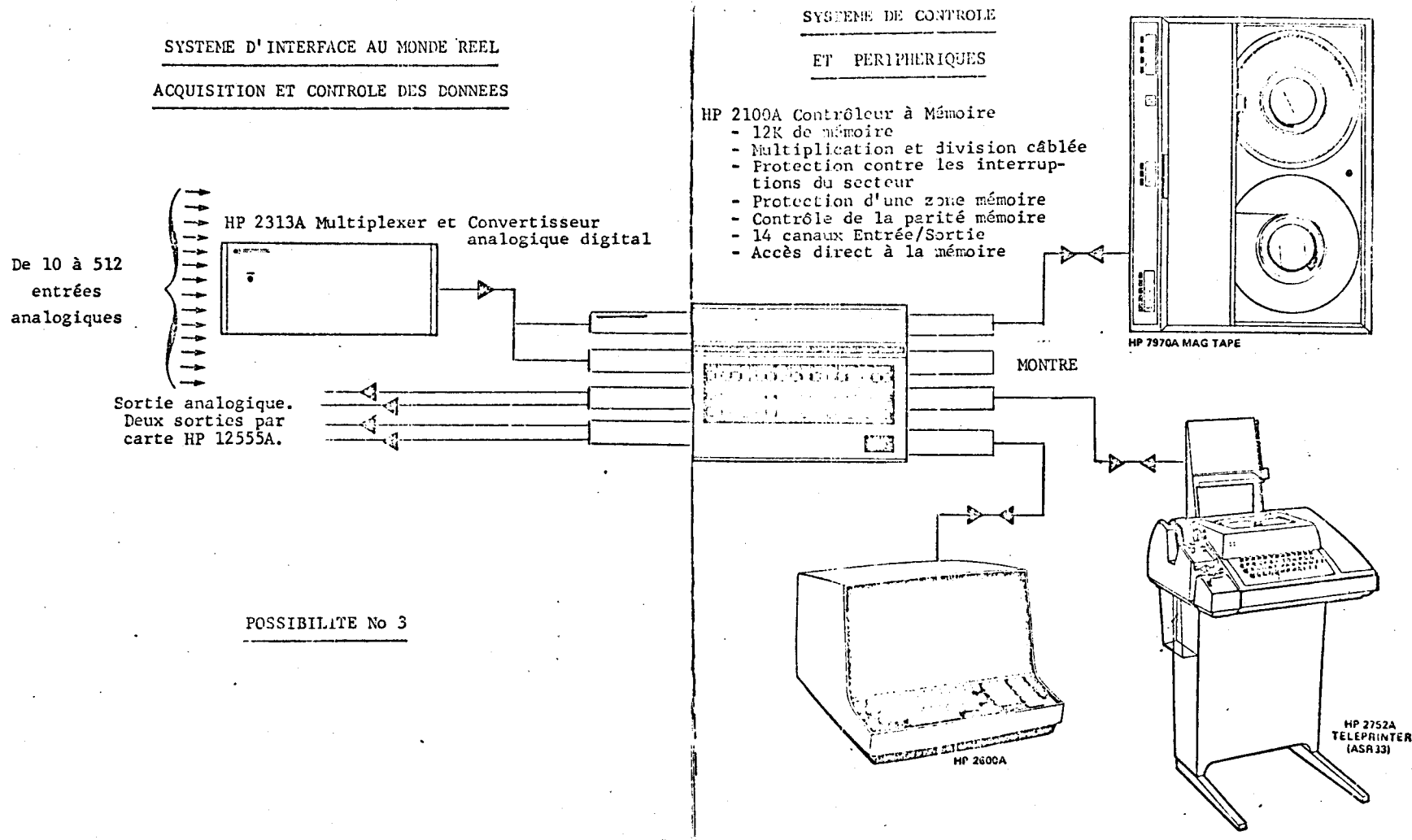
c) Contrôle:

Le comportement du système, et les algorithmes étant bien définis, les relevés en temps réel devront être envoyés directement à l'ordinateur de grande capacité pour évaluer à chaque instant les variables caractérisant l'état du réseau. Cette opération d'évaluation à partir de quelques points de mesure est essentielle à la prise de décision pour le contrôle du réseau.

L'étude de fonctions de décision, leur mise au point et l'évaluation de leurs effets sur le système font partie de cette dernière étape.

Cette dernière étape nécessite l'acquisition des données et leur transmission quasi immédiate (séquentielle), à l'ordinateur de grande puissance pour analyse, prise de décision. En plus de l'acquisition et de la transmission, la mise en application des décisions ne peut être faite qu'à l'aide d'un mini ordinateur. De plus, il serait extrêmement peu rentable de bloquer un ordinateur de grande puissance sur des activités où un faible pourcentage de sa capacité de calcul est requis.

L'ensemble des trois opérations pour être mené à bien, nécessite un système d'acquisition semblable à celui que nous avons schématisé, Figure 4-7.



**FIGURE 4-7** - Exemple de système d'acquisition de données utilisées à Sherbrooke.

## 5 - Tarification de l'utilisation:

La tarification de l'eau a pour objet de faire supporter aux consommateurs les coûts associés à l'alimentation, au traitement et à la distribution de l'eau. Une répartition optimale des revenus des taxes d'eau peut être atteinte lorsque les charges imposées aux consommateurs sont reliées avec précision aux coûts associés. (MILLIMAN 1964).

### 5.1 Tarification actuelle: Les principales méthodes de tarification présentement employées sur le continent sont les suivantes:

#### 1) avec compteur:

Peu de municipalités (Tableau 5-2) utilisent les compteurs comme base d'une tarification; cependant il existe encore de nombreuses méthodes:

- a) avec ou sans charge minimale pouvant représenter la location du compteur ou les frais de service
- b) taux fixe ou décroissant par 1000G

#### 2) sans compteur:

Encore une fois les municipalités utilisent à leur gré des tarifications basées sur:

- l'évaluation
- le frontage
- les caractéristiques du terrain ou des bâtisses.

### 5.2 Analyse des coûts:

Le coût total d'un système de production et de distribution d'eau peut être décomposé en:

TABLEAU 5-2

STATISTIQUES SUR L'INSTRUMENTATION DANS LES  
SYSTEMES CANADIENS DE DISTRIBUTION D'EAU\*

<u>Données</u>	<u>1957</u>	<u>1961</u>	<u>1963</u>	<u>1969</u>
Nombre de municipalités (Canada)	801	873	830	-
Nombre total de services (Canada)	2.24*10 <sup>6</sup>	2.686*10 <sup>6</sup>	2.815*10 <sup>6</sup>	-
% services instrumentés (Canada)	36.2	41.1	42	-
Nombre de municipalités instrumentées à plus de 95% (Canada)	120	175	196	303
Nombre de municipalités instrumentées à plus de 95% (Québec)	-	-	9	20

\* Ces données s'appliquent aux municipalités canadiennes avec population >1,000 habitants et ayant répondu au questionnaire de "Canadian Municipal Utilities". ("Water Pollution Control" ces dernières années).

- coûts fixes: indépendants de la quantité produite  
(comprennent les immobilisations, amortissements  
charges fixes);
- coûts variables: directement liés à la quantité produite.

Une classification suggérée par l'AWWA Manual (1960) permet de décomposer le coût total en coûts attribuables.

- à la demande moyenne;
- aux pics de demande;
- à la tarification (facturation avec ou sans relevé  
de compteurs).

Dans ce genre de classification, la ventilation des coûts des différents éléments du réseau peuvent se décomposer suivant différentes échelles de temps:

- Année: (jour moyen) stockage de l'eau brute, réservoirs,  
barrage;
- Jour : (jour maxi ) les éléments allant du réservoir à l'usine  
de traitement incluse, et avec un facteur  
multiplicatif, les éléments allant des stations  
de pompage aux conduites principales;
- Heure: (heure maxi) les autres éléments de réseau.

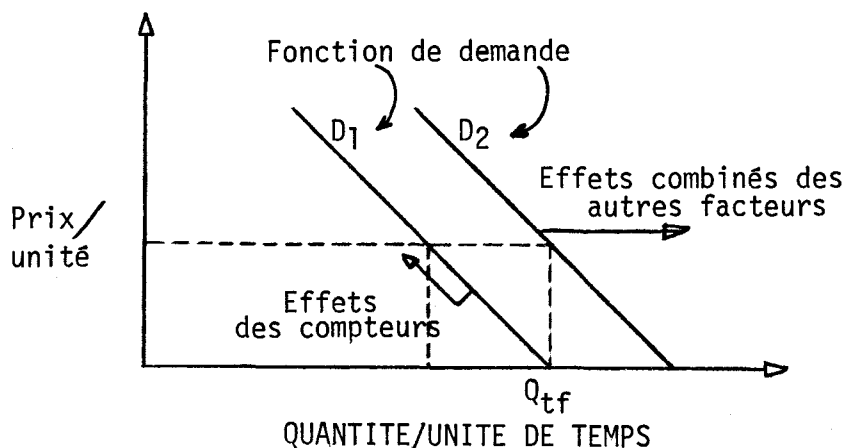
### 5.3 - Compteurs et tarification:

L'analyse des coûts telle que présentée par l'AWWA Manual, met en évidence les différents éléments de la fonction de demande (moyennes, pic et répartition dans le temps). Si les fonctions de demande par type de consommateur sont connues, il est possible d'établir un mode de tarification assurant une répartition optimale des charges.

Dans cette optique, la mesure des consommations, moyennes (de pointe) est fondamentale aussi bien dans l'établissement du mode de tarification que dans la facturation elle-même.

Par ailleurs, l'implantation de compteurs a une incidence sur la fonction de demande qui a été analysée par PATTERSON (1961), HANKE (1970), GYSI et LOUCKS (1971), BANKER et BENSON (1971), MANN (1970), ainsi que par HOWE et LINAWEAVER (1967).

La conclusion de ces différents travaux va à l'encontre de ce qui est généralement reconnu que l'installation de compteurs ainsi que l'augmentation du coût de l'utilisation sont des mesures inefficaces de réduction de l'utilisation. Bien au contraire car le passage de la tarification à taux fixe à un taux marginal relié à l'utilisation génère un mouvement de l'utilisation sur le bien de la fonction de demande tandis que les changements dus à d'autres facteurs (accroissement de revenus personnels, augmentation de la population, changements d'habitudes etc...), auront tendance à transposer le bien de la fonction de demande.



Ce type d'analyse met en évidence la faiblesse de l'interprétation habituelle (accoutumance), donnée à l'atténuation de la baisse de consommation constatée après l'implantation de compteurs.



#### 5.4 CONCLUSION

La tarification est un moyen d'assurer la répartition des charges entre les différents consommateurs et constitue également un outil de gestion en facilitant l'adaptation de la consommation aux objectifs fixés par la planification du système d'alimentation et de distribution.

## ANNEXE 1

### ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE RESIDENCES UNIFAMILIALES.

Une estimation de la consommation est indispensable d'une part pour la planification et d'autre part pour la gestion d'un système de distribution.

D'une façon générale, la consommation d'eau d'une résidence semble reliée au niveau de vie de la famille qui y habite. (LINAWEAVER et al (1967)). Cependant, ce niveau est difficilement mesurable, aussi se ramène-t-on à la valeur marchande de la bâtisse ou à des variables telle que la densité de population intégrant des petites variations. LINAWEAVER et al (1967) cite par exemple pour la consommation domestique:

1) pour des zones desservies à la fois par le réseau d'aqueduc et d'égoûts

$$Q = 157 + 3.46V \text{ pour un coefficient de corrélation de } .76$$

Q est la moyenne journalière en GPD

V est la valeur marchande de la maison en \$1,000.

2) pour des zones où les habitants doivent avoir des fosses septiques

$$Q = 30 + 40N \text{ pour un coefficient de corrélation de } .98$$

Q est la moyenne journalière en GPD

N nombre de personnes/résidence.

Pour la consommation domestique KELLOW (1970) mentionne quelques dizaines de régressions faisant intervenir des variables caractérisant les possibilités de consommation dans la résidence (douche, bain, toilette, machine à laver) en plus de celles déjà mentionnées (nombre de personnes, etc). Cependant, ce type d'analyse nécessite de plus en plus de données et n'améliore que très peu la précision de l'estimation.

L'arrosage semble par contre n'être tributaire que du climat (évapotranspiration potentielle et précipitations) ainsi que de la superficie de la pelouse. Il est cependant très délicat d'affirmer ceci compte tenu que l'arrosage est estimé comme étant la différence entre la consommation d'été et celle d'hiver.

D'une façon générale, l'ensemble des références relève une nette influence du mode de facturation se traduisant par une consommation globale plus forte de 50% environ dans le cas de facturation sur forfait par rapport à celle d'après compteur. Ceci est à rapprocher du fait que d'après ces mêmes références, les charges soient de 30% plus élevées pour les résidences à compteurs que pour celles à forfait.

En conclusion, il est possible d'estimer quelques caractéristiques élémentaires de la consommation d'eau de résidences unifamiliales à partir de données faciles à obtenir telles que la valeur des bâtisses, le nombre de personnes etc...

## ANNEXE 2

### EVALUATION DE LA CONSOMMATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

#### A2-1 Consommation industrielle

Hittman (1968) propose la méthode des coefficients pour estimer les quantités d'eau pour l'industrie. Selon cette méthode la quantité moyenne d'eau par année est évaluée à partir de la formule suivante:

$$\bar{q}_n = \bar{U}_n P_n \quad (A2-1)$$

- où
- $\bar{q}_n$  est la consommation moyenne annuelle en eau nécessaire pour l'industrie de la catégorie "n";
  - $\bar{U}_n$  est le coefficient moyen annuel pour l'industrie de la catégorie "n";
  - $P_n$  est l'unité de base considérée: soit par tonne, par baril, par boisseau, par employés, etc.

Le tableau A2-2 présente d'après HITTMANN (1968) quelques coefficients moyens annuels pour certaines industries principalement l'utilisation de la formule(A2-1) doit se faire avec beaucoup de discernement car selon HUDSON (1956) il existe des écarts importants de consommation en eau entre les différentes usines d'une même industrie (Tableau A2-5).

TABLEAU A2-2

COEFFICIENTS MOYENS ANNUELS POUR

CERTAINES INDUSTRIES

INDUSTRIE	COEFFICIENT MOYEN ANNUEL (GAL/JOUR - EMPLOYES)
Viande	903.890
Laiterie	791.350
Biscuits	220.608
Raffinerie de sucre	1433.611
Bonbon (friandise)	244.306
Boissons	1144.868
Cigarettes	193.613
Tissage du coton	171.434
Tissage des fils synthétiques	344.259
Tissage de la laine	464.439
Tricots	273.439
Apprêt des textiles	810.741
Recouvrement de plancher	297.392
Filature	63.558
Fabrication des textiles divers	346.976
Confection des vêtements	20.000
Planage du bois	223.822
Contenants en bois	238.00
Manufactures d'articles ménagers	122.178
Papier	2433.856
Pâtes à papier	13494.110
Manufactures de sacs de papier	435.790
Manufactures de carton	2464.478
Manufactures de boîtes en carton ondulé	154.804
Papier asphalté pour la construction	583.355

TABLEAU A2-2 ( Suite)

COEFFICIENTS MOYENS ANNUELS POUR  
CERTAINES INDUSTRIES

INDUSTRIE	COEFFICIENT MOYEN ANNUEL (GAL/JOUR - EMPLOYES)
Imprimeries	15.000
Produits chimiques de base	2744.401
Plastiques	864.892
Produits pharmaceutiques	457.356
Savon et détergents	672.043
Peintures	845.725
Articles en plastique	527.784
Fertilisants	449.836
Raffineries de pétrole	3141.100
Pneu	375.211
Caoutchouc	371.956
Cuir (tanneries)	899.500
Verre à fenêtres	590.140
Ciment	279.469
Production du plâtre	698.197
Fabrication de poteries	326.975
Traitement des minéraux	439.561
Acier	494.356
Fonderie	411.052
Boîtes en conserves	162.547
Articles de plomberie	411.576
Structures métalliques	319.875
Fils électriques	343.367
Machinerie de ferme	320.704
Appareils électriques	336.016
Équipement de télé-communication	86.270
Composantes électroniques	203.289

TABLEAU A2-2( Suite )

COEFFICIENTS MOYENS ANNUELS POUR  
CERTAINES INDUSTRIES

INDUSTRIE	COEFFICIENTS MOYEN ANNUEL (GAL/JOUR - EMPLOYES)
Composantes électriques	393.272
Véhicules moteurs	318.233
Instruments scientifiques	181.007
Instruments médicaux	506.325
Equipement photographique	120.253

TABLEAU A2-5

CONSOMMATIONS MINIMALES ET MAXIMALES EN EAU  
POUR DIFFERENTES USINES D'UNE MEME INDUSTRIE

PRODUIT FINI ET UNITE DE BASE	EAU REQUISE (GALLONS)	
	Maximum	Minimum
Electricité (k W h)	170	1.3
Raffinerie de pétrole (gal de pétrole brut)	44	1.7
Acier (tonne)	65,000	1,400
Détergents, savon (livre)	7	1.5
Caoutchouc naturel (livre)	6	2.5
Noir de carbone (livre)	14	0.25
Butadiène (livre)	305	13
Verre à contenants (tonne)	670	120
Automobiles (unité)	16,000	12,000



## A2-2 Consommation commerciale

Hittman (1968) classe tous les établissements commerciaux en vingt-huit (28) catégories et utilise un coefficient basé sur la plus petite unité d'utilisation tels que les chaises dans les salons de coiffure, les fidèles d'une église, les membres d'un club, les allées d'une salle de quilles, les lits d'un hôpital, etc..., pour calculer:

- 1- les quantités moyennes d'eau utilisée;
- 2- les consommations journalières maximales;
- 3- les consommations horaires maximales;

Les coefficients nécessaires à ces estimations ont été évalués par REID, BAFFA, WISINESKI, SHARP, SALVATO, FREDERICK, et COLERLY et sont retranscrits au tableau A2-8.

L'estimation des quantités d'eau se fait avec l'aide des formules suivantes:

$$q_j = K_j P_j$$

$$Q_{\text{jour-max}, j} = K_{\text{jour-max}, j} P_j$$

$$Q_{\text{pointe}, j} = K_{\text{pointe}, j} P_j$$

où

$q_j$	est la consommation annuelle en eau nécessaire pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j";
$K_j$	est le coefficient moyen annuel pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j";
$P_j$	est l'unité de base considérée pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j": soient par lits, par membres, par pieds carrés, par autos, etc...;

- $Q_{\text{jour-max, j}}$  est la consommation journalière maximale requise pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j";
- $K_{\text{jour-max, j}}$  est le coefficient journalier maximal pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j";
- $Q_{\text{pointe, j}}$  est la consommation horaire maximale requise pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j";
- $K_{\text{pointe, j}}$  est le coefficient horaire maximal pour le commerce ou l'institution de la catégorie "j".

TABLEAU A2-8

LISTE DES COEFFICIENTS POUR L'ESTIMATION DE  
LA DEMANDE EN EAU POUR CERTAINS LIEUX PUBLIQUES

CATEGORIES DES ETABLISSEMENTS COMMERCIAUX	UNITE DE BASE	COEFFICIENT (GALL/JOUR - UNITE)		
		MOYENNE ANNUELLE	JOURNALIER MAXIMUM	HORAIRE MAXIMUM
Chimiques médicales	pi.-car.	0.618	1.66	4.97
Salon de barbier	chaise	54.6	80.3	389.0
Salon de beauté	salon	269.0	328.0	1070.0
Dépôt de billets	pi.-car	3.33	6.5	25.0
Lave autos	pi.-car	4.78	10.3	31.5
Eglise	membre	0.138	0.862	4.7
Club	membre	22.2	22.2	22.2
Salle de quilles	allées	133.0	133.0	133.0
Résidence d'étudiants	étudiants	106.0	114.0	250.0
Hôpital	lits	346.0	551.0	912.0
Hôtel	pi.-car.	0.256	0.294	0.433
Théâtre	siège	3.33	3.33	3.33
Prison	personne	133.0	133.0	133.0
Restaurant	siège	24.2	83.4	167.0
Ecole élémentaire	étudiant	3.83	6.39	37.4
Ecole secondaire	étudiant	8.02	17.7	79.9
YMCA-YWCA	personne	33.3	33.3	33.3
Station de service	pi.-car.	0.251	0.590	4.89
Laundromat	pi.-car.	2.17	2.90	15.4
Buanderie	pi.-car.	0.253	0.461	1.57
Maison de rapport (vieille)	pi.-car.	0.142	0.264	0.797
Maison de rapport (récente)	pi.-car.	0.093	0.173	0.521
Service à l'auto	place d'auto	109.0	144.0	547.0
Cinéma en plein air	" "	5.3	5.33	5.33
Motel	pi.-car.	0.224	0.461	1.55
Clubs de nuit	personne	1.33	1.33	1.33
Vente au détail	pi.-car.	0.106	0.154	0.271
Maison de santé	lit	133.0	146.0	424.0

A3-1 Introduction: Orifice

L'évaluation des débits instantanés à partir de la mesure de la pression différentielle engendrée par un orifice se heurte à un problème d'instabilités.

Ces instabilités sont dues:

- 1) à la turbulence créée par l'orifice;
- 2) aux oscillations de vitesse dues aux singularités amont (pulsation).
- 3) à la dissymétrie de l'écoulement dans la conduite. (rotation globale).

Ces instabilités peuvent conduire à des renversements ( de courte durée) du sens de l'écoulement.

La pression différentielle est donc une fonction du temps  $\Delta P(t)$  extrêmement variable dont le développement en série de Fourier (par exemple) contient:

- 1) des fréquences élevées (quelques dizaines ou centaines de Hz) dues à la turbulence;
- 2) des fréquences basses (quelques Hz) dues aux pulsations.
- 3) des fréquences très basses (inférieures au Hz) dues à la dissymétrie.

L'utilisateur est intéressé par une valeur moyenne (sur un intervalle de temps de l'ordre de la seconde) du débit  $\overline{Q}(t)$  en fonction du temps.

Pour relier la pression différentielle au débit, la formule suivante est utilisée

$$Q(t) = k \sqrt{\Delta P(t)} \quad (A3.1)$$

L'emploi de cette formule entraîne deux erreurs systématiques (Moseley D.C.-1966)

1) l'erreur dite de "racine carrée".

Les capteurs de pression fournissent en effet, une valeur moyenne (sur un intervalle de temps dépendant du capteur) de la pression  $\overline{\Delta P(t)}$ .

De toute évidence:

$$Q(t) = k \sqrt{\overline{\Delta P(t)}} \neq k \sqrt{\Delta P(t)}$$

Cette erreur systématique est calculable dans des cas simples, et seulement si  $\Delta P$  a un signe constant (ce qui n'est pas vrai dans tous les cas).

2) l'erreur due aux effets dynamiques.

La formule A3-1 est en effet exacte pour un écoulement stationnaire (Théorème de Bernouilli en régime stationnaire). Il faut lui ajouter un terme correcteur dans le cas non stationnaire. L'importance de ce terme dépend d'une façon mal connue du nombre (adimensionnel) de Strouhal caractérisant l'orifice et les instabilités [type (2) et (3)].

Les expériences montrent que l'erreur relative totale sur  $\overline{Q(t)}$  faite en utilisant  $k\sqrt{\overline{\Delta P(t)}}$  peut atteindre 20%, dans certains cas d'instabilité de type 2.

La précision exigée de l'ordre de 2% pour la mesure des débits impose donc de poursuivre des recherches à la fois sur les systèmes de mesure et sur les orifices.

### A3-2 LA MESURE DE PRESSION

L'objectif est de déterminer, pour un système de mesure, une relation aussi précise que possible entre  $\overline{\Delta P(t)}$  et  $\Delta P(t)$  afin d'obtenir une meilleure estimation de  $\overline{Q(t)}$ .

Les systèmes de mesure de pression (figure A3-4) consistent en:

- une prise de pression sur la conduite
- une ligne de transmission
- une chambre
- un diaphragme dont la déflexion engendre un signal électrique.

Les phénomènes hydrodynamiques intervenant dans ces systèmes sont complexes. En particulier, le mouvement périodique de l'eau dans la ligne donne naissance à une couche limite. Le profil de vitesse peut passer de parabolique (Profil de Poiseuille) à plan (profil d'onde) en fonction de l'épaisseur de cette couche limite (Thurston G.B. - 1952).

Les phénomènes mécaniques sont également complexes. Citons, par exemple, le comportement d'un diaphragme soumis à une vibration forcée. Ce comportement a fait l'objet de nombreuses études (Pfeiffer A. - 1947, Wildhack W.A. - Dressler R.F. - Lloyd E.C. - 1957) dont les résultats n'ont en général pas été utilisés.

L'état des connaissances est loin d'être suffisant pour répondre aux problèmes posés. D'une part, les théories classiques

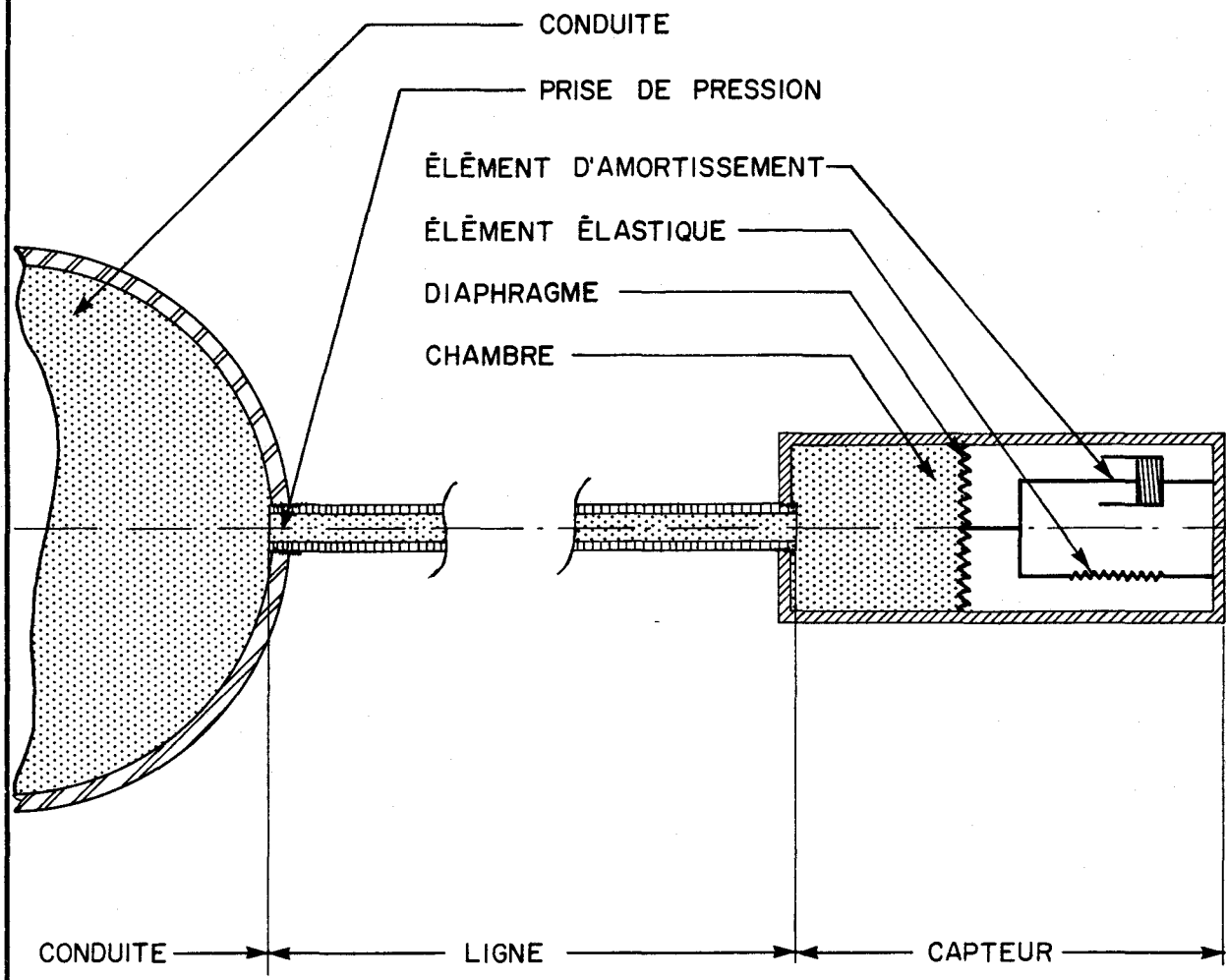


FIGURE: A3-4 Schéma fonctionnel d'un système de mesure de pression.

(Iberall A.S. 1950) sont fondées sur des analogies très simples (acoustiques) et ne prennent pas en compte la plupart des phénomènes, (en particulier, ceux dus à la présence du capteur en bout de ligne). D'autre part, les formulations les plus complètes ont été résolues par linéarisation. Il n'est donc pas étonnant que ce sujet soit encore l'objet de nombreuses recherches (Flow Measurement Symposium - 1966). Nous formulons actuellement le problème complet (ligne + chambre + capteur) à partir des caractéristiques fournies par les constructeurs d'appareils. Le paramètre déterminant pour le comportement de l'eau dans la ligne étant la vitesse instantanée (et non la fréquence), nous distinguons deux cas:

- linéaire
- non linéaire.

Au cours d'une même période, et même pour des vitesses très basses, le comportement fait en général intervenir les deux cas. La résolution analytique étant impossible pour cette raison, nous ferons appel, dans une prochaine étape, à un ordinateur hybride. Il sera ainsi facile d'étudier la réponse à une fonction  $P(t)$  de spectre donné et de faire varier les paramètres du système. Les résultats pourront également servir à définir un cahier des charges pour les constructeurs contactés.

### A3-3 L'ETUDE DES ORIFICES

Etant donné la complexité de l'écoulement d'un fluide réel dans un orifice, cette étude ne peut qu'être expérimentale. Elle nécessite donc la mise au point préalable d'un système de mesure de pression (section précédente). La géométrie de l'écoulement à travers un orifice est représentée sur la figure A3-6.



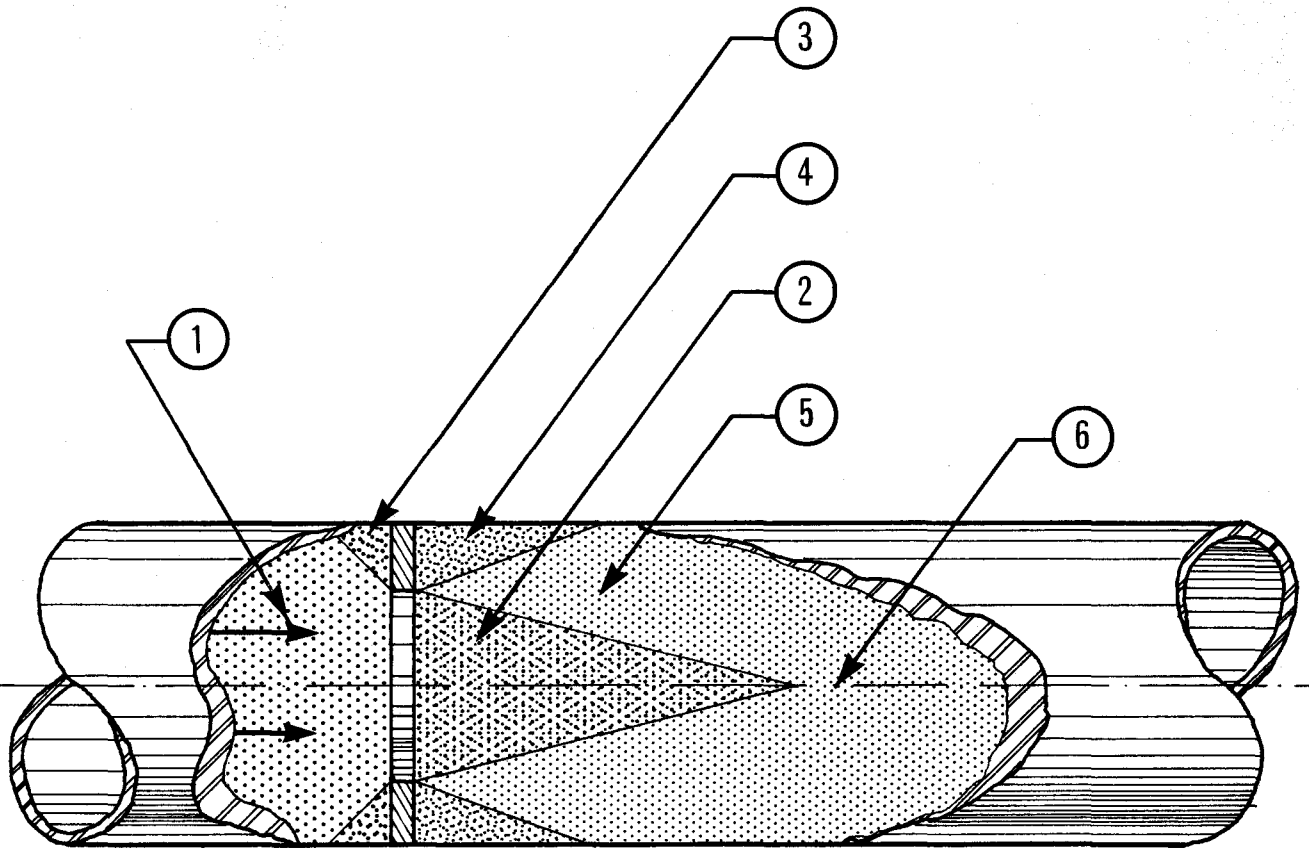


FIGURE: A3-6 Géométrie de l'écoulement à travers un orifice .

On distingue six zones dans l'écoulement:

- 1- zone amont non affectée par l'orifice mais qui subit des instabilités de type (1), (2) et (3).
- 2- Cône aval dont l'axe tourne (par suite de l'instabilité de type (3) ).
- 3- zone morte amont
- 4- zone morte aval.
- 5- zone de recollement.
- 6- zone aval.

Le débit dans l'orifice est conditionné par le profil de vitesse à la limite des zones (1) et (2) et par le coefficient de contraction de l'orifice. Pour des raisons exposées précédemment, la pression différentielle est mesurée entre les zones (3) et (4).

Il est donc nécessaire: 1) de connaître les relations entre les phénomènes (en particulier les instabilités) dans les zones (1) et (2) d'une part et (3) et (4) d'autre part; 2) de connaître le coefficient de contraction, pour pouvoir prédire la valeur de  $k$  dans l'équation A3-1.

Des études récentes (Sparks C.R. - 1966) dans le cas des fluides compressibles ont montré la complication des phénomènes pour les écoulements non stationnaires. On projette de construire un modèle en laboratoire pour étudier le cas des fluides incompressibles. En raison des difficultés des mesures avec des anémo-

mètres à fil chaud dans l'eau, on utilisera le système de mesure de pression mis au point dans l'étude précédente et la visualisation.

Ces travaux devraient aboutir à une identification de la composante périodique de l'écoulement en l'absence d'orifice puis l'introduction d'un facteur correctif qui ne soit pas expérimental. En cours de route toutes les caractéristiques de l'orifice, de la ligne de transmission de pression et du capteur auront été définies ce qui n'est pas encore le cas dans une grande partie de la littérature (WILLIAMS, T.J.- 1959).