PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Application d'une approche intégrée à l'étude de plaintes d'aspect en réseaux de distribution d'eau potable
Auteur: Author:	Bertrand Viret
Date:	2002
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Viret, B. (2002). Application d'une approche intégrée à l'étude de plaintes d'aspect en réseaux de distribution d'eau potable [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/7018/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/7018/
Directeurs de recherche: Advisors:	Raymond Desjardins
Programme: Program:	Unspecified

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

APPLICATION D'UNE APPROCHE INTÉGRÉE À L'ÉTUDE DE PLAINTES D'ASPECT EN RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

BERTRAND VIRET
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
DÉCEMBRE 2002

© Bertrand Viret, 2002.

National Library of Canada
Acquisitions and Bibliographic Services
395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale du Canada
Acquisitions et services bibliographiques
395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-81528-5

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

APPLICATION D'UNE APPROCHE INTÉGRÉE À L'ÉTUDE DE PLAINTES D'ASPECT EN RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

présenté par : VIRET Bertrand

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. LECLERC Guy, Ph.D., président

M. DESJARDINS Raymond, M.Ing., membre et directeur de recherche

M. LAVOIE Jean, M.Sc.A., M.B.A, membre

REMERCIEMENTS

Après ces longues semaines de rédaction, me voilà enfin arrivé à la page que je pensais être la plus facile à écrire. Arrivé à la dernière étape avant la remise finale de ce rapport, je me confronte pour la première fois à l'angoisse de la page blanche. D'autant plus importante que mes minutes sont comptées. Que faire ?

Je souhaite donc tout d'abord remercier Raymond Desjardins, non seulement pour le fait de m'avoir permis de mener ce projet au sein de la chaire CRSNG en Eau Potable, mais surtout pour ses pertinents conseils de rédaction, et pour la disponibilité dont il a fait preuve lors des corrections de ce mémoire. Je remercie Vincent Gauthier, qui m'a accueilli dans le monde magique de « l'approche intégrée », et grâce à qui ce projet de maîtrise a pris forme. J'aimerais également saluer l'apport de Marie-Claude Besner pour la minutie dont elle a fait preuve durant les corrections de ce mémoire. Je remercie par ailleurs Yves Jeager (Anjou Recherche), pour son apport au projet pour la ville de Caen.

Je ne peux passer sous silence les étudiants à la maîtrise, pour l'écoute, les rires, les conseils, et tout et tout : Thomas, Naira, Geneviève, Annie C., Nabil, Annie L. et Géraldine. Je tiens particulièrement à saluer Géraldine et Annie, avec qui nous avons partagé de longues heures de rédaction devant nos ordinateurs cet automne, sous les néons du local B616, il y avait quand même le soleil.

Je remercie évidemment mes parents et ma petite soeur, pour leur soutien et encouragements à distance au cours de ces deux années. Merci également aux amis, sur place et outre atlantique, qui m'ont encouragé tout au long de ce projet.
Enfin, je tiens à remercier du fond du cœur ma princesse, Isabelle, tu m'as transmis le feu sacré qui danse entre tes mains. Sans l'Amour quotidien que tu as amené dans ma vie, je n'écrirais peut être pas le point final de ce mémoire avec toute la joie et l'ambition que j'ai aujourd'hui.

RÉSUMÉ

Parmi les appels de consommateurs reçus par les gestionnaires de réseaux de distribution d'eau potable, ceux relatifs à l'aspect de l'eau peuvent représenter une proportion importante. Cependant, peu d'études destinées à la recherche des causes qui en sont à l'origine ont été publiées.

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer les performances de l'application d'une approche intégrée à l'étude des plaintes d'aspect en réseaux de distribution d'eau potable. L'approche intégrée utilisée ici a été développée pour les villes de Montréal, Laval et Moncton (Canada), Egham (Grande Bretagne), et Caen (France), dans le cadre d'un projet précédant de la chaire CRSNG en Eau Potable de l'École Polytechnique de Montréal. Elle repose sur le regroupement des données relatives à la qualité de l'eau, des données d'opération et de maintenance du réseau, des appels de consommateurs ainsi que sur l'utilisation d'un modèle hydraulique. L'approche intégrée permet entre autres de sélectionner, dans une base de données, tous les événements ayant eu lieu sur un réseau de distribution dans un secteur donné, et durant une période définie, puis de les visualiser. L'objectif principal de ce projet se décompose plus précisément en trois objectifs sous-jacents, soit l'évaluation de la proportion de plaintes d'aspect pouvant être expliquées par l'application de l'approche intégrée, la mise en évidence de liens entre les caractéristiques des bases de données utilisées et les résultats obtenus par l'application d'une approche intégrée, et enfin la détermination des principales causes permettant d'expliquer les plaintes d'aspect dans chacune des villes considérées.

Une première partie de ce travail s'est inscrite dans le cadre d'un projet de la chaire CRSNG en eau potable et a consisté à mettre en place l'approche intégrée pour la ville de Caen (c'est-à-dire principalement à géocoder sa base de données), puis à appliquer l'approche intégrée aux cas d'apparitions de coliformes et de bactéries cultivables (BHAA) survenus sur le réseau de distribution. Puis, dans le but de répondre aux objectifs de ce projet, l'approche intégrée a été appliquée aux plaintes d'aspect pour les villes de Caen (France), Egham (Grande Bretagne), Montréal et Laval (Canada). Les

bases de données disponibles pour chacune de ces villes ont été caractérisées en termes de densités spatio-temporelles d'informations contenues (nombre d'éléments/an/10 km de conduites). Par ailleurs, pour les villes de Laval et Egham, les caractéristiques des conduites (âge, matériau, diamètre) sur lesquelles ont été enregistrées les plaintes d'aspect ont été comparées à celles de l'ensemble des conduites sur lesquelles peuvent êtres branchés des consommateurs, afin de déterminer leur impact sur l'apparition de plaintes d'aspect.

Le géocodage des données de la ville de Caen a permis d'attribuer des coordonnées (x,y) à plus de 99% des éléments à géocoder (ces éléments correspondent par exemple à des données d'opération et de maintenance, des points d'échantillonnages, etc.). Cinq méthodes ont été utilisées, soit les géocodages par numéro civique exact et proche, le géocodage par intersection de rues, le géocodage par centre de rues et le géocodage manuel. La majorité des données ont été géocodées par numéro civique exact (56,1% des données géocodées), méthode caractérisée par une bonne précision spatiale et une bonne rapidité de mise en œuvre (procédure automatisée). La précision spatiale du géocodage est approximative lorsque il est effectué par centre de rue (20,5% des données géocodées). L'erreur maximale de positionnement pour ce type de géocodage est de 500m pour 82% des données ainsi géocodées (ou 200m pour 50% des données).

Parmi les 11 échantillons positifs en coliformes recensés sur la Zone Basse de la ville de Caen entre 1997 et 2001, trois sont situés sur le réseau (tous survenus le 30 octobre 2000), et ont pu être expliqués de manière très probable, suite à l'application de l'approche intégrée, par des tests de bornes fontaines à haut débit effectués une semaine avant l'événement. Tous les autres cas de coliformes ont été mesurés au réservoir Moulin au Roy. Parmi ces cas, 3 ont aussi pu être expliqués de façon très probable (dont un enregistré le 30 octobre). Au cours de cette même étude, 24 événements de bactéries cultivables (BHAA 22°C et BHAA 37°C) ont été étudiés. Certains étaient associés à des

événements coliformes tandis que 7 cas (5 le 11 septembre 2000, 2 le 2 octobre 2000) ont pu être expliqués par des changements de type d'alimentation de la zone.

L'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect a permis d'expliquer de manière très probable respectivement 59%, 37%, 26% et 6% des plaintes d'aspect étudiées dans les villes d'Egham (sur un total de n = 17 plaintes), Laval (n = 97), Caen (n = 27) et Montréal (n = 16). Parmi les plaintes d'aspect non expliquées figurent celles qui sont dues à des problèmes relatifs aux réseaux privés des consommateurs, qui ne pouvaient pas être expliquées via les bases de données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée.

L'analyse des bases de données disponibles dans chacune des villes a permis de montrer que la proportion de plaintes ayant pu être expliquées grâce à l'application de l'approche intégrée semble augmenter avec la densité spatio-temporelle totale des informations disponibles. Cela a été observé pour les villes de Montréal, Caen et Laval, pour lesquelles les densités spatio-temporelles des données d'opération et de maintenance calculées sont respectivement de 8, 37 et 95,6 éléments /an/10km de conduite. La plus faible proportion de plaintes d'aspect expliquées à Montréal (6%) peut donc en partie s'expliquer par la faible densité spatio-temporelle des informations disponibles. Par ailleurs, une analyse plus détaillée des bases de données a permis de montrer que plus la densité spatio-temporelle d'un type de données est élevée, plus les plaintes d'aspect expliquées grâce à ce type de données sont nombreuses.

Parmi les 7 plaintes d'aspect expliquées de manière très probable pour la ville de Caen, deux ont été associées à des tests de bornes fontaines (BF) à haut débit, deux à des fuites signalées sur le réseau (par des appels de consommateurs), une à une réparation de branchement, une autre à une réparation de conduite et une dernière à une réhabilitation de conduite. À Egham, 10 plaintes d'aspect ont été expliquées de manière très probable, parmi elles, 5 (enregistrées en l'espace de quatre jours sur la même rue) ont pu être

expliquées de manière similaire par des travaux effectués sur des vannes, deux autres (émises par le même consommateur à trois jours d'intervalle) ont été expliquées par une réparation de conduite, et les trois dernières ont été associées à une augmentation supposée des consommations d'eau sur le réseau. La seule plainte d'aspect expliquée de manière très probable pour la ville de Montréal correspond à un passage de turbidité au travers de la barrière de traitement lors d'une période de renversement. Enfin, parmi les 36 plaintes d'aspect expliquées de manière très probable pour la ville de Laval, 9 ont été attribuées à de nombreuses manipulations de BF et/ou vannes, 8 à des réparations de fuites sur le réseau, 7 à des programmes de rinçages, 7 à des augmentations de consommation, et 5 à quelques manipulations de BF et/ou vannes. Les causes ressorties de l'application de l'approche intégrée varient d'une ville à une autre, ce qui n'est pas étonnant puisque les caractéristiques des réseaux et de leurs modes de gestion sont différents.

Enfin, l'analyse des conduites pour les réseaux de distribution des villes d'Egham et Laval a permis de montrer que les conduites en fonte grise semblent être plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect.

ABSTRACT

Consumer complaints related to the aesthetic aspect of water can represent an important part of the consumer calls received by water utilities. However, few study dedicated to the identification of their cause have been published.

The main objective of this project is to evaluate the performances of the application of an integrated approach to the study of consumer complaints related to the appearance of water in drinking water distribution systems. The integrated approach which is used here has been developed for the utilities of Montreal, Laval and Moncton (Canada), Egham (Great Britain), and Caen (France) in another project of the NSERC Industrial Chair on drinking water. For each utility, this integrated approach is based on the collection of databases including water quality data, distribution system maintenance and operation data, as well as a hydraulic model. The integrated approach allows to select and visualise events, recorded in a database, which occur on the distribution system in a specific area and during a specific period. The main goal of this project can be divided into three secondary objectives, that are (i) to estimate the proportion of consumer complaints that can be explained by the application of the integrated approach, (ii) to show some links between database characteristics and the results obtained by the integrated approach, and (iii), to identify the main causes which can explain aesthetic complaints in each distribution system studied.

The first part of this project was completed within the framework of a project of the NSERC Industrial Chair on drinking water, and consisted in building the integrated approach for the city of Caen (to geocode the Caen database), and to use the integrated approach to explain the origin of water microbial quality failures (coliform and HPC). Then, in order to reach the objectives of this project, the integrated approach was applied to aesthetic consumer calls for the cities of Caen (France), Egham (Great Britain), Montreal and Laval (Canada). For each utility, temporal and spatial densities of available databases (number of elements / year/ 10km of pipes) have been characterised. Moreover, for the cities of Egham and Laval, characteristics of mains (age, diameter,

material) on which consumer complaints were recorded were compared with those of all the mains on which consumer service pipes can be plugged. This was done to estimate the impact of mains characteristics on aesthetic complaints.

The geocoding of the Caen Database allowed to assign (x,y) co-ordinates to more than 99% of the elements with a geographical location available. Five methods were used, such as exact and close civic number geocoding, street intersection geocoding, street centre geocoding, and manual geocoding. Most data could be geocoded by exact civic number (56,1% of geocoded data). This method has a good spatial precision and is quick to implement. The spatial precision of geocoding is approximate when done by the street centre method (20,5% of geocoded data). However, the maximal error of localisation in such a case was lower than 500m for 82% of the data geocoded by street centre (or 200m for 50% of the data geocoded by street centre).

Amongst the 11 coliform occurrences that were recorded in the zone studied in Caen between 1997 and 2001, three were located on the distribution system whereas the remaining cases were all located at the Moulin au Roy tank. The positive distribution system positive samples all occurred the same day (October 30, 2000), and could be explained by the high flow hydrant testing taking place during the week before the coliform occurrences. During the same study, 24 cultivable bacteria (HPC 22°C and HPC 37°C) occurrences were also studied. Some of them were associated to coliform events while other ones (5 occurring on September the 11th 2000, and 2 on October the 2nd 2000) were related to disturbances in the pressure zone following major changes in the water supply.

The application of the integrated approach to aesthetic complaints allowed to explain with a high probability respectively 59%, 37%, 26% and 6% of the studied complaints for the cities of Egham (n = 17 complaints studied), Laval (n = 97), Caen (n =27) and Montreal (n =16). Amongst the unexplained complaints are those which can be related

to problems linked with consumer's private piping systems, and thus could not be explained by the integrated approach.

The analysis of available databases for each utility showed that the proportion of aesthetic complaints that could be explained through the application of the integrated approach seems to increase as the spatial and temporal density of available information increase. Except for the city of Egham, this relationship was observed for the cities of Montreal, Caen and Laval, for which spatial and temporal density of operation and maintenance data were respectively 8, 37 and 95,6 elements/ year/ 10km of pipes. The low proportion of aesthetic complaints which could be explained for the city of Montreal can thus be explained in part by the low spatial and temporal density of available data. Moreover, a more detailed analysis of available databases showed that the higher is the spatial and temporal density of a specific type of data, the more numerous are the aesthetic complaints that can be explained by the information contained in this specific type of data.

Amongst the 7 aesthetic complaints that were explained with a highly probable cause for the city of Caen, two were found to be associated with high flow hydrant tests, two with leaks pointed out by consumer calls on the distribution system, one with a pipe repair, one with a service-line repair and another one with a pipe rehabilitation. For the city of Egham, 10 aesthetic complaints were explained with a highly probable cause. Five of them (all recorded on the same street, within four days) are associated with works on valves, two (emitted by the same consumer within three days) with a pipe repair, and the three last are associated with supposed increase of water demand in the distribution system. For the city of Montreal, only one aesthetic complaint could be explained with a highly probable cause, which consisted in a turbidity breakthrough during raw water turnover period. Finally, amongst the 36 aesthetic complaints explained with a highly probable cause for the city of Laval, nine are related to numerous valves and/or hydrant manipulations, eight with leak repairs, seven with flushing programs, seven with

increased of water demand in the distribution system, and five with a few valve or hydrant manipulations. The causes identified for aesthetic complaints by the application of the integrated approach vary from a city to another, which is not surprising as distribution system characteristics and management are different.

Finally, the analysis of pipe characteristics for the distribution systems of Laval and Egham showed that cast iron pipes seem to be more often associated to aesthetic complaint occurrences.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ..... **IV**

RÉSUMÉ ..... **V**

ABSTRACT ..... **IX**

TABLE DES MATIÈRES ..... **XIII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **XXII**

LISTE DES FIGURES ..... **XXV**

LISTE DES ANNEXES ..... **XXXI**

LISTE DES ABBRÉVIATIONS ..... **XXXII**

CHAPITRE 1 INTRODUCTION **1**

CHAPITRE 2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE **4**

2.1 Intérêt de mieux comprendre les apparitions de turbidité en réseau 4

2.1.1 Définition de la turbidité 4

2.1.2 Impact de la turbidité sur la qualité microbiologique de l'eau 4

2.1.3 Turbidité et santé du consommateur 6

2.1.4 Turbidité et satisfaction du consommateur 8

2.1.5 Les réglementations concernant la turbidité 9

2.2 Les particules présentes dans les réseaux de distribution 10

2.2.1 Matières en suspension et particulaire non retenues par le traitement 10

2.2.2 Particules provenant de la barrière de traitement 11

2.2.3 Particules dues à la corrosion des conduites 12

2.2.4 Particules provenant des intrusions dans le réseau 14

2.2.5 Mécanismes de déposition et de remise en suspension des particules.....15
2.3 Les plaintes d'aspect et la gestion des réseaux de distribution 16
2.3.1 Les plaintes d'aspect comme source d'information.....16
2.3.2 Traitement de l'eau et réduction des plaintes d'aspect 18
2.3.3 Programmes de rinçages et réduction des plaintes d'aspect 18
2.4 Les outils informatiques utilisés dans la gestion des réseaux de distribution d'eau potable 19
2.4.1 Utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) 20
2.4.2 Intégration des données dans les SIG.....20
2.4.3 Utilisation des SIG dans la gestion des réseaux de distribution.....21
2.4.4 Utilisation des SIG pour l'analyse d'événements qualité 22
CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES 24
3.1 Structure de l'approche intégrée 24
3.1.1 Les données considérées pour l'explication des problèmes de qualité en réseau.....24
3.1.2 Formatage des données 26
3.1.3 Géocodage des données de la ville de Caen.....26
3.1.4 Les outils informatiques utilisés.....28
3.1.4.1 Le modèle hydraulique : EPANET (version 2.0) 28
3.1.4.2 L'analyseur interactif : IMADSIG 29
3.1.4.3 L'outil de visualisation : Arc Explorer.....30
3.2 Description des réseaux étudiés et de leurs bases de données relatives.....31
3.2.1 Description des réseaux de distribution étudiés (données structurelles).....31
3.2.1.1 Le réseau de distribution de la Zone Basse de Caen 31
3.2.1.2 Les zones E23 et E65 du réseau de distribution de la ville d'Egham.....33
3.2.1.3 Les zones 3, 4 et 5 du réseau de distribution de la ville de Montréal.....34
3.2.1.4 Le réseau de distribution de la ville de Laval.....35

3.2.2 Données relatives à l'hydraulique 36
3.2.2.1 Ville de Caen : modèle hydraulique de la Zone Basse 36
3.2.2.2 Ville d'Egham : modèle hydraulique des Zones E23 et E65 37
3.2.2.3 Ville de Montréal : modèle hydraulique des zones 3, 4 et 5. 37
3.2.2.4 Ville de Laval : modèle hydraulique du réseau et données « terrain » 37
3.2.3 Données géographiques 38
3.2.4 Données qualité 38
3.2.5 Données d'opération et de maintenance 42
3.2.6 Appels de consommateurs 43
3.3 Application de l'approche intégrée aux événements qualité 44
3.3.1 Définition des événements qualité à étudier 44
3.3.1.1 Définition des événements coliformes 44
3.3.1.2 Définition des événements BHAA 45
3.3.1.3 Sélection des plaintes d'aspect étudiées 49
3.3.2 Étapes suivies lors de l'application de l'approche intégrée 53
3.3.2.1 Étude de la qualité de l'eau en entrée de réseau et aux réservoirs 53
3.3.2.2 Formulation de requêtes selon des critères spatiaux et temporels 53
3.3.2.3 Traçage du chemin hydraulique amont 53
3.3.2.4 Analyse via la visualisation des données résultant des requêtes 53
3.3.2.5 Attribution d'une pondération 54
3.3.2.6 Construction d'une matrice de résultats 54
3.3.3 Spécificité de l'application de l'approche intégrée dans chaque ville 55
3.3.3.1 Ville de Caen 55
3.3.3.2 Ville d'Egham 56
3.3.3.3 Ville de Montréal 57
3.3.3.4 Ville de Laval 58
3.3.4 Analyse des résultats de l'application de l'approche intégrée dans chaque réseau étudié 59

3.4 Études complémentaires à l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect....60
3.4.1 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect....60
3.4.2 Risques d'apparitions de plaintes d'aspect liées à certains types d'interventions....61

CHAPITRE 4 RÉSULTATS....63

4.1 Application de l'approche intégrée à la qualité microbiologique de l'eau de la ville de Caen....63
4.1.1 Résultats du géocodage des données de la ville de Caen....63
4.1.2 Étude des événements d'apparition de coliformes....65
4.1.2.1 Matrice résultant de l'étude systématique des cas d'apparition de coliformes....65
4.1.2.2 Le 26 janvier 1998 : 1 coliforme thermotolerant /100mL au réservoir Moulin au Roy....67
4.1.2.3 Le 5 octobre 1999 : 1 coliforme total/100mL au réservoir Moulin au Roy....67
4.1.2.4 Le 30 octobre 2000 : 4 apparitions de coliformes sur le réseau....72
4.1.2.5 Autres échantillons positifs en coliformes....78
4.1.2.6 Conclusion sur les événements d'apparition de coliformes....78
4.1.3 Étude des événements de fortes concentrations en bactéries cultivables....78
4.1.3.1 Matrice résultant de l'étude systématique des événements de bactéries cultivables....78
4.1.3.2 Le 11 septembre 2000 : 4 événements BHAA 37°C et 1 BHAA 22°C ...81
4.1.3.3 Le 2 octobre 2000 : apparition de BHAA 22°C aux points 2 et 3....82
4.1.3.4 Conclusion sur les événements de bactéries cultivables....84

4.2 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Caen.....85
4.2.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Caen.....85
4.2.2 Efficacité de l'approche intégrée 87
4.2.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable.....88
4.2.4 Illustration des cinq types de causes très probables mis en évidence 90
4.2.4.1 Tests de bornes fontaines à haut débit (2 cas sur 7) 90
4.2.4.2 Fuites signalées par des appels de consommateurs (2 cas sur 7) 93
4.2.4.3 Réhabilitation de conduite (1 cas sur 7) 96
4.2.4.4 Réparations de conduites (1 cas sur 7) 98
4.2.4.5 Réparation de branchement (1 cas sur 7) 99
4.2.5 Analyse des types de données ayant permis l'identification des causes très probables 99
4.2.6 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux tests de bornes fontaines à haut débit. 101
4.2.7 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux avis de coupure d'eau.....101
4.3 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham 102
4.3.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham 102
4.3.2 Efficacité de l'approche intégrée 104
4.3.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable.....104
4.3.4 Illustration des trois types de causes très probables mis en évidence 105
4.3.4.1 Réparation de conduite : les plaintes du 12 et 14 mars 1998 105
4.3.4.2 Travaux effectués sur des vannes : les 5 plaintes du 15 au 18 novembre 1999 108

4.3.4.3 Augmentations présumées de la consommation : les 18 juillet, 8 et 9 août 1998 111
4.3.5 Analyse des types de données ayant permis de retrouver les causes très probables 113
4.3.6 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect pour la ville d'Egham 114
4.3.6.1 Caractéristiques des conduites relatives aux plaintes d'aspect 114
4.3.6.2 Influence de l'âge des conduites 115
4.3.6.3 Influence des matériaux de conduites 117
4.3.6.4 Influence du diamètre des conduites 118
4.4 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal 120
4.4.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal 120
4.4.2 Synthèse des résultats 122
4.4.3 La plainte d'aspect du 23 avril 1998 : passage de la barrière de traitement 123
4.4.4 Analyse des types de données géocodées utilisées lors de l'application de l'approche intégrée 125
4.5 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval 126
4.5.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval 126
4.5.2 Efficacité de l'approche intégrée 127
4.5.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable 127
4.5.4 Illustration des différents types de causes très probables mis en évidence 128
4.5.4.1 Nombreuses manipulations de BF et/ou vannes (9 plaintes sur 36) 128
4.5.4.2 Programmes de rinçage (7 plaintes sur 36) 129
4.5.4.3 Réparations de fuites (8 plaintes sur 36) 131

4.5.4.4 Manipulations de quelques BF et/ou vannes (5 plaintes sur 36) 133
4.5.4.5 Augmentation de consommation d'eau dans le réseau (7plaintes sur 36) 134
4.5.5 Analyse des types de données ayant permis de retrouver les causes très probables 135
4.5.6 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect pour la ville de Laval 137
4.5.6.1 Caractéristiques des conduites du réseau de Laval et de celles relatives aux plaintes d'aspect. 138
4.5.6.2 Influence de l'âge des conduites 139
4.5.6.3 Influence des matériaux de conduites 141
4.5.6.4 Influence du diamètre des conduites 143
4.5.7 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux programmes de rinçage 145
4.5.8 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux réparations de bris de conduites. 145

CHAPITRE 5 DISCUSSION 147

5.1 Commentaires sur le géocodage de données relatives à la gestion d'un réseau de distribution d'eau potable 147
5.1.1 Géocodage des données de la ville de Caen 147
5.1.1.1 Précision spatiale des différentes méthodes de géocodage utilisées pour les données de la ville de Caen 147
5.1.1.2 Rapidité de mise en œuvre des différents types de géocodage utilisés pour les données de la ville de Caen 149
5.1.1.3 Synthèse sur le géocodage des données de la ville de Caen 150

5.1.2 Recommandations pour le géocodage de données relatives à un réseau de distribution d'eau potable 153
5.1.2.1 Recommandations pour le géocodage d'une base de données déjà existante 153
5.1.2.2 Recommandations pour le géocodage d'une base de données à venir ... 154
5.2 Commentaires sur la méthode d'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect 155
5.2.1 Sélection des plaintes d'aspect étudiées dans chaques villes 155
5.2.2 Étude de la qualité de l'eau en entrée de zone et aux réservoirs 157
5.2.3 Formulation de requêtes selon des critères spatiaux et temporels 157
5.2.3.1 Utilisation du chemin hydraulique amont 158
5.2.3.2 Analyse et attribution de pondérations 159
5.3 Efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect des villes de Caen, Egham, Montréal et Laval 161
5.3.1 Commentaires généraux sur les plaintes d'aspect étudiées 161
5.3.2 Comparaison de l'efficacité de l'approche intégrée dans les 4 villes 162
5.3.3 Importance des bases de données dans l'efficacité de l'approche intégrée 163
5.3.4 Analyse des types de données ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable 167
5.4 Causes à l'origine des plaintes d'aspect étudiées 170
5.4.1 Principales causes ressorties de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect 170
5.4.1.1 Programmes de rinçage et tests de bornes fontaines à haut débit 171
5.4.1.2 Réparations de fuites sur le réseau 173
5.4.1.3 Augmentations de la consommation réseau 174
5.4.2 Influence des types de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect 174

5.4.3 Recommandations pour diminuer les plaintes consommateurs 176
5.4.3.1 Réduire la quantité de dépôts accumulés dans les conduites 176
5.4.3.2 Agir au niveau des interventions effectuées sur le réseau 177

CHAPITRE 6 CONCLUSIONS 179

RÉFÉRENCES 183

ANNEXES 195

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1. Données géographiques utilisées pour les 4 villes étudiées.....38
Tableau 3.2. Données qualité disponibles pour les 4 villes étudiées.....41
Tableau 3.3. Données d'opérations et de maintenance disponibles pour les 4 villes étudiées.....42
Tableau 3.4. Détail des données de maintenance régulière pour les 4 villes étudiées.....43
Tableau 3.5. Données d'appels de consommateurs pour chacune des 4 villes.....44
Tableau 3.6. Événements coliformes retenus pour l'application de l'A.I à la ville de Caen (UFC/100mL).....45
Tableau 3.7. Seuils de concentrations définissant les événements BHAA.....48
Tableau 3.8. Événements BHAA retenus pour l'application de l'approche intégrée à la ville de Caen.....49
Tableau 3.9.Plaintes d'aspect retenues pour l'application de l'approche intégrée aux 4 villes étudiées.....52
Tableau 3.10. Probabilités d'impact attribuées à chaque classe de pondérations lors de l'application de l'approche intégrée.....54
Tableau 3.11. Exemple de matrice de synthèse des résultats (tiré de la matrice des plaintes d 'aspect étudiées à Laval).....55
Tableau 3.12 Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux événements qualité de la ville de Caen, et critères temporels relatifs.....56
Tableau 3.13. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham, et critères temporels relatifs.....57
Tableau 3.14. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal, et critères temporels relatifs.....58
Tableau 3.15. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval, et critères temporels relatifs.....58
Tableau 4.1. Résultats du géocodage des données de la ville de Caen.....64

Tableau 4.2. Proportions d'éléments de la base de données de la ville de Caen géocodés selon différentes méthodes de géocodage. 65
Tableau 4.3. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux événements coliformes de la ville de Caen. 66
Tableau 4.4. Matrice résultant l'application de l'approche intégrée aux événements BHAA de la ville de Caen 79
Tableau 4.5. Matrice des résultats de l'investigation des plaintes d'aspect de la Zone Basse de la ville de Caen 86
Tableau 4.6. Plaintes d'aspect du réseau de la Zone Basse de la ville de Caen expliquées avec une cause très probable 88
Tableau 4.7. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'A.I à la Zone Basse de la ville de Caen. 99
Tableau 4.8. Campagnes de tests de BF à haut débit, effectuées sur la zone basse de la ville de Caen et plaintes d'aspect associées. 101
Tableau 4.9. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham. 103
Tableau 4.10. Causes ayant permis d'expliquer de manière très probable 10 plaintes d'aspect à Egham, et dates des plaintes correspondantes 105
Tableau 4.11. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'A.I à la ville d'Egham 113
Tableau 4.12. Répartition des plaintes d'aspect de la ville d'Egham en fonction des caractéristiques des conduites. 114
Tableau 4.13. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal 121
Tableau 4.14. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal. 126
Tableau 4.15. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval. ... 136

Tableau 4.16. Répartition des plaintes d'aspect de la ville de Laval en fonction des différentes caractéristiques de conduites.....138
Tableau 5.1. Grille de caractérisation des différentes méthodes de géocodage utilisées pour la base de données de la ville de Caen.....151
Tableau 5.2. Proportions d'éléments de la base de données de la ville de Caen géocodés selon différentes méthodes de géocodage.....151
Tableau 5.3. Densités spatio-temporelles des données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect pour les villes de Caen, Egham, Laval et Montréal.....164
Tableau 5.4. Nombres de pondérations très probables attribuées à différents types de données et densités spatio-temporelles relatives pour les villes de Caen et Laval.168

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1.Visualisation du chemin amont pour un nœud A du réseau (Caen) 30
Figure 3.2. Le réseau de la Zone Basse de la ville de Caen. 32
Figure 3.3. Zones E65 et 'E23 nouvelle' du réseau de distribution de la ville d'Egham 33
Figure 3.4. Schéma des zones de pression 3, 4 et 5. 34
Figure 3.5. Réseau de distribution de la ville de Laval 36
Figure 3.6. Position des points d'échantillonnage de la Zone Basse du réseau de distribution de la ville de Caen. 40
Figure 3.7. Schématisation des variations temporelles des concentrations en bactéries cultivables en un point donné. 46
Figure 3.8. Définition des concentrations seuils pour les points 1 et 4. 47
Figure 4.1. Concentrations en bactéries cultivables dans l'eau souterraine chlorée alimentant la Zone Basse mesurées au réservoir Guérinière. 68
Figure 4.2. Concentrations en bactéries cultivables mesurées au réservoir Moulin au Roy. 69
Figure 4.3. Réparations de conduites du 3 et 4 octobre 1999, et appels de consommateurs enregistrés le 29 septembre 1999 dans le secteur du réservoir Moulin au Roy. 69
Figure 4.4. Répartition des appels classés selon différentes catégories pour l'ensemble des appels enregistrés dans la base de données de Caen et pour ceux enregistrés le 29 septembre 1999. 70
Figure 4.5. Turbidité au réservoir Moulin au Roy, entre avril 1999 et mars 2000. 71
Figure 4.6. Résultat de l'application de la requête spatio-temporelle pour les interventions prenant place dans la partie Nord de la Zone Basse, pour l'événement coliforme du 30 octobre 2000 74
Figure 4.7. Position des tests de bornes fontaines à haut débit effectués entre le 23 et le 27 octobre 2000 sur la Zone basse de la ville de Caen. 75

Figure 4.8. Débits dans la Zone Basse durant la période de remplissage du réservoir Moulin au Roy. 77
Figure 4.9.Proximité temporelle entre les tests de BF à haut débit effectués sur la zone basse entre août 2000 et septembre 2001 et les échantillons positifs en coliformes sur ce même réseau. 77
Figure 4.10. Répartition entre les différentes probabilités des causes trouvées pour les événements de BHAA 22°C et BHAA 37°C. 80
Figure 4.11. Échantillonnages hebdomadaires des paramètres qualité sur les points d'échantillonnage 1, 2, 3, 4 et 5 entre août et octobre 2000. 82
Figure 4.12 Corrélations entre conductivité et BHAA 22°C le 11septembre 2000 et le 2 octobre 2000. 84
Figure 4.13. Proportion des plaintes d'aspect de la ville de Caen expliquées de manière très probable, possible ou peu probable. 87
Figure 4.14. Répartition des plaintes de la ville de Caen expliquées de manière très probable par différents types de causes. 89
Figure 4.15. Plaintes d'aspect expliquées de manière très probable en fonction des dates de leur cause. 89
Figure 4.16. Carte des plaintes d'aspect du 24 octobre 2000 sur la Zone basse du réseau de la ville de Caen et positions des tests de BF des 23 et 24 octobre 2000. . 91
Figure 4.17. Cartes rapprochées des plaintes d'aspect du 24 octobre 2000 sur la zone basse du réseau de la ville de Caen. 92
Figure 4.18. Profil de vitesse sur 48 heures dans la conduite de diamètre 60 mm sur laquelle a été enregistrée la plainte A (24 octobre 2000), d'après le modèle hydraulique, avant et pendant le test de BF. 92
Figure 4.19. Carte de la plainte d'aspect du 29 mai 1999 enregistrée sur la Zone basse du réseau de la ville de Caen. 95
Figure 4.20. Carte de la plainte d'aspect du 7 juillet 1999 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, potentiellement expliquée par un appel de consommateur indiquant une fuite réseau. 96

Figure 4.21. Carte de la plainte d'aspect du 4 octobre 1999 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, expliquée par une réhabilitation de conduite et confirmée par un avis de coupure d'eau. 97
Figure 4.22. Carte de la plainte d'aspect du 27 mai 1998 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, expliquée par une réparation de conduite. 98
Figure 4.23. Nombre de pondérations très probables attribuées à chaque type de données géocodées utilisées lors de l'application de l'A.I à Caen et densités spatio-temporelles respectives. 100
Figure 4.24. Proportion des plaintes d'aspect de la ville d'Egham expliquées de manière très probable, possible ou peu probable. 104
Figure 4.25. Mesures de turbidité en sortie de l'usine alimentant le réseau d'Egham au cours de l'année 1998. 106
Figure 4.26. Carte des plaintes d'aspect des 12 et 14 mars 1998 sur le réseau d'Egham, expliquées de manière très probable par une réparation de bris de conduite. 107
Figure 4.27. Schéma des connexions hydrauliques du réseau d'Egham au niveau des rues New Road / Forest Road, en novembre 1999. 108
Figure 4.28. Carte des plaintes d'aspect enregistrées entre le 15 et le 18 novembre 1999 sur le réseau d'Egham. 110
Figure 4.29. Carte des plaintes d'aspect du 18 juillet 1998, et du 8 et 9 août 1998 sur le réseau d'Egham. 112
Figure 4.30. Évolution de la température atmosphérique à Egham durant l'année 1998. 113
Figure 4.31. Proportions des conduites du réseau d'Egham selon leurs dates de mise en service, et proportions des plaintes d'aspect qui leurs sont associées. 115
Figure 4.32. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites mises en service en 1952, 1965 et 1967 à Egham. 116
Figure 4.33. Répartition des conduites du réseau d'Egham et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des types de matériaux de conduites 117

Figure 4.34. Répartition des conduites du réseau d'Egham et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des diamètres de conduites 118
Figure 4.35. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de diamètres 75mm, 100 mm, 125 mm et 175 mm du réseau de la ville d'Egham.... 119
Figure 4.36. Carte des données d'opération et de maintenance disponibles et plaintes d'aspect étudiées sur la ville de Montréal. 122
Figure 4.37. Proportion des plaintes d'aspect de la ville de Montréal expliquées de manière très probable, possible ou peu probable. 123
Figure 4.38. Échantillonnages quotidiens de turbidité en sortie des usines Atwater et Desbaillets à Montréal de mars 1998 à mai 2000. 124
Figure 4.39. Position des 3 plaintes relatives à l'aspect de l'eau lors des mois d'avril 1997, 1998 et 1999 à Montréal. 125
Figure 4.40. Proportions des plaintes d'aspect de la ville de Laval expliquées de manière très probable, possible ou peu probable. 127
Figure 4.41. Répartition des 36 plaintes de la ville de Laval expliquées de manière très probable par différents types de causes. 128
Figure 4.42. Carte de la plainte d'aspect du 11 novembre 1999 enregistrée sur le réseau de Laval expliquée de manière très probable par ne nombreuses manipulations de BF et vannes. 129
Figure 4.43. Carte de la plainte d'aspect du 3 septembre 1998 enregistrée sur le réseau de Laval (zone de rinçage n°=2), expliquée de manière très probable par un programme de rinçage. 130
Figure 4.44. Carte de la plainte d'aspect du 22 septembre 1998 enregistrée sur le réseau de Laval (zone de rinçage n°=35a), expliquée de manière très probable par une réparation de bris de conduite. 132
Figure 4.45. Carte de la plainte d'aspect du 27 juillet 1999 enregistrée sur le réseau de Laval, expliquée de manière très probable par une manipulation de BF isolée. 133

Figure 4.46. Débits d'usine maximaux mesurés aux usines Chomedey et Pont-Viau entre le 1er mai 1998 et le 31 août 1998. 135
Figure 4.47. Nombre de pondérations 'très probables' attribuées aux types de données géocodées de la ville de Laval dont les densités spatio-temporelles ont été calculées. 137
Figure 4.48. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction de la date de mise en service des conduites 139
Figure 4.49. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites mises en service entre 1950 et 1995 à Laval 140
Figure 4.50. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des types de matériaux 142
Figure 4.51. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de fonte grise, de fonte ductile et de plastique du réseau de la ville de Laval 143
Figure 4.52. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des diamètres de conduites 144
Figure 4.53. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de diamètres 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250mm et 300mm du réseau de la ville de Laval 144
Figure 5.1. Répartition des éléments géocodés par centre de rue dans la base de données de la ville de Caen en fonction des longueurs de rues sur lesquelles ils sont situés. 148
Figure 5.2. Répartition des données géocodées en fonction des caractéristiques de rapidité de mise en œuvre et de précision spatiale relatives à leur méthode de géocodage 152
Figure 5.3. Distributions spatiales et temporelles pour les plaintes d'aspect de la ville de Laval enregistrées sur la période 1998-1999, ainsi que pour les plaintes sélectionnées pour l'application de l'approche intégrée sur cette même période.. 156

Figure 5.4. Répartition des plaintes d'aspect expliquées de manière 'très probable', 'possible', ou 'peu probable' pour les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval.....162
Figure 5.5. Proportions de plaintes d'aspect expliquées de manière très probable et densités spatio-temporelles des données utilisées pour les villes de Montréal, Caen, Laval et Egham. 166
Figure 5.6. Corrélation entre les nombres de pondérations très probables attribuées et les densités spatio-temporelles de différents types de données des villes de Caen et Laval. 169

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Description des plaintes d'aspect étudiées pour les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval.....196

Annexe B : Caractéristiques des conduites des réseaux de distribution des villes d'Egham et Laval.....203

Annexe C : Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval et détail des plaintes expliquées de manière très probable.....206

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

A.I	: Approche Intégrée
AWWARF	: American Water Work Association Research Fondation
BF	: Borne Fontaine
BHAA	: Bactérie hétérotrophe aérobie et anaérobie facultative
EPA	: Agence de Protection de l'Environnement Américaine
EPM	: École Polytechnique de Montréal
GPS	: Global Positioning System
HPC	: Heterotrophic plate count
HPPE	: High performance polyethylene
MDPE	: Medium density polyethylene
PEHD	: Polyéthylène haute densité
PVC	: Polychlorure de vinyle
SCADA	: Supervisory control and data acquisition
S.E.	: Système expert
SIG	: Système d'information géographique
TNPC	: Trop nombreux pour être compté
UFC	: Unité formant colonie
UTN	: Unité de turbidité néphélométrique

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les distributeurs d'eau potable semblent porter de plus en plus d'attention à la satisfaction des consommateurs. La qualité de l'eau distribuée ne doit plus se contenter de satisfaire aux normes en vigueur, elle doit aussi répondre aux attentes des consommateurs. Plusieurs observateurs s'accordent à penser que l'implication du public dans la gestion de la production et de la distribution d'eau potable va s'accélérer au cours des 50 années à venir, annonçant un défi de taille, celui de pouvoir répondre clairement et rapidement aux plaintes de consommateurs (Grant, 2000 ; Standford, 2000). Or ces derniers ont tendance à devenir de plus en plus exigeants, du fait, entre autre, d'une plus grande médiatisation des enjeux liés à la qualité de l'eau potable sur la santé. La principale connexion reliant le distributeur d'eau aux consommateurs se fait par le biais de leurs appels téléphoniques. Ces appels peuvent être relatifs à la qualité de l'eau (aspect, goûts et odeurs, qualité microbiologique), à des anomalies hydrauliques (sous-pressions, surpressions, manques d'eau, etc.), ou encore à des demandes d'intervention (pose de compteurs, etc.). Ils peuvent constituer une source d'information précieuse, puisqu'ils sont le reflet de l'état du système de distribution.

Parmi l'ensemble des appels de consommateurs enregistrés dans une ville, les plaintes relatives à l'aspect de l'eau peuvent représenter une proportion importante (section 2.1.3). Cependant, peu d'études dédiées à la recherche des causes à l'origine de plaintes d'aspect ont été publiées. Cela s'explique peut être par le fait que pour pouvoir retrouver la cause à l'origine d'une plainte d'aspect, toutes les données disponibles permettant de fournir des informations pertinentes (telles que les données d'opérations et de maintenance effectuées sur le réseau, les donnés de qualité de l'eau traitée, les données hydrauliques, etc.) doivent êtres examinées. Sans l'aide d'un outil informatique permettant la sélection et la visualisation de tous les événements ayant

eu lieu dans le secteur de la plainte étudiée, et durant une période précédant son apparition, ce travail peut être extrêmement fastidieux.

Dans le cadre d'un projet de la Chaire industrielle CRSNG en eau potable, une approche intégrée permettant la sélection et la visualisation de différents types de données a été développée pour les réseaux des villes de Montréal et Laval au Québec, Moncton au Nouveau Brunswick, Egham en Grande Bretagne, et Caen en France, dans le but de mettre en évidence les causes à l'origine des échantillons positifs en coliformes sur les réseaux. Dans chacune de ces villes, l'approche intégrée prend en compte les données relatives à la qualité de l'eau distribuée, les données d'opération et de maintenance, les données d'appels de consommateurs ainsi qu'un modèle hydraulique.

Ce projet de maîtrise a consisté dans un premier temps à participer à la mise en place de l'approche intégrée pour la ville de Caen et à son application à l'étude des cas d'apparitions de coliformes et bactéries cultivables dans le réseau. Mais l'objectif principal de ce projet est d'évaluer les performances de l'approche intégrée appliquée à l'étude de plaintes d'aspect en réseaux de distribution d'eau potable. Plus précisément, l'objectif principal se décompose en trois objectifs sous-jacents :

- évaluer la proportion de plaintes pouvant être expliquées par cette méthode
- mettre en évidence des liens entre les caractéristiques des bases de données utilisées et les résultats obtenus par l'application de l'approche intégrée
- déterminer les principales causes permettant d'expliquer les plaintes d'aspect dans chacune des villes considérées.

Pour atteindre ces objectifs, l'approche intégrée a été appliquée aux plaintes d'aspect enregistrées sur les réseaux des villes de Caen (France), Egham (Grande Bretagne), Montréal et Laval (Canada). Les bases de données disponibles dans chacune des villes ont par ailleurs été caractérisées en terme de densités spatio-temporelles d'informations contenues (nombre d'éléments/an/10 km de conduites). Enfin, pour les villes de Laval et Egham, les caractéristiques des conduites (âge, matériau, diamètre)

sur lesquelles ont été enregistrées les plaintes d'aspect ont été comparées à celles des conduites du réseau sur lesquelles peuvent êtres branchés des consommateurs afin de déterminer leur impact sur l'apparition de plaintes d'aspect.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante. Une revue bibliographique présentant certaines causes et conséquences des phénomènes de turbidité en réseau ainsi qu'un aperçu de la problématique des plaintes d'aspect et une présentation des outils informatiques utilisés dans la gestion des réseaux de distribution est tout d'abord proposée au chapitre 2 . Le chapitre 3 présente la structure de l'approche intégrée, les bases de données utilisées dans chaque ville ainsi que la procédure suivie lors de son application aux plaintes d'aspect. Le chapitre 4 contient les résultats de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect des villes de Caen, Egham, Montréal et Laval. Les résultats du géocodage de la base de données de la ville de Caen, ainsi que de l'application de l'approche intégrée aux échantillons positifs en coliforme et bactéries cultivables à Caen, sont également présentés au début de ce chapitre. Des commentaires sur les méthodes utilisées ainsi que l'analyse et la discussion des résultats obtenus sont présentés au chapitre 5. Enfin, une conclusion générale sur les principaux résultats mis en évidence lors de ce projet vient terminer ce mémoire au chapitre 6.

CHAPITRE 2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Intérêt de mieux comprendre les apparitions de turbidité en réseau

La turbidité est un paramètre permettant de caractériser l'aspect de l'eau. Dans le cadre de l'étude de plaintes de consommateurs relatives à l'aspect de l'eau, il est intéressant de connaître les enjeux liés aux apparitions de turbidité en réseau. Cette section présente les impacts de la turbidité sur la qualité microbiologique de l'eau ainsi que sur la santé et la satisfaction des consommateurs. Quelques réglementations concernant la turbidité sont également présentées à la fin de cette section.

2.1.1 Définition de la turbidité

La turbidité est due à la présence de matière en suspension, elle est l'expression des propriétés optiques de réflexion et de diffraction d'un échantillon soumis à un rayonnement lumineux (APHA *et al.*, 1998). Dans le domaine de l'eau potable, la méthode néphélométrique est couramment utilisée pour mesurer la turbidité. Cette méthode est basée sur la comparaison de la lumière diffractée par un échantillon soumis à un rayon lumineux avec celle d'un échantillon de référence. Cette diffraction est exprimée en Unité de Turbidité Néphélométrique (UTN) (APHA *et al.*, 1998). Ainsi la notion de turbidité est liée à la présence de particules en suspension diffractant la lumière dans l'eau.

2.1.2 Impact de la turbidité sur la qualité microbiologique de l'eau

La turbidité de l'eau dans les réseaux de distribution a-t-elle une influence sur la qualité microbiologique de l'eau ? En Californie, une étude menée sur un réseau de distribution alimenté par de l'eau de surface a permis de mettre en évidence que les augmentations de turbidité, parfois observées lors d'événements intermittents occasionnels sur le réseau, pouvaient être accompagnées d'une augmentation similaire

de bactéries cultivables (McCoy *et al.*, 1986). En revanche, aucune corrélation entre la turbidité et la qualité microbiologique de l'eau distribuée n'a pu être établie durant le reste de l'année. Dans le réseau de distribution de la ville de Montréal, le même type d'événement a été observé dans le cadre de campagnes d'échantillonnages spécifiques réalisées en période de renversement, soit au cours du mois d'avril 2001. On observe alors un pic de turbidité dans l'eau brute et dans l'eau traitée (Gauthier *et al.*, 2001a). Dans cette étude, des échantillonnages de l'eau brute réalisés lors du pic de turbidité ont permis de mettre en évidence la présence de kystes présumés de *Cryptosporidium* et de *Giardia*, sans toutefois de confirmation possible du fait de la concentration élevée de particules dans les échantillons. La présence de ces organismes dans l'eau traitée et distribuée n'a pas été contrôlée (non mesuré). Cependant, il a été montré que l'enlèvement de ces kystes, par un traitement de filtration sur sable (ce qui est le cas à Montréal), peut être corrélé avec l'enlèvement de la turbidité, ce qui porte à croire que les épisodes de forte turbidité en réseau peuvent être accompagnés de la présence de kystes (LeChevallier et Norton, 1992).

Brazos et O'Connor (1996) ont remarqué que parmi les $6*10^6$ cellules/ml de bactéries présentes dans les eaux de la rivière Missouri en hiver, 39% d'entre elles sont associées à des particules. En été leur concentration atteint $35*10^6$ cellules/ml, avec 71% des bactéries qui sont associées à des particules. Même si la proportion de ces bactéries associées à des particules est négligeable dans l'eau traitée, des nématodes, des bactéries en forme de long bâtonnets (long bacterial rods) ainsi que des algues ont été observées, ce qui peut représenter un risque sanitaire.

L'attachement des micro-organismes sur les particules est problématique car d'une part les particules les protègent de l'effet du désinfectant en le consommant, et d'autre part elles les protègent en offrant une protection physique. Herson *et al.* (1987) ont comparé la résistance aux désinfectants pour des bactéries attachées à des particules et des bactéries libres. Des bactéries (E.Cloacae), cultivées en laboratoire ont été introduites dans de l'eau rouge (riche en fer) spécifiquement prélevée sur le réseau de la ville de Willmington (États Unis). Pour une même exposition au désinfectant, en

moyenne 99,5% des bactéries libres sont tuées contre 98,0% des bactéries attachées. La turbidité de l'eau peut également diminuer l'efficacité du désinfectant. Selon Rizet *et al.* (1990), lorsque la turbidité dépasse 0,4 UTN, l'action du désinfectant est fortement réduite, sinon annulée, du fait que les particules responsables de cette turbidité sont oxydées par le désinfectant.

Dans un réseau de distribution, la turbidité peut provenir de la remise en suspension des dépôts accumulés dans les conduites (Walski, 1991). Or ces dépôts contiennent souvent une population bactérienne non négligeable. Les bactéries présentes dans les dépôts ont fait l'objet de nombreuses études (Ainsworth, 1978 ; Gauthier *et al.*, 1996, De Rosa, 1993 ; LeChevallier *et al.*, 1987 ; Barbeau *et al.*, 1999 ; Zacheus *et al.*, 2001). Les valeurs moyennes des comptes de bactéries totales ou vivantes effectués dans ces six études varient de $7.2*10^6$ à 10^{11} cellules par gramme de dépôt. Les dépôts constituent un milieu propice à la croissance microbienne, ils protègent les bactéries du résiduel de désinfectant et ils contiennent des nutriments assimilables par les bactéries (Gauthier *et al.*, 1999).

Parmi les bactéries détectées dans les dépôts, des coliformes ont parfois été observés (Oliver et Harbour, 1995 ; LeChevallier *et al.*, 1987 ; Zacheus *et al.*, 2001). Par conséquent les épisodes de turbidité causés par des remises en suspension de dépôts peuvent être accompagnés d'une détérioration de la qualité microbiologique de l'eau distribuée.

2.1.3 Turbidité et santé du consommateur

Il est difficile d'établir un lien direct entre la turbidité d'une eau distribuée en réseau et son effet sur la santé des consommateurs. En effet, celle-ci dépend de nombreux paramètres autres que la qualité de l'eau, tels que la température atmosphérique, l'alimentation, etc. C'est pourquoi les études épidémiologiques relatives à ce sujet soulèvent parfois une polémique. Ainsi une étude menée à Philadelphie entre 1989 et 1993 proposait une corrélation statistique entre la turbidité mesurée dans le réseau de distribution et le nombre d'hospitalisations d'enfants pour gastro-entérites au

Children's Hospital of Philadelphia (Shwartz *et al.*, 1997). Suite à cette publication les auteurs reçurent un rapport co-écrit par l'Environmental Protection Agency (EPA) et le Philadelphia Water Department remettant en cause la validité de leurs résultats. Les principales critiques concernent d'une part la faible signification des statistiques établies, et d'autre part l'utilisation mal appropriée de la méthodologie employée afin de modéliser la distribution des gastro-entérites dans le temps (régression de Poisson). En réaction, Shwartz et Levin (1999) répliquèrent par une nouvelle publication destinée à justifier publiquement leur démarche scientifique.

Au Havre (France), une étude statistique basée sur les données de qualité de l'eau distribuée (via deux stations de traitement, l'une consistant simplement à une chloration, et l'autre à une filtration suivie d'une chloration, avec éventuellement une coagulation floculation lorsque la turbidité de l'eau brute excède 3 UTN) sur les ventes de médicaments anti-diarrhéiques en pharmacie entre 1993 et 1996 a montré que les augmentations de turbidité de l'eau brute (>10 UTN) étaient suivies d'augmentations de ventes de médicaments pendant les 3 semaines suivant les pics (Beaudeau *et al.*, 1999). A Vancouver (Grater Vancouvert Regional District), une étude du même type a permis de mettre en évidence une corrélation entre les gastro-entérites recensées dans les hôpitaux de la ville et la turbidité de l'eau distribuée (Aramini *et al.*, 2000). Cette étude s'appuie sur les données de qualité de l'eau et d'admissions dans les hôpitaux de la ville entre 1992 et 1998. L'étude statistique a aussi montré que les corrélations turbidité - gastro-entérites fonctionnent particulièrement bien avec 4 temps d'incubations, soit 3-6 jours, 6- 9 jours, 12-16 jours et 21-29 jours, temps qui correspondent aux périodes d'incubations des organismes (bactéries et protozoaires) pouvant causer des gastro-entérites. En avril 1993, une épidémie de gastro-entérites est survenue dans la ville de Milwaukee (Wisconsin) suite au passage de *Cryptosporidium* dans le réseau de distribution. Cette épidémie correspondait à une augmentation exceptionnelle de la turbidité de l'eau brute dans une des usines de traitement. Cet événement a donné lieu à une étude épidémiologique se basant sur les données quotidiennes d'hospitalisations pour

gastro-entérites et de turbidité de l'eau potable durant les 434 jours précédant l'épidémie (Morris *et al.*, 1996). Cette étude montre que les augmentations de gastro-entérites semblent être liées aux augmentations de turbidité de l'eau traitée avec une bonne corrélation statistique.

2.1.4 Turbidité et satisfaction du consommateur

Au-delà de l'aspect sanitaire, les phénomènes de turbidité en réseau peuvent engendrer des plaintes de consommateurs. Dans les réglementations, la limite esthétique de la turbidité de l'eau est généralement de 5 UTN, puisqu'au delà de ce seuil, la turbidité devient visible (Gouvernement du Canada, 2001 ; Gouvernement d'Australie, 2001 ; Gouvernement d'Ontario, 2001). Ainsi, lorsque la turbidité de l'eau au robinet excède 5 UTN, ou lorsqu'elle engendre une certaine coloration de l'eau, il y a possibilité de plaintes de consommateurs (Ainsworth, 1978). En novembre 1997, le Drinking Water Inspectorate (Grande Bretagne) envoya à toutes les compagnies impliquées dans la distribution d'eau potable du pays une lettre d'information rapportant qu'au cours de l'année 1996, plus de 42% de tous les incidents enregistrés étaient liés à des problèmes « d'eaux sales » (Smith *et al.*, 1998). En Grande Bretagne, la compagnie Wessex Water a constaté que 44% des plaintes reçues en 1991 concernaient l'aspect de l'eau (Jones et Tuckwell, 1993). Mais cette proportion peut parfois être bien plus élevée. A Cincinnati, avant la mise en place d'un programme pilote de vidanges orientées en 1996, plus de 80% des plaintes concernant la qualité de l'eau étaient des plaintes de couleur (Cossins *et al.*, 1999). Selon Smith *et al.* (1996), les plaintes d'eau rouge représentent une très grande majorité des plaintes d'aspect reçues par la compagnie Thames Water en Grande Bretagne. Une situation similaire à été observée dans la ville de Castelnaudary (France), où la plupart des plaintes de consommateurs sont relatives à des problèmes d'aspect ou de goûts et odeurs (Harmant *et al.*, 2000). Dans un réseau de distribution situé dans la banlieue parisienne en France, les plaintes pour turbidité ou couleur de l'eau représentent 42% du total des plaintes reçues (Harmant *et al.*, 1999). De même,

en 1993, la ville de Perpignan a du faire face à une vague de plaintes pour eau rouge, caractéristiques de la corrosion des conduites en fonte grise non revêtues, ce qui a conduit son distributeur à effectuer un diagnostic du réseau (Boireau *et al.*, 2000).

Un sondage effectué sur plus de 1200 consommateurs d'eau du robinet aux États Unis en mars 1993 révèle qu'une personne sur 5 considère avoir « toujours » ou « souvent » des problèmes avec le goût, l'odeur ou l'apparence de l'eau, avec une marge d'erreur de ±2.5% (Hurd, 1993). Selon ce même sondage, la notion de qualité de l'eau signifie pour 41% des personnes interrogées qu'elle est saine, pour 29% qu'elle a un 'bon aspect' (apparence et/ou goûts et odeurs), et pour les derniers 30% qu'elle est saine et a 'bon aspect'. Une mise à jour de ce rapport est prévue pour la fin de l'année 2002, elle compilera des données plus récentes et s'intitulera « The AWWARF Consumer attitude Survey Update » (#394).

Ainsi la turbidité en réseau peut créer une insatisfaction chez le consommateur. Or pour certains observateurs, c'est le service aux clients qui sera au centre de la gestion des infrastructures de production et de distribution d'eau potable dans les 50 prochaines années (Grant, 2000 ; Standford, 2000).

2.1.5 Les réglementations concernant la turbidité

Tel qu'exposé précédemment, la turbidité en réseau de distribution peut avoir un impact sur la qualité microbiologique de l'eau, et peut être à l'origine de plaintes de consommateurs. La turbidité est donc un paramètre physico-chimique de première importance, qui de ce fait est soumis à des réglementations relatives à la concentration maximale admise dans un échantillon d'eau.

Au Québec, la réglementation impose que 95% des mesures de turbidité en sortie des filtres (effectuées toutes les 4 heures) soient inférieures à 0,5 UTN sur des périodes de 30 jours, et toujours inférieures à 5 UTN (Gouvernement du Québec, 2001). Cette réglementation tolère donc des dépassements occasionnels du seuil fixé. Le même genre de réglementation est en place aux États Unis, où il est imposé que la turbidité de l'eau non filtrée soit inférieure à 5 UTN, avec une tolérance de deux dépassements

de ce seuil par année (USEPA, 1998). En Ontario, la réglementation stipule que la turbidité de l'eau en sortie d'usine ne doit pas dépasser 1 UTN tout au long de l'année (Gouvernement d'Ontario, 2001).

2.2 Les particules présentes dans les réseaux de distribution

Les particules présentes dans les réseaux de distribution peuvent provenir de plusieurs sources, autant internes, comme par exemple les phénomènes de corrosion ou de post-précipitation dans les conduites, qu'externes, telles que le passage de particules à travers les barrières de traitement (Mouchet *et al.*, 1992). Dans la section suivante, sont revus les principaux processus pouvant expliquer la présence de particules dans les réseaux de distribution.

2.2.1 Matières en suspension et particulaire non retenues par le traitement

Il est possible que des particules, présentes dans l'eau brute, passent à travers les barrières de traitement (Boudouresque, 1985). Ainsi, une étude quantitative et qualitative des particules en suspension pouvant transiter dans une section du réseau de la ville de Montréal a montré que lors des périodes de renversement (automne et printemps), des pics de turbidité de l'eau brute (10 à 30 UTN) sont observés. La turbidité en réseau peut alors atteindre 5 à 10 fois sa valeur habituelle (Gauthier *et al.*, 2001a). L'eau alimentant la section du réseau à l'étude est un mélange d'eau provenant de 2 usines. Le traitement de l'usine 1 consiste en une filtration et une chloration et celui de l'usine 2 en une filtration, ozonation et chloration. Aucun coagulant n'est utilisé dans les 2 usines. Dans ce cas, les pics saisonniers de l'eau brute (fleuve St Laurent) ont été associés à plusieurs facteurs, tels que l'augmentation de débit du à de fortes pluviosités ou la fonte des neiges, le phénomène de renversement des masses d'eau observé lorsque la température de l'eau en surface varie rapidement pour atteindre la température critique de 4°C, ainsi que la remise en suspension de sédiments dans les zones peu profondes du fleuve lors de vents violents (Gauthier *et al.*, 2001a).

Le passage de matière dissoute à travers la barrière de traitement peut également engendrer la formation d'autres types de particules dans le réseau par des phénomènes de précipitations de métaux (fer, aluminium, manganèse) et de composés alcalino-terreux (carbonates de calcium) ou par des phénomènes de bio-floculation (Rizet *et al.*, 1990). Dans la région de Los Angeles, l'eau d'un des réseaux de la Southern California Water Company fait l'objet d'un grand nombre de plaintes de couleur liées à la présence de manganèse dans l'eau traitée (Wen *et al.*, 2001). L'eau brute, utilisée pour l'alimentation de ce réseau, est une eau souterraine avec une concentration élevée de manganèse (Mn^{2+}) qui est oxydé lors de la chloration pour former des précipités dans le réseau donnant une teinte grise à l'eau (particules de MnO_2). Sly *et al.* (1990) ont observé que des concentrations de 0,02mg/L de manganèse en sortie d'usine provoquent des épisodes d'eau colorée dans les réseaux. Celles-ci peuvent être éliminées lorsque les concentrations de manganèse sont inférieures à 0,02 mg/l et les concentrations de chlore supérieures à 0,2 mg/L dans le réseau étudié.

2.2.2 Particules provenant de la barrière de traitement

Certaines étapes du traitement de l'eau brute peuvent être à l'origine de la présence de particules dans les réseaux de distribution. Les produits chimiques utilisés peuvent, par exemple, être à l'origine de phénomènes de précipitations en réseau. Ainsi, le sulfate d'aluminium, fréquemment utilisé lors des phases de coagulation – floculation dans les usines de traitement représente un risque de précipitation en réseau (Costello, 1984). C'est le phénomène de post-floculation qui consiste principalement en une réaction tardive de l'alun avec l'alcalinité de l'eau, impliquant la formation de flocs dans le réseau, ce qui peut se produire lorsque les paramètres physico-chimiques tels que le pH ou la température de l'eau ne sont pas adéquats (Boudouresque, 1985 ; Mouchet *et al.*, 1992). De même, la précipitation du carbonate de calcium, qui peut dans certains cas être utile afin de limiter les problèmes de corrosion (le précipité de carbonate de calcium forme un dépôt à la surface des conduites, les protegeant ainsi

de la corrosion), peut parfois devenir excessive et causer des problèmes de turbidité (Rizet *et al.*, 1990 ; Mouchet *et al.*, 1992).

Par ailleurs, les étapes de filtration peuvent également être responsables d'une partie des particules présentes dans les réseaux. Une étude sur pilote a permis de mettre en évidence que l'efficacité des filtres sable utilisés dans les procédés de filtrations directes répondait à des cycles (Ndiongue *et al.*, 1999). La turbidité reste stable en fonctionnement normal, puis augmente progressivement jusqu'au lavage du filtre, après celui-ci on observe un pic de turbidité (durant lequel l'eau peut être envoyée à l'égout). Ainsi, des particules présentes dans les filtres peuvent être relarguées en fin de cycle. Bucklin *et al.* (1991) ont également montré qu'à la suite du lavage de filtres à sable, l'eau traitée peut avoir une turbidité élevée et contenir des coliformes (les auteurs se basent sur des mesures de turbidité durant 5 heures suivant le lavage des filtres). Camper *et al.* (1987), ont observé sur des stations de traitement en service que les filtres à charbon actif peuvent relarguer de fines particules de charbon, qui sont en moyenne plus colonisées par une population microbienne que celles provenant des filtres à sables ou anthracite classiques. Il a également été observé que les filtres à charbon actif peuvent relarguer des micro-organismes présents dans la biomasse des filtres (Gauthier, 1998).

2.2.3 Particules dues à la corrosion des conduites

Les réseaux de distribution d'eau potable sont parfois constitués en partie de conduites en fonte ou en acier, qui sont sujettes à des problèmes de corrosion. Le mécanisme chimique de la corrosion des conduites en fonte peut se résumer dans les quelques réactions d'oxydoréduction suivantes (tiré de Volk *et al.*, 2000):

$(Fe)_{conduites} \longrightarrow Fe^{2+} + 2\,e^-$ formation d'ions ferreux (Fe^{2+}) en surface de conduite

$Fe^{2+} + 2\,OH^- \longrightarrow \underline{Fe(OH)_2}\downarrow$ précipité d'hydroxyde ferreux à la surface de la conduite

L'hydroxyde ferreux, réagit ensuite avec l'oxygène présent dans l'eau pour former de l'hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$, précipité plus connu sous le nom de rouille. Notons qu'ici, l'ensemble des réactions décrites a lieu en surface de conduite.

Un autre mécanisme de formation de la corrosion dans les conduites en fonte est également connu, il s'agit du phénomène de relargage du fer (iron uptake). Une étude menée sur 2 conduites en fonte installées sur un réseau pilote en Grande Bretagne (la première soumise à un débit d'eau continu, et la seconde à l'alternance de périodes de stagnations et de relance du débit) a permis de mettre en évidence ce phénomène (Smith *et al.*, 1998). Les auteurs ont observé, dans la seconde conduite, que la turbidité augmente régulièrement lors des phases de stagnation de l'eau, puis montre un pic lorsque le débit est relancé, suite à quoi elle redevient quasi nulle. Cela serait du au processus de relargage du fer (Iron uptake): des ions ferreux Fe^{2+} sont produits en surface de conduite, puis sont transportés dans l'eau par convection lors des phases de stagnation. Ils sont alors oxydés en ions ferriques Fe^{3+} puis en hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$, flocs de rouille, supposés responsables de l'augmentation de turbidité observée lors des phases de stagnation de l'eau. Le même genre de phénomène a été observé sur des conduites en fonte sur le réseau d'Amsterdam, où la turbidité mesurée en continue par un système de télémétrie augmentait toutes les nuits entre minuit et 6 heures du matin, période caractérisée par des longs temps de rétention (van der Hoven et Vreeburg, 1992).

La corrosion des conduites en fonte dépend de nombreux paramètres, tels que le pH de l'eau, l'alcalinité, les ions métalliques, la température, etc. (Snoeyink et Wagner, 1996). Il a déjà été observé, en réseau expérimental, que les taux de corrosion sont plus forts durant l'été que durant l'hiver, ce qui semble indiquer que la température a un impact sur la corrosion (Volk *et al.*, 2000). Lors d'analyses en laboratoire, Rompré *et al.* (1997) ont montré qu'une augmentation de pH = 6,6 à pH = 9 n'a un impact significatif sur la diminution de corrosion que si elle est couplée à une augmentation d'alcalinité. C'est également ce qui est observé sur le réseau de Buenos Aires, principalement constitué de conduites en fonte grise (Cordonnier *et al.*, 2000). Les carbonates peuvent en effet réagir avec les ions ferreux Fe^{2+} présents en surface de conduite pour former un dépôt protecteur de sidérite $FeCO_3$ (Mouchet *et al.*, 1992).

Pour éviter la corrosion des conduites en fonte, des conduites en fonte munies d'un revêtement intérieur de ciment sont utilisées dans certains réseaux. Cependant, Douglas *et al.* (1996) ont montré que ces conduites étaient également soumises à la corrosion, puisque la chaux présente dans le ciment pouvait se dissoudre dans l'eau provoquant une montée du pH ainsi qu'une désagrégation de la surface du revêtement. En 1987, la Water Supply Company Drentha aux Pays Bas a été confrontée à un problème soudain de précipitation de carbonate de calcium dans les chauffes – eau, peu de temps après la mise en place d'une étape d'aération à la station de traitement. Grâce à un système de mesure en continue du pH dans certaines conduites du réseau, les auteurs ont montré que ce phénomène provenait de l'augmentation de pH observée dans les conduites à revêtement intérieur en ciment durant la nuit, période caractérisée par un plus long temps de séjour de l'eau (van der Hoven et Vreeburg, 1992).

Des conduites d'acier galvanisé sont parfois utilisées dans les immeubles, c'est à dire à l'extérieur du réseau publique. Ces conduites peuvent également être à l'origine de problèmes d'eau rouge ou de présence de dépôts ressemblant à du sable (alliage Fer/Zinc) (Maydatchevsky, 2000).

Le plomb et le cuivre, qui sont utilisés dans les réseaux de distribution pour les joints de conduites, les entrées de service ainsi que dans les réseaux privés, sont également concernés par le processus de corrosion (Hong, 1998). Cependant, la corrosion de ces matériaux ne semble pas être à l'origine de particules présentes dans le réseau. Le principal enjeux de la corrosion de ce type de conduites est lié aux réglementations concernants la teneur en plomb et cuivre dissous dans l'eau distribuée (Dodrill et Edwards, 1995).

2.2.4 Particules provenant des intrusions dans le réseau

Lors de travaux de réparation de conduites effectués suite à des bris, ou pour des besoins de réhabilitation, il est possible que des particules pénètrent dans le réseau (Boudouresque, 1985). Il a déjà été observé que des contaminations de l'eau par des bactéries fécales et des bactéries aérobies revivifiables peuvent survenir lors de la

pose de nouvelles conduites (Abasq, 1997). Certains opérateurs ont d'ailleurs mis en place des protocoles de manœuvre et d'échantillonnages à effectuer lors des réparations de conduites afin de limiter les risques de contaminations (Chervenak, 2001).

Selon LeChevallier *et al.* (1999), les ondes de pression hydraulique provoquées par les coups de bélier peuvent engendrer des pressions momentanément négatives dans les conduites et favoriser des intrusions de matière via les fissures du réseau. Le débit des fuites par les fissures peut parfois représenter jusqu'à 40% du débit de l'eau distribuée.

2.2.5 Mécanismes de déposition et de remise en suspension des particules.

Les particules en suspension, présentes dans les réseaux de distribution, peuvent se déposer et former un dépôt meuble sur le fond des conduites. Harmant *et al.* (1999) ont observé, sur un système pilote, que les particules (en l'occurrence, des particules d'alumine) en suspension commencent à sédimenter lorsque la vitesse de l'eau dans la conduite descend en dessous de 0,5 m/s (5.2±0.5 l/min dans une conduite de 14mm de diamètre), quelque soit la taille des particules (comprises entre 2et 5 µm et entre 15 et 20 µm). Ainsi, dans un réseau de distribution d'eau potable une partie des particules en suspension va se déposer dans les conduites. Pour des raisons hydrodynamiques, certains sites dans les réseaux de distributions sont plus susceptibles de recueillir ces dépôts, comme les cavités, les obstacles ou les culs de sac (tiré de Alère, 1997).

Ces dépôts peuvent également être remis en suspension. La mesure en continu de la turbidité sur un réseau de la Water Supply Company South-Kennemerland au Pays Bas a permis d'observer des pics qui ont été associés à des ouvertures de borne fontaine (van der Hoven et Vreeburg, 1992). Selon les auteurs, il est possible que les perturbations hydrauliques causées par les augmentations de consommation soient à l'origine de remises en suspension de dépôts. Il a également été mis en évidence que des remises en suspension de dépôts peuvent être observées lors de périodes de fortes consommations ou d'inversions de sens d'écoulement de l'eau due à l'utilisation de

différentes sources alimentant le réseau. Ces variations d'écoulement dans le réseau provoquent des pics de turbidité pouvant atteindre 10 UTN (Harmant *et al.*, 2000). D'autres études ont permis de mettre en évidence des vitesses à partir desquelles la remise en suspension de dépôts meubles peut avoir lieu en réseau, elles se situent entre 0,8m/s et 1 m/s (Jones, 1987 ; Harmant *et al.*, 1999). Friedman *et al.* (2002) recommandent quant à eux une vitesse de 0,9m/s (3pieds/s).

2.3 Les plaintes d'aspect et la gestion des réseaux de distribution

2.3.1 Les plaintes d'aspect comme source d'information

Les informations fournies par les plaintes de consommateurs relatives à l'aspect de l'eau peuvent être utilisées par les gestionnaires de réseaux de distribution afin de mieux comprendre les phénomènes dynamiques présents dans le réseau. En Australie, les plaintes de consommateurs relatives à l'aspect de l'eau sont utilisées par la Water Services Association of Australia comme des indicateurs de performance de la gestion de la distribution d'eau, et sont publiés chaque année (Prince et McManus, 1999). Selon Ainsworth (1978), la consultation des plaintes de consommateurs peut fournir des renseignements sur l'état du réseau. L'auteur ajoute que la visualisation géographique de ces plaintes sur une carte, peut être un indice pour mieux comprendre les dynamiques au sein des réseaux de distribution. Les plaintes relatives à l'aspect de l'eau peuvent en effet fournir des informations que les programmes d'échantillonnages classiques ne permettent pas d'obtenir. Ainsi, entre janvier 1995 et décembre 1998, 213 plaintes pour eau sale (« eau brune ») ont été enregistrées sur le réseau de Melbourne en Australie, tandis que les échantillonnages qualité montraient des turbidités systématiquement inférieures à 5 UTN, donc supposées invisibles à l'œil dans un verre d'eau (Prince *et al.*, 2000). Une des hypothèses avancées par les auteurs est que la fréquence et le moment où les échantillons sont collectés ne correspondent pas forcément à tous les événements de turbidité.

Lors de la mise en place d'un système de contrôle en continu de la turbidité sur un réseau de distribution de la Water Supply Company South Kennemerland, la position

des points de mesure a été déterminée entre autre en fonction de la position des plaintes d'aspect (Van den Hoven et Vreeburg, 1992). Selon Wen *et al.* (2001), les plaintes de consommateurs concernant la qualité de l'eau sont également des données de contrôle caractérisant l'état du réseau. Sur cette base, une liste de consommateurs volontaires ayant accepté de communiquer régulièrement avec la compagnie gérant le réseau a été constituée afin de pouvoir mieux contrôler la qualité de l'eau distribuée sur un des réseaux de la Southern California Water Company. Par ailleurs, une étude des plaintes d'aspect permet parfois d'établir des statistiques quant à l'impact des différentes manœuvres effectuées sur le réseau sur les apparitions de turbidité. Une étude des plaintes d'aspect, s'appuyant sur les donnés d'opération et maintenance du réseau de la ville de Melbourne en Australie, a permis de mettre en évidence les causes à l'origine de 16,6% des plaintes pour eau sale enregistrées entre 1996 et 1999 (Prince *et al.*, 2001). Les principales interventions à l'origine des plaintes sont les fermetures de conduites (200 plaintes sur 788), suivies des vidanges de conduites et nettoyages à l'air (163 plaintes) puis des bris de conduites, de bornes fontaines ou d'entrées de service (138 plaintes). Par ailleurs les auteurs montrent que plus la température extérieure est élevée, plus les plaintes d'aspect sont nombreuses. L'hypothèse avancée est l'augmentation des consommations d'eau lors de fortes chaleurs, ce qui correspondrait à des vitesses plus élevées dans les conduites. Les effets de ces vitesses sur la remise en suspension des particules pourraient expliquer les plaintes sans causes identifiées. Le même genre d'étude a été conduit sur deux réseaux de la Southern California Company entre janvier et juillet 1998 où plus de 68% des plaintes ont pu être expliquées par des données d'opérations et de maintenance (Wen *et al.*, 2001). Les principales causes mentionnées par les auteurs sont des rinçages de conduites non contrôlés (reliés à 45% des plaintes du réseau A, et 39% pour le réseau B), des remplissages de camions citernes (10% réseau A, 12% réseau B), des changements d'opérations (changement de source d'alimentation, manipulations de vannes, ouvertures de BF) (6% réseau A, 13% réseau B), et des accidents (aucun sur le réseau A, 12% réseau B).

2.3.2 Traitement de l'eau et réduction des plaintes d'aspect

Un moyen permettant de réduire les plaintes d'aspect peut être, dans certain cas, d'agir sur les paramètres du traitement de l'eau afin de réduire la formation de particules dans le réseau. Ainsi, sur le réseau de la ville de Perpignan en France, l'équilibrage de l'eau par un ajout de soude en sortie d'usine a permis de diminuer la corrosion des conduites en fonte et de réduire en partie les plaintes pour eaux rouges (Boireau *et al.*, 2000). Wen *et al.* (2001) rapportent également que l'ajout de polyphosphates au traitement d'une eau souterraine alimentant un réseau californien touché par des problèmes de précipitation d'ions manganèse a permis de réduire les plaintes d'aspect de façon notable.

2.3.3 Programmes de rinçages et réduction des plaintes d'aspect

Une autre stratégie, parfois mise en place dans le but de réduire les plaintes d'aspect, est d'enlever les dépôts présents dans les conduites par des procédures de rinçage. Plusieurs études montrent que les rinçages permettent d'enlever des quantités non négligeables de dépôts (LeChevallier *et al.*, 1987 ; Carrière, 2002 ; Barbeau *et al.*, 1999 ; Pinot, 2000 ; Kuehn *et al.*, 2001). Cependant, l'impact de ces rinçages sur le nombre de plaintes d'aspect sont moins évidents, et semblent dépendre du type de rinçages effectués. Il faut tout d'abord distinguer rinçages traditionnels, et rinçages unidirectionnels. Les premiers consistent en l'ouverture d'un certain nombre de bornes fontaines dans une zone donnée du réseau, jusqu'à ce que l'eau débitée atteigne les critères de qualité souhaités. Dans ce cas, les vitesses nécessaires à l'enlèvement des dépôts ne sont pas toujours atteintes. Le rinçage unidirectionnel consiste quant à lui à isoler les conduites une à une de l'amont à l'aval hydraulique, et les vidanger au fur et à mesure (Friedman *et al.*, 2002).

van der Hoven et Vreeburg (1992) ont observé que la turbidité suite à un rinçage traditionnel reste élevée plusieurs jours après l'opération, et qu'elle montrait encore des pics aux heures de fortes consommations. De même, les procédures de rinçages traditionnels mises en place sur le réseau de Cincinnati n'ont pas eu d'effets valables

sur la turbidité du réseau, puisqu'après ces rinçages, la turbidité est restée inchangée ou devenue plus élevée au robinet du consommateur dans 60% des cas (Cossins *et al.*, 1999). En revanche, les auteurs montrent qu'après la mise en place d'un programme pilote de rinçages unidirectionnels sur un secteur de ce réseau, une diminution de turbidité a été observée, accompagnée d'une réduction de 50% des plaintes de consommateurs dans le secteur étudié. Antoun *et al.* (1999) ont observé, sur un réseau de distribution en Virginie, aux États Unis, que le rinçage traditionnel résultait dans ce cas en une augmentation des plaintes de consommateurs, tandis que le rinçage unidirectionnel diminuait significativement leur nombre. Wen *et al.* (2001) rapportent également une diminution de plaintes de consommateurs après la mise en place d'un programme de rinçage unidirectionnel en réseau.

Du fait des remises en suspensions des dépôts pouvant avoir lieu durant les programmes de rinçage, il est fréquemment recommandé aux gestionnaires de réseaux de prévenir les consommateurs susceptibles d'être concernés par les opérations afin d'éviter des plaintes d'aspect inutiles (Pizzi, 1996 ; Friedman *et al.*, 2002 ; Antoun *et al.*, 1999 ; Shah *et al.*, 2001).

2.4 Les outils informatiques utilisés dans la gestion des réseaux de distribution d'eau potable

Tel qu'exposé précédemment, la turbidité de l'eau potable dans les réseaux de distribution dépend de nombreux paramètres. Par conséquent, lors de l'étude de plaintes relatives à l'aspect de l'eau, il semble important de pouvoir analyser en parallèle les données concernant la qualité de l'eau, l'hydraulique du réseau et la maintenance régulière du réseau, puisqu'elles peuvent toutes avoir un impact sur la turbidité de l'eau distribuée. À cette fin, l'utilisation d'outils informatiques peut s'avérer utile. La notion d'outils informatiques utilisés dans la gestion des réseaux de distribution d'eau potable est vaste et peut inclure les Systèmes Experts (S.E.), les systèmes de télémétrie (SCADA : Supervisory Control and Data Aquisition), les modèles de simulation hydrauliques, ainsi que les Systèmes d'Information

Géographiques (SIG). Cependant, cette section traite principalement des SIG, et notamment de leur utilité dans la compréhension des événements qualité intervenant sur les réseaux de distribution.

2.4.1 Utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

Selon le Ministère de l'Équipement et des Transports Français (1999) les efforts d'informatisation, notamment au niveau géographique, se sont multipliés ces 20 dernières années, non seulement dans l'industrie de la distribution d'eau, mais aussi dans tous les secteurs impliqués dans les infrastructures urbaines telles que l'électricité, les télécommunications, la voirie, etc. Ainsi en 1999, 77% des villes françaises de plus de 100 000 habitants étaient équipées de SIG ou logiciels permettant une cartographie de leurs infrastructures. C'est une avancée globale, et l'industrie de l'eau profite de ce phénomène, puisque les données cartographiques disponibles dans une municipalité sont réutilisables par le distributeur d'eau. Lors de la construction de son système informatisé (comprenant un SIG), la société norvégienne Bergen Water a pu exploiter les données géographiques déjà construites par la municipalité (plans de la ville, cartographie des réseaux souterrains), accélérant de façon considérable l'avancement de son projet (McCorley, 2000).

2.4.2 Intégration des données dans les SIG

Un des intérêts de l'utilisation des SIG dans le domaine de la distribution d'eau potable réside dans le fait qu'ils peuvent permettre de visualiser différents types d'information simultanément. Selon Williams *et al.* (2000), un des principaux avantages résultant de la mise en place d'un système informatique destiné à la gestion des réseaux de distribution d'eaux potables et usées de la compagnie Severn Trent Water est le regroupement des données provenant des différents secteurs impliqués dans la gestion de l'eau. Mais rassembler l'ensemble des données relatives au réseau n'est pas forcément une phase évidente. En effet, d'après une étude menée en Grande Bretagne, il semble que la coordination des informations de terrain et leur intégration dans une base de données commune serait une source de réticence chez les

distributeurs, du fait des changements organisationnels que ce processus impose (Shindler et Fairley, 2000). Avant de pouvoir être exploitées par un SIG, les données doivent cependant être formatées et positionnées dans l'espace, c'est à dire géocodées. Selon Chicot et Mollon (2000), qui ont suivi les installations de SIG effectuées par la compagnie Générale des Eaux sur plusieurs réseaux de distribution en France, les phases de formatage et de géocodage des données sont les étapes les plus coûteuses lors de la mise en place d'un SIG (plus de 50% des coûts totaux).

L'utilisation de nouvelles technologies peut parfois simplifier les étapes de formatage et géocodage des données réseau. Par exemple, la New Jersey American Water Company a équipé une partie de ses opérateurs réseau d'ordinateurs de poches (technologie « Palm ») permettant l'enregistrement et le transfert vers une base de données principale des informations relatives aux travaux d'inspection de bornes fontaines (Kirwan, 2001). De même, à Bergen en Norvège, les techniciens archivent directement leurs travaux sur des ordinateurs portables destinés à cet effet, et dont les informations sont régulièrement transférées à la base de données principale (McCorley, 2000).

2.4.3 Utilisation des SIG dans la gestion des réseaux de distribution

Au niveau de la gestion des réseaux de distribution, les SIG permettent parfois de simplifier ou d'améliorer quelques-unes des différentes tâches impliquées dans ce domaine. Ainsi, à Brescia en Italie, le SIG utilisé dans la gestion du réseau de distribution d'eau a permis de mettre à jour le modèle hydraulique (Rogers *et al.*, 2000).

Heinonen (2000) rapporte que la mise en place d'un SIG dédié aux réseaux de distribution d'eau potable et d'eau usée permet d'assumer la planification des excavations effectuées sur les routes. De la même façon, le SIG installé à Bergen (Norvège), permet de déterminer quels seront les consommateurs affectés par chaque fermeture de conduite (McCorley, 2000).

2.4.4 Utilisation des SIG pour l'analyse d'événements qualité

Si les SIG ont été développés au départ dans le but de faciliter la gestion des opérations sur le réseau, ils s'avèrent être des outils forts intéressants dans l'étude d'événements qualité (apparition de bactéries coliformes, pic de bactéries cultivables, ou plainte de consommateur). En effet, lors de l'étude de tels événements, la possibilité de visualiser tous les paramètres ayant un lien probable avec l'événement en question représente un outil puissant, et permet, en se basant sur des connaissances théoriques des réseaux de distribution d'eau potable d'établir des hypothèses quant aux causes à l'origine de cet événement. Ces approches ne sont encore que peu développées, cependant elles permettent une meilleure compréhension des phénomènes ponctuels (dans l'espace et dans le temps) ayant lieu au sein des réseaux de distribution. Ainsi, Besner *et al.* (2001a) ont pu mettre en évidence des causes d'apparition de coliformes en réseau (comme des bris de conduites), par l'intermédiaire d'un SIG intégrant de nombreux paramètres réseaux combinés à l'utilisation d'un modèle hydraulique. Gauthier *et al.* (2001b) détaillent les étapes importantes et la démarche à suivre lorsque l'on souhaite utiliser un SIG dans le but d'étudier des événements qualité.

La ville de Madrid (Canal de Isabel II) a mis en place un SIG contenant à la fois les archives des données d'opérations et maintenance (passées et futures), d'échantillonnages qualité, et d'appels de consommateurs (Gonzalez et Delgado, 2000). Ce SIG est utilisé par le service de réponses téléphoniques aux consommateurs. Si la base de données exploitée par le SIG est mise à jour régulièrement, les opérateurs téléphoniques (spécialement formés) sont en mesure de répondre directement au consommateur en l'informant des manœuvres prenant place sur le réseau.

Il est important de remarquer que si les SIG permettent la visualisation des données spécifiques selon des critères établis par l'utilisateur, ils ne sont pas, en revanche, des systèmes intelligents, c'est à dire, capables de déterminer les causes possiblement à l'origine d'un événement qualité. L'étude d'événements qualité par l'intermédiaire de

SIG doit donc être effectuée par du personnel ayant une connaissance adéquate des problèmes relatifs à la qualité de l'eau en réseaux de distribution.

CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

La méthode utilisée pour réaliser ce projet se base sur un concept d'approche intégrée mis au point par Besner (1999) pour le réseau de la ville de Montréal. Ce concept a été développé de façon plus approfondie et appliqué aux villes de Montréal, Laval et Moncton (Canada), Egham (Grande Bretagne) et Caen (France), dans le cadre d'un projet de la chaire industrielle CRNSG en eau potable (Gauthier *et al.*, 2001b ; Besner *et al.*, 2001b). Ce chapitre présente le principe de l'approche intégrée, la description des réseaux étudiés et de leurs bases de données relatives, la méthodologie d'application de l'approche intégrée, ainsi que les procédures suivies lors d'études complémentaires relatives aux plaintes d'aspect.

3.1 Structure de l'approche intégrée

Le concept d'approche intégrée appliqué à l'étude d'événements qualité (microbiologiques ou esthétiques) sur des réseaux de distribution d'eau potable fait appel à de nombreux paramètres. En effet, il se base à la fois sur l'utilisation de plusieurs bases de données et sur l'utilisation d'outils informatiques tels que les modèles hydrauliques et les systèmes d'information géographiques. Pour le bénéfice du lecteur, cette section présente brièvement les bases de données disponibles dans chaque ville, les étapes nécessaires à l'intégration des données, ainsi que les outils informatiques utilisés dans la mise en œuvre de l'approche intégrée.

3.1.1 Les données considérées pour l'explication des problèmes de qualité en réseau

Afin de pouvoir expliquer les problèmes de qualité d'eau en réseau de distribution, l'approche intégrée repose sur le regroupement de toutes les données relatives à la distribution de l'eau potable, de l'entrée des stations de traitement au robinet du consommateur. Les différents types de données généralement considérées peuvent se classer en six catégories principales.

- *Données structurelles :* Informations relatives aux infrastructures de distribution d'eau incluant les informations relatives au plan du réseau, aux caractéristiques des conduites (matériau, âge, diamètre), à la position des réservoirs, des vannes et des bornes fontaines, etc.
- *Données Géographiques :* Informations qui ne sont pas directement liées au réseau de distribution, mais qui facilitent la visualisation des données manipulées (ainsi qu'une aide au géocodage dans certains cas, voir section 3.1.3). Ce sont par exemple les tracés des rues de la ville, avec leurs noms et autres informations (comme leur longueur), des plans du cadastre avec parfois les types d'utilisation du sols (résidentiel, industriel, récréatif, etc.).
- *Données hydrauliques :* Résultent généralement de la modélisation hydraulique du réseau de distribution. Les paramètres modélisés incluent généralement les débits et les vitesses dans les conduites, les pressions aux nœuds, le temps de séjour de l'eau dans les conduites, etc. Des données de terrain sont également considérées lorsqu'elles sont disponibles (il peut s'agir par exemple de mesures de débits en sortie d'usines de traitement).
- *Données de qualité d'eau :* Résultats des échantillonnages microbiologiques et physico-chimiques de l'eau brute, traitée et distribuée.
- *Données d'opération et de maintenance:* Relevés des interventions effectuées sur le réseau et aux usines (comme les réparations de conduites, les manipulations de bornes fontaines, les nettoyages de réservoirs, les nettoyages de filtres, etc.).
- *Les appels de consommateurs :* Données pouvant fournir des informations relatives à l'hydraulique du réseau (problèmes de pression au robinet), à la qualité (aspect, goûts et odeurs) ainsi qu'aux opérations de maintenance (fuites observées dans la rue, demande d'installation de branchement, etc.), tel qu'observé par les consommateurs.

Les données disponibles dans le cadre de cette étude pour chacune des villes sont présentées à la section 3.2.

3.1.2 Formatage des données

La phase de formatage consiste à classifier l'information disponible de façon logique sous format informatique. Cette étape peut être plus ou moins fastidieuse selon le format d'origine des données. En effet, les données sont généralement disponibles sous format informatique mais parfois seul des informations manuscrites sont disponibles. Dans de tels cas, l'ensemble de ces données doit être informatisé et intégré au sein d'un fichier.

3.1.3 Géocodage des données de la ville de Caen

Le géocodage des données consiste en l'attribution de coordonnées (x, y) aux éléments de la base de données définis par une position géographique. Du fait du nombre important de données, des procédures automatiques de géocodage sont généralement nécessaires. Lorsque nécessaire, des macros Excel permettant l'association entre un des fichiers de références et les fichiers à géocoder ont été utilisées. À titre d'illustration, le géocodage des données de la ville de Caen est ici détaillé puisque cette étape a constitué la première phase des travaux de maîtrise. Pour les autres villes, les bases de données géocodées étaient directement disponibles.

Les informations disponibles pour effectuer le géocodage des données de Caen consistent en 2 fichiers : un fichier 'adresse-point', qui contient une liste de toutes les adresses de la ville de Caen (couples numéro civique et nom de rue) avec les coordonnées (x,y) correspondantes, et un fichier de centre de rues (coordonnées des centres de toutes les rues de la ville de Caen).

Afin de permettre à l'utilisateur de connaître la méthode de géocodage employée pour chaque élément de la base de données, cette information est inscrite dans un champ 'Géocodage' spécialement ajouté à cet effet dans chaque fichier géocodé.

Les méthodes de géocodage employées sont les suivantes:

- *Lorsque l'adresse complète est disponible (N°civique + rue):* 'Géocodage Par Numéro Civique'. L'adresse de l'événement (couple rue et numéro civique) à

géocoder est recherchée dans le fichier adresse point, puis les coordonnées (x,y) correspondantes sont rapatriées dans le fichier contenant l'événement. Pour ce type de géocodage, le champs 'Géocodage' indique « Par numéro civique ».

Lorsque l'adresse de l'élément à géocoder n'est pas référencée dans le fichier 'adresse point', le programme de géocodage recherche une adresse proche (dans la même rue, avec numéro civique à ±2 ou ± 4). Les parités du numéro civique proche et du numéro civique exact de l'événement sont volontairement identiques afin de ne pas situer les événements sur le côté opposé de la rue (pouvant être raccordé à une conduite différente). Dans de tel cas, le champ géocodage comporte alors l'indication « Par No civique proche». Lorsqu'aucun numéro civique proche n'existe, alors l'élément est géocodé par centre de rue.

- *Lorsque seul le nom de rue est disponible :* 'Géocodage par centre de rue'. La rue de l'événement est recherchée dans le fichier 'Centres de rues' et les coordonnées du centre de la rue sont rapatriées dans le fichier à géocoder.
- *lorsque l'élément est référencé par une intersection de rues :* 'Géocodage par intersection'. Ce géocodage n'a pas pu être réalisé à l'École Polytechnique de Montréal (EPM), du fait que les données relatives aux tracés des rues de la ville de Caen ne contiennent aucune information quant aux coordonnées des intersection de rues. Les données relatives aux intersections de rues ont donc été géocodées en grande partie par le département de géomatique de Générale des Eaux à Caen. Le travail consiste à pointer sur la carte de la ville les intersections désirées à l'aide d'une table traçante, et d'enregistrer leurs coordonnées.
- *lorsque l'élément est référencé par une description géographique :* 'Géocodage manuel'. Ces données ont été géocodées au cas par cas, soit par la Générale des Eaux, soit à l'EPM. Le géocodage manuel, d'informations telles que 'terrain de football' et 'commissariat de Police', se base sur l'utilisation des plans détaillés de la ville et d'Arc Explorer.
- *lorsque l'élément est référencé par une infrastructure du réseau* : c'est alors encore un 'Géocodage manuel'. Ces éléments sont référencés par numéro de borne

fontaine, ou de vanne, etc. Dans ce cas, ce sont les coordonnées de l'infrastructure en question qui sont utilisées.

3.1.4 Les outils informatiques utilisés

L'approche intégrée repose sur 4 types d'outils informatiques : un tableur (formatage et stockage des données), un modèle hydraulique, un analyseur interactif (fonctions de tris croisés, de requêtes au sein des bases de données selon des critères précis) et un outil de visualisation géographique. Le tableur choisi est Microsoft Excel, du fait de sa très large utilisation à travers le monde. En adoptant ce format, les transferts de données peuvent s'effectuer très simplement entre les villes et l'EPM. Le modèle hydraulique, l'analyseur interactif et l'outil de visualisation sont présentés dans les sections suivantes.

3.1.4.1 Le modèle hydraulique : EPANET (version 2.0)

Le modèle hydraulique EPANET est un logiciel informatique compatible à l'environnement Windows, gratuit, développé et diffusé via Internet par l'U.S. Environnemental Protection Agency (http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html).

Les données d'entrées nécessaires à la modélisation dynamique de l'hydraulique d'un réseau sont les caractéristiques structurelles du réseau (carte et caractéristiques des conduites, niveaux topographiques, position des nœuds, vannes et réservoirs), et les conditions hydrauliques imposées (variations de consommations, variations de débits et pressions en entrée du réseau). En sortie, EPANET simule le comportement statique ou dynamique de l'hydraulique du réseau durant une période déterminée par l'utilisateur. Les variables de sortie sont entre autre : les débits et vitesses dans les conduites, la pression aux nœuds, la hauteur d'eau dans les réservoirs, et l'âge de l'eau dans le réseau.

Dans le cadre de l'approche intégrée, EPANET est utilisé afin de visualiser les conditions hydrauliques du réseau et de tester certaines hypothèses mise en avant lors de l'analyse d'événements qualité (comme les impacts hydrauliques des tests de bornes fontaines). Des résultats sont également intégrés à l'outil IMADSIG afin de

visualiser le chemin de parcours de l'eau entre l'entrée du réseau et un nœud choisi par l'utilisateur (voir section 3.1.4.2).

3.1.4.2 L'analyseur interactif : IMADSIG

L'analyseur interactif a été développé par le groupe MADITUC de l'EPM (Professeurs Robert Chapleau et Martin Trépanier) en collaboration avec la Chaire en Eau Potable dans le cadre d'autres projets (Besner *et al.*, 2001b).

Ses fonctions se résument en trois axes principaux :

- *manipulation de bases de données*

L'outil IMADSIG permet d'accéder aux bases de données et de les manipuler via une seule interface. La manipulation des données consiste en la conversion de leur format d'origine (Microsoft Excel) en DBF puis shapefile. Ces formats permettent respectivement la formulation de requêtes et la visualisation sous Arc Explorer.

- *intégration des données hydrauliques : traçage du 'chemin hydraulique amont'*

Le chemin hydraulique amont représente l'ensemble des chemins hydrauliques par lesquels l'eau alimentant un point choisi du réseau a pu circuler à un moment donné de la journée (Figure 3.1). L'outil IMADSIG permet de tracer le chemin hydraulique amont pour n'importe quel nœud du réseau. Pour cela l'outil s'appuie sur des données spécifiques provenant du modèle hydraulique.

- *formulation de requêtes multi-tables, multi-facteur*

L'outil IMADSIG permet de sélectionner des éléments de la base de données en fonction des différents critères qui les caractérisent. Le caractère mutlti-tables des requêtes signifie qu'elles permettent de définir des critères de sélection sur plusieurs types de données simultanément. Ces critères peuvent être de 4 types différents (caractère muli-facteurs des requêtes) : critères temporels, spatiaux, hydrauliques ou spécifiques.

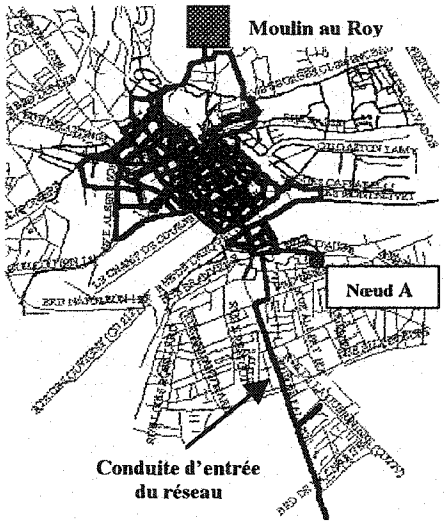


Figure 3.1.Visualisation du chemin amont pour un nœud A du réseau (Caen)

3.1.4.3 L'outil de visualisation : Arc Explorer

Arc Explorer est un Système d'Information Géographique (SIG) développé et diffusé gratuitement via Internet par ESRI (Environmental Systems Research Institute), et est utilisé ici pour la visualisation des données (http://www.esri.com/software/arcexplorer).

Arc explorer permet plusieurs opérations, telles que :

- la visualisation des informations, avec fonctions de zoom, translations, etc.
- la modification des paramètres d'affichage : couleur, taille, forme des icônes relatives à chaque type de données visualisées ; l'affichage d'un type d'information au-dessus des icônes, etc.
- l'interrogation des données visualisées : par exemple, recherche des éléments d'un même type de données qui ont lieu sur une rue particulière ou à une certaine date, etc.

3.2 Description des réseaux étudiés et de leurs bases de données relatives

Comme nous l'avons vu en section 3.1.1, de nombreux types de données ont été considérés dans le but d'expliquer des événements qualité intervenant sur les réseaux de distribution. Cette section présente plus en détail les différents types de données disponibles dans les 4 villes sur lesquelles est basé ce projet : Caen (France), Egham (Grande Bretagne), Montréal et Laval (Québec).

3.2.1 Description des réseaux de distribution étudiés (données structurelles)

3.2.1.1 Le réseau de distribution de la Zone Basse de Caen

Le réseau de distribution de la ville de Caen est divisé en six zones de pression hydrauliquement indépendantes les unes des autres en fonctionnement régulier. Le réseau est alimenté par une eau de surface, et plusieurs eaux souterraines (Moulines, Sud-Calvados, La Mue, Prairie). L'eau de surface provient de la rivière Orne, et est traitée à la station de Louvigny (située à 10 km du réseau de distribution). Le traitement consiste en une pré-ozonation, en une coagulation-floculation suivie d'une filtration sur sable, d'une stabilisation puis d'une ozonation et désinfection au bioxyde de chlore. Les eaux souterraines sont quant à elle traitée par désinfection au chlore gazeux en sortie de forages. Ce mélange de type d'eau et de désinfectant est une caractéristique importante du réseau de la ville de Caen.

Le réseau de la Zone Basse couvre une importante partie de la ville de Caen, dont le centre ville, comme le montre la Figure 3.2. Il compte 80 km de conduites, dont la plupart sont en fonte grise. Néanmoins certaines conduites en fonte ductile revêtues de ciment (à l'intérieur) ont été installées dans les années soixante dix. Les proportions respectives de ces matériaux dans le réseau ne sont cependant pas disponibles.

La zone basse ne compte qu'un seul réservoir de mise en pression, celui de Moulin au Roy qui se situe au nord de la zone. La consommation moyenne de la zone basse est d'environ 7640m^3/d. Deux types d'eau alimentent ce réseau, de l'eau de surface

provenant de la station de traitement de Louvigny (80% du débit moyen) est distribuée durant la journée, et de l'eau souterraine chlorée fournie par le trop-plein du réservoir Guérinière, est distribuée durant la nuit (20% du débit moyen). L'alimentation se coupe lorsque le réservoir de Moulin Au Roy est à son niveau maximal (fermeture de la vanne de l'Espérance). La zone basse n'est alors alimentée que par le réservoir Moulin au Roy jusqu'à ce qu'un niveau minimal spécifique soit atteint.

D'autres sources d'alimentation provenant d'autres zones de pression du réseau de Caen peuvent néanmoins être utilisées en cas d'incident.

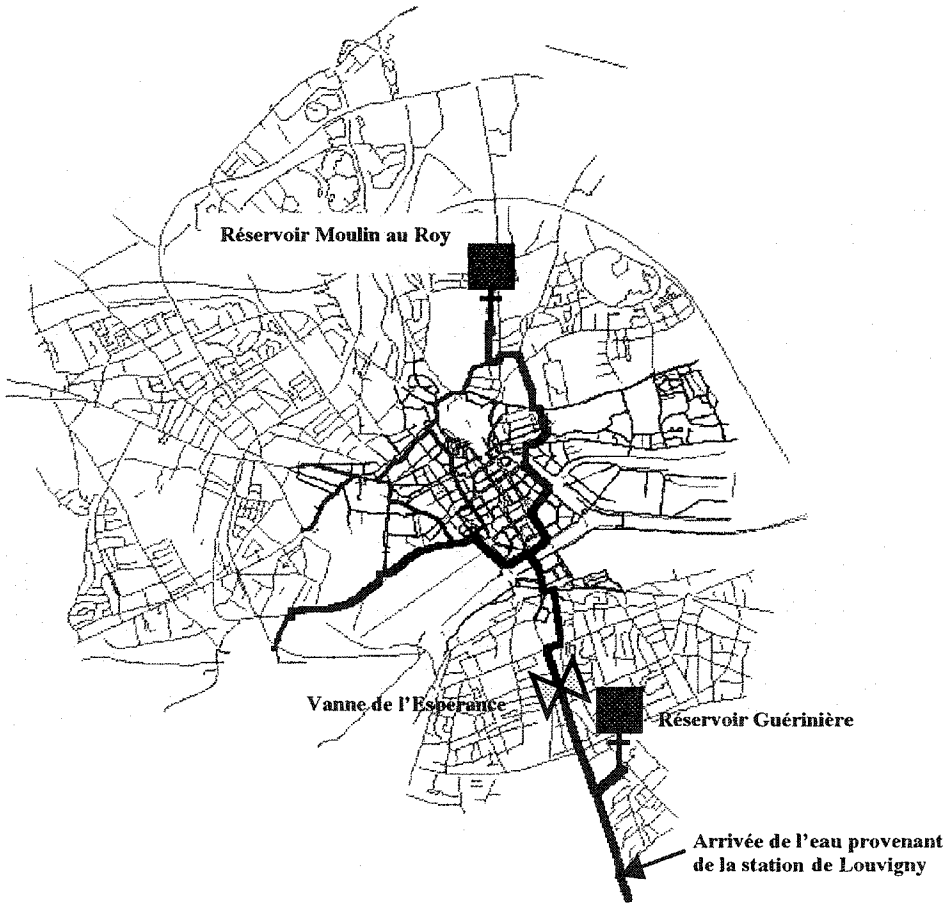


Figure 3.2. Le réseau de la Zone Basse de la ville de Caen.

3.2.1.2 Les zones E23 et E65 du réseau de distribution de la ville d'Egham

Seule une sous partie du réseau de distribution d'Egham a été étudiée : la zone E23, qui représente 115 km de conduites (cette longueur totale provient d'un fichier géographique représentant les conduites relatives à une zone légèrement plus grande que la zone E23 décrite dans le modèle hydraulique). L'eau alimentant le réseau provient de la rivière Thames. Le traitement consiste en une pré-oxydation, suivie d'une coagulation-floculation, puis d'une filtration sur sable, d'une ozonation puis filtration sur charbon actif et enfin d'une désinfection au chlore. Les matériaux utilisés sont principalement la fonte grise (43% du réseau), le plastique (38 %) et la fonte ductile (18%) (et 1% en ciment). 62% des conduites ont été installées entre 1950 et 1970. Cette zone a été séparée en deux zones hydrauliquement indépendantes en juillet 1999 : les zones E65 au nord, et « nouvelle E23 » au sud comme le montre la Figure 3.3. Les données considérées débutent en 1997, c'est donc les zones E23 (originale), E23 nouvelle et E65 qui sont prises en considération.

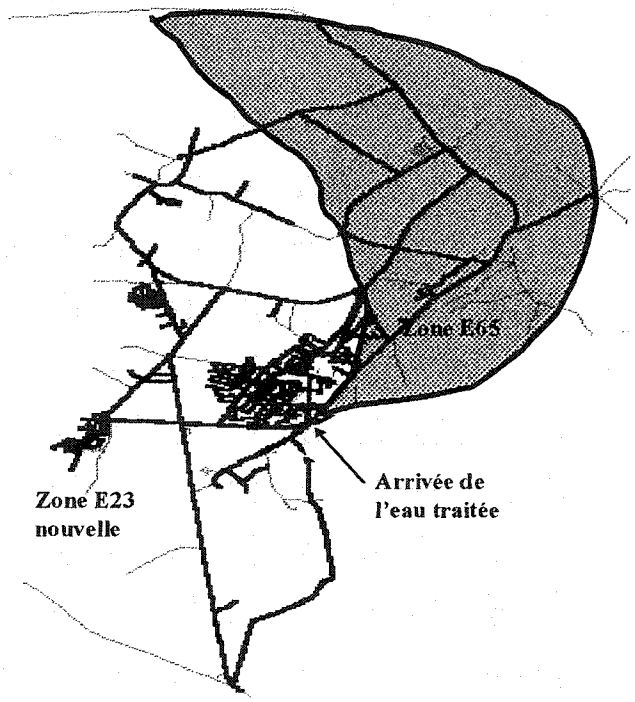


Figure 3.3. Zones E65 et 'E23 nouvelle' du réseau de distribution de la ville d'Egham

3.2.1.3 Les zones 3, 4 et 5 du réseau de distribution de la ville de Montréal

L'ensemble du réseau de distribution de la ville de Montréal est constitué de 2560 km de conduites, desservant plus de 1,5 millions de personnes. Les stations de traitement Charles J. Desbaillets et Atwater produisent l'eau potable pour l'ensemble du réseau, et utilisent comme source d'eau brute l'eau du fleuve St Laurent. À l'usine Desbaillets, la chaîne de traitement consiste en une filtration sur sable suivie d'une ozonation puis chloration. À l'usine Atwater, elle consiste en une filtration sur sable suivie d'une chloration. Le réseau de Montréal est divisé en 6 zones de pression, hydrauliquement indépendantes.

De par les informations disponibles et les précédents travaux de recherche effectués sur le réseau de Montréal (Besner 1999; Besner *et al.*, 2001a), seules les zones hydrauliques 3, 4 et 5 ont été étudiées (Figure 3.4).

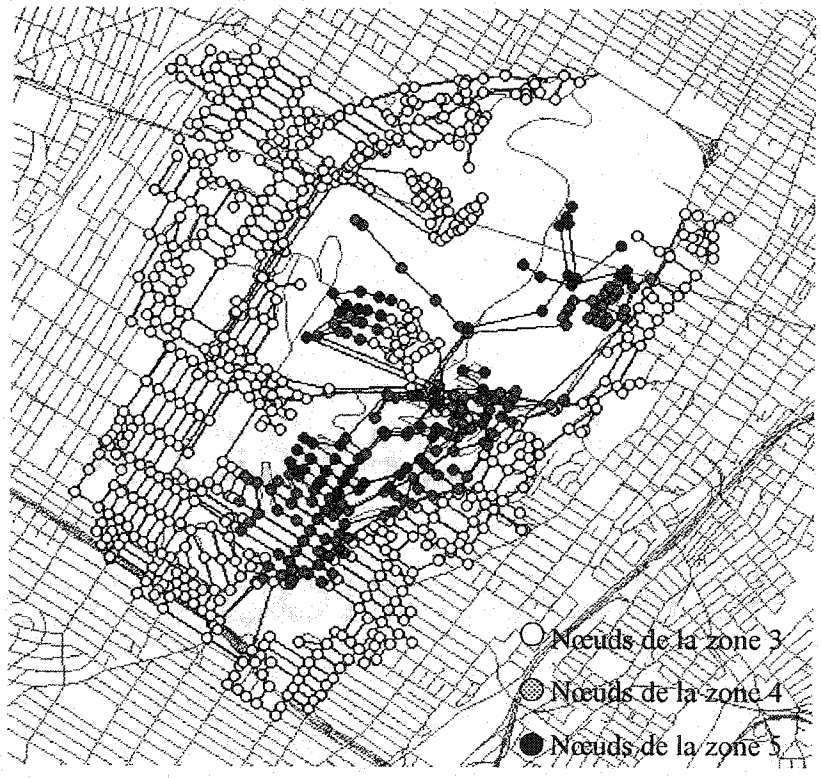


Figure 3.4. Schéma des zones de pression 3, 4 et 5.

Ces trois zones sont caractérisées par une demande moyenne de 90000 m^3/d, ce qui représente environ 5% du débit de l'ensemble du réseau de distribution de Montréal. Les zones 3, 4 et 5, comptent près de 141 km de conduites qui sont majoritairement constituées de fonte grise (88% de la longueur totale du réseau), les autres sont principalement en fonte ductile recouverte de ciment et fonte ductile (respectivement 5% et 4% de la longueur totale du réseau).

3.2.1.4 Le réseau de distribution de la ville de Laval

Le réseau de distribution de Laval dessert environ 350 000 personnes, avec un débit journalier de 210 000 m^3/d en moyenne. Il est mis sous pression par l'intermédiaire de pompes en sortie des 3 usines de traitement (Chomedey, Sainte Rose et Pont-Viau), et aucun réservoir n'est localisé sur le réseau. Aux usines de Chomedey et Pont-Viau, le traitement de l'eau consiste en une première étape de coagulation-floculation suivie de filtration sur sable anthracite, d'une ozonation puis d'une chloration. À Sainte Rose, les étapes de coagulation-floculation et de filtration sur sable anthracite sont suivies d'une ozonation, puis d'une filtration sur charbon actif et enfin d'une désinfection au chlore. Cependant, durant la période d'étude (1998-1999), le désinfectant utilisé à Sainte Rose était encore le bioxyde de chlore. Du fait que le réseau ne se découpe pas en différentes zones de pression, et que la modélisation hydraulique de l'ensemble du réseau est disponible, l'étude porte sur l'ensemble du réseau de Laval. La longueur du réseau est de 1465 km. Les conduites sont principalement en fonte grise ou en fonte ductile (respectivement 46% et 36% de la longueur du réseau), puis en ciment et en plastique (respectivement 10% et 6% de la longueur du réseau). La plupart des conduites ont été installées entre 1950 et 1990 (73% de la longueur totale du réseau). La Figure 3.5 présente la carte du réseau de la ville de Laval, avec les 3 stations de traitement.

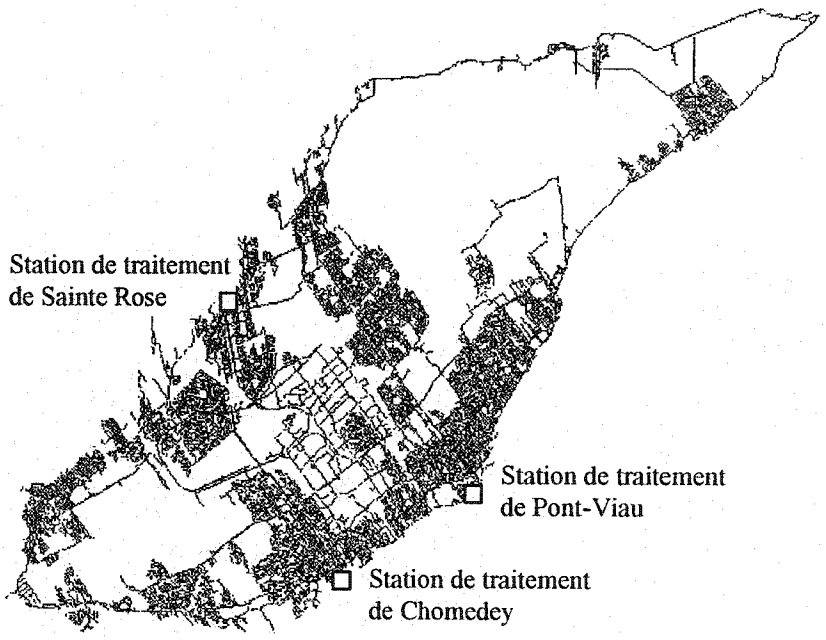


Figure 3.5. Réseau de distribution de la ville de Laval

3.2.2 Données relatives à l'hydraulique

Les données hydrauliques utilisées dans le cadre de l'approche intégrée sont de deux types : d'une part il y a les modèles hydrauliques détaillés (incluant toutes les conduites dans les secteurs étudiés), et d'autre part les données « terrain » provenant de mesures de débits ou pressions effectuées sur le réseau ou en sortie d'usine. Pour chacun des 4 réseaux étudiés, les modèles hydrauliques ont été fournis. Toutefois, les données « terrain » n'étaient disponibles que pour le réseau de Laval.

3.2.2.1 Ville de Caen : modèle hydraulique de la Zone Basse

Le modèle hydraulique de la Zone basse à Caen a été construit par Anjou Recherche, à l'aide du logiciel *SynerGEE* (*SynerGEE* est une marque déposée par Stoner associates, Inc.). Le modèle développé prend en compte les variations de consommation aux différents noeuds du réseau sur une période type de 24 heures, ainsi que les contraintes relatives aux débits journaliers produits (eau souterraine et

eau de surface). Ce modèle a été transféré au format du logiciel EPANET dans le cadre d'un autre projet de la Chaire en Eau Potable.

3.2.2.2 Ville d'Egham : modèle hydraulique des Zones E23 et E65

Pour la ville d'Egham, deux modèles hydrauliques ont été utilisés. En effet, la zone de pression anciennement nommée E23, a été séparée en deux zones indépendantes en juillet 1999, respectivement 'nouvelle E23' et 'E65' (voir Figure 3.3). La configuration de 1998 a été transférée du logiciel WESTNET au logiciel EPANET par la ville d'Egham, et était donc directement disponible. Sous le format désiré, la configuration 'après juillet 1999' a été construite ultérieurement à l'EPM, et prend en compte les divisions engendrées par la formation des deux nouvelles zones. Cette configuration n'a toutefois pas été calibrée avec les données de terrain.

3.2.2.3 Ville de Montréal : modèle hydraulique des zones 3, 4 et 5.

Pour les zones 3, 4 et 5 du réseau de distribution de Montréal, deux modèles ('avant 2000' et 'après 2000') ont également été utilisés. Cependant, ils ne varient que par la modification d'un cycle de pompage au niveau de la station de pompage Côte des Neiges dont l'effet est une diminution de l'âge de l'eau au réservoir Sommet et dans la zone 4 (Gauthier *et al.*, 2000). A l'origine, le modèle hydraulique des zones 3,4 et 5 a été développé par la municipalité sous le logiciel AQUAGÉO *(CivilDesign Inc.)*, puis a été transféré sous EPANET par M.C. Besner (1999).

3.2.2.4 Ville de Laval : modèle hydraulique du réseau et données « terrain »

Le modèle hydraulique du réseau de distribution de Laval a été développé sous le logiciel PICCOLO. Un transfert de format et une inter-calibration des paramètres de pression aux nœuds, de débits et d'âge de l'eau, dans des conditions statiques, ont été réalisés à l'EPM. Dans le but d'une utilisation dynamique du modèle EPANET, cinq types de variations de consommations horaires (résidentiel, commercial, institutionnel, industriel et services publiques) ont été dérivés à partir des données de la ville. Ces variations sont fournies pour deux périodes de l'année : la période estivale (de mai à

septembre) et hivernale (d'octobre à avril). Ainsi deux modèles hydrauliques sont disponibles, soit un modèle 'été' et un modèle 'hiver'.

En plus du modèle hydraulique, des données de débits et pressions on été obtenues pour le réseau de Laval. Ces données sont les débits journaliers maximaux, minimaux et moyens pour chacune des usines de traitement (Chomedey, Pont-Viau et Sainte Rose), ainsi que des mesures de pression en quelques points du réseau durant certaines périodes définies.

3.2.3 Données géographiques

Le terme générique 'données géographiques' est assez large. Il représente ici l'ensemble des informations connexes facilitant la visualisation des données utilisées dans l'approche intégrée. Il s'agit entre autre des cartes de fond, où figurent les données du cadastre (bâtiments, rues, etc.), des tracés de rue, des positions des numéros civiques, etc. Les tracés de conduites sont également considérés ici comme des données géographiques. L'ensemble des données géographiques disponibles sur les 4 villes est résumé dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1. Données géographiques utilisées pour les 4 villes étudiées

Caen	Egham	Montréal	Laval
- Tracé des rues - Numéros civiques - Carte du cadastre - Nœuds et conduites du réseau - Position des bornes fontaines (BF)	- Tracé des rues - Intersections de rues - Numéros civiques - Codes postaux - Nœuds et conduites du réseau - Position des vannes, BF et purgeurs d'air - Délimitation des zones E23 /E65	- Tracé des rues - Conduites et nœuds des zones 3, 4 et 5	- Tracé des rues - Conduites et nœuds du réseau

3.2.4 Données qualité

Pour chacune des villes, l'ensemble des données qualité relatives aux zones des réseaux de distribution étudiés ont été intégrées. Il s'agit des échantillonnages (réguliers ou exceptionnels) effectués sur le réseau ou aux usines de traitement et

réservoirs. Les paramètres analysés varient d'une ville à une autre, mais comportent généralement une composante microbiologique (concentrations de bactéries cultivables, de coliformes totaux et thermotolérants, etc.) et une composante physico-chimique (conductivité, pH, température, turbidité, etc.). Les données qualité disponibles pour chacune des villes sont présentées au Tableau 0.2.

Les données utilisées dans l'approche intégrée pour expliquer la présence de coliformes ou de bactéries cultivables sur le réseau de la ville de Caen sont détaillées ici.

Il y a trois sources de données qualité disponibles pour le réseau de distribution de la ville de Caen.

- *Les 'échantillonnages de routine' :* Ces échantillonnages comportent à la fois des points de contrôle imposés au niveau des normes, et des points d'échantillonnages supplémentaires mis en place par la société responsable de la gestion du réseau de distribution. Les seules analyses hebdomadaires disponibles se situent au réservoir Guérinière (HV-M01) et au réservoir Moulin au Roy (ZD-ZB-M01), (Figure 3.6a).
- *La 'campagne coliforme' :* Cette campagne spécifique a été mise en place dans le cadre d'un autre projet de la Chaire en Eau Potable afin d'améliorer la détection des variations de qualité au sein du réseau de distribution. Les 5 points d'échantillonnage hebdomadaires ont été positionnés de façon stratégique sur le réseau de la zone basse (Figure 3.6.b) : le point 1 reflète la qualité en entrée de zone, les points 2 et 5 représentent respectivement les parties ouest et est de la zone, le point 3 est quant à lui principalement alimenté par l'eau provenant du réservoir de Moulin au Roy lorsqu'il se vide, et enfin, le point 4 est situé dans un cul de sac.
- *La 'campagne Été-Hiver'* : Lors d'une étude précédente, Anjou Recherche a mis en place plusieurs points d'échantillonnages (dont 3 sur la zone basse), prélevés en juillet 1999 et janvier 2000. Les données de cette campagne d'échantillonnage n'ont pas été considérées lors de l'étude des événements coliformes et BHAA à Caen, du fait de leur faible représentativité spatio-temporelle.

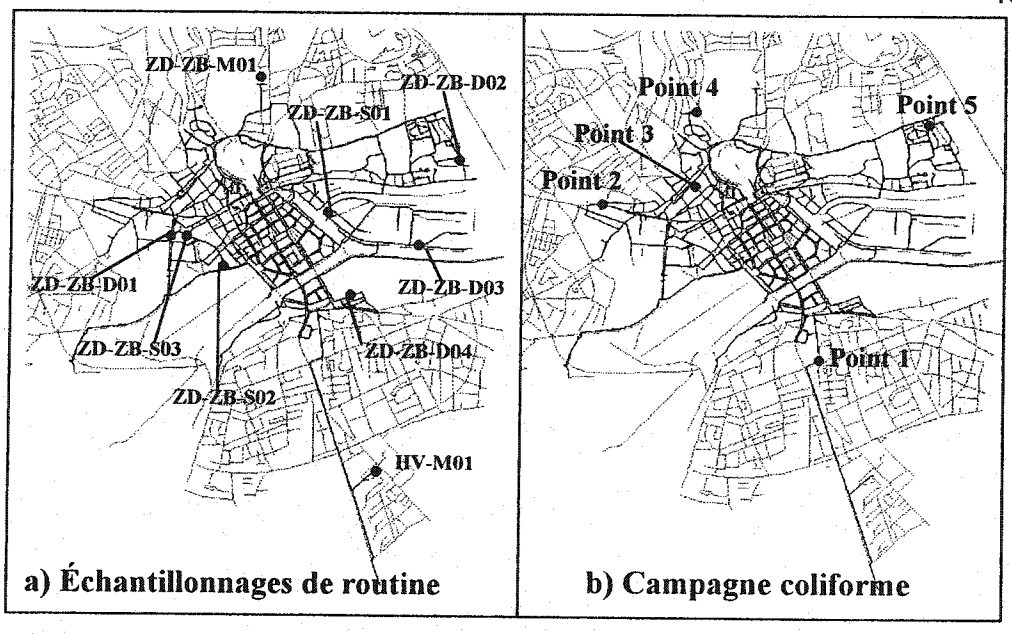


Figure 3.6. Position des points d'échantillonnage de la Zone Basse du réseau de distribution de la ville de Caen.

Tableau 3.2. Données qualité disponibles pour les 4 villes étudiées

Paramètres	Caen			Egham			Montréal		Laval
	Routine	Campagne 'Coliforme'	Campagne ' Été-hiver'	Routine	Campagne 'Algues'	Prélevenents suite à bris de conduites	Routine usine	Routine réseau	Routine
Coli. totaux	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coli. therm.	x	x	x	x		x	x		
BHAA 22 deg.C	x	x	x	x	x	x			
BHAA 37 deg.C	x	x	x	x		x	X(35deg. C)	X(35deg. C)	X(35deg. C) * (usine)
Cl2 libre	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cl2 total	x	x	x	x	x		x	x	X (usine)
Cl02	x	x	x						x
02 dissous			x				x		
Alcalinité			x				x		
Fer			x				x		
Température	x	x	x	x	x		x	x	x
pH	x	x	x				x	x	x
conductivité	x	x	x				x		x
Turbidité	x	x	x	x		x	x	x	x
Autre	streptocoques		CO2, CODB, ammoniums, nitrates,THM, DAPI, entéroc.		Algues		Entérocoque,Dureté	Couleur	Spores, bactéries atypiques
Nombre de points d'échant.	7 réseau + 2 réservoirs (M.A.R, G.)	5 réseau	3 réseau	mobiles (réseau) + 1 sortie d'usine	3 réseau +1 sortie usine	variable	2 usines (Atwater et Desbaillets)	16	12 réseau + 3 usines (CH,PV,SR)
Fréquence d'échantillonage	réseau : 3 à 12 fois/an réservoirs : hebdo.	hebdo.	bi-annuelle	réseau : aléatoire sortie usine : quotidien	bi- hebdo.	variable	quotidien	hebdo.	réseau : 4 à 7 fois/sem. usines : quotidien
Période disponible	Janv. 1997 - mai 2001	Août 2000 - oct. 2001	juil.1999 et janv. 2000	1997-1999	1999	1997-1999	1998-2000	1995-2000	1997-2000

M.A.R : réservoir Moulin au Roy
G. : réservoir Guérinière

3.2.5 Données d'opération et de maintenance

Sur un réseau de distribution, entre l'entrée de l'eau brute à l'usine de traitement, jusqu'au robinet du consommateur, les opérations nécessaires à l'entretien des systèmes de traitement et de distribution sont nombreuses. Parmi elles on peut retrouver les nettoyages de réservoirs, les opérations effectuées aux usines de traitement, les réparations de canalisations, les manipulations de vannes, de bornes fontaines, les poses de nouvelles conduites, etc. Tous ces événements sont référencés différemment dans chaque ville, et les caractéristiques documentées dépendent des pratiques des opérateurs intervenant sur les réseaux. Le Tableau 3.3 présente les différentes données d'opérations et maintenance disponibles dans chaque ville.

Tableau 3.3. Données d'opérations et de maintenance disponibles pour les 4 villes étudiées.

Caen	Egham	Montréal	Laval
- Maintenance régulière du réseau - Remplacements et réhabilitations de conduites - Avis de coupure d'eau - Tests de bornes fontaines (BF) à haut débit - Nettoyages de réservoirs - Type de source alimentant la Zone Basse - Événements spéciaux	- Maintenance régulière du réseau 'significative' (relative aux réseau publique) - Maintenance régulière du réseau 'autre' (relative aux réseaux privés)	- Maintenance régulière du réseau - Remplacement et réhabilitation de conduites	- Maintenance régulière du réseau - Manipulations de BF - Manipulations de Vannes - Remplacements et réhabilitations de conduites - Installations de nouvelles conduites - Programmes de rinçages - Événements spéciaux sur le réseau - Événements spéciaux aux stations de traitement

Les données de maintenance régulière du réseau dans chaque ville contiennent différents types d'interventions ayant lieu sur les réseaux. Elles sont détaillées dans le Tableau 3.4.

Tableau 3.4. Détail des données de maintenance régulière pour les 4 villes étudiées

	Caen	Egham*	Montréal	Laval
Réparations de conduites	x	x	x	x
travaux sur BF	x	x	x	x
travaux sur gicleurs			x	
travaux sur branchements	x		x	x
travaux sur vannes	x	x	x	x
Installation/ Remplacement / réhabilitation de conduites		x	x	
Manipulations de vannes			x	
Manipulations de bornes fontaines			x	

* données de maintenance régulière 'significatives'

3.2.6 Appels de consommateurs

Dans chacune des villes étudiées, les consommateurs ont la possibilité de joindre leur distributeur afin d'obtenir des renseignements spécifiques (questions quant à la facturation, au fonctionnement du réseau, etc.), de formuler des requêtes d'intervention (pose de compteur, réparation de branchement, etc.) ou encore de signaler des anomalies (fuites, souspression ou surpression au robinet, manque d'eau, problème d'aspect ou d'odeur de l'eau, etc.). Ces bases de données peuvent fournir des informations relatives à l'hydraulique du système (problèmes de pression), aux interventions effectuées ou à effectuer (appels pour fuites ou manque d'eau, ou demandes d'installations) et également quant à la qualité de l'eau distribuée (couleur, présence de particules, odeur, et parfois maladies soupçonnées d'être liées à l'eau).

Le Tableau 3.5 résume les différentes données d'appels de consommateurs pour les quatre villes étudiées, avec leurs caractéristiques principales.

Tableau 3.5. Données d'appels de consommateurs pour chacune des 4 villes

	Période	Nbre.	Caractéristiques
Caen	Janv.97-Juil.01	3765	- relatifs à l'ensemble du réseau - 36 catégories de classement - détails supplémentaires sur les appels non fournis
Egham	Janv.98-Dec.99	636	- relatifs au réseau étudié - 35 catégories de classement - des détails supplémentaires (cause à l'origine de l'appel ou détail de l'appel) sont fournis
Montréal	Mars97-Dec.00	75	- réseau étudié (zones 3,4,5) et alentours proches - seuls les appels ayant fait l'objet d'analyses supplémentaires sont enregistrés - 7 catégories de classement - des détails supplémentaires (détail de l'appel) sont fournis
Laval	1991-2000	1951	- relatifs au réseau étudié - 9 catégories de classement - des détails supplémentaires (détail de l'appel) sont fournis - cause de l'appel (lorsqu'elle est trouvée) disponible

3.3 Application de l'approche intégrée aux événements qualité

3.3.1 Définition des événements qualité à étudier

Trois types d'événements qualité ont été étudiés à l'aide de l'approche intégrée, soit les 'événements coliformes' et 'événements BHAA' (uniquement pour la ville de Caen, section 4.1), et les plaintes d'aspect (pour les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval, sections 4.2, 4.3, 4.4 et 4.5).

Ces différents types d'événements sont définis dans les sections suivantes. Les détails des événements étudiés sont également présentés.

3.3.1.1 Définition des événements coliformes

Un événement coliforme est défini par la présence de cette bactérie (coliforme total ou thermotolérant) dans un échantillon, c'est à dire lorsque la concentration mesurée est ≥1UFC/100mL.

Les informations concernant les événements coliformes proviennent de deux sources distinctes de la base de données : les échantillonnages de routine et la 'campagne coliforme' (voir section 3.2.4).

Pour les 5 points d'échantillonnage analysés de façon hebdomadaire durant la période août 2000 - avril 2001 ('campagne coliforme'), 3 événements coliformes ont été observés le 30 octobre 2000.

Pour les 8 points d'échantillonnage mensuel sur la Zone Basse, provenant des données de suivi régulier, 8 événements coliformes ont été repérés pour la période 1997-2001.

Ces événements sont détaillés au Tableau 3.6.

Tableau 3.6. Événements coliformes retenus pour l'application de l'A.I à la ville de Caen (UFC/100mL)

Localisation	Date	Coliformes totaux	Coliformes thermotolérants
Moulin au Roy	97-08-25	5	0
Moulin au Roy	97-08-27	5	1
Moulin au Roy	98-01-26	0	1
Moulin au Roy	98-04-14	2	0
Moulin au Roy	99-06-28	1	0
Moulin au Roy	99-10-05	1	0
Moulin au Roy	00-08-07	1	0
Moulin au Roy	00-10-30	1	0
Point 3	00-10-30	1	1
Point 4	00-10-30	2	0
Point 5	00-10-30	1	0

3.3.1.2 Définition des événements BHAA

Les concentrations des bactéries cultivables peuvent se caractériser par une combinaison (i) d'un bruit de fond, (ii) d'une tendance moyenne (qui varie selon les caractéristiques de chaque point : temps de séjour, concentration en désinfectant, température, etc.), et (iii) de variations brutales (pics) reflétant un changement soudain dans la qualité de l'eau (Figure 3.7). Ces variations brutales sont les événements en bactéries cultivables qui ont été particulièrement ciblés lors de cette étude.

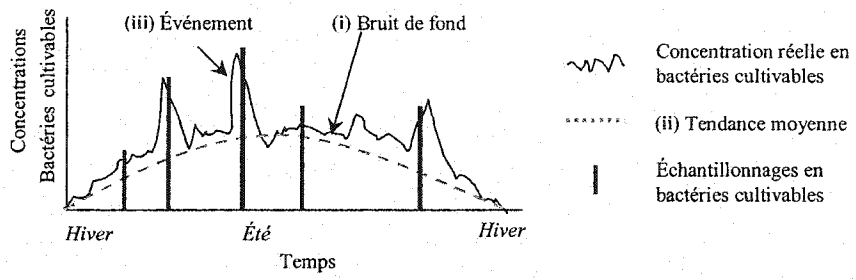


Figure 3.7. Schématisation des variations temporelles des concentrations en bactéries cultivables en un point donné.

Puisque les caractéristiques des événements BHAA varient à chaque point d'échantillonnage, les évolutions des concentrations de BHAA 22°C (BHAA22) et BHAA 37°C (BHAA37) ont été observées en chacun des points. Suite à cela, des concentrations seuils ont été fixées de manière à ce que seules les concentrations inhabituelles (événementielles) soient prises en compte. Ainsi, la définition de ces seuils est établie selon une approche plutôt « statistique » que « sanitaire ».

Des exemples de variations de BHAA sont présentés à la Figure 3.8 pour les points d'échantillonnages 1 et 4. Ces deux points ont des caractéristiques différentes puisque le point 1 est situé à l'entrée de la zone (faible temps de séjour, forte concentration en désinfectant), tandis que le point 4 est situé dans un cul de sac.

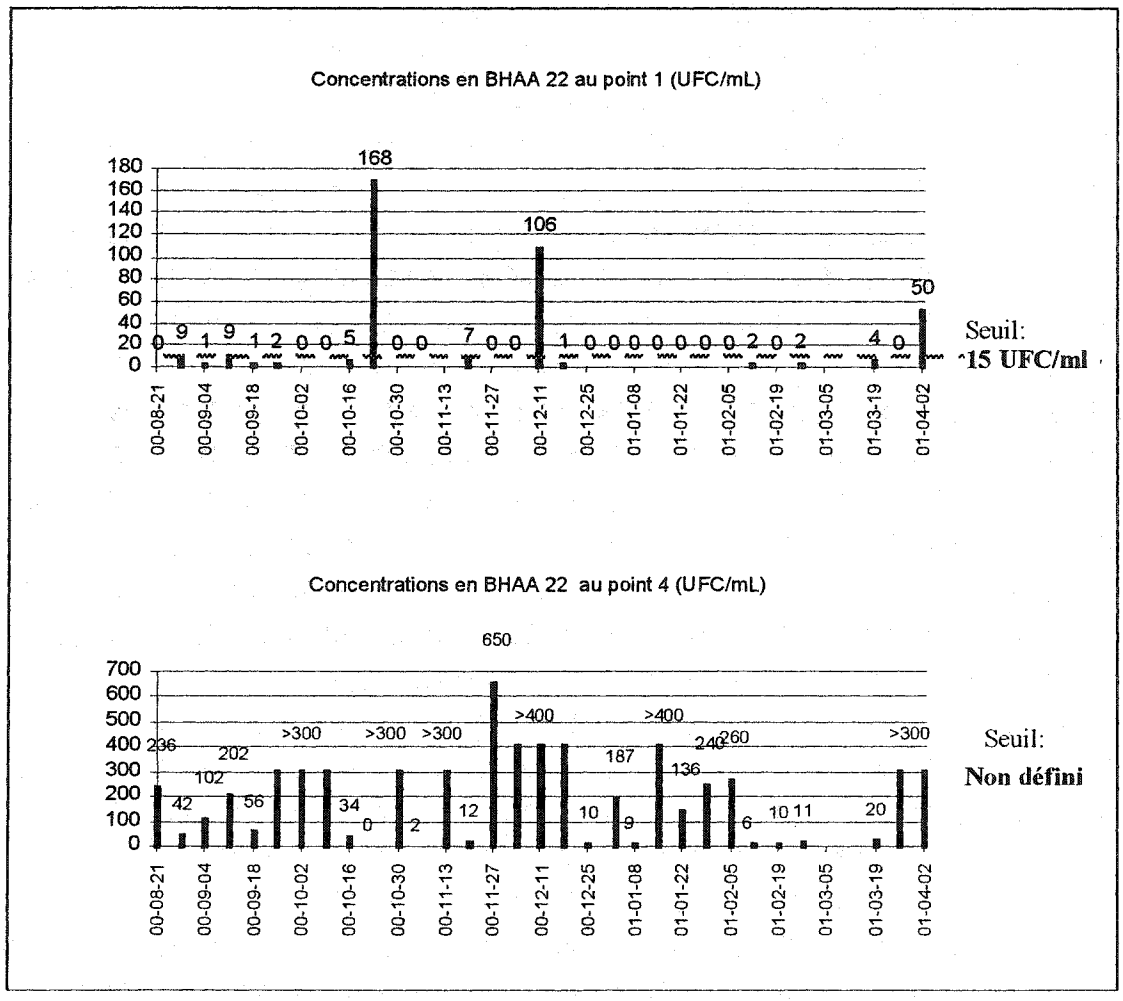


Figure 3.8. Définition des concentrations seuils pour les points 1 et 4.

Pour le point d'échantillonnage 1, durant la période d'étude, trois échantillons reflètent des variations soudaines de la qualité de l'eau avec des concentrations supérieures à 50 UFC/mL. Tous les autres échantillons ont des concentrations inférieures à 10 UFC/mL. Par conséquent, le seuil a été fixé à 15 UFC /mL pour le point 1 (supérieur à 10 UFC/mL, avec une marge de sécurité). Au point d'échantillonnage 4, 38% des échantillons sont supérieurs ou égaux à 300 UFC/mL (trop nombreux pour être comptés). Lorsque la tendance moyenne est trop élevée (c'est le cas ici avec le point 4), ou bien lorsque trop peu de données sont disponibles durant la période d'étude, il est

les événements qualités. Les seuils de bactéries cultivables pour ces points ne sont donc pas définis. Les seuils définis pour chaque point d'échantillonnage sont représentés au Tableau 3.7.

Tableau 3.7. Seuils de concentrations définissant les événements BHAA.

Localisation	**BHAA 22 (UFC/ml)**	**BHAA 37 (UFC/mL)**
Point #1*	15	50
Point #2*	200	10
Point #3*	200	10
Point #4*	ND	15
Point #5*	ND	20
ZB-D01**	ND	10
ZB-D02**	ND	60
ZB-D03**	ND	60
ZB-D04**	ND	5
ZB-S01**	ND	ND
ZB-S02**	ND	ND
ZB-S03**	ND	ND
ZB-S04**	ND	ND
Moulin au Roy **	ND	5

* : seuils pour la période Août 00- Avril 01;
** : seuils pour la période 97 –01; ND: Non Défini

Suite à la définition des seuils pour chacun des points d'échantillonnage, 12 événements de BHAA 22 et 12 événements de BHAA 37 ont été identifiés et sélectionnés en vue d'une investigation à l'aide de l'approche intégrée (Tableau 3.8)

Tableau 3.8. Événements BHAA retenus pour l'application de l'approche intégrée à la ville de Caen.

Date	Localisation	BHAA 22 (UFC/mL)	BHAA 37 (UFC/mL)
97-08-19	D03		>300
97-08-25	D04		82
99-09-29	D02		> 300
99-10-14	D01		67
00-08-28	point #5		94
00-09-11	point #2	>300	
	point #1		61
	point #2		>300
	point #4		29
	point #5		137
00-09-25	point #2	>300	
00-10-02	point #2	168	
	point #3	280	
00-10-23	point #1	168	
	D02		> 300
00-10-30	point #2	>300	
	S01		> 300
00-12-11	point #1	106	
	point #2	>300	
00-12-18	point #2	250	
01-03-19	S02		106
01-04-02	point #1	50	
	point #2	244	
	point #3	>300	

3.3.1.3 Sélection des plaintes d'aspect étudiées

Dans chaque ville, les nombres d'appels de consommateurs varient énormément, selon leur mode de gestion (Tableau 3.5). Dans les bases de données disponibles, les appels concernant l'aspect de l'eau ne constituent qu'une fraction des appels (entre 2.7% et 53.1%). Pour les villes de Caen, Egham, et Montréal, la totalité des appels relatifs à l'aspect de l'eau a été étudiée. À Laval, du fait du grand nombre de données disponibles, un tri a été nécessaire. Les sections suivantes présentent les appels relatifs à l'aspect de l'eau étudiés dans chaque ville, les détails de chacun des appels enregistrés dans chaque ville sont présentés en Annexe A.

- *Appels concernant l'aspect de l'eau, ville de Caen.*

Le fichier d'appels de consommateurs à Caen concerne l'ensemble de la ville, pas seulement le réseau de la zone basse, sur lequel l'approche intégrée a été appliquée.
Entre janvier 1997 et juillet 2001, 3765 appels on été enregistrés dans la base de données disponible. Parmi eux, 127 sont relatifs à l'aspect de l'eau, soit une proportion de 3,4%.
Puisque l'application de l'approche intégrée à Caen est restreinte à la zone basse, seules les plaintes d'aspect ayant lieu sur cette zone ont donc été retenues. Ces plaintes ont été triées visuellement à l'aide de l'outil Arc Explorer. Parmi elles, seules celles enregistrées entre janvier 1998 et juillet 2001 ont été retenues pour cette étude, soit 31 plaintes d'aspect.
Parmi ces 31 plaintes d'aspect, 24 sont classées dans la catégorie « aspect couleur », 2 dans « aspect sable », 1 dans «aspect bulles » et 4 dans « problème aspect ».

- *Appels concernant l'aspect de l'eau, ville d'EGHAM*

Dans la base de données d'Egham, on recense 636 appels entre janvier 1998 et décembre 1999, qui sont localisés sur le réseau de distribution étudié. Parmi eux, il y a 13 appels directement liés à l'aspect de l'eau. Cependant, une recherche dans le champ de détail des appels a été effectuée (recherche des mots 'dirty', 'brown', 'red', 'yellow', 'cloudy', etc.), et a conduit à la découverte de 4 autres appels liés à l'aspect de l'eau. Ce qui fait un total de 17 appels relatifs à l'aspect de l'eau, sur la période janvier 1998 - décembre 1999 (soit 2,7% de la totalité des appels). Ces 17 plaintes d'aspect se regroupent en 5 catégories : « eau blanche » (6 plaintes), « eau sale » (7 plaintes), « qualité générale de l'eau» (2 plaintes), « Information, conseil» (1 plainte), et « faible pression » (1 plaintes).

- *Appels concernant l'aspect de l'eau, ville de Montréal*

A Montréal, seuls les appels ayant fait l'objet d'analyse chez le consommateur sont enregistrés dans la base de données. Ainsi, entre mars 1997 et décembre 2000, 75 appels ont été retenus pour une zone géographique dépassant légèrement les zones de pression

3, 4, et 5, sur lesquelles l'approche intégrée a été appliquée. Parmi eux, il y a 17 plaintes d'aspect (soit 22,7% du total des appels). 14 de ces 17 plaintes ne sont pas localisées sur les zones 3, 4 et 5 du réseau, mais sur leur pourtour (les zones 3, 4 et 5 du réseau de Montréal sont illustrées à la Figure 3.4). Elles ont cependant toutes été étudiées. Notons par ailleurs que pour la ville de Montréal, seules les plaintes relatives à la qualité de l'eau sont disponibles. Par conséquent, les données d'appels de consommateurs ne contiennent aucune information quant à l'hydraulique du réseau (sous pression, manque d'eau, etc.) ou à d'éventuels incidents (fuites, anomalies, etc.) repérés par les consommateurs.

- *Appels concernant l'aspect de l'eau, ville de Laval*

Dans la base de données de Laval, 1951 appels ont été enregistrés sur 10 ans et 1036 appels sont relatifs à l'aspect de l'eau (soit 53,1% des appels). Cependant, la période d'étude pour l'application de l'approche intégrée aux appels relatifs à l'aspect de l'eau à Laval s'est limitée à une période de 2 ans (janvier 1998 à décembre 1999). Durant cette période, 194 appels relatifs à l'aspect ont été enregistrés (132 'couleur' et 62 'particules - dépôts'). De ces 194 appels, un sous-ensemble de 97 appels a été sélectionné pour l'application de l'approche intégrée (représentant 50% des appels). Pour ce faire, les appels de 'Couleur' et de 'Particules-dépôts' ont été classés chronologiquement, puis, à l'aide d'une macro Excel, tous les 5 appels, seulement les 2 premiers ont été copiés puis collés dans un autre fichier. Cette démarche est supposée neutre : le sous-ensemble généré par le tri est considéré comme représentatif de l'ensemble des appels enregistrés durant cette période. Les 97 appels sont détaillés en Annexe A.

- *Synthèse de l'ensemble des plaintes d'aspect étudiées*

Le Tableau 3.9 synthétise les informations relatives aux plaintes d'aspect étudiées pour les 4 villes.

Tableau 3.9.Plaintes d'aspect retenues pour l'application de l'approche intégrée aux 4 villes étudiées.

Ville	Période étudiée	Nombre de plaintes d'aspect étudiées
Caen	janvier 1998 - juillet 2001	31
Egham	janvier 1998 - décembre 1999	17
Montréal	mars 1997 - décembre 2000	17
Laval	janvier 1998 - décembre 1999	97

- *Caractéristiques des conduites associées aux plaintes d'aspect étudiées*

Pour chaque plainte d'aspect, les caractéristiques de la conduite à laquelle est relié le consommateur ayant appelé sont notées (diamètre, matériau, âge), à l'aide de l'outil Arc Explorer. Ces informations sont disponibles dans toutes les villes, sauf à Caen où seule l'information de diamètre de conduite est disponible. Cependant, cette procédure n'a pas été effectuée pour la ville de Montréal, étant donné que seules 3 plaintes se situent sur les zones étudiées (pour lesquelles les informations relatives aux conduites sont disponibles).

Les plaintes d'aspect peuvent parfois se situer sur une rue où il y a deux conduites. Dans ce cas de figure, afin de déterminer quelle est la conduite relative à la plainte d'aspect, la procédure suivante est appliquée :

- si le diamètre de l'une des deux conduites excède le diamètre maximal sur lequel peut être raccordé un branchement, c'est la conduite de plus faible diamètre qui est retenue. Ce diamètre maximal est de 300 mm (inclusivement) pour les villes de Caen, Egham et Laval.
- si les deux conduites sont susceptibles de recevoir un branchement, c'est la conduite qui se situe sur le coté de la chaussée correspondant à l'adresse de la plainte qui est retenue.

Cette procédure a permis d'associer à chaque plainte une conduite du réseau.

3.3.2 Étapes suivies lors de l'application de l'approche intégrée

Qu'il s'agisse d'événements coliformes, d'événement BHAA ou de plaintes relatives à l'aspect de l'eau, la procédure suivie lors de l'application de l'approche intégrée est similaire. Elle peut se synthétiser en 6 étapes, présentées ici.

3.3.2.1 Étude de la qualité de l'eau en entrée de réseau et aux réservoirs

Cette première étape consiste à analyser si la qualité de l'eau en entrée de zone ou dans les réservoirs n'est pas la cause responsable de l'événement qualité étudié. L'ensemble des paramètres physico-chimiques et microbiologiques disponibles en sortie(s) d'usine(s) et aux réservoirs sont étudiées sur une période de 2 mois précédant l'événement (ces données sont détaillées au Tableau 3.2)

3.3.2.2 Formulation de requêtes selon des critères spatiaux et temporels

Après avoir analysé la qualité de l'eau en entrée de zone et aux réservoirs, la formulation de requêtes sous IMADSIG, permet de retenir toutes les données intervenant durant une certaine période précédant un événement qualité, et localisées (dans le cas de données géographiques) dans un périmètre défini autour de l'événement. Ces critères 'spatio-temporels' varient pour chaque type de données, selon les impacts supposés de chacun d'eux. Ils sont détaillés pour chaques villes à la section 3.3.3.

3.3.2.3 Traçage du chemin hydraulique amont

Pour tracer le chemin hydraulique amont, il faut repérer le nœud du réseau qui est le plus près de l'événement étudié. Cette opération s'effectue sous IMADSIG (section 3.1.4.2). La visualisation du chemin hydraulique peut aider lors de l'analyse de l'événement qualité.

3.3.2.4 Analyse via la visualisation des données résultant des requêtes

La visualisation des données sélectionnées lors de la formulation des requêtes, s'effectue avec l'outil ArcExplorer. À l'aide des différentes fonctions disponibles, l'utilisateur peut

donc analyser les différents événements intervenant sur le réseau qui peuvent être à l'origine de l'événement qualité étudié.

3.3.2.5 Attribution d'une pondération

En s'appuyant sur son expérience personnelle et sa connaissance des réseaux de distribution, l'utilisateur peut attribuer à chaque événement visualisé une pondération. Cette pondération est principalement fonction de la concordance spatio-temporelle entre l'événement à pondérer et l'événement qualité étudié, mais elle dépend également du type d'intervention en lui-même ou d'autres paramètres tel que la proximité du chemin hydraulique amont. Aux vues de ces différents paramètres, l'utilisateur affecte une pondération entre 0 et 5. Les pondérations se regroupent en 3 catégories, tel qu'illustré au Tableau 3.10.

Tableau 3.10. Probabilités d'impact attribuées à chaque classe de pondérations lors de l'application de l'approche intégrée.

Pondération	Impact considéré de l'intervention
De 0 à 1,5 inclusivement	Peu probable
De 2 à 2,5 inclusivement	Possible
De 3 à 5	Très probable

3.3.2.6 Construction d'une matrice de résultats

Pour chaque événement qualité, les différents événements repérés sont donc pondérés entre 0 et 5. Ces pondérations sont reportées dans une matrice, dont les caractéristiques sont présentées au Tableau 3.11. Pour chaque ville et pour chaque type d'événement qualité (événements coliformes, événements BHAA et plaintes d'aspect), la matrice représente une synthèse des résultats de l'application de l'approche intégrée.

Tableau 3.11. Exemple de matrice de synthèse des résultats (tiré de la matrice des plaintes d 'aspect étudiées à Laval).

Détails des appels			Caractéristiques des conduites associées				Pondérations relatives aux différents événements repérés											
Date	Description de la plainte	Cause mentionnée par la ville de Laval	Cul de sac	Matériau de conduite	Diamètre de conduite	Date d'installation	Variation de turbidité eau traitée	Pointe de débit usine	Évenements usines	Évenements zones	Prog. de rincage sur la zone	Manipulations de vannes	Manipulations de BF	Réparation de conduite	Réparation de branchement ou de BF	Pose de nouvelle conduite	Réhabilitation de conduite	Appels relatifs à l'état du réseau
98-01-05				FD	200	70-90			1			1	1	1				
98-01-14		air dissous		FG	150	60-69						2		2				
98-01-21				FD	150	70-90			1,5			1,5	0,5	0,5				

3.3.3 Spécificité de l'application de l'approche intégrée dans chaque ville

Les étapes suivies lors de l'application de l'approche intégrée aux événements qualité dans chacune des villes sont les mêmes. Seuls les critères spatio-temporels définis dans les requêtes sous IMADSIG changent. Ces critères dépendent en effet du type d'événement étudié (microbiologique ou plainte d'aspect), ainsi que des particularités des bases de données disponibles dans chaques villes. Ces critères spatio-temporels sont détaillés dans cette section.

3.3.3.1 Ville de Caen

Les critères d'espace définis lors de l'application de l'approche intégrée sont identiques pour tous les types d'événements étudiés (microbiologiques ou plaintes d'aspect). Il sont de 1,5 km autour de l'événement concerné. Notons que dans le cas d'événements BHAA ou coliforme ayant lieu au réservoir Moulin au Roy, aucune requête spatiale n'est effectuée, du fait qu'une très large proportion du réseau peut contribuer hydrauliquement à l'alimentation du réservoir.

En revanche, les critères de temps diffèrent selon le type d'événement étudié. Ils sont représentés au Tableau 3.12.

Tableau 3.12 Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux événements qualité de la ville de Caen, et critères temporels relatifs.

Type de données	Périodes temporelles précédant l'événement (jours)		Périodes temporelles suivant l'événement (jours)
	Événements coliformes et BHAA	Plaintes d'aspect	
Appels de consommateurs	15	15	2
Test de BF à haut débit	30	30	2
Maintenance régulière du réseau	60	30	2
Remplacement/réhabilitation de conduites	60	60	30
Avis de coupure d'eau	60	30	2
Nettoyages de réservoirs	60	30	2
Événements spéciaux	60	30	2
Type de source alimentant la zone basse	90	90	90
Échantillonnages entrée de zone et réservoirs	60	60	0

Les dates des éléments du fichier de « Remplacement/Réhabilitation de conduites » sont souvent approximatives. Afin de ne pas mettre de côté certains éléments mal datés, le critère temporel pour ce fichier est de 2 mois avant l'événement et de 1 mois après.

3.3.3.2 Ville d'Egham

Étant donné la petite taille du réseau étudié, il n'a pas été nécessaire de définir des critères d'espace. Les fichiers pris en compte dans les requêtes ainsi que les critères temporels qui leur ont été appliqués lors des requêtes sont présentés au Tableau 3.13.

Tableau 3.13. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham, et critères temporels relatifs.

Type de données	Périodes temporelles précédant l'événement (jours)	Périodes temporelles suivant l'événement (jours)
Appels de consommateurs	15	2
Échantillonnages suite à de bris de conduites	30	2
Maintenance régulière 'significative'	30	2
Maintenance régulière 'autre'	30	2
Échantillonnages en sortie d'usine	60	0
Pluviosité dans la région d'Egham	60	60

3.3.3.3 Ville de Montréal

Pour la ville de Montréal, 14 des 17 plaintes d'aspect étudiées se situent en dehors des zones pour lesquelles le modèle hydraulique a été construit. Par conséquent, les tracés des conduites ne sont pas disponibles pour ces plaintes. Cependant, afin de pouvoir exploiter au maximum les résultats de l'application de l'approche intégrée, les 17 plaintes d'aspect ont toute été étudiées. Pour les 14 plaintes situées en dehors des zones 3, 4 et 5, l'approche intégrée a été appliquée en considérant que les conduites étaient positionnées sous les rues, dont le tracé est disponible sur l'ensemble de la ville de Montréal. Cette hypothèse est généralement observées sur les zones 3, 4 et 5, tel qu'illustré à la Figure 3.4.

Pour tous les types de données considérés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect à Montréal, le critère spatial est de 1,5 km autour de la plainte étudiée. Les fichiers pris en compte dans les requêtes ainsi que les critères temporels qui leur ont été appliqués lors des requêtes sont présentées au Tableau 3.14.

Tableau 3.14. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal, et critères temporels relatifs

Type de données	**Périodes temporelles précédant l'événement (jours)**	**Périodes temporelles suivant l'événement (jours)**
Appels de consommateurs	15	2
Maintenance régulière du réseau	30	2
Remplacements et réhabilitations de conduites	30	2
Échantillonnages en sortie d'usine	60	0

3.3.3.4 Ville de Laval

Pour tous les types de données considérés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect à Laval, le critère spatial est de 1,5 km autour de la plainte étudiée. Les fichiers pris en compte dans les requêtes ainsi que les critères temporels qui leur ont été appliqués lors des requêtes sont présentés au Tableau 3.15.

Tableau 3.15. Fichiers utilisés lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval, et critères temporels relatifs.

Type de données	**Périodes temporelles précédant l'événement (jours)**	**Périodes temporelles suivant l'événement (jours)**
Réparations de fuites et bris	30	2
Manipulations de BF	30	2
Manipulations de Vannes	30.	2
Poses de nouvelles conduites	30	2
Réhabilitation de conduites	30	2
Événements spéciaux sur le réseau de distribution	30	2
Événements spéciaux aux stations de traitement	30	2
Programmes de rinçage	30	2
Appels de consommateurs	15	2
Débits en sortie d'usine	60	60
Échantillonnages en sortie des 3 usines de traitement	60	0

3.3.4 Analyse des résultats de l'application de l'approche intégrée dans chaque réseau étudié

Les résultats obtenus pour chacun des réseaux étudiés sont analysés sur 3 niveaux dans le but :

1) de déterminer l'efficacité de l'approche intégrée. Les pourcentages de cas expliqués de façon possible ou très probable sont déterminés.
2) de caractériser les causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable.
3) d'analyser les types de données géocodées utilisés lors de l'application de l'approche intégrée.

L'analyse des types de données géocodées utilisés lors de l'application de l'approche intégrée consiste tout d'abord à évaluer leurs densités spatio-temporelles. Ces densités sont exprimées en nombre d'événements par an et par longueur de 10 km de conduites. Elles sont calculées à partir du nombre d'éléments géocodés enregistrés dans chaque type de donnée durant une période définie ($n_{éléments}$).
La densité d'un type de données est calculée comme suit :

$$densité = n_{éléments}/(n_{mois}*L_{réseau})*10*12 \quad \textit{(éléments /an/10km de conduite)}$$

$n_{éléments}$: nombre d'éléments géocodés dans un type de données durant une période définie
n_{mois} : durée de la période (en mois)
$L_{réseau}$: longueur du réseau (en km)

Pour la ville de Caen, les données ne concernent pas juste la partie étudiée du réseau (zone basse), mais sa totalité. Afin de pouvoir calculer les densités de chacun des types de données, les données situées sur la zone basse du réseau ont du être comptées manuellement sous Arc explorer. De même pour les données de Montréal, qui s'étendent au delà des limites des zones 3, 4 et 5 du réseau de la ville.

La seconde phase de l'analyse de ces types de données consiste alors pour chaque ville à compter dans la matrice résultant de l'application de l'approche intégrée le nombre de pondérations très probables attribuées à chacun des types de données considérés (lecture verticale de la matrice).

3.4 Études complémentaires à l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect

Afin de compléter les informations obtenues suite à l'analyse des résultats de l'application de l'approche intégrée aux plaintes de consommateurs, des études complémentaires ont été conduites. Ainsi l'impact des caractéristiques des conduites (matériau, âge, diamètre) sur l'apparition de plaintes d'aspect a été étudié. De même, les risques d'apparition de plaintes d'aspect liés à différentes interventions effectuées sur les réseaux ont été analysés. Ces études complémentaires sont détaillées aux sections suivantes.

3.4.1 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect

Cette étude consiste à comparer les caractéristiques des conduites sur lesquelles ont été enregistrées les plaintes d'aspect à celles du réseau sur lesquelles peuvent être branchés des consommateurs. Les caractéristiques analysées sont le diamètre, l'âge et le type de matériau des conduites. Les résultats obtenus sont des densités de plaintes par 100 km de conduites en fonction de leurs différentes caractéristiques. Ces densités sont calculées comme suit :

$$D_{plaintes} = n_{plaintes\ de\ type\ a} / L_{conduites\ de\ type\ a} * 100$$

(en nombre de plaintes/100 km de conduite pour la période étudiées)

$D_{plaintes\ de\ type\ a}$: densité de plaintes d'aspect sur les conduites de type a.
$n_{plaintes\ de\ type\ a}$: nombre de plaintes d'aspect étudiées relatives aux conduites de type a
$L_{conduites\ de\ type\ a}$: longueur totale des conduites de type a (*en km*).

On peut ainsi comparer les densités de plaintes pour les conduites de différents matériau, âge ou diamètre.

Cette étude a été réalisée sur les réseaux des villes de Laval et d'Egham. Le manque d'information relative aux conduites et le nombre trop faible de plaintes situées sur les zones 3, 4 et 5 n'ont respectivement pas permis de réaliser ce volet de l'étude pour les villes de Caen et Montréal.

3.4.2 Risques d'apparitions de plaintes d'aspect liées à certains types d'interventions

Ces risques sont représentés par le nombre de plaintes d'aspect provoquées par 1000 interventions d'un type donné. Pour évaluer ce nombre, la première étape consiste à dénombrer à l'aide de l'outil ArcExplorer toutes les interventions du type étudié intervenues sur le réseau durant la période d'étude.

La seconde étape consiste à visualiser simultanément sous ArcExplorer l'ensemble des interventions du type étudié et l'ensemble des plaintes d'aspect enregistrées sur le réseau durant cette même période. Pour chaque intervention visualisée, on observe si une plainte d'aspect a été enregistrée dans le même secteur durant la semaine suivant l'intervention. Si c'est le cas, l'intervention est jugée comme cause possible ou très probable selon la qualité de la corrélation spatio-temporelle observée. Seules les interventions ayant causé une plainte de manière très probable sont retenues.

Le risque d'apparitions de plaintes d'aspect pour une intervention de type « a » donné est alors calculé de la manière suivante :

$$Ra = n_{TP} / n_{interventions} * 1000 \quad \textit{(en nombre de plaintes pour 1000 interventions)}$$

Ra	: risque d'apparition de plaintes d'aspect liées aux interventions de types « a »
$n_{interventions}$	: nombre total d'interventions de type « a » dénombrées sur le réseau
n_{TP}	: nombre d'interventions de type « a » ayant causé une plainte d'aspect de manière très probable

Cette étude a été faite pour la ville de Caen en utilisant les données d'avis de coupures d'eau et les tests de bornes fontaines, ainsi que pour la ville de Laval, avec les données des campagnes de rinçage et de réparations de conduites. Étant donné le grand nombre de réparations de bris de conduites enregistrées dans la base de données de Laval entre 1998 et 1999, le nombre de cas d'étude a du être restreint afin de pouvoir étudier le

risque d'apparitions de plaintes d'aspect qui leur est lié. Parmi les 843 réparations relatives à des bris de conduites principales (et non situés sur des vannes et joints) entre 1998 et 1999, 94 éléments ont été sélectionnés par une procédure automatique (un élément sur 10 parmi les 843 réparations de bris de conduites classés chronologiquement).

Ce volet de l'étude n'a pas été réalisé pour Montréal du fait que seulement 3 plaintes d'aspect sont enregistrées sur la zone d'étude, ni pour Egham du fait de la non représentativité statistique des plaintes d'aspect étudiées (voir section 4.3.1).

CHAPITRE 4 RÉSULTATS

4.1 Application de l'approche intégrée à la qualité microbiologique de l'eau de la ville de Caen

Cette section présente les résultats du géocodage des données de la ville de Caen ainsi que ceux de l'application de l'approche intégrée à la qualité microbiologique de l'eau de la ville de Caen.

Tous les cas d'apparition de coliformes et les augmentations soudaines de concentrations en bactéries cultivables ayant eu lieu sur le réseau de la Zone Basse de la ville de Caen durant la période 1997-2001 ont été étudiés en appliquant l'approche intégrée. La procédure suivie (présentée en section 3.3) a permis de mettre en évidence les causes potentielles de chacun de ces événements. Les données disponibles pour l'application de l'approche intégrée dans la ville de Caen sont détaillées en section 3.2.

4.1.1 Résultats du géocodage des données de la ville de Caen

Les résultats du géocodage, dont la méthodologie est détaillée en section 3.1.3, de l'ensemble des fichiers de la base de donnée intégrés pour la ville de Caen sont résumés dans le Tableau 4.1.

Tableau 4.1. Résultats du géocodage des données de la ville de Caen.

Type de données	Nombre d'éléments	Proportions d'éléments géocodés (%)	Méthodes de géocodages utilisés
Position des points d'échantillonnage	39	100,0	- Manuel
Position des réservoirs	14	64,3*	- Manuel
Appels de consommateurs	3765	99,2	- Par numéro civique exact (87%) - Par numéro civique proche (9%) - Par centre de rue (4%) - Manuel (<1%)
Données de maintenance régulière (réparations de conduites, travaux sur bornes fontaines (BF), vannes, etc.)	1021	99,6	- Par numéro civique exact (22%) - Par numéro civique proche (7%) - Par centre de rue (53%) - Par intersection (15%) - Manuel (3%)
Remplacements, réhabilitations de conduites	119	97,5	- Par centre de rue (100%)
Avis de coupure d'eau	473	99,4	- Par centre de rue (100%)
Tests BF haut débit	805	100,0	- Manuel (100%)
Type de source alimentant la zone			Non géocodé
Événements spéciaux			Non géocodé
Total	**6236**		

* Parmi les réservoirs géocodés, les deux correspondant au réseau de la zone basse de la ville de Caen (Moulin au Roy et Guérinière) ont été géocodés.

Les données de source d'alimentation de la zone ne sont pas de type géographique, elles n'ont donc pas été géocodées. Les événements spéciaux sont des événements extraordinaires, supposés avoir des répercussions qui s'étendent sur l'ensemble de la zone étudiée. Comme leurs impacts ne sont pas locaux, ces événements n'ont donc pas été géocodés. Néanmoins, ils sont pris en compte par l'analyseur interactif IMADSIG, et sont examinés lors des études de cas.

Au total, sur les 6236 éléments considérés, 6192 ont pu être géocodés, soit une proportion de 99,3%. Afin de caractériser plus précisément le géocodage de l'ensemble

des données de la ville de Caen, pour chaque méthode de géocodage, les données traitées ont été comptées. Ces résultats sont illustrés au Tableau 4.2.

Tableau 4.2. Proportions d'éléments de la base de données de la ville de Caen géocodés selon différentes méthodes de géocodage.

Méthode de géocodage	Nombre d'éléments géocodés	Fraction de l'ensemble des éléments géocodés (%)
Par numéro civique exact	3472	56,1
Par numéro civique proche	411	6,6
Par centre de rue	1270	20,5
Par intersection	152	2,5
Manuel	887	14,3
Total	**6192**	**100,0**

On observe ainsi que la majeure partie des données a été géocodée par numéro civique exacte (56,1% des données géocodées).

4.1.2 Étude des événements d'apparition de coliformes

4.1.2.1 Matrice résultant de l'étude systématique des cas d'apparition de coliformes

Les 11 événements coliformes étudiés sont présentés en section 3.3.1.1. Ils ont été étudiés un à un à l'aide de l'approche intégrée en suivant la méthodologie détaillée aux sections 3.3.2 et 3.3.3. Notons cependant que les 4 'événements coliformes' survenus le 30 octobre 2000 ont été investigués comme un seul cas. Les résultats sont synthétisés dans la matrice présentée au Tableau 4.3. Pour chaque événement coliforme, une pondération comprise entre 0 et 5 est attribuée à chaque type d'événements de la base de données (correspondants aux colonnes de la matrice, voir sections 3.3.2.5. et 3.3.2.6 pour plus de détails).

Tableau 4.3. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux événements coliformes de la ville de Caen.

Date	Localisation	Variation de qualité de la source d'alimentation	Changement de type d'alimentation	Remplacement/réhabilitation de conduite	Réparation de conduite	Réparation / installation de branchement	Réparation / installation de vanne	Réparation de BF	Test de BF à haut débit	Nettoyage de réservoir	Événements spéciaux	Avis de coupure d'eau	Appels relatifs à l'état du réseau
97-08-25	Moulin au Roy					0,5	0,5			1,5	ND	ND	
97-08-27	Moulin au Roy					0,5	0,5			1,5	ND	ND	
98-01-26	Moulin au Roy	3			1						ND	ND	
98-04-14	Moulin au Roy		0,5			0,5					ND	ND	0,5
99-06-28	Moulin au Roy						2	0,5			ND		
99-10-05	Moulin au Roy	2		1,5	3	0,5				1	ND		4
00-08-07	Moulin au Roy			0,5		1						1	1
00-10-30	Points 3			1	1				4	0,5	1	2	0,5
	Points 4			1	1				4	0,5	1	2	0,5
	Points 5			1	1				4	0,5	1	2	0,5
	Moulin au Roy			1	1				4	0,5	1	2	0,5

Peu probable
Possible
Très probable
ND : Non Disponible

Parmi les 11 échantillons positifs en coliformes, 6 ont pu être expliqués avec des causes jugées « très probables », 1 avec une cause « possible », alors qu'aucune explication n'a pu être trouvée pour 4 cas. Les cas « très probables » sont détaillés dans la suite du chapitre.

4.1.2.2 Le 26 janvier 1998 : 1 coliforme thermotolerant /100mL au réservoir Moulin au Roy

Une seule intervention est ressortie de l'application de l'approche intégrée à cet événement coliforme, il s'agit de la réparation d'une conduite de 100mm le 7 janvier 1998. Cependant, du fait qu'aucun problème de qualité d'eau n'ait été détecté au cours des deux échantillonnages effectués (les 12 et 19 janvier) sur aucun des 7 points d'échantillonnage de routine sur le réseau (Figure 3. 6a), il est peu probable que cette réparation de conduite soit à l'origine de l'événement coliforme du 26 janvier 1998. En revanche, le 26 janvier 1998, des coliformes thermotolérants ont été détectés dans l'eau souterraine chlorée qui alimente la Zone Basse durant la nuit (2 UFC/100mL au réservoir Guérinière, point HVM01 Figure 3.6a). Il est rare que des coliformes thermotolérants soient détectés dans le réservoir de Moulin au Roy ou celui de Guérinière. Par conséquent la contamination simultanée de ces deux points le 26 janvier suggère qu'il est très probable que la contamination de l'eau souterraine alimentant la zone soit la cause de l'apparition de coliforme au réservoir Moulin au Roy le même jour. Les concentrations de chlore total mesurées en ces deux points étaient faibles (0.06 et 0.10 mg/l), mais correspondent aux valeurs habituellement mesurées.

4.1.2.3 Le 5 octobre 1999 : 1 coliforme total/100mL au réservoir Moulin au Roy

Le premier élément identifié, suite à l'application de l'approche intégrée à l'événement coliforme du 5 octobre 1999, est la qualité de l'eau souterraine (mesurée au réservoir Guérinière). En effet, on peut remarquer un léger pic de bactéries cultivables la veille de l'événement : 16 UFC/mL de BHAA 22°C et 17 UFC/mL de BHAA 37°C le 4 octobre 1999 à Guérinière, alors que ces concentrations sont généralement inférieures à 5 UFC/mL à ce point d'échantillonnage (Figure 4.1). Même si la concentration de ce 'pic' est faible, il reflète un changement dans la qualité de l'eau qui a pu s'étaler sur quelques jours ou quelques semaines, puisqu'une seule donnée par mois est disponible.

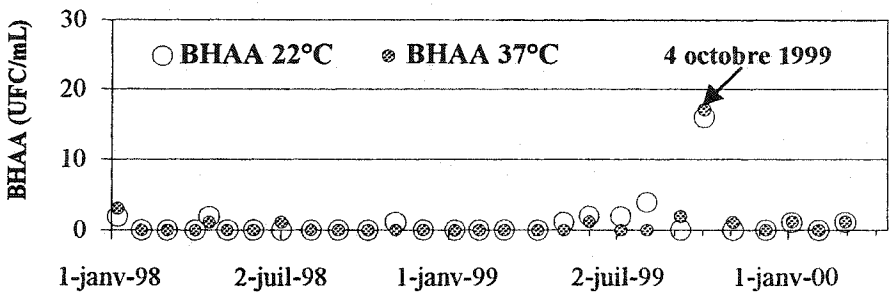


Figure 4.1. Concentrations en bactéries cultivables dans l'eau souterraine chlorée alimentant la Zone Basse mesurées au réservoir Guérinière.

Cependant aucun coliforme n'a été détecté au réservoir Guérinière le 4 octobre 1999. Il est difficile d'évaluer l'impact de ce pic de BHAA au réservoir Guérinière sur la qualité de l'eau à Moulin au Roy, puisque en ce point, les BHAA 22°C étaient trop nombreux pour être comptés (TNPC) le 5 octobre 1999, comme tous les échantillons de BHAA 22°C prélevés à ce point durant cette période (Figure 4.2). De plus, la concentration en BHAA 37°C était également TNPC le 4 octobre alors qu'elle était sous la limite de détection le 5 octobre (Figure 4.2). Ainsi, il n'est pas évident que le coliforme détecté à Moulin au Roy provienne de l'eau souterraine.

Par ailleurs, l'application de l'approche intégrée a permis de repérer 2 réparations de conduites ayant eu lieu les 3 et 4 octobre 1998 (Figure 4.3). Comme les proximités temporelles et hydrauliques des ces deux événements sont bonnes, il est possible que ces 2 réparations de conduites aient eut une influence sur l'apparition de coliforme à Moulin au Roy le 5 octobre 1999.

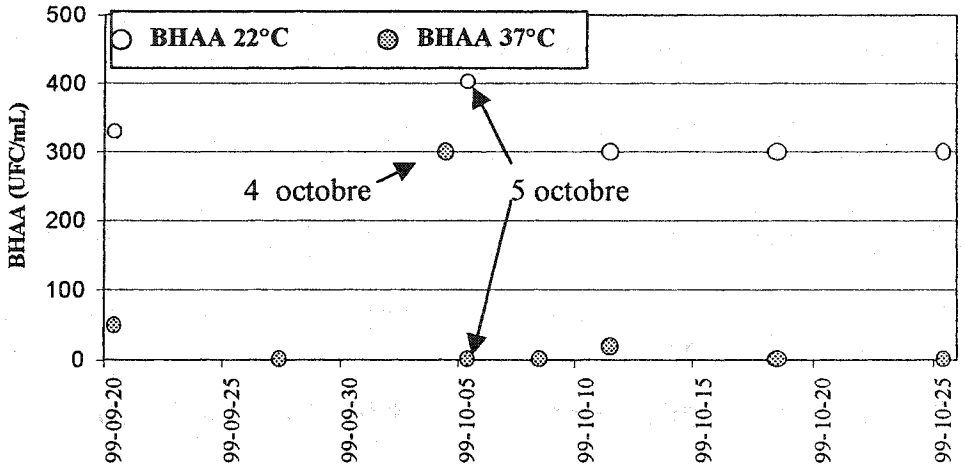


Figure 4.2. Concentrations en bactéries cultivables mesurées au réservoir Moulin au Roy.

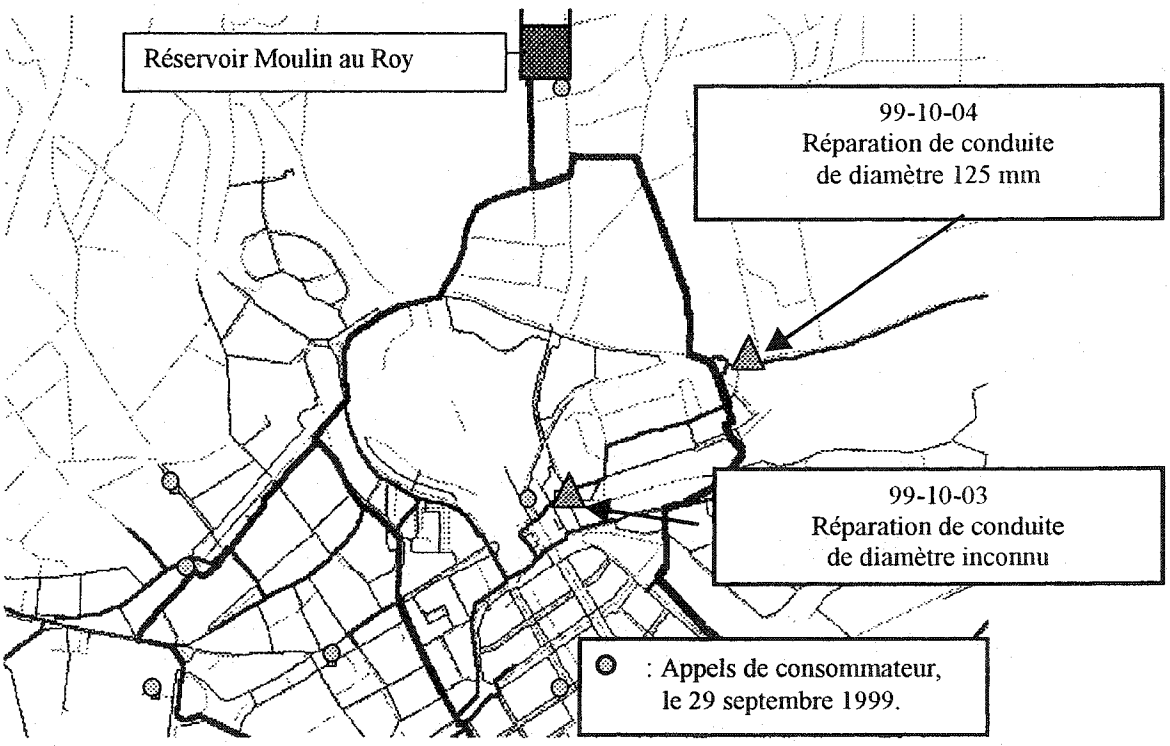


Figure 4.3. Réparations de conduites du 3 et 4 octobre 1999, et appels de consommateurs enregistrés le 29 septembre 1999 dans le secteur du réservoir Moulin au Roy.

Un autre fait important est ressorti durant l'étude de ce cas : le 29 septembre 1999, 6 jours avant l'événement coliforme, de nombreux appels de consommateurs ont été enregistrés. En effet, 38 appels ont été compilés cette journée contre une moyenne journalière de 4,3 appels. Parmi ces 38 appels, 16 concernent la Zone Basse. Les appels de consommateurs sont classés dans différentes catégories dans la base de donnée de la ville de Caen. Afin d'étudier le phénomène du 29 septembre 1999, les appels ont été regroupés en 4 catégories :

- appels relatifs à l'hydraulique (souspression, surpression, manque d'eau, fuite, etc.)
- appels concernant des demandes d'interventions n'étant pas supposés avoir une influence sur le réseau public (installation de compteur, connexion de ligne privée, assainissement d'égouts, etc.),
- appels relatifs aux goûts et odeurs de l'eau
- appels relatifs à l'aspect de l'eau (plaintes d'aspect)

La répartition des appels du 29 septembre selon ces 4 catégories est comparée à celle de tous les appels de la base de donnée (3765 éléments) en Figure 4.4.

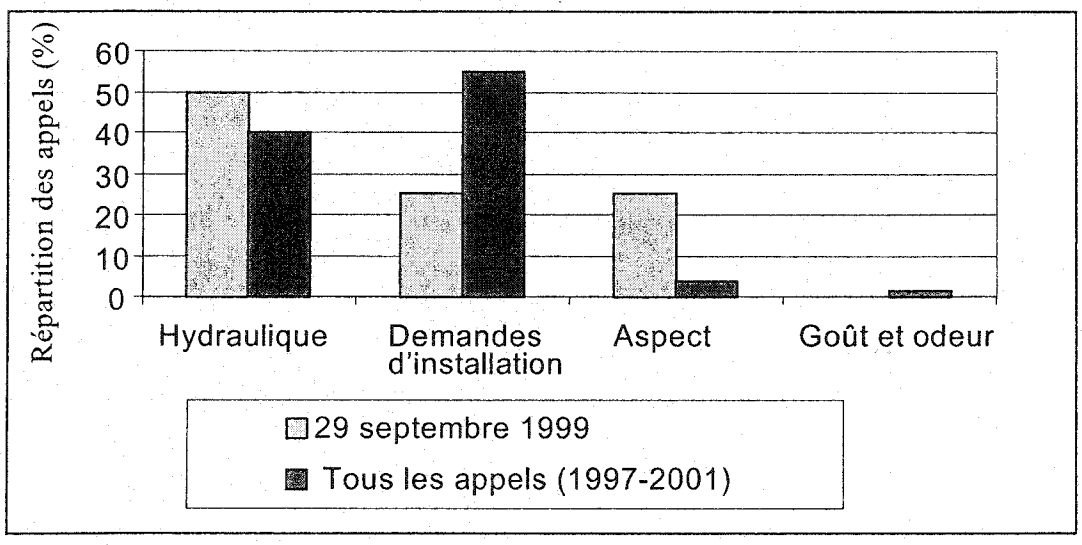


Figure 4.4. Répartition des appels classés selon différentes catégories pour l'ensemble des appels enregistrés dans la base de données de Caen et pour ceux enregistrés le 29 septembre 1999.

Il ressort que la fraction des appels reflétant des variations hydrauliques potentielles est un peu plus élevée le 29 septembre (50% des appels) qu'en moyenne (40%). Ce qui pourrait indiquer que des perturbations hydrauliques sont survenues le 29 septembre 1999. La forte proportion d'appels concernant l'aspect de l'eau le 29 septembre (25% contre 4% en moyenne) confirme cette hypothèse, puisque les perturbations hydrauliques peuvent provoquer la remise en suspension de dépôts et ainsi créer des apparitions de turbidité (voir section 2.2.5). Il est à noter aussi que la turbidité au réservoir Moulin au Roy augmente durant cette période, passant de 0,44 UTN (qui correspond aux valeurs habituelles en ce point) le 27 septembre à 0,66 UTN le 4 octobre, puis redescend à 0,35 UTN le 11 octobre (Figure 4.5). D'après les bases de données, aucune campagne de test de bornes fontaines à haut débit n'a été effectuée le 29 septembre 1999 (ce qui aurait pu expliquer le nombre important de plaintes d'aspect). Il a finalement été considéré comme étant très probable que le nombre important d'appels de consommateurs du 29 septembre, 6 jours avant l'événement coliforme au réservoir Moulin au Roy, soit lié à la cause de cet événement, même si la cause en elle même reste inconnue.

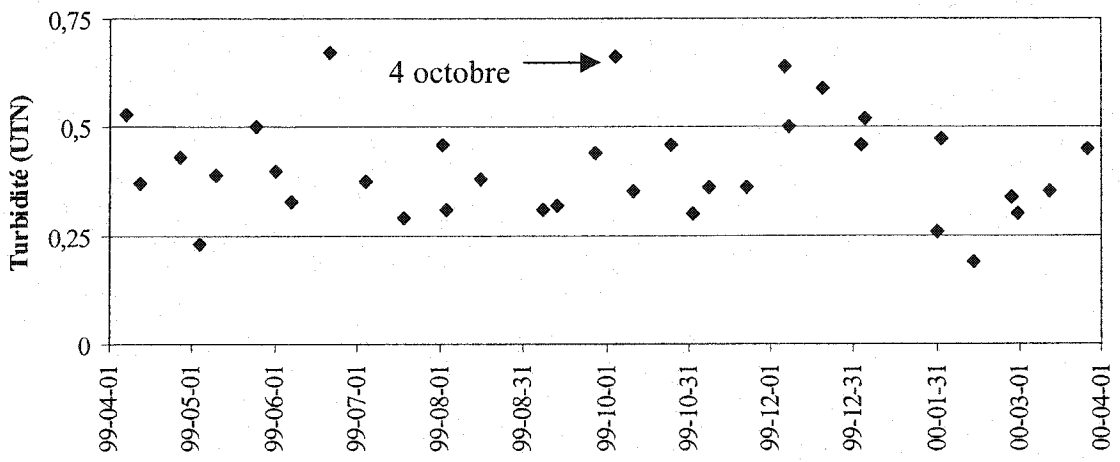


Figure 4.5. Turbidité au réservoir Moulin au Roy, entre avril 1999 et mars 2000.

En conclusion, deux causes principales pourraient expliquer l'événement coliforme du 5 octobre 1999 au réservoir Moulin au Roy : la légère baisse de qualité de l'eau souterraine alimentant la Zone Basse le 4 octobre, et les réparations de conduites des 3 et 4 octobre. Mais le nombre anormalement haut de plaintes enregistrées le 29 septembre 1999 semble suggérer que d'autres perturbations majeures aient pu intervenir dans la zone, même si elles ne sont pas indiquées dans la base de données.

4.1.2.4 Le 30 octobre 2000 : 4 apparitions de coliformes sur le réseau

Le 30 octobre 2000, des échantillons positifs en coliformes totaux ont été mesurés aux points d'échantillonnage #3, #4 et #5 (de la campagne coliforme) ainsi qu'à celui de Moulin au Roy (voir tableau 3.6). Ces 4 points sont tous situés dans la partie Nord du réseau de la Zone Basse (voir figure 3.6a). Au point d'échantillonnage #3, un coliforme thermotolérant a également été mesuré. Durant cette période, ces 4 points d'échantillonnage étaient caractérisés par de très faibles concentrations en chlore libre (<0,02mg/L) et par des températures d'environ 11-12°C. Les paramètres qualités mesurés en chacun de ces points le 30 octobre 2000 (turbidité, pH, BHAA et conductivité) ne présentent rien d'anormal excepté un pic de BHAA 22°C au point #2 (>300UFC/mL). À partir des données disponibles, aucune variation importante de la qualité de l'eau alimentant la zone n'a pu être identifiée.

Une première explication a été fournie par l'équipe de techniciens ayant effectué les échantillonnages : les points #3, #4 et #5 ont tous des robinets d'échantillonnage extérieurs, susceptibles d'être contaminés par une source extérieure. Cependant, cette hypothèse a rapidement été mise de coté, du fait qu'une contamination extérieure simultanée de 3 robinets le même jour de l'année est assez improbable. Par ailleurs, l'échantillon de Moulin au Roy (analysé par un autre laboratoire) était également positif en coliformes, ce qui renforce l'idée d'un réel problème de qualité plutôt qu'une contamination des robinets.

À l'aide du modèle hydraulique Epanet, et en utilisant la fonction d'IMADSIG permettant l'identification du chemin hydraulique en amont des points d'échantillonnage (voir section 3.1.4.2), il a été établi que les points 3, 4 et 5 sont sous l'influence à la fois de l'eau de surface (durant la journée) et de l'eau souterraine (durant la nuit) lorsque le réservoir de Moulin au Roy se rempli, et reçoivent également l'eau provenant de Moulin au Roy (caractérisée par un plus long temps de séjour) lorsque celui-ci se vide. Par conséquent, ces points peuvent donc être alimentés par de l'eau ayant un temps de séjour plus élevé lorsque l'alimentation provient du réservoir.

A l'aide de l'analyseur interactif IMADSIG, une première requête a été formulée de manière à déterminer les causes possibles de l'événement coliforme du 30 octobre 2000. Les données examinées lors de cette première requête sont les suivantes :

- Données de maintenance régulière (réparations de conduites, travaux sur BF, vannes, branchements)
- Réhabilitations et remplacements de conduites
- Nettoyages de réservoirs
- Appels de consommateurs

Comme le montre la Figure 4.6, plusieurs interventions ont été enregistrées dans la partie Nord de la zone basse durant la période considérée. D'importants travaux ont été réalisés dans le secteur du point 3 (rue de Geôle) : une réhabilitation de conduite a débuté en août 2000 et s'est poursuivie jusqu'en septembre, confirmée par des avis de coupure d'eau concordants. Cette succession de travaux de maintenance peut avoir causé une dégradation de la qualité de l'eau soit par une contamination locale (intrusion de coliformes) soit par remise en suspension de sédiments contaminés. Cependant, la proximité temporelle entre ces travaux (août - septembre) et l'apparition de coliformes (30 octobre) n'est pas très bonne, et comme aucun coliforme n'a été détecté entre ces travaux et la date de contamination (8 échantillonnages ont été réalisés sur chacun des points du réseau durant cette période), l'impact de ces travaux sur l'événement coliforme du 30 octobre 2000 est considéré comme étant « possible » mais non « très probable ».

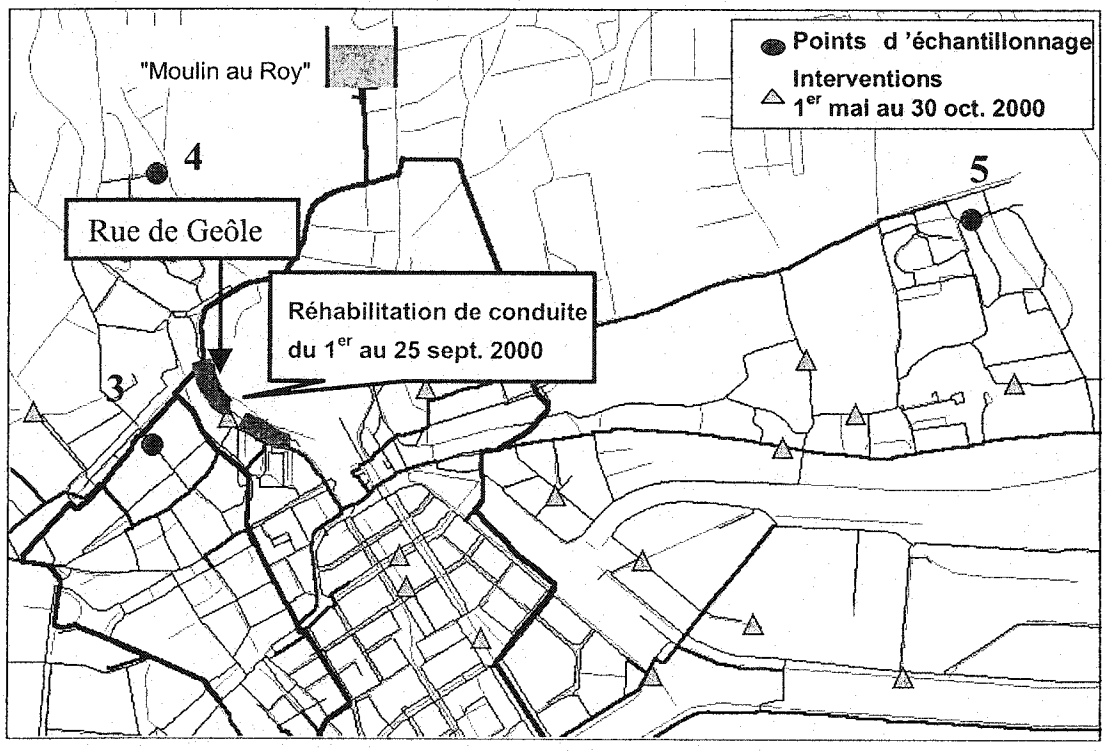


Figure 4.6. Résultat de l'application de la requête spatio-temporelle pour les interventions prenant place dans la partie Nord de la Zone Basse, pour l'événement coliforme du 30 octobre 2000

Une requête supplémentaire, liée aux tests de bornes fontaines (BF) à haut débit, a été formulée et a fourni une hypothèse plus forte quant à l'explication de la contamination du 30 octobre 2000. En effet, il est apparu que 128 tests de BF ont été réalisés entre le 23 et le 27 octobre, soit 3 à 7 jours précédents la détection de coliformes. La position géographique de ces tests est présentée en Figure 4.7.

Parmi ces 128 tests, 69 ont été effectués dans la Zone Basse, près des points d'échantillonnages 2, 3 et 4. Ces tests de bornes fontaines génèrent des perturbations hydrauliques importantes, du fait que les débits utilisés peuvent atteindre 215 m^3/heure (BF #159, le 26 octobre 2000). Au cours de ces perturbations, des sédiments contaminés peuvent être remis en suspension ou bien même s'introduire dans le réseau via des connexions croisées ou des fuites du fait des pressions très faibles voir négatives que peuvent engendrer les tests (voir section 2.2.4). Le 24 octobre, un consommateur s'est

plaint de la couleur de l'eau (Figure 4.7), ce qui illustre l'impact des tests de bornes fontaines sur la turbidité de l'eau dans le réseau. Les mesures de turbidité à Moulin au Roy ainsi qu'aux points 3, 4 et 5 ne sont pas spécialement élevées, mais en quelques jours (entre le 27 et le 30 octobre), les particules de turbidité ont pu se redéposer, tandis que les bactéries ont pu demeurer en suspension pendant une plus longue période (et par conséquent être transportées à travers le réseau). Il est donc très probable que ces tests de bornes fontaines soient à l'origine des coliformes détectés aux points 3 et 4 (situés dans la zone même où les tests ont été effectués).

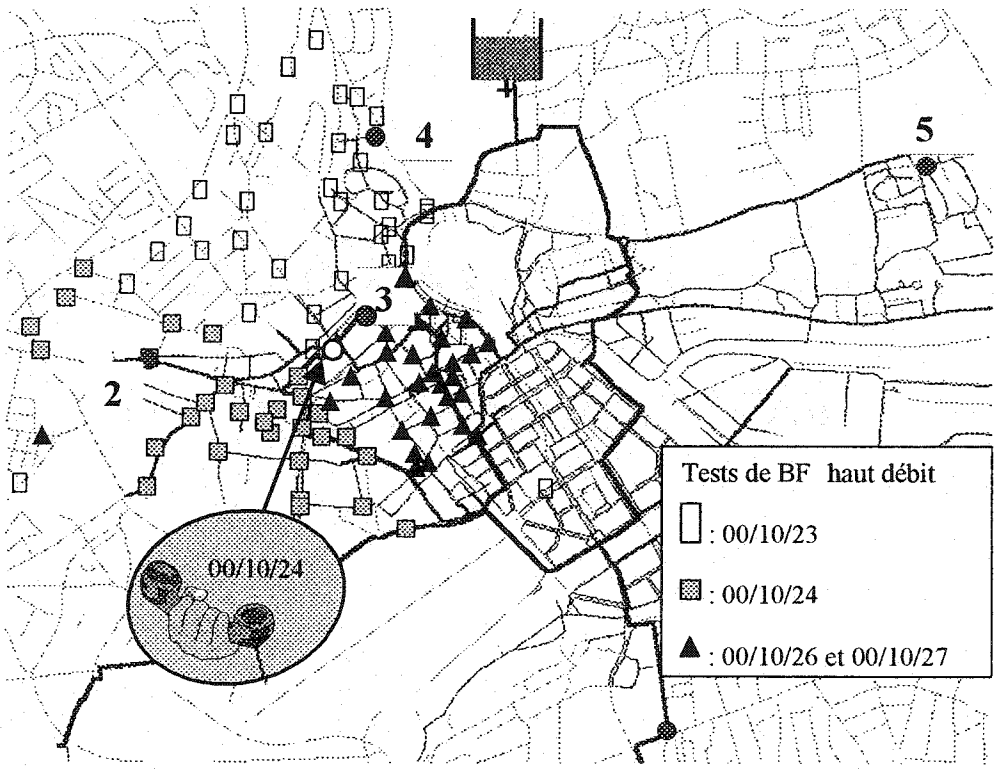


Figure 4.7. Position des tests de bornes fontaines à haut débit effectués entre le 23 et le 27 octobre 2000 sur la Zone basse de la ville de Caen.

Pour le point 5 et le réservoir Moulin au Roy, la présence de coliformes pourrait être expliquée par la combinaison de deux hypothèses : d'une part les bactéries peuvent rester en suspension pendant plusieurs jours, et d'autre part l'eau peut circuler de la zone

contaminée (tests de BF) vers ces deux autres points. En particulier, on peut se demander si l'eau qui provient de la zone de tests de bornes fontaine peut alimenter le réservoir Moulin au Roy. Pour répondre à cette question, le modèle hydraulique Epanet a été utilisé. Les débits simulés durant la période de remplissage du réservoir sont illustrés à la Figure 4.8. Lors de la période de remplissage du réservoir, l'eau passe par trois voies principales (Chemins A, B1 et B2 à la Figure 4.8). Les débits dans les chemins A et B2 sont toujours supérieurs à 28 L/s, et toujours supérieurs à 15L/s sur le chemin B1. Plusieurs tests de BF sont localisés le long des chemins B1 et B2. Donc, selon le modèle hydraulique, l'eau provenant de la zone de tests de BF peut alimenter le réservoir Moulin au Roy. Par ailleurs, un examen détaillé des résultats du modèle hydraulique montre que l'eau provenant de conduites secondaires (<200mm) peut également contribuer jusqu'à 10 % des débits des chemins B1 et B2 dans la zone de tests de BF. Ainsi, selon le modèle hydraulique, il est possible que l'eau contaminée, présente dans la zone de tests de BF (du fait d'éventuelles intrusions ou remises en suspension), ait été transportée via les chemins B1 et B2 jusqu'au réservoir. Une fois l'eau contaminée entrée dans le réservoir Moulin au Roy, elle peut aisément transiter jusqu'au point 5, qui est sous l'influence du réservoir lorsque celui ci se vide.

Enfin, il est important de noter que les campagnes de tests de BF ne sont pas très fréquentes. Entre septembre 2000 et septembre 2001, seulement un programme a été enregistré sur la Zone Basse. De plus, cette apparition de coliforme est la seule qui prend place sur le réseau durant la période janvier 1997 – août 2001 (d'après les échantillonnages de routine et ceux de la campagne coliforme). Le fait que ces deux événements rares se produisent au même moment (voir Figure 4.9), dans la même zone géographique porte à penser que les tests de BF à haut débit sont une cause très probable à l'événement coliforme du 30 octobre 2000.

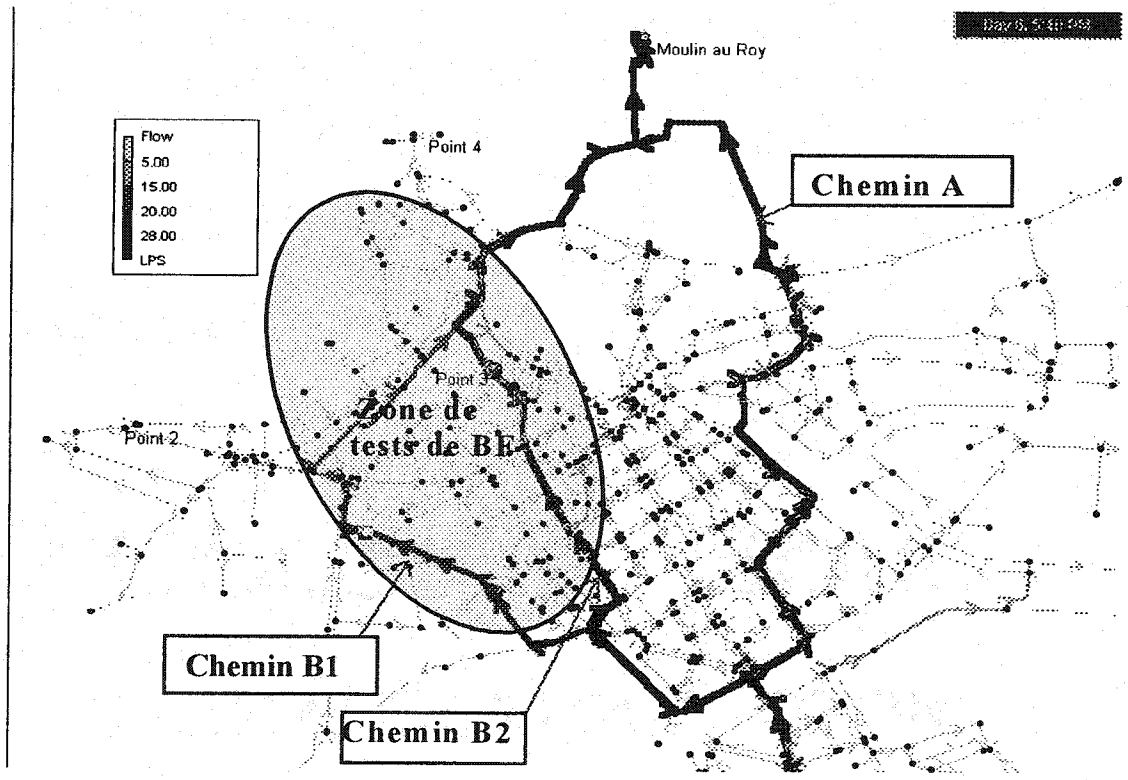


Figure 4.8. Débits dans la Zone Basse durant la période de remplissage du réservoir Moulin au Roy.

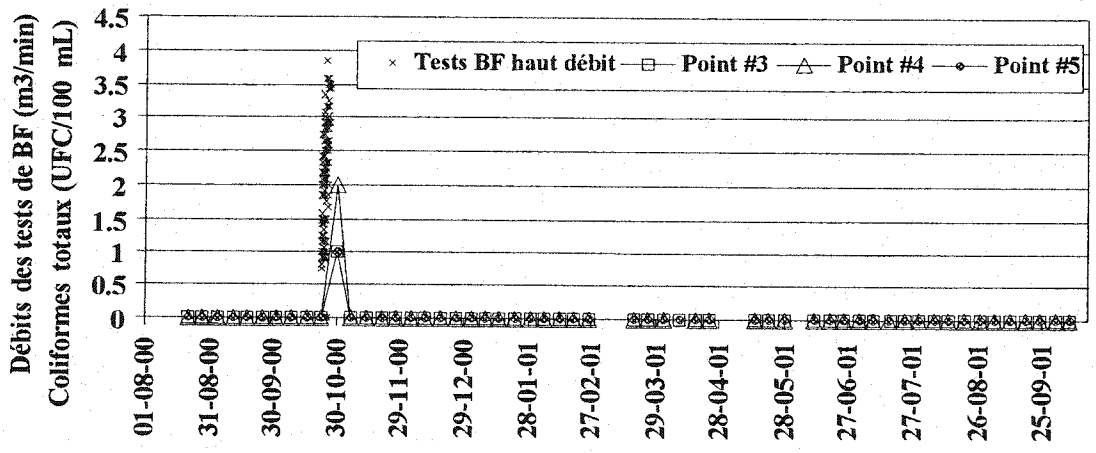


Figure 4.9.Proximité temporelle entre les tests de BF à haut débit effectués sur la zone basse entre août 2000 et septembre 2001 et les échantillons positifs en coliformes sur ce même réseau.

4.1.2.5 Autres échantillons positifs en coliformes

Parmi les 11 événements coliforme étudiés, 8 prennent place au réservoir Moulin au Roy. L'eau dans les réservoirs peut être caractérisée par des longs temps de séjour, des forts taux de mélange entre les différentes sources d'eau, et de potentielles contaminations externes et zones de stagnation. Par conséquent, les petits événements locaux intervenant sur le réseau, comme des réparations ou réhabilitations de conduites, peuvent difficilement être reliés à la qualité de l'eau dans les réservoirs. Cela explique pourquoi les événements coliformes à Moulin au Roy (à l'exception des 3 mentionnés ci-dessus : 26 janvier 98, 5 octobre 99 et 30 octobre 00) n'ont pu être expliqués de façon très probable au cours de l'application de l'approche intégrée (les résultats de ces investigations sont néanmoins résumés dans la matrice présentée au Tableau 4.3).

4.1.2.6 Conclusion sur les événements d'apparition de coliformes

D'après les données qualité considérées dans cette étude (échantillonnages de routine et campagne coliforme), une seule apparition de coliforme a eu lieu sur le réseau de la Zone Basse de la ville de Caen entre 1997 et 2001. Cet événement a eu lieu le 30 octobre 2000 (sur les points 3, 4 et 5 de la campagne coliforme) et a pu être expliqué avec une cause très probable : les tests de bornes fontaines à haut débit effectués une semaine avant l'événement sont présumés être à l'origine de la contamination. Tous les autres cas de coliformes ont été mesurés au réservoir Moulin au Roy. Parmi ces cas, 3 ont aussi pu être expliqués de façon très probable (dont un enregistré le 30 octobre).

4.1.3 Étude des événements de fortes concentrations en bactéries cultivables

4.1.3.1 Matrice résultant de l'étude systématique des événements de bactéries cultivables

Chacun des événements de BHAA 22°C et BHAA 37°C ont été étudiés individuellement à l'aide de l'approche intégrée, suivant la procédure définie à la section 3.3. Les résultats

sont résumés dans la matrice présentée au Tableau 4.4 qui détaille les causes potentielles à chacun des cas de BHAA ainsi que les probabilités qui leur ont été attribuées.

Tableau 4.4. Matrice résultant l'application de l'approche intégrée aux événements BHAA de la ville de Caen.

Date	Localisation	BHAA	Variation de qualité de la source d'alim.	Changement de type d'alimentation	Remplacement/réhab. de conduite	Réparation de conduite	Réparation / installation de branchement	Réparation / installation de vanne	Réparation de BF	Test de BF à haut débit	Nettoyage de réservoir	Événements spéciaux	Avis de coupure d'eau	Appels relatifs à l'état du réseau
97-08-19	D03	37°C			0,5						0,5	ND	ND	
97-08-25	D04	37°C			1,5						0,5	ND	ND	
99-09-29	D02	37°C				0,5					0,5	ND	1,5	3
99-10-14	D01	37°C				0,5					0,5	ND	0,5	1,5
00-08-28	Point 5	37°C				0,5			1,5			0,5	0,5	2
00-09-11	Point 2	22°C		4		0,5					0,5	4		2
	Point 1	37°C		4		0,5					0,5	4		2
	Point 2	37°C		4		0,5					0,5	4		2
	Point 4	37°C		4		0,5					0,5	4		2
	Point 5	37°C		4		0,5					0,5	4		2
00-09-25	Point 2	22°C			1,5	0,5					0,5		2	0
00-10-02	Points 2	22°C			1		1				0,5	4	1	1
	Points 3	22°C			1		1				0,5	4	1	1
00-10-23	Point 1	22°C									0,5			
00-10-23	D02	37°C			2				1	0,5		0,5	2,5	
00-10-30	Point 2	22°C			1	1				4	0,5	1	2	0,5
00-10-30	S01	37°C			1					4	0,5	1	2	0,5
00-12-11	Point 1	22°C			0,5	1,5								
	Point 2	22°C			0,5	1,5								
00-12-18	Point 2	22°C			0,5	1								0,5
01-03-19	S02	37°C			0,5							1	0,5	
01-04-02	Point 1	22°C			0,5	1						1,5	0,5	0,5
	Point 2	22°C			0,5	1						1,5	0,5	0,5
	point 3	22°C			0,5	1						1,5	0,5	0,5

	Peu probable
	possible
	Très probable

ND : Non Disponible

Parmi les 24 cas, 10 ont pu être expliqués avec des causes très probables, et 3 avec des causes possibles. Les 11 cas restant n'ont pas pu être expliqués à l'aide de l'approche intégrée. Ces proportions sont détaillées pour les BHAA 22°C et BHAA 37°C en Figure 4.10.

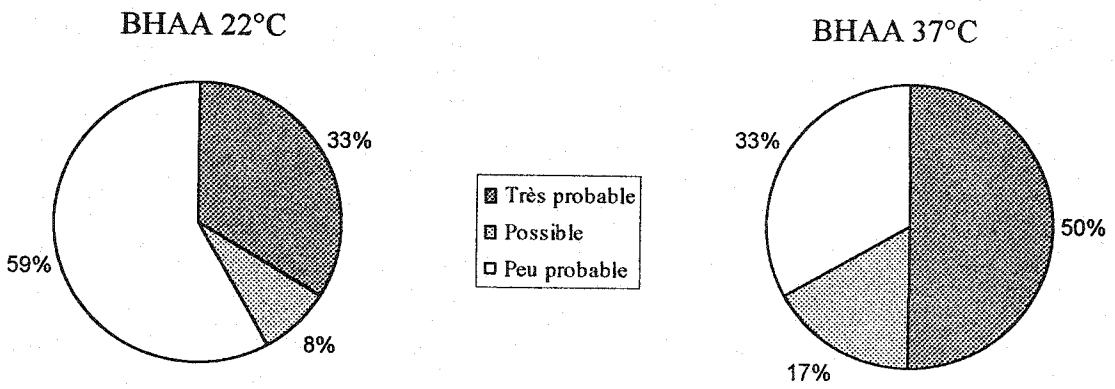


Figure 4.10. Répartition entre les différentes probabilités des causes trouvées pour les événements de BHAA 22°C et BHAA 37°C.

Parmi les événements BHAA expliqués de manière très probables, certains sont associés à des événements coliformes déjà détaillés précédemment. Ainsi, l'événement BHAA 37°C du 29 septembre 1999 au point DO2 a lieu lors d'une supposée perturbation majeure du réseau de la Zone Basse révélée par un pic du nombre d'appel de consommateurs le 29 septembre 1999. Cet événement a déjà été discuté à la section 4.1.2.3, dans l'étude de l'apparition de coliforme du 5 octobre 1999 au réservoir Moulin au Roy. Par ailleurs, les 2 événements (BHAA 22°C et BHAA 37°C) du 30 octobre 2000 ont été expliqués de la même façon que l'événement coliforme ayant eu lieu à cette même date (voir section 4.1.2.4).

Par conséquent, les événements BHAA du 29 septembre et du 30 octobre ne sont pas illustrés dans cette section. Les 7 autres événements BHAA expliqués de manière très

probable (5 le 11 septembre 2000, et 2 le 2 octobre 2000) sont détaillés dans les sections suivantes.

4.1.3.2 Le 11 septembre 2000 : 4 événements BHAA 37°C et 1 BHAA 22°C

Le 11 septembre 2000, des concentrations inhabituelles de BHAA 37°C ont été mesurées aux points d'échantillonnages 1, 2, 4 et 5. Avant d'utiliser l'outil IMADSIG, les paramètres classiques de la qualité de l'eau du réseau ont été étudiés. Une variation soudaine de la qualité de l'eau a eu lieu dans le réseau de la Zone Basse au début du mois de septembre 2000. En effet, d'importants changements dans la température et la conductivité de l'eau distribuée ont été observés aux alentours du 11 septembre, tel qu'illustré à la Figure 4.11. Cependant les autres paramètres qualité (turbidité, chlore libre, coliformes) ne montraient aucune variation spécifique. Étant donnée que la Zone Basse peut être alimentée à la fois par de l'eau de surface et de l'eau souterraine, il est possible que ces variations proviennent d'un changement de source d'alimentation.

L'application de l'approche intégrée a permis d'identifier des éléments supplémentaires :

- Une alarme indicatrice d'un trop faible niveau d'eau dans le réservoir Moulin au Roy a été enregistrée le 4 septembre 2000
- Le réservoir Guérinière (qui alimente la zone en eau souterraine durant la nuit en fonctionnement normal) a été nettoyé le 6 septembre 2000
- Un « by-pass » a été installé à l'entrée du réservoir de Guérinière le 7 septembre.

Afin de mieux comprendre les changements intervenus en ce début septembre 2000 sur la Zone Basse, des investigations supplémentaires ont été conduites par les responsables du réseau de la ville de Caen (R. Toulorge). Cette démarche à conduit à la rédaction d'un mémo détaillant la stabilisation des niveaux d'eau dans le réservoir Guérinière suite au nettoyage du réservoir et à l'installation du « by pass ». Selon ce document, un changement de source d'alimentation aurait eu lieu les 8 et 9 septembre 2000. Un type inhabituel d'eau souterraine (caractérisée par une plus forte conductivité) est venue

remplacer l'eau souterraine chlorée fournie en temps normal par le réservoir de Guérinière. Cette alimentation d'urgence a été effectuée depuis le réservoir St Gabriel via la conduite le reliant au réservoir Moulin au Roy, permettant une alimentation de la zone depuis le réservoir de Moulin au Roy (nord de la zone), plutôt que depuis le sud de la zone (Figure 3.2) (ce qui est le cas en fonctionnement régulier).

Il est très probable que ce changement inhabituel de source soit à l'origine de l'augmentation de BHAA détectée sur plusieurs points du réseau le 11 septembre 2000.

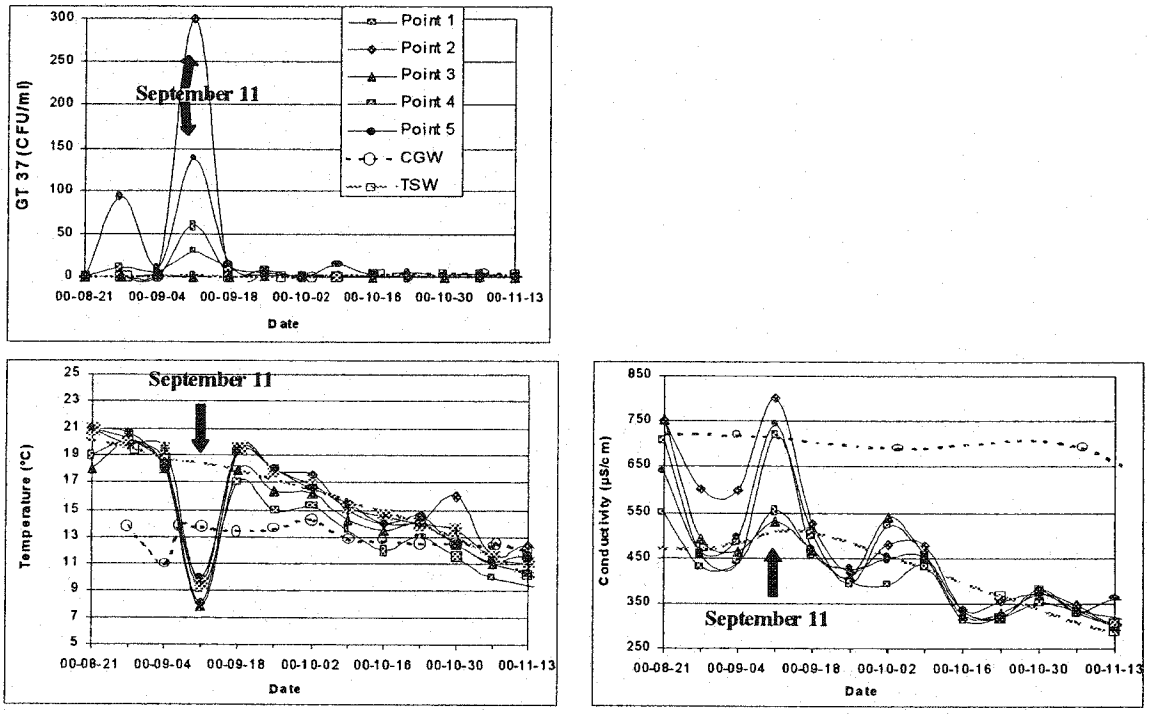


Figure 4.11. Échantillonnages hebdomadaires des paramètres qualité sur les points d'échantillonnage 1, 2, 3, 4 et 5 entre août et octobre 2000.

4.1.3.3 Le 2 octobre 2000 : apparition de BHAA 22°C aux points 2 et 3

Le 2 octobre 2000, 168 UFC /mL et 280UFC/mL de BHAA 22°C ont été détectés aux points d'échantillonnage 2 et 3 respectivement, ce qui représente d'importantes variations de qualité en ces points.

Suite aux changements majeurs de type d'eau distribuée au début septembre 2000 (voir section 4.1.3.2), la qualité de l'eau dans la Zone Basse est revenue à la normale mi-septembre (6 UFC /mL de BHAA 22 °C au point 2 et 0 au point 3 le 18 septembre 2000). L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence quelques travaux qui ont eu lieu non loin des points 2 et 3 au cours du mois de septembre : une conduite de diamètre 160mm a été fermée puis ré-ouverte 3 fois (les 13, 21 et 25 septembre), suite à des travaux de réhabilitation effectués fin août rue de Geôle (Figure 4.6).

Un autre événement particulièrement important a été trouvé dans le fichier « Événements spéciaux » : le 28 septembre 2000, un bris de Cône INOX (vanne permettant de réguler le débit) situé sur la conduite principale de 500mm en entrée de la zone basse a été enregistré, menant ainsi à la fermeture de la source d'alimentation en eau de surface. Durant cette période, la zone a été alimentée à nouveau via le réservoir Moulin au Roy par l'eau provenant du réservoir St Gabriel (comme le 11 septembre 2000, voir section 4.1.3.2). Cela est confirmé par l'examen des paramètres qualité échantillonnés sur la zone basse où un pic de conductivité est enregistré le 2 octobre 2000, tel qu'illustré à la Figure 4.11. Il est probable que l'eau échantillonnée aux points 2 et 3 le 2 octobre 2000 provienne principalement du réservoir St Gabriel, qui est une eau souterraine caractérisée par une plus forte conductivité.

Notons que dans les cas d'alimentation de la Zone Basse par le réservoir de St Gabriel (soit le 11 septembre et le 2 octobre 2000), le nombre de BHAA 22°C semble augmenter avec la conductivité de l'eau (Figure 4.12), ce qui n'est pas observé pour les autres échantillonnages effectués durant cette période de l'année. Cela pourrait indiquer que l'eau introduite depuis le réservoir St Gabriel a été contaminée par des bactéries cultivables durant son transit dans les réservoirs ou conduites. Cela peut être du à des remises en suspension suite à des perturbations hydrauliques ou bien à des phénomènes de recroissance bactérienne. Les échantillonnages mensuels de BHAA au réservoir St

Gabriel durant cette même période ont donné des concentrations inférieures à 2 UFC/mL, indiquant que de telles contaminations interviendraient en aval de ce réservoir.

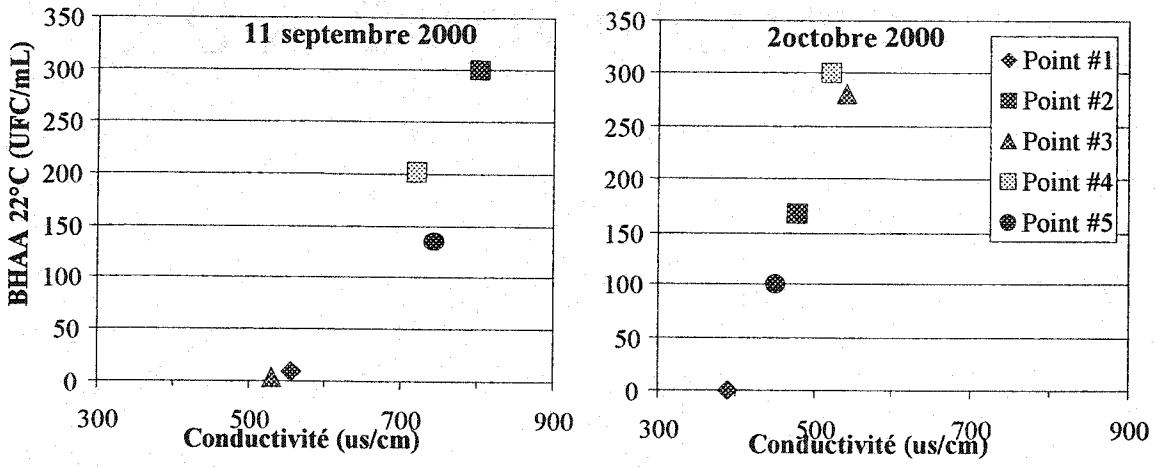


Figure 4.12 Corrélations entre conductivité et BHAA 22°C le 11septembre 2000 et le 2 octobre 2000.

En conclusion, le changement de type d'alimentation de la zone est une cause considérée comme très probable pour cet événement de BHAA 22°C, même si l'hypothèse des réparations et fermetures de conduite exposée précédemment ne peut pas être totalement rejetée.

4.1.3.4 Conclusion sur les événements de bactéries cultivables

Au cours de cette étude, 24 événements de bactéries cultivables ont été étudiés. Certains étaient associés à des événements coliformes tandis que 7 cas (5 le 11 septembre 2000, 2 le 2 octobre 2000) ont pu être expliqués par des changements de type d'alimentation de la zone, et ce avec une très forte probabilité.

L'analyse systématique des événements BHAA (particulièrement les BHAA 22°C) à l'aide de l'approche intégrée semble plus complexe du fait (a) des interférences potentielles avec la recroissance bactérienne et (b) du fait que certains points d'échantillonnage (dont celui du réservoir Moulin au Roy) ont des bruits de fond élevés.

Ainsi, dans l'étude des événements BHAA, il est parfois difficile de distinguer les concentrations normales et anormales de BHAA, contrairement à l'étude des événements coliformes. L'augmentation récente des niveaux de désinfectants dans les réseaux de distribution français (à la suite du 11 septembre 2001) devrait diminuer le nombre de bactéries cultivables dans les échantillons d'eau potable et faciliter ainsi le repérage des augmentations de concentrations de BHAA reliées à des événements majeurs.

4.2 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Caen

Sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, 31 plaintes d'aspect ont été analysées à l'aide de l'approche intégrée. Les plaintes étudiées sont présentées à la section 3.3.1.3 et détaillées au tableau A1 de l'Annexe A.

4.2.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Caen

La matrice résultant de l'étude des plaintes d'aspect de la ville de Caen (Tableau 4.5) diffère légèrement de celles résultant de l'étude des événements coliformes et BHAA. En effet, deux colonnes correspondant aux caractéristiques des conduites associées aux plaintes ('diamètre de conduite' et 'cul de sac') ont été ajoutées dans le but de pouvoir caractériser les conduites associées aux plaintes d'aspect. Par ailleurs, le reste des colonnes de la matrice a été réorganisé afin que les interventions relatives à la maintenance régulière du réseau soient juxtaposées. Cela facilite le décompte des pondérations très probables affectées à ce type de données lors de l'analyse des types de données ayant permis d'expliquer des plaintes de manière très probable (section4.2.5).

Tableau 4.5. Matrice des résultats de l'investigation des plaintes d'aspect de la Zone Basse de la ville de Caen

		Conduites								Maintenance régulière					
Date	Nature de la plainte	Cul de sac	Diamètre conduite (mm)	Variation de turbidité de la source d'alimentation	Evénements spéciaux	Changement de type d'alimentation	Nettoyage de réservoir	Tests de BF à haut débit	Remplacement/réhabilitation de conduite	Réparation/installation de vanne	Réparation de conduite	Réparation/installation de branchement	Réparation de BF	Avis de coupure d'eau	Appels relatifs à l'état du réseau
30-janv-98	PROBLEME ASPECT		250		ND				2					ND	
09-mars-98	ASPECT COULEUR		80		ND									ND	
26-mars-98	ASPECT COULEUR	oui	100		ND									ND	2
06-avr-98	ASPECT COULEUR		100		ND							0,5		ND	0,5
11-mai-98	ASPECT COULEUR		80		ND	1								ND	
12-mai-98	ASPECT COULEUR		100		ND	1						2		ND	2,5
27-mai-98	ASPECT COULEUR		110		ND	0,5					4	1,5		ND	
05-juin-98	ASPECT COULEUR		150		ND							1		ND	
05-juin-98	ASPECT COULEUR		80		ND							1		ND	
08-juin-98	ASPECT COULEUR		150		ND							1		ND	
01-oct-98	ASPECT COULEUR		80		ND		2				1			ND	0,5
29-avr-99	PROBLEME ASPECT		80		ND						0,5			ND	3
23-juin-99	ASPECT COULEUR		150		ND										1
24-juin-99	ASPECT COULEUR		80		ND					2	1		1	2	
07-juil-99	ASPECT COULEUR		50		ND								0,5		3
16-août-99	ASPECT SABLE	oui	100		ND							2		2	2,5
26-août-99	ASPECT COULEUR		80		ND							2			1,5
22-sept-99	ASPECT COULEUR		100		ND		1							2,5	
04-oct-99	ASPECT COULEUR		63		ND		0,5		4		2	1		3	
16-Fev-00	ASPECT COULEUR		80									1			
03-juin-00	ASPECT COULEUR		100												1
08-juin-00	ASPECT COULEUR		100						1,5		2				
03-août-00	ASPECT COULEUR		80												1
11-sept-00	PROBLEME ASPECT		150		1,5		2								
24-oct-00	ASPECT BULLES		60		0,5			3							
24-oct-00	ASPECT COULEUR		60		0,5			3						0,5	
12-juin-01	ASPECT COULEUR		60		2		2							2,5	2,5
29-sept-99	ASPECT SABLE		60			0,5	0,5								2,5
29-sept-99	ASPECT COULEUR		100			0,5	0,5								
29-sept-99	ASPECT COULEUR		150			0,5	0,5							4	4
29-sept-99	ASPECT COULEUR		163			0,5	0,5								

: Peu probable ND : Non Disponible
: Possible
: Très probable

4.2.2 Efficacité de l'approche intégrée

L'efficacité de l'approche intégrée s'exprime en terme de proportions des plaintes expliquées de manière très probable, possible ou peu probable. Même si 31 plaintes d'aspect ont été étudiées pour la zone basse de la ville de Caen, seulement 27 sont prises en compte dans les statistiques. En effet, parmi les 31 plaintes analysées, 4 ont lieu le 29 septembre 1999. Or à cette date, un pic d'appels de consommateurs a été enregistré sur l'ensemble de la ville de Caen, tel que précédemment décrit lors de l'étude de l'événement coliforme du 5 octobre 1999 (section 4.1.2.3). Il est possible que ce pic d'appels reflète un événement majeur ayant eut une influence sur l'ensemble du réseau de distribution de la ville de Caen. Cependant, cet événement reste inconnu. Par conséquent, les 4 plaintes d'aspect du 29 septembre 1999 ayant lieu sur la zone basse du réseau ne sont pas prises en compte dans les statistiques.

Sur les 27 plaintes d'aspect considérées, 7 ont été expliquées de façon très probable, 10 de façon possible, et 10 de façon peu probable. Par conséquent, presque 2 tiers des cas ont pu être expliqués de manière possible ou très probable. Ces proportions sont illustrées à la Figure 4.13.

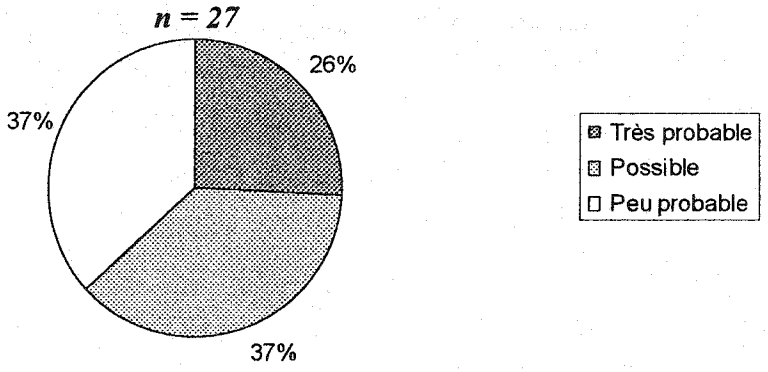


Figure 4.13. Proportion des plaintes d'aspect de la ville de Caen expliquées de manière très probable, possible ou peu probable.

4.2.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable

Les causes à l'origine des 7 plaintes d'aspect expliquées de manière très probable sont au nombre de 5. Il s'agit des tests de BF à haut débit, des fuites détectées sur le réseau, des réhabilitations de conduites, des réparations de conduites, ainsi que des réparations de branchement, tel que détaillé au Tableau 4.6.

Tableau 4.6. Plaintes d'aspect du réseau de la Zone Basse de la ville de Caen expliquées avec une cause très probable

Date de la plainte	Type	Cause présumée	Détail de la cause	Occurence de la cause
12-mai-98	**aspect couleur**	Réparation de branchement	Le 6 mai 98 : réparation de branchement du consommateur ayant émis la plainte.	6 jours avant la plainte
27-mai-98	**aspect couleur**	Réparation de conduite	Le 26 mai 98 : réparation de conduite sur une rue parallèle	1a veille de la plainte
29-avr-99	**problème aspect**	Fuite	Le 29 avril : une fuite sur un branchement à moins de 200m (signalée par un appel de consommateur), confirmée par une réparation de branchement le 1er mai au même endroit	le jour même de la plainte
07-juil-99	**aspect couleur**	Fuite	Le 7 juillet : une fuite réseau (signalée par un appel de consommateur) à moins de 300m	le jour même de la plainte
04-oct-99	**aspect couleur**	Réhabilitation de conduite	Le 29 sept 99 : réhabilitation de la conduite relative à la plainte	5 jours avant la plainte
24-oct-00	**aspect bulles**	Test de BF	Le 24 octobre : campagne de tests de BF à haut débit dans le même secteur	le jour même de la plainte
24-oct-00	**aspect couleur**	Test de BF	Le 23 octobre : un test de BF à 150m	1a veille de la plainte

Ces cas sont illustrés à la section 4.2.4. Les proportions des plaintes expliquées de manière très probable par chacun des 5 types de causes mis en évidence sont présentées en Figure 4.14.

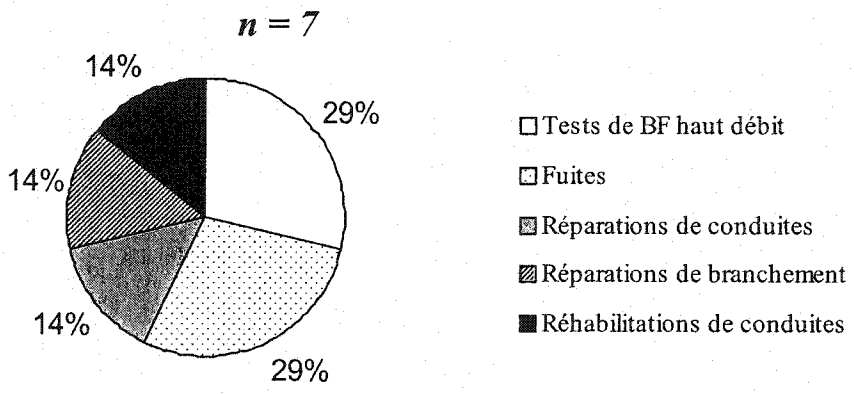


Figure 4.14. Répartition des plaintes de la ville de Caen expliquées de manière très probable par différents types de causes.

Par ailleurs, il ressort que 3 plaintes ont été expliquées par une cause datant du jour même de la plainte, 2 par une cause datant de la veille, 1 par une cause datant de 5 jours avant la plainte, et 1 par une cause datant de 6 jours avant la plainte tel qu'illustré à la Figure 4.15.

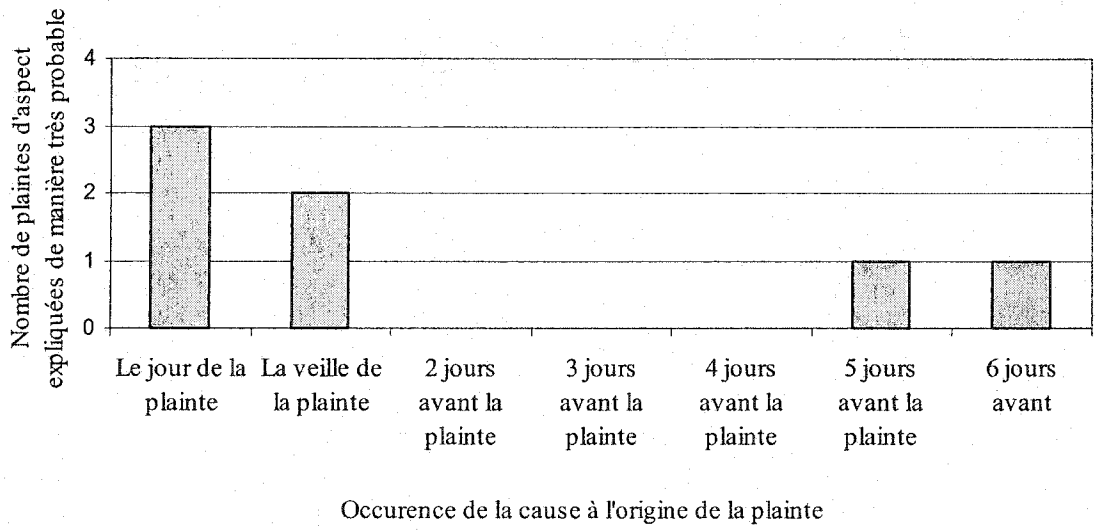


Figure 4.15. Plaintes d'aspect expliquées de manière très probable en fonction des dates de leur cause.

4.2.4 Illustration des cinq types de causes très probables mis en évidence

Les 5 causes ayant permis d'expliquer les plaintes d'aspect de manière très probable sont illustrées dans cette section. Notons que pour chacune des 7 plaintes d'aspect expliquées de manière très probable, les valeurs disponibles de turbidité en entrée de réseau (caractérisée par le point 1 de la campagne coliforme, figure 3.6.b) ainsi qu'au réservoir Guérinière (point HV M01 de l'échantillonnage de routine, voir figure 3.6.a) ne permettaient pas de conclure quant à un éventuel passage de la barrière de traitement.

4.2.4.1 Tests de bornes fontaines à haut débit (2 cas sur 7)

Le 24 octobre 2000, 2 plaintes d'aspect sont enregistrées sur la zone basse, à une distance d'environ 1km l'une de l'autre, tel qu'illustré à la Figure 4.16. La plainte A est une plainte de catégorie « aspect couleur » et la plainte B de catégorie « aspect bulles ». L'application de l'approche intégrée à l'étude de ces 2 plaintes a permis de mettre en évidence une campagne de tests de bornes fontaines (BF) à haut débit qui s'est déroulée dans le secteur de la zone ouest de la zone basse, les 23 et 24 octobre 2000 (Figure 4.16).

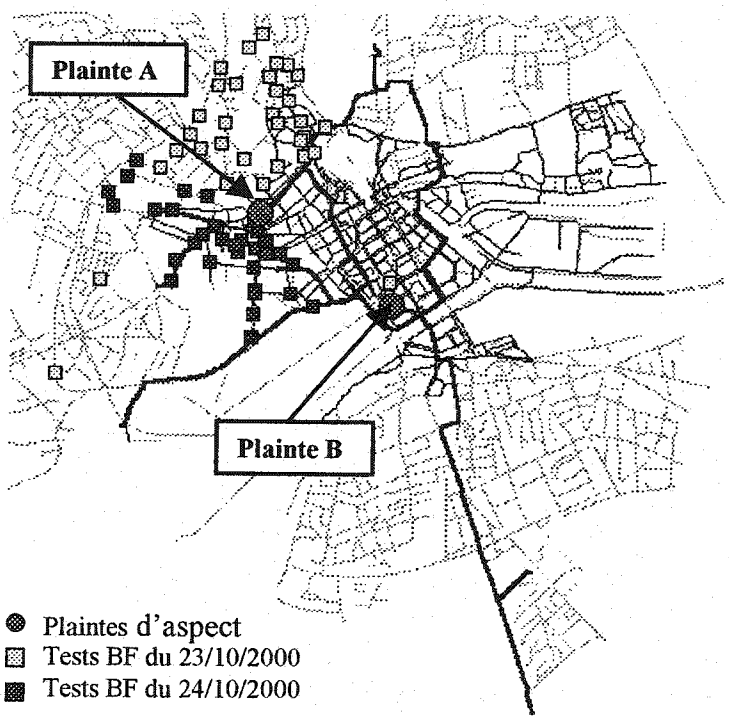


Figure 4.16. Carte des plaintes d'aspect du 24 octobre 2000 sur la Zone basse du réseau de la ville de Caen et positions des tests de BF des 23 et 24 octobre 2000.

Les débits moyens des tests de bornes fontaines des 23 et 24 octobre 2000 sont respectivement de 87 et 110 m^3/h et s'étalent de 45 à 200 m^3/h. Une analyse plus approfondie de ces deux cas permet de mieux comprendre le lien entre les tests de BF et les plaintes enregistrées (Figure 4.17a et b). Puisque les 2 plaintes sont toutes les deux situées sur des rues sous lesquelles passent 2 conduites, les conduites auxquelles elles sont associées ont été désignées selon la méthode exposée à la section 3.3.1.3. Il s'agit ici de 2 conduites de 60 mm de diamètre. On remarque pour la plainte A qu'un test de BF a été exécuté le jour même, sur une conduite de 100 mm dans un rayon de 100 m. Le débit mesuré de ce test est de 120 m^3/heure. Le modèle hydraulique permet de visualiser la vitesse modélisée de l'eau dans la conduite relative à la plainte A avant et pendant le test (on impose une consommation de 120 m^3/heure au nœud le plus proche dans Epanet), tel qu'illustré à la Figure 4.18.

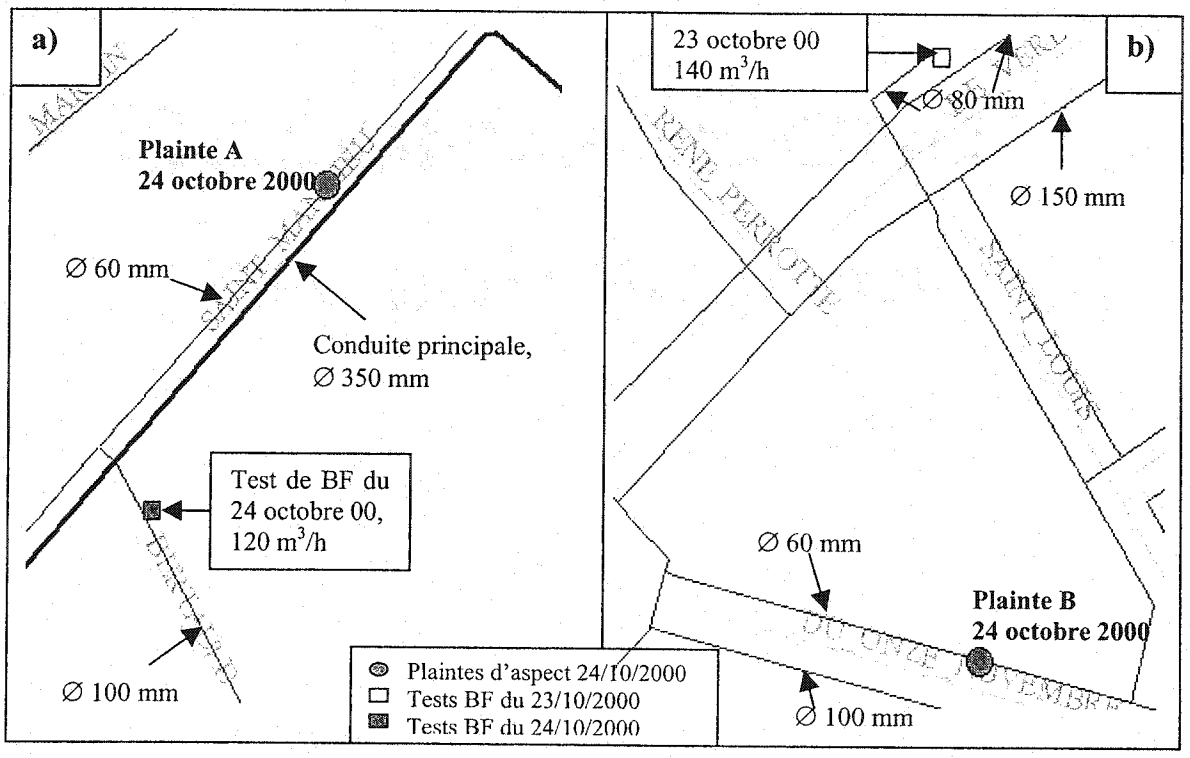


Figure 4.17. Cartes rapprochées des plaintes d'aspect du 24 octobre 2000 sur la zone basse du réseau de la ville de Caen.

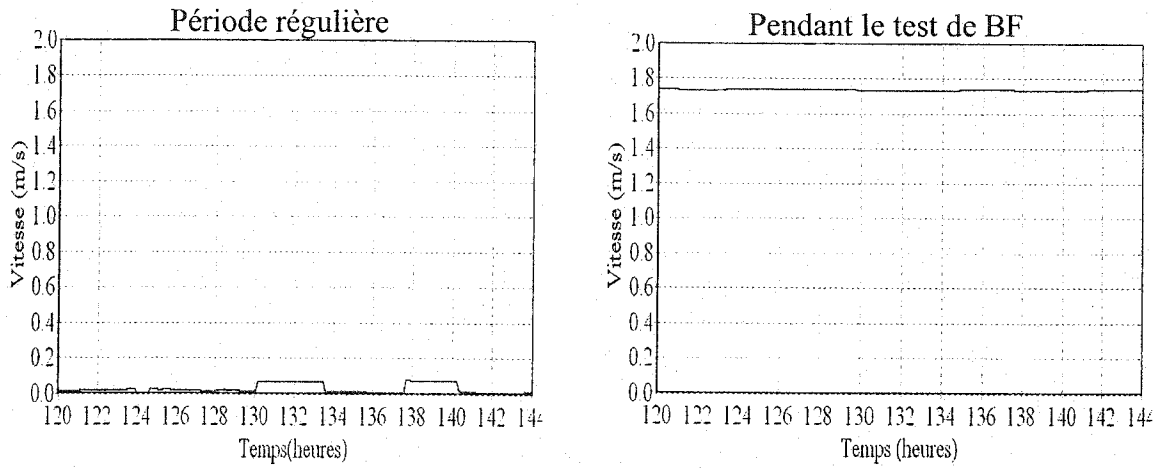


Figure 4.18. Profil de vitesse sur 48 heures dans la conduite de diamètre 60 mm sur laquelle a été enregistrée la plainte A (24 octobre 2000), d'après le modèle hydraulique, avant et pendant le test de BF.

On observe qu'en période régulière, la vitesse dans la conduite relative à la plainte A reste toujours inférieure à 0,1 m/s, tandis que pendant le test de BF effectué au débit de 120 m^3/heure, elle atteint jusqu'à 1,7 m/s. Il est donc fort probable que les perturbations hydrauliques provoquées par ce test aient impliqué des remises en suspensions de particules dans la conduite de la plainte A (voir section 2.2.5).

La même démarche a été réalisée pour la plainte B et le test de BF du 23 octobre 2000, effectué sur une conduite de 80mm de diamètre avec un débit de 140 m^3/h. En période régulière, la vitesse d'écoulement dans la conduite de la plainte B reste toujours inférieure à 0,1 m/s. Pendant le test, la vitesse augmente légèrement pour atteindre une vitesse d'environ 0,18 m/s. Ce résultat ne permet pas de conclure quant à une éventuelle remise en suspension de particules dans la conduite de la plainte B (vitesse trop faible). Cependant, il est possible que le régime hydraulique transitoire produit lors de l'ouverture ou la fermeture de la BF ait pu provoqué une remise en suspension de dépôts dans le secteur du test. Par ailleurs, quelques un des tests de BF effectués le 24 octobre dans la zone Ouest du réseau ont également été modélisés afin de déterminer s'ils pouvaient être à l'origine de la plainte B. Cependant, leur impacts sur la vitesse d'écoulement dans la conduite associée à la plainte B sont négligeables.

La cause est moins flagrante pour la plainte B que pour la plainte A, mais la très bonne corrélation spatio-temporelle entre la plainte B et le test de BF du 23 octobre permet malgré tout de classer cette cause comme très probable. Les pondérations de probabilité des tests de BF dans la matrice (Tableau 4.5) sont donc différentes pour chacune des deux plaintes, mais correspondent toutes deux à la catégorie 'très probable' (3 pour la plainte B et 5 pour la plainte A).

4.2.4.2 Fuites signalées par des appels de consommateurs (2 cas sur 7)

Deux plaintes d'aspect ont été expliquées par des fuites signalées par des appels de consommateur, le 29 avril 1999 et le 7 juillet 1999. Elles sont décrites dans cette section.

Le 29 avril 1999, une plainte du type « problème aspect » est enregistrée dans la zone basse, sur une conduite de diamètre 80 mm (Figure 4.19). L'application de l'approche intégrée a permis d'observer qu'un appel de consommateur relatant une fuite avant compteur (c'est à dire sur le réseau publique) a été émis le 29 avril 1999 dans le secteur de la plainte d'aspect (Figure 4.19). Il est très probable, du fait de la bonne concordance spatio-temporelle que la fuite repérée sur le réseau le 29 avril 1999 soit à l'origine de la plainte d'aspect enregistrée le jour même dans le même secteur. Par ailleurs, il est également ressorti de l'application de l'approche intégrée qu'une réparation de branchement a eu lieu 2 jours après l'appel relatant une fuite, le 1er mai, sur la même rue que cet appel (Figure 4.19). Cette réparation a été géocodée par centre de rue, par conséquent la position visualisée ne correspond pas nécessairement à la réalité. Il est possible, du fait de la très bonne concordance spatio-temporelle que cette réparation de branchement soit liée à l'appel pour fuite émis auparavant.

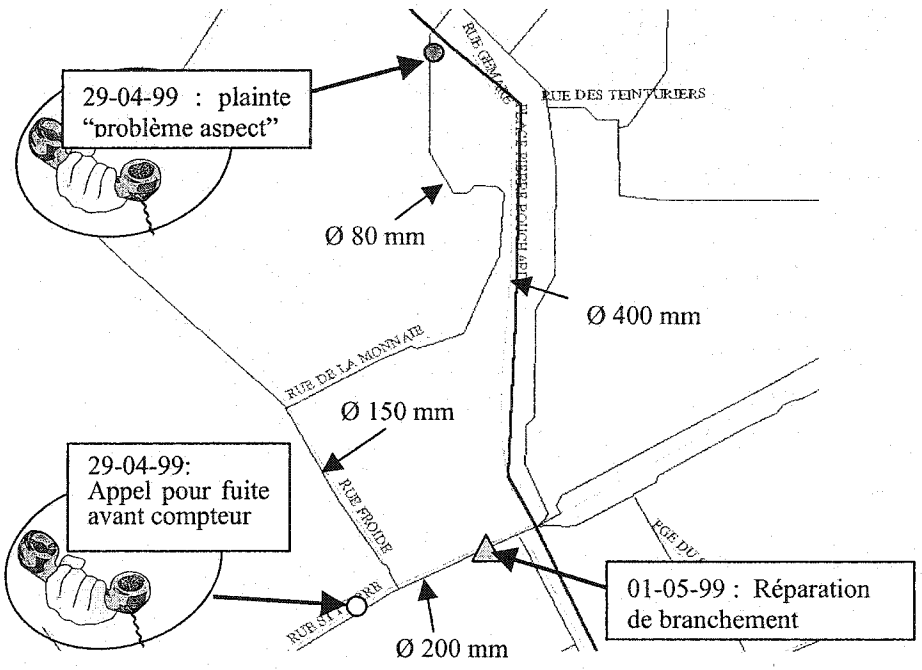


Figure 4.19. Carte de la plainte d'aspect du 29 mai 1999 enregistrée sur la Zone basse du réseau de la ville de Caen.

La deuxième plainte expliquée par une fuite sur le réseau est celle du 7 juillet 1999, plainte pour « aspect couleur » enregistrée dans le secteur nord de la zone basse (Figure 4.20). La seule intervention identifiée suite à l'application de l'approche intégrée est une réparation de borne fontaine le 25 juin 1999 (12 jours avant la plainte d'aspect), située dans un rayon de 200 m (Figure 4.20). Toutefois il est peu probable que les perturbations hydrauliques potentiellement provoquées par cette intervention aient encore un impact sur l'aspect de l'eau 12 jours après sa mise en œuvre.

Par contre, une information intéressante est ressortie du fichier d'appels de consommateurs : un appel signalant une fuite réseau a été enregistrée le même jour (le 7 juillet 1999), à 250 m de la plainte d'aspect, sur un chemin hydraulique proche. Du fait de la forte concordance spatio - temporelle entre ces deux appels, il a été considéré comme très probable que la cause de la plainte du 7 juillet 1999 soit liée à cette fuite.

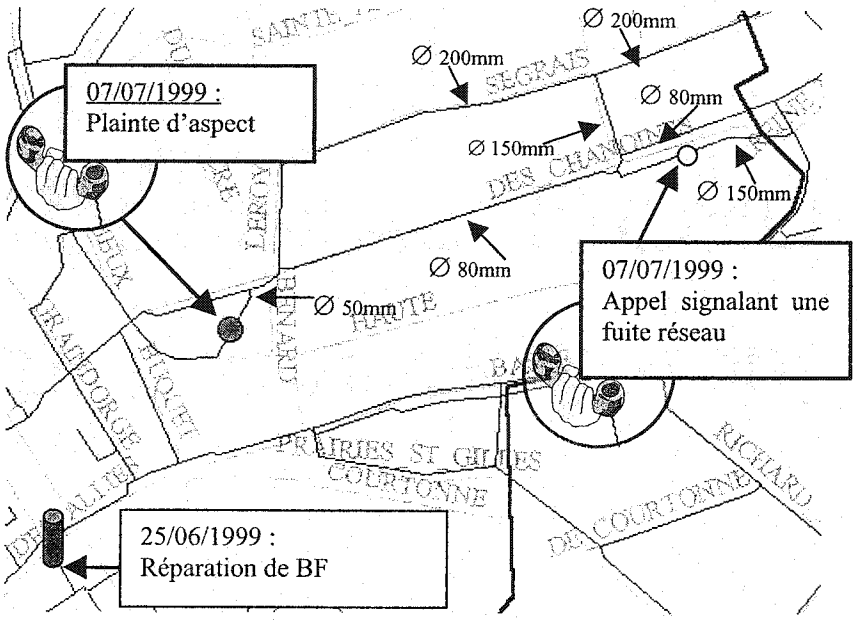


Figure 4.20. Carte de la plainte d'aspect du 7 juillet 1999 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, potentiellement expliquée par un appel de consommateur indiquant une fuite réseau.

4.2.4.3 Réhabilitation de conduite (1 cas sur 7)

Le 4 octobre 1999, une plainte pour « Aspect couleur » est enregistrée dans le centre ville de Caen, sur le réseau de la zone basse, place de la Résistance, tel qu'illustré à la Figure 4.21. Le diamètre de la conduite qui dessert ce consommateur est de 63mm.

L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence un avis de coupure d'eau ainsi qu'une réhabilitation de conduite ayant lieu place de la Résistance (lieu de la plainte) les 27 et 29 septembre respectivement, c'est à dire entre 5 et 7 jours avant la plainte (Figure 4.21). La réhabilitation de conduite consiste en un remplacement de la conduite originale par une nouvelle conduite en Polyéthylène Haute Densité (PEHD), de 63.5mm de diamètre, sur 94 m de longueur, ce qui représente pratiquement la totalité de la conduite originale (longue de 100m, selon la description disponible dans le modèle hydraulique). L'avis de coupure d'eau indique qu'une interruption du service est survenue le 27 septembre entre 14 heures et 16 heures. Il peut cependant être supposé, du fait de l'ampleur des travaux que la distribution d'eau ait été interrompue pour une

plus longue période, même si aucun autre avis de coupure d'eau n'est recensé dans la base de données.

Par ailleurs, les dates correspondant aux restaurations de conduites sont celles des tests de mise en pression, effectués avant la mise en service effective de la nouvelle conduite. Il est donc possible que cette mise en service ait eu lieu quelques jours après le 29 septembre. Ces travaux ont pu engendrer l'intrusion de matière dans le réseau ou tout simplement perturber l'hydraulique dans les conduites alentours.

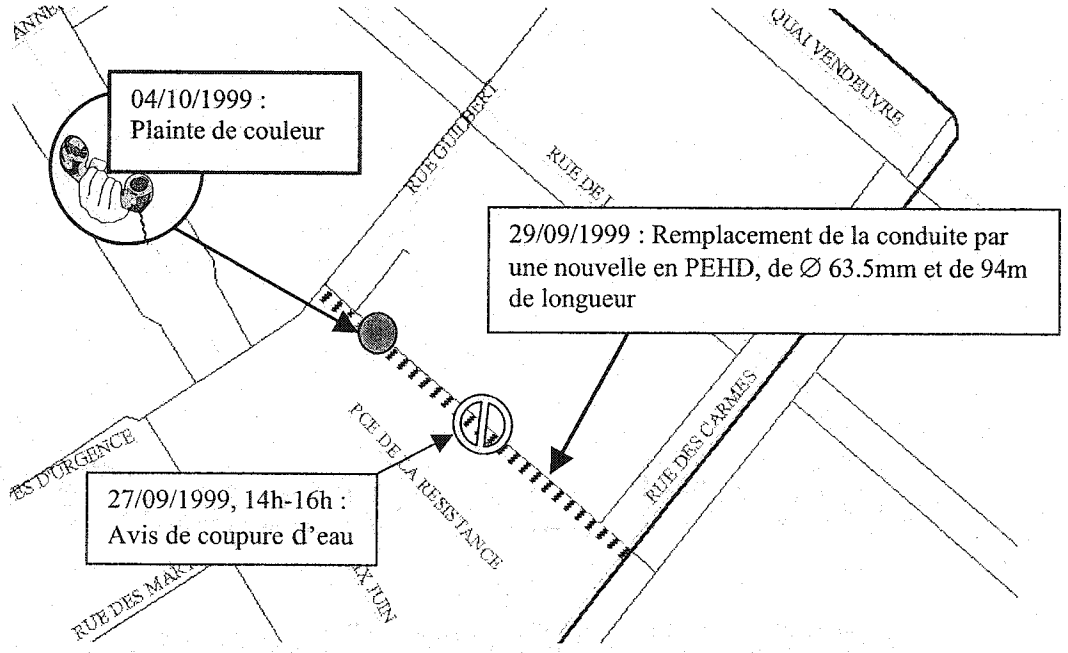


Figure 4.21. Carte de la plainte d'aspect du 4 octobre 1999 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, expliquée par une réhabilitation de conduite et confirmée par un avis de coupure d'eau.

Par conséquent, du fait de la bonne proximité spatiale et temporelle, il est très probable que la plainte d'aspect enregistrée le 4 octobre 1999 soit liée aux travaux de réhabilitation effectués sur la même conduite dans la semaine précédant la plainte.

4.2.4.4 Réparations de conduites (1 cas sur 7)

Le 27 mai 1998, une plainte pour eau colorée a été enregistrée dans le secteur ouest du réseau de la Zone Basse de la ville de Caen, rue Neuve Bourg l'Abbé sur une conduite de 110 mm (Figure 4.22).

L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence les événements suivants : une réparation de branchement le 16 mai 1998 suivi d'une réparation de conduite de diamètre 125 mm le 26 mai 1998 rue de Bretagne, sur une conduite parallèle à celle ou a été enregistrée la plainte (Figure 4.22). Il est peu probable que la réparation de branchement soit à l'origine de la plainte, puisqu'elle est intervenue plus de 10 jours avant l'appel. Par contre, il est fort probable que la réparation de conduite du 26 mai ait pu provoquer des perturbations hydrauliques susceptibles d'être à l'origine de la plainte du 27 mai.

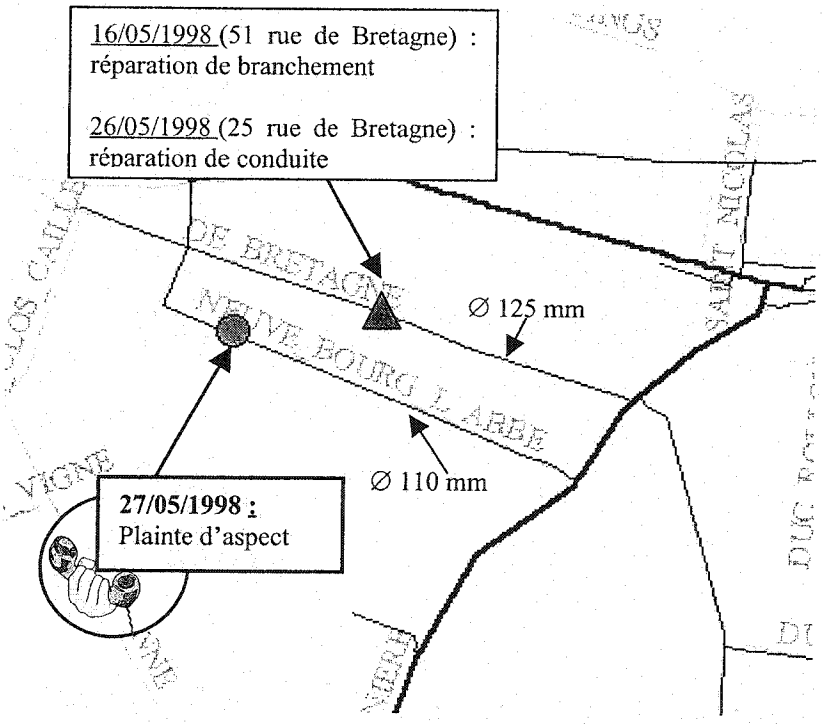


Figure 4.22. Carte de la plainte d'aspect du 27 mai 1998 sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen, expliquée par une réparation de conduite.

4.2.4.5 Réparation de branchement (1 cas sur 7)

Le 12 mai 1998, une plainte de type « aspect-couleur » est enregistrée sur la zone basse. Il est ressorti de l'application de l'approche intégrée qu'une réparation de branchement a été réalisée le 6 mai 1998 à la même adresse que la plainte émise le 12 mai 1998. Autrement dit, le branchement du consommateur ayant émis la plainte a été réparée 6 jours avant l'incident d'eau colorée. Même si quelques jours séparent ces deux événements, il est très probable que la réparation de branchement soit à l'origine de la plainte d'aspect du 12 mai 1998, du fait de leur excellente corrélation spatiale.

4.2.5 Analyse des types de données ayant permis l'identification des causes très probables

Pour chacun des types de données géocodées utilisées dans l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Caen, les densités spatio-temporelles exprimées en terme de nombre de données/an/10 km de conduite ont été calculées selon la méthode décrite à la section 3.3.4, et sont présentées au Tableau 4.7.

Tableau 4.7. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'A.I à la Zone Basse de la ville de Caen.

	Données situées sur le réseau de la Zone Basse *(80 km de conduites)*	**Durée de la période disponible** *(mois)*	**Densité spatio-temporelle** *(/an/10 km de conduite)*
Avis de coupure d'eau	175	29	9
Maintenance régulière	370	57	10
Appels de consommateurs	656	55	18

Les données de remplacements/réhabilitations de conduites et de tests de BF n'ont pas été considérées ici puisque leur distribution temporelle au cours de la période disponible n'est pas homogène (aucun test de BF en 1999 et 2001 sur la zone basse ; aucun remplacement ou réhabilitation de conduite en 1998, 5 en 1999, 22 en 2000 et 44 en 2001). Par ailleurs, les nettoyages de réservoirs n'ont pas été pris en compte puisque les

positions de ces événements sont fixes (positions des réservoirs). Il est alors intéressant de comparer pour chacun de ces types de données leur densité spatio-temporelle avec le nombre de pondérations 'très probables' qui leurs ont été affectées (comptée selon la méthode expliquée en section 3.3.4). Ces comparaisons sont illustrées à la Figure 4.23.

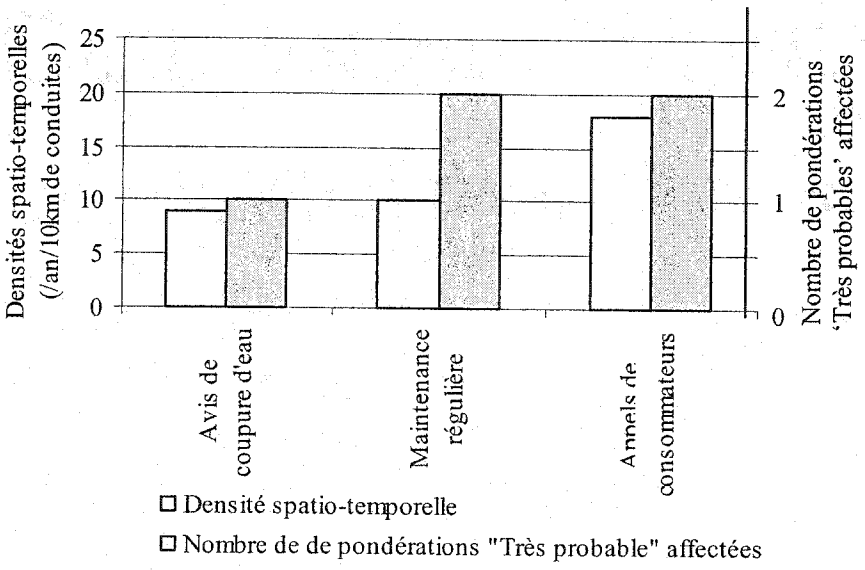


Figure 4.23. Nombre de pondérations très probables attribuées à chaque type de données géocodées utilisées lors de l'application de l'A.I à Caen et densités spatio-temporelles respectives.

Notons que les données d'avis de coupure d'eau ne sont disponibles que pour la période de mai 1999 à septembre 2001, donc aucune pondération très probable n'a pu leur être affectée lors de l'analyse des plaintes enregistrées entre janvier 1998 et avril 1999 inclus (notées Non Disponibles dans la matrice, Tableau 4.5).

Les données de maintenance régulière et d'appels de consommateurs contenaient chacune 2 causes pondérées comme 'très probables' lors de l'application de l'approche intégrée. Or leur densité spatio-temporelle respective est de 10 et 18 éléments /an/10km de conduite.

4.2.6 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux tests de bornes fontaines à haut débit.

Les risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux tests de bornes fontaines (BF) à haut débit ont été évalués en suivant la procédure expliquée en section 3.4.2.
Le Tableau 4.8 présente les campagnes de tests de BF effectuées à Caen ainsi que les plaintes d'aspect jugées comme très probablement liées aux tests de BF effectués (selon la méthode expliquée à la section 3.4.2).

Tableau 4.8. Campagnes de tests de BF à haut débit, effectuées sur la zone basse de la ville de Caen et plaintes d'aspect associées.

	Ensemble de la ville de Caen		Zone Basse de la ville de Caen	
Campagnes de tests de BF	**Nombre de tests effectués**	**Plaintes d'aspect liées**	**Nombre de tests effectués**	**Plaintes d'aspect liées**
Décembre 1997	176	2	52	0
Avril 1998	203	6	2	0
Novembre 1998	72	0	31	0
Juin 2000	108	0	13	0
Octobre 2000	128	2	69	2
Avril 2001	118	1	0	0
Total	805	11	167	2

Si l'on considère l'ensemble de la ville, 805 tests de BF haut débit ont été effectués et ont engendré 11 plaintes d'aspect. Soit un ratio d'environ 14 plaintes pour 1000 tests de BF. Sur la zone basse, 167 tests ont engendré 2 plaintes, soit environ 12 plaintes pour 1000 tests de BF.

4.2.7 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux avis de coupure d'eau

Entre mai 1999 et juillet 2001, 175 avis de coupure d'eau ont été enregistrés sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen. En suivant la méthode exposée à la section 3.4.2, il est ressorti que parmi ces 175 avis de coupure d'eau, 1 semble être la cause très probable d'une plainte d'aspect. Par conséquent, 175 avis de coupures d'eau ont

engendré une plainte d'aspect, soit un risque d'apparition de plaintes d'aspect liées à des coupures d'eau d'environ 6 pour 1000.

4.3 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham

Sur le réseau de la ville d'Egham, 17 plaintes d'aspect ont été enregistrées entre janvier 1998 et décembre 1999 (section 3.3.1.3 et Tableau A2 de l'Annexe A). Chacune de ces plaintes a été analysée à l'aide de l'approche intégrée.

4.3.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham

Les résultats de l'application de l'approche intégrée aux 17 plaintes d'aspect étudiées sont synthétisés dans la matrice illustrée au Tableau 4.9. Dans cette matrice, les types de données de 'Maintenance régulière significatives' et de 'Conduites' sont détaillés selon les informations suivantes (Tableau 4.9) :

- *conduites* : colonnes 'matériau', 'année de mise en service', 'diamètre' et 'cul de sac'.
- *maintenance régulière significative* : colonnes 'Installation /remplacement / réhabilitations conduites', 'réparation de conduites', 'travaux sur vanne' et 'travaux sur BF'.

Lors de la visualisation des 17 plaintes d'aspect étudiées, il est ressorti que les 2 plaintes du 12 et 14 mars 1998 ont été émises par le même consommateur, et que les 5 plaintes des 15, 16, 17 et 18 novembre 1999 sont situées sur la même rue. Par conséquent, les plaintes étudiées à Egham ne sont pas toutes statistiquement indépendantes les unes des autres.

Tableau 4.9. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville d'Egham.

			Conduites							Maintenance régulière 'significative'					
Date	Type de plainte	Détails supplémentaires	Matériau de conduite	Année de mise en service	Diamètre de conduite (mm)	Cul de sac	Turbidité eau sortie d'usine	Pluviosité	Échantillonnages suite à bris de conduite	Installation/rempl./réhab. de conduites	Réparation de conduite	Travaux sur vanne	Travaux sur BF	Maintenance régulière 'autre'	Plaintes potentiellement indicatrices
98-03-12	eau blanche	explication bris	FG	1967	100	oui	0.5		4		4				4
98-03-14	eau blanche	idem plainte 12 mars	FG	1967	100	oui	0.5		4		4				4
98-04-14	eau sale/colorée		FG	1952	75									0,5	0,5
98-07-18	eau sale/colorée		FG	1965	75	oui								1,5	1,5
98-07-19	eau sale/colorée		FG	1952	75										1
98-08-08	eau sale/colorée	test de BF pompiers	FG	1952	100	oui									
98-08-09	eau sale/colorée		PVC	1965	100	oui									
99-03-17	faible pression	faible press./couleur	FG	1952	75				0,5		1			1	1
99-04-20	qualité générale	eau inbuvable	FG	1952	175						1			0,5	
99-09-24	qualité générale	eau jaune	FG	1952	100			2							1,5
99-10-19	eau sale		FG	1952	75						1	0,5		2,5	
99-11-15	eau sale/colorée	explication bris	FG	1952	75				4			3			3
99-11-16	eau blanche		FG	1952	75				4			3			3
99-11-17	eau blanche		FG	1952	75				4			3			3
99-11-17	eau blanche		FG	1952	75				4			3			3
99-11-18	eau blanche		FG	1952	75				4			3			3
99-12-13	Information/conseil	Lessive tachée	FG	1967	125										

	Très probable
	Possible
	Peu probable

FG : Fonte Grise

PVC: Poly Chlorure de Vinyle

4.3.2 Efficacité de l'approche intégrée

Sur les 17 plaintes d'aspect étudiées, 10 ont pu être expliquées avec une cause très probable (59%), 2 avec une cause possible (12%), et 5 n'ont pas pu être expliquées (29%) à l'aide de l'approche intégrée, tel qu'illustré à la Figure 4.24.

Cependant, comme il a été signalé en section 4.3.1, les plaintes d'aspect étudiées à Egham ne sont pas indépendantes les unes des autres. Ainsi, les plaintes du 12 et 14 mars 1998 (émises par un même consommateur) ont été expliquées de manière très probable par une même réparation de conduite (section 4.3.4.1) et les 5 plaintes enregistrées entre le 15 et le 18 novembre 1999 ont également été expliquées de manière très probable par des travaux effectués sur des vannes (section 4.3.4.2).

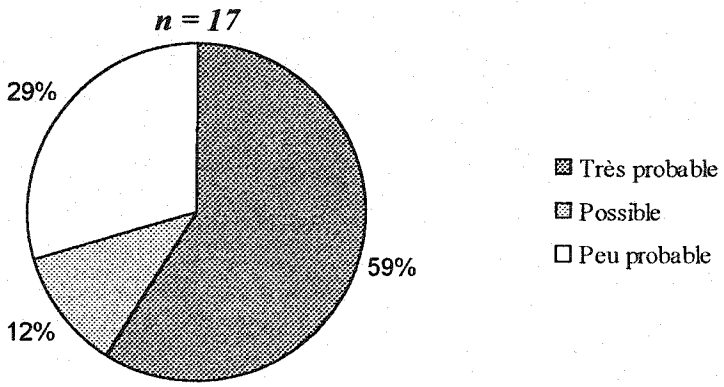


Figure 4.24. Proportion des plaintes d'aspect de la ville d'Egham expliquées de manière très probable, possible ou peu probable.

4.3.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable

Les causes ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable à Egham sont au nombre de trois, soit les réparations de bris de conduite, les travaux effectués sur des vannes et les augmentations présumées de consommation (Tableau 4.10). La répartition des plaintes expliquées de manière très probable selon ces différentes causes n'a pas été établie ici, du fait que les 17 plaintes d'aspect étudiées ne sont pas toutes indépendantes les unes des autres (voir section 4.3.1).

Tableau 4.10. Causes ayant permis d'expliquer de manière très probable 10 plaintes d'aspect à Egham, et dates des plaintes correspondantes

Cause	Plaintes d'aspect expliquées
Réparation de bris	12 et 14 mars 1998 (même consommateur)
Travaux effectués sur des vannes	15, 16, 17 et 18 novembre 1999 (sur la même rue)
Augmentations présumées de consommation	18 juillet, 8 et 9 août 1998

4.3.4 Illustration des trois types de causes très probables mis en évidence

Les trois types de causes suspectées être à l'origine des 10 plaintes expliquées de manière très probable sont détaillées dans les sections suivantes.

4.3.4.1 Réparation de conduite : les plaintes du 12 et 14 mars 1998

Les 12 et 14 mars 1998, deux plaintes pour 'eau blanche' ont été émises par le même consommateur. Les données d'appels de consommateurs indiquent que les services de la ville ont expliqué cette plainte par un bris de conduite (Tableau A2 de l'Annexe A).
Les valeurs de turbidité mesurées en sortie d'usine montrent une augmentation au début du mois de mars, le 11 mars elle est de 0,38 UTN, valeur supérieur à celles généralement observées (Figure 4.25). Le 12 mars la turbidité est de 0,3 UTN. Cependant, il est peu probable que cette augmentation de turbidité soit à l'origine des plaintes du 12 et du 14 mars 1998, du fait de la faible amplitude des valeurs observées.

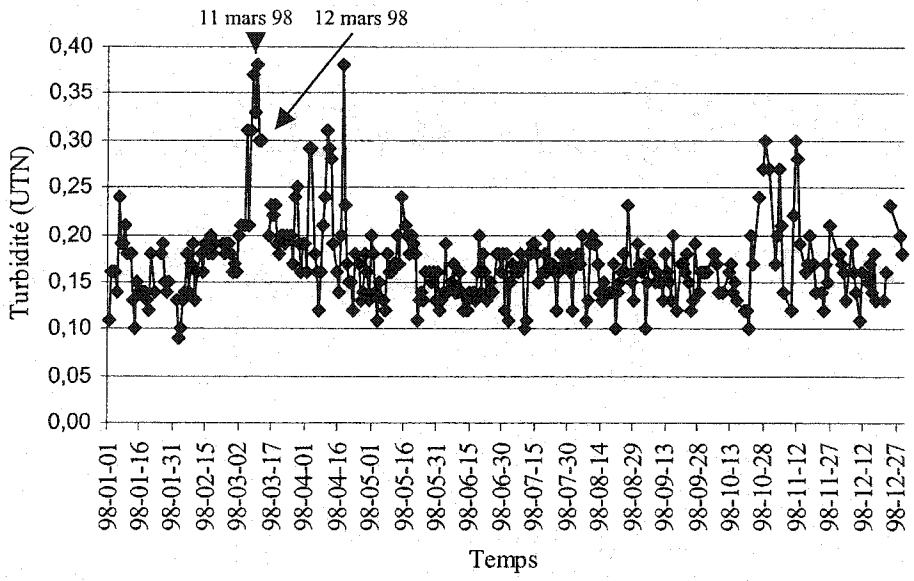


Figure 4.25. Mesures de turbidité en sortie de l'usine alimentant le réseau d'Egham au cours de l'année 1998.

L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence la réparation d'un bris d'une conduite de 5 pouces (110mm), ayant débuté le 10 et qui s'est achevée le 11 mars 1998 rue Winkfield Row (perpendiculaire à celle de la plainte), dans le même secteur que les plaintes d'aspect (Figure 4.26). Cette réparation est confirmée par un échantillonnage suite au bris de conduite le 10 mars 1998, au même endroit.

Par ailleurs, de nombreux appels de consommateurs ont été enregistrés sur la rue Winkfield Row les 10 et 11 mars 1998 :

- le 10 mars : un appel signalant une fuite, un appel rapportant des bruits provenant du réseau et 5 appels pour manque d'eau.
- Le 11 mars : un appel pour manque d'eau.

Le détail de ces appels, disponible dans la base de donnée, précise qu'il a été répondu à tous ces appels que des travaux étaient en cours sur la rue Winkfield Row.

Ainsi, les travaux de réparation du bris de conduite ont interrompu la distribution d'eau rue Winkfield Row les 10 et 11 mars, et donc aussi rue Grove Lane (où ont été enregistrées les plaintes d'aspect (Figure 4.26).

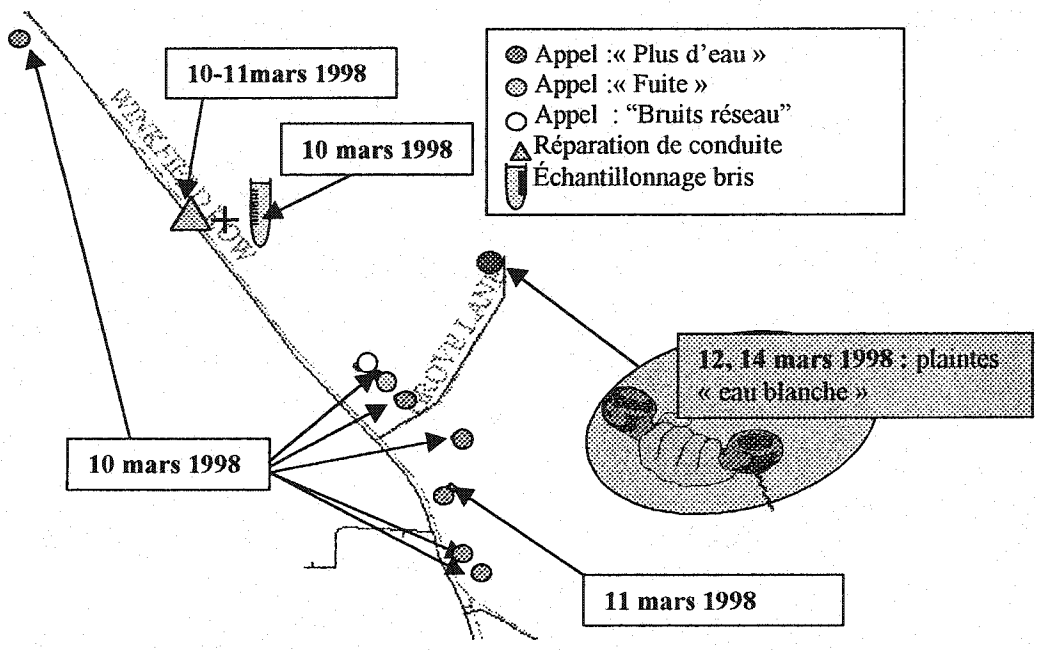


Figure 4.26. Carte des plaintes d'aspect des 12 et 14 mars 1998 sur le réseau d'Egham, expliquées de manière très probable par une réparation de bris de conduite.

La forte corrélation spatio-temporelle entre ces travaux de réparation de conduite et les deux plaintes d'aspect du 12 et 14 mars 1998 semble indiquer que le lien de causalité entre ces deux événements est très probable.

Notons que les plaintes d'aspect du 12 et 14 mars 1998 sont classées dans la catégorie 'eau blanche', indiquant une présence de bulles d'air dans l'eau. Le 12, les services de la ville expliquent au consommateur que cela est du à la réparation de bris ayant eu lieu au cours de la semaine précédente. Le 14, le même consommateur rappelle pour la même raison, et les services de la ville proposent une visite chez le consommateur. Les informations relative à cette visite ne sont pas disponibles dans la base de données.

4.3.4.2 Travaux effectués sur des vannes : les 5 plaintes du 15 au 18 novembre 1999

Les 15, 16, 17 et 18 novembre 1999, 5 plaintes relatives à l'aspect de l'eau ont été enregistrées rue New Road à Egham. Parmi ces 5 plaintes, deux sont émises le 17 novembre, et deux ont été émises par le même consommateur (une le 17 novembre et une le 18 (Figure 4.28). La partie du réseau où sont situées ces plaintes correspond à la nouvelle zone E23 (voir section 3.2.1.2), séparée du reste du réseau (zone E65) en juillet 1999. La plainte d'aspect du 15 novembre est de type 'eau sale, colorée'. Les autres sont référencées dans la catégorie 'eau blanche'.

Deux conduites suivent la rue New Road, l'une de diamètre 175mm l'autre de diamètre 75mm. Selon la méthode décrite en section 3.3.1.3, les plaintes ont été associées à la conduites de 75 mm (Figure 4.27). A l'aide du modèle hydraulique, on constate que la limite entre les zones E23 et E65 (hydrauliquement indépendantes) est très proche de la conduite sur laquelle sont localisées les plaintes d'aspect (Figure 4.27).

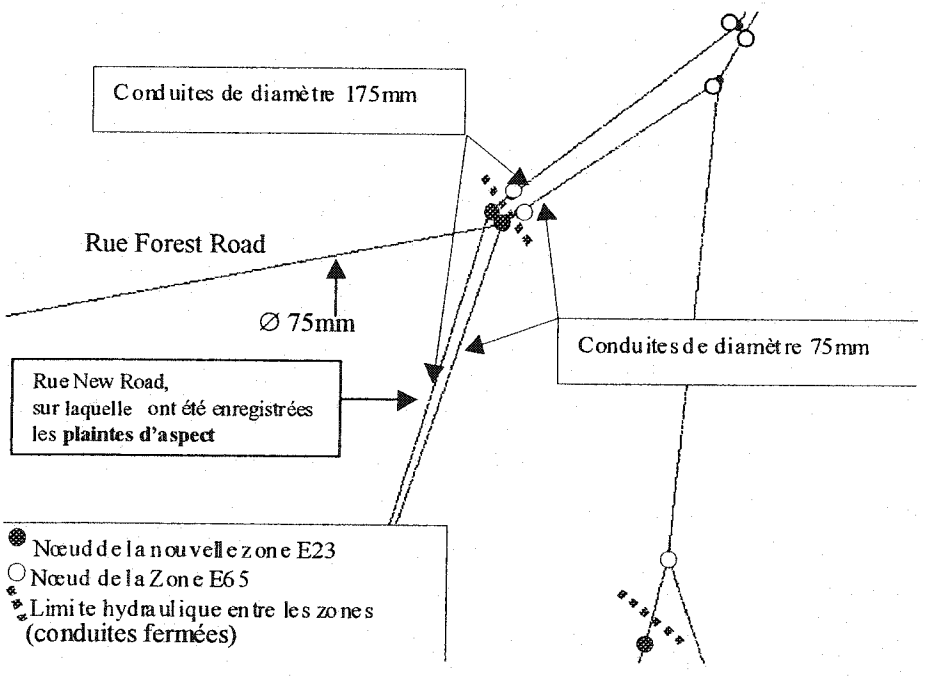


Figure 4.27. Schéma des connexions hydrauliques du réseau d'Egham au niveau des rues New Road / Forest Road, en novembre 1999.

Entre le 1er et le 18 novembre, la turbidité mesurée quotidiennement en sortie d'usine est comprise entre 0,08 et 0,19 UTN, ce qui laisse supposer que la cause de ces plaintes ne provient pas d'une déficience de la barrière de traitement.

L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence les éléments suivants (Figure 4.28):

- Dans les champs de détail des 5 plaintes d'aspect, il est fait 3 fois référence à des travaux effectués le lundi 15 novembre 1999 (« travaux effectués lundi », « notre fermeture de conduite, aujourd'hui lundi 15 », « travaux prévus lundi ») (Tableau A2 de l'Annexe A). Mais aucune trace de ces travaux n'est disponible dans les données de maintenance régulière.
- *Le 15 novembre 1999 :* un appel signalant un manque d'eau sur la rue New Road.
- *Le 16 novembre 1999 :* date de complétion de travaux effectués sur 2 vannes reliées respectivement aux conduites de diamètre 75 mm et 175 mm de la rue New Road. Il semble que ces travaux consistent plus précisément au remplacement de ces 2 vannes.
- *Le 16 novembre 1999 :* un échantillonnage a été effectué au niveau de la vanne située sur la conduite de diamètre 75 mm, et un autre a été effectué sur la rue Forest Road environ 100m à l'ouest de cette vanne.
- *Les 17 et 18 novembre :* 6 échantillonnages sont effectués sur la rue New Road (probablement sur la conduite de 75, mais cela n'est pas précisé)

Aucune intervention n'a été enregistrée dans ce secteur le 15 novembre 1999. Cependant, le fait qu'il ait été fait 3 fois référence à des travaux ayant lieu le 15 novembre dans les données d'appels de consommateurs, et qu'un appel pour manque d'eau ait également été enregistré à ce jour, il est très probable que les travaux sur les 2 vannes complétés le 16 novembre aient commencé la veille. Cela constitue une cause très probable à l'origine de la plainte pour 'eau sale' enregistrée le 15 novembre 1999.

Il est également très probable, du fait de la bonne concordance spatio-temporelle que ces travaux effectués sur les 2 vannes soient également responsables des plaintes pour 'eau blanche' enregistrées les 16, 17 et 18 novembre 1999.

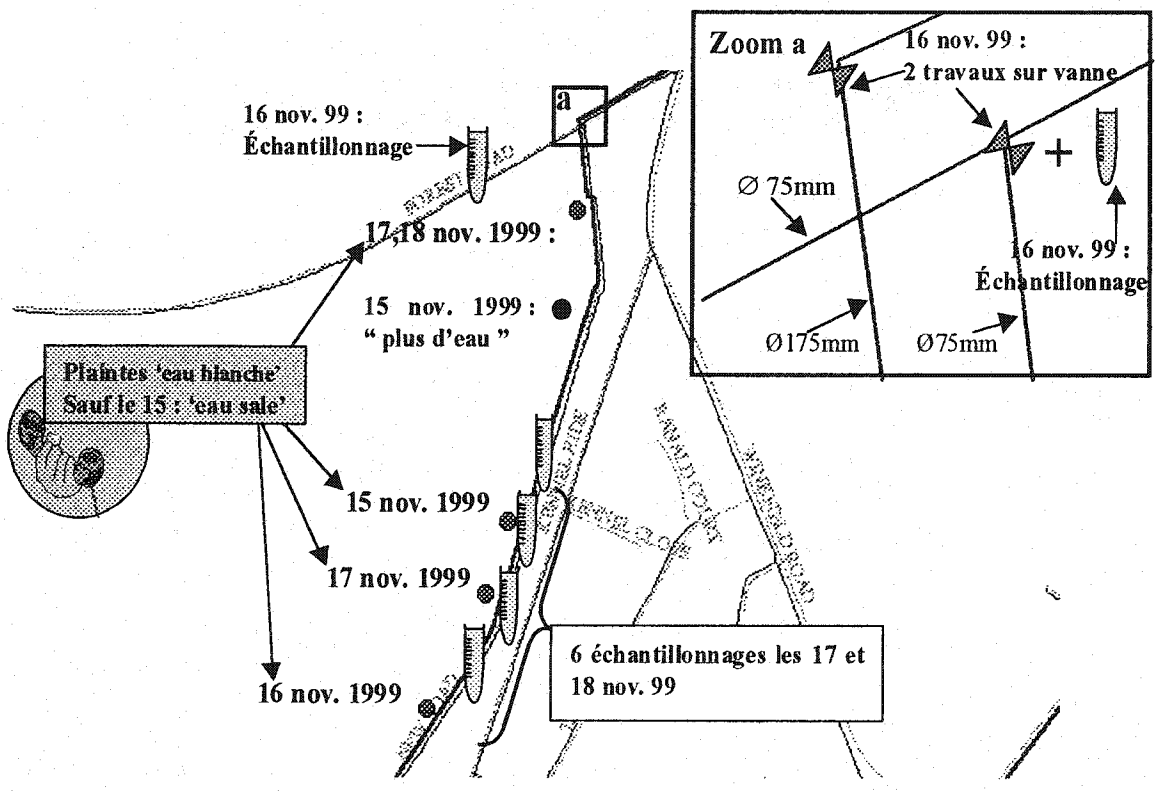


Figure 4.28. Carte des plaintes d'aspect enregistrées entre le 15 et le 18 novembre 1999 sur le réseau d'Egham.

Notons qu'il peut paraître étonnant que des phénomènes d'eau blanche (généralement attribués à un dégazage de l'eau) interviennent après des interventions. Cependant, cela a déjà été observé dans le cas des plaintes du 12 et 14 mars 1998, expliquées de manière très probable par une réparation de bris de conduite (section 4.3.4.1).

4.3.4.3 Augmentations présumées de la consommation : les 18 juillet, 8 et 9 août 1998

Ces trois plaintes d'aspect sont classées dans la catégorie 'eau sale, colorée', elles ont la particularité d'être toutes les trois situées dans des culs de sac, comme l'illustre la Figure 4.29. Aucune augmentation particulière de turbidité en sortie d'usine n'est survenue durant les mois de juillet et août 1998.

Lors de l'application de l'approche intégrée pour chacune de ces trois plaintes, aucune intervention significative n'est ressortie. Dans le détail de la plainte du 8 août 1998, il est indiqué que des tests de BF ont été effectués par les pompiers de la ville. Cependant, cette information n'a pas été retrouvée dans la base de données.

En revanche, il est intéressant de constater que ces trois plaintes ont été émises durant la période la plus chaude de l'année. L'évolution de la température de l'air dans la région d'Egham durant les années 1998 et 1999 est illustrée à la Figure 4.30. Le 18 juillet la température est de 23°C, et les 8 et 9 août elle atteint 27°C. Or au cours de l'année 1998, seulement 57 jours ont connu des températures supérieures ou égales à 23°C (15% du temps), et 10 jours des températures supérieures ou égales à 27°C (2.7 % du temps).

Il est possible que les augmentations de la température atmosphérique soient couplées avec l'augmentation de consommation dans le réseau. Toutefois ce dernier type de données n'était pas disponible pour notre étude.

Les augmentations de consommation font partie des causes pouvant être à l'origine d'apparitions de turbidité en réseaux de distribution (Harmant *et al.*, 2000). De plus, l'influence positive de la température atmosphérique sur les plaintes d'aspect a déjà été observée en réseau de distribution et attribuée à une hausse présumée de consommation dans le réseau (Prince *et al,* 2001).

Par ailleurs, les culs de sac sont des lieux particulièrement propices à l'accumulation de dépôts (voir section 2.2.5). Par conséquent, il a été jugé fort probable que les trois plaintes d'aspect présentées ici, s'expliquent par le fait qu'elles sont à la fois situées

dans des culs de sac et enregistrées lors de fortes températures atmosphériques plus élevées.

Notons qu'une autre plainte d'aspect a été enregistrée le 19 juillet 1998, jour où la température atteignait 25°C à Egham. Il est possible qu'une augmentation des consommations soit également responsable de cette plainte. Mais n'étant pas située dans un cul de sac, ce cas n'a pas été considéré comme très probable.

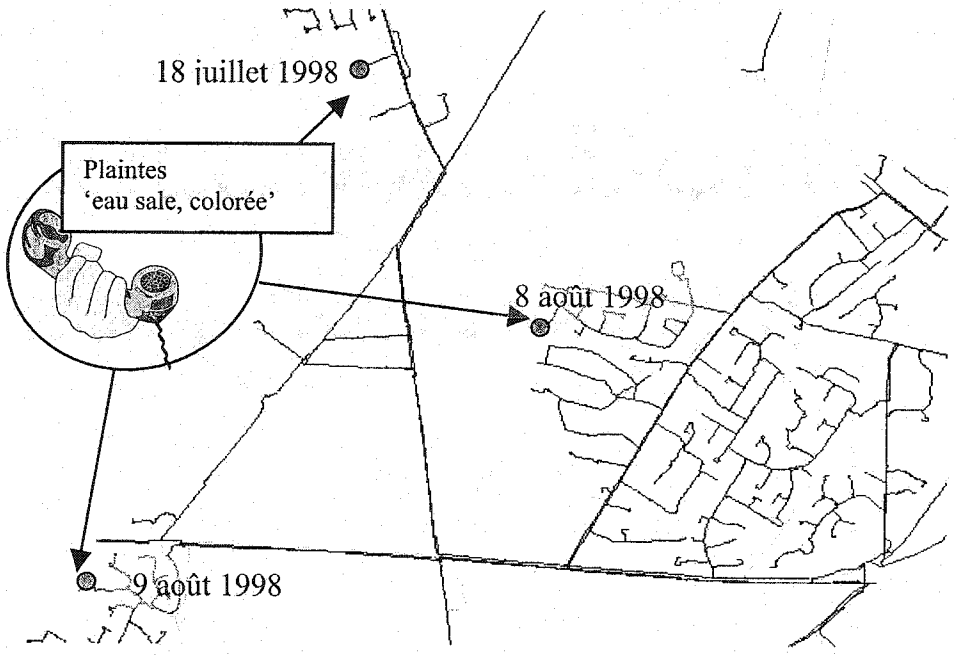


Figure 4.29. Carte des plaintes d'aspect du 18 juillet 1998, et du 8 et 9 août 1998 sur le réseau d'Egham.

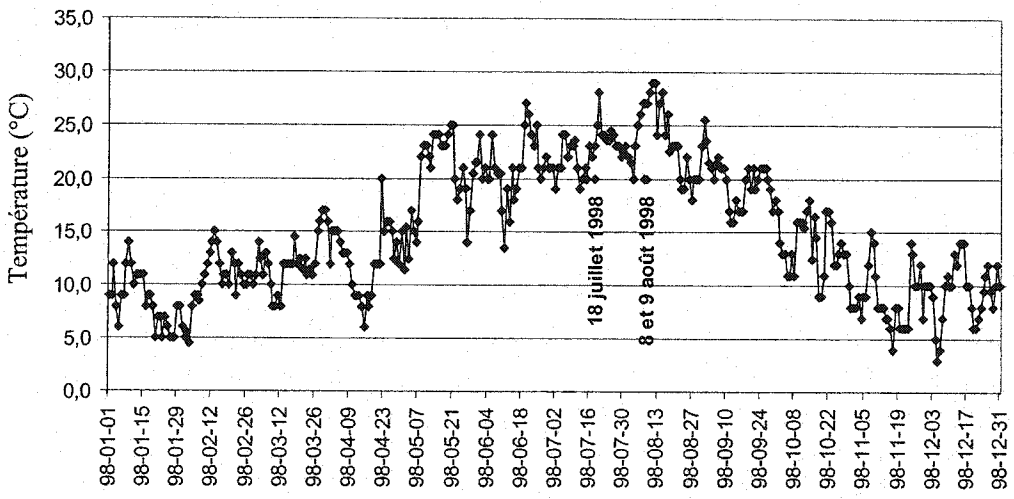


Figure 4.30. Évolution de la température atmosphérique à Egham durant l'année 1998.

4.3.5 Analyse des types de données ayant permis de retrouver les causes très probables

Afin d'affiner l'interprétation des résultats fournis par l'application de l'approche intégrée, les densités spatio-temporelles des différents types de données géocodées utilisées ont été comparées. Elles ont été calculées selon la méthode décrite à la section 3.3.4, et sont présentées au Tableau 4.11.

Tableau 4.11. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'A.I à la ville d'Egham.

Types de données	**Données situées sur le réseau de la ville d'Egham** *(115 km de conduites)*	**Durée de la période étudiée** *(mois)*	**Densités spatio-temporelle** *(/an/10km de conduite)*
Maintenance régulière 'significative'	53	24	2
Maintenance régulière 'autre'	372	24	16
Appels de consommateurs	619	24	27
Échantillonnages suite à bris	81	24	4

Tous ces fichiers, à l'exception des données de maintenance régulière 'autre', ont permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable.

Les données de maintenance régulière 'autre' n'ont permis d'expliquer aucune plainte d'aspect, malgré que leur densité spatio-temporelle soit supérieure à celles des données

de maintenance régulière 'significative'. Cela s'explique par le fait qu'elles sont relatives aux réseaux privés (section 3.2.5).

4.3.6 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect pour la ville d'Egham

Sur le réseau d'Egham, les branchements sont connectés à des conduites de diamètre inférieur ou égal à 300mm. Par conséquent, seules ces conduites sont prises en compte ici (elles représentent en totalité 90,6 km de conduites). La description des caractéristiques (diamètre, date de mise en service, type de matériau) de l'ensemble du réseau et des conduites de diamètre inférieur ou égal à 300mm sont présentées respectivement aux Tableaux B1 et B2 de l'Annexe B .

4.3.6.1 Caractéristiques des conduites relatives aux plaintes d'aspect.

Lors de l'application de l'approche intégrée, les caractéristiques des conduites relatives aux 17 plaintes d'aspect ont été notées dans la matrice (Tableau 4.9). Les nombres de plaintes d'aspect enregistrées selon les caractéristiques de diamètre, d'âge et de type de matériau des conduites sont présentés au Tableau 4.12.

Tableau 4.12. Répartition des plaintes d'aspect de la ville d'Egham en fonction des caractéristiques des conduites.

	Caractéristiques des conduites								
	Date de mise en service			**Diamètre**				**Matériau**	
	1952	**1965**	**1967**	**75**	**100**	**125**	**175**	**Fte Grise**	**plastique**
Nombre de plaintes d'aspect enregistrées	12	2	3	10	5	1	1	16	1
Proportions relatives (%)	70	12	18	59	29	6	6	94	6

On observe par exemple que 70% des plaintes d'aspect correspondent à des conduites qui ont été mises en service en 1952, que 59% sont sur des conduites de diamètre 75mm, et que 94% sont sur des conduites en fonte grise.

4.3.6.2 Influence de l'âge des conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale des conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des différentes date de mise en service des conduites du réseau d'Egham sont illustrées à la Figure 4.31.

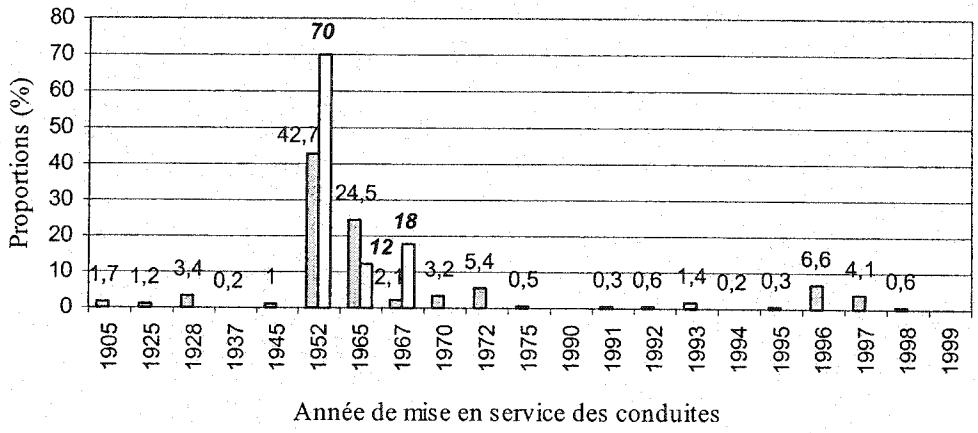


Figure 4.31. Proportions des conduites du réseau d'Egham selon leurs dates de mise en service, et proportions des plaintes d'aspect qui leurs sont associées.

On observe ainsi que 70% des plaintes d'aspect sont situées sur des conduites installées en 1952. Or les conduites datant de 1952 représentent 42,7% de la longueur totale des conduites considérées. En revanche, 12% des plaintes d'aspect sont situées sur des conduites datant de 1965, qui représentent 24,5 % de la longueur des conduites du réseau.

Les plaintes d'aspect étudiées sont situées uniquement sur des conduites mises en service en 1952, 1965 et 1967. Les densités de plaintes d'aspect pour 100 km de conduite (pour la période de l'étude) ont été calculées selon la méthode présentée en section 3.4.1 pour chacun de ces types de conduites. Elles sont illustrées à la Figure 4.32.

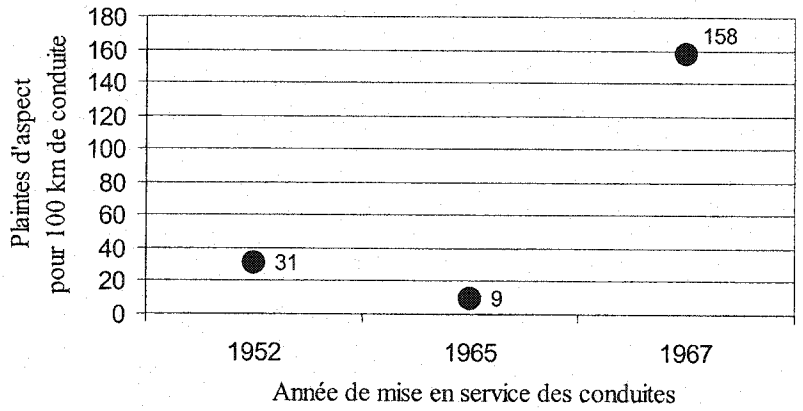


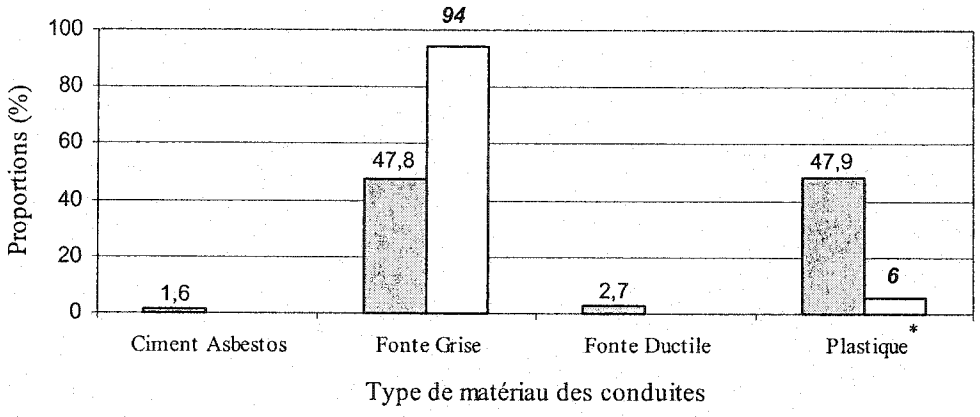
Figure 4.32. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites mises en service en 1952, 1965 et 1967 à Egham.

La densité de plaintes d'aspect des conduites considérées datant de 1967 est extrêmement élevée par rapport à celles datant de 1952 et 1965 (158 plaintes /100km de conduites contre 31 et 9 respectivement). Cela s'explique peut être par le fait que ces conduites représentent 1,9 km de longueur (contre 38,7 et 22,1 km de longueur pour celles posées en 1952 et 1965 respectivement). La fiabilité de la densité linéaire de plaintes calculées pour les conduites installées en 1967 est donc beaucoup moins bonne, du fait de l'extrapolation assez hasardeuse de 1,9 km à 100 km de conduites.

Les conduites installées en 1952 montrent une densité linéaire de plaintes 3 fois plus importante que celles posées en 1965 (respectivement 31 et 9 plaintes /100km). Il est donc possible que l'âge des conduites ait une influence sur l'apparition de plaintes d'aspect. Cependant, une recherche plus approfondie a en effet permis de mettre en évidence que les conduites installées en 1952 sont majoritairement en fonte grise (97% de leur longueur totale), tandis que pour celles installées en 1965, ce sont les conduites en plastique qui prédominent (97% de la longueur totale des conduites installées en 1965). Cela peut expliquer la différence de densité linéaire de plaintes entre ces deux types de conduites. Les conduites posées en 1967 sont quant à elles toutes en fonte grise.

4.3.6.3 Influence des matériaux de conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale de conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des matériaux de conduites sont illustrées à la Figure 4.33.



☐ Proportion de la longueur totale du réseau considéré pour chaque type de conduites
☐ Proportions des plaintes d'aspect associées aux différents types de conduites

**Plastique : comprend PVC (Poly Chlorure de Vynile), HPDE (High Peformance PolyEthylene) et MDPE (Medium Density PolyEthylene)*

Figure 4.33. Répartition des conduites du réseau d'Egham et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des types de matériaux de conduites

Les plaintes d'aspect étudiées à Egham se situent uniquement sur les conduites de fonte grise et de plastique. Il est à noter que 94% des plaintes se situent sur les conduites en fonte grise, qui constituent près de la moitié de la longueur totale des conduites considérées. Pour ce type de conduites, la densité linéaire de plaintes d'aspect est de 37 plaintes/100km de conduite, contre 2 plaintes/100km de conduites pour les conduites en plastique. Par conséquent, il semble que les conduites en fonte grise soient plus propices que les autres à l'apparition de plaintes d'aspect.

4.3.6.4 Influence du diamètre des conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale des conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des diamètres de conduites sont illustrées à la Figure 4.34.

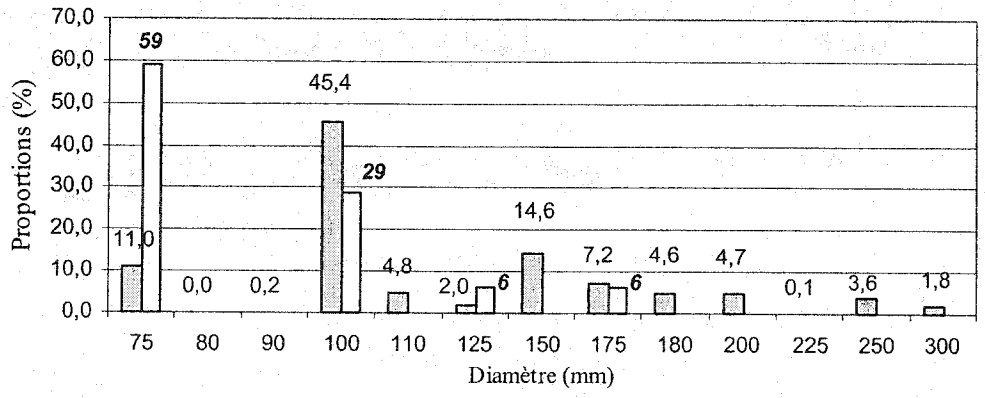


Figure 4.34. Répartition des conduites du réseau d'Egham et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des diamètres de conduites

Les plaintes d'aspect étudiées sont situées uniquement sur des conduites de diamètres 75mm, 100mm, 125mm et 175 mm. Les densités de plaintes d'aspect pour 100 km de conduite (pour la période de l'étude) pour chacun de ces types de conduites ont été calculées et sont illustrées à la Figure 4.35.

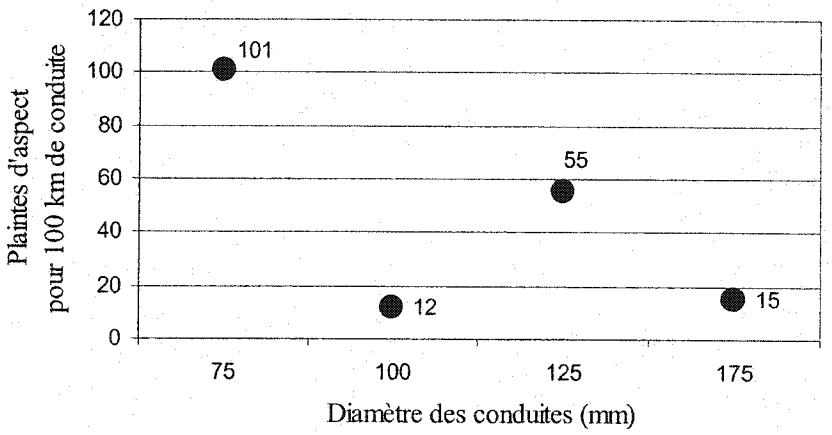


Figure 4.35. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de diamètres 75mm, 100 mm, 125 mm et 175 mm du réseau de la ville d'Egham

On observe, à l'exception des conduites de 100mm, que plus le diamètre des conduites augmente, plus les densités linéaires de plaintes d'aspect diminuent. Une recherche plus approfondie a permis de mettre en évidence que les conduites de diamètre 75mm, 125mm et 175mm sont majoritairement en fonte grise (respectivement100%, 97% et 100% de leur longueur). Par contre, les conduites de diamètre 100mm sont à 52% en fonte grise et 43% en plastique (4% en ciment et 1% en fonte ductile). Cela pourrait en partie expliquer la plus faible densité linéaire de plaintes d'aspect pour les conduites de diamètre 100mm. Notons cependant que les longueurs des conduites de diamètre 75mm, 125mm et 175mm (respectivement 9,9 km, 1,8 km et 6,5 km) sont assez faibles comparées à celles des conduites de 100mm (41,1 km). Par conséquent les densités linéaires de plaintes relatives aux conduites de 75mm, 125mm et 175 mm sont moins fiables que celle des conduites de 100mm, du fait de l'extrapolation à 100 km de conduites.

4.4 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal

Sur les 17 plaintes relatives à l'aspect de l'eau disponibles dans la base de données, 3 sont directement situées sur les zones étudiées (zones de pression 3, 4 et 5, voir section 3.3.1.3) et 14 sont situées à l'extérieur de ces zones. Pour ces 14 plaintes, l'approche intégrée a tout de même été appliquée en suivant la procédure présentée en section 3.3.3.3.

4.4.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal

Dans la matrice, les types de données de maintenance régulière et de réparations et réhabilitations de conduites sont détaillées selon les informations suivantes (Tableau 4.13)

- *maintenance régulière :* colonnes 'Manipulations de vannes', 'Manipulations de BF', 'Réparations de conduites', 'Travaux sur BF', 'Travaux sur gicleurs', 'Travaux sur branchements' et 'Travaux sur vannes'
- *Réparations et réhabilitations de conduites :* colonnes 'Installation de nouvelles conduites' et 'Réhabilitation de conduites'

Tableau 4.13. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal

				Remplacements et réhabilitations de conduites		Maintenance régulière						
Date	Detail de la plainte	Zone	Turbidité en sortie d'usine	installation de nouvelles conduites	Réhabilitations de conduites	Manipulations de vannes	Manipulations de BF	Réparations de conduites	Travaux sur BF	Travaux sur gicleurs	Travaux sur branchement	Travaux sur vannes
99-03-10	Eau trouble, eau gluante	Z 3						1	0,5			
99-03-17	Eau marron	Z 3						1	0,5			
00-02-11	Il y a des dépôts dans l'eau	Z 3										
97-04-24	Dépôts verts	-		ND	ND							
97-09-03	Particules noires	-		ND	ND			0,5				
97-11-07	Eau jaune	-		ND	ND						1	
98-04-23	Eau trouble	-	3								1	
98-07-03	Présence de sable dans l'eau	-						1				
98-09-04	L'eau est brouillée	-										
99-04-20	Dépôt jaune après ébullition	-	2									
99-06-08	Particules noires et brunes	-										
00-06-23	Goût et couleur anormale	-								0,5	1	
00-07-31	Particules noires	-										
00-09-05	Colore les vêtements	-										
00-09-20	L'eau est jaune	-									1	
00-09-28	Couleur jaune, mauvais goût	-										
00-12-15	rose à quelques reprises	-						1				

	Très probable
	Possible
	Peu probable

Z3 : zone de pression 3
ND : Non Disponible

4.4.2 Synthèse des résultats

Parmi les 17 plaintes d'aspect disponibles dans la base de données, 16 seulement ont pu être analysées. En effet, il est ressorti de l'approche intégrée que la plainte d'aspect du 8 juin 1999 est située dans une zone administrative pour laquelle les données d'opération et de maintenance ne sont pas disponibles (Figure 4.36)

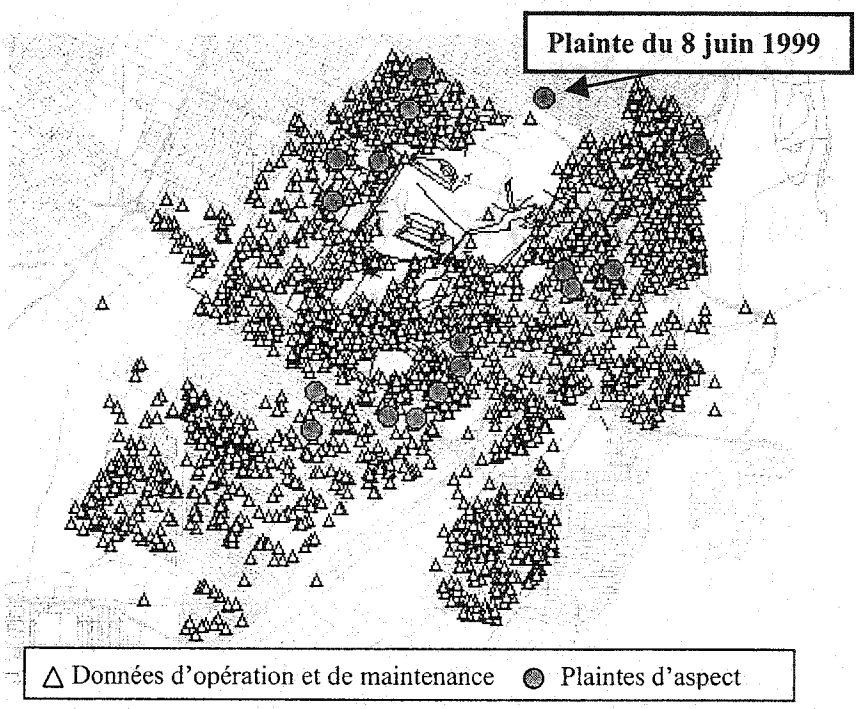


Figure 4.36. Carte des données d'opération et de maintenance disponibles et plaintes d'aspect étudiées sur la ville de Montréal.

Aucune des 3 plaintes d'aspect se situant sur la partie du réseau étudiée n'a pu être expliquée de manière possible ou très probable. Pour les 13 plaintes situées à l'extérieur des zones 3, 4 et 5, une a été expliquée avec une cause très probable (23 avril 1998, passage de la barrière de traitement), une avec une cause possible, et 11 n'ont pu être expliquées.

Donc la proportion de plaintes expliquées avec une cause très probable est de 1/16, soit environ 6% des cas, tel qu'illustré à la Figure 4.37.

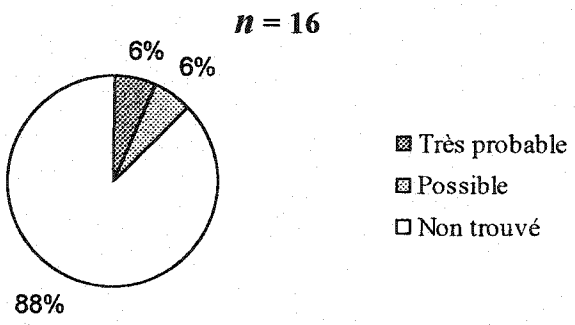


Figure 4.37. Proportion des plaintes d'aspect de la ville de Montréal expliquées de manière très probable, possible ou peu probable.

4.4.3 La plainte d'aspect du 23 avril 1998 : passage de la barrière de traitement.

Aucune intervention susceptible d'avoir causé la plainte du 23 avril 1998 n'est ressortie de l'application de l'approche intégrée. En revanche, les échantillonnages quotidiens de turbidité aux sorties des usines Atwater et Desbaillet ont permis de repérer un important pic de la turbidité à l'eau traitée alimentant le réseau au début du mois d'avril 1998 (Figure 4.38). La turbidité atteint 6 UTN le 5 avril 1998 à Atwater, et 5.2 UTN le 4 avril à Desbaillet. Le 23 avril 1998 (jour de la plainte d'aspect), les mesures indiquent 0,4 UTN à Atwater et 0,23 à Desbaillet. Il est par conséquent possible que ce pic de turbidité se soit déplacé dans le réseau jusqu'au lieu de la plainte d'aspect. Toutefois, les données d'échantillonnages dans le secteur où à été enregistrée la plainte ne sont pas disponibles, cette hypothèse n'a donc pas pu être vérifiée.

Du fait de l'ampleur du pic de turbidité en sortie des usines de traitement au début avril, cette cause a néanmoins été considérée comme étant très probablement à l'origine de la plainte d'aspect du 23 avril 1998.

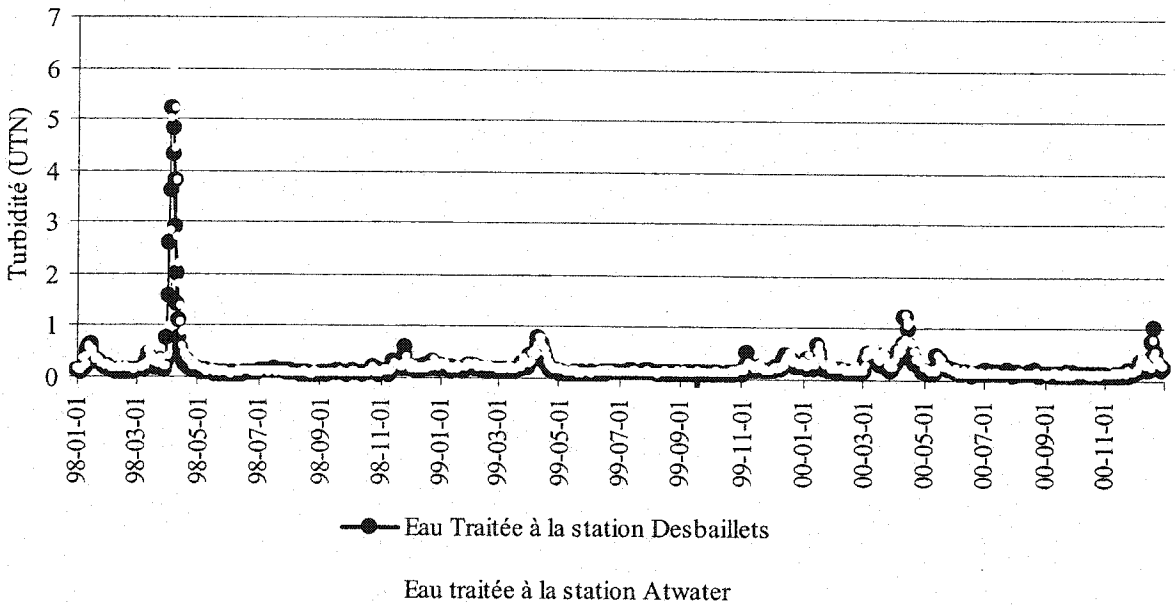


Figure 4.38. Échantillonnages quotidiens de turbidité en sortie des usines Atwater et Desbaillets à Montréal de mars 1998 à mai 2000.

Notons que 2 autres plaintes étudiées se situent dans le même secteur que la plainte du 23 avril 1998, toujours vers la fin du mois d'avril mais pour des années différentes (24 avril 1997, 20 avril 1999) (Figure 4.39).

Le pic de turbidité observé au début du mois d'avril 1998 se répète, à plus faible amplitude, aux mois d'avril 1999 et 2000 (Figure 4.38). Le pic du turbidité du mois d'avril 1999 est en effet beaucoup plus faible puisqu'il ne dépasse pas 1 UTN. Il est donc moins probable que ce pic soit à l'origine de la plainte du 20 avril 1999, mais cette cause a néanmoins été considérée comme possible (Tableau 4.13). Les données de turbidité en sortie des usines ne sont pas disponibles pour l'année 1997, mais un pic de turbidité a été repéré dans le réseau à cette période (atteignant la valeur de 1.26 UTN). Il est possible qu'un pic de turbidité ait également eut lieu au cours du mois d'avril 1997, ce qui pourrait expliquer la plainte du 24 avril 1997. Cependant, étant donné que les données de turbidité en sortie d'usine ne sont pas disponibles pour l'année 1997, il n'a pas été possible de conclure quant à l'origine de cette plainte.

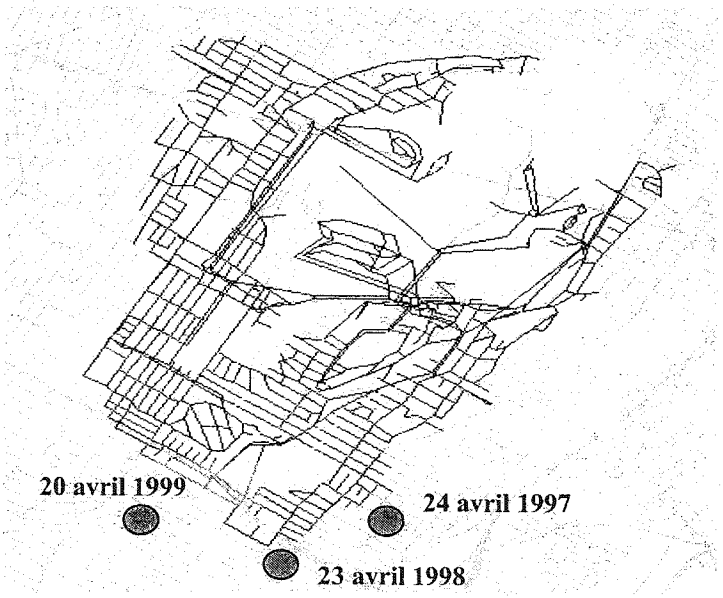


Figure 4.39. Position des 3 plaintes relatives à l'aspect de l'eau lors des mois d'avril 1997, 1998 et 1999 à Montréal.

4.4.4 Analyse des types de données géocodées utilisées lors de l'application de l'approche intégrée

Bien que les données de maintenance régulière et de réhabilitation et remplacements de conduites n'ont pas permis d'expliquer de plaintes d'aspect de manière 'très probable', les densités spatio-temporelles de ces deux types de données ont tout de même été calculées afin de pouvoir être comparées à celles observées pour les autres villes. Elles ont été calculées selon la méthode décrite à la section 3.3.4, et sont présentées au Tableau 4.14.

Tableau 4.14. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées dans l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Montréal.

Types de données	**Données situées sur les zones 3,4 et 5 du résau de Montréal** *(141 km de conduites)*	**Durée de la période considérée**** *(mois)*	**Densités spatio-temporelle** *(/an/10km de conduite)*
Maintenance régulière	467	51	8
Réhabilitations et remplacements de conduites	< 1*	42	< 0,03

** aucune réhabilitation ou remplacement de conduite n'a été enregistrée sur les zones 3, 4 et 5 du réseau de Montréal durant la période considérée, le nombre de données de ce type est donc < 1*

*** période considérée : période sur laquelle les données sont disponibles (janvier 1997 - mars 2001 pour les données de maintenance régulière, et décembre 1997 - mai 2001 pour les réhabilitations et remplacements de conduites)*

4.5 Application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval

Sur le réseau de la ville de Laval, 97 plaintes d'aspect enregistrées entre 1998 et 1999 ont été analysées à l'aide de l'approche intégrée. La méthodologie utilisée pour sélectionner les plaintes à l'étude est présentée à la section 3.3.1.3 et les plaintes sont détaillées au tableau A4 de l'annexe A.

4.5.1 Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval

Cette matrice est présentée au tableau C1 de l'Annexe C. Les colonnes de la matrice représentent les différentes interventions ou paramètres analysés lors de l'application de l'approche intégrée. Certaines correspondent à un même type de données. Dans la matrice, deux types de données ont été détaillés en plusieurs colonnes :

- *Conduites du réseau* : colonnes 'cul de sac', 'matériau de conduite', 'diamètre de conduite', et 'date d'installation'
- *Maintenance régulière* : colonnes 'réparation de conduites' et 'réparation de branchement, de BF ou de vanne'

4.5.2 Efficacité de l'approche intégrée

Sur les 97 plaintes d'aspect étudiées à l'aide de l'approche intégrée, 36 ont pu être expliquées avec une cause très probable (37%), 21 avec une cause possible (22%), et 40 n'ont pas pu être expliquées, ou de manière peu probable (41%) comme l'illustre la Figure 4.40.

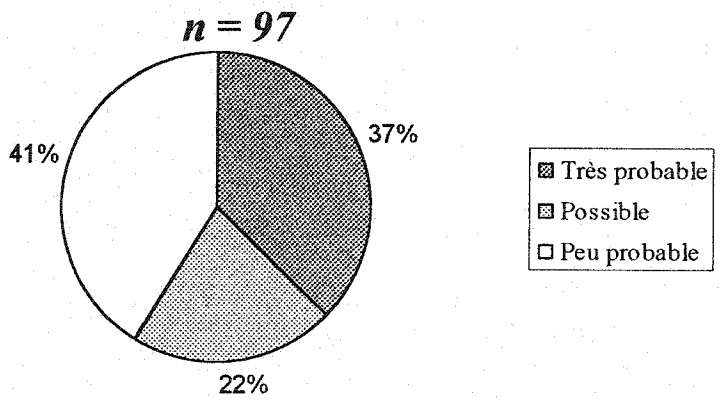


Figure 4.40. Proportions des plaintes d'aspect de la ville de Laval expliquées de manière très probable, possible ou peu probable.

4.5.3 Causes à l'origine des plaintes d'aspect expliquées de manière très probable

Parmi les 97 plaintes d'aspect étudiées, 36 ont pu être expliquées avec une cause très probable. Ces 36 plaintes ont pu être expliquées par 5 types de causes:

- de nombreuses manipulations de bornes fontaines et/ou vannes (à l'origine de 9 plaintes)
- des programmes de rinçage (à l'origine de 7 plaintes)
- des réparations de fuites (à l'origine de 8 plaintes)
- des augmentations de consommation d'eau dans le réseau (à l'origine de 7 plaintes)
- quelques manipulations de bornes fontaines et/ou vannes (à l'origine de 5 plaintes)

Les 36 plaintes d'aspect expliquées de manière très probable, ainsi que le détail de leur cause relative sont présentés au tableau C2 de l'Annexe C.

Les proportions des plaintes expliquées de manière très probable par chacun des 5 types de causes mis en évidence sont présentées en Figure 4.41.

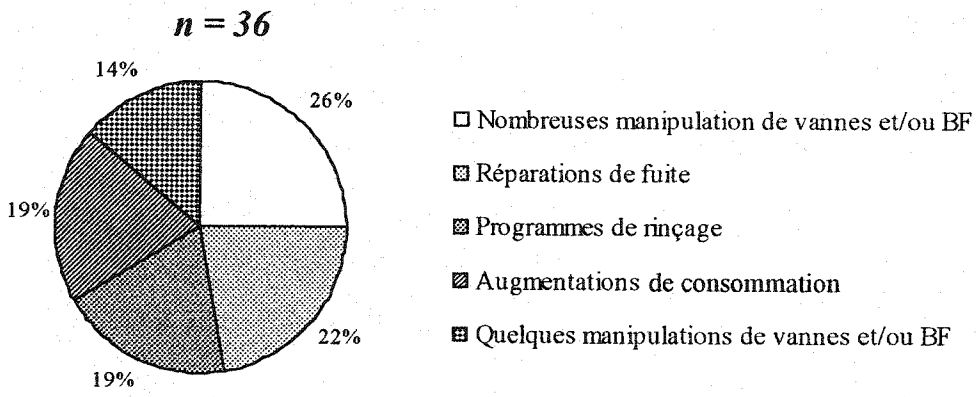


Figure 4.41. Répartition des 36 plaintes de la ville de Laval expliquées de manière très probable par différents types de causes.

Par ailleurs, il est ressorti de l'application de l'approche intégrée, que 86% des plaintes expliquées de manière très probable sont dues à des causes datant du jour même de la plainte, et 14% datant de la veille de la plainte.

4.5.4 Illustration des différents types de causes très probables mis en évidence

Des exemples illustrant chacun des 5 types de cause ayant permis l'explication des 36 plaintes très probables sont présentés dans les sections suivantes.

4.5.4.1 Nombreuses manipulations de BF et/ou vannes (9 plaintes sur 36)

Lors de l'analyse de certaines plaintes d'aspect (9 au total), il est ressorti que de nombreuses manipulations de BF (pour 4 plaintes) ou bien de BF et de vannes (pour 5 plaintes), étaient enregistrées dans le secteur des plaintes en question.

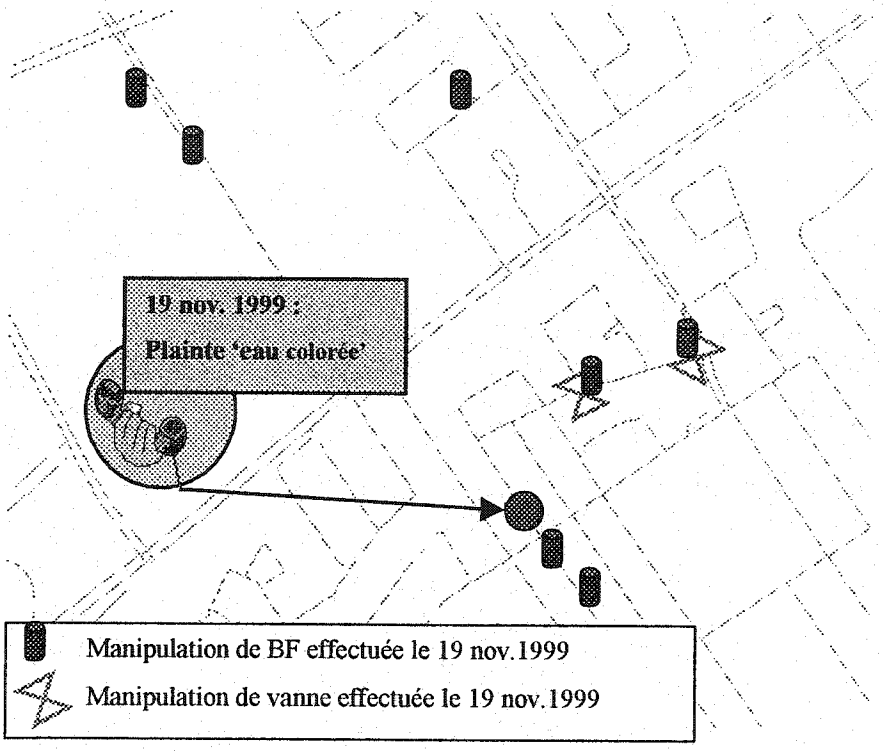


Figure 4.42. Carte de la plainte d'aspect du 11 novembre 1999 enregistrée sur le réseau de Laval expliquée de manière très probable par ne nombreuses manipulations de BF et vannes.

L'exemple choisi pour illustrer ce type de cause est celui du 19 novembre 1999. L'application de l'approche intégrée a permis de mettre en évidence 2 manipulations de vannes et 4 manipulations de BF survenues le 19 novembre 1999 dans le secteur de la plainte (Figure 4.42). Aucune autre intervention n'a été repérée dans ce secteur.

Il est très probable, du fait de la bonne corrélation spatio-temporelle, que ces manipulations soient à l'origine de la plainte d'aspect.

4.5.4.2 Programmes de rinçage (7 plaintes sur 36)

La ville de Laval procède régulièrement à des programmes de rinçage sur le réseau. Voici un exemple de plainte d'aspect provoquée par un programme de rinçage.

Le 3 septembre 1998, une plainte relative à l'aspect de l'eau (« colorée, jaune ») est enregistrée dans le sud de la ville de Laval (Figure 4.43). Cette plainte est située dans la zone de rinçage n°=2, et est alimenté par l'usine de traitement Chomedey. La turbidité,

mesurée quotidiennement à Chomedey, est comprise entre 0,09 et 0,11 UTN entre le 15 août et le 3 septembre 1998. Il n'est donc pas possible de conclure quant à un éventuel passage de la barrière de traitement en terme de turbidité.

L'application de l'approche intégrée à permis de mettre en évidence qu'un programme de rinçage a été effectué sur la zone n°=2 entre le 31 août et le 15 septembre, comme le montre la Figure 4.43. Cet événement est confirmé par la présence d'un grand nombre de manipulations de vannes et de bornes fontaines entre le 31 août et le 3 septembre sur la partie nord ouest de la zone n°=2, où se situe la plainte d'aspect du 3 septembre 1998. Plus précisément il apparaît que 3 manipulations de vannes et 1 manipulations de BF ont été effectuées le jour même dans le secteur de la plainte (Figure 4.43). Et le 2 septembre (la veille de la plainte), 7 manipulations de vannes et 3 de BF ont été enregistrées dans un périmètre de 200m autour de la plainte.

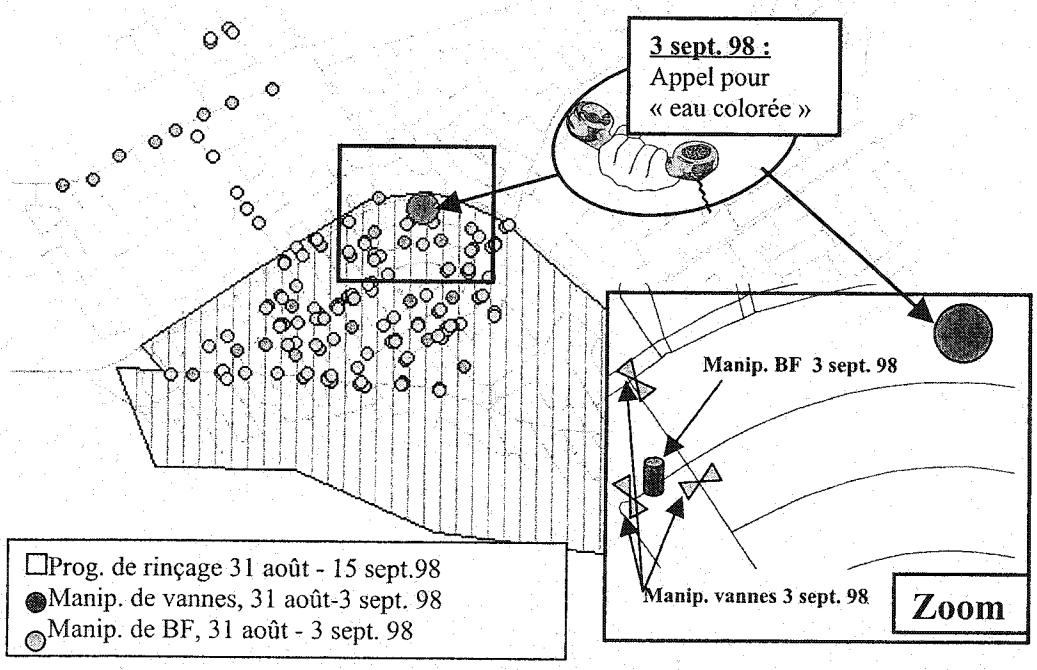


Figure 4.43. Carte de la plainte d'aspect du 3 septembre 1998 enregistrée sur le réseau de Laval (zone de rinçage n°=2), expliquée de manière très probable par un programme de rinçage.

Les perturbations hydrauliques provoquées par les travaux de rinçage doivent être assez importantes pour pouvoir évacuer les dépôts dans les conduites. Il est donc très probable que les rinçages effectués le jour même aux alentours soient responsables de la plainte d'aspect enregistrée le 3 septembre 1998.

4.5.4.3 Réparations de fuites (8 plaintes sur 36)

Les réparations de fuites ont permis d'expliquer 8 plaintes d'aspect de manière très probables. Plus précisément, ces 8 réparations se décomposent en 7 réparations de bris de conduites et une réparation de branchement (le 30 novembre 1999, voir détail de la cause au tableau C2 de l'Annexe C). L'exemple choisi ici pour illustrer les réparations de fuites est celui de la plainte pour « eau colorée » du 22 septembre 1998, enregistrée dans la zone de rinçage 35a et principalement alimentée par l'usine de traitement Chomedey. La turbidité en sortie de cette usine entre le 10 et le 22 septembre est comprise entre 0.9 et 0.11 UTN. Le 22 septembre elle est de 0.10 UTN, ce qui laisse supposer qu'aucun passage de la barrière de traitement en terme de turbidité n'a eu lieu durant cette période.

Il ressort de l'application de l'approche intégrée les 5 interventions suivantes, tel qu'illustré à la Figure 4.44 :

- un bris de type circonférenciel est repéré le 22 septembre 98 sur la conduite de 150mm sur laquelle est située la plainte. La réparation de cette fuite est datée du 23 septembre 1998.
- 3 manipulations de vannes ont été enregistrées le 22 septembre sur les conduites de 250mm, 600mm et 300mm autour de la réparation de bris
- une manipulation de BF près de la réparation de bris a été enregistrée le 22 septembre également.

Il est possible que les manipulations de vannes et de BF enregistrées le 22 septembre 1998 aient été effectuées relativement au bris de conduite repéré le 22 septembre 1998. Il est également possible que les travaux de réparation du bris aient commencé le 22 septembre 1998.

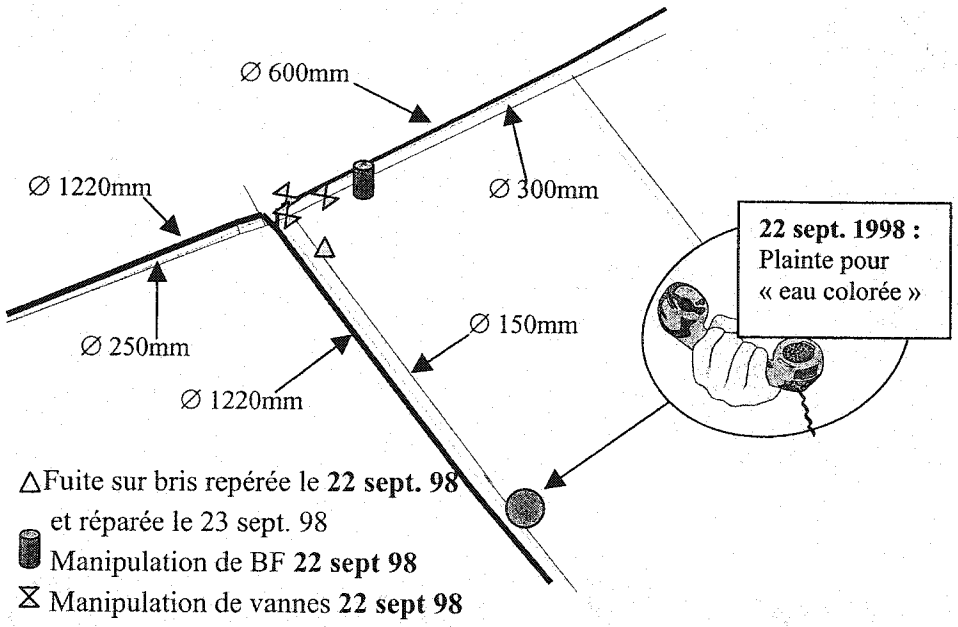


Figure 4.44. Carte de la plainte d'aspect du 22 septembre 1998 enregistrée sur le réseau de Laval (zone de rinçage n°=35a), expliquée de manière très probable par une réparation de bris de conduite.

Des perturbations hydrauliques ont pu être provoquées dans la conduite de 150 mm le 22 septembre, soit de par les manipulations de vanne, soit de par la procédure de vidange effectuée sur la borne fontaine, soit de par les travaux eux-mêmes. Il est ainsi très probable que la réparation de bris soit à l'origine de la plainte d'aspect du 22 septembre 1998.

4.5.4.4 Manipulations de quelques BF et/ou vannes (5 plaintes sur 36)

Lors de l'application de l'approche intégrée, 5 plaintes d'aspect ont pu être expliquées de manière très probable par quelques manipulations de BF et/ou de vannes. Plus précisément, ces 5 plaintes se décomposent en 2 plaintes expliquées par quelques manipulations de vannes et de BF, 2 autres par la manipulation d'une BF isolée, et une dernière plainte par quelques manipulations de vannes uniquement.

Par le terme 'quelques manipulations' on entend 3 manipulations de vannes et/ou 3 manipulations de BF au maximum.

La plainte du 27 juillet 1999, expliquée par une manipulation de BF isolée est illustrée à titre d'exemple. Cette plainte est située sur une conduite en fonte grise de diamètre 150 mm. Il est ressorti de l'application de l'approche intégrée qu'une manipulation de BF a été effectuée le même jour que la plainte, le 27 juillet 1999, sur une conduite adjacente, tel qu'illustré à la Figure 4.45.

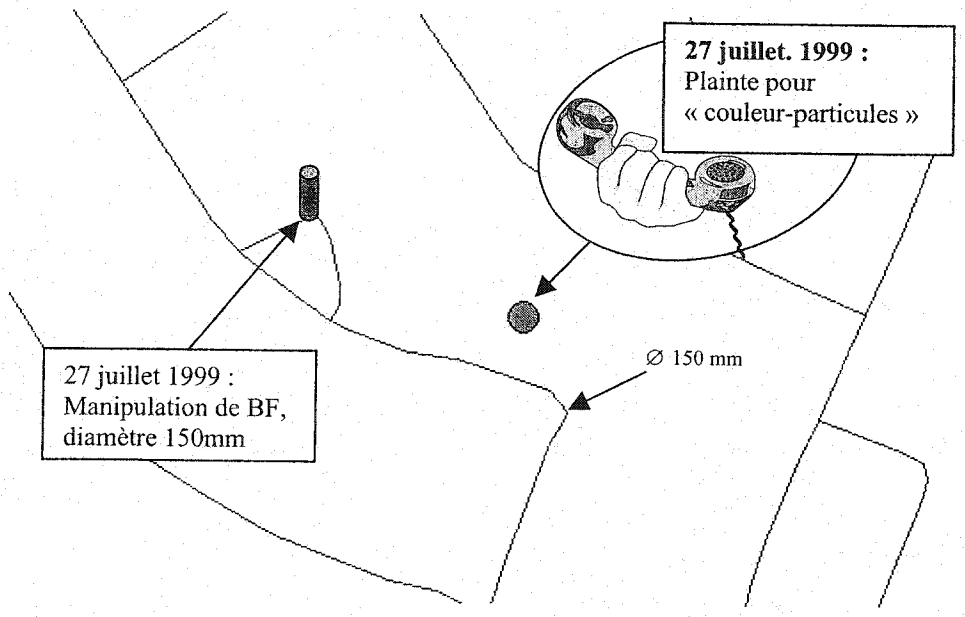


Figure 4.45. Carte de la plainte d'aspect du 27 juillet 1999 enregistrée sur le réseau de Laval, expliquée de manière très probable par une manipulation de BF isolée.

4.5.4.5 Augmentation de consommation d'eau dans le réseau (7plaintes sur 36)

Les augmentations de consommation ont permis d'expliquer 7 plaintes d'aspect de manière très probable. Ces augmentations de consommation ont été évaluées à partir des données de débit d'usine.

Ce type de cas est illustré par l'exemple de deux plaintes d'aspect enregistrées le 25 mai 1998. Dans chacun de ces deux cas, aucune intervention, ni augmentation de turbidité en sortie des usines susceptibles d'expliquer la plainte d'aspect ne sont ressorties de l'application de l'approche intégrée. D'après le fichier d'appels de consommateurs, l'une des 2 plaintes du 25 mai 1998 est alimentée par l'eau de l'usine Chomedey, et l'autre par l'usine Pont-Viau. La Figure 4.46 illustre les débits maximums mesurés entre le 1er mai 1998 et le 31 août 1998 en sortie de chacune de ces deux usines.

On observe que les débits maximums atteints le 25 mai 1998 à Pont-Viau et Chomedey sont de 142 600 m^3/d et 268300 m^3/d respectivement. Or ces valeurs ne sont dépassées que 3 fois au cours de l'année 1998.

Il est très probable que les débits aient augmenté dans certaines conduites du réseau caractérisées par des plus fortes consommations le 25 mai 1998, provoquant des perturbations hydrauliques responsables des deux plaintes d'aspect étudiées.

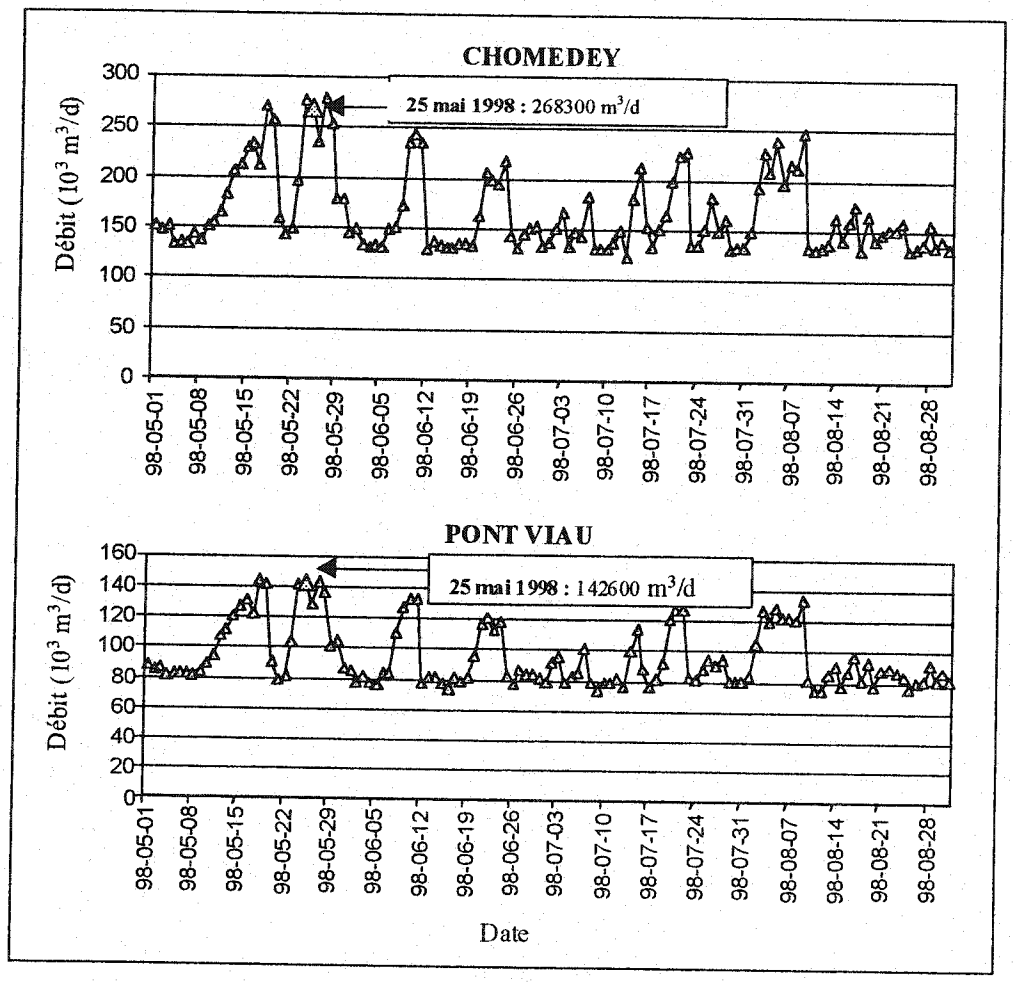


Figure 4.46. Débits d'usine maximaux mesurés aux usines Chomedey et Pont-Viau entre le 1er mai 1998 et le 31 août 1998.

4.5.5 Analyse des types de données ayant permis de retrouver les causes très probables

Afin d'affiner l'interprétation des résultats fournis par l'application de l'approche intégrée, les densités spatio-temporelles des différents types de données géocodées utilisés lors de l'application de l'approche intégrée ont été calculées selon la méthode décrite à la section 3.3.4, et sont présentées au Tableau 4.15.

Tableau 4.15. Densités spatio-temporelles des données géocodées utilisées lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval.

Type de données	**Données disponibles pour la période d'étude (1998-1999)** *(1465km de réseau)*	**Durée de la période d'étude** *(mois)*	**Densités spatio-temporelle** *(/an/10km de conduite)*
Maintenance régulière	1282	24	4
Manipulations de vannes	15417	24	53
Manipulations de BF	10740	24	37
Poses de nouvelles conduites	69	24	0,2
Réhabilitations de conduites	24	24	0,1
Appels de consommateurs	384	24	1,3

Notons que les densités des événements spéciaux intervenant sur le réseau, ainsi que celles des programmes de rinçages n'ont pas pu être calculées, puisque ces types de données ne sont pas localisées par des points, mais par des surfaces sur la carte de la ville de Laval.

Lors de l'application de l'approche intégrée, un certain nombre de pondérations 'très probables' ont été affectées à chacun de ces types de données (voir le tableau C1 de l'Annexe C). Les densités spatio-temporelles de chacun de ces types de données ainsi que le nombre de pondérations 'très probables' qui leur ont été affectées sont illustrés à la Figure 4.47.

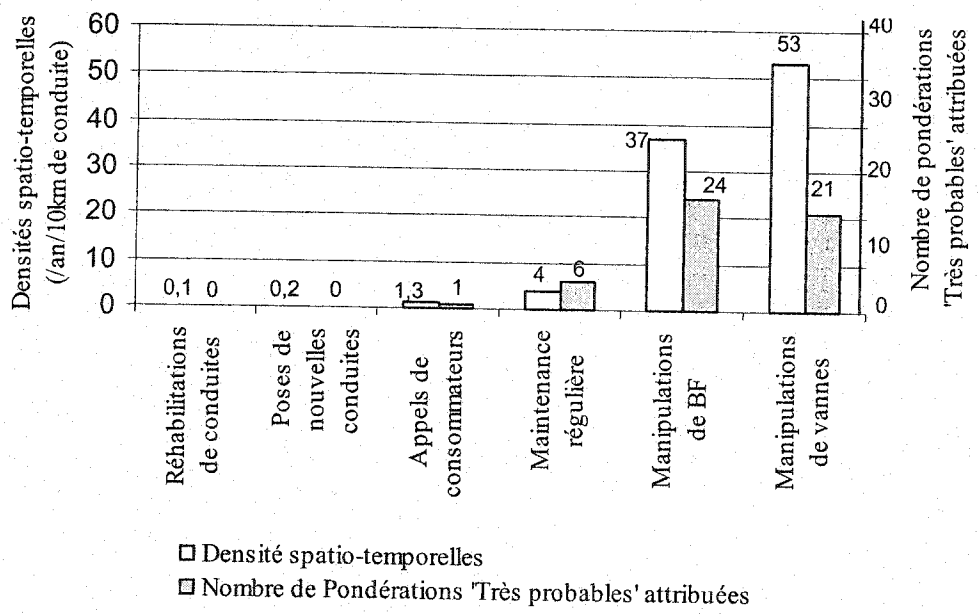


Figure 4.47. Nombre de pondérations 'très probables' attribuées aux types de données géocodées de la ville de Laval dont les densités spatio-temporelles ont été calculées.

On observe pour l'ensemble des différents types de données que les nombres de pondérations 'très probables' augmentent globalement avec les densités spatio-temporelles relatives aux différents types de données, à l'exception des données de manipulations de vannes. En effet, bien que la densité spatio-temporelle des manipulations de vannes soit plus importante que celles des manipulations de BF (respectivement 53 et 37 éléments/an/10km de conduites), le nombre de pondérations très probables qui leur ont été attribuées est moins important pour les manipulations de vannes (21 contre 24).

4.5.6 Impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect pour la ville de Laval

Sur le réseau de la ville de Laval, les branchements sont généralement connectés sur des conduites de diamètre inférieur ou égal à 300 mm. De plus, étant donné que les plaintes d'aspect sont étudiées sur la période 1998-1999, seules les conduites installées avant 2000 et de diamètre inférieur ou égal à 300 mm sont prises en compte ici (elles

représentent en totalité 1253 km de conduites). La description des caractéristiques (diamètre, date de mise en service, type de matériau) de l'ensemble du réseau de Laval, et des conduites de diamètre inférieur ou égal à 300 mm installées avant 2000 sont présentées aux tableaux B3 et B4 de l'Annexe B.

4.5.6.1 Caractéristiques des conduites du réseau de Laval et de celles relatives aux plaintes d'aspect.

Les caractéristiques des conduites relatives à chacune des 97 plaintes d'aspect étudiées ont été notées dans la matrice lors de l'application de l'approche intégrée (Tableau C1 de l'Annexe C). La répartition des plaintes en fonction des caractéristiques de date de mise en service, de diamètre et de type de matériau de leurs conduites respectives sont présentées au Tableau 4.16.

Tableau 4.16. Répartition des plaintes d'aspect de la ville de Laval en fonction des différentes caractéristiques de conduites.

	Date de mise en service								Diamètre (mm)					Matériau			
	50-59	60-69	70-90	90-95	1997	1998	1999	ND	100	150	200	250	300	Acier	FD	FG	Plastique
Nombre de plaintes d'aspect enregistrées	25	50	13	4	1	1	1	2	2	73	16	4	2	1	17	75	4
Proportion du nombre total des plaintes d'aspect étudiées	25,8	51,5	13,4	4,1	1,0	1,0	1,0	2,1	2,1	75,3	16,5	4,1	2,1	1,0	17,5	77,3	4,1

On observe par exemple que 75,3% des plaintes d'aspect correspondent à des conduites de diamètre 150mm, et que 77,3% sont sur des conduites en fonte grise.

4.5.6.2 Influence de l'âge des conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale des conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des différentes date de mise en service des conduites du réseau de Laval sont illustrées à la Figure 4.48.

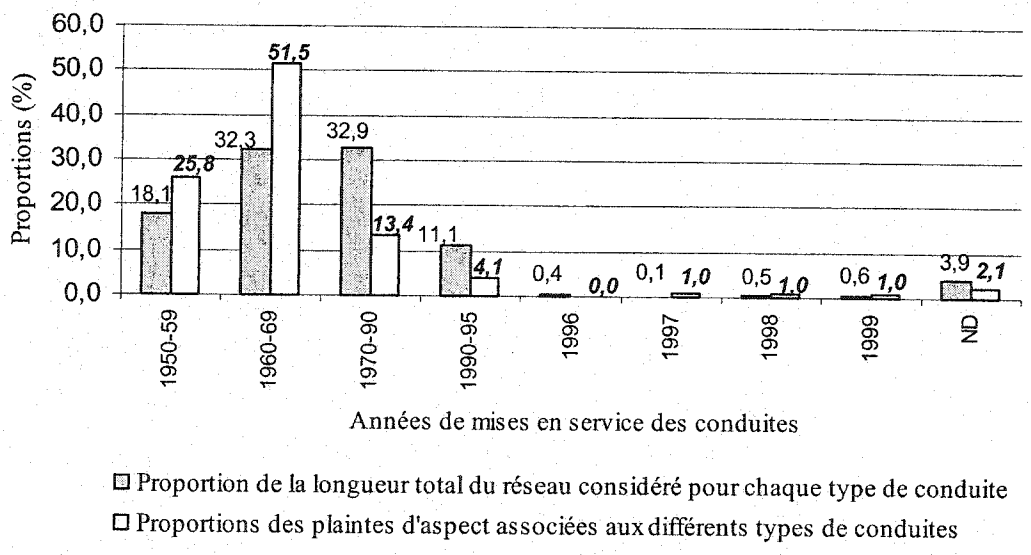


Figure 4.48. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction de la date de mise en service des conduites

Ainsi, 51,5 % des plaintes sont sur les conduites installées entre 1960 et 1969, qui constituent 32,3% de la longueur totale des conduites considérées. De même, plus de 25 % des plaintes d'aspect étudiées se situent sur les conduites du réseau installées entre 1950 et 1959, qui représentent 18,1% de la longueur totale des conduites considérées. En revanche, 13,4% des plaintes sont sur des conduites installées entre 1970 et 1990 qui constituent 32,9% de la longueur totale des conduites considérées. De même 4,1% des plaintes sont sur les conduites installées entre 1990 et 1995 (11,1% de la longueur totale des conduites considérées). Aucune des plaintes étudiées n'est située sur des conduites

installées en 1996, et moins de 1% d'entre elles se situent respectivement sur des conduites installées lors des années 1997, 1998 et 1999.

Les densités de plaintes d'aspect par km de conduite (pour la période de l'étude) pour les conduites installées entre 1950 et 1999 ont été calculées. Elles sont illustrées pour les conduites installées entre 1950 et 1999 à la Figure 4.49. La densité linéaire de plaintes pour les conduites installées en 1997 est de 83 plaintes pour 100 km de conduites. Elle n'a pas été représentée à la Figure 4.49, afin d'améliorer la lisibilité du graphique.

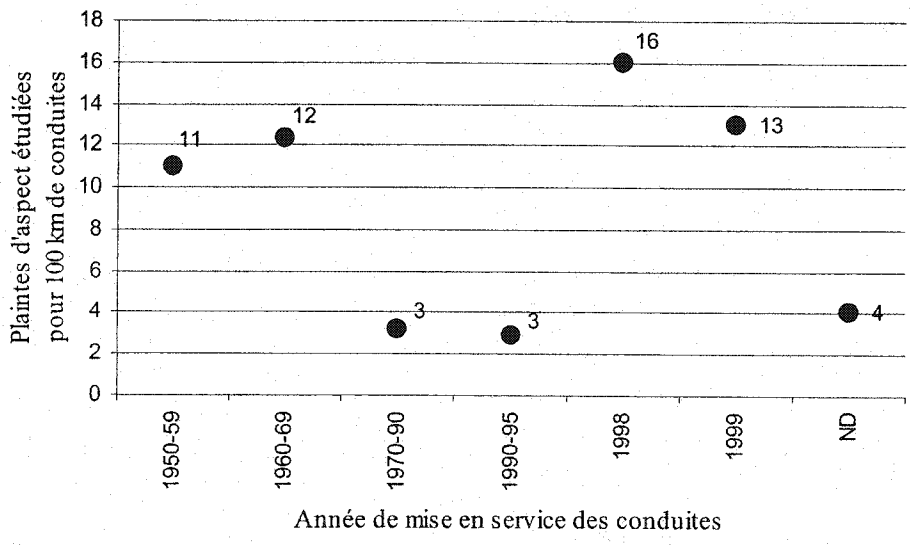


Figure 4.49. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites mises en service entre 1950 et 1995 à Laval

Notons que les longueurs des conduites installées en 1997, 1998 et 1999 sont assez faibles (respectivement de 1,2 km, 6,1 km et 7,9 km, contre plus de 130 km pour chacune des autres catégories de conduites présentés à la Figure 4.49). Par conséquent, leurs densités de plaintes sont moins représentatives de la réalité, du fait de l'extrapolation à 100 km de conduite. Les conduites installées en 1997, 1998 et 1999 sont majoritairement constituées de plastique. Leurs plus fortes densités linéaires de plaintes n'ont pas pu être expliquées, si ce n'est par le fait de l'incertitude statistique découlant de leur faible représentativité.

Les conduites installées entre 1950 et 1959 et entre 1960 et 1969 ont des densités linéaires de plaintes de 11 et 12 plaintes étudiées pour 100 km de conduite respectivement, tandis que celles installées entre 1970 et 1995 ont des densités de 3 plaintes étudiées pour 100 km de conduites. Par conséquent les conduites installées avant 1970 semblent être plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect.

Cependant, il est possible que d'autres paramètres viennent biaiser l'influence de l'âge des conduites. Une recherche plus approfondie a en effet permis de mettre en évidence que 96% de la longueur totale des conduites installées entre 1950 et 1959 est en fonte grise, et 4% en acier. Il en va de même pour celles installées entre 1960 et 1969 (85% en fonte grise et 15% en fonte ductile). En revanche, pour les conduites installées entre 1970 et 1990, 83% de leur longueur totale est constitué par des conduites en fonte ductile et 17 % en fonte grise. De même pour celles installées entre 1990 et 1995, qui sont à 63% en fonte ductile et 37% en plastique.

Par conséquent, il est possible que le fait que les conduites installées avant 1970 soient principalement constituées de fonte grise soit également responsable des plus fortes densités de plaintes d'aspect observées sur ces conduites.

4.5.6.3 Influence des matériaux de conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale des conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des matériaux de conduites sont illustrées à la Figure 4.50.

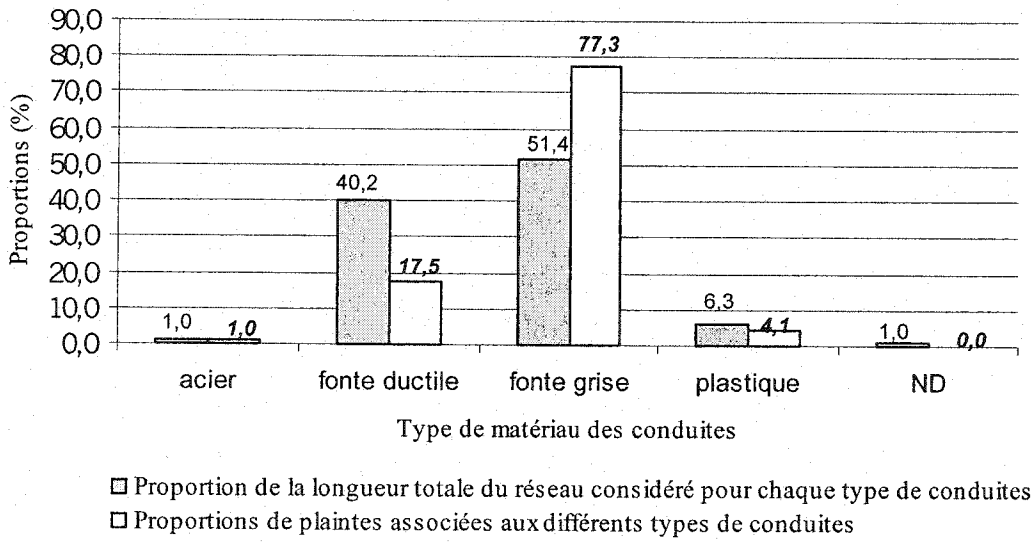


Figure 4.50. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des types de matériaux

La majorité des plaintes d'aspect étudiées (77,3% d'entre elles) se situe sur les conduites en fonte grise, qui représentent 51,4% de la longueur totale des conduites considérées. Une plus petite portion d'entre elles se situe sur les conduites en fonte ductile (17,5% d'entre elles), qui constituent 40,2% de la longueur totale des conduites considérées.

Les densités de plaintes d'aspect par km de conduite (pour la période de l'étude) pour les conduites de fonte grise, d'acier, de fonte ductile et de plastique ont été calculées et sont illustrées à la Figure 4.51.

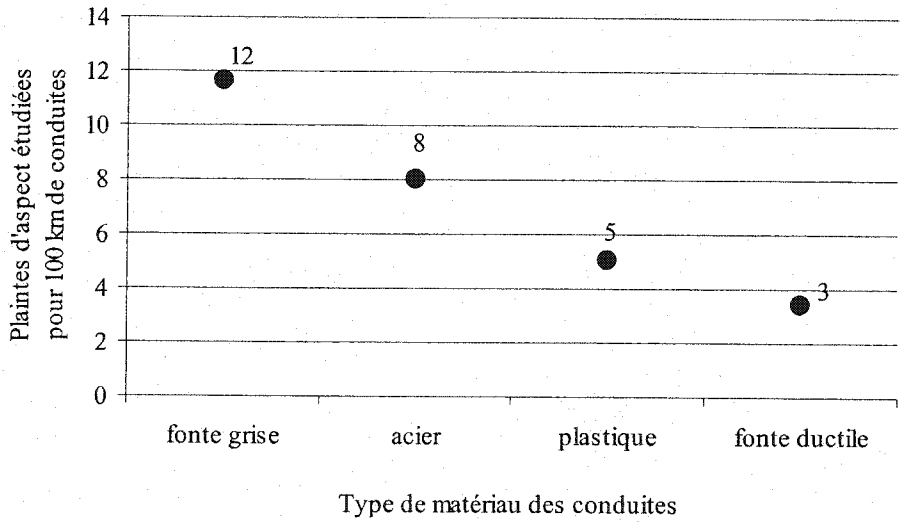


Figure 4.51. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de fonte grise, de fonte ductile et de plastique du réseau de la ville de Laval

Les conduites en fonte grise semblent être les plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect, avec une densité de plaintes d'aspect de 12 plaintes pour 100 km de conduite contre 8, 5 et 3 plaintes pour 100 km de conduite pour les conduites d'acier, de plastique et de fonte ductile respectivement.

4.5.6.4 Influence du diamètre des conduites

Les répartitions des conduites (proportion de la longueur totale des conduites considérées) et des plaintes d'aspect en fonction des diamètres de conduites sont illustrées à la Figure 4.52.

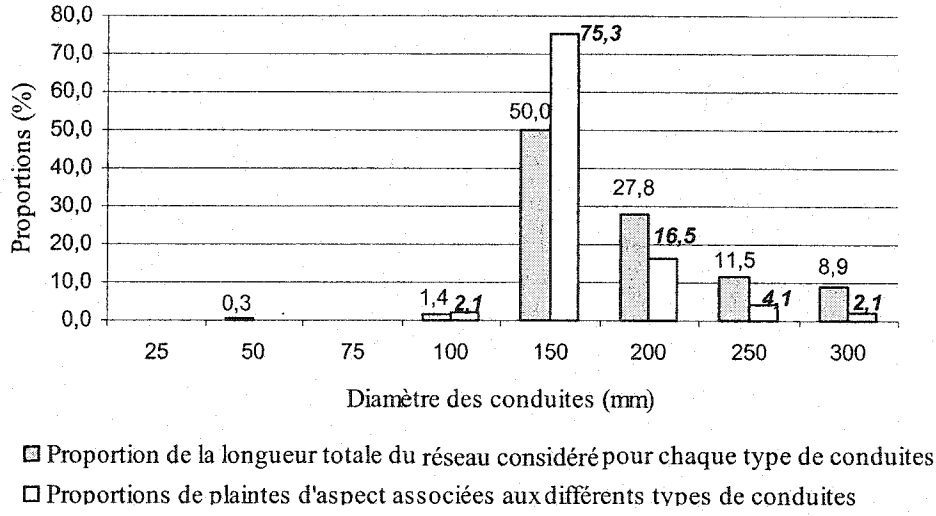


Figure 4.52. Répartition des conduites du réseau de Laval et des plaintes d'aspect étudiées en fonction des diamètres de conduites

Le plaintes d'aspect étudiées se situent toutes sur des conduites de diamètre supérieur ou égal à 100 mm. Une grande majorité d'entre elles (75,3%) sont situées sur des conduites de 150 mm, qui représentent 50% de la longueur totale des conduites considérées. Les densités de plaintes d'aspect par 100 km de conduites (pour la période de l'étude) pour chacun de ces types de conduites ont été calculées et sont illustrées à la Figure 4.53

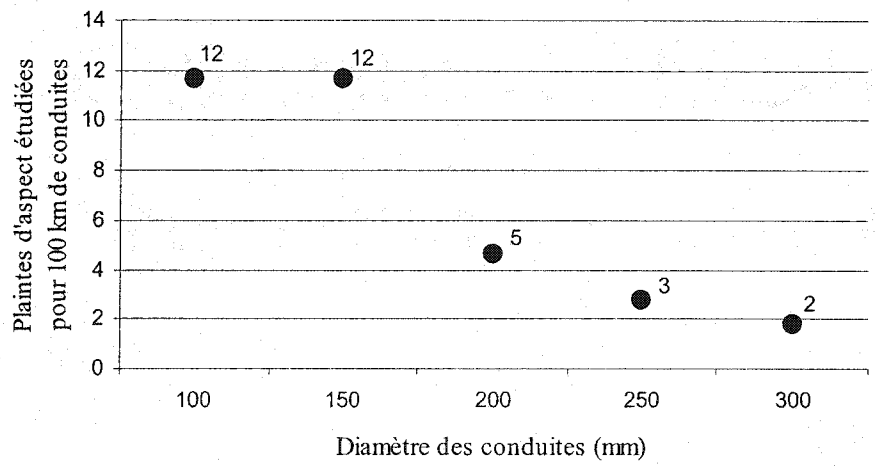


Figure 4.53. Densités linéaires des plaintes d'aspect étudiées pour les conduites de diamètres 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250mm et 300mm du réseau de la ville de Laval

Pour les conduites de diamètre 100 ou 150 mm, les densités de plaintes sont de 12 plaintes étudiées/100km. Pour les conduites de diamètre supérieur ou égal à 200mm, les densités sont toujours inférieures à 5 plaintes/100km. Il est possible que le diamètre des conduites ait une influence sur l'apparition de plaintes d'aspect.

Une recherche plus approfondie a permis de mettre en évidence qu'une grande partie des conduites de diamètre 100mm et 150 mm est constituée de fonte grise (respectivement 75% et 71% de leurs longueur totales). En revanche, pour les conduites de 200mm et 250mm, la fonte grise est moins représentée (respectivement 28% et 32% de leur longueur totale). Il est possible que cela ait également une influence sur le fait que les conduites de 100mm et 150mm ont des densités de plaintes supérieures aux autres conduites. Les conduites de 300mm sont quant à elles constituées en proportions à peu près égales de fonte grise, fonte ductile et plastique.

4.5.7 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux programmes de rinçage

Il est ressorti de l'application de l'approche intégrée que les programmes de rinçage constituent la troisième cause ayant permis d'expliquer les plaintes d'aspect de manière très probable (19% d'entre elles) (section 4.5.3). Dans le fichier de programmes de rinçages, il ressort que 50 programmes de rinçage ont été effectués sur le réseau de Laval entre 1998 et 1999. Ils sont tous confirmés par des manipulations de BF et de vannes correspondantes. Les risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux programmes de rinçage ont été évalués en suivant la procédure expliquée en section 3.4.2. Ces 50 programmes de rinçage sont à l'origine de 18 plaintes d'aspect, soit un risque de 36 plaintes d'aspect pour 100 programmes de rinçage.

4.5.8 Risques d'apparition de plaintes d'aspect liées aux réparations de bris de conduites.

Lors de l'application de l'approche intégrée, les réparations de fuites sont ressorties comme étant la deuxième cause ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable (8 plaintes sur 36, soit 22% d'entre elles) (section 4.5.3). Pour 7

de ces 8 plaintes, les réparations de fuites correspondent à des bris de conduites enregistrées dans les données de maintenance régulière (section 4.5.4.3).

Parmi l'ensemble des réparations de bris de conduites enregistrées sur le réseau de Laval entre 1998 et 1999, 94 ont été analysées afin d'estimer les risques d'apparition de plaintes d'aspect liées à ce type d'interventions, en suivant la procédure expliquée en section 3.4.2.

Parmi les 94 réparations de bris, 1 est supposé avoir causé une plainte d'aspect de manière 'très probable'. Par conséquent, le risque d'apparition de plaintes d'aspect liées aux bris de conduite est d'environ 11 plaintes d'aspect pour 1000 réparations de bris de conduites.

CHAPITRE 5 DISCUSSION

5.1 Commentaires sur le géocodage de données relatives à la gestion d'un réseau de distribution d'eau potable

Le géocodage d'une base de données consiste à l'attribution de coordonnées (x,y) à chaque élément défini par une position géographique. Les méthodes utilisées à cette fin peuvent donc être nombreuses. Dans cette section, les caractéristiques des méthodes utilisées lors du géocodage des données de la ville de Caen sont discutées, puis des recommandations pour le géocodage de bases de données relatives aux réseaux de distribution d'eau potable sont proposées.

5.1.1 Géocodage des données de la ville de Caen

Le géocodage des données de la ville de Caen a consisté à l'application de 5 méthodes de géocodage différentes (section 3.1.3) et a conduit à la localisation de plus de 99% des données à géocoder (section 4.1.1). Ces méthodes de géocodage (par numéro civique exacte, par numéro civique proche, par intersection de rues, par centre de rue et manuel) sont plus ou moins efficaces, en termes de rapidité de mise en œuvre et de précision de la localisation géographique effectuée.

5.1.1.1 Précision spatiale des différentes méthodes de géocodage utilisées pour les données de la ville de Caen

La précision spatiale de ces différentes méthodes peut être considérée comme exacte, assez précise, ou approximative.

- *Localisation exacte :* Les coordonnées attribuées correspondent à la position réelle de l'événement. Il s'agit des géocodages par numéro civique exact, par intersection de rues et manuel.
- *Localisation assez précise :* Les coordonnées attribuées à l'événement correspondent à un point situé aux alentours de la position réelle de l'événement. Il s'agit du

géocodage par numéro civique proche. L'erreur de localisation est de ±2 ou ±4 numéros civiques. La parité du numéro est conservée, ce qui correspond théoriquement à positionner l'événement au niveau de l'habitation voisine (±2 numéros civique) ou voisine de l'habitation voisine (±4 numéros civiques), du même coté de la chaussée.

- *Localisation approximative :* Les coordonnées attribuées à l'événement sont celles du centre de la rue sur laquelle il est situé. Cela correspond au géocodage par centre de rue. Cette méthode a été utilisée lorsque seule l'information du nom de rue était disponible pour localiser l'événement. L'erreur maximale de localisation engendrée lors de ce type de géocodage correspond à la moitié de la longueur de la rue sur laquelle est situé l'élément géocodé.

Afin d'estimer l'erreur de localisation induite lors du géocodage par centre de rue, l'ensemble des données géocodées de cette manière a été analysé. Pour l'ensemble de la base de données de Caen, 1270 éléments ont été géocodés par centre de rue. La moitié de ces éléments est située sur des rues de longueur inférieure ou égale à 400m, 32% sont situés sur des rues comprises entre 400m et 1km de long, et 18% sont sur des rues de plus d'un km de long, tel qu'illustré en Figure 5.1.

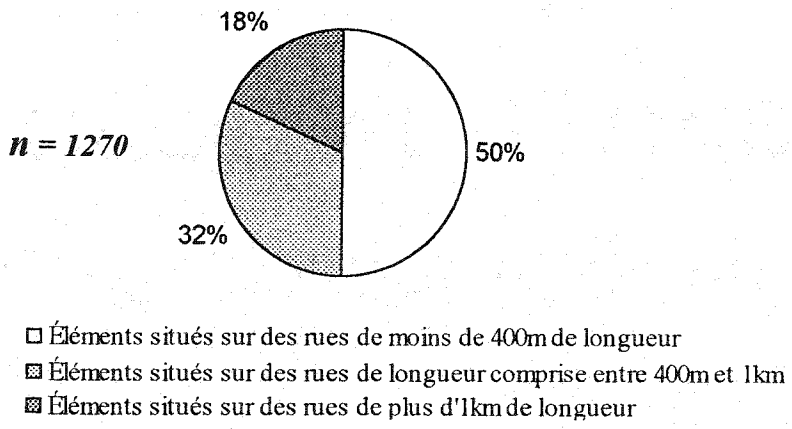


Figure 5.1. Répartition des éléments géocodés par centre de rue dans la base de données de la ville de Caen en fonction des longueurs de rues sur lesquelles ils sont situés.

Par conséquent, dans 50% des cas, l'erreur maximale de géocodage par centre de rue est de 200m. Dans 32% des cas elle est comprise entre 200 et 500m, et dans 18% des cas elle est supérieure à 500m.

Ainsi, la précision du géocodage par centre de rue n'est pas parfaite. Mais il est important de rappeler que les informations géocodées par centre de rue n'auraient pas pu être exploitées lors de l'application de l'approche intégrée sans cette méthode de géocodage. Par conséquent, le fait que plus de 80% des informations ainsi géocodées aient pu être positionnées avec une erreur maximale de 500m confirme l'intérêt de l'emploi de cette méthode lors du géocodage des données de la ville de Caen pour les fins de l'application.

Les différences de précision liées aux différentes méthodes de géocodage, montrent l'importance du champ 'type de géocodage' ajouté aux fichiers géocodés (section 3.1.3). Ainsi, lors de l'analyse d'événements qualité sous ArcExplorer, il est possible de savoir si les éléments visualisés sont localisés de manière précise ou approximative.

5.1.1.2 Rapidité de mise en œuvre des différents types de géocodage utilisés pour les données de la ville de Caen

Les méthodes de géocodage employées pour la ville de Caen diffèrent également de par leur rapidité de mise en œuvre. Le géocodage peut s'avérer plus ou moins long à réaliser selon qu'il est effectué de manière automatique ou non. Les différents types de géocodage sont classés ici selon 3 catégories :

- *Bonne rapidité de mise en œuvre :* géocodages effectués de manière automatique sur le tableur informatique. Il s'agit des géocodages par numéro civique exact, par numéro civique proche et par centre de rue.
- *Moyenne rapidité de mise en œuvre :* géocodages réalisés de manière semi-automatique. Il s'agit ici du géocodage par intersections de rues, réalisé par la Générale des Eaux. À partir d'une table traçante, les coordonnées des intersections

de rues ont été récupérées puis associées aux événements de la base de données correspondants.

- *Faible rapidité de mise en œuvre :* Il s'agit des géocodages manuels. Chaque élément à géocoder doit être considéré séparément et implique souvent la manipulation de plans de la ville conjointement au logiciel ArcExplorer. Des entrevues téléphoniques avec la Générale des Eaux à Caen ont parfois été nécessaires afin de localiser certains éléments ambigus. Cette méthode de géocodage est très fastidieuse.

Il est important d'ajouter que lorsque différentes méthodes de géocodage sont utilisées au sein d'un même type de données, le temps nécessaire au géocodage de ces données est plus long. En effet, les données sont dans ce cas triées en fonction des méthodes de géocodages qui doivent leur être appliquées, puis géocodées, puis rapatriées au sein d'un même fichier. Cela a pu être observé lors du géocodage des données de maintenance régulière, pour lesquelles les 5 méthodes de géocodage ont été utilisées.
Selon Chicot et Mollon (2000), les phases de formatage et géocodage des données sont souvent les plus coûteuses lors de la mise en place d'un système d'information géographique pour un réseau de distribution. Cela n'est pas étonnant, puisque ces étapes peuvent s'avérer être longues.

5.1.1.3 Synthèse sur le géocodage des données de la ville de Caen

Les méthodes de géocodage utilisées pour la base de donnée de la ville de Caen ont été précédemment caractérisées en termes de précision spatiale et de rapidité de mise en œuvre. Il est donc possible de les classer selon une grille intégrant ces deux paramètres (Tableau 5.1).

Tableau 5.1. Grille de caractérisation des différentes méthodes de géocodage utilisées pour la base de données de la ville de Caen.

		Précision de la localisation spatiale		
		Exacte	**Assez précise**	**Approximative**
Rapidité de mise en œuvre	**Bonne**	Par numéro civique exact	Par numéro civique proche	Par centre de rue
	Moyenne	Par intersection	-	-
	Faible	Manuel	-	-

Le type de géocodage le plus intéressant est celui qui est le plus rapide et le plus précis. Ici, il s'agit du géocodage par numéro civique exact. Les proportions de données géocodées selon chaque méthode de géocodage ont été calculées et sont présentées au Tableau 5.2.

Tableau 5.2. Proportions d'éléments de la base de données de la ville de Caen géocodés selon différentes méthodes de géocodage.

Méthode de géocodage	Nombre d'éléments géocodés	Fraction de l'ensemble des éléments géocodés (%)
Par numéro civique exact	**3472**	**56,1**
Par numéro civique proche	**411**	**6,6**
Par centre de rue	**1270**	**20,5**
Par intersection	**152**	**2,5**
Manuel	**887**	**14,3**
Total	**6192**	**100,0**

Afin de pouvoir juger de la pertinence du géocodage des données de la ville de Caen, ces proportions sont reportées sur la grille présentée au Tableau 5.1, pour obtenir le graphique tridimensionnel illustré à la Figure 5.2.

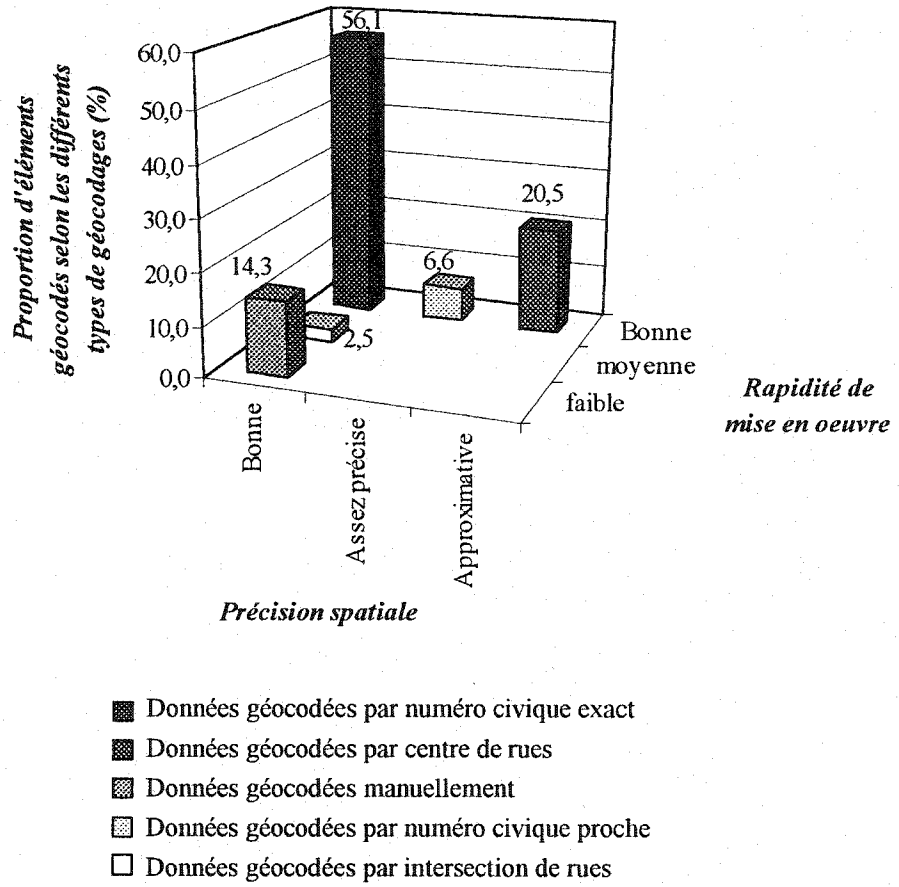


Figure 5.2. Répartition des données géocodées en fonction des caractéristiques de rapidité de mise en œuvre et de précision spatiale relatives à leur méthode de géocodage.

Ainsi, pour la majorité des données, le géocodage est à la fois précis et rapide à mettre en œuvre (56,1% des données sont géocodées par numéro civique exact), ce qui montre que le géocodage des données de la ville de Caen s'est avéré plutôt efficace.

Par ailleurs, il ressort que 79,5% des données ont été géocodées avec une précision spatiale 'bonne' ou 'assez précise' et 20,5% avec une précision 'approximative'. Sachant que les données localisées de manière approximatives (géocodage par centre de rues)

n'auraient pas pu être exploitées à l'aide de l'approche intégrée sans ce type de géocodage, la précision globale du géocodage des données semble satisfaisante.
Enfin, il ressort que la rapidité du géocodage est bonne pour plus de 83% des données géocodées. Cela s'explique par l'automatisation informatique des géocodages par numéro civique (exacte et proche) et par centre de rue. Notons que le géocodage manuel, qui est long à mettre en œuvre, à tout de même permis de géocoder plus de 14% des données avec une bonne précision spatiale.

5.1.2 Recommandations pour le géocodage de données relatives à un réseau de distribution d'eau potable

Une manière d'appréhender le géocodage d'une base de données relatives à un réseau de distribution d'eau potable peut se résumer dans la question suivante : « Comment localiser les données de façon précise et rapide ? ». Autrement dit, le choix des méthodes de géocodage à utiliser doit être orienté selon deux objectifs, soit leur rapidité de mise en œuvre et leur précision spatiale, et est limité par un certain nombre de contraintes. Ces contraintes varient selon le cas où la base de données à géocoder est déjà existante ou bien à venir.

5.1.2.1 Recommandations pour le géocodage d'une base de données déjà existante

Dans ce cas, deux principaux types de contraintes interviennent, d'une part les références géographiques permettant de localiser les données à géocoder (une adresse civique, un nom de rue uniquement, une description du lieu, etc.), et d'autre part, les données de référence géographique disponibles (coordonnées des numéros civiques de la ville, des centres de rues, plans du cadastre, etc.).
Les différentes méthodes de géocodage possibles sont restreintes par ces deux contraintes. Étant donné la taille d'une base de données relative à un réseau de distribution, il n'est pas pensable de géocoder manuellement chaque donnée. Il est donc préférable de trouver des méthodes automatiques permettant de faire le lien entre les

références géographiques permettant de localiser les données à géocoder et les données de référence géographique disponibles. Par exemple, dans la base de données de la ville de Caen, certaines données étaient référencées par adresse civique. Or les coordonnées des adresses civiques faisaient partie des données de référence géographique disponibles (fichier 'adresse-point'). Un automatisme destiné à rapatrier les coordonnées de l'adresse civique depuis le fichier 'adresse-point' jusqu'à l'élément à géocoder a donc pu être construit. Si les coordonnées des adresses civiques n'avaient pas été disponibles, il aurait fallu trouver un automatisme utilisant d'autres données de référence géographique que le fichier 'adresse-point'.

Dans le cas où aucune des données de référence géographique disponibles ne permet une automatisation du géocodage, la seule solution est d'en construire. Le fichier contenant les coordonnées des centres de rues de la ville de Caen a ainsi été construit à partir de la couche d'information géographique des rues de la ville, afin de pouvoir géocoder (par centre de rues) les données dont la seule référence était un nom de rue.

Si le géocodage de la base de données du réseau de distribution d'eau potable considéré est réalisé dans le but d'analyser des événements qualité, l'objectif à privilégier est celui de la précision spatiale plutôt que celui de la rapidité de mise en œuvre. Lors du géocodage des données de la ville de Caen, c'est en effet ce qui a prévalu, afin d'obtenir une efficacité optimale de l'application de l'approche intégrée. Toutes les informations pouvant servir à la localisation ont été utilisées afin de raffiner au maximum le géocodage et de ne perdre qu'un minimum d'information.

5.1.2.2 Recommandations pour le géocodage d'une base de données à venir

Lorsqu'il s'agit de mettre en place une procédure de géocodage de données futures, la principale contrainte qui intervient concerne les données de références géographiques disponibles (par exemple les coordonnées des adresses civiques de la ville, tracés des rues de la villes, etc.). La manière dont les futures données à géocoder seront référencées

géographiquement doit être définie en fonction des références géographiques disponibles.

Par exemple, il a été recommandé que les futures données de maintenance régulière de la ville de Caen soient systématiquement référencées par adresses civiques, afin de permettre un géocodage automatique par numéro civique exact ou proche. De même les futurs tests de bornes fontaines seront référencées par numéro d'identification de borne afin d'être automatiquement géocodés à partir des coordonnées de l'ensemble des numéros d'identifications des bornes fontaines de la ville.

Il est possible d'imaginer d'autres types de géocodages, alliant rapidité de mise en œuvre et précision de localisation, comme par exemple un géocodage par GPS, qui pourrait être effectué directement sur le terrain.

5.2 Commentaires sur la méthode d'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect

L'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect repose sur plusieurs étapes, de la sélection des plaintes à étudier (section 3.3.1.3) jusqu'à l'attribution de pondérations aux différents éléments pouvant expliquer chaque plainte d'aspect (section 3.3.2). La mise en œuvre de chacune de ces étapes mérite d'être discutée afin de pouvoir interpréter de façon plus juste les résultats fournis par l'application de l'approche intégrée ainsi que d'améliorer son potentiel lors d'utilisations futures.

5.2.1 Sélection des plaintes d'aspect étudiées dans chaques villes

La procédure de sélection des plaintes d'aspect à étudier est détaillée en section 3.3.1.3 pour chacune des quatre villes impliquées dans le projet. Il est important de distinguer le cas de la ville de Laval. En effet, pour les trois autres villes, les plaintes d'aspect étudiées représentent la totalité des plaintes d'aspect enregistrées durant la période d'étude sur les réseaux étudiés. En revanche, pour la ville de Laval, du fait de l'important nombre de plaintes d'aspect enregistrées sur le réseau durant la période

d'étude, c'est une sous partie de l'ensemble des plaintes d'aspect enregistrées qui a été étudiée (50% d'entre elles). Il est possible de s'interroger sur la représentativité statistique des plaintes d'aspect étudiées pour la ville de Laval. Afin d'éclaircir ce point, les distributions temporelles et spatiales ont été comparées pour les plaintes d'aspect totales et les plaintes d'aspect sélectionnées. Elles sont illustrées à la Figure 5.3 (a et b respectivement).

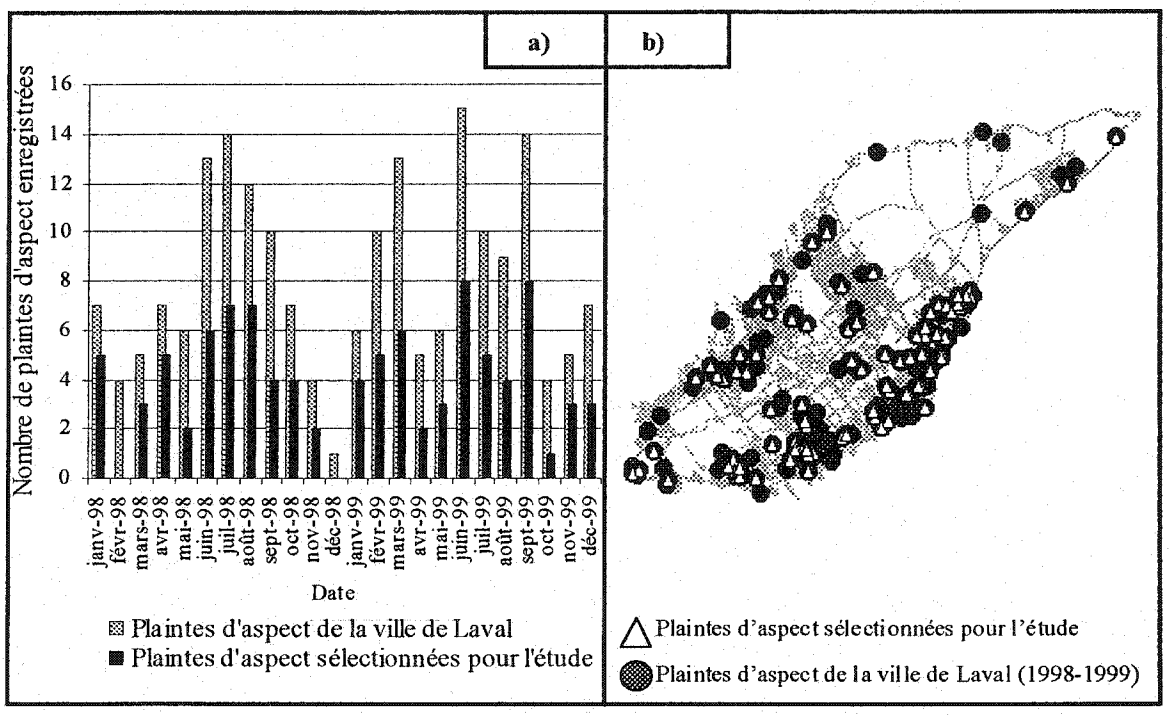


Figure 5.3. Distributions spatiales et temporelles pour les plaintes d'aspect de la ville de Laval enregistrées sur la période 1998-1999, ainsi que pour les plaintes sélectionnées pour l'application de l'approche intégrée sur cette même période.

Ainsi les distributions spatiale et temporelle des plaintes d'aspect sélectionnées correspondent globalement à celles de l'ensemble des plaintes d'aspect de la ville de Laval enregistrées entre 1998 et 1999. Par conséquent, les plaintes d'aspect sélectionnées pour l'étude peuvent être considérées comme représentatives de l'ensemble des plaintes de la ville de Laval enregistrées entre 1998 et 1999.

5.2.2 Étude de la qualité de l'eau en entrée de zone et aux réservoirs

Lors de l'analyse d'une plainte d'aspect, la première étape consiste à étudier les variations de la turbidité de l'eau en sortie d'usine ainsi qu'aux réservoirs, le cas échéant. Cependant, la probabilité de détecter une éventuelle augmentation de turbidité au niveau de ces points dépend de la fréquence des échantillonnages effectués.

Pour la ville de Caen, les échantillonnages aux réservoirs et en entrée de zone (caractérisée par le point 1 de la campagne coliforme, voir section 3.2.4) sont hebdomadaires. Il est très probable qu'une bonne partie des augmentations de turbidité ne soient pas détectées lors de ces échantillonnages. Ainsi, aucune plainte d'aspect de la ville de Caen n'a pu être expliquée par un passage de la barrière de traitement.

Dans les autres villes, les échantillonnages sont quotidiens en sortie d'usine. Les probabilités de repérer un passage de la barrière de traitement sont donc plus élevées. Ainsi, une plainte d'aspect de la ville de Montréal a pu être expliquée par un passage de la barrière de traitement.

5.2.3 Formulation de requêtes selon des critères spatiaux et temporels

La formulation de requêtes sous IMADSIG permet de sélectionner les éléments de la base de données intervenant durant une certaine période précédant la plainte d'aspect étudiée, et situés dans un périmètre défini autour de la plainte.

Les critères spatiaux ont été fixés à 1,5 km dans toutes les villes, sauf à Egham où aucun critère n'a été fixé, du fait de la petite taille du réseau. Il est ressorti de l'application de l'approche intégrée que ce rayon semble approprié. En effet, il y a fort à penser que la plupart des événements intervenant au delà de ce périmètre ne puissent pas permettre d'expliquer la plainte étudiée, ou bien de manière peu probable. En revanche, diminuer ce rayon aurait pu provoquer la perte de quelques causes jugées possibles.

Le principal intérêt de fixer un critère spatial réside dans le fait que cela permet de réduire le champs de vision lors de la visualisation sous ArcExplorer, facilitant ainsi

l'analyse de cas. L'utilisateur ne perd pas de temps à s'interroger sur des événements n'ayant à priori pas ou peu d'impact sur la plainte étudiée.

Pour l'étude des plaintes d'aspect, les critères de temps appliqués aux différents types de données sont de 30 jours avant l'événement étudié et 2 jours après, à l'exception des données d'appels de consommateurs (temps précédant l'événement est fixé à 15 jours), des données de qualité en sortie d'usine (60 jours) et de quelques exceptions (voir section 3.3.3). Il est ressorti de l'application de l'approche intégrée que les causes très probables mises en évidences survenaient toujours dans une période maximale de 5 jours précédant la plainte d'aspect. Pour les causes possibles, cette période est de 10 jours. Par conséquent, il pourrait être judicieux de diminuer le critère de temps à 15 jours précédant la plainte étudiée pour toutes les données géocodées (donc visualisables). Cela permettrait une visualisation plus claire lors de l'analyse des plaintes d'aspect sous ArcExplorer, sans perdre pour autant des informations permettant d'expliquer les plaintes de manière possible ou très probable.

Par ailleurs, le critère de temps de 2 jours après l'événement s'est avéré utile à plusieurs reprises. Par exemple, lorsqu'un appel pour fuite est émis le jour de la plainte d'aspect, il est possible de vérifier si des travaux de réparation ont été entrepris le lendemain ou le surlendemain de l'appel, ce qui pourrait confirmer l'importance de la fuite détectée.

5.2.3.1 Utilisation du chemin hydraulique amont

Au cours de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect, le traçage du chemin hydraulique amont ne s'est pas révélé être d'une grande utilité dans la détermination des causes à l'origine des plaintes.

Le chemin hydraulique amont est l'ensemble des conduites par lesquelles l'eau alimentant un nœud donné du réseau a pu transiter au cours des dernières 24 heures (section 3.1.4.2). Sa définition est donc basée sur la modélisation hydraulique du réseau en fonctionnement régulier (situation idéale pendant laquelle aucune intervention ne

vient changer les écoulements dans le réseau). Par ailleurs, sa définition est vaste, puisque toutes les conduites par lesquelles l'eau a pu transiter pour alimenter un certain nœud sont retenues, même si leur contribution au débit total d'eau ayant alimenté ce nœud est négligeable. De par cette définition, il peut arriver dans certains cas que le chemin hydraulique amont recouvre la quasi totalité du réseau (ce qui est le cas pour la plupart des nœuds du réseau de la zone basse de la ville de Caen).

Par conséquent, dès lors qu'une intervention susceptible de modifier le fonctionnement hydraulique du réseau (manipulation de vanne, de borne fontaine, réparation de bris de conduite, programmes de rinçage, etc.) survient avec une bonne corrélation spatio-temporelle par rapport à la plainte d'aspect étudiée, l'utilisation du chemin hydraulique amont n'a plus lieu d'être, puisque le régime hydraulique n'est plus régulier. Or ce sont ces types d'interventions qui sont majoritairement ressortis comme causes possibles ou très probables lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect (sections 4.2.3, 4.3.3 et 4.5.3).

Par contre, l'utilisation directe du modèle hydraulique s'est avérée plus intéressante lors de l'analyse des plaintes d'aspect. En effet, la manipulation du modèle hydraulique permet de comprendre rapidement le fonctionnement hydraulique du réseau, par exemple en visualisant les sens d'écoulements et débits dans le réseau à différents moments de la journée. Par ailleurs, l'utilisation directe du modèle hydraulique a également permis d'évaluer les augmentations de débits dans le réseau de la ville de Caen lors de tests de bornes fontaines (section 4.2.4.1).

5.2.3.2 Analyse et attribution de pondérations

L'analyse des cas de plaintes d'aspect via la visualisation sous Arc Explorer constitue en quelques sortes le cœur des résultats ressortant de l'application de l'approche intégrée. Au cours de cette analyse, l'utilisateur doit parvenir à évaluer si les différentes interventions visualisées peuvent avoir une éventuelle répercussion sur l'aspect de l'eau

distribuée dans le secteur de la plainte étudiée. Ces différentes évaluations résultent en l'attribution de pondérations à chacune des interventions visualisées.

C'est une opération délicate, puisqu'il s'agit de passer du qualitatif au quantitatif. De nombreux paramètres peuvent influencer les pondérations attribuées :

- *les densités des types de données visualisées :* dans les bases de données considérées , les différents types de données contiennent des quantités d'informations très variables. Ainsi, lors de l'analyse de cas de plaintes sous ArcExplorer, certains types de données vont systématiquement apparaître de manière plus dense à l'écran. Il est possible que l'utilisateur ait tendance à 'sur-pondérer' les types de données qui sont peu denses, du fait de leur rareté.
- *subjectivité quant à l'interprétation des événements* : l'analyse est basée sur l'expérience et la connaissance des phénomènes en place dans les réseaux de distribution. Deux utilisateurs différents peuvent considérer une même intervention comme plus ou moins importante vis à vis de la plainte étudiée.
- *subjectivité quant à la pondération :* chaque élément intervenant dans l'analyse d'une plainte d'aspect est pondéré de 0 à 5, avec un intervalle de 0,5. Pour une même interprétation, deux utilisateurs peuvent pondérer le même événement différemment.

Afin de réduire l'influence de la subjectivité de l'utilisateur dans les résultats de l'application de l'approche intégrée, il est important que toutes les analyses effectuées soient confrontées à une autre personne. Par ailleurs, il n'est sans doute pas nécessaire d'affecter une pondération aux événements analysés. En effet, l'échelle de 0 à 5 avec un intervalle de 0,5 est bien trop précise et est surtout une source de complication inutile. Au cours de cette étude, aucune statistique n'a été basée sur ces pondérations, qui sont bien trop variables pour être interprétée de manière solide. En revanche, les trois catégories 'Très probable', 'Possible' ou 'Peu probable' sont beaucoup plus fiables et faciles à interpréter. C'est sur elles qu'ont été basés les résultats.

5.3 Efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect des villes de Caen, Egham, Montréal et Laval

L'efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect est représentée par la proportion de plaintes expliquées de manière 'très probable', 'possible' ou 'peu probable'. La première partie de cette section est consacrée à des commentaires généraux sur les plaintes d'aspect étudiées. Suite à cela, l'efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect est présentée comparativement pour les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval. L'importance des bases de données dans l'efficacité de l'application de l'approche intégrée est ensuite discutée. Enfin, une analyse commune des différents types de données ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable est proposée.

5.3.1 Commentaires généraux sur les plaintes d'aspect étudiées

Même si les plaintes de consommateurs relatives à l'aspect de l'eau peuvent permettre d'évaluer la performance d'un réseau de distribution (section 2.3.1), il reste que les informations fournies par ces plaintes ne sont pas forcément fiables à 100%. En effet, contrairement à des échantillonnages, dont les résultats consistent en une valeur déterminée des paramètres analysés, une plainte d'aspect donne une information qualitative sur la qualité de l'eau observée par le consommateur ayant émis la plainte. Par conséquent, il est possible que parmi les plaintes d'aspect étudiées, certaines ne correspondent pas nécessairement à la réalité.

Par ailleurs, notons que les plaintes étudiées ne correspondent pas directement aux plaintes émises par les consommateurs. Les plaintes étudiées sont les plaintes enregistrées, classées et détaillées par les opérateurs chargés de la gestion des appels de consommateurs dans chacune des villes étudiées. Les méthodes de gestion des plaintes reçues par ces opérateurs peuvent déformer l'information initiale. Ces méthodes sont très différentes d'une ville à une autre. Par exemple, à Montréal, seuls les appels de

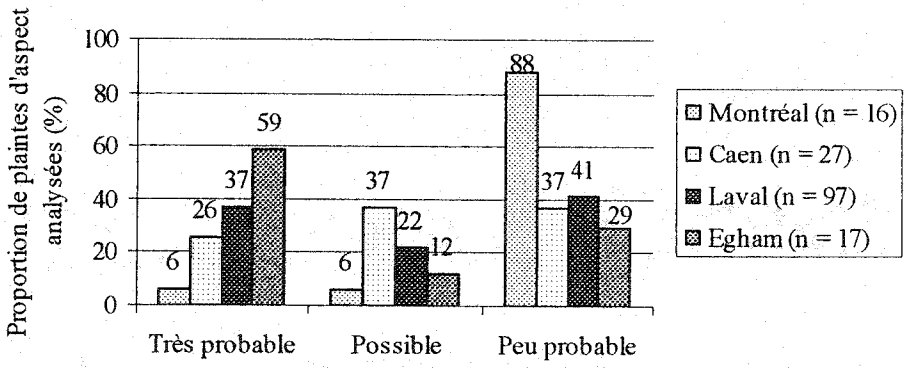
consommateurs ayant fait l'objet d'analyses sur site par les service de la ville sont enregistrés dans la base de données.

Par conséquent, il n'est pas possible de comparer les nombres de plaintes d'aspect enregistrées dans chaque ville afin d'en tirer des conclusions quant à la qualité de l'eau distribuée.

5.3.2 Comparaison de l'efficacité de l'approche intégrée dans les 4 villes

Avant toute chose, il est important de rappeler que les causes à l'origine d'une plainte d'aspect peuvent être relatives à des problèmes liés aux réseaux privés des consommateurs (comme par exemple la corrosion de conduites internes aux habitations). Les bases de données disponibles ne permettent pas d'identifier ces causes. Elles figurent donc parmi les cas inexpliqués. Or il a déjà été observé que la proportion de plaintes d'aspect dues aux réseaux privés des consommateurs peut atteindre 7% des plaintes d'aspect enregistrées (Wen *et al.*, 2001).

Les répartitions de plaintes d'aspect expliquées de manière 'très probable', 'possible' et 'peu probable' pour chacune des 4 villes sont illustrées à la Figure 5.4.



n : nombre de plaintes d'aspect analysées à l'aide de l'approche intégrée

Figure 5.4. Répartition des plaintes d'aspect expliquées de manière 'très probable', 'possible', ou 'peu probable' pour les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval.

Ainsi, les plaintes d'aspect ont pu être expliquées de manière très probable pour 6% à 59% des cas selon les villes. Les publications relatives à l'explication de plaintes

d'aspect dans les réseaux de distribution d'eau potable sont assez rare. Cependant, Wen *et al.* (2001) sont parvenus à expliquer respectivement 68% et 81% des plaintes d'aspect enregistrées sur 2 réseaux de distribution californiens (sur un total de 124 et 130 plaintes respectivement). Leurs analyses reposaient sur l'étude des données d'opération et de maintenance, sur la qualité de l'eau alimentant le réseau, ainsi que sur les caractéristiques de conduites du réseau (âge, diamètre, matériau). Ces résultats semblent importants au vu de ceux obtenus par l'application de l'approche intégrée (qui a permis d'expliquer au mieux 59 % de plaintes de manière très probable). Cependant, si l'on considère que les plaintes expliquées à l'aide de l'approche intégrée contiennent à la fois celles expliquées de manière très probable et possible, les proportions de plaintes expliquées sont de 12% pour Montréal, 59% pour Laval, 63% pour Caen, et 71% pour Egham. À l'exception de Montréal, l'efficacité de l'approche intégrée se rapproche alors de celle annoncée par Wen *et al.* (2001). Prince *et al.* (2001) ont également recherché les causes à l'origine de plaintes d'aspect dans un réseau de distribution australien. En se basant sur l'analyse des données d'opération et de maintenance, les auteurs ont attribué une cause à 16,6% des plaintes étudiées (sur un total de 4718 plaintes). Les résultats fournis par l'application de l'approche intégrée aux plaintes des villes de Caen, Egham et Montréal semble donc plus satisfaisants que ceux annoncés par Prince *et al.* (2001).

5.3.3 Importance des bases de données dans l'efficacité de l'approche intégrée

Comme nous venons de le voir, l'application de l'approche intégrée a été plus efficace pour expliquer les plaintes d'aspect de la ville d'Egham, suivie de Laval, Caen et Montréal (les proportions de plaintes expliquées de manière très probables pour ces villes étant respectivement de 59%, 27%, 36% et 6%) . Comment expliquer ces différences ?

Notons tout d'abord qu'il est difficile de comparer l'efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'Egham par rapport aux autres villes. En effet, les 10 plaintes d'aspect de la ville d'Egham expliquées de manière très probables ne sont pas

indépendantes les unes des autres (les 2 plaintes du 12 et 14 mars 1998 sont liées à une même réparation de conduite, et les 5 plaintes enregistrées entre le 15 et le 18 novembre 1999 sont expliquées de façon identique par des travaux effectués sur des vannes). Dans les autres villes, les plaintes expliquées de manière très probables semblent indépendantes les unes des autres, leur efficacité peut donc être comparée plus aisément.

L'approche intégrée repose sur les données disponibles dans chaque ville. A priori, plus la quantité de données disponibles pour une ville est importante plus le nombre de plaintes d'aspect expliquées via l'application de l'approche intégrée a des chances d'être élevé. Afin de vérifier cette hypothèse, il est intéressant de comparer les densités spatio-temporelles des données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée pour chacune des villes. Elles sont présentées au Tableau 5.3.

Tableau 5.3. Densités spatio-temporelles des données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect pour les villes de Caen, Egham, Laval et Montréal.

	Type de donnée	**Densités** *(/an/10km de conduite)*
Caen	Avis de coupure d'eau	9
	Données de maintenance régulière	10
	Appels de consommateurs	18
	Total	**37**
Egham	Données de maintenance régulière 'significative'	2
	Données de maintenance régulière 'autre'	*16*
	Échantillonnages suite à bris	4
	Appels de consommateurs	27
	Total	**49**
Laval	Données de maintenance régulière	4
	Manipulation de vannes	53
	Manipulations de BF	37
	Pause de nouvelles conduites	0,2
	Réhabilitations de conduites	0,1
	Appels de consommateurs	1,3
	Total	**95,6**
Montréal	Données de maintenance régulière	8
	Remplacement et réhabilitations de conduites	<0,03
	Total	**8**

Notons que certaines données ne sont pas considérées ici, il s'agit des données non géocodées ainsi que de certaines données géocodées dont les densités spatio-temporelles n'ont pas pu être calculées:

- *pour la ville de Caen :* données de qualité de l'eau en entrée de zone, données de tests de bornes fontaines, de réhabilitations de conduites, données d'événements spéciaux, de changement de types d'alimentation et de nettoyages de réservoirs.
- *Pour la ville d'Egham :* données de qualité de l'eau en sortie d'usine, données de pluviosité et de température atmosphérique dans la région d'Egham
- *Pour la ville de Montréal :* données de qualité d'eau en sortie des usines de traitement.
- *Pour la ville de Laval :* données de qualité et de débit de l'eau en sorties des usines de traitement, données d'événements spéciaux (sur le réseau et aux usines de traitement), et données de programmes de rinçage.

Cependant, les densités totales des données calculées pour chacune des villes permettent tout de même d'estimer globalement la quantité d'informations visualisées lors des analyses de plaintes d'aspect sous ArcExplorer. Les densités totales des données calculées, ainsi que les proportions de plaintes expliquées de manière très probable pour chacune des villes sont illustrées à la Figure 5.5.

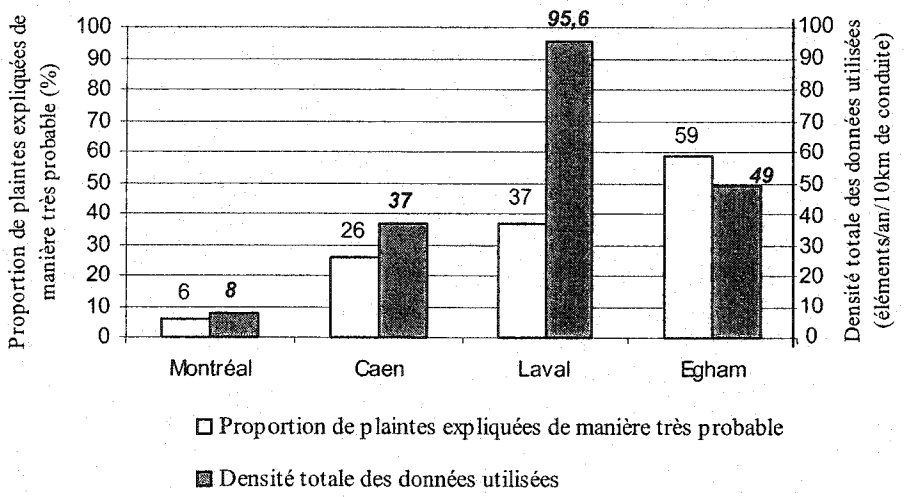


Figure 5.5. Proportions de plaintes d'aspect expliquées de manière très probable et densités spatio-temporelles des données utilisées pour les villes de Montréal, Caen, Laval et Egham.

On remarque ainsi pour les villes de Montréal, Caen et Laval, que plus la densité totale des données est importante, plus la proportion de plaintes d'aspect expliquées de manière très probable est grande. Pour la ville d'Egham, il est possible que la proportion de plaintes d'aspect expliquées de manière très probable soit biaisée par la non indépendance des plaintes étudiées, elle peut donc difficilement être comparée aux autres villes.

Même si, comme il vient d'être mentionné, les densités calculées ne prennent pas en compte l'ensemble des données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée, la corrélation observée à la Figure 5.5 pour les villes de Montréal, Caen et Laval, semble confirmer l'hypothèse que l'efficacité de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect dépend de la richesse des bases de données utilisées.

5.3.4 Analyse des types de données ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect de manière très probable

Lors de l'application de l'approche intégrée à une plainte d'aspect, une pondération est attribuée à chaque type de donnée. Cette pondération indique si le type de données en question contient un élément permettant d'expliquer la plainte de manière très probable, possible ou peu probable. Par conséquent, dans chaque ville, et pour chaque type de données, un certains nombre de pondérations très probables ont été attribuées.

Ayant observé dans la section précédente que l'efficacité de l'approche intégrée semblait être liée à la densité totale des données considérées dans chaque ville, il peut être intéressant de vérifier si le nombre de pondérations très probables attribuées à chaque type de données dépend de leurs densités spatio-temporelles respectives.

Pour cela, les nombres de pondérations très probables attribuées à chaque type de données ont été comptés pour chacune des villes de Caen, Egham, Montréal et Laval. Pour tous les types de données d'une même ville, les nombres de pondération très probables attribuées dépendent du nombre de plaintes d'aspect étudiées. En effet, le nombre de pondérations très probables affectées sera plus important dans le cas où 97 plaintes sont étudiées que dans le cas où 27 plaintes sont étudiées. Afin de pouvoir effectuer des comparaisons entre les différentes villes, les nombres de pondérations très probables attribuées aux différents types de données ont donc été extrapolés sur 100 plaintes étudiées.

Le Tableau 5.4 illustre les nombres de pondérations très probables attribuées aux types de données (extrapolés sur 100 plaintes d'aspect étudiées) pour lesquels une densité spatio-temporelle a été calculée, pour les villes de Caen et Laval.

Tableau 5.4. Nombres de pondérations très probables attribuées à différents types de données et densités spatio-temporelles relatives pour les villes de Caen et Laval.

	Type de donnée	Densités *(/an/10km de conduite)*	Nombre de pondérations très probables attribuées pour un total de n plaintes étudiées *(n=27 à Caen et n=97 à Laval)*	Nombre de pondérations très probables attribuées extrapolé pour un total de 100 plaintes
Caen	Avis de coupure d'eau	9	1	3,7
	Données de maintenance régulière	10	2	7,4
	Appels de consommateurs	18	2	7,4
Laval	Données de maintenance régulière	4	6	6,18
	Manipulation de vannes	53	21	21,7
	Manipulations de BF	37	24	24,7
	Pause de nouvelles conduites	0,2	0	0
	Réhabilitations de conduites	0,1	0	0
	Appels de consommateurs	1,3	1	1

Les villes de Montréal et Egham n'ont pas été prises en compte ici. En effet, à Montréal seulement 3 plaintes d'aspect ont été enregistrées sur les zones 3, 4 et 5, sur lesquelles les densités spatio-temporelles des différents types de données ont été calculées. Une extrapolation de 3 à 100 plaintes semblait peu fiable. Pour la ville d'Egham, les plaintes étudiées ne sont pas indépendantes les unes des autres, par conséquent, les nombres de pondérations très probables attribuées aux différents types de données sont biaisés.

La Figure 5.6 illustre la corrélation entre les densités spatio-temporelles et les nombres de pondérations très probables attribuées (extrapolé sur 100 plaintes) pour les 9 types de données présentés au Tableau 5.4.

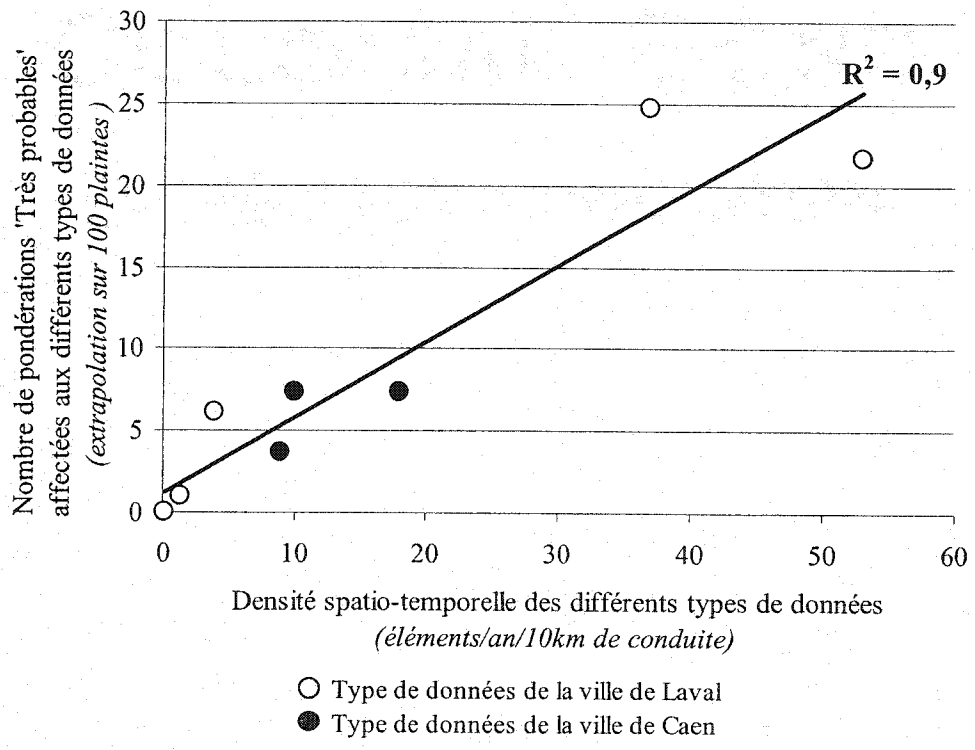


Figure 5.6. Corrélation entre les nombres de pondérations très probables attribuées et les densités spatio-temporelles de différents types de données des villes de Caen et Laval.

La corrélation observée est plutôt bonne (coefficient de détermination R^2=0,9, sur 9 points) et suggère que plus la densité spatio-temporelle d'un type de données est importante, plus le nombre de pondérations très probables qui lui sont affectées est élevé. Cela semble confirmer le fait que l'efficacité de l'approche intégrée dépend de la richesse des bases de données utilisées (section 5.3.3).

Les dispersions observées proviennent du fait que les informations contenues dans les différents types de données peuvent être plus ou moins pertinentes dans l'explication des plaintes d'aspect. Par exemple, à Caen, les données de maintenance régulière et d'appels de consommateurs ont chacune été pondérées deux fois comme très probables, alors que leurs densités spatio-temporelles respectives sont de 10 et 18 éléments/ an/ 10 km de conduites. Cela porte à penser que les informations contenues dans les données d'appels de consommateurs fournissent de manière générale moins d'indices permettant

d'expliquer les plaintes d'aspect que celles contenues dans les données de maintenance régulière.

La corrélation observée à la Figure 5.6 permet par ailleurs de souligner que les proportions de plaintes d'aspect expliquées par différents types de causes suite à l'application de l'approche intégrée dépendent de la densité des types de données ayant permis de les mettre en évidence. Par exemple, si dans une ville, la densité spatio-temporelle des données de réhabilitations de conduites est très faible par rapport à celle des données de maintenance régulière, la proportion de plaintes d'aspect expliquées de manière très probable par des réhabilitations de conduites sera plus faible que celle des plaintes d'aspect expliquées par des opérations de maintenance régulière. Par conséquent, il est très important que les densités des différents types de données utilisés reflètent au mieux les densités réelles de ces types de données, sans quoi les proportions de plaintes expliquées par différentes causes seront biaisées.

5.4 Causes à l'origine des plaintes d'aspect étudiées

L'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect étudiées dans les villes de Caen, Egham, Montréal et Laval a permis de mettre en évidence un certain nombre de causes à l'origine de ces plaintes (sections 4.2.3, 4.3.3, 4.4.2 et 4.5.3). Quelques unes de ces causes sont discutées et comparées aux résultats trouvés dans la littérature dans la première partie de cette section. L'impact des caractéristiques des conduites sur les apparitions de plaintes d'aspect sur les réseaux des villes d'Egham et Laval sera ensuite abordé. Enfin, des recommandations visant à diminuer le nombre de plaintes d'aspect dans les différentes villes étudiées sont proposées.

5.4.1 Principales causes ressorties de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect

Quelques unes des différentes causes ayant permis d'expliquer de manière très probable des plaintes d'aspect dans les villes de Caen, Montréal, Egham et Laval sont ici

discutées et comparées à celles mises en évidence par deux auteurs (Prince et al., 2001 et Wen et al., 2001). Ces causes ont été regroupées ici en trois catégories, soit les programmes de rinçage et tests de bornes fontaines à haut débit, les réparations de fuites sur le réseau, et les augmentations de consommation en réseau.

5.4.1.1 Programmes de rinçage et tests de bornes fontaines à haut débit

Les programmes de rinçage du réseau de la ville de Laval et les campagnes de tests de bornes fontaines à haut débit de la ville de Caen ont été regroupés dans cette section puisque ces deux types d'interventions impliquent l'ouverture de bornes fontaines sur des zones définies du réseau durant une période délimitée dans le temps.

Parmi les 7 plaintes d'aspect de la ville de Caen expliquées de manière très probable, 2 d'entre elles (soit 29% des cas) ont été expliquées par des tests de bornes fontaines à haut débit. Ces tests représentent la première cause responsable des plaintes d'aspect expliquées, avec les fuites repérées sur le réseau (qui ont également permis d'expliquer 2 plaintes de manière très probable) (section 4.2.3). Les tests de bornes fontaines à haut débit sont planifiés sur les différentes zones de la ville de Caen, durant certaines périodes de l'année afin de vérifier leur bon fonctionnement. Les débits de sortie varient généralement entre 30 et 265 m^3/h avec une valeur moyenne de 140 m^3/h.

Pour la ville de Laval, les programmes de rinçage ont permis d'expliquer 7 plaintes d'aspect de manière très probable sur un total de 36 (soit 19% d'entre elles). Ces programmes de rinçage sont effectués afin d'évacuer les dépôts accumulés dans les conduites du réseau.

Pour la ville d'Egham, aucune information relative à des tests de bornes fontaines ou de programmes de rinçage n'est enregistrée dans la base de données disponible. Pour la ville de Montréal, 7 tests d'écoulement de bornes fontaines sont enregistrés dans les données de maintenance régulière, cependant ils n'ont causé aucune plainte d'aspect.

Ainsi, au vu de ces résultats, il semble que lorsque des programmes de rinçage ou tests de bornes fontaines sont effectués dans de cadre de campagnes planifiées, ces

interventions ressortent parmi les principales causes permettant d'expliquer les plaintes d'aspect.

Dans la littérature, les deux études dans lesquelles sont analysées des plaintes d'aspect en réseaux semblent corroborer ces résultats. En se basant sur l'analyse des données d'opération et de maintenance, de qualité de l'eau alimentant le réseau, ainsi que sur les caractéristiques de conduites du réseau (âge, diamètre, matériau), Wen et al. (2001) sont parvenus à expliquer 68% et 81% des plaintes d'aspect enregistrées sur deux réseaux de distribution (sur un total de 124 et 130 plaintes d'aspect respectivement). Dans cette étude, les ouvertures de bornes fontaines (hot spot flushing) constituent la première cause responsable de plaintes d'aspect, et représentent respectivement 49% et 67% des plaintes d'aspect expliquées sur les deux réseaux étudiés. Prince *et al.* (2001) ont également mis en évidence les causes à l'origine de 16,6% des plaintes d'aspect dans un réseau de distribution australien (sur un total de 4718), à partir de l'analyse des données d'opération et de maintenance. Parmi les différentes causes repérées, les rinçages de conduites ou purges à l'air constituent la seconde cause ayant permis d'expliquer des plaintes d'aspect (21% des plaintes expliquées), derrière les fermetures de conduites (25% des plaintes expliquées).

Il n'est pas étonnant que les programmes de rinçage génèrent des plaintes d'aspect. En effet le but de ce genre de manipulations est de provoquer des perturbations hydrauliques suffisantes pour évacuer les dépôts accumulés dans les conduites. Ainsi, les risques d'apparition de plaintes d'aspect liées à un programme de rinçage sur la ville de Laval ont été évalués à 36 plaintes pour 100 programmes (section 4.5.7). De même, il a déjà été observé en réseau que l'ouverture d'une borne fontaine pouvait engendrer un pic de turbidité dans les conduites avoisinantes (van der Hoven et Vreeburg, 1992). Les risques d'apparition de plaintes d'aspect liées à des tests de bornes fontaines effectués sur le réseau de la zone basse de la ville de Caen ont été évalués à 11 plaintes pour 1000 tests.

Notons enfin que parmi les 7 plaintes d'aspect de la ville de Laval expliquées par un programme de rinçage, 6 ont été enregistrées le jour même du rinçage et 1 le lendemain. À Caen, parmi les 2 plaintes expliquées par des tests de bornes fontaines à haut débit, l'une a été enregistrée le jour même des tests, et l'autre le lendemain. Il semble donc qu'au delà de deux jours après la complétion de ce types d'opérations, les risques d'apparition de plaintes d'aspect soient plus limités. Cependant, selon van der Hoven et Vreeburg (1992), la turbidité en réseau suite à un programme de rinçage conventionnel (non orienté) reste encore élevée plusieurs jours après l'opération.

5.4.1.2 Réparations de fuites sur le réseau

Les réparations de fuites sur le réseau regroupent les réparations de branchement et les réparations de bris de conduites. Pour les villes de Caen, Egham et Laval, un certain nombre de plaintes d'aspect a pu être expliqué par des réparations de fuites sur le réseau. À Caen, deux plaintes ont été expliquées par ce type de cause (sur un total de 7 plaintes expliquées de manière très probable), l'une correspond à une réparation de bris de conduite et l'autre à une réparation de branchement. À Egham, deux plaintes d'aspect (émises par le même consommateur à deux jours d'intervalle) ont pu être expliquées par une réparation de bris de conduite. Et à Laval, huit plaintes ont été expliquées par des réparations de fuite (7 réparations de bris de conduite et une réparation de branchement), soit 22 % des plaintes expliquées de manière très probable.

Selon Prince *et al.* (2001), les plaintes expliquées par des bris de conduites, branchements ou bornes fontaines représentent 18% de l'ensemble des plaintes d'aspect expliquées (soit plus de 780 cas). Pour Wen *et al.* (2001) les réparations de fuites n'apparaissent pas directement parmi les causes mentionnées, mais elles semblent être inclues dans la catégorie 'accidents', qui représente 14% des plaintes expliquées sur le réseau B, et aucune sur le réseau A.

Le fait que les réparations de fuites provoquent des plaintes d'aspect peut s'expliquer soit par les perturbations hydrauliques provoquées, soit par une intrusion de matière dans

le réseau lors des travaux. Cependant, rien ne permet de savoir lequel de ces deux phénomènes est le plus fréquent.

5.4.1.3 Augmentations de la consommation réseau

Les augmentations de consommation ont permis d'expliquer 7 plaintes parmi les 36 expliquées de manière très probable (19%) pour la ville de Laval. Ces augmentations ont été estimées à partir des mesures de débit aux usines. Il a déjà été observé que des remises en suspension de dépôts pouvaient être observées lors de périodes de fortes consommations, provoquant des pics de turbidité pouvant atteindre jusqu'à 10 UTN (Harmant *et al.*, 2000). Van der Hoven et Vreeburg (1992) admettent également qu'il est possible que les perturbations hydrauliques causées par les augmentations de consommation soient à l'origine de remises en suspension de dépôts dans le réseau. A Egham, des augmentations de consommation présumées ont également permis d'expliquer 3 plaintes d'aspect sur les 10 expliquées de manière très probable. Ces augmentations de consommation ont été supposées en se basant sur l'évolution de la température atmosphérique de l'air dans la région d'Egham. Prince et al (2001) ont mis en évidence que le nombre de plaintes d'aspect enregistré sur un réseau australien augmentait avec la température atmosphérique. Selon les auteurs, la cause sous-jacente serait la hausse de consommation d'eau dans le réseau due à l'augmentation de la température atmosphérique.

5.4.2 Influence des types de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect

Pour les réseaux des villes d'Egham et de Laval, l'impact des caractéristiques de conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect a été estimé. Cet impact se traduit par une densité exprimée en nombre de plaintes par km de conduite (tel qu'expliqué en section 3.4.2). De la même façon que les quantités de plaintes d'aspect enregistrées (section 6.3.1), ces densités ne sont pas comparables d'une ville à une autre.

Il est ressorti de cette étude que les conduites en fonte grise semblent plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect. Ainsi, sur le réseau de la ville de Laval, les conduites

en fonte grise ont une densité de plaintes de 12 plaintes pour 100 km de conduites contre 8, 5 et 3 pour celles en acier, plastique et fonte ductile respectivement. De même pour le réseau d'Egham, les densités de plaintes sur les conduites en fonte grise sont de 37 plaintes pour 100 km de conduites contre deux pour les conduites en plastique. Aucune plainte n'a été enregistrée sur des conduites en fonte ductile. Il a déjà été montré que les conduites en fonte grise pouvaient être responsables de phénomènes d'eau rouge à l'origine de plainte d'aspect sur les réseaux de distribution (Boireau et al. 2000). Carrière (2002) a pu mettre en évidence, lors de la caractérisation des dépôts évacués par des procédures de rinçages unidirectionnels sur le réseau de Jonquière (Québec), que les dépôts accumulés dans les conduites en fonte grise étaient 7 fois plus important que dans les conduites de PVC. Selon ce même auteur, il est très probable que les dépôts accumulés dans les conduites de PVC proviennent de conduites en fonte du réseau (présence de fer dans les dépôts). Ce qui peut également expliquer l'apparition de plaintes d'aspect sur des conduites de PVC.

Il est également ressorti de l'étude de l'influence des types de conduites que les densités de plaintes enregistrées sur les conduites de diamètre 75 mm, 125 mm et 175 mm du réseau d'Egham diminuent lorsque le diamètre augmente. Ces conduites sont constituées en majorité de fonte grise (respectivement 100%, 97% et 100% de leur longueur totale), par conséquent le type de matériau ne biaise pas ici l'influence observée du diamètre de conduites. Les conduites de diamètre 100mm ont quant à elles une densité de plaintes plus faible que celles de diamètre 125 mm (respectivement 12 et 55 plaintes/100km de conduite). Ces conduites sont à 52% en fonte grise et 43% en plastique (4% en ciment et 1% en fonte ductile), ce qui explique en partie cette plus faible densité. Pour la ville de Laval, l'influence du diamètre des conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect n'a pas pu être montré. Cependant il n'est pas surprenant que le nombre de plaintes enregistrées sur des conduites de petit diamètre soit plus élevé que sur les conduites de gros diamètre. En effet, pour une variation de débit ΔQ dans une conduite, la variation de vitesse ΔV

engendrée sera de $\Delta V = \Delta Q/S$, avec S la surface de section de la conduite. Donc cette variation relative de vitesse diminue à mesure que la surface S augmente. Par conséquent, lorsqu'un incident sur le réseau (ouverture de BF, réparation de conduite, manipulation de vanne, etc.) provoque une variation de débit dans une conduite, les variations des vitesses d'écoulement seront plus importantes dans les conduites de petit diamètre que dans les autres, ce qui engendre un plus grand risque de remise en suspension des dépôts et donc d'apparition de plaintes d'aspect. De plus, pour une même quantité de dépôts remis en suspension, la turbidité de l'eau dans une conduite de gros diamètre sera plus faible que dans une conduite de faible diamètre. Le facteur de dilution est en effet plus important dans les grosses conduites que dans les petites, du fait des plus gros volumes d'eau qu'elles contiennent. Cependant, il est possible que pour une même longueur totale de conduites, un nombre plus important de consommateurs soient branchés sur des conduites de diamètre 150 mm que sur celles de diamètre 300mm. Ce paramètre peut jouer un rôle sur le fait que les densités de plaintes calculées pour 100 km de conduites sont plus importantes sur les conduites de diamètre 150 mm que sur celles de diamètre 300mm.

L'influence de l'âge des conduites sur l'apparition de plaintes d'aspect n'a quant à elle pas pu être montrée.

5.4.3 Recommandations pour diminuer les plaintes consommateurs

Afin de réduire les plaintes de consommateurs relatives à l'aspect de l'eau en réseaux de distribution, il est possible d'agir à deux niveaux. Tout d'abord au niveau de la quantité de dépôts accumulés dans les conduites. Et par ailleurs, au niveau des différentes opérations effectuées sur le réseau.

5.4.3.1 Réduire la quantité de dépôts accumulés dans les conduites

Le fait que les conduites en fonte grise se sont révélées être les plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect (section 5.4.2) et qu'il a déjà été montré que ce même type de conduites est caractérisé par des quantités de dépôts plus importantes (Carrière,

2002) peut porter à penser que la présence de dépôts dans les conduites a un impact sur la quantité de plaintes d'aspect enregistrées.

Par conséquent, dans le but de diminuer les plaintes d'aspect sur un réseau, une première action peut consister à réduire la quantité de dépôts dans les conduites. Pour cela, il est possible d'agir à deux niveaux :

- *limiter la formation de dépôts dans les conduites :* cet objectif n'est pas forcément simple à réaliser. Les moyens à mettre en œuvre varient d'un réseau à un autre en fonction de la provenance des dépôts (qui peut être déterminée par leur caractérisation). Cela peut consister à modifier la filière de traitement ou encore à limiter les problèmes de corrosion des conduites (section 2.3.2).
- *Évacuer les dépôts accumulés dans les conduites :* c'est dans cette optique que les opérations de rinçage des conduites sont généralement entreprises. Deux types de rinçages sont communément employés, soit les rinçages traditionnels, et les rinçages unidirectionnels. Il semble que les rinçages unidirectionnels soient plus efficaces quant à l'enlèvement des dépôts et à la réduction des plaintes d'aspect enregistrées (section 2.3.3). Cependant, il est ressorti de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect que les rinçages unidirectionnels effectués sur le réseau de la ville de Laval génèrent des plaintes d'aspect lors de leurs mises en œuvre. Afin d'éviter cela, plusieurs auteurs s'accordent à dire qu'il est important de prévenir les consommateurs avant d'effectuer ces programmes (Pizzi, 1996 ; Friedman *et al.*, 2002 ; Antoun *et al.*, 1999 ; Shah *et al.*, 2001).

5.4.3.2 Agir au niveau des interventions effectuées sur le réseau

L'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect dans les villes de Caen, Egham et Laval a permis de mettre en évidence que certaines interventions effectuées sur les réseaux pouvaient générer des plaintes d'aspect. Parmi ces interventions, il est important de distinguer celles qui sont planifiées à l'avance, de celles qui sont accidentelles (généralement liées à des réparations de fuites). Il semble à priori plus

difficile d'agir sur les interventions accidentelles, puisqu'il est impossible de déterminer le lieu de leur apparition ni l'ampleur des travaux qu'elles impliquent. En revanche, pour les interventions planifiées, (telles que les réhabilitations ou installations de conduites, les campagnes de tests de bornes fontaines à Caen, les manipulations de vannes et bornes fontaines à Laval, etc.), il est possible d'agir. La première action pourrait consister à prévenir autant que possible les consommateurs situés dans les secteurs où seront effectuées les interventions. Notons que cette opération peut être facilitée par l'utilisation d'un système d'information géographique (section 2.4.3). Par ailleurs, lorsque des programmes de rinçage unidirectionnels sont régulièrement effectués sur le réseau, il peut être intéressant d'essayer de planifier les interventions à venir sur des zones qui ont été rincées précédemment, afin de diminuer les risques de remise en suspension de dépôts.

CHAPITRE 6 CONCLUSIONS

Ce travail s'est inscrit au départ dans le cadre d'un projet de la chaire CRSNG en eau potable dans lequel l'approche intégrée utilisée ici a été développée pour les réseaux des villes de Montréal et Laval au Québec, Moncton au Nouveau Brunswick, Egham en Grande Bretagne, et Caen en France, dans le but de mettre en évidence les causes à l'origine des échantillons positifs en coliformes sur les réseaux. Ce projet de maîtrise a consisté dans un premier temps à participer à la mise en place de l'approche intégrée pour la ville de Caen (géocodage des données) et à son application à l'étude des cas d'apparitions de coliformes et bactéries cultivables dans le réseau. Mais l'objectif principal de ce projet est d'évaluer les performances d'une approche intégrée appliquée à l'étude de plaintes d'aspect en réseaux de distribution d'eau potable. Pour cela, une approche intégrée a été appliquée à des plaintes d'aspect enregistrées sur les réseaux des villes de Caen (France), Egham (Grande Bretagne), Montréal et Laval (Canada).

Le géocodage des données de la ville de Caen a permis d'attribuer des coordonnées (x,y) à plus de 99% des éléments à géocoder. La majorité des données géocodées (56,1%) ont été géocodées avec une bonne précision spatiale et une bonne rapidité de mise en œuvre (géocodage par numéro civique exact). La précision spatiale du géocodage est approximative lorsqu'il est effectué par centre de rue (20,5% des données géocodées), néanmoins cette méthode a permis d'éviter la perte des données pour lesquelles seul un nom de rue permettait la localisation. Pour 82% des données géocodées par centre de rue, l'erreur maximale de positionnement est de 500m (ou de 200m pour 50% des données).

L'application de l'approche intégrée à la qualité microbiologique de la ville de Caen a permis d'expliquer de manière très probable tous les cas d'apparition de coliformes survenus sur le réseau de distribution (trois cas au total) ainsi que trois cas survenus au

réservoir Moulin au Roy (sur un total de huit). Les différentes causes à l'origine de ces événements sont la contamination de l'eau souterraine alimentant le réseau, des perturbations majeures supposées être intervenues sur le réseau (repérées à partir des données d'appels de consommateurs), ainsi qu'une campagne de test de bornes fontaines à haut débit. Au cours de cette même étude, 24 événements de bactéries cultivables (BHAA 22°C et BHAA 37°C) ont été étudiés. Certains étaient associés à des événements coliformes tandis que 7 cas (5 le 11 septembre 2000, 2 le 2 octobre 2000) ont pu être expliqués par des changements de type d'alimentation de la zone.

L'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect a permis d'expliquer respectivement 59%, 37%, 26% et 6% des plaintes d'aspect étudiées dans les villes d'Egham, Laval, Caen et Montréal. Parmi les plaintes d'aspect non expliquées figurent probablement celles qui sont dues à des problèmes relatifs aux réseaux privés des consommateurs, qui ne pouvaient pas être expliquées via les bases de données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée. À l'exception de la ville de Montréal, les proportions de plaintes expliquées semblent assez satisfaisantes si l'on considère qu'à l'origine les bases de données utilisées n'ont pas été construites dans le but d'étudier des plaintes d'aspect.

Les bases de données utilisées lors de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de chacune des villes considérées ont été caractérisées en terme de densité spatio-temporelle d'informations disponibles (nombre d'éléments/an/10km de conduites). Il est ressorti de cette analyse que la proportion de plaintes ayant pu être expliquées semble augmenter avec la densité spatio-temporelle totale des informations disponibles dans la base de données. Cela a été observé pour les villes de Montréal, Caen et Laval, pour lesquelles les densités spatio-temporelles des données calculées sont respectivement de 8, 37 et 95,6 élément /an/10km de conduite. La faible proportion de

plaintes d'aspect expliquées à Montréal (6%) peut donc en partie s'expliquer par la faible densité spatio-temporelle des informations disponibles.
Par ailleurs, une analyse plus détaillée des bases de données a permis de montrer que plus la densité spatio-temporelle d'un type de données est élevée, plus les plaintes d'aspect expliquées grâce à ce type de données sont nombreuses. Par conséquent, il est important que les différents types de données soient les plus complets possibles afin que l'efficacité de l'approche intégrée soit optimale.

Parmi les différentes causes très probable identifiées dans chacune des villes, figurent les programmes de rinçage, les tests de bornes fontaines à haut débit, les réparations de fuites sur le réseau, les augmentations de la consommation d'eau dans le réseau, les manipulations de vannes et de bornes fontaines, et le passage de turbidité à travers la barrière de traitement. La proportion de ces différents types de causes varie dans chacune des villes étudiées, ce qui n'est pas étonnant puisque les caractéristiques de ces réseaux et de leurs modes de gestion sont différents. Il est par ailleurs ressorti de cette étude que les conduites en fonte grise semblent être plus propices à l'apparition de plaintes d'aspect.

L'application de l'approche intégrée a donc permis d'expliquer des proportions non négligeables de plaintes d'aspect dans les villes de Caen, Egham et Laval. Mais ces proportions peuvent probablement augmenter si les bases de données sont construites dans le but de permettre l'application d'une approche intégrée. Cette étude montre également l'intérêt d'étudier les plaintes d'aspect, puisque leur analyse a permis de mettre en évidence les impacts de certaines opérations ou événements sur la qualité esthétique de l'eau distribuée. Il va donc dans l'intérêt des gestionaires de réseaux d'enregistrer au mieux ces appels, afin de pouvoir en tirer des informations pertinentes quant au fonctionnement de leurs réseaux de distribution.

Enfin, il est possible d'imaginer que la mise en place d'une approche intégrée se basant sur une base de données mise à jour en continu pourrait permettre de répondre directement aux consommateurs émettant les plaintes d'aspect.

RÉFÉRENCES

ABASQ, P. (1997) Enquête sur les résultats d'analyses de "conduites neuves" en Loire-Atlantique. *Cahiers de l'Association Européenne pour l'Eau et la Santé.* Volume2, no. 1. pp.37-42.

AINSWORTH, R.G. (1978) Discoloured water in distribution systems. *Compte rendu de Conf. Annuelle AWWA.* Atlantic City, New Jersey. 12p.

ALERE, I. (1997) Aspects of water quality dynamics in drinking water distribution systems. *Licentiate Thesis.* Lulea University of Technology. Lulea, Suede. 52p.

ANTOUN, E. N., DYKSEN, J.E., HILTEBRAND, D.J. (1999) Unidirectional flushing: a powerful tool. *Journal of AWWA.* Volume 91, no. 7. pp.62-71.

APHA, AWWA, WEF (1998) Standard Methods for the examination of water and waste water, 20th edition. Edited by Lenor S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton.

ARAMINI, J., MCLEAN, M., WILSON, J., HOLT, J., COPES, R., ALLEN, B. et SEARS, W. (2000) Drinking water quality and health care utilization for gastrointestinal illness in greater Vancouver. Health Canada, 78p. http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/bch_pubs/vancouver_dwq.htm

BARBEAU, B., JULIENNE, K., GAUTHIER, V., MILLETTE, R. et PRÉVOST, M. (1999) Dead-end flushing of a distribution system: short and long term impacts on water quality. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC.* Tampa. 13p.

BEAUDEAU, P., PAYMENT, P., BOURDERON, D., MANSOTTE, F., BOUDHABAY, O., LAUBIÈS, B. et VERDIÈRE, J. (1999) A time series study of anti-diarreheal drugsales and tap water quality. *International Journal of Health Research*. No. 9. pp.293-311.

BESNER, M.C. (1999). Influence des paramètres structurels et opérationnels sur la qualité de l'eau dans un réseau de distribution. *Mémoire de maitrise.* École Polytechnique de Montréal. Montréal, Canada. 141p.

BESNER, M.C., GAUTHIER, V., BARBEAU, B., MILLETTE, R., CHAPLEAU, R. et PREVOST, M. (2001a). Understanding distribution system water quality. *Journal of AWWA*. Volume 97, no 3. pp. 101-114.

BESNER, M.C., GAUTHIER, V., TRÉPANIER, M., PRÉVOST, M. (2001b) Developement of an interactive anaylser to identify sources of water quality problems in distribution systems. *Compte rendu de conf. EWRI World Water and Environmental Resources Congress (ASCE), Water Distribution Systems Analysis Symposium*. Orlando, FL. 8p.

BOIREAU, A., MOUSTY, P., PROUCELLE, G. et MERCIER, B. (2000) Diagnostic du réseau de distribution de la ville de Perignan suite à des phénomènes d'eaux rouges. *Technique Sicence et Méthode.* no. 11. pp.37-41.

BOUDERESQUE, P. (1985) Dégradation et corrosion des réseaux de distribution d'eau; symptômes et diagnostics. *Technique Sicence et Méthode- l'eau.* Volume 80, no.10. pp. 427-437.

BRAZOS, B. J. et O'CONNOR, J.T. (1996) Seasonal effects on generation of particle-associated bacteria during distribution. *Journal of Environmental Engineering.* pp.1050-1057.

BUCKLIN, K.E, MCFETERS, G.A et AMIRTARAJAH, A. (1991) Penetration of coliforms through municipal drinking water filters. *Water Research.* Volume 25, no. 8. pp 1013-1017.

CAMPER, A. K., BROADWAY, S.C., LECHEVALLIER, M.W. et MCFETERS, G. (1987) Operational variables and the release of colonized granular activated carbon particles in drinking water. *Journal of AWWA.* Volume 79, no. 5. pp.70-73.

CARRIÈRE, A. (2002) Mesure de l'accumulation des dépôts dans les conduites d'eau potable et évaluation de la méthode de rinçage unidirectionnel pour les évacuer. *Mémoire de maitrise.*Montréal, Canada. 147p.

CHERVENAK, D.L. (2001) Main break flushing and sampling. *Compte rendu de conférence AWWA-DSS.* SanDiego, CA. 6p.

CHICOT, L. et MOLLON, A. (2000) Success factors to implement GIS clues and tricks from Générale des Eaux background. *Water supply-IWSA.* Volume 18, no. 4. pp. 91-95.

CORDONNIER, J., MADIEC, H., ZIEGLER, O., SOUKATCHOFF, P. et LEROY, P. (2000) Diagnostique d'un réseau ancien en fonte grise et protection des parois par traitement d'eau. *Technique Science et Méthode.* no. 11. pp. 42-47.

COSSINS, F., HARTMAN, D.J. et SMITH, G. (1999) The Cincinnati water works' unidirectional flushing pilot program: impact on water quality and customer complaints. *Compte rendu de conf. annuelle AWWA*. Chicago, Illinois. 15p.

COSTELLO, J. (1984) Postprecipitation in distribution systems. *Journal of AWWA*. Volume 76, no. 11. pp. 46-49.

DEROSA, S. (1993) Loose deposits in water mains. Report No: DoE 3118-/2. London, UK. 161p.

DODRILL, D.M. et EDWARDS, M. (1995) Corrosion control on the basis of utility experience. *Journal of AWWA*. Volume 87, no.7. pp.74-85.

DOUGLAS, B.D., MERRIL, D.T. et CATLIN, J.O. (1996) Water quality deterioration from corrosion of cement-mortar linings. *Journal of AWWA*. Volume 88, no. 7. pp 99-107.

FRIEDMAN, M., KIRMEYER, G. et ANTOUN, E. (2002) Developing and implementing a distribution system flushing program. *Journal of AWWA*. Volume 94, no.7. pp.48-56.

GAUTHIER, V., ROSIN, C., MATHIEU, L., PORTAL, J.-M., BLOCK, J.-C., CHAIX, P. et GATEL, D. (1996) Characterization of the loose deposits in drinking water distribution systems. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. Boston. 14p.

GAUTHIER, V. (1998) Les particules dans les réseaux d'eau potable : caractérisation et impact sur la qualité de l'eau distribuée. *Thèse de doctorat*. France.189 p.

GAUTHIER, V., GÉRARD, B., PORTAL, J.M., BLOCK, J.C et GATEL, D. (1999) Organic Matter as Loose Deposits in a Drinking Water Distribution System. *Water Research*. Volume 33, no. 4. pp 1014-1026.

GAUTHIER, V., BESNER, M.C., BARBEAU, B., MILLETTE, R. et PRÉVOST, M. (2000) Storage tank management to improve drinking water quality : case study. Journal of Water Resources Planning and Management. Volume 126, no.4. pp.221-228.

GAUTHIER, V., BARBEAU, B., TREMBLAY, G., MILLETTE, R. et BERNIER, A.-M. (2001a) Evaluating turbidity transit throughout a distribution system. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. Nashville, Tennessee. 10p.

GAUTHIER, V. , BESNER, M.C, TRÉPANIER, M., MILLETTE, R. et PRÉVOST, M. (2001b) Tracking the source for microbial contamination in distribution systems using an integrated approach *Compte rendu de Conf. AWWA WQTC*. Nashville, Tennessee. 14p.

GONZALEZ, F.C. et DELGADO, F.J.F. (2000) Managing anomalies and customer care with a GIS. *Water supply-IWSA*. Volume 18, no. 4. pp 62-76.

GOUVERNEMENT D'AUSTRALIE (2001) Australian drinking water guidelines. Fichier informatique. URL http://www.nhmrc.gov.au/publications/pdf/eh19.pdf

GOUVERNEMENT DU CANADA (2001) Guidelines for Canadian drinking water quality. Fichier informatique. URL
http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/bch_pubs/dwgsup_doc/dwgsup_doc.htm

GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO (2001) Ontario drinking water standards. Fichier informatique. URL http://www.city.brantford.on.ca/Engineering_/watertreatment/ontariodrinkingw-standards.pdf

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2001) Règlement sur la qualité de l'eau potable. Fichier informatique. URL http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/reglement-eau-potable.pdf

GRANT, N. B. (2000) Customer service in 2050. *Journal of AWWA*. Volume 92, no. 1. pp 72-73.

HARMANT, P., DELAUNAY, C. et KIÉNÉ, L. (1999) Optimization of flushing programs. *Compte rendu de Conf. annuelle AWWA*. Chicago, Illinois. 11p.

HARMANT, P., ECHAVIDRE, P., ROBERT, S., CORDONNIER, J. et KIÉNÉ, L. (2000) Water quality modeling to prevent discolored water in distribution networks: a case study in France. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. Salt Lake City, . 15p.

HEINONEN, T. (2000). Use of GIS at Helsinski Water. *Water supply-IWSA*. Volume 18, no. 4. pp. 1-7.

HERSON, D.S., MCGONIGLE, B., PAYER, M.-A. et BAKER, K.H. (1987) Attachment as a factor in the protection of enterobacter cloacae from chlorination. *Applied and Environmental Microbiology*. Volume 53, no. 5. pp.1178-1180.

HONG, A. et MACAULEY, Y.Y. (1998) Corrosion and leaching of copper tubing exposed to chlorinated drinking water. *Water air and Soil Pollution*. no. 108. pp. 457-471.

HURD, R.E. (1993) Consumer Attitude Survey On Water Issues. *Rapport AWWARF*. Denver, Colorado.146p.

JONES, L.V. (1987) Main cleaning and disinfection. Distribution System Maintenance Techniques. pp.66-81.

JONES, J.G. et TUCKWELL, S.B. (1993) Aesthetic aspects of drinking water quality – what do our customers want? *Water supply*. Volume 11. no.3-4. pp 37-51.

KIRWAN, K. (2001) Capturing hydrant inspection data utilizing Palm Technology. *Compte rendu de conf. AWWA-DSS*. San Diego, California. 10p.

KUEHN, E., CODDINGTON, D., SHEETS, M. et HENDRYX, K. (2001) No discharges allowed! Initiating a unidirectionel flushing program under surface water and CSO discharge limitations. *Compte rendu de conf. AWWA-DSS*. San Diego, California. 20p.

LECHEVALLIER, M.W., BABCOCK, T.M. et LEE, R.G. (1987) Examination and characterization of distribution system biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*. Volume 53, no.12. pp.2714-2724.

LECHEVALLIER, M.W. et NORTON, W.D. (1992) Examining relationship between particle counts and giardia, cryptosporidium and turbidity. *Journal of AWWA*. Volume 84, no. 12. pp 54-60.

LECHEVALLIER, M.W. (1999) The case for maintaining a disinfectant residual. *Journal of AWWA*. Volume 91, no. 1. pp.86-94.

MAYDATCHEVSKY, G. (2000) Présence de « sable » et/ou d'eau rouge dans les circuits de distribution d'eau froide et chaude sanitaire. *Technique Science et Méthode, Génie Urbain – Génie Rural*. no. 9. pp 79 – 84.

MCCORLEY, S. (2000) GIS applications at Bergen Water. *Water Supply-IWSA*. Volume 18, no. 4. pp 24-30.

MCCOY, W.F. et OLSON, B.H. (1986) Relationship among turbidity, particle counts and bacteriological quality within water distribution lines. *Water Research*. Volume 20, no. 8. pp1023-1029

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS FRANÇAIS (1999) Systèmes d'information géographique pour la gestion et l'aménagement urbain. Fichier informatique. URL http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/cdu/accueil/bibliographies/sig/intro.htm

MORRIS, R.D., NAUMOVA, E.N., LEVIN, R. et MUNASINGHE, R.L. (1996) Temporal variation in drinking water turbidity and diagnosed gastroenterits in Milwaukee. *American Journal of Public Health*. Volume 86, no. 2. pp. 237-239.

MOUCHET, P., MONTIEL, A. et RIGAL S. (1992) Dégradations physico-chimiques de l'eau dans les réseaux de distribution. *Technique Science et Méthode - l'eau*. Volume 84, no.6. pp.299-306.

NDIONGUE, N., DESJARDINS, R., PRÉVOST, M. et MORISSETTE, C. (1999) Évolution de particules dans l'eau filtrée d'une filière de filtration directe utilisant le polychlorure d'aluminium. *Canadian journal of civil Engineering*. No 26. pp. 771- 781.

OLIVER, E.D. et HARBOUR, J.D. (1995) Speciation of total coliforms isolated from sediments in brown water released during a flushing program undertaken by the Seattle water department. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. pp.1487-1498. New Orleans.

PINOT, O. (2000) Impact d'une vidange orientée sur la qualité de l'eau de la zone 4 de la ville de Montréal. *Projet de fin d'études*. École Polytechnique de Montréal. Montréal, Canada. 65p.

PIZZI, N. (1996) Optimizing distribution system operations. *Opflow*. Volume 22, no. 11. pp.3-6.

PRINCE, R. et MCMANUS, K. (1999) Are dirty water customer complaints an appropriate key performance indicator? *3rd Annual Australian Environmental Research Event*. pp.6. Castlemaine, Australia. 6p

PRINCE, R., MCMANUS, K. et GOULTER, I. (2000) Colour, turbidity levels and dirty water customer complaints- water system performance indicators? *10th World Water Congress*. Melbourne, Australia. 8p.

PRINCE, R., GOULTER, I. et RYAN G. (2001) Relationship between velocity and turbidity problems in distribution systems. *Compte-rendu de conférence EWRI-ASCE*. Orlando. 9p.

RIZET , COIN , CHÉDAL , MONTIEL et TRICARD (1990) Qualité de l'eau dans les grands réseaux de distribution. *Technique Sicence et Méthode- l'eau.* Volume 85, no. 11. pp.561-594.

ROGERS, D., FANTOZZI, M. et CERONI, S. (2000) Hydraulic models and GIS-A perfect mariage. *Water supply-IWSA.* Volume 18, no 4. pp 40-45.

ROMPRÉ, A., PRÉVOST, M., BÉDART, E., BRISEBOIS, P., LAVOIE, J. et LAFRANCE P. (1997) Sélection d'une stratégie de contrôle de la corrosion : Essais en laboratoire. *Compte rendu AQTE, 9ème Atelier sur l'eau potable.* Montréal, Canada. 14p.

SCHWARTZ, J., LEVIN, R. et HODGE, K. (1997). Drinking water quality and pediatric hospital use for gastrointestinal illness in Philadelphia. *Epidemiology.* Volume 8, pp 615-620.

SCHWARTZ, J. et LEVIN, R. (1999) Drinking water turbidity and health. *Epidemiology.* Volume 10, no. 1. pp 86-90.

SHAH, B.J., LAKIN, D., SINGH, S.P., RAVAL, S.M. et GRIMES, M. (2001) Hydrant flushing improves water quality. *Water Engineering and Management.* juin-01. pp.24-25.

SHINDLER, D. et FARLEY, M. (2000) Linking network operations and leakage management to GIS. *Water supply-IWSA.* Volume 18, no. 4. pp 54-61.

SLY, L.I., HODGKINSON, M.C. et ARUNPAIROJANA, V. (1990) Deposition of manganese in a drinking water distribution system. *Applied and Environmental Microbiology.* Volume 56, no. 3. pp.628-639.

SMITH, S.E., COLBOURNE, J.S., HOLT, D.M., LLOYD, B.J. et BISSET, A. (1996) An examination of the nature and occurrence of deposits in a distribution system and their effect on water quality. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. Boston. 12p.

SMITH, S.E., TA, T., HOLT, D.M., DELANOUE, A. et COLBOURNE, J.S. (1998) Minimising red water in drinking water distribution systems. *Compte rendu de Conf. AWWA-WQTC*. San Diego, California. 13p.

SNOEYINK, V.L. et WAGNER, I. (1996) Principles of corrosion of water distribution systems. *In Internal Corrosion of Water Distribution Sstems-AWWARF Report 90508*. Denver, Colorado. pp.1-28.

STANDFORD, M. (2000) Why public involvement is important. *Journal of AWWA*. Volume 92, no. 1. pp. 72-73.

USEPA (1998) Code of Federal Regulations, 40, Part 141 - National primary drinking water regulations. Fichier informatique. URL http://www.epa.gov/safewater/regs.html.

VAN DER HOVEN, J.J. et VREEBURG, J.H.G. (1992) Distribution system analysis by continuous monitoring and network calculation. *Water Supply*. Volume 10. pp.117-124

VOLK C., DUNDORE E., SCHIERMANN J. et LECHEVALLIER M. (2000) Practical evaluation of iron corrosion control in a drinking water distribution system. *Water Research*. Volume 34, no. 6. pp.1967-1974.

WALSKI, T.M. (1991) Understanding solids transport in water distribution systems. *Compte rendu de Conf. annuelle AWWA*. Cincinnati, Ohio. 5p.

WEN, J., BUSUEGO, E., BLEEMERS, A. et LONG, J. (2001) Reduce customer complaints through control of water quality in distribution system. *Compte rendu de conf. AWWA-DSS.* San Diego, California. 7p.

WILLIAMS, M. et SHAH, H. (2000) An integrated IT platform for managing water distribution and sewerage networks. *Water supply-IWSA.* Volume 18, no. 4. pp 31-39.

ZACHEUS, O.M., LEHTOLA, M.J., KORHONEN, L.K. et MARTIKAINEN P.J. (2001) Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks. *Water Research.* Volume 35, no. 7. pp.1757-1765.

ANNEXES

ANNEXE A :

DESCRIPTION DES PLAINTES D'ASPECT ÉTUDIÉES POUR LES VILLES DE CAEN, EGHAM, MONTRÉAL ET LAVAL

Tableau A1 : Plaintes d'aspect étudiées situées sur la zone basse du réseau de distribution de la ville de Caen

Date de la plainte	Rue de la plainte	Nature de la plainte
98-01-30	rue de Bayeux	Problème aspect
98-03-09	fosses saint julien	Aspect couleur
98-03-26	rue Roger bastion	Aspect couleur
98-04-06	place Maurice Fouque	Aspect couleur
98-05-11	avenue du calvados	Aspect couleur
98-05-12	rue Ste Anne	Aspect couleur
98-05-27	rue neuve bourg l'abbé	Aspect couleur
98-06-05	avenue du calvados	Aspect couleur
98-06-05	rue du havre	Problème aspect
98-06-08	rue du havre	Aspect couleur
98-10-01	rue de l'oratoire	Aspect couleur
99-04-29	rue Gemare	Problème aspect
99-06-23	av. de la Libération	Aspect couleur
99-06-24	rue de la monnaie	Aspect couleur
99-07-07	rue Pierre Mancel	Aspect couleur
99-08-16	rue Roger Bastion	Aspect sable
99-08-26	rue Guilbert	Aspect couleur
99-09-22	rue de la Prévoyance	Aspect couleur
99-09-29	esplanade J.M Louvel	Aspect couleur
99-09-29	av. de la Libération	Aspect couleur
99-09-29	rue des frères Boutrois	Aspect couleur
99-09-29	cours Caffarelli	Aspect couleur
99-10-04	place de la Résistance	Aspect couleur
00-02-16	esplanade de la paix	Aspect couleur
00-06-03	rue Guillaume le Conquérant	Aspect couleur
00-06-08	avenue Victor Hugo	Aspect couleur
00-08-03	rue de Vaucelles	Aspect couleur
00-09-11	place Maréchal Foch	Problème aspect
00-10-24	rue du 11 novembre	Aspect bulles
00-10-24	rue St Manvieu	Aspect couleur
01-06-12	bd. Maréchal Leclerc	Aspect couleur

Tableau A2 : Plaintes d'aspect étudiées situées sur le réseau de distribution de la ville d'Egham

Date de la plainte	Rue de la plainte	Nature de la plainte	Détails supplémentaires sur la plainte
98-03-12	Grove Lane	eau blanche	Air dans l'eau, expliqué par les travaux effectués cette semaine sur un bris de conduite (5pouces)
98-03-14	Grove Lane	eau blanche	le consommateur ayant émis la plainte du 12 mars rapporte toujours qu'il y a de l'air dans l'eau.
98-04-14	Blackmoor Wood	eau sale, colorée	Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet pendant 15-30 minutes, et de rappeler si l'eau reste sale, colorée
98-07-18	Mushroom Castle	eau sale, colorée	Eau sale. Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet pendant un moment
98-07-19	New Road	eau sale, colorée	Eau brunâtre. Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet pendant 20 minutes
98-08-08	Asher Drive	eau sale, colorée	Tests de BF effectués par les pompiers
98-08-09	Brockenhurst Rd.	eau sale, colorée	Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet pendant 25 à 30 minutes
99-03-17	Church Road	faible pression	Faible pression, eau colorée
99-04-20	Priory Road	qualité générale de l'eau	Eau imbuvable, nuageuse et huileuse. Le consommateur souhaite une analyse de son eau.
99-09-24	The Avenue	qualité générale de l'eau	Eau jaune. Le consommateur va laisser couler l'eau de son robinet et nous le rappellerons plus tard.
99-10-19	New Road	eau sale, colorée	Eau sale
99-11-15	New Road	eau sale, colorée	Eau sale après notre fermeture aujourd'hui. Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet jusqu'à ce que l'eau redevienne claire, et de rappeler si le problème persistait.
99-11-16	New Road	eau blanche	Air dans l'eau après la fermeture effectuée hier. Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau du robinet jusqu'à ce qu'elle redevienne clair
99-11-17	New Road	eau blanche	Eau blanche après les travaux prévus pour le lundi 15
99-11-17	New Road	eau blanche	L'eau n'est toujours pas claire après les travaux effectués lundi. Il a été conseillé au consommateur de laisser couler l'eau de son robinet pendant 15-30 minutes, et de rappeler si l'eau reste blanche .
99-11-18	New Road	eau blanche	Le consommateur ayant émis la plainte du 17 novembre rapporte qu'il y a encore de l'air dans l'eau. Envoyer quelqu'un pour analyser l'eau.
99-12-13	Chavey Down Rd.	Information, conseil	

Tableau A3 : Plaintes d'aspect étudiées situées sur le réseau de distribution de la ville de Montréal

Date de la plainte	Nature de la plainte	Rue de la plainte	Détails supplémentaires sur la plainte
97-04-24	Particules-Couleur	Sherbrooke	Dépôts verts dans l'eau
97-09-03	Particules-Couleur	S. Marc	Particules noires dans l'eau
97-11-07	Particules-Couleur	S. Mathieu	Eau jaune
98-04-23	Particules-Couleur	Girouard	L'eau n'est pas claire
98-07-03	Particules-Couleur	Prud'homme	Présence de sable dans l'eau
98-09-04	Particules-Couleur	Dollard	L'eau est brouillée
99-03-10	Particules-Couleur	De La Brunante	Eau trouble, eau gluante
99-03-17	Particules-Couleur	Kent	L'eau est marron
99-04-20	Particules-Couleur	Somerled	Dépôt jaune fond casserole après ébullition
99-06-08	Particules-Couleur	Clark	Particules noires et brunes dans l'eau
00-02-11	Particules-Couleur	McShane	Il y a des dépôts dans l'eau
00-06-23	Particules-Couleur	S. Antoine	Mauvais goût et couleur anormale
00-07-31	Particules-Couleur	Cote St. Antoine	Présence de particules noires dans l'eau
00-09-05	Particules-Couleur	Lansdowne	Tache les vêtements
00-09-20	Particules-Couleur	Hingston	L'eau est jaune
00-09-28	Particules-Couleur	Querbes	L'eau est jaune et a mauvais goût
00-12-15	Particules-Couleur	Lucien l'Allier	L'eau a eu à quelques reprises une couleur rose

Tableau A4 : Plaintes d'aspect étudiées situées sur le réseau de distribution de la ville de Laval

Date de la plainte	Rue de la plainte	Nature de la plainte	Usine alimentant le consommateur	Détails supplémentaires sur la plainte	Cause mentionnée par la ville
98-01-05	Giraud	Couleur	Chomedey		
98-01-14	Parkway	Couleur	Chomedey		Air Dissous
98-01-21	Nadia	Couleur	Chomedey		Chauffe-Eau
98-01-21	De Blois	Couleur	Pont-Viau		
98-01-28	Vanier	Particules-dépôts	Pont-Viau		
98-03-02	Cap Sante	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	Travaux
98-03-11	Tourigny	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Chauffe-Eau
98-03-27	Beauport	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	Fuite
98-04-07	Rigaud	Particules-dépôts	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	
98-04-07	Dorset	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Fuite
98-04-20	Lise	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Travaux
98-04-27	Des Fauvettes	Couleur	Sainte Rose	Rouillée, rouge, brune	
98-04-28	Glenn	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	
98-05-25	Des Lilas	Particules-dépôts	Chomedey	Turbide, trouble, sale	Cul-De-Sac
98-05-25	Plessis	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
98-06-01	Gervais	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	
98-06-03	Les Pins	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	
98-06-08	Breton	Couleur	Pont-Viau		
98-06-08	Bousquet	Particules-dépôts	Pont-Viau	Précipités, dépôts	Vanne Fermée
98-06-15	Du Souvenir	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Autre
98-06-16	Henri	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Vidange
98-07-05	De l'Isle Maligne	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
98-07-06	Lebrun	Couleur	Chomedey		Travaux
98-07-08	Poitou	Particules-dépôts	Pont-Viau	Précipités, dépôts	
98-07-13	Emerson	Couleur	Chomedey	Sédiments, sable	
98-07-13	Emerson	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	
98-07-13	Messier	Particules-dépôts	Sainte Rose	Précipités, dépôts	Fuite
98-07-30	Desnoyers	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	Travaux
98-08-05	005 Ieme	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	
98-08-10	Bousquet	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	Travaux
98-08-12	Du Pont-Viau	Particules-dépôts	Pont-Viau	Turbide, trouble, sale	
98-08-17	007 Ieme	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	
98-08-18	Breton	Particules-dépôts	Pont-Viau	Précipités, dépôts	
98-08-18	Jerome	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	
98-08-26	De Brest	Particules-dépôts	Pont-Viau	Précipités, dépôts	
98-09-03	Samson	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	
98-09-14	Des Orioles	Couleur	Sainte Rose	Coloration de son linge	
98-09-21	Levesque Est	Couleur	Sainte Rose	Rouillée, rouge, brune	

Tableau A4 (suite) : Plaintes d'aspect étudiées situées sur le réseau de distribution de la ville de Laval

Date de la plainte	Rue de la plainte	Nature de la plainte	Usine alimentant le consommateur	Détails supplémentaires sur la plainte	Cause mentionnée par la ville
98-09-22	Du Couvent	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Vanne Fermée
98-10-02	008 Ieme	Particules-dépôts	Pont-Viau	Précipités, dépôts	
98-10-13	Boileau	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	Autre
98-10-16	Alfred Laliberte	Couleur	Pont-Viau		
98-10-20	Roi Du Nord	Couleur	Sainte Rose	Turbide, trouble, sale	Fuite
98-11-05	De Rotterdam	Couleur	Sainte Rose		Chauffe-Eau
98-11-25	Alfred Laliberte	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	Travaux
99-01-06	La Verendrye	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	Chauffe-Eau
99-01-20	Frederica	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Chauffe-Eau
99-01-21	Justin	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	
99-01-28	041 Ieme	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	
99-02-05	Alfred Laliberte	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	
99-02-10	Des Laurentides	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	
99-02-17	De La Voliere	Particules-dépôts	Sainte Rose	Précipités, dépôts	Autre
99-02-23	Laval	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	Travaux
99-02-24	Salaberry	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Vanne Fermée
99-03-09	De Baccarat	Particules-dépôts	Sainte Rose	Précipités, dépôts	Chauffe-Eau
99-03-11	Mayfield	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Travaux
99-03-15	La Tuque	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
99-03-16	De Bourges	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	
99-03-17	De Lucon	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
99-03-26	Donald	Particules-dépôts	Chomedey	Graisseuse, huileuse	Air Dissous
99-04-01	Belair	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	Chauffe-Eau
99-04-14	Pierre Emmanuel	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Vidange
99-05-03	Cousineau	Particules-dépôts	Pont-Viau	Sédiments, sable	Autre
99-05-03	Tourangeau Est	Couleur	Pont-Viau	Couleur et particules	
99-05-17	Denonville	Particules-dépôts	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	
99-06-03	Lahaie	Particules-dépôts	Pont-Viau	Eau tache les équipements	
99-06-15	Gervais	Couleur	Chomedey	Couleur et particules	Travaux
99-06-15	Maisonneuve	Couleur	Chomedey		Travaux
99-06-15	Notre Dame	Particules-dépôts	Chomedey	Couleur et particules	
99-06-17	Levesque Est	Couleur	Pont-Viau		Pression basse
99-06-17	Des Prairies	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
99-06-21	St Saens Ouest	Couleur	Sainte Rose	Couleur et particules	Travaux
99-06-29	Pierre Chasseur	Couleur	Sainte Rose	Couleur + goût métallique	
99-07-06	Emerson	Particules-dépôts	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	
99-07-12	Aline	Couleur	Sainte Rose	Couleur et particules	Travaux
99-07-16	Chatelaine	Couleur	Chomedey	Colorée, jaune	Travaux

Tableau A4 (suite) : Plaintes d'aspect étudiées situées sur le réseau de distribution de la ville de Laval

Date de la plainte	Rue de la plainte	Nature de la plainte	Usine alimentant le consommateur	Détails supplémentaires sur la plainte	Cause mentionnée par la ville
99-07-27	Guenette	Couleur	Chomedey	Couleur et particules	Chauffe-eau
99-07-27	Julien	Particules-dépôts	Chomedey	Couleur et particules	
99-08-02	Patenaude	Couleur	Pont-Viau	Couleur et particules	
99-08-10	Victor Morin	Particules-dépôts	Pont-Viau	Couleur et particules	Fuite
99-08-11	Vendome	Particules-dépôts	Chomedey	Couleur et particules	
99-08-30	De Ronsard	Particules-dépôts	Chomedey	Précipités, dépôts	Entrée service
99-09-07	006 Ieme	Particules-dépôts	Pont-Viau	Couleur et particules	
99-09-07	De Gruyeres	Couleur	Sainte Rose	Couleur et particules	Cul-de-sac
99-09-08	Montrose	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	
99-09-15	De Marigny	Couleur	Pont-Viau	Rouillée, rouge, brune	
99-09-15	Sainte Rose	Couleur	Sainte Rose	Rouillée, rouge, brune	Travaux
99-09-22	Dumas	Particules-dépôts	Sainte Rose	Précipités, dépôts	Pression basse
99-09-27	Morin	Particules-dépôts	Pont-Viau		
99-09-29	Longpre	Couleur	Sainte Rose	Couleur et particules	Travaux
99-10-06	Rancourt	Couleur	Sainte Rose	Turbide, trouble, sale	
99-11-05	Les Erables	Couleur	Chomedey	Rouillée, rouge, brune	Travaux
99-11-19	Desmarteau	Couleur	Pont-Viau	Eau colorée ce matin	
99-11-30	Quevillon	Couleur	Pont-Viau	Couleur et particules	Fuite
99-12-03	Conde	Couleur	Pont-Viau	Colorée, jaune	Vanne fermée
99-12-13	009 Ieme	Couleur	Chomedey	Couleur et particules	Fuite
99-12-14	Rideau	Couleur	Pont-Viau	Eau colorée tâche le linge	

ANNEXE B :

CARACTÉRISTIQUES DES CONDUITES DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION DES VILLES D'EGHAM ET LAVAL

Tableau B1. Caractéristiques des conduites du réseau de la ville d'Egham

Année de mise en service	Longueur (m)	Proportion (%)
1905	1513	1,3
1925	1117	1
1928	3111	2,7
1937	227	0,2
1945	931	0,8
1951	5731	5
1952	38729	33,7
1965	22176	19,3
1967	1902	1,7
1970	2909	2,5
1972	4931	4,3
1975	416	0,4
1979	13859	12,1
1990	21	0
1991	247	0,2
1992	524	0,5
1993	1282	1,1
1994	144	0,1
1995	246	0,2
1996	5943	5,2
1997	3750	3,2
1998	5215	4,5
1999	5	0
Total	114929	100

Diamètre de conduite (mm)	Longueur (m)	Proportion (%)
75	9941	8,7
80	17	0,0
90	217	0,2
100	41126	35,8
110	4356	3,8
125	1815	1,6
150	13211	11,5
175	6485	5,6
180	4145	3,6
200	4296	3,7
225	54	0,0
250	3291	2,9
300	1660	1,4
380	5731	5,0
450	4692	4,1
900	13892	12,1
Total	114929	100

Matériau de conduite	Longueur (m)	Proportion (%)
ciment	1438	1,2
fonte grise	49069	42,7
fonte ductile	20980	18,3
plastique*	43442	37,8
Total	114929	100

**Plastique : comprend PVC (Poly Chlorure de Vynile), HPPE (High Performance PolyEthylene), MDPE (Medium Density PolyEthylene)*

Tableau B2. Caractéristiques des conduites de diamètre inférieur ou égal à 300mm du réseau de la ville d'Egham

Année de mise en service	Longueur (m)	Proportion (%)
1905	1513	1,7
1925	1117	1,2
1928	3111	3,4
1937	210	0,2
1945	931	1
1952	38713	42,7
1965	22176	24,5
1967	1902	2,1
1970	2909	3,2
1972	4931	5,4
1975	416	0,5
1990	21	0
1991	247	0,3
1992	524	0,6
1993	1282	1,4
1994	144	0,2
1995	246	0,3
1996	5943	6,6
1997	3750	4,1
1998	523	0,6
1999	5	0
Total	90614	100

Diamètre de conduite (mm)	Longueur (m)	Proportion (%)
75	9941	11,0
80	17	0,0
90	217	0,2
100	41126	45,4
110	4356	4,8
125	1815	2,0
150	13211	14,6
175	6485	7,2
180	4145	4,6
200	4296	4,7
225	54	0,1
250	3291	3,6
300	1660	1,8
Total	90614	100

Matériau de conduite	Longueur (m)	Proportion (%)
ciment	1438	1,6
fonte grise	43305	47,8
fonte ductile	2429	2,7
plastique*	43442	47,9
Total	90614	100

**Plastique : comprend PVC (Poly Chlorure de Vynile), HPPE (High Performance PolyEthylene), MDPE (Medium Density PolyEthylene)*

Tableau B3. Caractéristiques des conduites du réseau de la ville de Laval.

Année de mise en service	Longueur (km)	Proportion (%)
1950-59	236,5	16,1
1960-69	415,0	28,3
1970-1990	421,1	28,8
1990-1995	143,3	9,8
1996	6,3	0,4
1997	1,2	0,1
1998	6,3	0,4
1999	7,9	0,5
2000	15,2	1,0
ND	211,5	14,4
Total	1464,4	100,0

Diamètre de conduite (mm)	Longueur (km)	Proportion (%)
25	0,1	0,0
50	3,9	0,3
75	0,4	0,0
100	17,2	1,2
150	627,0	42,8
200	357,5	24,4
250	146,5	10,0
300	115,5	7,9
350	19,7	1,3
400	105,3	7,2
450	0,6	0,0
500	16,0	1,1
600	30,4	2,1
750	3,2	0,2
900	12,1	0,8
1070	2,5	0,2
1220	6,4	0,4
Total	1464,4	100,0

Matériau de conduite	Longueur (km)	Proportion (%)
acier	12,6	0,9
cuivre	0,2	0,0
fonte ductile	526,0	35,9
fonte grise	672,7	45,9
plastique*	90,1	6,2
ciment	147,0	10,0
ND	15,8	1,1
Total	1464,4	100,0

**Plastique : PVC et polyéthylène*
ND : Non Défini

Tableau B4. Caractéristiques des conduites du réseau de la ville de Laval installées avant 2000 et de diamètre inférieur ou égal à 300mm.

Année de mise en service	Longueur (km)	Proportion (%)
1950-59	227,4	18,1
1960-69	404,4	32,3
1970-90	412,6	32,9
1990-95	138,9	11,1
1996	5,3	0,4
1997	1,2	0,1
1998	6,1	0,5
1999	7,9	0,6
ND	49,3	3,9
Total	1253,1	100,0

Diamètre de conduite (mm)	Longueur (km)	Proportion (%)
25	0,1	0,0
50	3,9	0,3
75	0,4	0,0
100	17,2	1,4
150	626,8	50,0
200	348,8	27,8
250	144,6	11,5
300	111,3	8,9
Total	1253,1	100,0

Matériau de conduite	Longueur (km)	Proportion (%)
acier	12,6	1,0
cuivre	0,2	0,0
fonte ductile	504,3	40,2
fonte grise	643,9	51,4
plastique*	79,3	6,3
ciment	0,1	0,0
ND	12,7	1,0
Total	1253,1	100,0

**Plastique : PVC et polyéthylène*
ND : Non Défini

ANNEXE C :

MATRICE RÉSULTANT DE L'APPLICATION DE L'APPROCHE INTÉGRÉE AUX PLAINTES D'ASPECT DE LA VILLE DE LAVAL ET DÉTAIL DES PLAINTES EXPLIQUÉES DE MANIÈRE TRÈS PROBABLE

Tableau C1. Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval

			Conduites											Maintenance régulière				
Date	Description de la plainte	Cause mentionnée par la ville de Laval	Cul de sac	Matériau de conduite	Diamètre de conduite	Date d'installation	Variation de turbidité eau traitée	Pointe de débit usine	Évenements spéciaux aux usines	Évenements spéciaux sur le réseau	Programme de rincage	Manipulations de vannes	Manipulations de bornes fontaines	Réparation de conduite	Réparation de branchem., BF ou vanne	Pose de nouvelle conduite	Réhabilitation de conduite	Appels relatifs à l'état du réseau
98-01-05				FD	200	70-90			1			1	1	1				
98-01-14		air dissous		FG	150	60-69						2		2				
98-01-21				FD	150	70-90			1,5			1,5	0,5	0,5				
98-01-21		chauffe eau		FG	150	60-69						1,5	1,5	1,5				
98-01-28				FG	150	60-69						2	2	2				
98-03-02	Rouillée, rouge	travaux		FG	150	60-69			1			2	0,5	2				
98-03-11	Colorée, jaune	chauffe eau		FD	200	70-90						0,5	0,5	0,5				
98-03-27	Colorée, jaune	fuite		FG	150	50-59			1			1,5		1,5				
98-04-03	Rouillée, rouge		oui	FG	150	60-69							4					
98-04-07	Rouillée, rouge	fuite		FG	150	60-69						1		1				
98-04-20	Rouillée, rouge	travaux		FG	150	60-69			1			1,5	1,5	1				
98-04-27	Rouillée, rouge			FG	150	60-69			1,5					0,5				
98-04-28	Précip., dépôts			FG	150	60-69												
98-05-23	Rouillée, rouge			FD	200	70-90		oui				1,5	1	0,5				
98-05-25	Turbide, trouble	cul de sac	oui	FD	150	60-69		oui										
98-06-01	Colorée, jaune			FG	150	60-69			0,5									
98-06-03	Rouillée, rouge			FG	150	ND						3		1,5				
98-06-08				FG	150	50-59		oui				4	4	3				
98-06-08	Précip., dépôts	vanne fermée		FG	150	60-69		oui										
98-06-15	Colorée, jaune	autre		FG	250	50-59					1,5	2	2					
98-06-16	Rouillée, rouge	vidange		FG	150	60-69						0,5	0,5	0,5				
98-07-05	Rouillée, rouge			fg	150	1970					1,5							
98-07-06		travaux	oui	PVC	150	1999						2	2					
98-07-08	Précip., dépôts			FG	150	60-69					2	2	2					
98-07-13	Sédim., sable			FG	150	60-69					3	2	2					
98-07-17	Colorée, jaune			FG	150	60-69						1	3	1				
98-07-13	Précip., dépôts	fuite		FG	150	60-69							0,5					
98-07-30	Colorée, jaune	travaux		FG	150	1950					1,5	2	2					
98-08-05	Précip., dépôts			FG	150	50-59		oui	0,5		3		3					
98-08-10	Rouillée, rouge	travaux		FG	150	60-69			0,5			2		1				
98-08-12	Turbide, trouble			FG	150	50-59					1	0,5	0,5					
98-08-17	Colorée, jaune			FG	200	60-69					1,5	1	2	0,5				
98-08-18	Précip., dépôts			FG	100	50-59					1	2	2	2				
98-08-18	Colorée, jaune			FG	150	50-59								0,5				
98-08-26	Précip., dépôts			FG	150	60-69												
98-09-03	Colorée, jaune			FG	150	60-69			1		3	4	3,5				0,5	

	Très probable
	Possible
	Peu probable

FG : Fonte Grise

FD : Fonte Ductile

Tableau C1(suite) . Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval

			Conduites											Maintenance régulière				
Date	Description de la plainte	Cause mentionnée par la ville de Laval	Cul de sac	Matériau de conduite	Diamètre de conduite	Date d'installation	Variation de turbidité eau traitée	Pointe de débit usine	Évenements spéciaux aux usines	Évenements spéciaux sur le résau	Programme de rincage	Manipulations de vannes	Manipulations de bornes fontaines	Réparation de conduite	Réparation de branchem., BF ou vanne	Pose de nouvelle conduite	Réhabilitation de conduite	Appels relatifs à l'état du réseau
98-09-14	eau tache		oui	PVC	200	1998												
98-09-21	Rouillée, rouge			FD	200	70-90					2	2	2			0,5	0,5	
98-09-23	Colorée, jaune	vanne fermée		FG	150	50-59						4	4	4				
98-10-02	Précip., dépôts			FG	150	60-69			1				2	2,5				
98-10-13	Précip., dépôts	autre	oui	FG	150	60-69					1,5	3	3					
98-10-16				FG	150	50-59			1,5					1,5				
98-10-20	Turbide, trouble	fuite		FG	150	50-59						3	3	3				
98-11-05		chauffe eau		FD	200	70-90			1			1	0,5	1				
98-11-25	Rouillée, rouge	travaux		FG	150	50-59						0,5	0,5					
99-01-06	Colorée, jaune	chauffe eau		FG	150	60-69								1				
99-01-20	Rouillée, rouge	chauffe eau		FD	150	70-90						2	2					
99-01-21	Précip., dépôts			FD	300	90-95			1			2	2		2			
99-01-28	Précip., dépôts			FD	150	60-69			0,5									
99-02-05	Colorée, jaune			FG	150	50-59			1			1,5	1,5	1,5				
99-02-10	Colorée, jaune			FG	150	60-69						3,5	3	3				
99-02-17	Précip., dépôts	autre		FD	200	1995										1		
99-02-23	Rouillée, rouge	travaux		FG	150	1950						1,5	1,5	1,5				
99-02-24	Colorée, jaune	vanne fermée		FG	250	60-69							0,5	0,5				
99-03-09	Précip., dépôts	chauffe eau		FD	200	70-90						1	1					
99-03-11	Colorée, jaune	travaux		FD	200	90-95								0,5				
99-03-15	Rouillée, rouge			FG	150	60-69						2		2				
99-03-16	Colorée, jaune			FD	200	60-69						3	3					
99-03-17	Rouillée, rouge			FG	150	50-59						0,5						
99-03-26	Graisseuse	air dissous		FG	150	1970						1,5		1,5				
99-04-01	Précip., dépôts	chauffe eau		FG	150	60-69						2,5			2,5			
99-04-14	Rouillée, rouge	vidange		PVC	150	90-95							3					
99-05-03	Sédim. sable	autre		FG	150	50-59		oui			0,5		1					
99-05-03	couleur et part.			FG	150	50-59		oui					1,5	1,5				
99-05-13	Rouillée, rouge			FG	150	60-69		oui				2						
99-06-03	eau tache			FG	150	50-59					3	3	3					
99-06-13	couleur et part.	travaux		FG	150	60-69							2					3
99-06-15		travaux		FG	150	60-69							4					
99-06-15	couleur et part.			FG	300	60-69							1		1,5			
99-06-17		pression basse		FG	150	60-69		oui					2					
99-06-17	Rouillée, rouge			FG	150	50-59		oui							0,5			

	Très probable
	Possible
	Peu probable

FG : Fonte Grise

FD : Fonte Ductile

Tableau C1(suite) . Matrice résultant de l'application de l'approche intégrée aux plaintes d'aspect de la ville de Laval .

			Conduites											Maintenance régulière				
Date	Description de la plainte	Cause mentionnée par la ville de Laval	Cul de sac	Matériau de conduite	Diamètre de conduite	Date d'installation	Variation de turbidité eau traitée	Pointe de débit usine	Évenements spéciaux aux usines	Évenements spéciaux sur le réseau	Programme de rinçage	Manipulations de vannes	Manipulations de bornes fontaines	Réparation de conduite	Réparation de branchem., BF ou vanne	Pose de nouvelle conduite	Réhabilitation de conduite	Appels relatifs à l'état du réseau
99-06-21	couleur et part.	travaux		FG	150	60-69		oui				0,5						
99-06-29	Couleur et goût		oui	FD	250	70-90								0,5				
99-07-06	Rouillée, rouge			FG	150	60-69						0,5	0,5					
99-07-12	couleur et part.	travaux		acier	100	50-59		oui		2,5		4	4					
99-07-16	Colorée, jaune	travaux		FG	150	60-69								0,5				
99-07-27	couleur et part.	chauffe eau		FG	150	60-69		oui				2						
99-07-27	couleur et part.			FD	200	70-90		oui					4					
99-08-02	couleur et part.		oui	FG	200	60-69		oui			1,5	2,5	2,5					
99-08-10	couleur et part.	fuite		FG	150	60-69			1,5				2,5					
99-08-13	couleur et part.			FG	150	60-69					3	3	3					
99-08-30	Précip., dépôts	entrée de serv.		FG	150	60-69		oui	0,5		1,5	2	2					
99-09-07	couleur et part.	cul de sac		FG	150	60-69										2,5		
99-09-07	couleur et part.			FG	150	60-69												
99-09-08	Colorée, jaune			FG	150	50-59												
99-09-13	Rouillée, rouge			FD	200	70-90							2					
99-09-15	Rouillée, rouge	travaux		PVC	200	1997						1						
99-09-22	Précip., dépôts	pression basse		FG	150	60-69					3	3	3					
99-09-27				FG	150	60-69												
99-09-29	couleur et part.	travaux		FG	150	50-59						3,5	0,5					
99-10-06	Turbide, trouble			FG	150	60-69						1,5	1,5	1,5				
99-11-05	Rouillée, rouge	travaux	oui	FG	200	ND						1						
99-11-19	eau colorée			FG	150	50-59						3	2					
99-11-29	couleur et part.	fuite		FG	150	50-59						3		1				
99-12-03	Colorée, jaune	vanne fermée		FG	150	60-69						2,5						
99-12-13	couleur et part.	fuite		FG	250	50-59			1					2				
99-12-14	eau tache			FG	150	60-69						2	2	2				

	Très probable
	Possible
	Peu probable

FG : Fonte Grise

FD : Fonte Ductile

Tableau C2 : Plaintes d'aspect de la ville de Laval expliquées avec une cause très probable

Date de la plainte	Détail de la plainte	Cause mentionnée par la ville	Cause ressortie de l'application de l'approche intégrée	Détail de la cause ressortie de l'application de l'approche intégrée	Date de la cause
98-01-28			Réparation de fuite	le 28 janvier : une réparation de fuite sur conduite diamètre 200mm	jour même
98-03-02	Rouillée, rouge, brune	TRAVAUX	Réparation de fuite	le 02 mars: une réparation de fuite sur conduite, appuyée par 2 manipulations de vannes sur la même conduite	jour même
98-04-07	Rouillée, rouge, brune		Quelques manipulations de vannes et/ou BF	le 03 mars: une manipulation de BF isolée, à moins de 100m	jour même
98-05-25	Rouillée, rouge, brune		Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
98-05-25	Turbide, trouble, sale	CUL-DE-SAC	Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
98-06-03	Rouillée, rouge, brune		Réparation de fuite	le 2 juin : 3 manipulations de vannes pour isoler conduite principale de 350mm ; le 4 juin : réparation de fuite sur cette conduite principale	veille
98-06-08			Réparation de fuite	le 8 juin : réparation de fuite sur conduite de 150mm avec manipulations de vannes et BF correspondantes	jour même
98-06-15	Colorée, jaune	AUTRE	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 15 juin : 25 manipulations de vannes et 11 BF dans le secteur de la plainte	jour même
98-07-06		TRAVAUX	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 6 juillet : nombreuses manipulations de BF et vannes dans un secteur situé au sud de la plainte	jour même
98-07-13	Colorée, jaune		Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 13 juillet : nombreuses manipulations de vannes et BF dans le secteur de la plainte + 3 plaintes d'aspect enregistrées dans le même secteur	jour même
98-07-13	Sédiments, sable		Programme de rinçage	le 13 juillet : nombreuses manipulations de vannes et BF dans le secteur de la plainte + programme de rinçage prévu à cette date sur les zones 33 et 34 (à une rue de la plainte)	jour même
98-08-05	Précipités, dépôts		Programme de rinçage	le 04 août : nombreuses manipulations de BF correspondant au programme de rinçage de la zone 29, sur laquelle est située la plainte	veille
98-09-03	Colorée, jaune		Programme de rinçage	le 03 septembre : nombreuses manipulations de BF et vannes correspondant au programme de rinçage de la zone 2, sur laquelle est située la plainte	jour même
98-09-21	Rouillée, rouge, brune		Programme de rinçage	le 21 septembre : nombreuses manipulations de vannes et BF correspondant au programme de rinçage de la zone 15b, proche de la plainte	jour même
98-09-22	Colorée, jaune	VANNE FERMÉE	Réparation de fuite	le 22 septembre : un bris de conduite est repéré dans le secteur de la plainte, des manipulations de vannes et BF sont effectuées tout près du bris. La réparation du bris est achevée le 23 septembre.	jour même
98-10-13	Précipités, dépôts	AUTRE	Quelques manipulations de vannes et/ou BF	le 13 octobre : 3 manipulations de vannes et 3 manipulations BF dans le secteur de la plainte	jour même

Tableau C2 (suite) : Plaintes d'aspect de la ville de Laval expliquées avec une cause très probable

Date de la plainte	Détail de la plainte	Cause mentionnée par la ville	Cause ressortie de l'application de l'approche intégrée	Détail de la cause ressortie de l'application de l'approche intégrée	Date de la cause
98-10-20	Turbide, trouble, sale	FUITE	Réparation de fuite	le 19 octobre : une réparation de fuite sur conduite de 150mm avec manipulations de vannes et BF correspondantes	veille
99-02-10	Colorée, jaune		Réparation de fuite	le 09 février : une réparation de fuite sur conduite de 150mm avec manipulations de BF correspondantes et 6 manipulations de vannes	veille
99-03-16	Colorée, jaune		Quelques manipulations de vannes et/ou BF	le 16 mars : 2 manipulations de vannes aux extrémités d'une conduite de diamètre 200mm, et 2 manipulations de BF sur cette conduite	jour même
99-04-14	Rouillée, rouge	VIDANGE	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	14 avril : nombreuses manipulations de BF dans le secteur de la plainte	jour même
99-05-03	Sédiments, sable	AUTRE	Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
99-05-03	couleur et particules		Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
99-05-17	Rouillée, rouge		Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
99-06-03	eau qui tache		Programme de rinçage	le 3 juin : manipulations de vannes et BF correspondant au programme de rinçage de la zone 22b, sur laquelle est située la plainte.	jour même
99-06-15	couleur et particules	TRAVAUX	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 15 juin : nombreuses manipulations de BF dans le secteur de la plainte, et 2 appels de consommateurs pour sous-pressions dans ce même secteur	jour même
99-06-15		TRAVAUX	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 15 juin : nombreuses manipulations de BF dans le secteur de la plainte	jour même
99-06-21	couleur et particules	TRAVAUX	Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
99-07-12	couleur et particules	TRAVAUX	Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 12 juillet : nombreuses manipulations de vannes et BF dans le secteur de la plainte	jour même
99-07-27	couleur et particules		Quelques manipulations de vannes et/ou BF	le 27 juillet : une manipulation de BF à 30 m de la plainte	jour même
99-08-02	couleur et particules		Augmentation débits usines	Pic de débit aux usines	jour même
99-08-11	couleur et particules		Programme de rinçage	le 11 août : nombreuses manipulations de vannes et BF correspondant au programme de rinçage de la zone 35a (à 3 rues de la plainte)	jour même
99-09-15	Rouillée, rouge		Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 15 septembre : nombreuses manipulations de BF dans le secteur de la plainte	jour même
99-09-22	Précipités, dépôts	PRESSION BASSE	Programme de rinçage	le 22 septembre : nombreuses manipulations de vannes et BF correspondant au programme de rinçage de la zone 26a, sur laquelle est située la plainte	jour même
99-09-29	couleur et particules	TRAVAUX	Quelques manipulations de vannes et/ou BF	le 29 septembre : 3 manipulations de vannes sur conduite de 200mm perpendiculaire à celle de la plainte	jour même
99-11-19	eau colorée ce matin		Nombreuses manipulations de vannes et/ou BF	le 19 novembre : manipulations de vannes et de BF proche de la plainte	jour même
99-11-30	couleur et particules	FUITE	Réparation de fuite	le 29 novembre : une réparation de fuite sur branchement, sur la même conduite que la plainte, appuyée par quelques manipulations de vannes et BF	la veille