



HAL
open science

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la communauté urbaine de Strasbourg

Assimi Dembele

► **To cite this version:**

Assimi Dembele. Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la communauté urbaine de Strasbourg. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2012. dumas-01664589

HAL Id: dumas-01664589

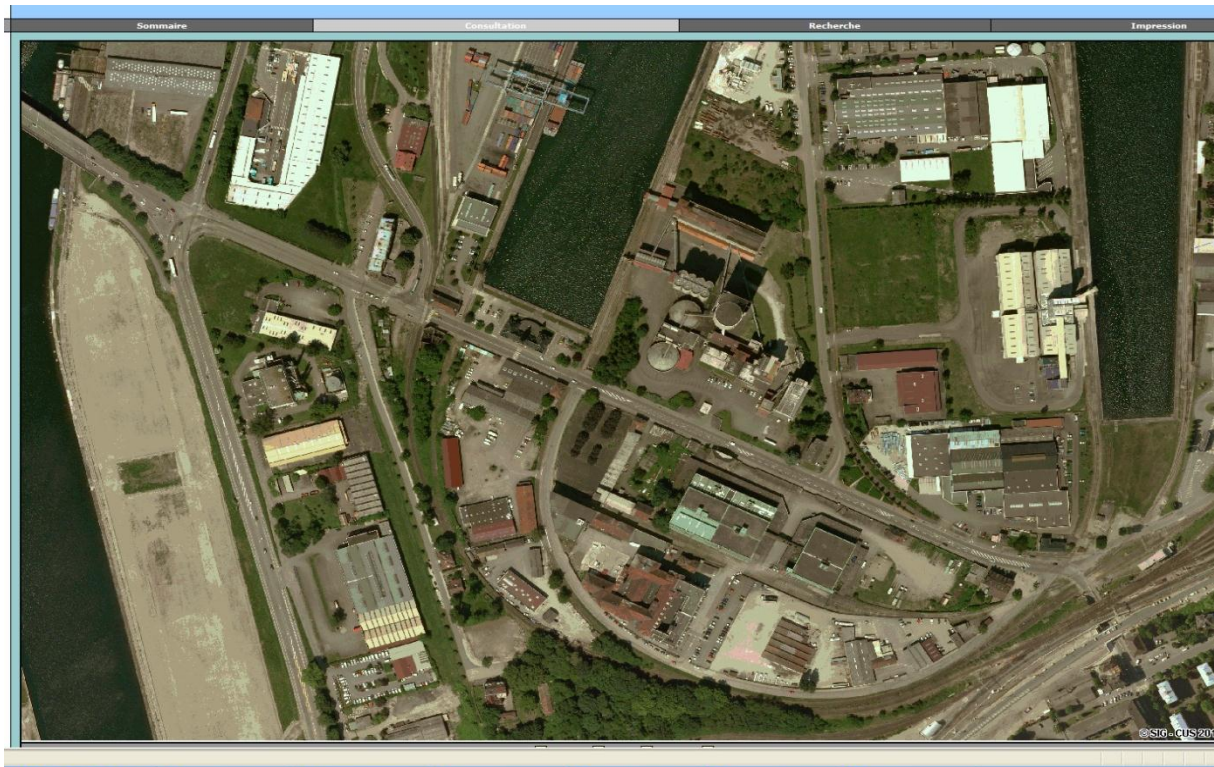
<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01664589v1>

Submitted on 10 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODÉLISATION HYDRAULIQUE DU RÉSEAU D'ALIMENTATION DE LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE STRASBOURG



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

MASTÈRE SPÉCIALISÉ :

EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT

Remerciements

Je tiens à remercier :

Monsieur HOUILLON Didier, chef du Service de l'Eau de la Communauté urbaine de Strasbourg pour m'avoir accueilli au sein de sa structure.

Monsieur Jean-Marc WEBER, mon maître de stage, un homme d'une immense expérience, très disponible, pragmatique, méthodique, compréhensif, courtois. Vos qualités dont je ne pourrais toutes les citer, m'ont permis de mener à bien ce stage. Malgré vos multiples occupations vous étiez toujours à mon écoute.

Monsieur Jean-Bernard BARDIAUX, un homme d'une immense expérience en modélisation des réseaux d'eau potable. Merci pour m'avoir fait confiance en me confiant cette étude.

Monsieur Marc BARUTHIO, pour sa disponibilité et sa compétence. Sans lui ma connaissance et ma compréhension du réseau n'auraient pas été ce qu'elles sont.

Mes remerciements à toute l'équipe du Département Qualité des eaux pour leur collaboration, plus particulièrement à Emmanuel LAMBOLET, le marathonnier, mon voisin de bureau avec qui j'ai passé un moment très agréable.

Mes remerciements les plus sincères vont à tous les accompagnants à l'heure du « mayo ».

Mes remerciements les plus sincères vont au personnel du Bureau Sahélien d'Hydraulique, en particulier son directeur Mamadou DIAWARA, Ingénieur hydrogéologue.

Mes remerciements également aux membres du jury à travers son président Monsieur Frédéric MAHE pour leur disponibilité à siéger dans ce jury.

Résumé

En 2005, la CUS a développé un modèle simplifié sous Epanet. Pour remédier aux insuffisances du modèle existant, un nouveau modèle a été mis au point en vue de l'utiliser d'une part pour le diagnostic du réseau notamment la simulation des défaillances et le dimensionnement et d'autre part pour concevoir une « boîte à outils » pour la sécurisation en temps réel du réseau de la CUS. Son champ d'application va de la détection d'une contamination intentionnelle y compris à l'identification des sources de contamination.

Le modèle a été élaboré sous Porteau à l'aide de l'import des données du SIG.

L'étude des demandes basée sur l'analyse des données de la sectorisation a mis en évidence le comportement homogène de deux secteurs (NE, SO), un autre comportement pour les secteurs (NO, SE) et le caractère très fuyard des secteurs (NE, SO). Elle a en outre montré que la demande suit le mouvement de la population tant en été qu'en automne.

Les différentes modélisations réalisées avec le modèle ont montré une bonne cohérence du modèle avec le réseau réel à travers les débits simulés. Cependant la méthode de répartition des abonnés est à affiner avec une meilleure connaissance des gros consommateurs. Puis, une meilleure connaissance de la rugosité s'avère nécessaire pour améliorer le calage en volume.

Par ailleurs, l'étude a mis en évidence la nécessité de mettre à jour le modèle. Puis elle a défini la consistance et la fréquence de la mise à jour.

Abstract

Communauté urbaine de Strasbourg drinking water network hydraulic modelling

The Communauté urbaine de Strasbourg has developed a raw hydraulic model in 2005 with the EPA Net tool.

Considering existing model inadequacy, a new model has been implemented with several ambitious purposes such as simulating failures or dimensioning and also building up an online security toolkit linking the model to the SCADA system with several targets such as contamination detection and source tracking.

This model has been built with PORTEAU by importing GIS network data.

Water demand survey by studying sectoring data has shown similar behaviour for two of the four network sectors (NE and SO) and other demand behaviours for the two others sectors which are characterized by a higher leakage rate.

This study shows also a seasonal demand variation.

Several simulations have been run with the model and show a good consistency with the network performance. However, demand modelling has to be refined by considering major consumer in addition to geographic population distribution.

Then pipe roughness shall be defined with more precision as a further step to improve the model calibration.

Besides, this study has shown the necessity of updating this model and defines how and when the model should be updated.

Sigles et abréviations

CUS	: Communauté Urbaine de Strasbourg
CC	: Coefficient de Corrélation
DE	: Diamètre Extérieur
DN	: Diamètre Nominal
INSEE	: Institut National de la Statistique et des Études Économiques
mCE	: mètre de colonne d'eau
NE	: Nord-Est
NO	: Nord-Ouest
PC	: Puits Collecteur
PEHD	: Polyéthylène Haute Densité
SE	: Sud-Est
SO	: Sud-Ouest
SIG	: Système d'Information Géographique
SHP	: Shapefile
SDAEP	: Schéma Directeur de l'Alimentation en Eau Potable

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	10
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE STRASBOURG ET DE SON RÉSEAU DE DISTRIBUTION	13
I.1/. Présentation de la Communauté urbaine de Strasbourg	14
I.1.1/.Communes et population desservie	14
I.1.2/. Historique du service et du réseau	14
I.2.1/. Origines des eaux	14
I.3/. STATIONS DE PRODUCTION	15
I.3.1/- Stations assurant l'essentiel de la production.....	16
I.3.1.1/- Station du Polygone.....	16
I.3.1.2/- Station d'Oberhausbergen	16
I.3.1.3/-Stations d'appoint	16
I.3.1.3.1/-Station de Lingolsheim	16
I.3.1.3.2/-Station de la Robertsau	17
I.3.1.4/- Station de la Cour d'Angleterre.....	17
I.3.1.5/- Station de Plobsheim	17
I.3.1.6/-Station de Wolfisheim	17
I.3.2/-Fonctionnement des unités de production	17
I.3.3/-Aspect quantitatif de la production.....	18
I.4/. Qualité des eaux pompées et distribuées	19
I.5/- RÉSERVOIR	19
I.6/-RÉSEAUX DE REFOULEMENT ET DE DISTRIBUTION	20
I.6.1/-Réseau de refoulement	20
I.6.2/-Réseau de distribution	20
I.6.3/-Indicateurs de performance du réseau	23
I.6.3.1/-Rendement net	24
I.6.3.2/-Pertes	25
I.6.3.3/-Indice linéaire de pertes	25
CHAPITRE II: ÉTUDE DES DEMANDES	27
II.1/-Définition de la demande	28
II.2/-Sectorisation du réseau.....	28
II.2.1/-Constitution de la base de données	31

II.2.1.1/-Choix des données.....	31
II.3/-Analyse courbes de demande	32
II.3.1/-Caractérisation des secteurs	32
II.3.2/-Étude des courbes de demande par secteurs	33
II.3.2.1/- Étape 1 : Caractérisation des courbes de demande journalière	33
II.3.2.2/- Etape 2 : Établissement des courbes moyennes et mensuelles de demande ..	35
CHAPITRE III: MODÉLISATION HYDRAULIQUE DU RÉSEAU.....	38
III.1/-Historique de la modélisation du réseau de la CUS	39
III.2/-Présentation du logiciel de simulation	40
III.2.1/- Choix du logiciel	40
III.2.2.1/- Présentation.....	40
III.3/- Construction du modèle.....	40
III.3.1/-Objectifs	40
III.3.2/-Méthodologie pour la construction du modèle.....	40
III.3.2.1/-Collecte ou recueil des données.....	41
III.3.3/-Construction du nouveau modèle	41
III.3.3.1/- Simplification automatique du modèle à partir du logiciel Porteau	41
Il présente un niveau 7 fois plus élevé par rapport à celui de l'existant.....	42
III.3.3.2/-Difficultés rencontrées	42
III.3.3.3/-Différences entre les deux modèles	43
III.3.4/- Éléments du modèle	44
III.3.4.1/-Pompes	44
III.3.4.2/- Altimétries	45
III.3.5/-Choix du jour pour la reproduction de la courbe de marnage du réservoir	45
III.3.6/-Architecture d'automatisation des pompes.....	45
III.3.6.1/-Pompage de base.....	45
III.3.6.2./-Pompage à la demande	46
III.3.6.3./-Pompage de maintien de pression.....	47
III.3.7 /-Modélisations réalisées.....	47
III.3.7.1 /-Modélisation 1	47
III.3.7.2 /-Modélisation 2	48
III.3.7.3 /-Modélisation 3	48
III.3.7.4 /- Différence entre la modélisation 2 et la modélisation 3	49

III.3.7.5 /-Modélisation 4	51
CHAPITRE IV : SUIVI ET MISE A JOUR DU MODÈLE.....	57
IV.1/-Suivi et mise à jour	58
IV.2/-Consistance de la mise à jour.....	58
IV.4/-Fréquence de mise à jour	59
CHAPITRE V . CONCLUSION ET PERSPECTIVES	60
Bibliographies	62
Annexes	64

Liste des tableaux

Tableau 1: Production annuelle des quatre stations (RA, 2011) _____	18
Tableau 2: Production du jour de pointe et celle horaire (Base de données de la CUS) _____	18
Tableau 3: Qualification des rendements (Source : Etude inter agence de l'eau) _____	25
Tableau 4: Valeurs de référence pour l'indice linéaire de perte (Etudes de l'Agence de l'eau Adour Garonne) _____	26
Tableau 5: Valeur de l'indice linéaire de perte du réseau de la CUS _____	26
Tableau 6: Débit des pompes du pompage de base _____	45
Tableau 7: Comparaison entre la demande mesurée et les demandes simulées à partir des débitmètres _____	53
Tableau 8: Démarche suivie pour les différentes modélisations _____	55
Tableau 9: Mise à jour des volumes vendus _____	58
Tableau 10: Mise à jour des caractéristiques des conduites _____	59

Liste des figures

Figure 1:Évolution de la production _____	15
Figure 2: Évolution théorique du niveau dans le réservoir _____	20
Figure 3: Répartition des conduites par nature de matériau de la canalisation _____	21
Figure 4: Réseau de distribution et de refoulement _____	22
Figure 5: Age moyen du réseau _____	23
Figure 6: Taux de renouvellement des conduites _____	23
Figure 7- Évolution du rendement entre 2008 et 2011 _____	24
Figure 8: Découpage du réseau en deux secteurs (Est et Ouest) _____	29
Figure 9: Découpage du réseau en quatre secteurs _____	30
Figure 10: Découpage du réseau en 14 secteurs _____	31
Figure 11: Courbe type d'une demande journalière (courbe établie sur la base des données CUS) _____	33
Figure 12: Comparaison entre les courbes de demande par type de jours (Exemple du secteur Nord-est, semaine du mois de juin) _____	35
Figure 13: Courbe moyenne de demande de la semaine (Exemple du Nord-est) _____	35
Figure 14: Courbes moyennes de samedi et de dimanche (Exemple du Nord-est) _____	35
Figure 15: Représentativité de la moyenne du mois de juin par comparaison à des seuils (Nord-est) _____	36
Figure 16: Comparaison entre les courbes mensuelles des secteurs (mois de juin) _____	37

Figure 17: Impact de la répartition sur la courbe de marnage	49
Figure 18: Aucun impact de la répartition sur la conduite 800 mm	50
Figure 19: Impact de la répartition conduite 500mm	51
Figure 20: Impact de la rugosité sur les débits (modélisation 4)	52
Figure 21: Débit sur la conduite 500 sans ajout	53
Figure 22: Débit sur la conduite 500 avec ajout	53
Figure 23: débit sur la conduite 600 sans ajout	54
Figure 24: Débit sur la conduite 600 avec ajout	54
Figure 25: Débit sur la conduite 800 sans ajout	54
Figure 26: Débit sur la conduite 800 avec ajout	54

I

NTRODUCTION GÉNÉRALE

La Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) œuvre depuis quelques années à l'amélioration de la gestion de son réseau d'eau, à travers des actions comme la sectorisation de son réseau via l'installation des débitmètres. À ceci, s'ajoute la modélisation numérique de son réseau entamée pour la première fois en 1970 et s'est poursuivie en 1993 avec l'élaboration du Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable (SDAEP), puis en 2005 avec la mise en place d'un modèle « simplifié » sous Epanet.

Avec une production annuelle de 35 millions de m³ en 2011, la CUS alimente en eau potable 12 communes sur les 28 communes qu'elle compte soit environ 413 000 habitants représentant 90% de la population totale de la CUS. L'eau prélevée sur quatre sites de production est distribuée par un réseau d'environ 1082 km de linéaire.

Le projet de recherche intitulé « sécurité des réseaux d'eau potable » financé par l'Agence Nationale de Recherche et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, prévoit de concevoir à partir du modèle numérique du réseau de la CUS une passerelle entre le modèle et la supervision pour la gestion en temps réel de la sécurité du réseau. Datant de 2005, le seul modèle existant a un niveau moins détaillé (environ 13% du réseau réel) et ne figurant que sur des conduites structurantes. De manière plus précise la problématique qui nous intéresse peut se formuler de la manière suivante : Faut-il abandonner ce modèle calé uniquement sur les unités de production ? ou Faut-il construire un nouveau modèle plus fin et plus détaillé à partir du SIG ?.

Dans ce contexte, l'objectif du présent mémoire intitulé « Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté Urbaine de Strasbourg » est de mettre au point un outil d'aide à la décision qui permettra d'optimiser la gestion du réseau de distribution. Il sera utilisé par le projet de recherche en vue de déterminer les emplacements des mesures pour l'identification en temps réel des sources de contamination et par le service de l'eau pour déterminer également les emplacements des points de mesure pour la poursuite du déploiement de la sectorisation.

Le mémoire est organisé autour des chapitres suivants :

Le chapitre 1 présente la CUS, son réseau de distribution ainsi que les indicateurs de performances des cinq dernières années.

Le chapitre 2 décrit la méthodologie adoptée pour l'étude des demandes au niveau des secteurs et présente les résultats. À travers ce chapitre, nous avons voulu chercher à comprendre le comportement des abonnés vis-à-vis de l'utilisation de l'eau via la demande journalière au niveau de chaque secteur.

Le chapitre 3 présente la méthodologie utilisée pour la construction du nouveau modèle, les difficultés rencontrées et enfin les résultats de la modélisation.

Le dernier chapitre, le chapitre 4 évoque la poursuite de l'étude de modélisation notamment la mise à jour du modèle. Nous avons voulu à travers ce chapitre mettre l'accent sur la nécessité de mettre à jour le modèle tout en indiquant la consistance et la fréquence de mise à jour.

CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE
STRASBOURG ET DE SON RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Ce chapitre présente la Communauté urbaine de Strasbourg (CUS), ses installations techniques, les indicateurs de performance et les aspects quantitatifs et qualitatifs de sa production et distribution d'eau potable.

I.1/. Présentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

I.1.1/.Communes et population desservie

Bâtie sur une superficie de 313,97 km² (source INSEE¹), la Communauté urbaine de Strasbourg (CUS) est formée de 28 communes situées dans le Département du Bas-Rhin. Elle mène en régie propre les missions de distribution d'eau sur douze des 28 communes de son territoire pour une population de 412 862 habitants (Source INSEE).

Les 12 communes desservies par le réseau de la CUS sont : Bischheim, Eckbolsheim, Hoenheim, Illkirch-Graffenstaden, Lingolsheim, Oberhausbergen, Ostwald, Reichstett, Schiltigheim, Souffelweyersheim, Strasbourg et Wolfisheim ce qui représente 90% de la population totale de la CUS. En 2011, la consommation moyenne s'établit à 178 l/j/habitant. Il dessert en moyenne 9 habitants pour un abonnement sur l'agglomération et 11 habitants pour la ville de Strasbourg.

Les 16 autres communes périphériques à prédominance rurale représentent environ 10% de la population et sont alimentées par 4 syndicats intercommunaux des eaux dont Ill-Andlau, Strasbourg Sud, Strasbourg Nord et la Wantzenau-Kilstett, Gombsheim. Les réseaux sont gérés par le Syndicat Des Eaux et de l'Assainissement du Bas-Rhin (SDEA) (RA, 2011) (cf. annexe 1)

I.1.2/. Historique du service et du réseau (F.Mahé, 1975 ; M.Baruthio, 2004 ; S. Cassana, 2005)

Les principales étapes de l'historique du service de l'eau sont résumées dans le tableau 10 (cf. annexe 2)

I.2/. Sources de captage des eaux distribuées

I.2.1/. Origines des eaux

L'eau fournie aux habitants de la CUS provient d'une nappe souterraine exclusivement celle de la nappe phréatique Rhénane, la plus importante d'Europe. Le captage des eaux dans cette nappe offre deux avantages majeurs :

- La qualité de la ressource est telle qu'elle ne nécessite aucun traitement de potabilisation ;
- Elle est accessible à faible profondeur et exploitable à faible coût

Les caractéristiques de la nappe peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

- Surface : environ 2800 km² ;

¹<http://www.insee.fr>. Consulté le 23 mai-2012

- Volume d'eau stocké (côté alsacien) : 32 milliards de m³ ;
- Renouvellement annuel de l'eau : 1,3 milliards de m³ (RA, 2011).

Le bassin d'alimentation des puits de captage des différentes stations est soumis à une surveillance par le biais des piézomètres installés, permettant de détecter toute pollution venant des industriels, exploitations agricoles et gravières présents dans les zones de captage.

I.3/. STATIONS DE PRODUCTION

Les premières données de production enregistrées datent de 1879.

Le graphique suivant retrace l'évolution de la production d'eau potable de 1879 à 2011.

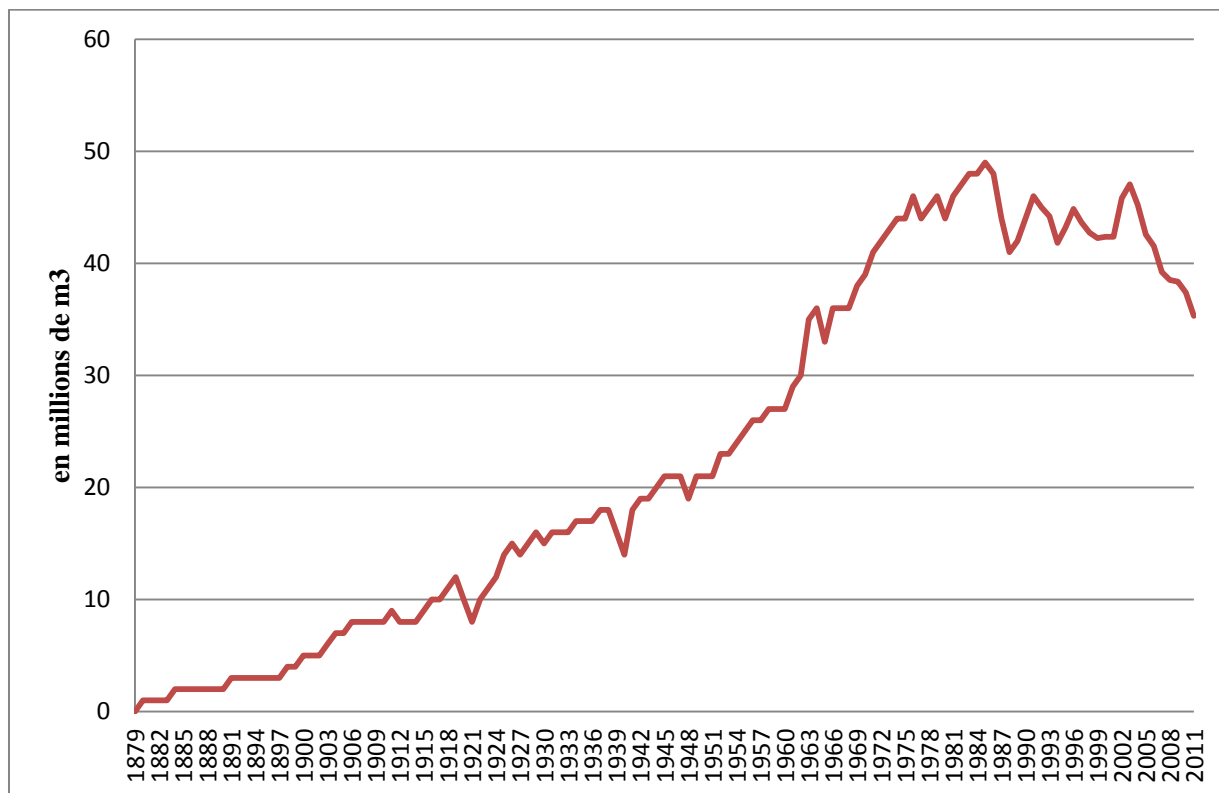


Figure 1:Évolution de la production

Comme le montre la figure 1, la production au sein de la CUS n'a cessé d'augmenter jusqu'au milieu des années 80 avec un maximum en 1985 à 49 millions m³. On observe de 1985 à 2002 une tendance à stabilisation, puis de 2002 à nos jours une tendance à la baisse. La tendance à la baisse peut s'expliquer par la fermeture de certains industriels et par la baisse des consommations unitaires domestiques.

De nos jours, quatre stations de pompage captent l'eau de la nappe et assurent l'alimentation du réseau parmi lesquelles on distingue deux catégories de stations classées selon leur rôle et leur taille.

- ❖ **Les stations assurant l'essentiel de la production** : le Polygone et la station d'Oberhausbergen ;
- ❖ **Les stations d'appoint** destinées à relever localement la pression : la station de Lingolsheim et celle de la Robertsau.

I.3.1/- Stations assurant l'essentiel de la production

I.3.1.1/- Station du Polygone

Elle est la plus ancienne et la plus importante. Le champ captant du Polygone est l'élément maître du réseau d'alimentation de la CUS. Elle assure actuellement environ 76% de la production et possède une capacité de 6000 m³/h.

Du fait de son environnement, le champ captant est très vulnérable : une zone industrielle est implantée dans la zone de protection rapprochée du Polygone, avec notamment une voie ferrée et divers établissements industriels. La station du polygone est composée de deux parties :

- La station principale, celle-ci comprend les puits collecteurs PC1 et PC2 et leurs puits de captage ; un siphon à hydro-éjecteur relie les PC1 et PC2, ce qui les rend difficilement dissociables. Au niveau du puits collecteur (PC1), l'eau est reprise par six pompes à axe horizontal débitant chacune 1000m³/h et celle du PC2 est refoulée dans le réseau par deux pompes du même type et fonctionnant en alternance (une de 1900 m³/h et l'autre de 2000 m³/h) ;
- La sous-station est composée du PC3 et est équipée de deux pompes centrifuges à axe horizontal. Elles débitent chacune 1000m³/h.

I.3.1.2/- Station d'Oberhausbergen

Située au nord-ouest de l'agglomération, elle est constituée d'un seul puits de 30m de profondeurs à drains rayonnants. Les huit drains horizontaux captent l'eau dans un rayon de 60 m. Équipée de trois pompes immergées à axe vertical, cette station fournit 21 % de la production et sa capacité est de 2200 m³/h (2x1100 m³/h).

I.3.1.3/-Stations d'appoint

I.3.1.3.1/-Station de Lingolsheim

Située au sud-ouest de la ville, la station de Lingolsheim est installée à l'intérieur d'une ancienne fortification et a une capacité de l'ordre de 150 m³/h. Elle est équipée de deux pompes à axe horizontal fonctionnant en alternance et de capacité respectives 100m³/h et 150m³/h. Dans l'alimentation de l'agglomération, elle joue un rôle de maintien de pressions au niveau des zones desservies. Sa production est de l'ordre de 2%.

I.3.1.3.2/-Station de la Robertsau

Cette dernière est située au nord-est et a une capacité de 100 m³/h répartie entre deux pompes à axe horizontal de 30m³/h et de 70m³/h. Elle joue le même rôle que la station de Lingolsheim. Le fonctionnement des pompes est alterné à cause de la présence du manganèse dans l'eau du forage dont la concentration est inférieure à la limite de référence : une pompe fonctionne le matin pendant une heure et l'autre pompe fonctionne le soir pendant la même heure. Elle fournit 1% de la production.

I.3.1.4/- Station de la Cour d'Angleterre

La réalisation de cette station est intervenue en 2003 suite aux recommandations du schéma directeur d'alimentation en eau potable (SDAEP). Ladite station vise à sécuriser l'alimentation des communes situées au Nord de l'agglomération.

De profondeurs respectives 80 m, les deux puits qui constituent les ouvrages de captage ont été réalisés en 2003 et ont une capacité de production de 1000m³/h. Contrairement aux autres puits des stations équipés de pompe à axe horizontal, ceux de la station de la Cour d'Angleterre sont équipés de 2 pompes immergées débitant chacune 500m³/h. La date prévisionnelle de mise en service de la station est prévue pour 2016.

À cause de son environnement immédiat (gravières) des piézomètres ont été installés aux alentours du bassin d'alimentation afin de suivre l'évolution de la nappe en cas de pollution. Cette station permet d'assurer les besoins futurs et de rehausser les faibles pressions observées au nord de l'agglomération.

I.3.1.5/- Station de Plobsheim

D'une capacité de 120 000m³/j, la station de Plobsheim est une station de sécurisation en cas de défaillance sur la station du Polygone. Sa mise en service est prévue pour 2016.

I.3.1.6/-Station de Wolfisheim

La station de Wolfisheim est en projet et elle permettra de sécuriser l'alimentation en eau des communes situées à l'ouest de l'agglomération. La programmation des travaux de la station sera menée après la mise en service des stations de la Cour d'Angleterre et de Plobsheim.

I.3.2/-Fonctionnement des unités de production

Grâce à l'automatisation des unités de production toutes les mesures sont suivies en temps réel tant au niveau de la station du Polygone que du service de l'eau. Avant la mise en place de ce nouveau système, la gestion du fonctionnement était assurée en 1974 par trois machinistes qui se relayaient toutes les 8h par jour au polygone et en 1996 par la télésignalisation.

I.3.3/-Aspect quantitatif de la production

La production annuelle des trois dernières années des quatre stations est consignée dans le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1: Production annuelle des quatre stations (RA, 2011)

	Production annuelle (m³)			
	2008	2009	2010	2011
Station du Polygone	30 435 930	29 810 920	30 134 980	28 480 660
Station d'Oberhausbergen	6 805 000	7 200 800	5 917 900	5 494 500
Station de Lingolsheim	933 060	932 580	929 430	900 820
Station de la Robertsau	316 120	412 920	409 350	413 070
Production totale	38 490 110	38 357 220	37 391 660	35 289 050
Volume refoulé dans le réseau	37 432 550	37 111 843	36 308 432	34 338 567

Les prélèvements d'eau pour l'année 2011 se sont établis à 35 289 050 m³, en diminution de 5,62% par rapport à ceux enregistrés en 2010.

La production totale prélevée au niveau de la nappe se décompose de la manière suivante :

- 2,69% de la production totale sont utilisés pour faire fonctionner le système de production par siphonnage;
- 97,31% de la production sont refoulés dans le réseau en vue de satisfaire les besoins des abonnés.

Le tableau 2 présente les productions maximales et moyennes observées le jour de pointe et celles de pointe horaire.

Tableau 2: Production du jour de pointe et celle horaire (Base de données de la CUS)

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Production journalière de pointe	Moyenne	116 601	113 750	107439	105 164	105 088	102 443	96 682
	Maximum	136 740	130 330	124 500	119 640	120 070	118 380	110 140
Production horaire de pointe	Moyenne	5 697,5	5 430,4	5 187,5	4 985	5 002,9	4932,5	4 589
	Maximum	7 790	7 250	8 690	6 810	7 130	7 880	6 450
Coefficient de pointe K ₁		1,17	1,15	1,16	1,14	1,14	1,16	1,14
Coefficient de pointe K ₂		1,37	1,34	1,68	1,37	1,43	1,60	1,41

La journée dite « de pointe », observée le 25 mai 2011 est caractérisée par la production de 110 140 m³. En comparant ce volume à la production journalière moyenne (96 682m³), un

coefficient de pointe (K1) égal à 1,14 est calculé. Celle du coefficient de pointe horaire est définie par le ratio entre la production horaire de pointe et la production horaire moyenne. Pour 2011, K₂ vaut 1,41.

Le coefficient de distribution s'exprime par la relation $K = K1 \times K2$ donc pour 2011, $K = 1.14 \times 1.41 = 1.61$

La norme NF EN805 stipule que pour les collectivités de plus de 10 000 habitants,

- le coefficient de pointe journalier (K1) : 1.5;
- le coefficient de pointe horaire (K2) : 2.

En comparant les valeurs de la norme à celles obtenues pour l'année 2011, on constate que celles de l'année 2011 sont en deçà des valeurs de la norme. Ceci s'explique par la taille de la population qui écrase l'effet de pointe.

I.4/. Qualité des eaux pompées et distribuées

L'eau pompée subit au niveau des quatre stations une simple chloration à cause de sa qualité bonne jusqu'à présent. Ce traitement vise à maintenir une concentration résiduelle en chlore dans l'eau durant tout son temps de séjour dans le réseau afin de la protéger contre une dégradation et à respecter le plan Vigipirate.

Comparativement à d'autres méthodes notamment l'ozonation, le traitement au chlore a l'avantage d'avoir de bonnes propriétés de rémanence et reste donc longtemps présent dans le réseau.

L'eau distribuée est moyennement minéralisée et moyennement dure (environ 28°F), bicarbonatée, chlorurée, calcique et sodique (cf. annexe 3). Elle ne diffère que par la dureté. La plus forte s'observe à Oberhausbergen et à Lingsheim.

Cette eau est soumise à une surveillance permanente de la source de captage au robinet des abonnés et à deux niveaux de contrôles (contrôle sanitaire du préfet et celui du service de l'eau) permettant d'assurer sa conformité aux normes de potabilité. En 2011, 1941 prélèvements d'eau ont été réalisés sur le réseau de distribution et au robinet des consommateurs.(RA, 2011).

I.5/- RÉSERVOIR

Semi enterré et de capacité 30 000m³, le nouveau réservoir a été conçu pour remplacer l'ancien réservoir enterré de 16 600m³. Le nouveau réservoir se trouve en bout du réseau sur une colline située dans la commune d'Obershausbergen. Il a été construit 10m au-dessus de l'ancien afin de relever les pressions d'un bar (10m) au-dessus de l'agglomération. Le nouveau réservoir est compartimenté en deux bâches de 15 000m³ chacune. Chaque année, les deux bâches sont nettoyées l'une après l'autre afin de maintenir le réservoir en fonctionnement.

Le nettoyage dure 6 semaines. Le réservoir présente un seul cycle de marnage par jour (cycle de remplissage et de vidange). Il commence à se remplir le soir à partir de 21 heures pour atteindre son niveau maximum (7 mètres de hauteur d'eau) à 7 heures (cf. Figure 2). Pendant la journée, il dessert l'ensemble des 12 communes de la CUS (cf. **annexe 4**) et son niveau diminue de manière régulière pour atteindre son minimum (2m de hauteur d'eau) en fin de la journée vers 21 heures.

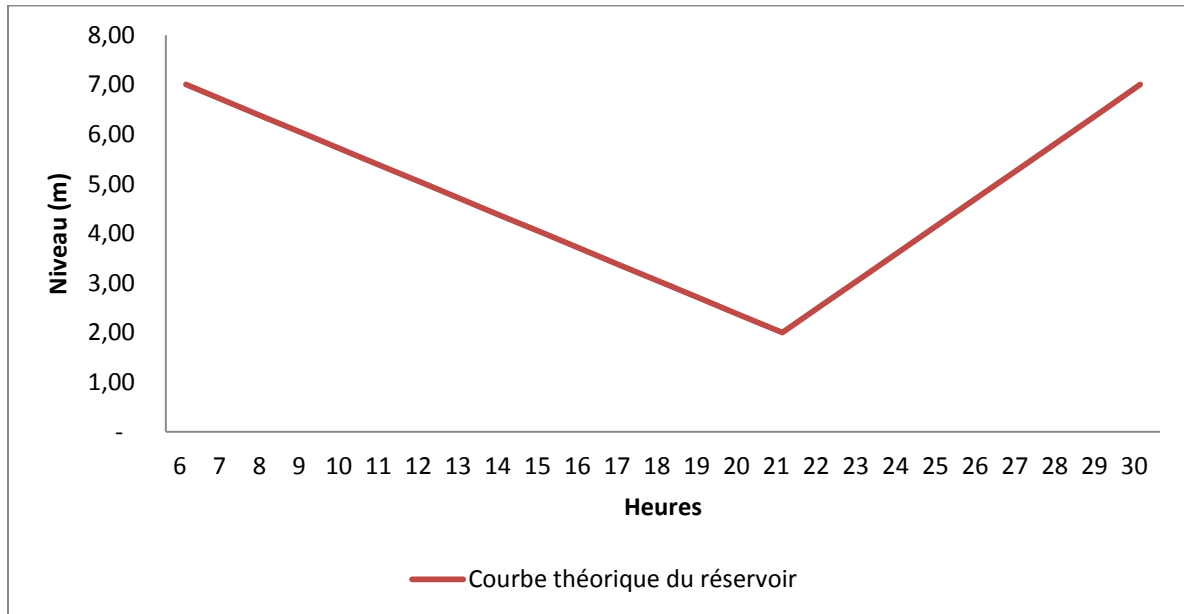


Figure 2: Évolution théorique du niveau dans le réservoir

Du lundi au vendredi, le volume maximum de remplissage du réservoir est de 28 000 m³, alors qu'il est de 26 000 m³ le samedi et le dimanche. Son minimum est de 8000 m³. En outre, le réservoir sert également à maintenir la charge piézométrique sur le secteur Nord-ouest.

I.6/-RÉSEAUX DE REFOULEMENT ET DE DISTRIBUTION

I.6.1/-Réseau de refoulement

Le réseau d'adduction d'eau potable de la CUS est de type refoulement –distribution.

I.6.2/-Réseau de distribution

Construit en 1878 date de l'occupation allemande, le réseau de distribution d'eau potable de la CUS est fortement maillé et d'un dimensionnement plutôt sécuritaire. Il est constitué d'une seule unité de distribution et affiche en 2011 un linéaire total de 1082 km de conduites reparti entre les conduites en fonte grise, les conduites en fonte ductile, les conduites en acier et les conduites PEHD.

Sur ce réseau sont raccordés environ 18 000 robinets vannes, 360 vannes papillon, 5000 hydrants, 3200 poteaux incendie et 46 000 branchements.

On constate sur la figure 3 que le réseau est constitué en grande partie de conduites en fontes ductiles et de conduites en fonte grise.

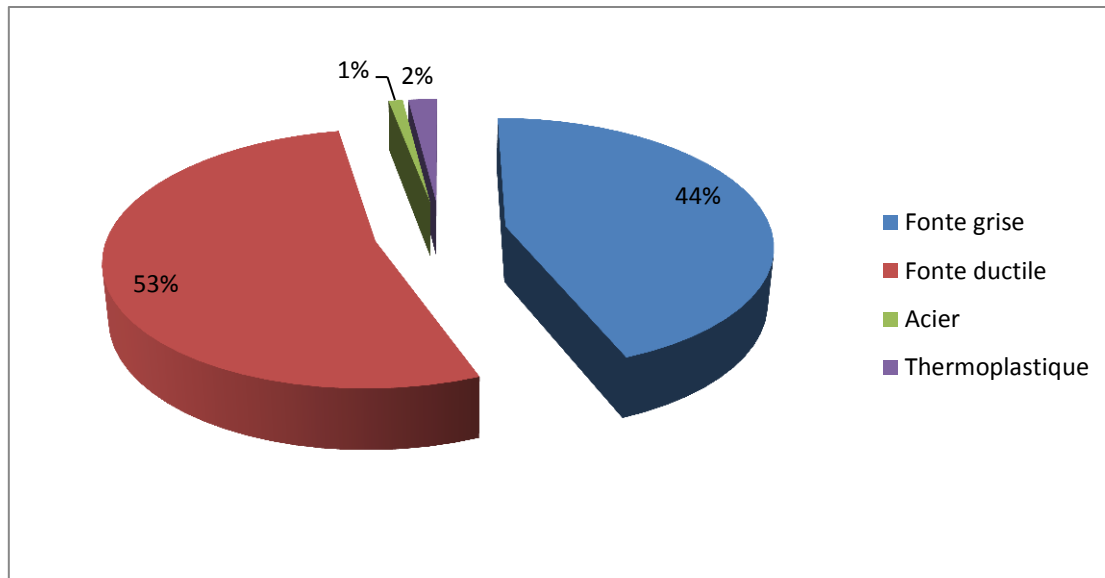


Figure 3: Répartition des conduites par nature de matériau de la canalisation (Source : Base de données du service de la CUS)

Le réseau de distribution se répartit en 3 niveaux d'importance :

- **Niveau 1** : Canalisation structurante ou feeder. Elle ne comporte pas de branchement des canalisations du niveau 3 ;
- **Niveau 2** : Canalisation principale de distribution. Celle-ci se raccorde aux feeders et comporte les canalisations de niveau 3 ;
- **Niveau 3** : Canalisation de branchements. C'est à partir de celle-ci que s'établit la liaison entre la conduite de distribution et les installations des abonnés.

En observant le réseau on constate que l'ossature principale du réseau est définie par l'axe sud-est/nord-ouest sur lequel vient s'appuyer l'ensemble du réseau des niveaux 2 et 3. Cet axe est formé de 2 branches : une branche en diamètre 800 mm et l'autre de 800 mm en série avec la conduite de 600 mm. Ces 2 branches relient la station du Polygone à celle d'Oberhausbergen et elles jouent le rôle de colonne vertébrale pour le réseau de distribution (cf. figure 4).

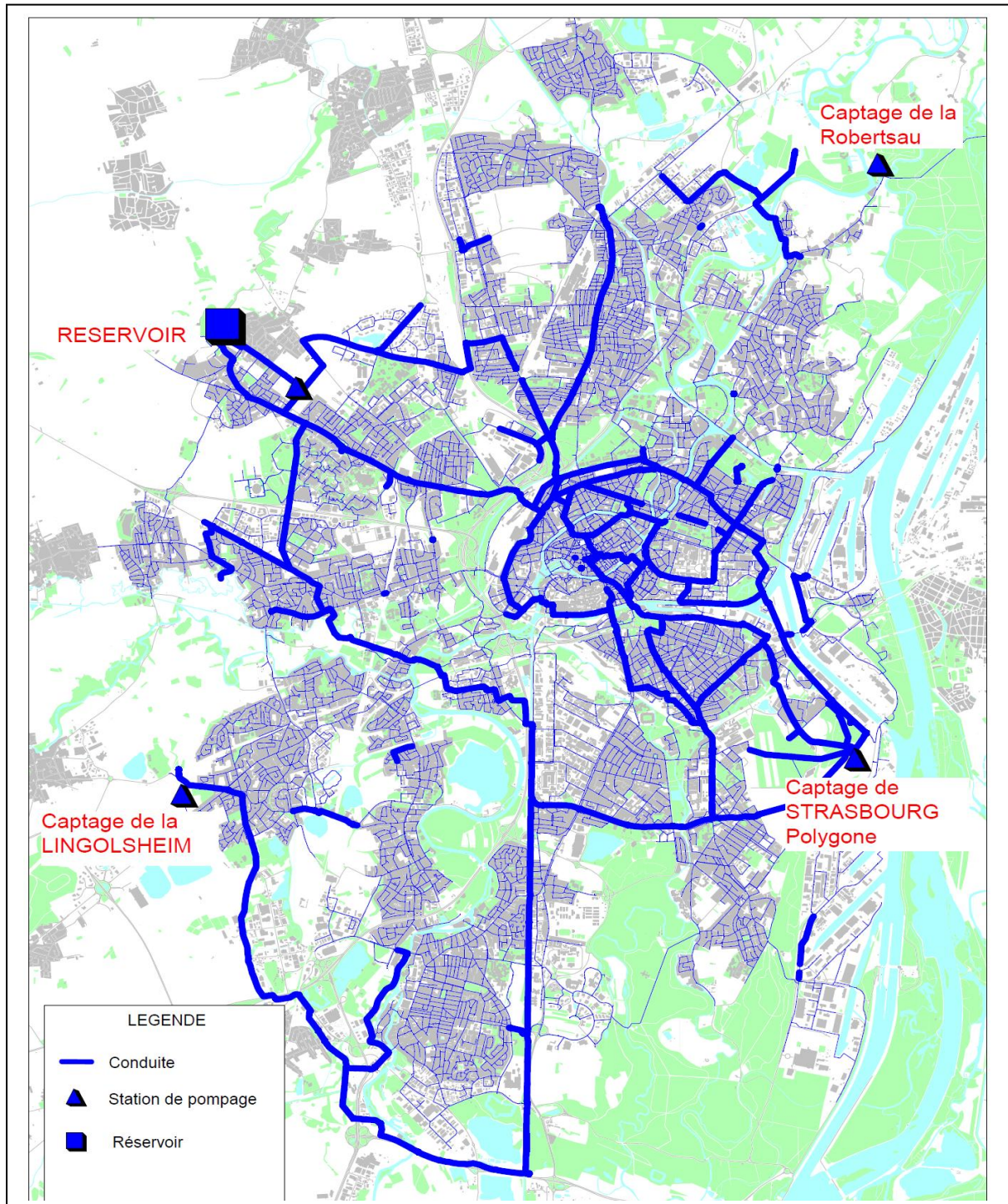


Figure 4: Réseau de distribution et de refoulement

L'âge moyen du réseau de la CUS est de 44 ans (moyenne calculée par la pondération de l'âge des conduites par leur linéaire) (cf. figure 5). Si le réseau apparaît relativement récent, il existe des disparités géographiques, notamment dans certains secteurs du centre-ville de Strasbourg où le réseau est très ancien avec des canalisations datant des années 1900.

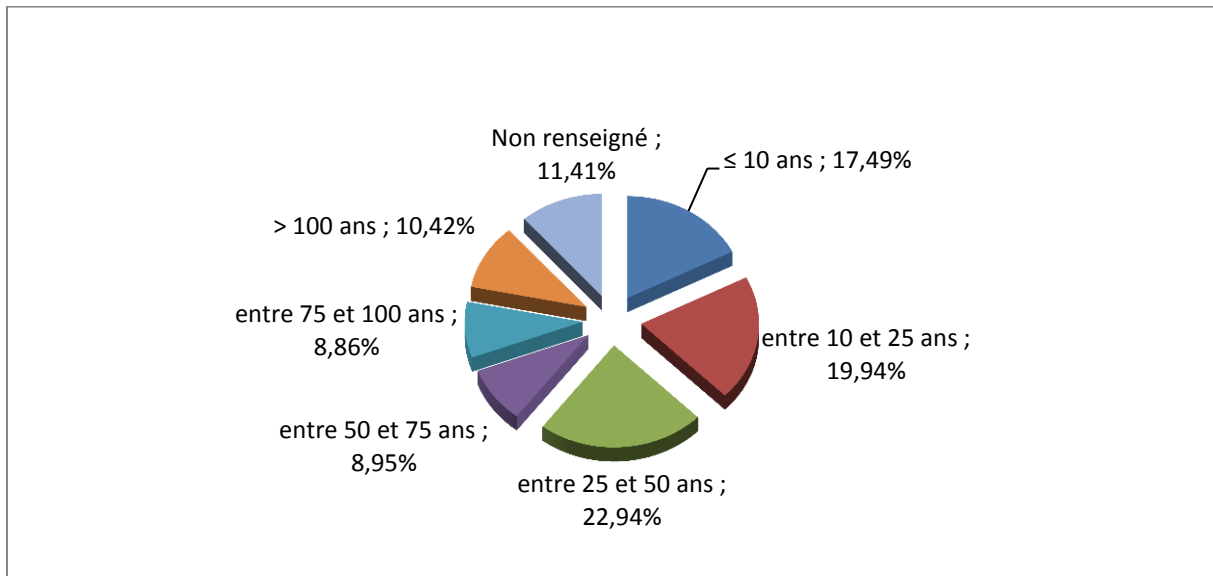


Figure 5: Age moyen du réseau (Source : Base de données du service de la CUS)

Pour améliorer la qualité de son service aux abonnés, le service de l'eau de la CUS a entrepris depuis quelques années le renouvellement de son réseau. La figure 6 donne le taux y afférent.

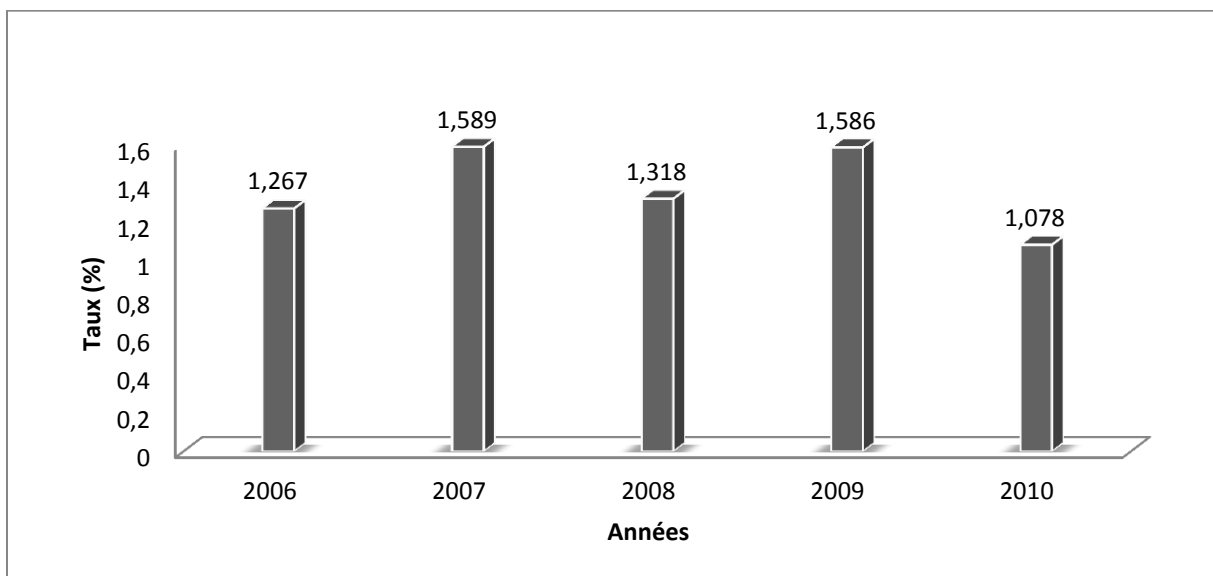


Figure 6: Taux de renouvellement des conduites

I.6.3/-Indicateurs de performance du réseau

Différents paramètres permettent de caractériser un réseau de distribution d'eau potable et d'apporter ainsi une meilleure lisibilité quant à la performance du service rendu. C'est notamment le cas du rendement et de l'indice linéaire de pertes.

I.6.3.1/-Rendement net

Le rendement est un moyen d'apprécier l'état du réseau pour d'une part suivre son évolution dans le temps et d'autre part le comparer à celui d'autres réseaux. Il traduit mieux l'état physique du réseau ainsi que la gestion pratiquée, donc la performance du couple gestion/réseau.

Le rendement est défini comme étant le ratio entre d'une part le volume consommé autorisé augmenté des volumes vendus en gros à d'autres collectivités ou service public d'eau potable et d'autre part le volume produit augmenté des volumes achetés en gros à d'autres services publics d'eau potable. Sa formulation est la suivante:

$$R_{net} = \frac{(\text{Volume consommé} + \text{volume vendus en gros})}{(\text{Volume produit} + \text{volume acheté})}$$

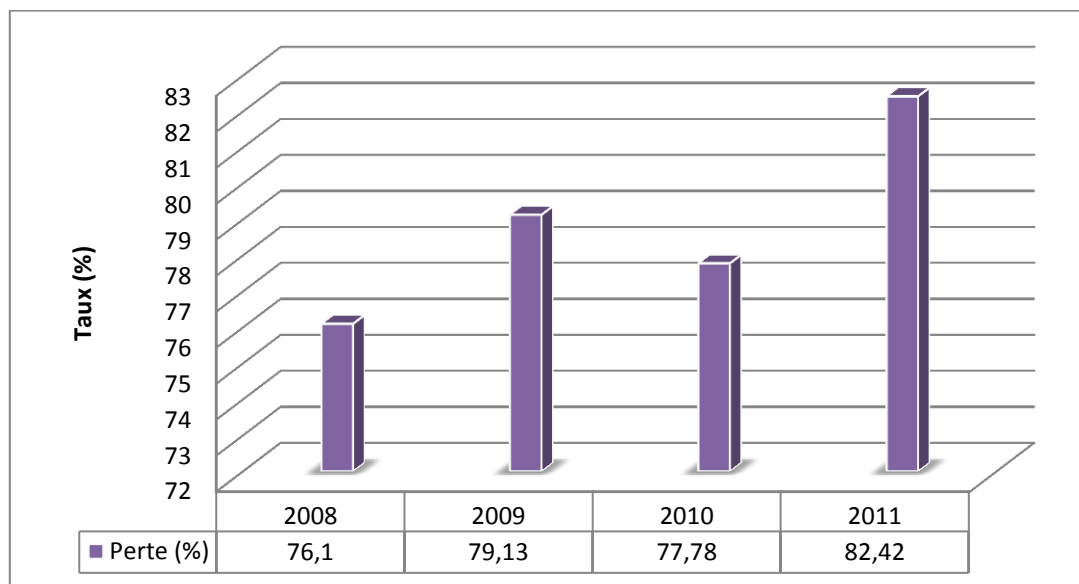


Figure 7- Évolution du rendement entre 2008 et 2011

Sur la figure 7, on constate que le rendement évolue en dents de scie. Cependant on constate qu'en 2011, il est de 82,42% soit une augmentation de 5,62% par rapport à celui de l'année 2010. Le rendement moyen, sur les quatre dernières années est de 79%, et peut être classé dans la grille « **Bon** » (cf. tableau 3).

Tableau 3: Qualification des rendements (Source : Etude inter agence de l'eau)

Rendement	Grille
50 à 60%	Mauvais
60 à 70%	Médiocre
70 à 75%	Moyen
75 à 80%	Bon
80 à 85%	Très bon
85 à 90%	Excellent

I.6.3.2/-Pertes

S'exprimant par la formule ci-dessous, elles comprennent :

- Les fuites sur le réseau ;
- Les volumes de service du réseau (purges, vidanges de tronçons) ;
- Les consommations municipales (fontaine, nettoyage de tronçons) ;
- Les prises d'eau non autorisées ...

$$\text{Pertes (m}^3\text{/an)} = \text{Volume mis en distribution (m}^3\text{/an)} - \text{volume facturé (m}^3\text{/an)}$$

D'après (E. Jaumouillé, 2009), les fuites sur un réseau sont divisées en deux catégories : les fuites détectables et non détectables (les fuites diffuses) dont le débit est inférieur au seuil de détection des appareils de mesure.

Les débits des fuites augmentent comme la pression à une puissance comprise entre 0,5 et 2,5. Si le débit est de 1 unité pour une pression de 5 bars, il sera de 0,45 unité pour une pression de 1 bar et de 1,4 unités pour une pression de 10 bars (variation en fonction de la racine carrée de la pression).

I.6.3.3/-Indice linéaire de pertes

L'indice linéaire de perte permet de comparer l'état physique des réseaux quelles que soient leur longueur et leur ossature et du mode de consommation. Exprimé en m³/j/km, il donne une idée de l'efficacité du réseau.

Il est basé directement sur le volume des pertes et ne font pas intervenir de rapport de volumes comme pour le rendement.

Cependant, l'indice linéaire de pertes est également utilisé pour des réseaux urbains comme le montre le tableau 4 issu des études de l'Agence de l'eau Adour Garonne.

Tableau 4: Valeurs de référence pour l'indice linéaire de perte (Études de l'Agence de l'eau Adour Garonne)

Catégorie réseau	Rural	Semi-rural	Urbain
Bon	<1,5	<3	<7
Acceptable	<2,5	<5	<10
Médiocre	<4	<8	<15
Mauvais	>4	>8	>15

En comparant les valeurs du tableau 5 avec celles du tableau 4, nous pouvons qualifier le réseau de la CUS de « **mauvais** » eu égard aux différentes valeurs obtenues au cours des quatre dernières années.

Tableau 5: Valeur de l'indice linéaire de perte du réseau de la CUS

	2008	2009	2010	2011
Indice linéaire de perte en réseau (m ³ /jour/km)	22,9	19,77	20,80	18,31

Conclusion partielle du chapitre I

En vue d'atteindre les objectifs du rendement fixés à 85%, le service de l'eau devra beaucoup œuvrer pour réduire les pertes via des actions comme:

- La détection des secteurs fuyards à travers une campagne de recherche de pertes d'eau ;
- La réparation des conduites sujettes à des fuites;
- Le renouvellement des conduites.

C HAPITRE II: ÉTUDE DES DEMANDES

Ce chapitre vise à analyser les courbes de demande journalière puis de caractériser les secteurs auxquels elles sont rattachées.

II.1/-Définition de la demande

La demande d'un réseau à un instant « t » est la quantité d'eau effectivement consommée à cet instant par les usagers et par les fuites.

Le service de l'eau de la CUS a entrepris depuis quelques années la mesure en continu du débit via la sectorisation de son réseau, ce qui permet une analyse de la demande par secteur.

II.2/-Sectorisation du réseau

Le Syndicat Mixte d'Études pour la Gestion de la Ressource en Eau de la Gironde (SMEGREG) définit la sectorisation comme étant un « outil de diagnostic de l'état et du fonctionnement du réseau à un instant donné, mais surtout un outil de gestion du patrimoine au quotidien »(O.Chesneau, 2006).

Elle consiste à décomposer le réseau en un ou plusieurs niveaux de sous-réseaux pour lesquels les volumes mis en distribution sont mesurés de façon permanente ou temporaire.

Suivant l'objectif recherché, un réseau de distribution peut être divisé en plusieurs niveaux de sectorisation :

- **1er niveau** : Sur chacun des secteurs de ce premier niveau, une relève annuelle de l'ensemble des systèmes de comptage permettra d'obtenir les différents volumes mis en distribution. La connaissance des volumes consommés, grâce au rattachement de chaque abonné à un des secteurs, permettra ainsi de calculer par zone les indicateurs annuels de rendements et d'indices de pertes. Par rapport aux indicateurs calculés pour l'ensemble du réseau, on pourra faire ressortir des disparités entre secteurs et identifier les plus fragiles sur lesquels porteront en priorité les efforts d'amélioration ;

- **2ème niveau** : Sur chacun des secteurs du deuxième niveau, on mesurera les volumes mis en distribution et en particulier le débit minimum nocturne (usuellement sur une plage horaire adaptée à la consommation des usagers, par exemple entre 2 et 4 heures du matin). Cette valeur déduction faite des consommations nocturnes connues (industriels, gros consommateurs, artisans, ...) pourra être assimilée aux fuites et permettra de calculer l'indice linéaire de fuites par secteur. La comparaison des valeurs orientera les priorités dans la recherche précise de fuites;

- **3ème niveau** : Par une manœuvre de vannes et l'observation de la variation du débit, ce niveau sera une aide à la pré localisation des fuites. (**SAGE² Nappes profondes de Gironde, guide technique version juin 2004**).

² Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Au niveau du réseau de la CUS, le 1er niveau de sectorisation est déjà en place avec l'équipement des stations de production. Le second niveau est en cours avec la décomposition du réseau en secteurs de distribution. Le phasage réalisé se présente comme suit :

Phase 1 : Le réseau a été divisé en deux secteurs : Est et Ouest (cf. figure 8)

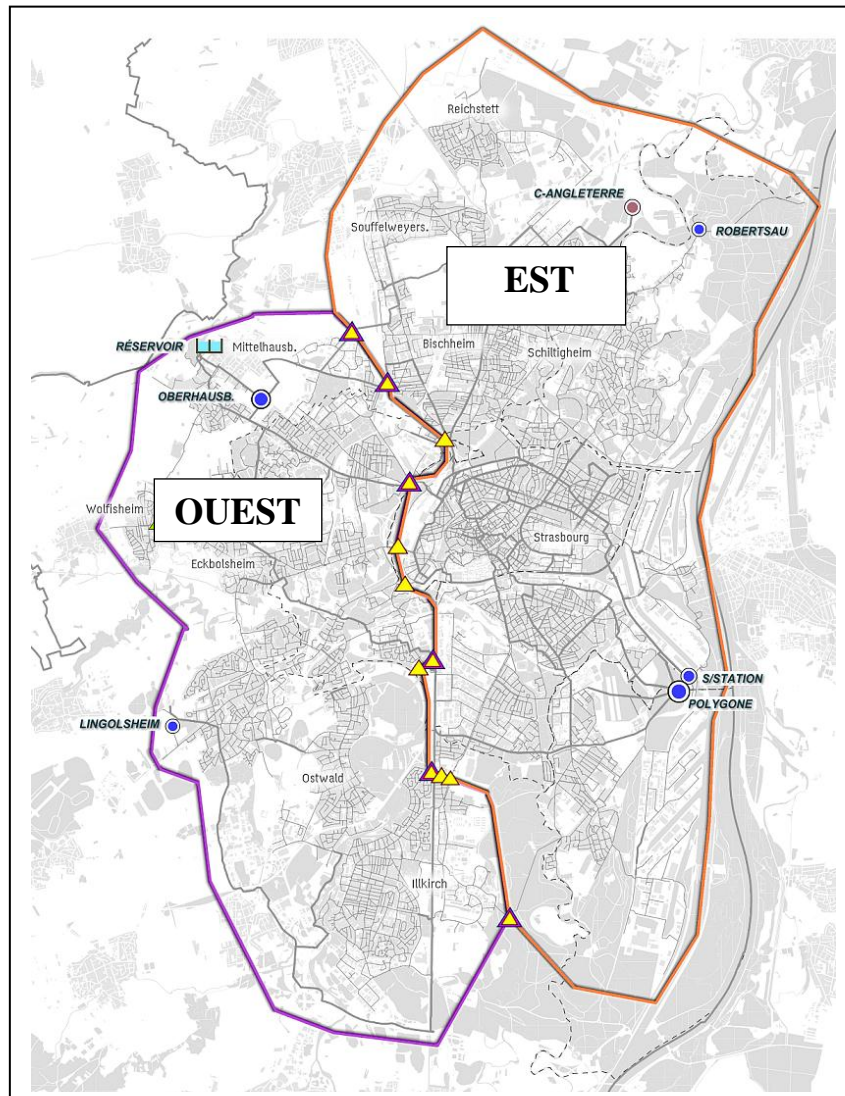


Figure 8: Découpage du réseau en deux secteurs (Est et Ouest)

Phase 2 : Les deux secteurs de la phase 1 ont été subdivisés en 4 secteurs : Sud-Est, Nord-Est, Sud-Ouest et Nord-Ouest (cf.figure 9) sur lesquels sont installés 19 débitmètres de type électromagnétiques.

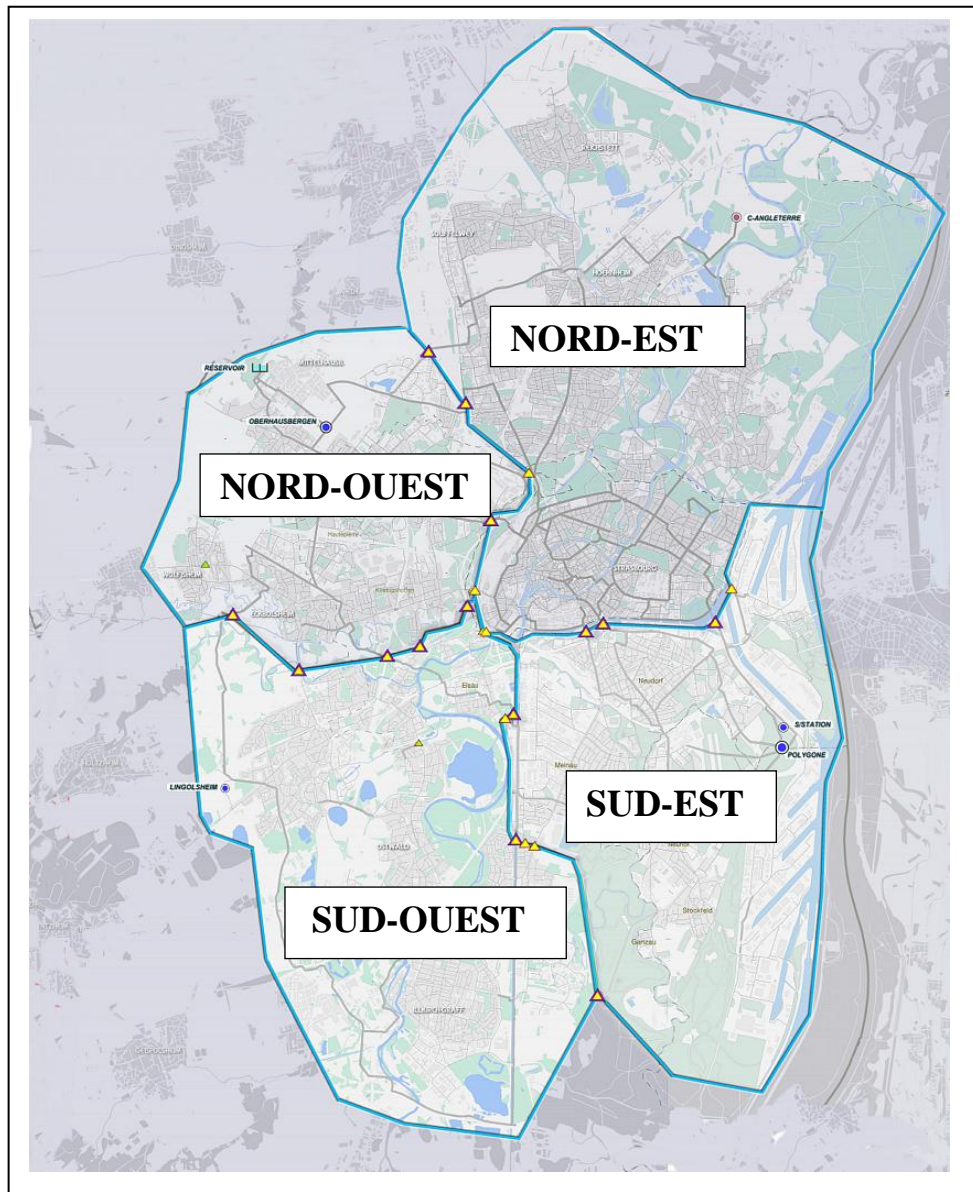


Figure 9: Découpage du réseau en quatre secteurs

- Phase 3 : 14 secteurs proviendront également de la subdivision des 4 secteurs de la phase 2 en unités de distribution de petite taille (cf. figure 10). Il est prévu cette année l'installation 34 débitmètres qui seront opérationnels courant dernier trimestre de l'année 2012.

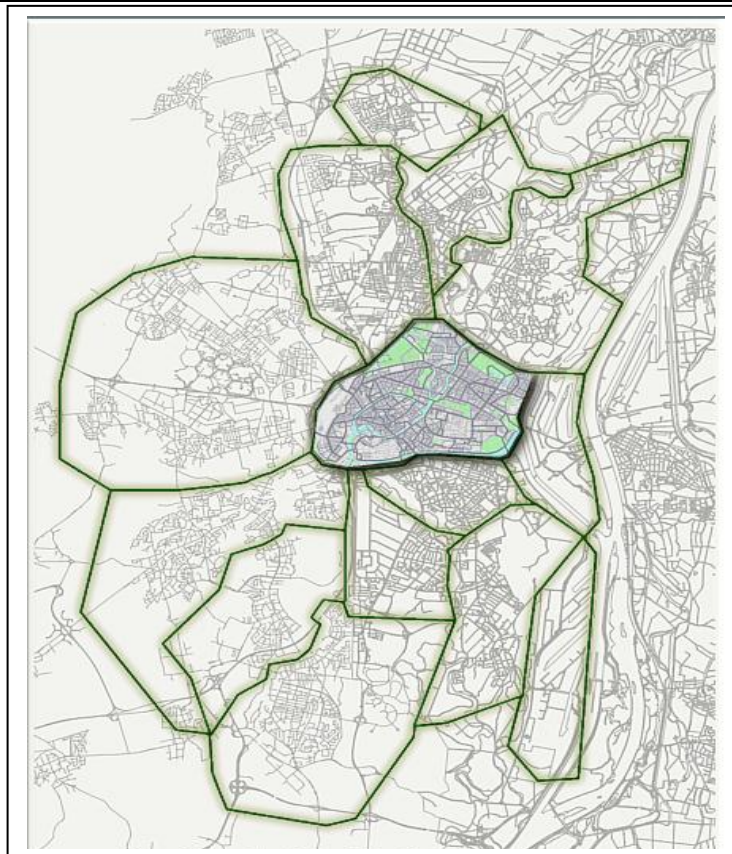


Figure 10: Découpage du réseau en 14 secteurs

II.2.1/-Constitution de la base de données

La création de la base de données du service de l'eau date de 2011, année de réalisation de la phase 2 de la sectorisation. Elle est constituée essentiellement des données issues de la mesure en continu et de la production. Les mesures en continu se font avec les capteurs qui enregistrent en temps réel (toutes les 2mn30s) le débit, le pH, la température, la pression, la conductivité et le chlore résiduel.

À partir des valeurs des paramètres mesurés en continu, le service de l'eau a développé des algorithmes qui effectuent heure par heure le bilan volumétrique au niveau de chaque secteur du réseau. Avec cette nouvelle approche, il peut détecter à tout moment à travers l'analyse de l'évolution d'une courbe les anomalies de mesure de débit entre secteur du réseau.

L'intérêt principal de ces données réside dans le fait que nous disposons de séries temporelles de débits pour les 4 secteurs.

II.2.1.1/-Choix des données

Pour les besoins de l'étude, nous avons extrait de cette base de données, les débits horaires afférents aux quatre secteurs. Une analyse rapide sur l'évolution des courbes des mois de janvier à mai a permis de détecter les interruptions dans la chronique horaire des mois concernés. Ces données ont été écartées. La panne au niveau de certains débitmètres et leur remplacement, la pose d'une nouvelle conduite reliant deux secteurs existants et son équipement ultérieur sont les principales causes de ces interruptions constatées.

Ainsi, seuls les débits horaires des mois de juin à décembre ont été conservés pour l'étude des demandes.

II.3/-Analyse courbes de demande

II.3.1/-Caractérisation des secteurs

1. Secteur Nord-est

D'une population totale de 221 083 habitants (Source INSEE, recensement 2008), le Nord-est englobe 5 communes (Reischtett, Souffleweyersheim, Hoenheim, Bischheim, Schiltigheim) et 5 quartiers de la ville de Strasbourg (Bourse-Esplanade-Krutenau, Centre-ville, Gare-Porte de Schirmeck, Orangerie-conseil des XV, Robertsau –Wacken). À l'intérieur dudit secteur on y trouve des habitats collectifs concentrés, quelques maisons individuelles et des magasins pour le commerce.

2. Secteur Sud-est

Il est le plus industrialisé et renferme, outre les industries, les habitats collectifs concentrés. Pour une population de 46 023 habitants, il regroupe 4 quartiers de Strasbourg dont Meinau, Neudorf-Musau, Neuhof et le Port du Rhin.

3. Secteur Sud-ouest

Il constitue après celui du Nord-est le plus peuplé avec une population de 73 312 habitants. Le secteur regorge beaucoup d'habitats collectifs concentrés et de maisons individuelles de faible densité. Le secteur englobe 3 communes de la CUS (Illkirch-Graffenstaden Ostwald, Lingolsheim) et deux quartiers de Strasbourg (Elsau, Montagne Verte). Contrairement à celui du Sud-est, il contient très peu d'industrie.

4. Secteur Nord-ouest

Très résidentiel à cause de la très forte densité d'habitats collectifs et de maisons individuelles, le Nord-ouest renferme les communes d'Oberhausbergen, Wolfisheim Eckbolsheim et 3 quartiers de Strasbourg (Koenigshoffen, Cronembourg et Hautepierre) pour une population de 72 444 habitants.

II.3.2/-Étude des courbes de demande par secteurs

Dans l'optique d'utiliser les courbes de demande pour simuler le comportement des abonnés vis-à-vis de l'eau, nous avons adopté une méthodologie qui s'articule autour de trois grandes étapes :

- La première étape est celle relative à la caractérisation des courbes de demande journalière ;
- La deuxième et la troisième étape portent respectivement sur l'établissement des courbes moyennes mensuelles et l'analyse de ces courbes.

La demande journalière d'un secteur est la somme de trois volumes : abonnés domestiques, industries et pertes. Pour faciliter l'analyse, toutes les courbes ont été adimensionnalisées via le calcul du coefficient de variation. Une courbe de demande est caractérisée par un minima nocturne, une pointe matinale et une pointe en début de soirée (cf. figure11) (A. Euzen, 2004)

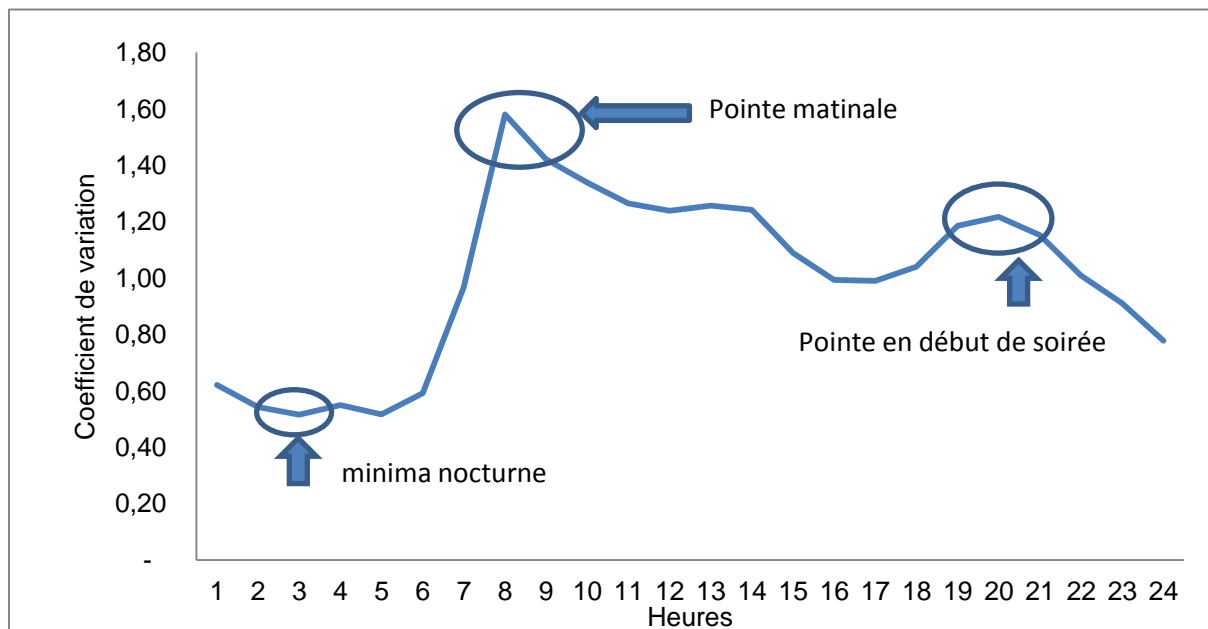


Figure 11: Courbe type d'une demande journalière (courbe établie sur la base des données CUS)

II.3.2.1/- Étape 1 : Caractérisation des courbes de demande journalière

La période d'étude s'étend sur 214 jours et sur 856 courbes de demande journalière sur l'ensemble des 4 secteurs. Pour illustrer cette première étape de notre méthodologie, nous avons pris le **mois de juin** et le **secteur Nord-est**. L'ensemble de l'analyse de juin à décembre sur les 4 secteurs sont présentés en annexe. Le choix s'est porté sur le secteur Nord-est parce qu'il :

- Renferme à lui-seul 5 communes et 5 quartiers de la ville de Strasbourg pour une population totale de 221 083 habitants;
- Possède la demande journalière la plus élevée par rapport à celle des autres secteurs.

Pour caractériser la courbe de demande journalière, nous avons travaillé sur un échantillon qui porte sur les courbes de demande journalière de la première semaine du mois de juin (lundi au dimanche). Les 7 courbes de demande journalière ont été mises ensemble dans un système d'axes de coordonnées cartésiennes. L'objectif recherché est de les caractériser via la similarité. En observant de plus près la figure 12, nous avons constaté que trois types de courbes se dégagent :

- Le premier type de courbe est celui qui regroupe 5 courbes de demande journalière. Sur la figure 12, elles se superposent les unes sur les autres pour dégager l'allure d'une seule courbe de demande. Ce qui dénotent qu'elles présentent entre elles une similarité. Il s'agit des courbes de demande journalière des jours ouvrables (du lundi au vendredi). Ce premier type de courbes a été nommé **courbe de demande de la semaine**.
- Le second et le troisième type renferment respectivement une seule courbe de demande et ne présente entre elle aucune ressemblance. Ils ont été nommés respectivement **courbe de demande de samedi et de dimanche**.

La dissemblance entre les trois types de courbes s'observe par le biais du décalage entre :

- La courbe de demande de la semaine et celle de samedi ;
- La courbe de demande de la semaine et celle de dimanche ;
- La courbe de demande de samedi et celle de dimanche (cf. figure 12).

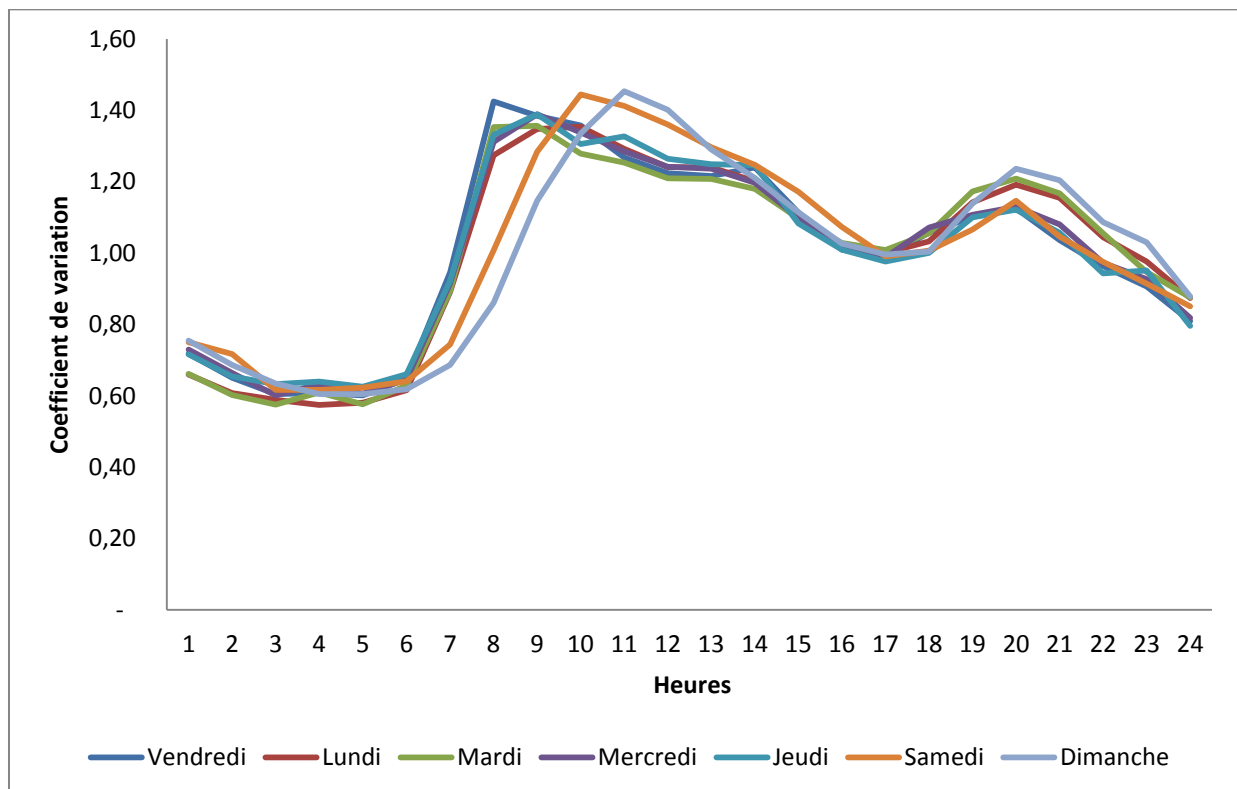


Figure 12: Comparaison entre les courbes de demande par type de jours (Exemple du secteur Nord-est, semaine du mois de juin)

II.3.2.2/- Etape 2 : Établissement des courbes moyennes et mensuelles de demande

Pour illustrer la seconde étape de la méthodologie, nous avons pris un jour de la semaine (par exemple le lundi). La courbe moyenne du lundi se résume à prendre la moyenne de 4 ou 5 lundis du mois. Les courbes moyennes des autres jours de la semaine (mardi, mercredi, jeudi, vendredi) et celles des 2 jours non ouvrés (samedi, dimanche) ont été dressées avec la même démarche. Les figures 13 et 14 illustrent pour le mois de juin les courbes moyennes de la semaine et celles des jours non ouvrés du secteur Nord-est. Les courbes moyennes des autres secteurs sont annexées au présent rapport (cf. annexe 5)

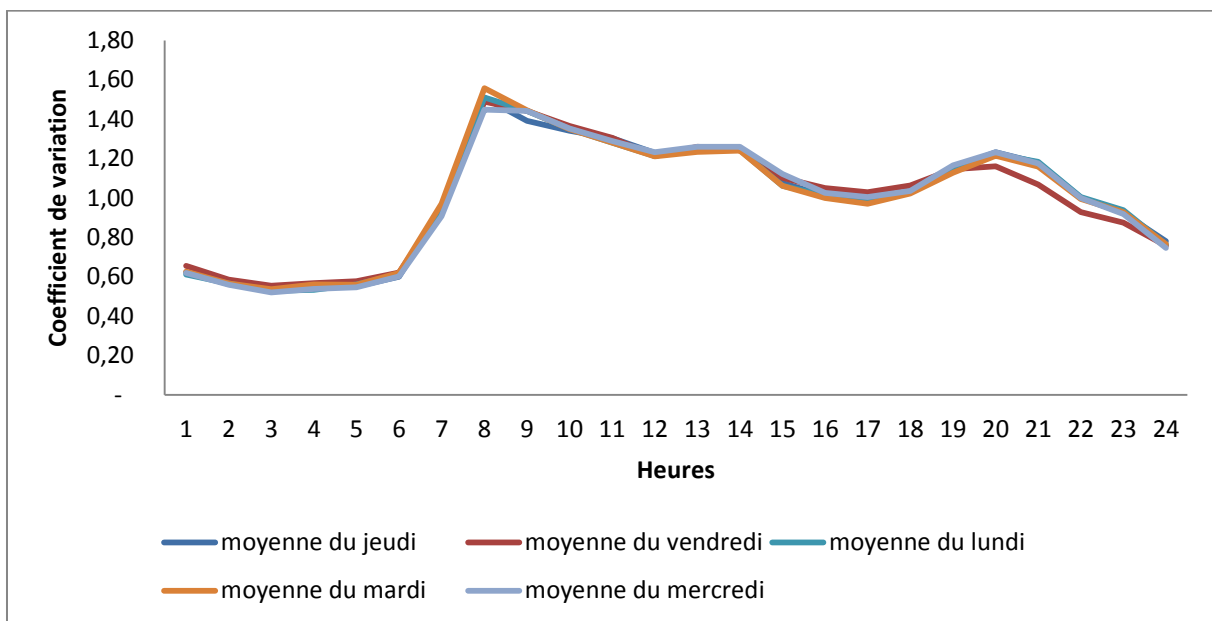


Figure 13: Courbe moyenne de demande de la semaine (Exemple du Nord-est)

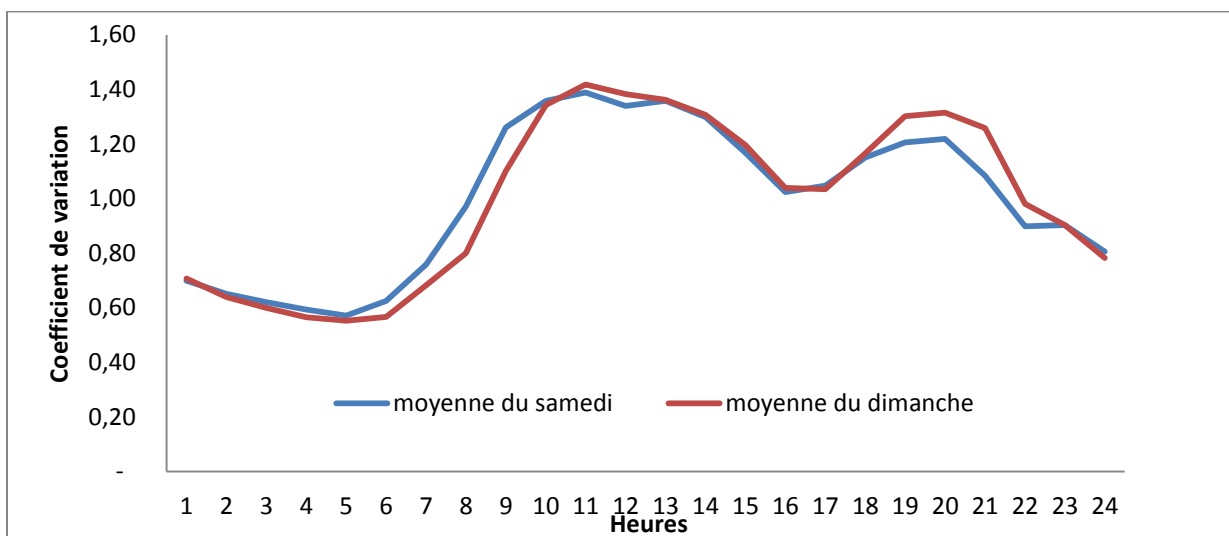


Figure 14: Courbes moyennes de samedi et de dimanche (Exemple du Nord-est)

Ainsi, 196 courbes moyennes de demande ont été élaborées et se répartissent comme suit : 140 (5 jours x 7 mois x 4 secteurs) courbes moyennes de la semaine et 56 (2 x 7 x 4) courbes moyennes de samedi et dimanche.

Étant donné la similitude entre les courbes moyennes des jours de la semaine, une seule courbe mensuelle de la semaine a été établie pour les 5 jours de la semaine. Les courbes mensuelles de samedi et de dimanche restent à l'identique des courbes moyennes de samedi et de dimanche, parce que ne renfermant respectivement qu'une seule courbe moyenne. À travers cette démarche, 84 courbes mensuelles de demande ont pu être construites pour l'ensemble des 4 secteurs.

Par ailleurs, à chaque courbe moyenne, un écart type a été calculé dans le but de montrer la faible variabilité de la moyenne par rapport aux seuils de tolérance fixés à 5%. La figure 15 montre bien que la moyenne s'écarte peu de ses limites.

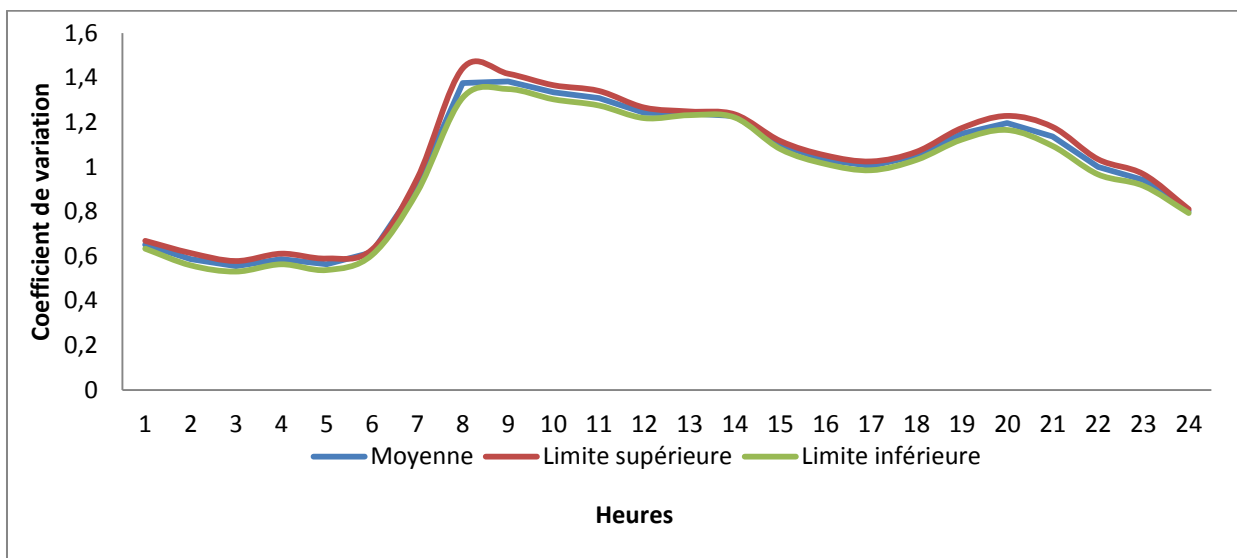


Figure 15: Représentativité de la moyenne du mois de juin par comparaison à des seuils (Nord-est)

En superposant les courbes mensuelles de la semaine de chaque secteur, on constate sur les 7 mois étudiés que 2 secteurs ont le même comportement. Il s'agit en l'occurrence du secteur Nord-est et Sud-ouest. Ceci peut être expliqué par le caractère très résidentiel desdits secteurs en témoigne la présence de nombreux habitats collectifs concentrés. La figure 16 illustre pour le mois de juin le comportement des 4 secteurs. Les figures des autres mois sont présentées en annexe 5.

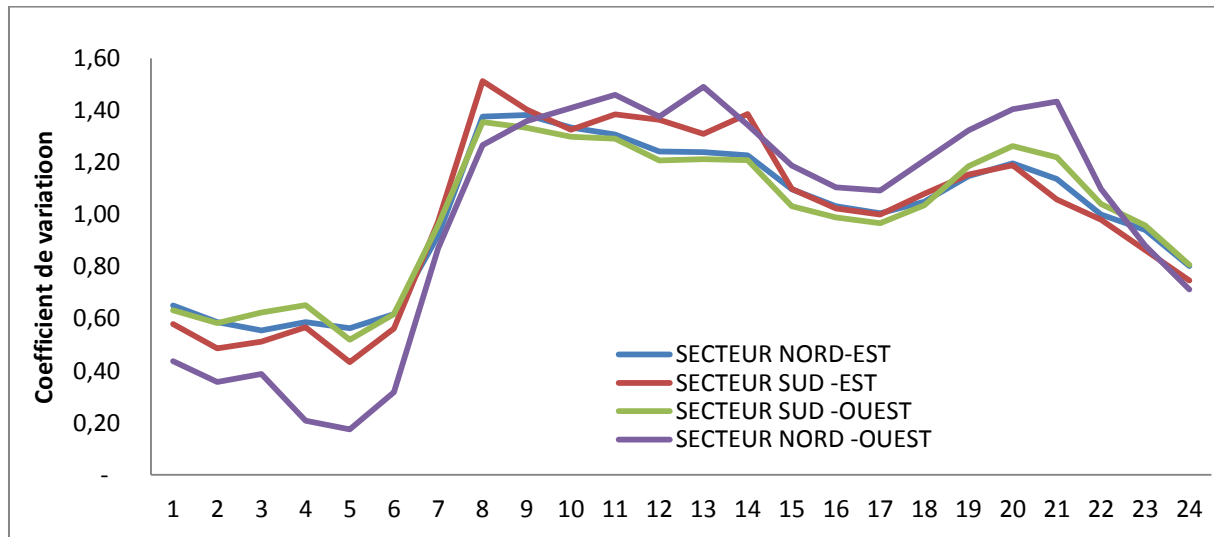


Figure 16: Comparaison entre les courbes mensuelles des secteurs (mois de juin)

Les secteurs comme le Sud-est et le Nord-ouest n'ont entre eux aucune similitude. Leurs comportements sont différents de celui des 2 premiers secteurs cités. Cet autre comportement des secteurs SE et NO s'explique par :

- La présence dans le SE des industriels ;
- Le fait que le NO ne renferme que des communes pourvues d'habitats à dominance collectifs et de maisons individuelles.

L'analyse des courbes mensuelles est récapitulée en annexe 6 du présent rapport

Conclusion partielle du chapitre II : Ce travail a permis de dresser les courbes de demande mensuelles par secteur entre juin et décembre de l'année 2011. Elles seront exploitées pour la modélisation du réseau d'eau potable, objet du chapitre III.

Par ailleurs, la variation de ces courbes de demande permet d'appréhender le mode de consommation de l'eau par les abonnés. Ce travail mené sur une courte période (7 mois) mérite d'être approfondi sur une longue période.

CHAPITRE III: MODÉLISATION HYDRAULIQUE DU RÉSEAU

Ce chapitre s'intéresse à la description du contexte dans lequel cette étude intervient et la méthodologie utilisée pour :

- La schématisation d'un nouveau modèle ;
- La répartition des abonnés au niveau des nœuds du modèle ;
- Le choix du jour en vue d'estimer les abonnés ;
- La modélisation.

Enfin il relate les difficultés rencontrées et présente le logiciel de simulation, les lois hydrauliques régissant les éléments du modèle ainsi que l'interprétation des résultats lors des différentes simulations.

III.1/-Historique de la modélisation du réseau de la CUS (F.Mahé, 1975 ; Y.Legras, 1987 ; S.Bailly, 1995 ; M.Baruthio, 2004 ; S. Cassana, 2005)

Effectuée pour la première fois en 1970 avec le modèle analogique pour la modélisation du comportement du réseau pour des hypothèses d'évolution de la population aux horizons 1985 et 2010, puis en 1975 avec les logiciels (Resma et OPOINTE) et reprise en 1987 suite à l'accident de l'usine Sandoz, la modélisation hydraulique du réseau d'eau de la CUS s'est intensifiée en 1993 avec l'élaboration du schéma directeur d'alimentation en eau potable (SDAEP).

Elle s'est poursuivie en 2002 avec le logiciel Porteau version 2.1.1 pour le suivi d'une part des réalisations de la SDAEP et d'autre part pour le calage des organes de production et de stockage.

Vu l'incompatibilité des résultats obtenus avec ledit logiciel et ceux de la réalité au jour de pointe, les capacités du logiciel Epanet furent testées et les résultats obtenus ont été concluants pour la modélisation de l'automatisation des organes de production en différentes configurations et même avec l'intégration de nouvelles ressources dans le système existant. D'autres caractéristiques dudit logiciel ont été testées comme son aptitude en tant qu'outils de communication. C'est pour cette raison que le logiciel Epanet a été retenu en 2005 pour la modélisation des organes de production.

Le modèle actuel sous Epanet (59 nœuds, 77 tronçons), orienté vers la production n'est pas aussi détaillé mais il a l'avantage de coller fidèlement à la production pour l'ensemble des équipements. Il n'a pas fait l'objet de calage tant sur le volume que sur la pression et ne donne des indications que sur les débits véhiculés dans les canalisations même s'il répartit la consommation d'une manière grossière. Les canalisations prises en compte sur ce modèle sont celles qui sont prépondérantes localement au niveau hydraulique et dont le rôle est jugé important à savoir le transport entre le polygone et Oberhausbergen et l'alimentation des zones de consommation.

III.2/-Présentation du logiciel de simulation

III.2.1/- Choix du logiciel

Pour la simulation du réseau, le choix s'est porté sur le logiciel Porteau parce que son environnement favorise un lien avec le SIG lequel est utilisé par le service de l'eau de la CUS pour la gestion patrimoniale de son réseau. Dans le futur l'utilisation de Opointe permettra de simuler le réseau en régime de pointe.

III.2.2.1/- Présentation

Porteau, logiciel de simulation hydraulique, permet de modéliser le fonctionnement d'un réseau maillé de distribution sous pression en régime permanent. Il constitue une aide à la décision pour le dimensionnement et la gestion d'un réseau de distribution ou d'adduction d'eau potable.

Son interface graphique est simple d'utilisation et permet de schématiser le réseau par l'emploi de tronçons pour les conduites et de nœuds pour les intersections. Ces éléments sont documentés de sorte que toutes les infrastructures présentes sur le réseau et toutes les conditions d'utilisation, puissent être représentées afin de rendre compte le plus fidèlement possible de la réalité.

III.3/- Construction du modèle

III.3.1/-Objectifs

La construction du nouveau modèle va permettre de:

- Remédier aux insuffisances constatées au niveau du modèle existant sous Epanet;
- Concevoir « une boîte à outils » pour la gestion en temps réel de la sécurité du réseau ;
- Choisir les emplacements optimaux des débitmètres pour la phase 3 de la modélisation;
- Connaître et maîtriser les flux circulants sur le réseau.

III.3.2/-Méthodologie pour la construction du modèle

Une des difficultés fondamentales dans l'élaboration d'un modèle de réseau est la construction même du réseau. À cela s'ajoutent la définition des nœuds et des arcs à prendre en compte et la répartition des consommations aux nœuds.

La méthode adoptée permet d'extraire du système d'information géographique (SIG) toutes les caractéristiques afférentes aux réseaux à modéliser. Elle a l'avantage de réduire considérablement le temps et d'éviter les risques d'omissions. À contrario, la schématisation manuelle du modèle est fastidieuse et prend énormément de temps pour la saisie des données. La déclinaison de cette méthode est la suivante :

III.3.2.1/-Collecte ou recueil des données.

Elle est première étape de notre méthodologie et est la plus importante dans la schématisation d'un modèle. La représentativité d'un modèle dépend de la qualité des informations qui lui sont fournies. Pour cela avant la construction du modèle, il convient de collecter ou de recueillir les données relatives au réseau à modéliser et devront porter sur :

- La longueur, diamètre et rugosité des canalisations ;
- Les niveaux de la nappe phréatique ;
- Les lieux de consommation ;
- Les courbes caractéristiques ainsi que les données d'automatisation des pompes ;
- Les caractéristiques géométriques, côte radier et côte trop plein du réservoir.

Les sources d'obtention de ces données peuvent varier entre les exploitants tel n'est pas le cas au niveau de la CUS où toutes les données disponibles sont centralisées au niveau du service de l'eau. Celles relatives au réseau d'eau potable sont stockées dans le SIG facilement exploitable pour les besoins de l'étude.

La fiabilité des autres phases de la modélisation dépend de la précision des informations recueillies.

III.3.3/-Construction du nouveau modèle

La passerelle entre le SIG et le logiciel de simulation a été possible grâce à un outil du logiciel Mapinfo, conçu pour exploiter les données issues d'un SIG. Avec cet outil l'intégralité des données du réseau ont pu être extraites du SIG. Ensuite, elles ont été converties en shapefile, puis importées grâce au sous-menu « Importer un shapefile » sélectionnable à partir du menu « Fichier » du logiciel Porteau. Le traitement a donné pour l'ensemble du réseau 52 000 nœuds et 54 000 tronçons.

III.3.3.1/- Simplification automatique du modèle à partir du logiciel Porteau

1/- Objectif

La simplification vise à réduire le temps de calcul, supprimer les conduites qui de point de vue hydraulique n'ont aucune incidence sur le fonctionnement hydraulique du modèle et enfin favoriser une bonne lisibilité sur le plan graphique et mieux interpréter les résultats.

2/- Définition des règles de suppression

En prélude à la simplification, les règles ont été définies et sont stipulées comme suit :

- Toutes les conduites en antenne qui ont un diamètre inférieur ou égal à 100 mm seront supprimées ainsi que ceux de topologie arborescente. Parce qu'elles n'ont aucun impact sur le fonctionnement hydraulique du modèle et d'autant plus qu'elles sont desservies par des conduites structurantes ;
- Toutes les conduites appartenant à un même tronçon, ayant les mêmes caractéristiques physiques (diamètre, matériau) et qui sont reliées entre elles seront regroupées en une seule canalisation. Cette règle permet de supprimer les conduites intermédiaires de même nature ;

- Tous les by-pass connectés au réseau principal seront supprimés manuellement. Parce qu'ils n'ont aucun impact sur le fonctionnement hydraulique et aucun outil du logiciel ne permet de les supprimer.

Remarque: Dans la perspective d'utiliser le modèle par le projet de recherche de l'Agence Nationale de Recherche, les mailles de diamètre 80mm ne seront pas supprimés, parce qu'à partir de ce modèle, il est prévu de concevoir une boîte à outils de gestion de la sécurité en temps réel du réseau d'eau de la CUS. Le champ d'application de cette boîte à outils va de la détection d'une contamination, à l'identification des sources de contamination.

3/- Méthodologie

La simplification des conduites s'est opérée d'une part automatiquement avec le logiciel pour la suppression des antennes et d'autre part manuellement pour la suppression des by-pass, hydrants et poteaux.

En premier lieu, la première simplification opérée automatiquement avec une longueur de 100m, a donné une nouvelle mouture du modèle constitué de 20 000 nœuds et 22 000 tronçons. La seconde simplification faite avec une longueur de 150m a donné 19 500 nœuds et 21500 tronçons.

Malgré l'augmentation de la longueur des antennes à supprimer, le nombre de nœuds et de tronçons a subi une légère variation. Nous l'avons attribué à la nature de certaines canalisations du réseau qui ne sont ni en fonte grise, fonte ductile et en acier. Il s'agit précisément de la Fonte Natural, Standard TT, Pux, Fonte Isopam et Acier TT.

Ensuite nous les avons classées dans la famille des fontes ductiles à cause de leur revêtement intérieur comparable à celui de la fonte ductile. Pour ne pas les confondre avec les canalisations en fontes ductiles, nous les avons attribués dans le modèle un nom « Fonte récente ». Malgré ces multiples changements le nombre a peu varié.

Vu la faible variation constatée sur le nombre de tronçons et de nœuds, nous avons poursuivi manuellement la simplification avec la suppression des by-pass, des hydrants et des poteaux d'incendie raccordés à des conduites structurantes. Au total 5000 hydrants et 3200 poteaux d'incendies ont été supprimés manuellement. L'ossature finale (cf. figure 21, annexe 7) du modèle est constituée de :

- 10489 nœuds dont 10483 nœuds ordinaires, 1 réservoir et 5 ressources ;
- 12752 tronçons pour une longueur totale de 96 1705m soit 89,42% du réseau réel ;
- 2264 mailles ;
- 11 pompes. Elles ont été placées manuellement.

Il présente un niveau 7 fois plus élevé par rapport à celui de l'existant.

III.3.3.2/-Difficultés rencontrées

Elles sont liées à :

- La discontinuité entre les canalisations au niveau de la couche réseau. Elle s'explique par le fait que le SIG de la CUS a une vocation gestion patrimoniale et non une orientation

hydraulique. Le logiciel Porteau sur lequel le modèle a été construit considère les deux bouts non reliés comme deux nœuds différents.

Cette discontinuité est illustrée sur le schéma ci-dessous



Pour les raccorder dans le modèle, on les a identifiés avec la vue cartographique du logiciel. Avec cette vue, les deux nœuds se superposent l'un sur l'autre. Puis on les a reliés par un nouveau tronçon en prenant soin d'identifier préalablement dans le SIG la nature du matériau constitutif ainsi que le diamètre de la canalisation.

- Hétérogénéité des canalisations. Par exemple, sur une canalisation posée de longueur z , on peut trouver sur celle-ci trois matériaux de nature différente. Le logiciel considère la limite de chaque matériau comme un nœud, or dans le SIG la canalisation ne constitue qu'un seul tronçon sans aucune indication sur la limite des matériaux (cf schéma ci-dessous).



- Nombre élevé de by-pass connectés au réseau principal, poteaux d'incendie et d'hydrants.

Sur le modèle les by-pass sont schématisés sous forme de maille triangulaire. Ces mailles ont été supprimées manuellement. Concernant les poteaux d'incendie et les hydrants, ils sont souvent raccordés aux canalisations structurantes impossibles de les supprimer automatiquement.

Au regard des difficultés rencontrées, la construction du nouveau du modèle a duré 45 jours.

III.3.3.3/-Différences entre les deux modèles

La mouture du modèle existant sous Epanet possède un niveau moins détaillé : 59 nœuds, 77 tronçons et 20 mailles. Seules les ossatures principales y sont dégagées. Par ailleurs, les longueurs des conduites sont des longueurs équivalentes calculées par la formule de Lechapt et Calmon³. À contrario, la nouvelle mouture du modèle a un niveau de détail plus élevé : 10 489 nœuds, 12752 tronçons, 2264 mailles et les longueurs sont réelles. Les deux modèles sont illustrés par les figures de l'annexe 7.

La différence entre les 2 modèles s'observe tant au niveau des longueurs, des logiciels que du choix du diamètre des conduites pour la modélisation.

- **Au niveau des diamètres** : Le plus petit diamètre des conduites de l'existant est de 200mm, alors que celui de la nouvelle est de 80mm. Les raisons fondamentales

³C'est une formule monôme qui constitue une approximation de la formule de Colebrook avec une erreur relative sur la perte de charge de 3% pour des vitesses comprises entre 0,4 et 2m/s

de la conservation des diamètres 80mm dans le nouveau modèle sont expliquées au niveau du paragraphe III.3.3.1

- **Au niveau des longueurs** :Le fait de transformer une maille en longueur équivalente en supposant que dans chaque branche de la maille la perte de charge est identique déforme le modèle. Les principaux inconvénients de la méthode utilisée "conduite équivalente "sont:
 - Perte de localisation: la piézométrie locale n'est plus respectée;
 - Obligation de supposer que toutes les conduites sont de même rugosité
- **Au niveau des logiciels de simulation** : Le logiciel Epanet à partir duquel l'existant a été conçu reproduit la programmation complexe des pompes, contrairement au logiciel Porteau, où le fonctionnement des pompes est asservi d'une part au niveau du réservoir par un régulateur Niveau et d'autre part par un régulateur Horloge pour le fonctionnement horaire des pompes.

III.3.4/- Éléments du modèle

III.3.4.1/-Pompes

Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique. Les principaux paramètres d'entrée pour une pompe sont ses nœuds d'aspiration et sa courbe caractéristique.

Le fonctionnement des pompes est décrit par une courbe caractéristique qui représente le rapport entre la charge et le débit qu'une pompe peut fournir à sa vitesse nominale. Elle est représentée de façon générale par un polynôme approximatif de la forme :

$$H = AxQ^2 + BxQ + C$$

Où H est l'énergie fournie en mètre de colonne d'eau (mCE) ; Q le débit en m^3/s ; A, B et C - paramètres du polynôme du deuxième degré.

La construction d'une courbe caractéristique au niveau du logiciel Porteau nécessite au moins trois points :

- Un point de bas débit (quand le débit est limité ou nul) ;
- Un point de débit nominal (débit et charge aux conditions nominales) ;
- Un point de débit maximal (débit et charge au débit maximal).

Le logiciel Porteau cherche la meilleure courbe de tendance qui passe par ces trois points.

Les rapports journaliers de production de 2011 ont servi de support pour la construction des courbes caractéristiques des pompes des différentes stations. Le point de fonctionnement est le point d'intersection qui satisfait simultanément la courbe de pompe et la courbe de perte de charge. Ainsi pour chaque pompe, le point de fonctionnement a été défini par le couple débit nominal et la charge nominale. On a retenu comme :

- Débit nominal, le débit de pompage de chaque pompe ;
- Charge nominale, la hauteur manométrique moyenne associée au débit nominal.

Le logiciel Porteau n'est pas en mesure de construire une courbe caractéristique à partir d'un unique point. Les deux autres points ont été estimés en se basant sur l'approche du logiciel

Epanet qui les détermine en supposant que la charge à débit nul est égal à 133% de la charge nominale et qu'à charge nulle, le débit est le double du débit nominal.

Les autres éléments constitutifs du modèle sont récapitulés dans le tableau 13(cf. annexe 8) ainsi que les caractéristiques à renseigner.

III.3.4.2/- Altimétries

Les côtes altimétriques des nœuds injectées viennent du modèle numérique de terrain (MNT) de la CUS qui proviennent des relevés topographiques. (cf. annexe 9).

III.3.5/-Choix du jour pour la reproduction de la courbe de marnage du réservoir

Afin de reproduire le cycle journalier de marnage du réservoir d'Oberhausbergen (cycle de vidange et de remplissage), la journée du 30 novembre a été choisie parce que :

- Toutes les données complètes relatives à l'état de fonctionnement des pompes au niveau des 4 stations existent ;
- Les 2 bâches du réservoir sont en fonctionnement ;
- Aucune panne n'est observée sur les stations de production.

Par ailleurs, nous avons comparé la courbe de demande du 30 novembre à celle de la moyenne des 7 mois de la semaine via l'estimation du coefficient de corrélation. Les valeurs ci-dessous montrent que les courbes de demande du 30 novembre sont représentatives du comportement sur les 7 mois étudiés.

	NO	SO	NE	SE
CC (%)	96,14	97,92	99,53	97,19

III.3.6/-Architecture d'automatisation des pompes

Trois niveaux de pompage permettent d'assurer la production journalière :

- **Niveau 1** : pompage de base ;
- **Niveau 2** : pompage à la demande pour produire l'appoint ;
- **Niveau 3** : pompage de maintien de pression.

III.3.6.1/-Pompage de base : Se fait en permanence avec 2 pompes du PC2 (puits collecteurs 2) et 2 pompes du PC3 (puits collecteurs 3). Le débit du pompage de base fluctue entre 2 900 et 3 000m³/h et dépend du couple de pompes mis en marche (cf. tableau 6). Le fonctionnement des pompes assurant le pompage de base est indexé à l'horloge au niveau du modèle.

Tableau 6: Débit des pompes du pompage de base

	Puits Collecteur 2		Puits Collecteur 3	
	Groupe 7	Groupe 8	Groupe 1	Groupe 2
Débit (m ³ /h)	1900	2 000	1 000	1 000

III.3.6.2./-Pompage à la demande: Le fonctionnement des pompes qui l'assurent sont asservies au niveau du réservoir. Pour cette catégorie de pompes nous avons défini des niveaux de démarrage et d'arrêt. Le pompage à la demande s'effectue avec 9 pompes dont 6 pompes identiques débitant chacune 1000m³/h au niveau du puits collecteur 1 et 3 pompes de la station d'Oberhausbergen de capacités respectives 1100m³/h.

Le nombre de pompes ou de couples mis en service dépend énormément du volume d'appoint à fournir.

Dans la journée, il est difficile de prédire le nombre de pompe qui sera mis en marche. Cependant, le pompage variable se fait régulièrement avec 5 pompes réparties entre 3 pompes du PC1 et 2 pompes de la station d'Oberhausbergen dont l'ordre de priorité de démarrage est fixé de la manière suivante :

- De 6 à 21 heures, l'ordre de priorité de démarrage des cinq pompes est schématisé comme suit :

P1(PC1-1) → P2(PC1-2) → P3(PC1-3) → P1(OH1) → P2(OH2)

- De 21 à 6 heures, l'ordre de priorité de démarrage s'inverse pour permettre en tout premier lieu de remplir le réservoir du fait qu'il est très proche de la station d'Oberhausbergen. Cet ordre est également schématisé comme suit :

P2(OH2) → P1(OH1) → P3(PC1-3) → P2(PC1-2) → P1(PC1-1)

1/-Définition des niveaux de démarrage et d'arrêt des pompes

Comme cela a été expliqué au paragraphe I.4 du chapitre 1, le réservoir a un cycle de marnage caractérisé par un cycle de remplissage et de vidange. Ceci se traduit par l'asservissement des pompes fournissant l'appoint sur le niveau du réservoir. L'asservissement permet en outre de compenser le déficit constaté par l'apport d'eau supplémentaire par le démarrage d'une ou plusieurs pompes et les arrêter en cas de dépassement du niveau souhaité. Pour cela, un seuil de déficit de 400m³, soit 10 cm en dessous du niveau souhaité a été défini, seuil à partir duquel une pompe supplémentaire est mise en marche. Ces niveaux ont été traduits en équation tant en phase de vidange qu'en remplissage et s'exprime respectivement comme suit :

Phase de vidange

$$N_{dh} = N_h + [V_{h+1} - S - V_h + C - P_b]/V_u$$

dans laquelle V_{h+1} est le volume du réservoir à l'heure (h+1), S le seuil de déficit (=400m³), V_h est le volume du réservoir à l'heure (h), C la consommation à l'heure (h+1), P_b est la production de base, V_u est le volume unitaire (=40m³/cm), N_{dh} le niveau de démarrage à l'heure (h)

$$N_a = N_{dh} + 15 \text{ cm,}$$

N_a le niveau d'arrêt

Phase de remplissage

$$N_{dh} = N_h + [V_{h+1} - S - V_h + C - P_b]/V_u$$

dans laquelle V_{h+1} est le volume du réservoir à l'heure (h+1), S le seuil de déficit (=400m³), V_h est le volume du réservoir à l'heure (h), C la consommation à l'heure (h+1), P_b est la production de base, V_u est le volume unitaire (=40m³/cm), N_{dh} le niveau de démarrage à l'heure (h)

$$N_a = N_{dh} + 15 \text{ cm}$$

En observant ces équations, on constate que les niveaux dépendent de la consommation à l'heure (h+1) ce qui veut dire que la connaissance de la consommation est fondamentale pour les estimer.

III.3.6.3./-Pompage de maintien de pression : Le fonctionnement des pompes qui l'assurent est asservi à l'horloge dans le modèle. Il se réalise avec les pompes de la station de Lingolsheim et celles de la station de la Robertsau. Elles fonctionnent sur des plages horaires fixes.

III.3.7 /-Modélisations réalisées

Pour pallier le manque de données (fichier de facturation géolocalisé), nous avons réalisé quatre modélisations avec des objectifs et des méthodes différentes.

III.3.7.1 /-Modélisation 1

Elle vise à valider la cohérence hydraulique du modèle (sens d'écoulement, débit de production...)

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes servis des 59 abonnés domestiques et des courbes caractéristiques des pompes du modèle existant sous Epanet. Sur ce modèle, le fonctionnement de toutes les pompes était asservi à l'horloge. Le même mode d'asservissement des pompes a été repris en fonction de l'état de fonctionnement de chaque pompe. En outre, les abonnés domestiques ont été préalablement répartis dans le nouveau modèle sous Porteau en se référant sur la description de l'emplacement de chaque abonné.

2/- Interprétation des résultats

Étant donné qu'elle n'a été utile que pour vérifier la cohérence hydraulique du réseau, nous avons jugé nécessaire de ne pas interpréter les résultats de la simulation.

Remarque : Dans le but d'affiner progressivement la modélisation via la méthode d'estimation des abonnés, les courbes caractéristiques des pompes de la modélisation 2 et 3 sont restées les mêmes qu'en modélisation 1. En revanche, le mode d'asservissement a été modifié afin de se rapprocher de la production du 30 novembre. Ainsi, le fonctionnement de toutes les pompes a été asservi à l'horloge.

III.3.7.2 /-Modélisation 2

1/- objectifs.

Elle vise à vérifier l'impact de la répartition homogène des abonnés sur la courbe de marnage et les débits transités dans les conduites structurantes.

Celle-ci a été effectuée avec les abonnés dont l'estimation et la répartition ont été faites de la manière suivante :

2/- Méthodologie d'estimation et répartition des abonnés:

Par secteur, les abonnés ont été estimés en prenant comme base la demande journalière du 30 novembre pour chacun des 4 secteurs et une demande journalière par abonné. La combinaison demande journalière et la demande par abonné donne le nombre d'abonnés.

Le nombre ainsi obtenu a été en premier lieu répartis proportionnellement au nombre d'adresses de chaque secteur en faisant l'hypothèse qu'un abonné est égal à une adresse. Cette opération s'effectue au niveau du SIG parce que toutes les adresses répertoriées par le service de l'eau sont stockées dans cet outil de gestion patrimoniale. Puis en second lieu, importés du SIG vers le modèle via l'onglet « importation par consommation par adresse »

III.3.7.3 /-Modélisation 3

1/- objectifs.

Au regard des résultats des deux précédentes modélisations, la modélisation 3 a pour but d'améliorer la cohérence du débit mesuré par rapport au débit calculé via la répartition plus fines des abonnés.

2/- Méthodologie d'estimation et répartition des abonnés.

La méthode utilisée pour estimer les abonnés diffère de la précédente parce qu'elle s'appuie sur la population totale de chaque quartier du secteur. Elle se résume :

- a) À évaluer à partir de la population de chaque quartier (iris) (source INSEE) (cf. annexe 10:), la demande journalière par quartier puis la demande journalière par abonné du quartier. Nous avons constaté dans un même secteur que la demande journalière par abonné variait d'un quartier à un autre. Ce qui nécessitait autant de profils temporels de demande (courbe de demande) que de demande journalière. Pour y remédier, nous avons opté par secteur pour une valeur constante de demande journalière par abonné ;
- b) À estimer à partir de la demande journalière par abonné fixée par secteur le nombre virtuel d'abonnés ;
- c) À diviser le nombre virtuel d'abonnés par le nombre d'adresses de l'iris et on obtient le nombre d'abonné par adresse (cf. annexe 11).

Comme en modélisation 2, l'importation des abonnés s'opère de la même manière.

Limite de la méthode d'estimation des abonnés en modélisation 2 et 3

- Le fait de considérer la demande journalière du 30 novembre comme modèle de consommation domestique et l'abonné comme une adresse rendent approximative la méthode d'estimation. Par exemple au quartier « Annexe » codifié 670430101 de la commune de Bischheim, on ne recense que des industries.

- Les demandes journalières estimées à partir de la population de 2008 (année du dernier recensement) et de la demande journalière de l'année 2011 peuvent donc différer des valeurs réelles. Cependant, étant donné que l'accroissement de la population est faible d'une année à l'autre, on peut considérer que la méthode utilisée n'affecte pas de façon significative les résultats de la modélisation.

III.3.7.4 /- Différence entre la modélisation 2 et la modélisation 3

Elle se manifeste au niveau de la répartition des abonnés. En modélisation 2, la répartition des abonnés a été effectuée de façon homogène, tandis qu'en modélisation 3, elle s'opère par quartier.

1/- Étude d'impact de la répartition des abonnés sur la courbe de marnage

Cette différence entre les 2 modélisations s'observe également sur les courbes de marnage illustrées par la figure 13. En effet, on constate qu'en modélisation 2, le niveau d'eau à 21 heures est de 3,54 m alors qu'en modélisation 3, il est 2,27 m. Or pour la journée du 30 novembre le niveau réel à 21 heures est 2,02 m. En plus la courbe de marnage de la modélisation 2 s'écarte de la courbe réelle. Le niveau obtenu en modélisation 3 est très proche de la réalité même si on observe un peu d'écart.

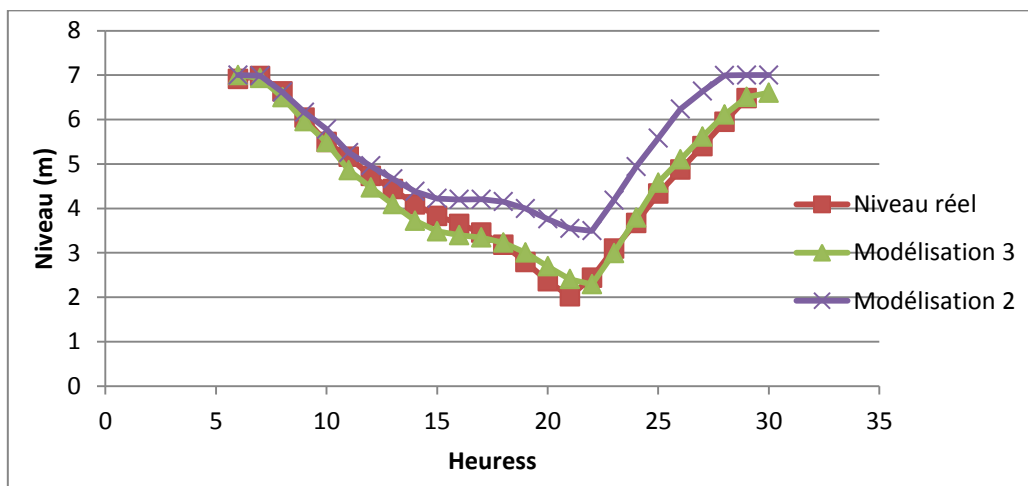
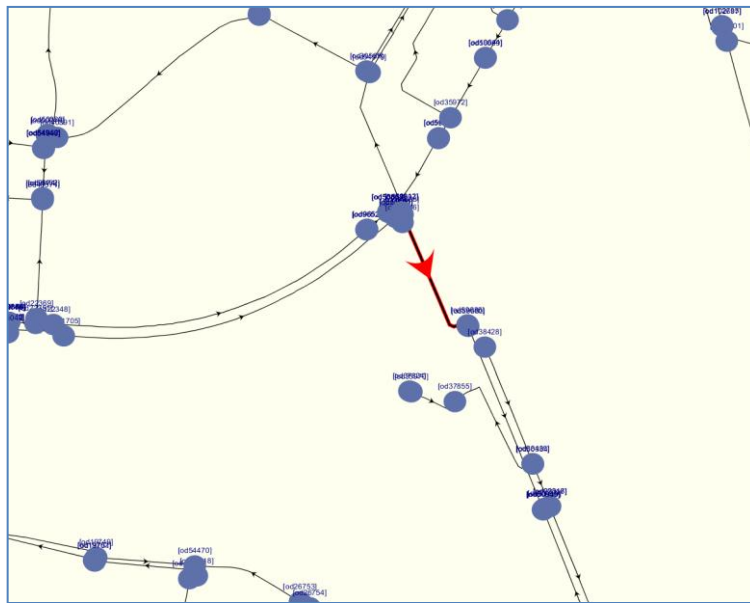


Figure 17: Impact de la répartition sur la courbe de marnage

2/- Étude d'impact de la répartition des abonnés sur les postes de mesure

L'impact de la répartition ne se fait pas sentir sur les grosses conduites de transport comme celle située sur la rue de Nantes de diamètre 800 mm (cf. schéma ci-dessous).



Parce qu'elles sont sous l'influence de la production (cf. figure 18).

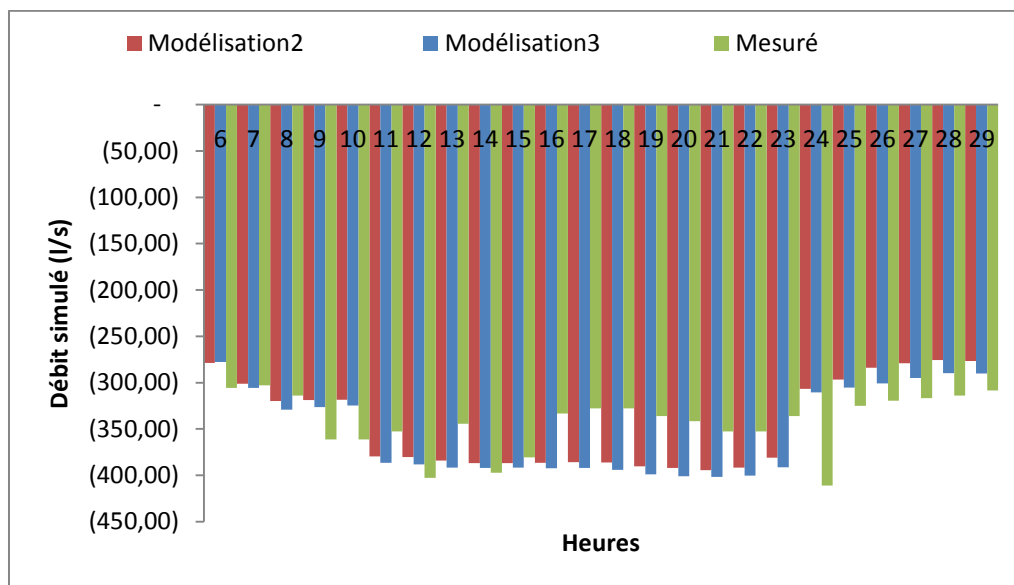


Figure 18: Aucun impact de la répartition sur la conduite 800 mm

En revanche pour les conduites de faible diamètre nous constatons un changement de comportement entre la modélisation 2 et 3. Ceci s'explique par l'influence de la répartition de la consommation. Par exemple sur la figure 18 la différence de comportement est illustrée par le débitmètre situé à la rue de l'hôpital. À travers cet exemple, on se rend compte que la modélisation 3 s'approche plus de la réalité que la modélisation 2.

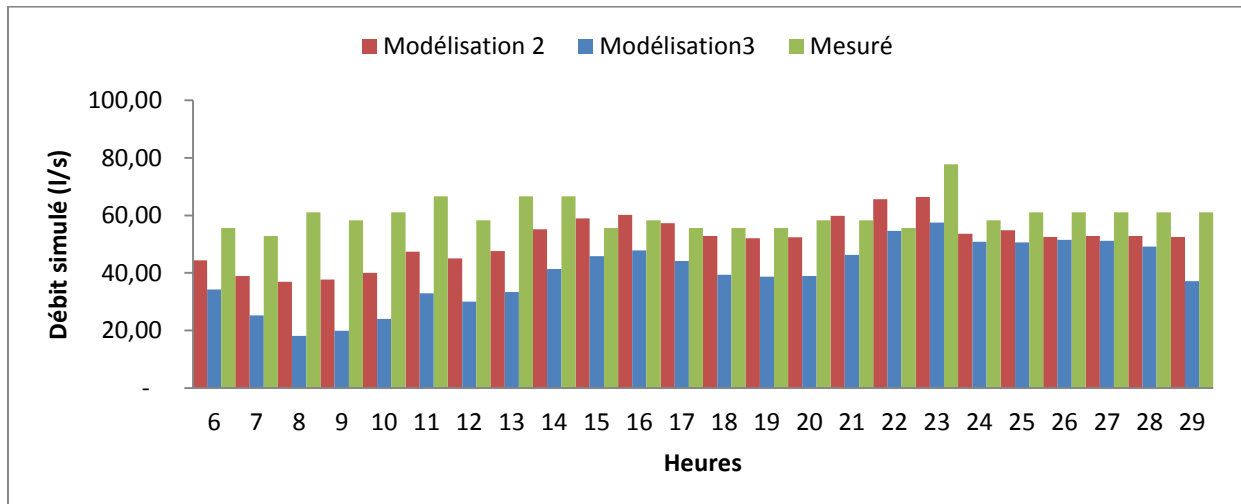


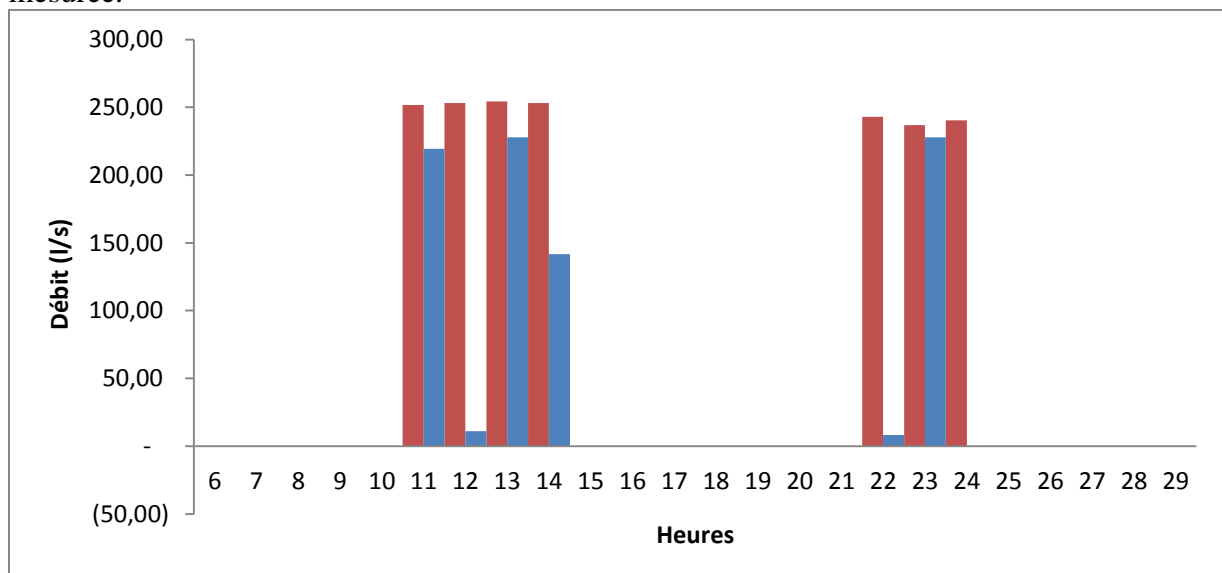
Figure 19: Impact de la répartition conduite 500mm

III.3.7.5 /-Modélisation 4

Au vu des résultats obtenus avec la modélisation 3, nous avons conservé la même demande en modélisation 4 parce qu'elle donne de meilleurs résultats. Le but de la modélisation 4 est d'automatiser la production de la journée du 30 novembre et d'étudier l'impact de la rugosité sur les débits transités et des gros consommateurs

1/- Simulation de la production

La figure ci-dessous montre une cohérence entre les réponses de la production simulée et mesurée.



1/- Étude d'impact de la rugosité

Aucune campagne de mesure n'a été menée pour déterminer la valeur du coefficient de rugosité, nous avons à cet effet émis des hypothèses et cela en fonction de l'âge des conduites (> à 100 ans). Pour cela nous opté pour 2 valeurs de rugosité : 2mm et 1mm. Parallèlement, on a retenu également comme seuil de tolérance les valeurs suivantes :

- ± 10 à 12% sur les débits ;

- $\pm 5\%$ pour les volumes journaliers. (Delattre S.E ; De THE C , 1991).

1.1/- Impact de la rugosité sur les débits

La figure 21 est obtenue suite à la représentation dans un repère cartésien du couple (débit simulé pour $k=2\text{mm}$, taux) de chaque poste de mesure. Le taux est calculé heure par heure et est défini par le ratio entre d'une part le débit simulé pour $k=2\text{mm}$ diminué du débit simulé pour $k=1\text{mm}$ et d'autre part le débit simulé pour $k=2\text{mm}$. Elle montre en effet que la rugosité a un impact sur les débits. Cet impact se fait sentir sur les faibles débits ce qui se traduit par un taux très élevé et engendre une forte piézométrie. Contrairement au fort débit (cf. annexe 12) transitant dans les conduites structurantes on observe quelques taux moins élevés ($<80\%$) suscitant une faible piézométrie du fait des faibles vitesses. Par ailleurs, l'étude de la piézométrie n'a pas été faite car elle varie peu sur Strasbourg et que l'orientation initiale était les volumes et débits.

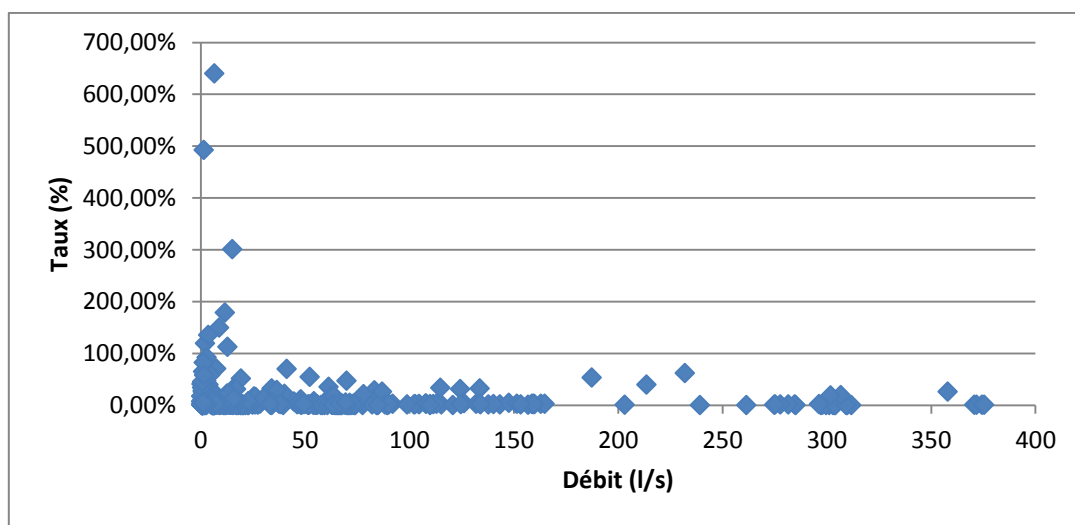


Figure 20: Impact de la rugosité sur les débits (modélisation 4)

Conclusion sur l'impact de la rugosité: Bien que l'impact se fait sentir sur certains tronçons pris isolément sur lesquels transitent les faibles débits, on peut cependant conclure au regard de la figure 21 que cet impact est très faible sur l'ensemble du réseau à cause du fort du maillage (effet compensatoire entre les deux piézométries). Cependant la connaissance de la valeur réelle de la rugosité est indispensable pour améliorer le calage.

2/- Bilan volumétrique des secteurs à partir des débitmètres : Les écarts entre les débits sont tous compris dans l'intervalle de tolérance précédemment défini, à l'exception du SE. L'impossibilité de se rapprocher plus près de la valeur mesurée pour ce secteur peut avoir une origine : la perte d'eau au niveau de la production pour faire fonctionner les hydro éjecteurs en dépression que le logiciel ne peut pas simuler. La perte d'eau est de $2645 \text{ m}^3/\text{j}$ ce qui correspond au niveau du SE à l'écart entre les 2 valeurs ($2659 \text{ m}^3/\text{j}$).

Tableau 7: Comparaison entre la demande mesurée et les demandes simulées à partir des débitmètres

	Mesuré (m ³ /j)	Simulé (m ³ /j)	Écart	Taux
Nord-est	52 369	50 820	1 549	3,0
Nord-ouest	10 631	10 223	408	3,8
Sud-est	14 724	17 383	- 2 659	- 18,6
Sud-ouest	17 284	18 110	- 826	-4,8

3/- Étude d'impact des gros consommateurs

Pour illustrer l'impact des gros consommateurs, nous avons pris l'exemple sur le débitmètre situé sur la rue de l'hôpital civil. Situé en aval de ce débitmètre, l'hôpital civil consomme en moyenne est 800 m³/j (source : base de données CUS). Il est considéré par le service de l'eau comme étant un gros consommateur d'eau. Faisant partie du secteur Nord-est, l'hôpital est desservi par une conduite de diamètre 500 mm. L'adjonction d'un volume journalier de 800m³/j avec une courbe d'abonnés domestiques, donne après simulation un apport supplémentaire de 100 m³/j sur le volume initial (cf. figure 14 et 15). Ce qui est très faible par rapport à l'écart constaté entre le débit mesuré et simulé

En outre, l'observation des conduites structurantes de diamètre 600 et 800 mm situées à proximité de la conduite de diamètre 500 ne montre aucun impact sur les débits véhiculés sur ces conduites (cf. fig. 16,17,18,19).

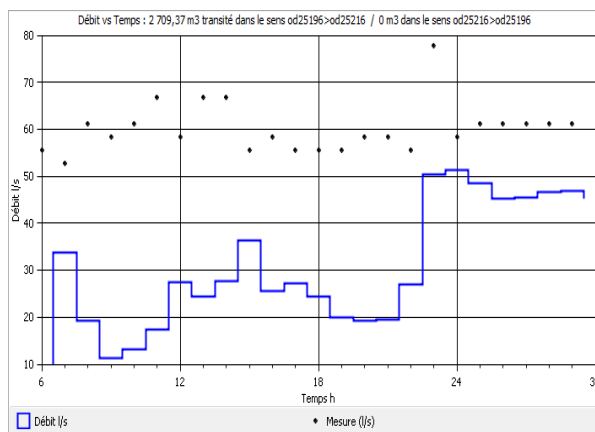


Figure 21: Débit sur la conduite 500 sans ajout (Débitmètre rue de l'hôpital)

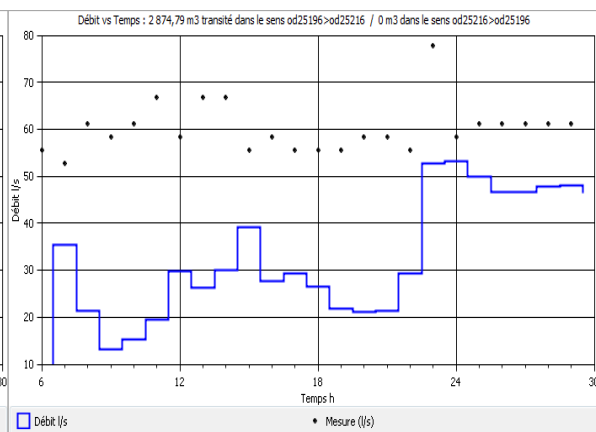


Figure 22: Débit sur la conduite 500 avec ajout

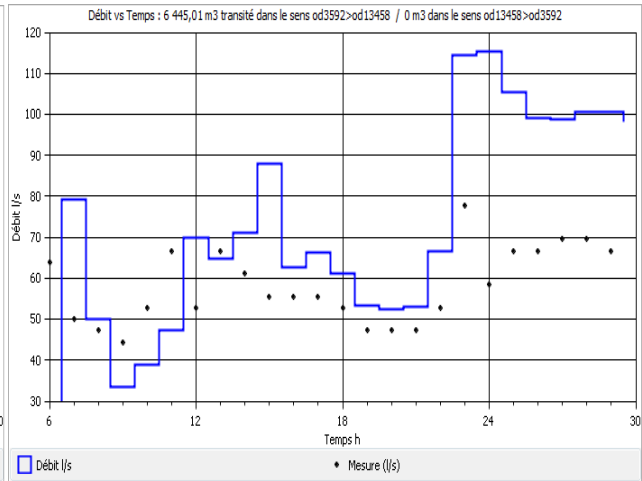
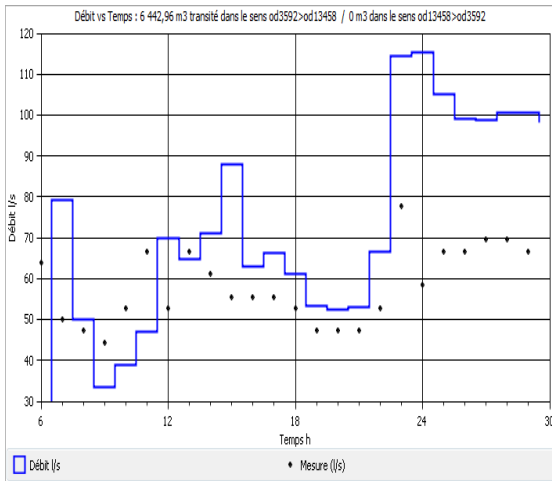


Figure 23: débit sur la conduite 600 sans ajout **Figure 24: Débit sur la conduite 600 avec ajout**
(Débitmètre Place de l'Etoile)

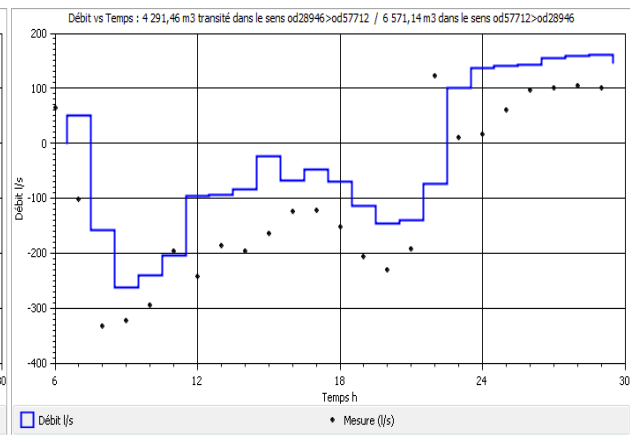
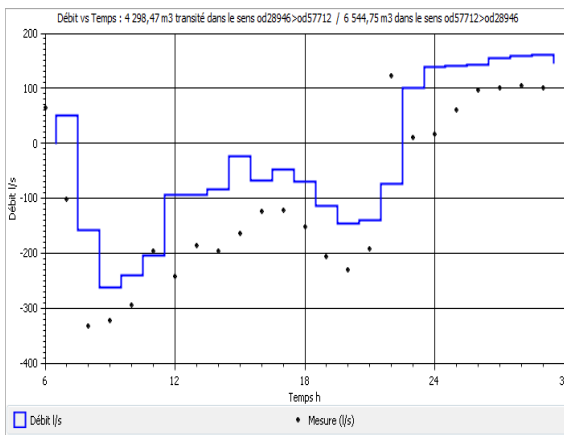


Figure 25: Débit sur la conduite 800 sans ajout **Figure 26: Débit sur la conduite 800 avec ajout**
(Débitmètre rue de Nantes)

Conclusion sur l'impact des gros consommateurs. Dans le cas de l'hôpital civil, nous n'avons pas pu mettre en évidence l'impact des gros consommateurs malgré l'adjonction d'un volume journalier. Cet état de fait peut être expliqué par le fait que nous ne disposons que d'un volume moyen pour une période de 150 jours de consommation. Pour mettre en évidence cet impact, il serait nécessaire de mener auprès des gros consommateurs une campagne de mesure pour une durée de 12 mois. Cette campagne permettra de connaître sur un an les variations journalières (horaires) de chaque gros consommateur. Cette campagne doit être précédée d'une étude d'identification des gros consommateurs par secteur.

Le tableau 8 synthétise la démarche suivie afin de mener à bien les différentes modélisations.

Tableau 8: Démarche suivie pour les différentes modélisations

Nomenclature	Objectifs	Production	Demande	Rugosité
Modélisation 1	- Vérifier la cohérence du modèle via le sens d'écoulement des eaux, la piézométrie et le débit de pompage ;	- Reprise des courbes caractéristiques des pompes du modèle existant ; - Pas d'automatisation des pompes ; - Asservissement des pompes à l'horloge	- Reprise des 59 abonnés domestiques du modèle existant	0,1mm
Modélisation 2	- Vérifier l'impact de la répartition homogène des abonnés sur la courbe de marnage.	- Conservation des courbes caractéristiques des pompes modèle existant ; - Modification des modes d'asservissement des pompes en vue de se rapprocher de la production du 30 novembre ; - Asservissement des pompes à l'horloge	- Abonnés estimés à partir de la demande journalière du 30 novembre et de la demande journalière abonné fixé par secteur ; - Répartition homogène des abonnés en faisant l'hypothèse qu'un abonné est égal à une adresse.	0,1mm
Modélisation 3	- Améliorer la cohérence du débit mesuré par rapport au débit calculé.	- Conservation des courbes caractéristiques des pompes modèle existant ; - Modification des modes d'asservissement des pompes en vue de se rapprocher de la production du 30 novembre ; - Asservissement des pompes à l'horloge	- Abonnés estimés à partir de la demande journalière du 30 novembre et de la population totale de chaque quartier du secteur ; - Répartition des abonnés par quartier.	0,1mm
Modélisation 4	- Automatiser la production ; - Étudier l'impact de la rugosité sur les débits transités et les gros consommateurs.	- Modification des courbes caractéristiques des pompes ; - Modification des modes d'asservissement des pompes. Les pompes fonctionnant en continu ont été asservies à l'horloge. Celles pour lesquelles leur fonctionnement est variable ont été asservies au niveau du réservoir ; - Asservissement des pompes d'oberhausbergen à l'horloge du fait qu'elles ont été forcées le jour du 30 novembre	- Conservation des mêmes répartitions des abonnés qu'en modélisation 3	2mm 1mm

Conclusion du chapitre III :

La première phase du travail au niveau de ce chapitre a consisté à construire un nouveau modèle à partir du logiciel Porteau. Lequel répond aux objectifs du programme et son niveau est plus détaillé. Le SIG a été d'un grand apport pour cette phase car c'est à partir de cet outil que toutes les données ont pu être extraites grâce à une passerelle avec le logiciel porteau. L'outil sur lequel le nouveau modèle a été construit a beaucoup évolué par rapport aux anciennes versions. Son environnement favorise un lien avec d'autres techniques et il peut également reproduire les consignes complexes d'automatisation des pompes.

La seconde phase, quant à elle a consisté à :

- Choisir la loi de Colebrook explicite à cause de son domaine de validité qui favorise la détermination des pertes de charges des tronçons même pour les très faibles débits ;
- Répartir via l'outil de simulation (porteau) les demandes aux nœuds. Cette nouvelle approche adoptée est la conséquence du manque de données relatives aux volumes facturés.
- Modéliser, analyser et interpréter les résultats. Lesquels n'ont montré aucun impact de la rugosité sur les débits simulés dans les conduites structurantes. En revanche, l'impact de la rugosité se fait sentir sur les conduites de petits diamètres. En outre, nous avons mis en évidence l'impact des gros consommateurs par adjonction d'abonnés supplémentaires aux abonnés initiaux, aucun effet ne se produit quant à la réduction de l'écart constaté ;
- Dégager des pistes d'amélioration des résultats du modèle Entre autres :
 - +Améliorer la connaissance des demandes au niveau des secteurs avant d'étudier l'impact de la rugosité;
 - Avoir une meilleure connaissance des gros consommateurs;
 - Caler le modèle en volume

CHAPITRE IV : SUIVI ET MISE A JOUR DU MODÈLE

IV.1/-Suivi et mise à jour

Une fois le modèle calé en volume, il sera importé du logiciel Porteau vers le SIG à partir duquel toutes les modifications ultérieures vont s'opérer. L'utilisation du modèle dans l'environnement SIG permet de l'analyser en combinaison, dans un même environnement, avec d'autres couches du SIG.

La mise à jour va permettre au service de l'eau :

- De connaître à tout moment les conditions réelles de fonctionnement hydraulique du réseau dont il est le principal chargé de son exploitation ;
- D'analyser ou examiner les problèmes qui pourront être posés lors du fonctionnement et d'y apporter les solutions adaptées.

Cette mise à jour nécessitera de la part de tous les acteurs impliqués au niveau du département une concertation régulière.

Au regard de tout ce qui précède, elle devra s'opérer par le Département qualité qui a une parfaite connaissance de la constitution du modèle et possède toutes les données : structurelles et automatisation des pompes, sectorisation :

IV.2/-Consistance de la mise à jour

Elle consistera à modifier :

- Les quantités des abonnés au niveau des nœuds, le débit de pointe des industriels et le volume des pertes. Pour cela un tableau de bord a été élaboré (cf tableau 9), lequel permettra de suivre annuellement l'évolution de la tendance de la consommation pour les besoins de la modification;

Tableau 9: Mise à jour des volumes vendus

Année précédente				Année en cours				Évolution de la tendance	Observations
Volume total vendu	Part des domestiques	Part des industriels	Part des pertes	Volume total vendu	Part des domestiques	Part des industriels	Part des pertes		

- La nature, le diamètre et la longueur des conduites remplacées ou posées lors de l'extension. Au niveau du logiciel de simulation, les attributs à renseigner pour un tronçon sont : la nature de la conduite, son diamètre et sa longueur. Le manquement d'un des attributs portera préjudice au modèle. Comme pour la première, un autre tableau a été dressé (cf tableau 10) lequel dans sa constitution prend en compte tous les attributs sus évoqués précédemment.

Tableau 10: Mise à jour des caractéristiques des conduites

Date	Nature des travaux effectués	Communes	Nom de la rue	Nature et diamètre de la conduite		Longueur (m)	Débit mesuré après travaux (l/s)	Observations
				Nature	Diamètre (mm)			

- Les données d'automatisation des pompes. Elles seront modifiées lorsqu'une pompe fera l'objet de remplacement.

IV.4/-Fréquence de mise à jour

Contrairement à d'autres délégataires où la mise à jour s'effectue tous les 5 ans, celle que nous proposons pour la mise à jour du modèle du service de la CUS se fera annuellement afin d'/de :

- Éviter les risques de ne pas perdre toutes les informations relatives à une section du réseau ayant fait l'objet de travaux de remplacement ou d'extension eu égard au mode d'organisation du service de l'eau de la CUS ;
- Disposer annuellement des volumes d'eau vendus liés au principe de facturation du Département 'Gestion des abonnés ».

C HAPITRE V . CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V.1/-Conclusion

Au vu des limites du modèle existant, l'étude présente avait pour but de mettre au point un nouveau modèle exhaustif du réseau. Pour la construction, le choix s'est porté sur le logiciel Porteau parce que son environnement favorise un lien avec l'outil de gestion patrimoniale du réseau (SIG), son interface graphique est simple d'utilisation et sa facilité à reproduire les consignes d'automatisation des pompes.

En plus et indépendamment de la construction du modèle, l'étude a mis en évidence le caractère « peu performant » du réseau via l'indice linéaire de perte. Cet indice constitue un des enjeux majeurs pour le service de l'eau qui devra tout mettre en œuvre pour l'améliorer à travers des actions comme le renouvellement des canalisations ou éventuellement la réparation des fuites.

En outre, les 4 secteurs ont été caractérisés en fonction de leur mode d'utilisation de l'eau. À l'échelle mensuelle, les demandes suivent les mouvements de la population liés aux saisons (été, automne), vacances et la rentrée scolaire. Par ailleurs des secteurs fuyards ont pu être identifiés via la demande minimale nocturne en l'assimilant aux fuites. Par ailleurs, l'étude des courbes a mis en évidence le comportement homogène de deux secteurs (NE et SO) et a révélé un autre comportement pour les secteurs NO et SE.

Pour pallier le manque de données sur les volumes facturés, l'approche adoptée pour la répartition et l'estimation des abonnés s'est révélée approximative. Cependant, les simulations réalisées montrent la bonne cohérence du modèle avec le réseau réel et elles donnent des pistes d'amélioration. Malgré quelques écarts constatés entre le débit simulé et mesuré, le modèle généré reproduit le fonctionnement hydraulique du réseau pour le jour du 30 novembre et donne une bonne lisibilité sur les débits transités.

Dans un souci de pérenniser le modèle, l'étude a défini également les conditions dans lesquelles la mise à jour du nouveau modèle devra s'opérer et indiqué les acteurs chargés de sa mise à jour.

V.2/-Perspectives

À la lumière des résultats et tenant compte des objectifs du projet de recherche, il serait utile de mener des actions qui se résument comme suit :

- Avoir une meilleure connaissance des gros consommateurs via l'estimation des volumes consommés;
- Améliorer la connaissance des demandes au niveau des secteurs avant d'étudier l'impact de la rugosité

- Reprendre la répartition de chaque modèle de consommateur domestique, industriel, perte) en optant pour l'approche « consommation par rue ». Celle-ci peut être améliorée avec l'importation du modèle dans l'environnement du SIG à partir duquel l'identification des abonnés pourra s'opérer via la description des rues de desserte d'autant plus que cette même information est associée aux conduites qui desservent les rues.

Bibliographies

BAILLY S. **Optimisation du fonctionnement d'un réseau potable à l'aide d'un modèle hydraulique.** Mémoire d'Ingénieurs ENGEES 1995 .82p

BARUTHIO M. **Modélisation du réseau d'alimentation en eau potable de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).** : Etude d'organisation stratégique et prospective. Mémoire de Master EPA ENGEES 2004 .82p

CASANA S. **Modélisation du fonctionnement automatisé des unités de production du réseau d'eau potable de la CUS : Analyse critique du logiciel Epanet.** Mémoire d'Ingénieurs ENGEES 2006 .82p

CHABOT A. **Modélisation hydraulique d'un réseau d'eau potable avec le logiciel Epanet.** Mémoire de licence professionnelle Eau et Environnement ENGEES 2004 .31p

CHARBERET C. **Modélisation du transport du chlore dans un réseau d'eau potable : Application à la commune de la vallée de Saint Amarin .** Mémoire d'Ingénieurs ENGEES 2004. 107p

CHESNEAU.O. **Un outil d'aide à la maîtrise des pertes dans les réseaux d'eau potable : la modélisation dynamique de différentes composantes du débit de fuite.** Thèse de Doctorat, Sciences de l'Ingénieur. Université Louis Pasteur, 2006. 228p

CEMAGREF. **Porteau 3. Documentation Porteau 3. Guide utilisateur.** Mise à jour le 19 juillet 2011. 177p.

DELATTRE.S.E., DE THE C. **Adéquation des modèles de réseaux d'eau potable au comportement réel de la distribution.** 71è congrès AGTHM, texte des conférences, pp 479-493.

EUZEN A. **Que se cache-t-il derrière les courbes de consommation d'eau ? L'exemple de Paris .** 15è Journées scientifiques de l'Environnement- Usages de l'eau: synergies et conflits,10-11 mai 2004. 11p

FELT JF. **Mesure en continu sur le réseau de distribution d'eau potable de la communauté urbaine de Strasbourg (CUS) : Amélioration de la gestion de la qualité de l'eau et du service.** Mémoire d'Ingénieurs ENGEES 2006 .96p

GENERALE DES EAUX. **Epanet 2.0. Simulation hydraulique et qualité pour les réseaux d'eau sous pression. Manuel de l'utilisateur.** Version française. Générale des eaux. 2003. 219p

JAUMOUILLE E. **Contrôle de l'état hydraulique dans un réseau d'eau potable pour limiter les pertes.** Thèse de Doctorat, Mathématiques et Informatique. Université de Bordeaux I, 2009. 136p

LEGRAS Y. Etudes des possibilités d'inter alimentation en eau potable de l'agglomération strasbourgeoise et des syndicats d'eaux périphériques. Mémoire d'Ingénieurs ENITRTS 1987 .48p

MAHE F. Dans le cadre du schéma directeur, alimentation en eau potable de la commune d'Illkirch –Graffenstaden, modélisation du réseau AEP de la communauté urbaine de Strasbourg. Mémoire d'Ingénieurs ENITRTS 1987 .60p

Service de l'eau de la CUS. **Rapport annuel sur la qualité et le prix des services publics de l'eau et de l'assainissement.** 2011. 83 p.

WALSKI et Al. Advanced Water Distribution Modeling and Management. Haestad Methods, Inc Waterbury.CT, 2003

Walski, T.M., Technique for Calibrating Network Models, *Journal of Water Resources Planning and Management Div.* (1983), ASCE, 109(4), 360-372.

Annexes

Annexe 1 : Carte des zones desservies _____	14
Annexe 2 : Historique de l'extension du réseau _____	14
Annexe 3 : Analyse de l'eau . _____	19
Annexe 4 : Schéma Altimétrique _____	20
. Annexe 5 : Courbes de demande _____	35
Annexe 6 : Analyse des courbes de demande _____	37
Annexe 7 : Modèle de simulation : _____	42
Annexe 8 : Éléments constitutifs du modèle . _____	45
. Annexe 9 : Altimétrie. _____	45
Annexe 10: Découpage des 12 communes en quartier _____	48
Annexe 11 : Estimation des abonnés. _____	48
Annexe 12 : Graphes des débits . _____	52

Annexe 1: Carte des zones desservies

Compétences de gestion du réseau d'eau potable

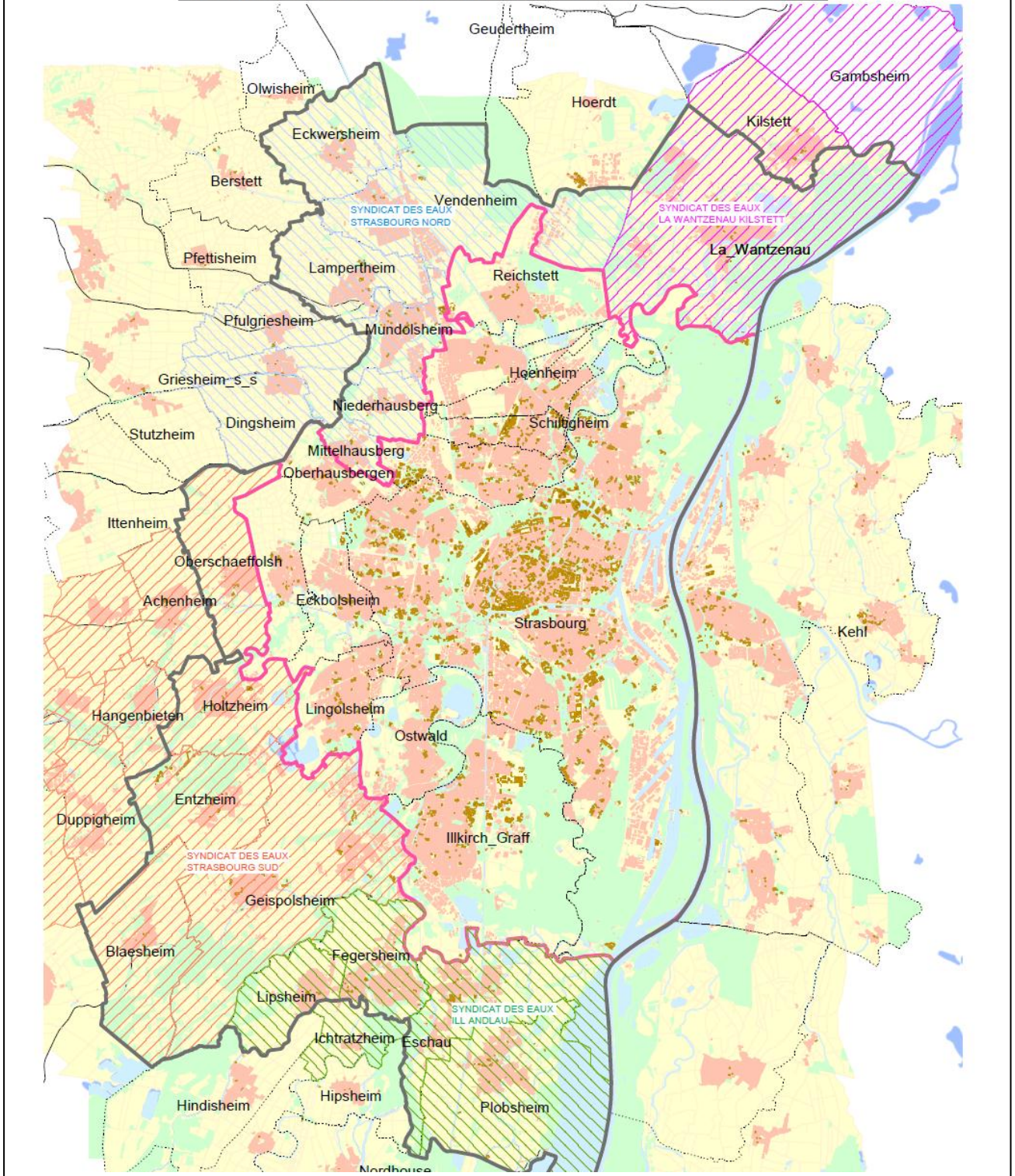


Figure 27: Compétence de gestion du réseau d'eau potable

Annexe 2 : Historique de l'extension du réseau d'eau

Tableau 11: Historique de l'extension du réseau d'eau de la CUS

Dates	Unité d'alimentation en eau potable	Électromécanique et capacités	Ouvrages du réseau
1878	Ville de Strasbourg	Mise en place de 2 pompes à vapeur (1200m ³ /h)	Construction station élévatoire du Polygone, mise en place conduite de 600mm jusqu'à l'ancien réservoir de Krutenau
1910	Extension Oberhausbergen, Wolfisheim, Eckbolsheim et Lingolsheim	Installations de pompes et chaudières supplémentaires	Construction réservoir de 1600m ³
1921	Intégration du service de l'eau de Schiltigheim		Intégration station et réservoir de Schiltigheim
1924		Equipement en groupes électromécaniques (2000m ³ /h)	
1935-1939	Raccordement (interconnexions) de Souffelweyersheim, Illkirch Graffenstaden et Ostwald		
1948-1955		Deux moteurs électriques sont remplacés par deux moteurs diesel	Construction d'une nouvelle station à Lingolsheim et création de 4 puits au polygone
1960-1965		Installations de nouveaux groupes avec suppression de la vapeur : 1 de 2000m ³ /h et 2 de 500m ³ /h à la station principale du Polygone et 1 de 1000m ³ /h à la sous station	Création des stations d'Oberhausbergen et de la Robertsau, automatisation et télésignalisation de la station de Schiltigheim
1965-1970	Création de la CUS en 1968, les communes alimentées par les forages de Reichstett et d'Illkirch Graffenstaden sont rattachées		Destruction de la station de Schiltigheim en 1970 et équipement de la station de Lingolsheim d'un groupe électrogène diesel de secours à enclenchement automatique
1974-1975	Souffelweyersheim intégrée à la CUS		Suppression de la station d'Illkirch Graffenstaden rendu possible par la mise en place d'un DN600mm
1985			Mise en place du nouveau réservoir de 30000m ³ à Oberhausbergen situé 10m plus haut que l'ancien qui est isolé du réseau
1986		Six nouveaux groupes de 1000m ³ /h au Polygone remplacent les anciens	
2003-2020	- Schéma directeur de l'alimentation en eau potable : création de 3 nouvelles stations à Plobsheim (120 000m ³ /j), à la Cour d'Angleterre (20 000m ³ /j) et à Wolfisheim (20 000m ³ /j) - Développement de la sectorisation du réseau adduction d'eau potable.		

Annexe 3: Analyse de l'eau

Annexe 4: Schéma altimétrique

Annexe 5: Courbes de demande

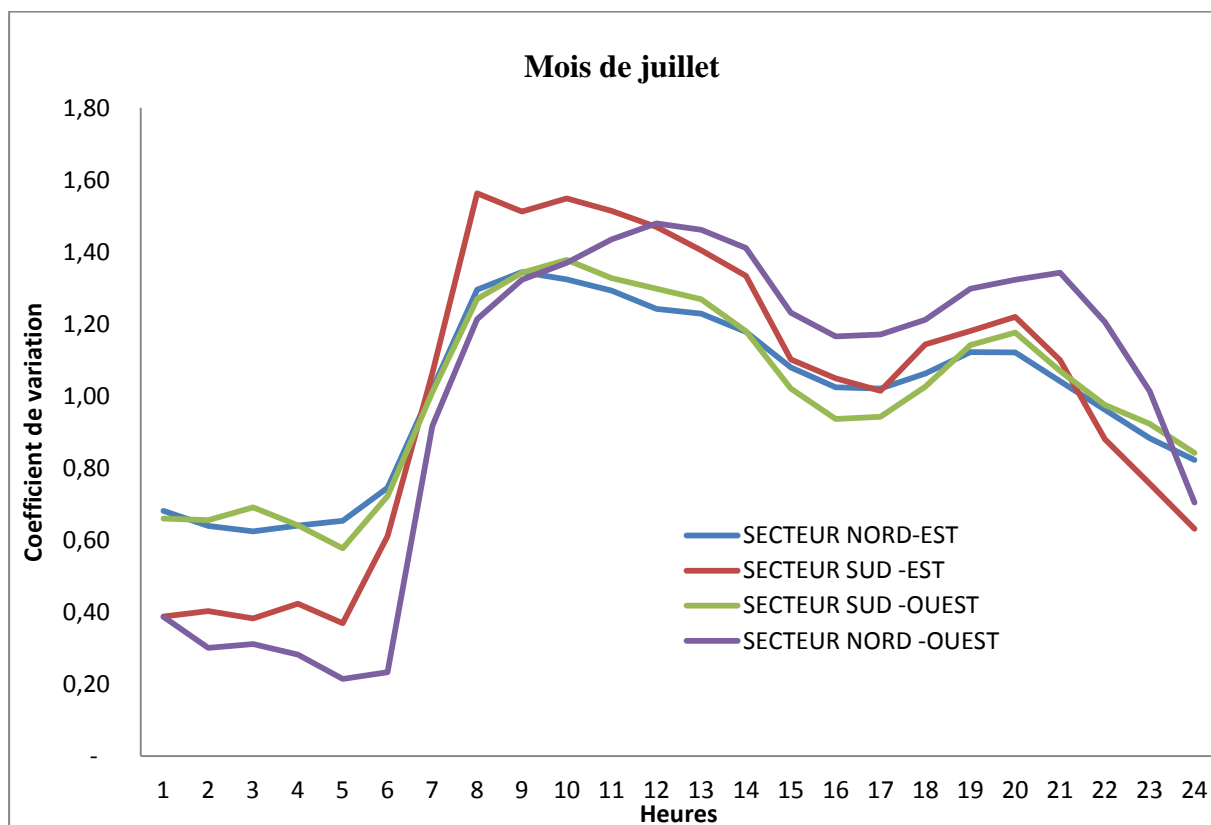


Figure 28: Variation de la demande journalière par secteur pour le mois de juillet 2011

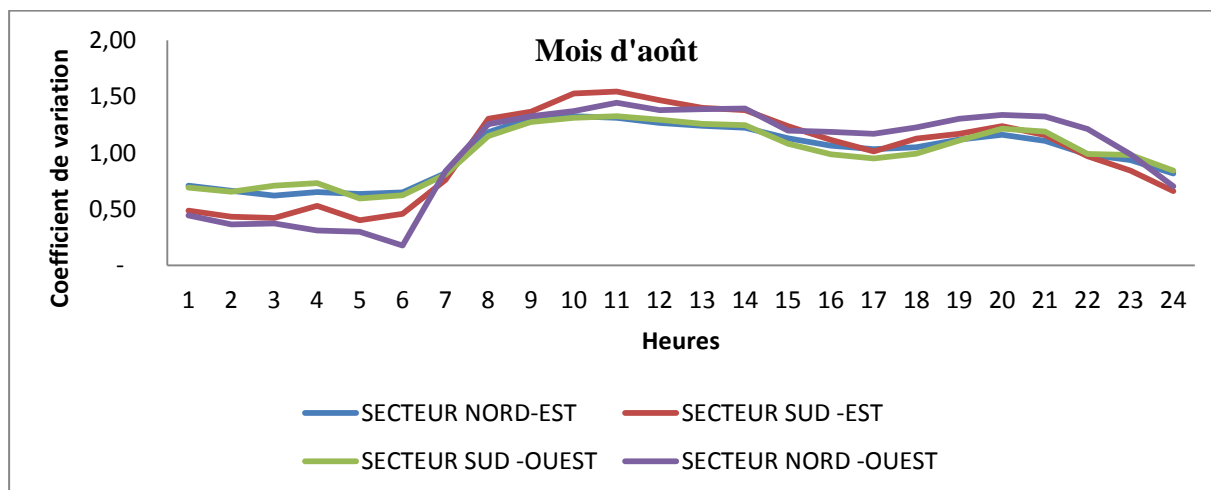


Figure 29: Variation de la demande journalière par secteur pour le mois d'août 2011

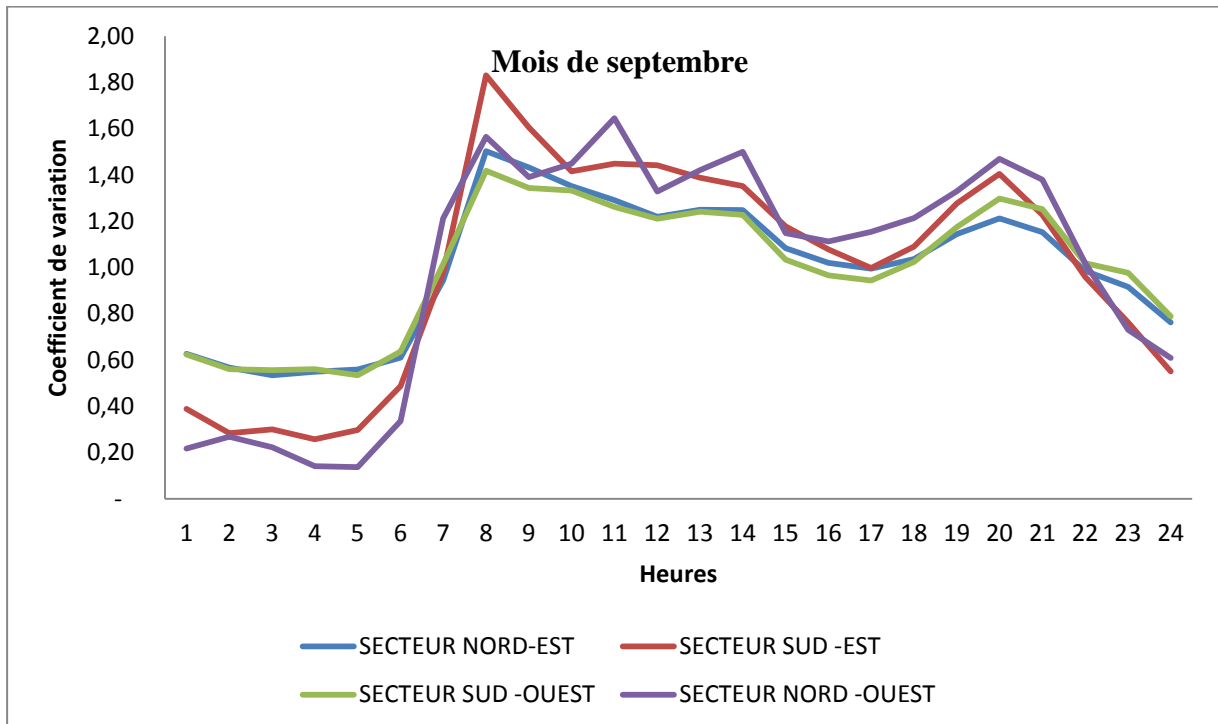


Figure 30: Variation de la demande journalière par secteur pour le mois de septembre 2011

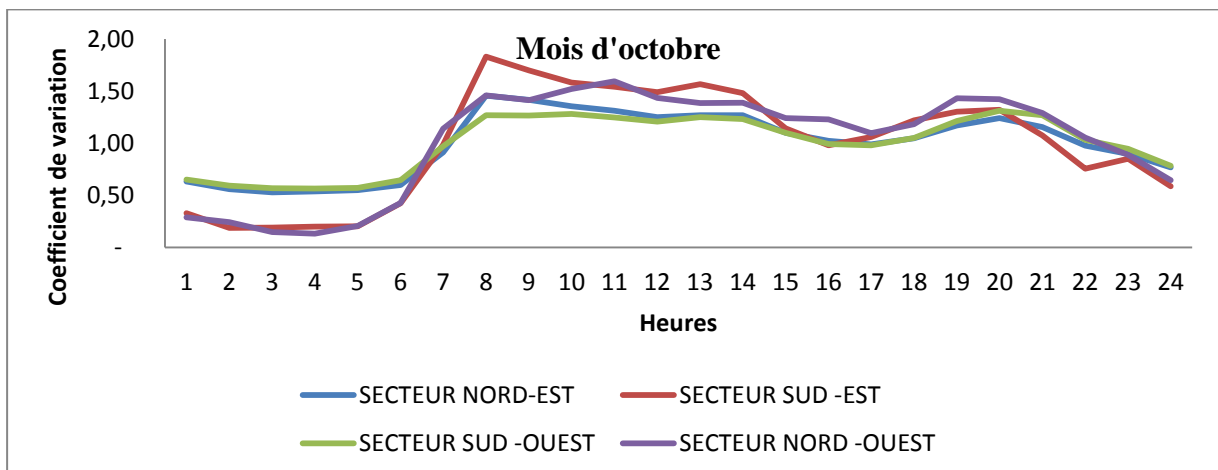


Figure 31: Variation de la demande par secteur pour le mois d'octobre

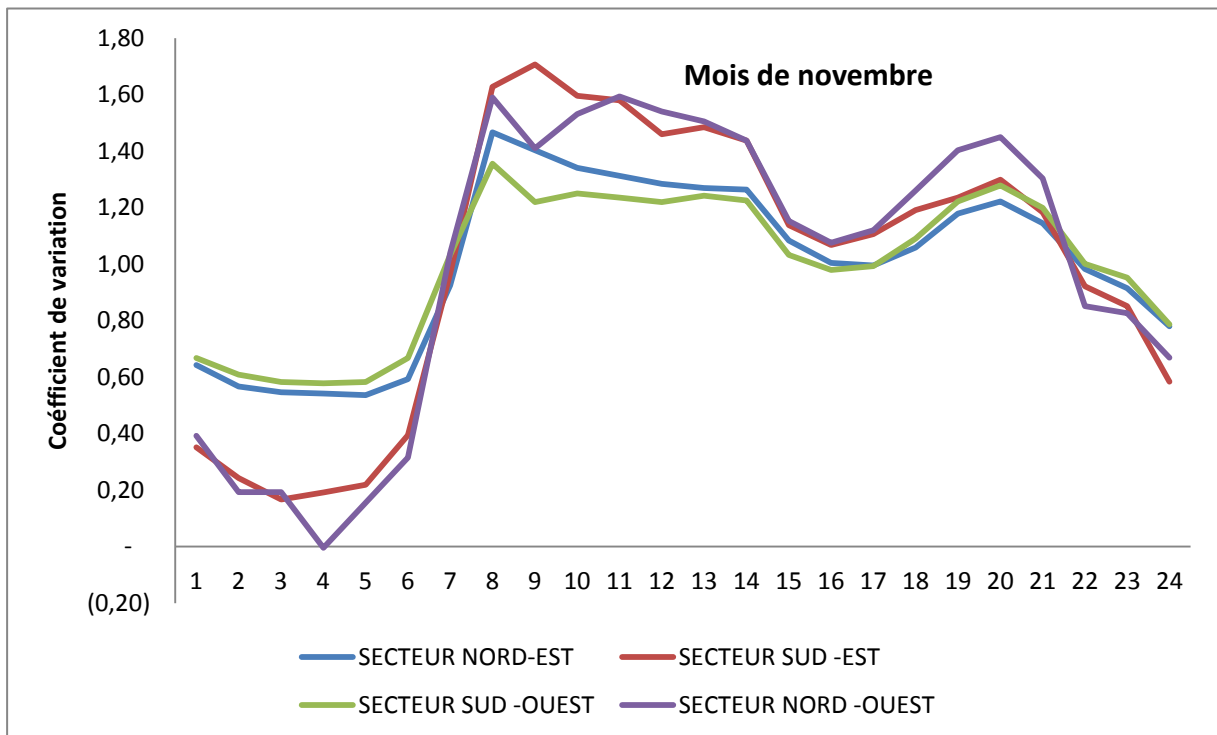


Figure 32: Variation de la demande journalière par secteur pour le mois de novembre

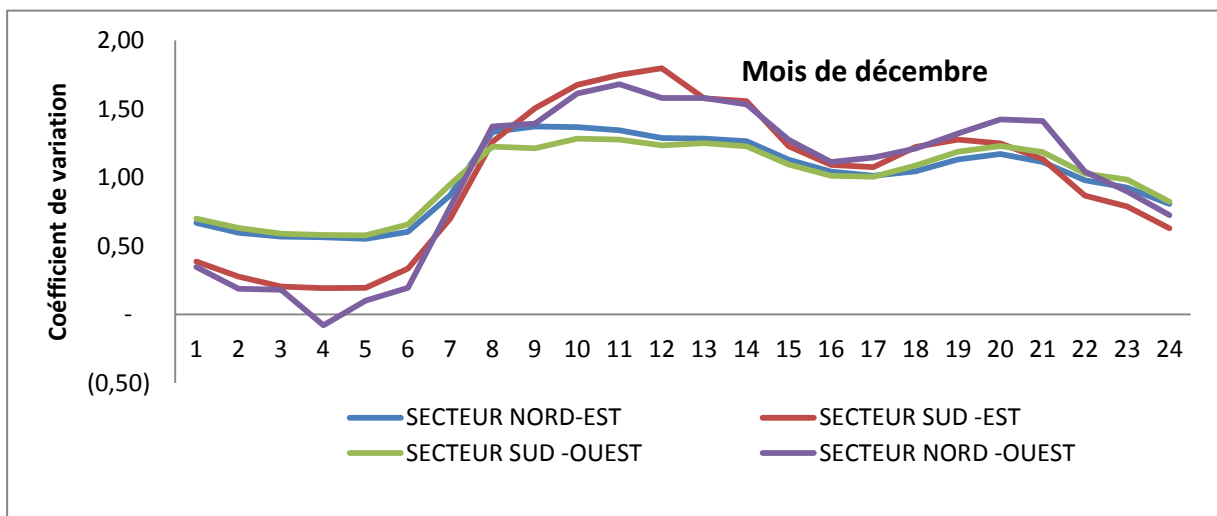
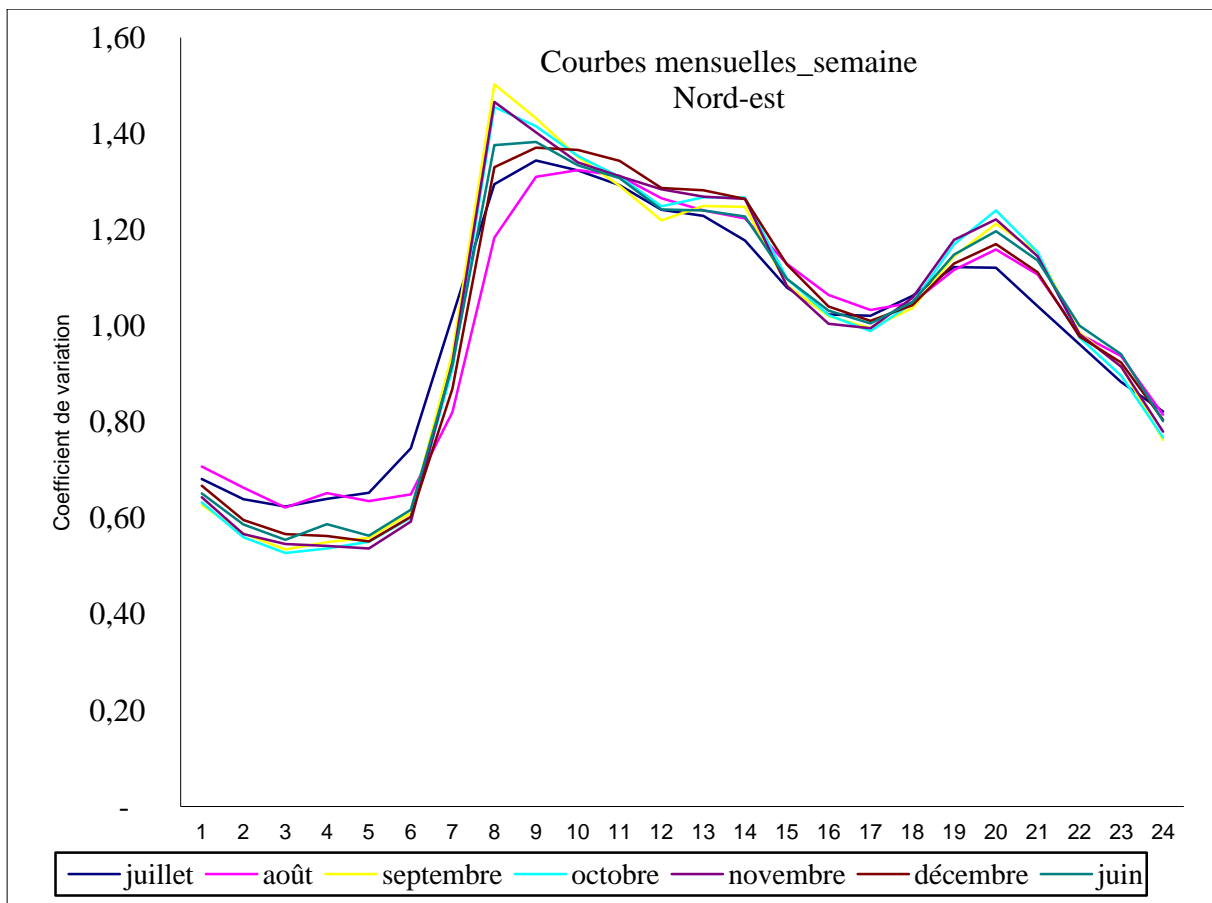
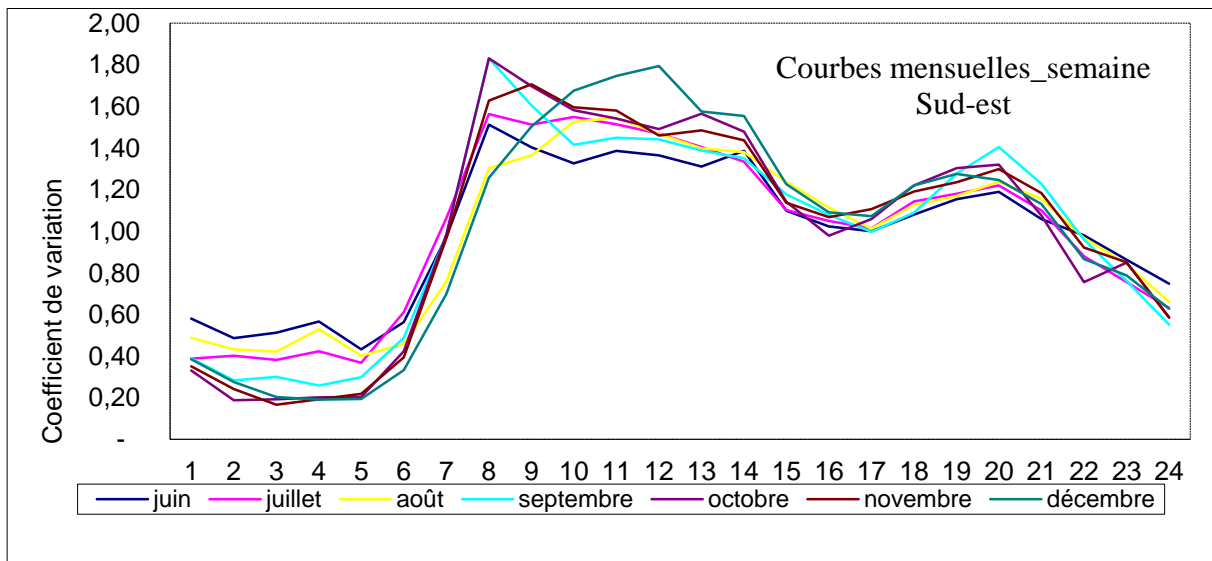
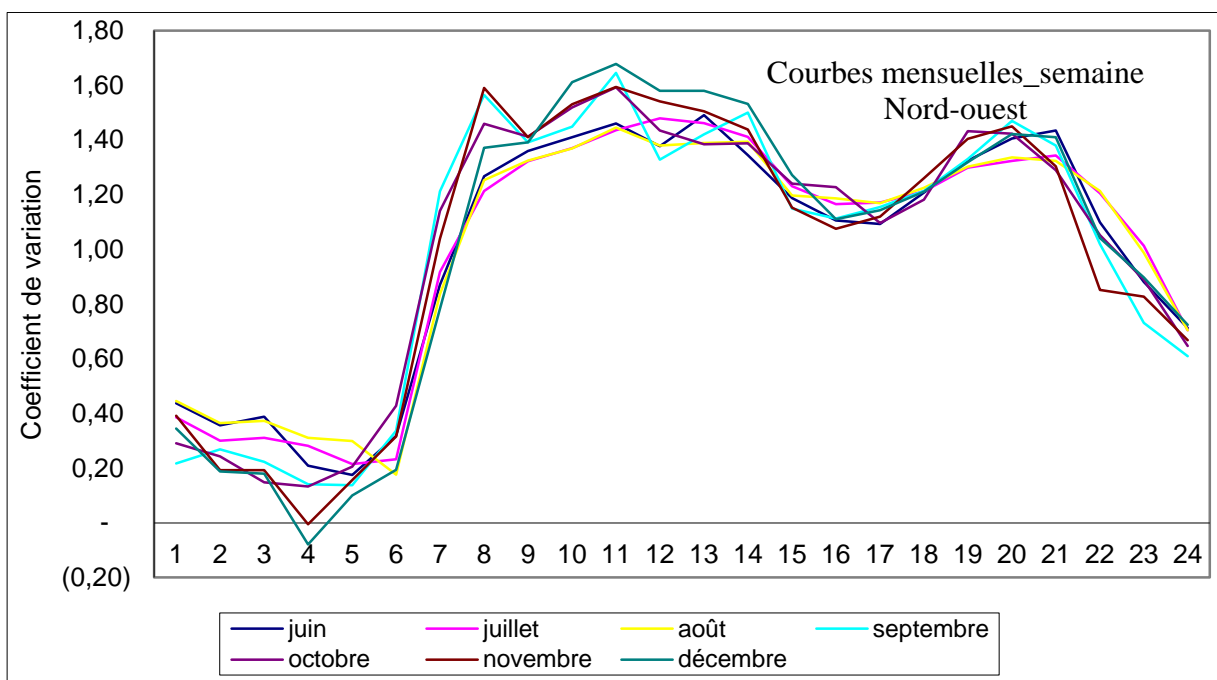
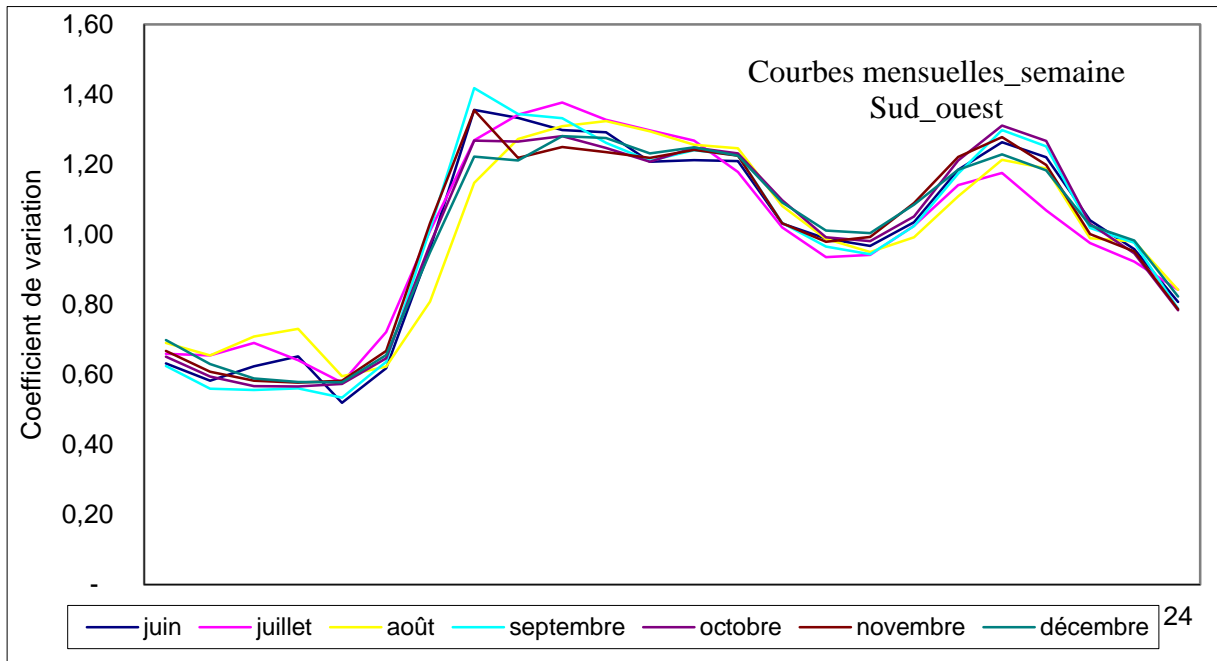
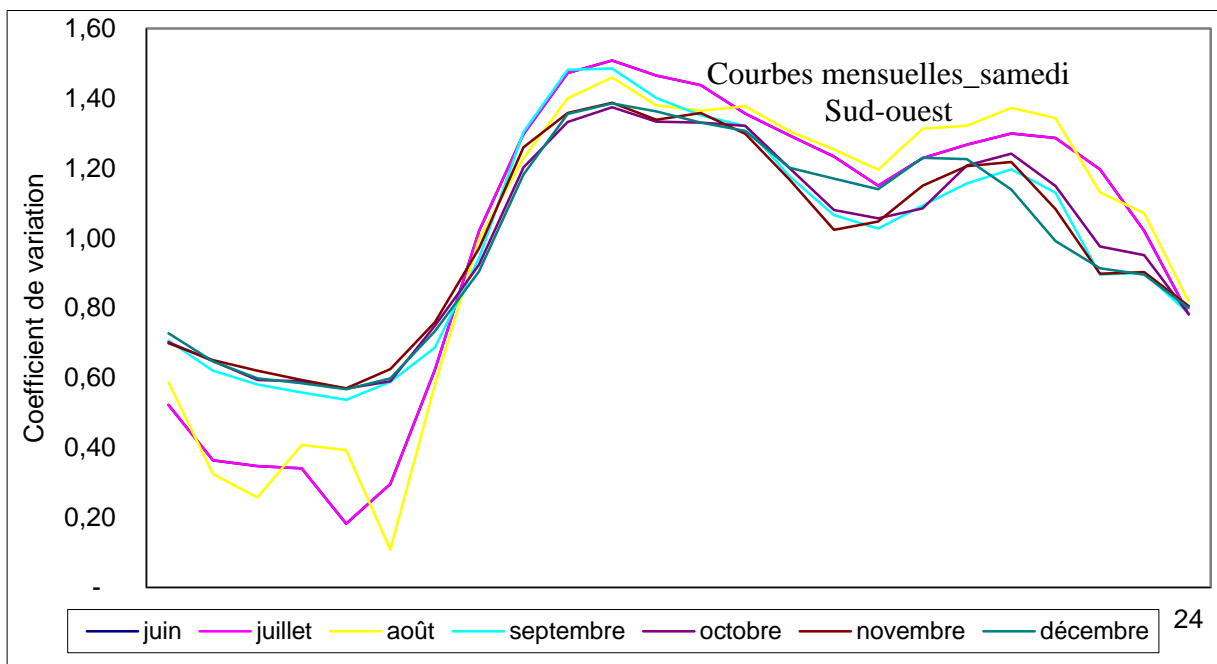
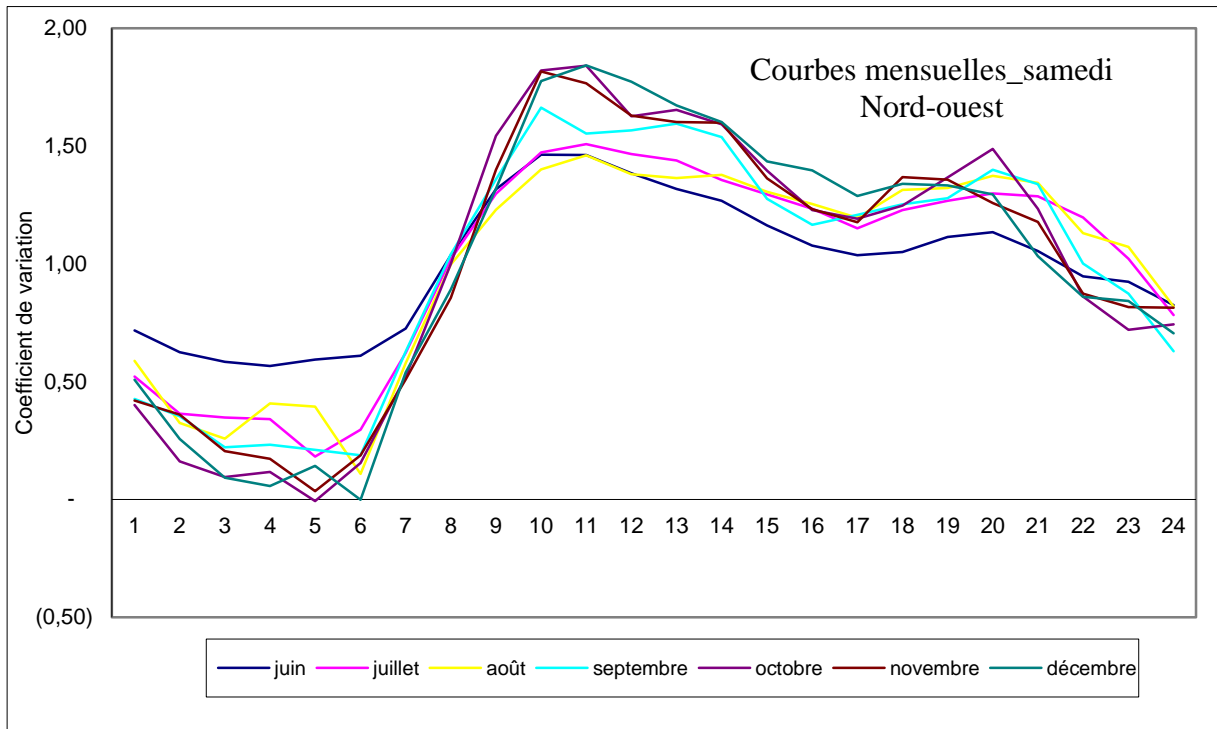
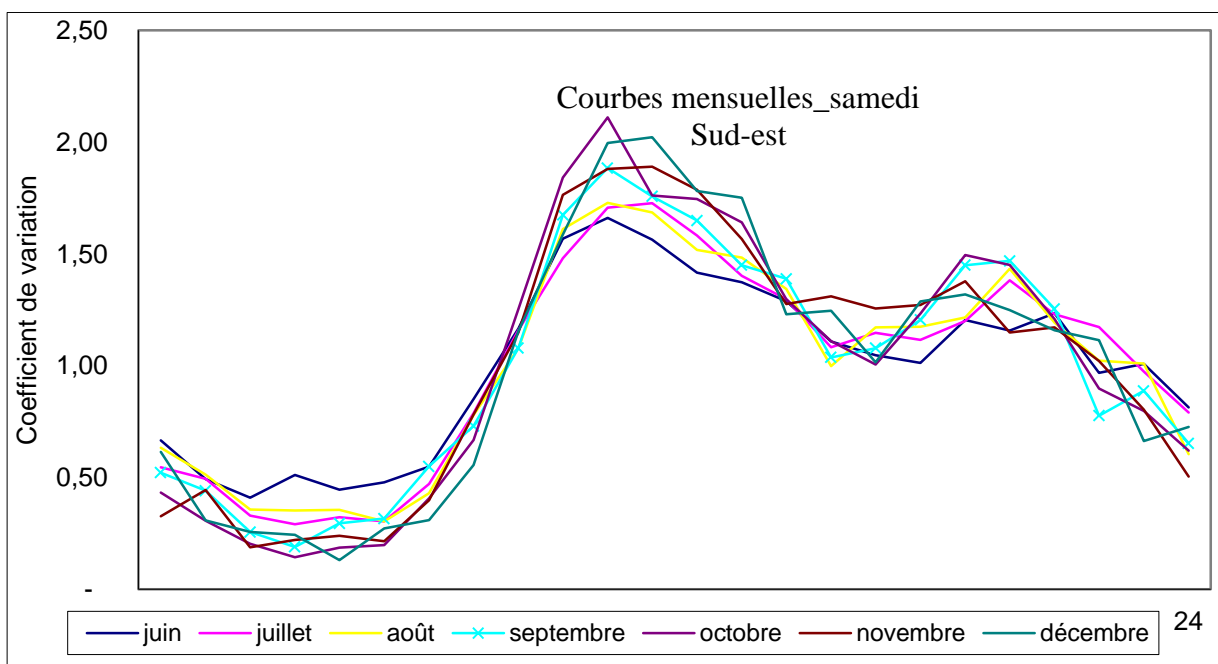
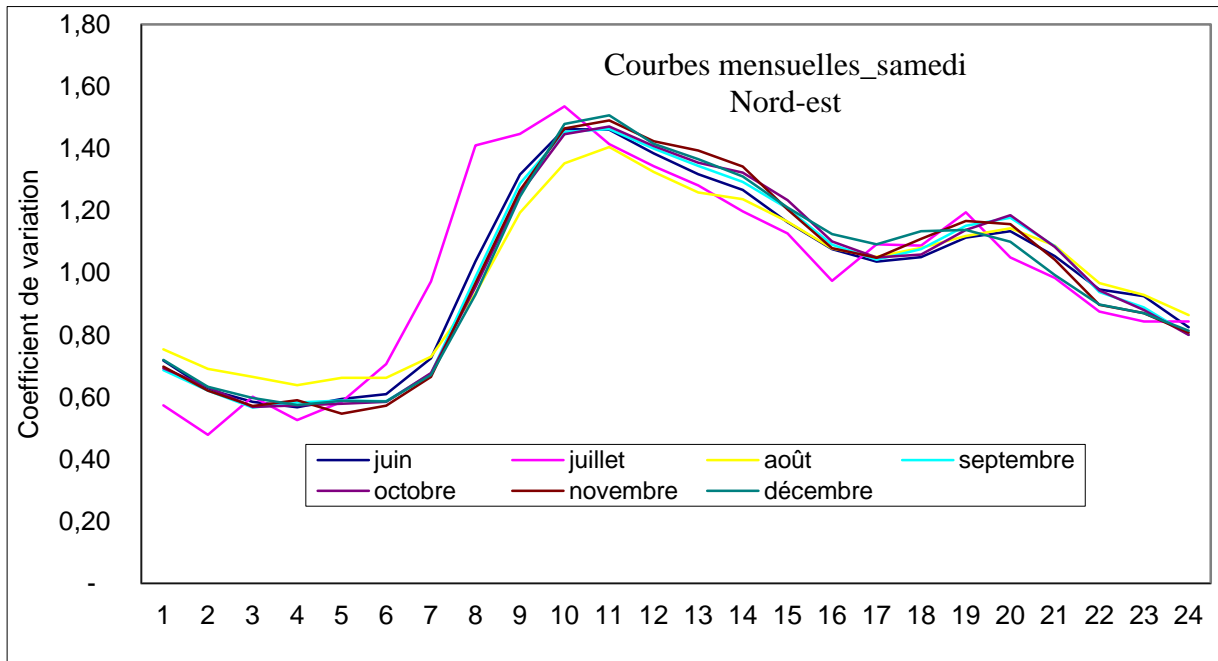


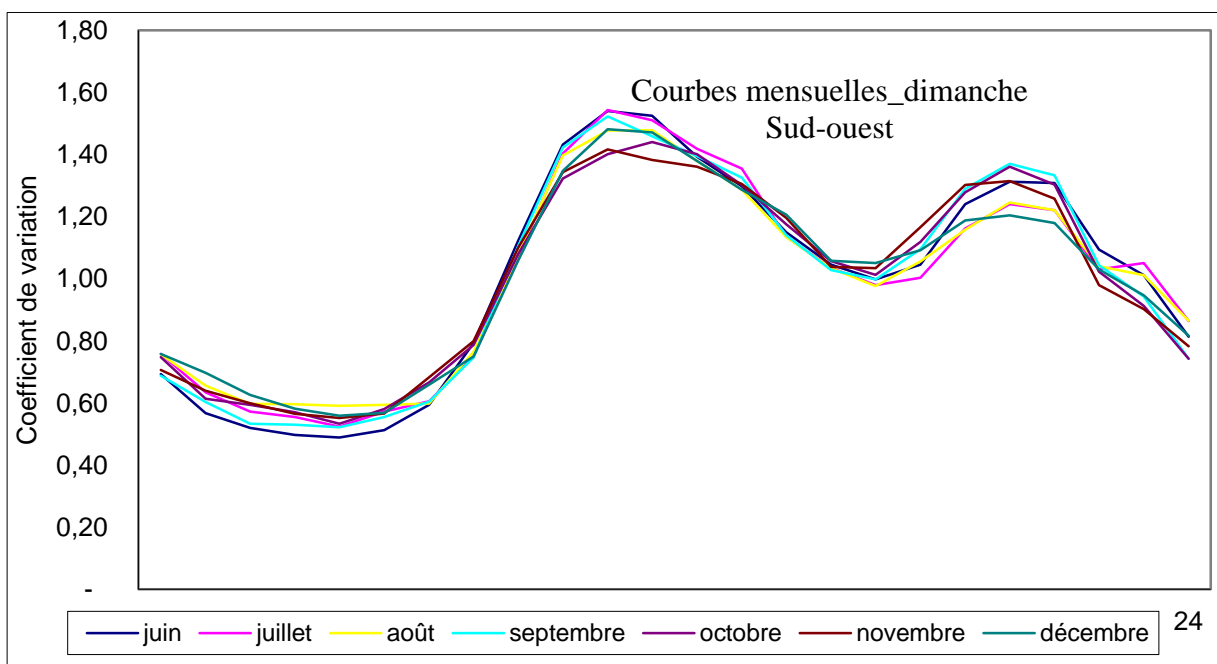
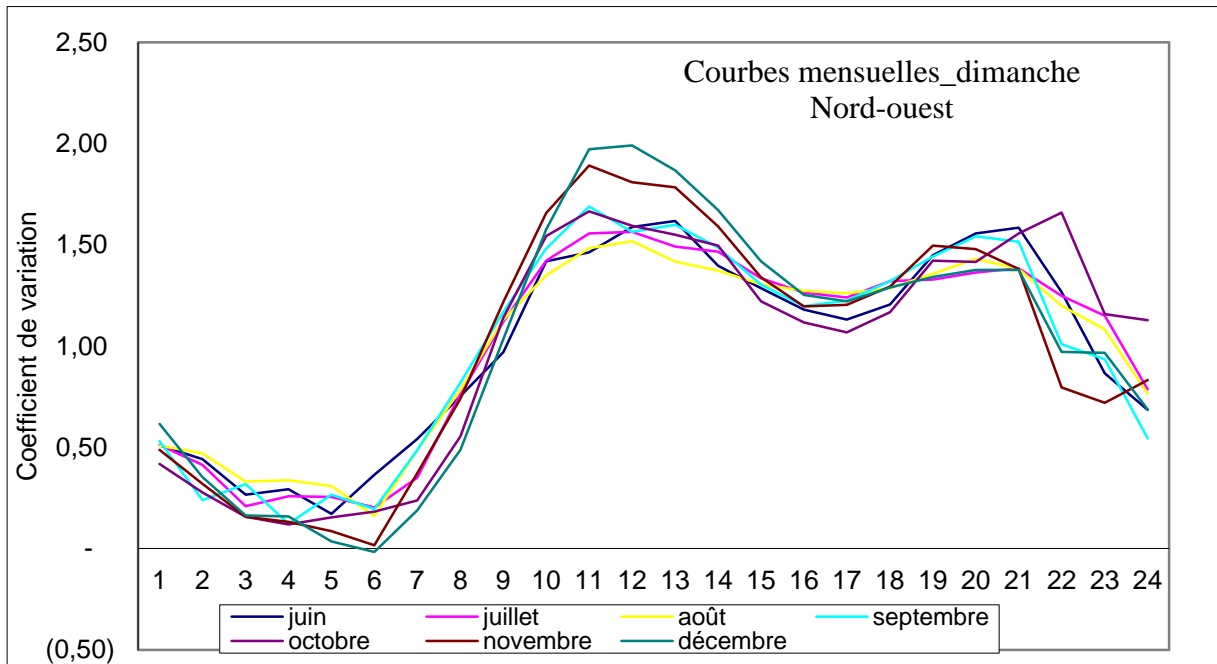
Figure 33: Variation de la demande journalière par secteur pour le mois de décembre

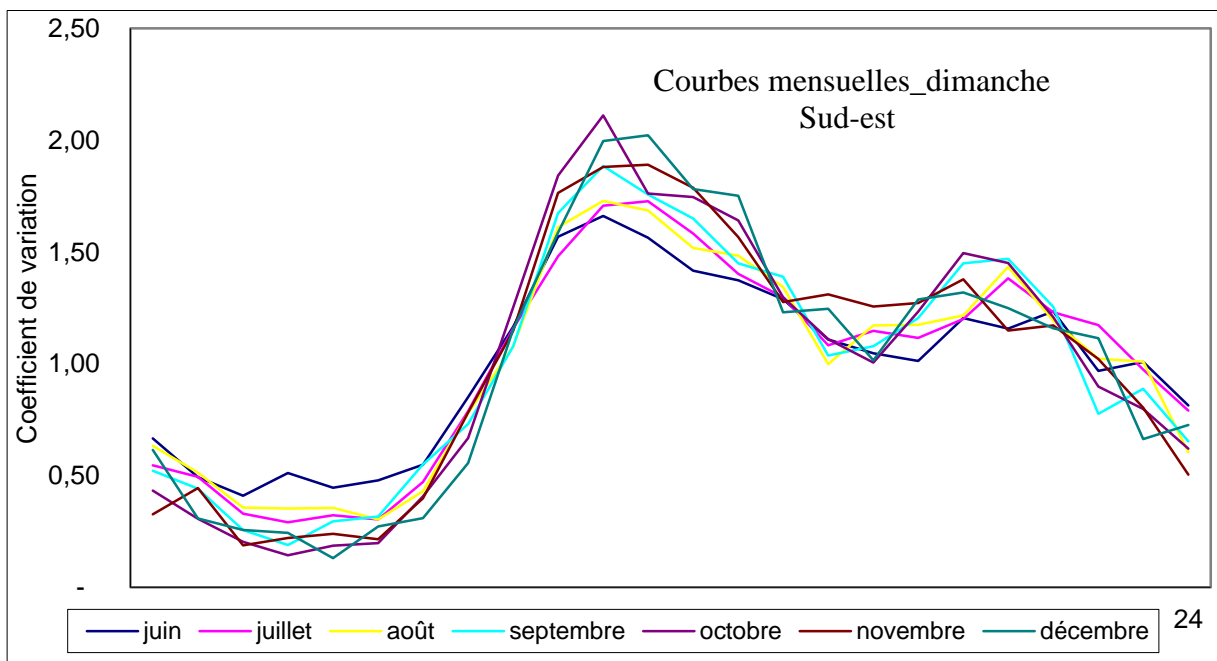
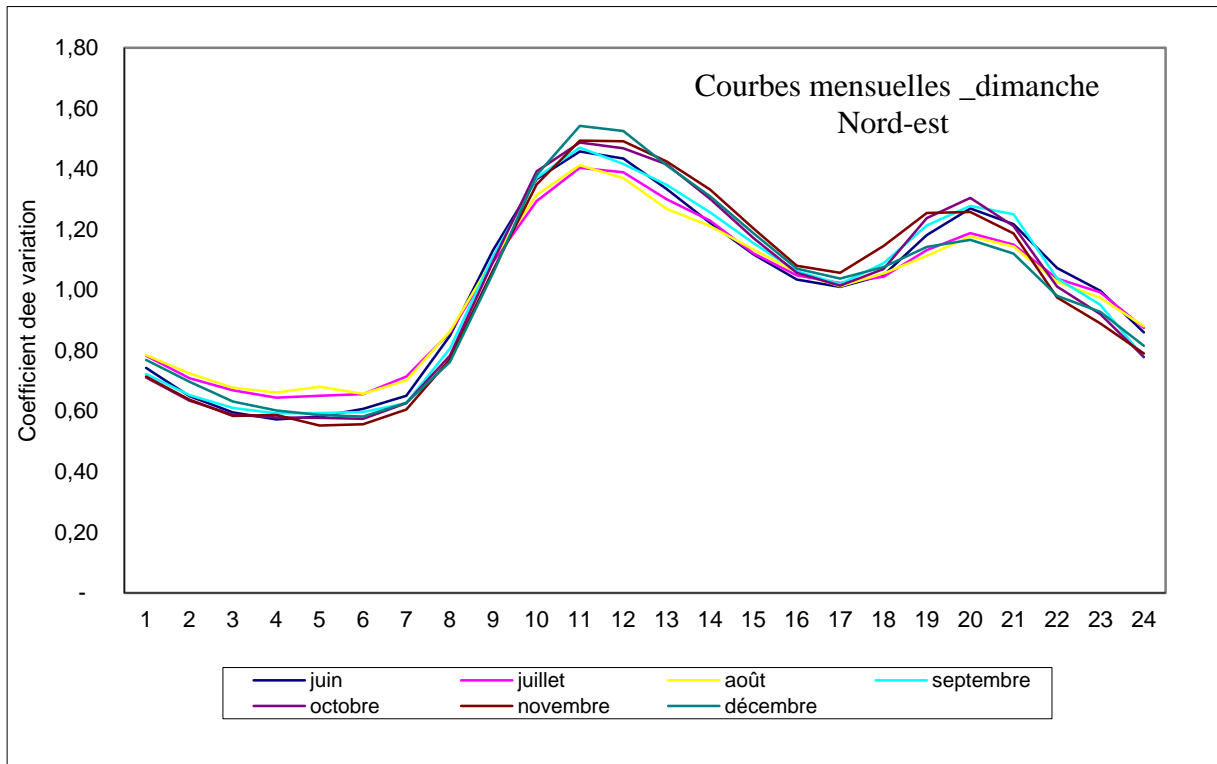












Annexe 6: Analyse des courbes de demande mensuelle

En appui à l'analyse, nous nous sommes référés sur les conclusions des études menées en 2003 par Walski et al sur le mode d'utilisation de l'eau dans une zone résidentielle et commerciale :

- **Zone résidentielle** : La consommation est caractérisée par usage de l'eau relativement faible la nuit quand la plupart des gens dorment, une augmentation de l'utilisation pendant les premières heures du matin quand les gens se réveillent, une diminution de l'utilisation de l'eau pendant le milieu de la journée et enfin l'utilisation accrue de nouveau en début de soirée quand les ménages rejoignent leur domicile ;
- **Zone commerciale** : Sa particularité est qu'elle contienne les magasins, les restaurants et les hôtels. Elle est marquée par une forte consommation d'eau pendant toute la durée de la journée de travail avec observation des pics pendant les heures de midi et du soir lorsque de plus de gens sont autour de ces zones.

La figure 32 montre que les courbes mensuelles des mois de septembre, octobre et de novembre ont une similitude marquée par l'observation :

- D'un minima nocturne de même intensité et se manifestant à la même heure ;
- D'une pointe matinale de même intensité et est constaté à 8 heures ;
- D'une pointe en début de soirée de même intensité.

Par contre, celles des mois de juin, juillet et août ont un autre comportement et se traduit par un abaissement de l'intensité des pointes matinale et en début de soirée. En se référant au régime climatique de la ville de Strasbourg, les mois de septembre, octobre et novembre caractérisent l'automne et les autres mois définissent l'été.

Dans cette différenciation, nous avons constaté que la courbe du mois de décembre apparaît en été en même temps que celles des mois habituellement connus comme période d'été.

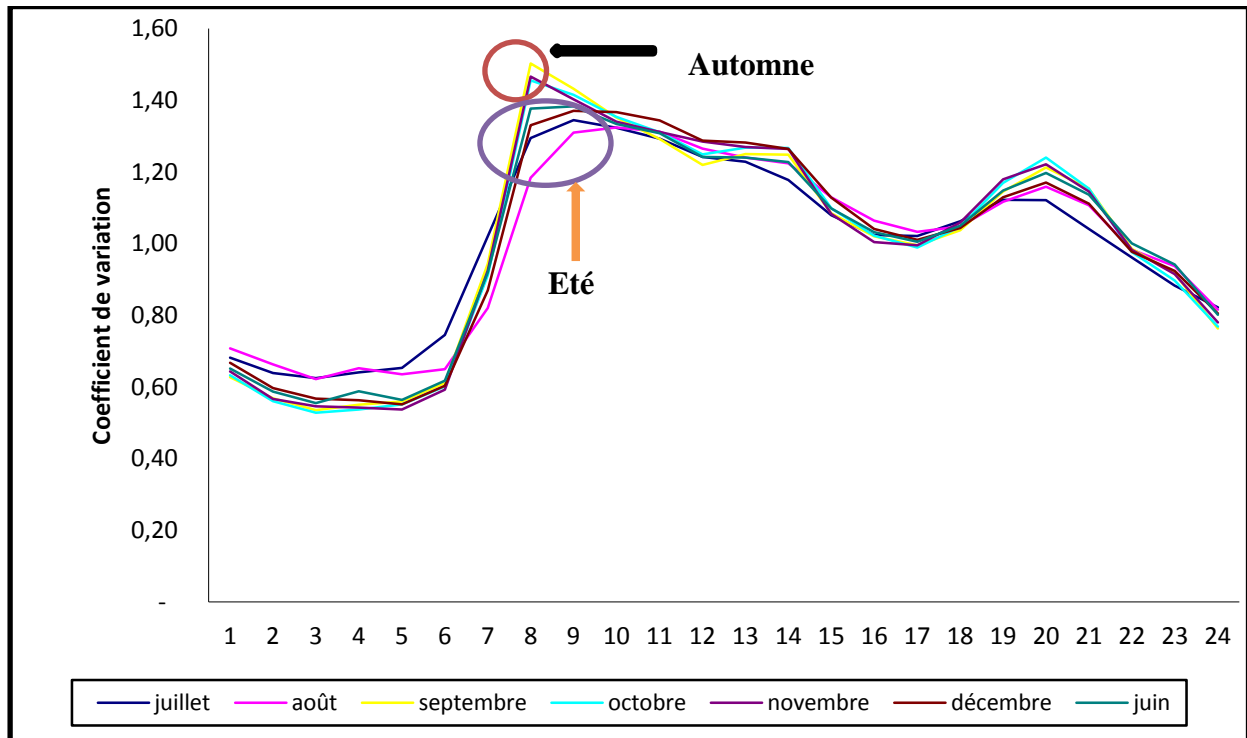


Figure 34: Courbes mensuelles de demande des 7 mois

II.3.2.4.1/-ÉTÉ

1. Semaine

Les données ci-après tirées des courbes de demandes mensuelles sont récapitulées dans le tableau 9.

On observe notamment sur ce tableau que:

- Trois secteurs sur quatre ont le débit minimum nocturne qui se manifeste à 5 heures du matin avec de débits variant entre 87-439 m³/h et un secteur sur quatre a le même débit qui s'observe à 3 heures pour un débit horaire de 1229 m³/h. Ces débits minimum peuvent être assimilés aux fuites. Par conséquent le Nord-est (NE) peut être considéré, au regard des valeurs de débits nocturnes le secteur le plus fuyard du réseau par rapport aux autres secteurs eu égard à leur faible débit nocturne ;
- L'heure de manifestation des pics matinaux oscille sur l'ensemble des quatre secteurs. Cette oscillation s'explique par l'affluence touristique en début du mois de juin, le caractère très résidentiel du NO, le mouvement de la population pendant ladite période et enfin les débuts de vacances ;
- L'heure de constatation du minimum diurne reste à l'identique sur l'ensemble des quatre secteurs et coïncide avec la fin de la journée de travail. Les bureaux se vident peu à peu et le rythme d'utilisation des robinets au niveau des bureaux baisse d'intensité ;
- En début de soirée, à l'exception du NO, le pic de la demande des autres secteurs s'observe à 20 heures. Le décalage horaire constaté au niveau du NO s'explique par l'utilisation différée de l'eau par les résidents à cause de son caractère très résidentiel dû à la forte densité d'habitats et de bâtiments individuels.

2. Samedi et dimanche

L'heure de manifestation du minimum nocturne fluctue beaucoup et oscille entre 2-5 heures du matin. Même pour les 2 jours du week-end, le NE dégage le plus fort débit variant entre 970-1269 m³/h. Ce qui dénote, comme précédemment évoqué son caractère fuyard ;

Comme en semaine, l'heure d'observation des pics matinaux varie beaucoup. Le réveil tardif de la population pendant le week-end constitue la principale raison.

Les heures du minimum diurne pour les 2 jours sont identiques et se différencient au niveau des valeurs observées ;

En début de soirée, la demande de l'eau évolue lorsque les ménages ont rejoint leur domicile. Les pics du soir des autres secteurs sont identiques à l'exception du SO où on observe un décalage.

Par ailleurs, tous les pics (matin et soir) sont suivis d'une diminution de la demande. La première courbe de décroissance est due à l'espace domestique qui se vide peu à peu au profit des bureaux et des centres commerciaux, la seconde courbe de décroissance quand les ménages s'appêtent à dormir.

Parallèlement à cette première analyse, nous avons mené une autre analyse afin de comprendre le comportement des abonnés pendant le mois de décembre parce que sa courbe apparaît dans l'analyse précédente en été.

On constate sur la figure 33 trois comportements différents :

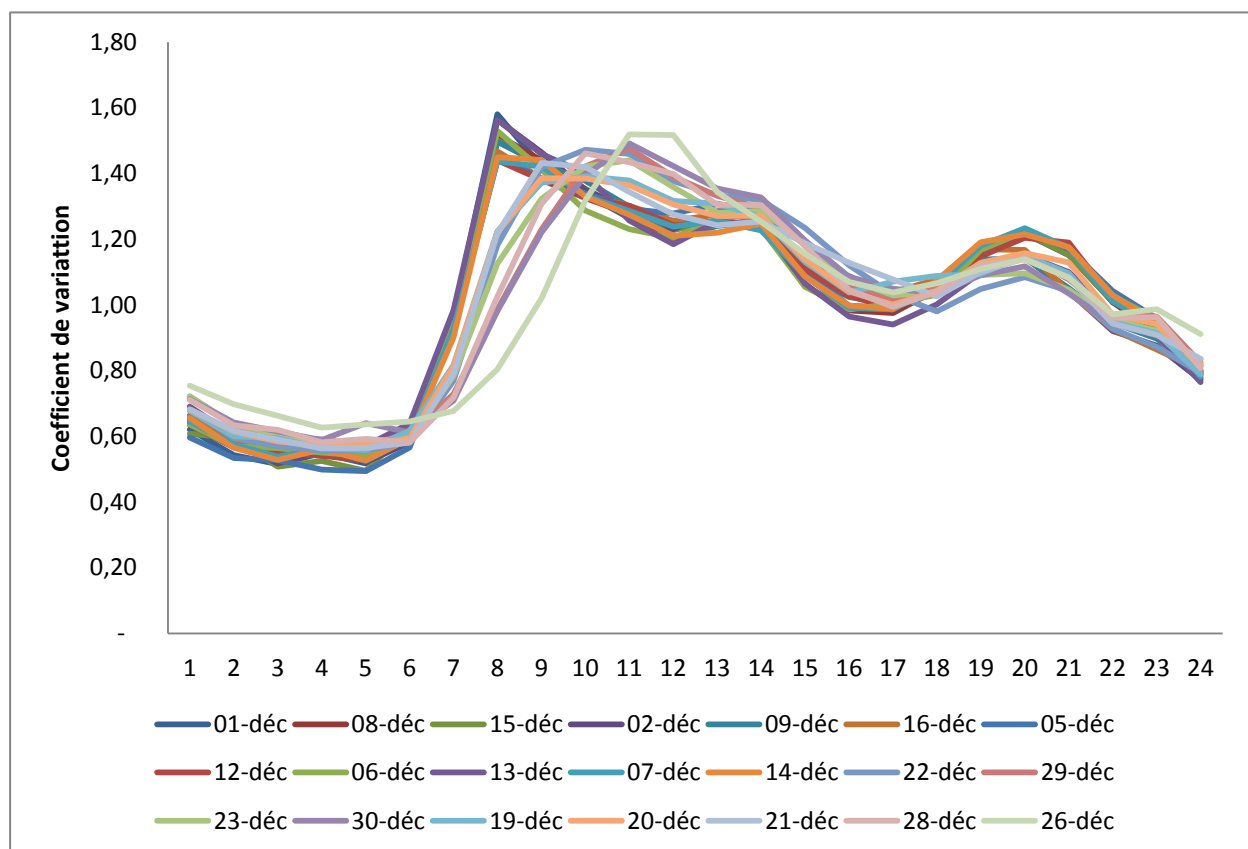


Figure 35: Courbe de demande de la semaine du mois de décembre

- Le premier comportement s'observe par la similarité entre les courbes des jours du 1^{er} au 16 décembre. Ce comportement se distingue des deux autres par l'observation d'une pointe matinale de même intensité. Ces jours sont antérieurs aux jours des fêtes de fin d'années. Ce qui explique que les abonnés ne sont pas encore partis en vacances pour les fêtes de fin d'années ;

- Le second comportement regroupe les jours du 17 au 30 décembre à l'exception des jours du week-end et du 26 décembre. Celui-ci se caractérise par un abaissement de l'intensité de la pointe et s'observant à 10 heures. La raison : début du mouvement de la population pour les fêtes de fin d'années.

- Le troisième comportement coïncide avec le 26 décembre. Son pic est constaté à 11 heures.

Tableau 12: Synthèse de la demande en période estivale

Nom des secteurs	Minimum nocturne		Pic matin		Minimum diurne		Pic du soir	
	Heure	Valeur (m ³ /h)	Heure	Valeur (m ³ /h)	Heure	Valeur (m ³ /h)	Heure	Valeur (m ³ /h)
SEMAINE ÉTÉ								
NORD-EST	3	1161-1229	9-9-10*	2725-2617-2892	17	1 982	20	2 291
SUD-EST	5	301	8-8-11	837-891-926	17	581	20	713
NORD-OUEST	5	87	11-12-11	793-750-630-789	17	558	21	732
SUD-OUEST	5	439	8-10-11	911-890-886-865	17	636	20	844
SAMEDI ÉTÉ								
NORD-EST	2-4	970-1269	10-10-11	3112-2795-3188	17	2 081	20	2 425
SUD-EST	3-4	156-287	10-11-11	1100-995-1035	18	708	20	822
NORD-OUEST	3-5	91-287	10-11-11	747-765-864	17	527	20	600
SUD-OUEST	3-5	121-174	11-11-11-11	974-939	17	771	20	917
DIMANCHE ÉTÉ								
NORD-EST	5	442	11-11-11	2883-3251	17	2 002	20	2 508
SUD-EST	3-4	156-287	11-12-11	995-928-1045	18	708	20	822
NORD-OUEST	3-5	87-157	13-12-12	829-792-934	17	578	20	773
SUD-OUEST	5	395	11-11-12	1032-990-1000	17	656	21	878

NB : *H₁-H₂-H₃ H₄ signifie : Heure de constatation du pic pour les mois de juin, juillet et août

II.3.2.3.2/- Automne

Le tableau 14 récapitule les données résultantes des courbes de consommation illustrées par les figures de l'annexe 6

Tableau 13: Synthèse de la demande en automne

Nom des secteurs	Minimum nocturne		Pic matin		Minimum diurne		Pic du soir	
	Heure	Valeur (m³/h)	Heure	Valeur (m³/h)	Heure	Valeur (m³/h)	Heure	Valeur (m³/h)
SEMAINE AUTOMNE								
NORD-EST	3-5	1094-1161	8-8-8*	3096	17	2 132	20	2 470
SUD-EST	3-4	85-149	8-8-9	1051-851	17	480	20	804
NORD-OUEST	4-5	53-58	8-11-11	662	17	535	20	667
SUD-OUEST	5	361	8-10-8	967-936	17	715	20	925
SAMEDI								
NORD-EST	3-4-5	1177-1158-1203	11	3136	17	2 301	20	2 436
SUD-EST	3-4-5	95-109-67	11	1 032	17	528	19	734
NORD-OUEST	5	89	10-11-11	754-814	17	606	20	1 014
SUD-OUEST	5	417	11	1014	17	513	20	632
DIMANCHE AUTOMNE								
NORD-EST	4-5	1 193-1246	11	3 136	17	2 196	20	2 652
SUD-EST	3-4-5	95-109-67	11-11-12	1 032-1045	17	528	19	734
NORD-OUEST	4-5	51-40	11-11-11	845	17	439	20	681
SUD-OUEST	5	378	11-12-11	1 035-1053	17	744	22	995

NB : * $H_1-H_2-H_3$ signifie : Heure de constatation du pic pour les mois de septembre, octobre, novembre

Durant la semaine, quel que soit le jour, les rythmes de consommation se reproduisent et suivent la même tendance. Cependant nous constatons sur le tableau 10, que :

- Les heures de manifestation du minimum nocturne varient d'un secteur à un autre et oscillent entre 3 et 5 heures du matin. Cinq heures du matin apparait comme l'heure de manifestation de ce débit eu égard à son taux d'apparition élevé (environ 85%) par rapport à celui des autres heures (environ 15%). Là également le plus fort débit nocturne s'observe au NE tant en semaine qu'en week-end ;
- Huit heures est le premier temps de manifestation du pic matinal et coïncide avec le mois de septembre. La rentrée scolaire et le retour des vacances constituent les principales raisons. Elle s'observe au même moment sur l'ensemble des 4 secteurs. En outre, nous avons constaté que la même heure se manifeste également au mois d'octobre et novembre pour les secteurs du NE et du SE.

S'agissant des valeurs des pics observés, la plus forte est constatée au mois de septembre avec $3096\text{m}^3/\text{h}$ et la plus faible pour une valeur de $662\text{m}^3/\text{h}$ au NO.

Le premier décalage horaire constaté après 8 heures s'explique par la fête de fin d'année au mois de décembre et celle de Toussaint au mois de novembre. Le second d'environ 3 heures est observé au niveau du NO et s'explique par son caractère très résidentiel.

En week-end, les heures de manifestation des pics oscillent entre 10-12 heures. Celles des pics du soir sont également oscillantes.

Annexe 7: Modèles de simulation

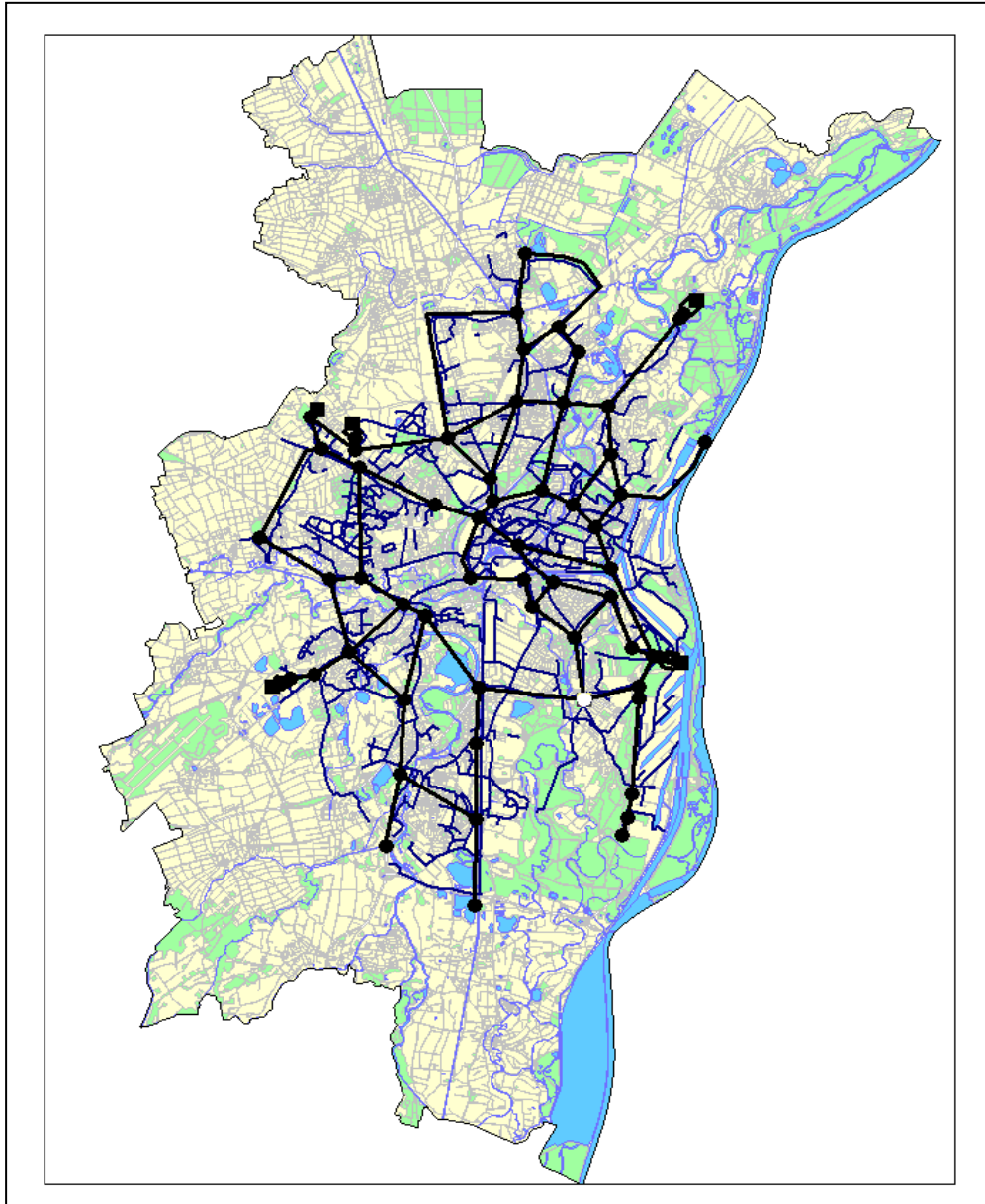


Figure 36: Modèle existant sous Epanet

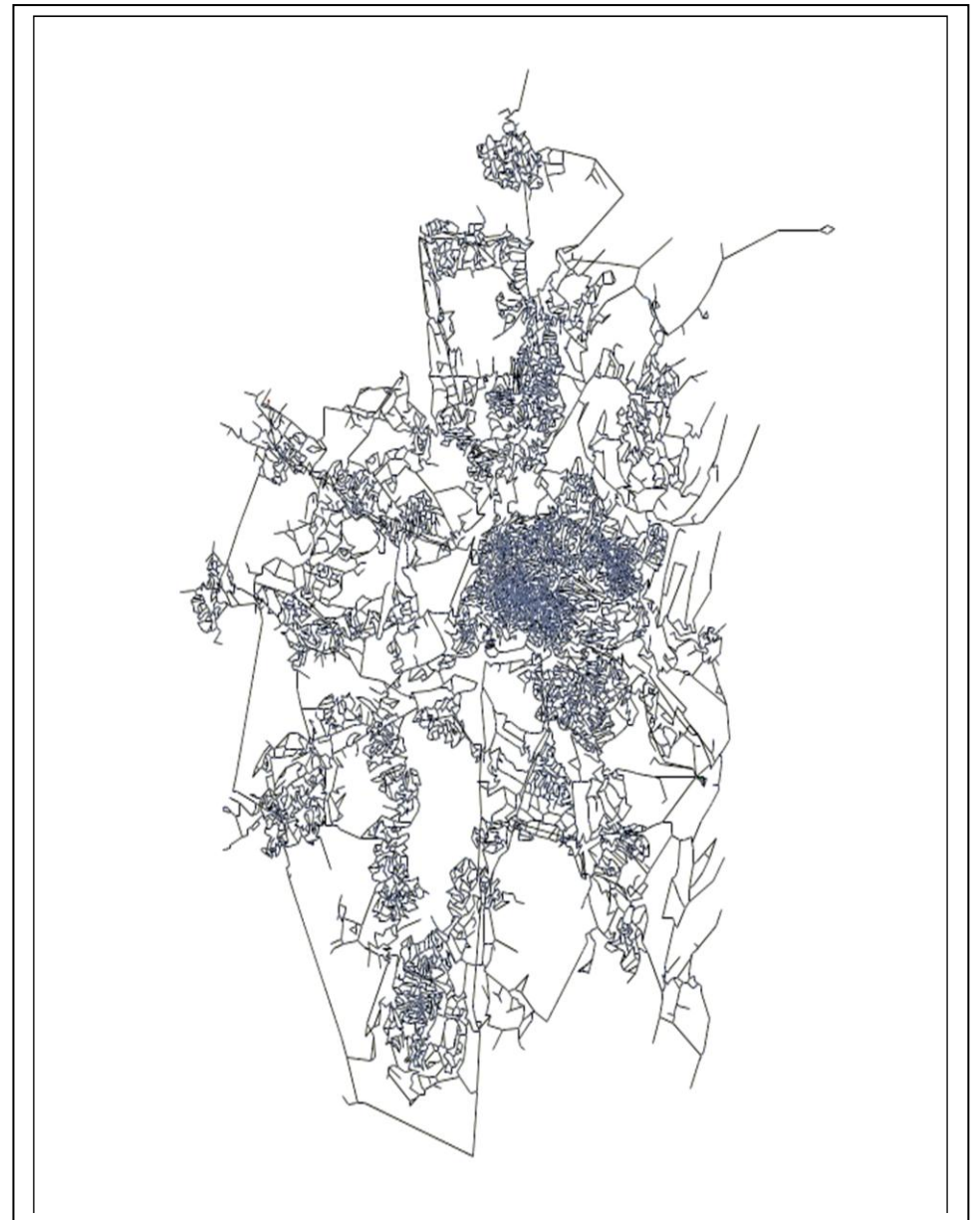


Figure 37: Modèle sous Porteau

Annexe 8: Elements constitutifs du modèle

Les éléments constitutifs du modèle sont récapitulés dans le tableau ci-après ainsi que leurs caractéristiques à renseigner (cf. tableau 11).

Tableau 14: Éléments du modèle

Éléments du réseau	Éléments du modèle	Caractéristiques (attributs)
Jonctions	Nœud	Identification Cote (élévation) Consommation Courbe de modulation
Réservoirs	Réservoir (Nœud)	Identification Cote (élévation) Côte radier Côte trop plein Forme ; Type ; Niveau minimum ; Niveau maximum ; Surface
Conduites	Liaison	Identification de la liaison Topologie : nœud origine/de fin Longueur Matériel, diamètre nominal et interne, rugosité

Deux variables hydrauliques sont associées aux éléments du réseau à savoir le débit et la charge. Les règles de calcul d'un réseau sont basées sur le principe de conservation de débit aux nœuds et celui de la conservation d'énergie aux tronçons.

Le premier principe s'exprime par :

$$\sum_{j \in J(i)} Q_{ij} = C_i \quad \text{Équation 1}$$

Où $J(i)$ est un ensemble de nœuds adjacents au nœud i , C_i est la consommation au nœud, Q_{ij} est le débit du nœud j au nœud i

Le second principe est défini par : $\Delta h_{ij} = h_i - h_j$ **Équation 2** où h_i et h_j sont respectivement les charges au nœud i et nœud j

1/-Nœuds du modèle

Comme expliqué 3.1.1 du chapitre 2, les nœuds sont les points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent également ne pas avoir de débit. Les attributs minimum exigés pour un nœud sont évoqués dans le tableau 11. Les résultats calculés aux nœuds de demande, à chacun des intervalles de temps d'une simulation sont : la charge hydraulique et la pression.

2/- Tronçons

Les formulations mathématiques qui permettent le calcul d'un réseau de distribution d'eau sont basées sur les lois fondamentales de la mécanique des fluides (loi de continuité et loi de conservation de l'énergie) et la loi de résistance à l'écoulement (relation entre le débit et les correspondantes pertes de charges).

S'agissant de la perte de charge associée à l'écoulement uniforme sous pression dans une conduite circulaire, plusieurs formules existent pour la déterminer. Parmi ce lot de formules, le logiciel Porteau propose trois formules parmi lesquelles :

- Formule de Hazen-Williams ;
- Formule de Colebrook explicite ;
- Formule de Lechapt et Calmon

1) Formule de Hazen Williams

C'est une formule qui est très usitée aux États-Unis et est valable pour l'eau aux températures ambiantes et les conduites circulaires en écoulements industriels. En outre elle a été initialement développée uniquement pour les écoulements turbulents (**Générale des eaux, 2003**)

La perte de charge unitaire est donnée par l'équation :

$$j = \frac{10,69xQ^{1,852}}{Chw^{1,852}xD^{4,87}} \quad \text{Équation 3}$$

où Chw est le coefficient de Hazen Williams et sa valeur dépend de la nature du tuyau, Q le débit (m³/h), D (m) le diamètre de la canalisation, j(m/m) la perte de charge unitaire.

2) Formule de Colebrook

L'analyse dimensionnelle et les résultats expérimentaux obtenus pour divers régimes d'écoulement et divers fluides ont permis une formulation moderne (équation 4) due à Darcy et Weisbach.

$$j = \frac{f}{2g} x \frac{v^2}{D} \quad \text{Équation 4}$$

Avec f le coefficient de frottement ou coefficient de résistance

Colebrook et White ont proposé l'équation (Eq.5) permettant de déterminer le coefficient de frottement. Elle est universelle (valable pour tous les fluides) et nécessite un calcul itératif à cause de sa forme implicite.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{pour } Re > 2300 \text{ et } 0 < \frac{\varepsilon}{D} < 0,05 \quad \text{Équation 5}$$

Avec $\varepsilon = \frac{ks}{D}$ caractérise la rugosité relative des parois, ks est appelé rugosité équivalente de sable, est égal au diamètre des grains de sable, homogènes et uniformément répartis qui provoqueraient la même perte de charge que la surface de rugosité naturelle d'une conduite de commerce, Re est le nombre de Reynolds :

Swamee et Jain (1976) ont proposé la relation explicite de l'équation (Eq.5) qui est de nos jours la plus utilisée. C'est une approximation de la forme implicite de Colebrook (Eq.5) et celle-ci est valable, si $10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-2}$ et $5000 \leq Re \leq 10^8$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{Équation 6}$$

L'équation (Eq.4) devient
$$j = \frac{0.25}{2gD} \times \frac{V^2}{\left[\log\left(\frac{\epsilon}{2.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

3) Formule de Lechapt et Calmon

C'est une formule monôme qui constitue une approximation de la formule de Colebrook avec une erreur relative sur la perte de charge de 3% pour des vitesses comprises entre 0,4 et 2m/s (**Lechapt.G, Calmon.A : Table donnant la perte de charge**)

La perte de charge unitaire est donnée par :

$$j = \frac{LxQ^M}{D^N} \quad \text{Équation 7}$$

Où L,M et N sont invariants pour une valeur donnée de la « rugosité » k

4) Choix de la formule à utiliser pour la modélisation

La formule de Colebrook explicite a été retenue à cause de son domaine de validité qui favorise la détermination des pertes de charges des tronçons même pour les très faibles débits. Ce qui n'est pas le cas pour les deux autres formules. Elles ont été écartées pour les raisons suivantes :

- Formule de Lechapt et Calmon, son domaine de validité est borné. Le surdimensionnement des conduites du réseau de la CUS a engendré un écoulement caractérisé par une faible vitesse, parfois très inférieure à la limite inférieure de la borne proposée par Lechapt et Calmon ;

- Formule de Hazen–Williams, son coefficient (Chw) dépend du diamètre, de la viscosité cinématique ν et du nombre de Reynolds lui-même dépendant de la vitesse de l'eau dans la canalisation. L'équation (3.8) est obtenue en comparant la formule (Eq. 4) avec celle de (Eq.3) :

$$Chw = \frac{K_{HW}}{\left[D^{0.01} \times f^{0.54} \times R^{0.08} \right]} \quad \text{Équation 8}$$

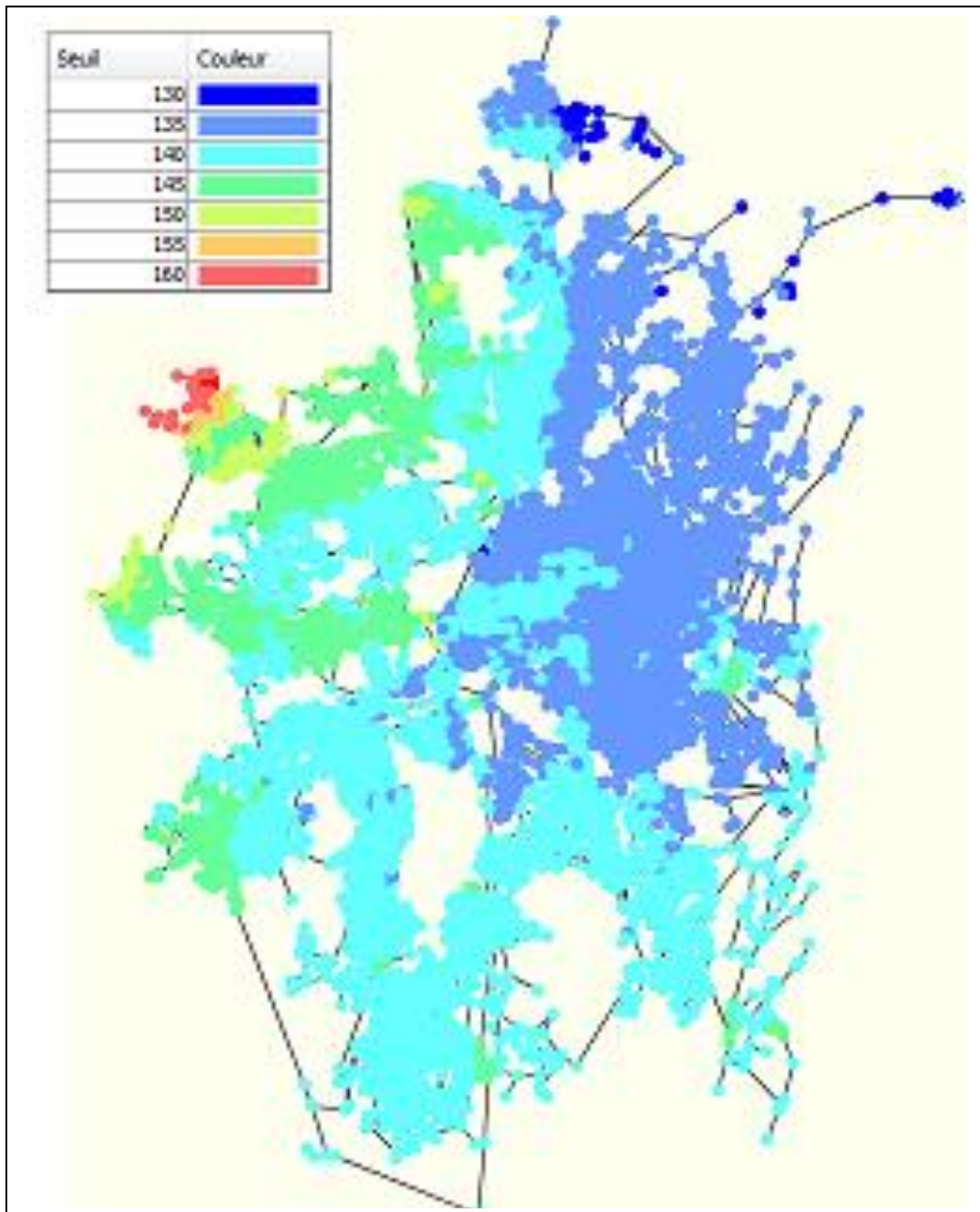
$$K_{HW} = \left[\frac{3,594}{0,08263^{0,54}} \times \left(\frac{4}{3,14 \times V} \right)^{0,08} \right]$$

où V est la viscosité cinématique (m²/s)

3/- Réservoir

Le réservoir de la CUS est un réservoir d'équilibre (cf. paragraphe 4 du chapitre 1). Il se remplit ou se vide en fonction de la demande. Les attributs à renseigner pour le réservoir sont récapitulés dans le tableau 11.

Annexe 9: Altimétrie



Annexe 10: Découpage des 12 communes en quartier

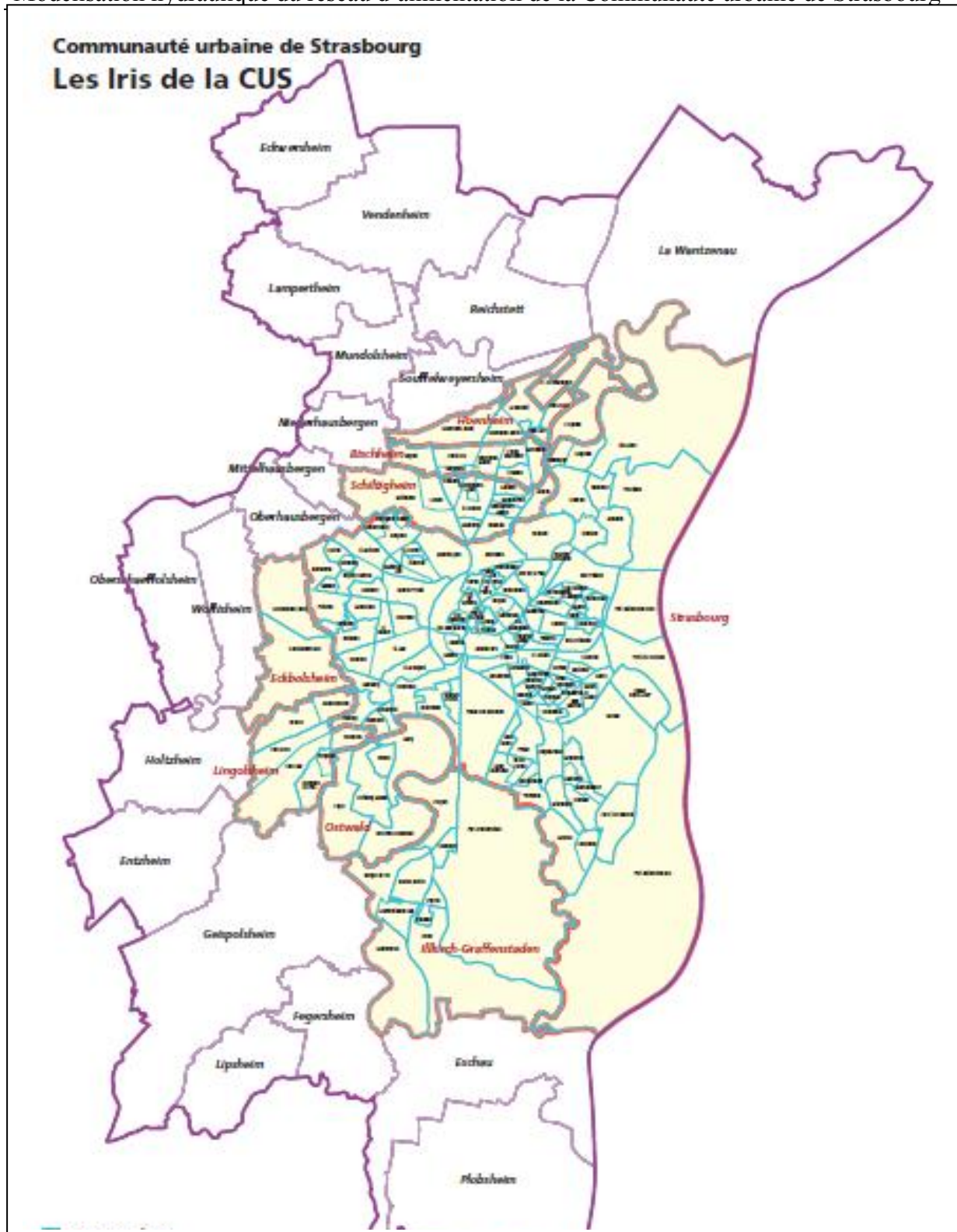


Figure 38: Découpage des 12 communes en iris

Annexe 11: Estimation des abonnés

Les formules ayant servis à quantifier sont exprimées comme suit :

- La demande journalière par quartier :

$$\text{Demande par quartier } (Dq) \left(\frac{m^3}{j} \right) = \text{Demande} \times \frac{\text{Population par quartier}}{\text{Population totale}}$$

- La demande journalière par abonné : $Dq \times \frac{1}{\text{Nombre de ménage}} \left(\frac{m^3}{j} \right)$

Tableau 15: Estimation des quantités

Libellé commune	Libellé de l'IRIS	Population en 2008 (princ)	Pop ménages en 2008 (princ)	Ménages	Volume (m ³ /j/iris)	Adresses	l/j/Ménages	nb virtuel abonnés/iris	Ménage/adresse
NORD-OUEST									
Oberhausbergen	Oberhausbergen	5 036	4 815	2 233	163 564	937	331	2 364	2,52
Wolfisheim	Wolfisheim	3 958	3 916	1 622	128 551	968	358	1 858	1,92
Eckbolsheim	Nord	2 802	2 802	1 179	91 006	590	349	1 315	2,23
Eckbolsheim	Sud	3 656	3 607	1 518	118 743	1 017	353	1 716	1,69
Strasbourg	Koenigshoffen Est Ouest	2 890	2 631	1 291	93 850	150	328	1 356	9,04
Strasbourg	Koenigshoffen Est Est	3 339	3 308	1 624	108 460	210	302	1 568	7,46
Strasbourg	Koenigshoffen Est Sud	2 052	1 895	930	66 660	295	324	963	3,27
Strasbourg	Koenigshoffen Ouest Centre-Ouest	2 748	2 645	1 298	89 243	143	311	1 290	9,02

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Strasbourg	Koenigshoffen Ouest Nord-Ouest	4 548	4 508	2 212	147 711	285	302	2 135	7,49
Strasbourg	Koenigshoffen Ouest Nord-Est	3	3	1	93	29	299	1	0,05
Strasbourg	Koenigshoffen Ouest Sud	628	523	257	20 393	73	359	295	4,04
Strasbourg	Koenigshoffen Ouest Centre-Est	5 194	5 018	2 463	168 709	659	310	2 438	3,70
Strasbourg	Cronenbourg Ouest Sud	3 515	3 515	1 725	114 149	687	299	1 650	2,40
Strasbourg	Cronenbourg Ouest Nord-Est	3 017	3 017	1 481	97 999	41	299	1 416	34,55
Strasbourg	Cronenbourg Ouest Nord-Ouest	801	801	393	26 027	20	299	376	18,81
Strasbourg	Cronenbourg Ouest Est	1 982	1 982	973	64 364	157	299	930	5,93
Strasbourg	Cronenbourg Ouest Ouest	2 300	2 300	1 129	74 702	85	299	1 080	12,70
Strasbourg	Cronenbourg Est Nord-Est	197	197	96	6 385	47	299	92	1,96
Strasbourg	Cronenbourg Est Nord-Ouest	1 953	1 953	958	63 431	210	299	917	4,37
Strasbourg	Cronenbourg Est Centre-Est	2 340	2 340	1 148	76 001	353	299	1 098	3,11
Strasbourg	Cronenbourg Est Centre-Ouest	2 207	2 207	1 083	71 689	276	299	1 036	3,75
Strasbourg	Cronenbourg Est Sud	2 395	2 264	1 111	77 796	94	316	1 124	11,96
Strasbourg	Hautepierre Ouest	3 397	3 397	1 667	110 322	72	299	1 595	22,15
Strasbourg	Hautepierre Nord Est	2 629	2 629	1 290	85 394	64	299	1 234	19,29
Strasbourg	Hautepierre Nord	3 047	3 047	1 495	98 950	216	299	1 430	6,62
Strasbourg	Hautepierre Sud Est	3 525	3 525	1 730	114 488	79	299	1 655	20,95
Strasbourg	Hautepierre Centre	2 286	2 239	1 099	74 231	213	305	1 073	5,04
Strasbourg	HautepierreSud Ouest	-	-	-	-	5		-	0,00

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Libellé commune	Libellé de l'IRIS	Population en 2008 (princ)	Pop ménages en 2008 (princ)	Ménages	Volume (m³/j/iris)	Adresses	l/j/Ménages	nb virtuel abonnés/iris	Ménage/adresse
SUD-OUEST									
Illkirch-Graffenstaden	Sud Ouest	196	196	96	9 403	127	482	89	0,70
Illkirch-Graffenstaden	Centre Ouest	2 013	2 013	984	96 556	617	482	916	1,49
Illkirch-Graffenstaden	Ouest	3 374	3 352	1 639	161 850	332	485	1 536	4,63
Illkirch-Graffenstaden	Centre	3 563	3 494	1 709	170 951	1 023	492	1 622	1,59
Illkirch-Graffenstaden	Est	4 568	3 818	1 867	219 138	650	577	2 080	3,20
Illkirch-Graffenstaden	Nord Ouest	2 595	2 516	1 231	124 515	471	497	1 182	2,51
Illkirch-Graffenstaden	Centre Nord	2 451	2 451	1 199	117 574	303	482	1 116	3,68
Illkirch-Graffenstaden	Centre Est	2 124	2 124	1 039	101 918	242	482	967	4,00
Illkirch-Graffenstaden	Centre Sud	2 609	2 609	1 276	125 149	79	482	1 188	15,03
Illkirch-Graffenstaden	Sud Est	3 250	3 121	1 526	155 903	653	502	1 479	2,27
Ostwald	Ouest	35	35	15	1 700	64	552	16	0,25
Ostwald	Est	2 109	2 063	881	101 168	545	564	960	1,76
Ostwald	Nord	2 916	2 910	1 243	139 893	120	553	1 328	11,06
Ostwald	Centre	2 417	2 417	1 033	115 957	718	552	1 100	1,53
Ostwald	Sud	3 327	3 295	1 408	159 588	785	557	1 514	1,93
Lingolsheim	Nord Est	3 272	3 272	1 456	156 989	387	530	1 490	3,85
Lingolsheim	Nord Ouest	2 275	2 274	1 012	109 157	590	530	1 036	1,76
Lingolsheim	Est	126	126	56	6 068	97	530	58	0,59
Lingolsheim	Centre Est	2 836	2 836	1 262	136 048	107	530	1 291	12,07
Lingolsheim	Sud Est	2 564	2 422	1 078	123 018	406	561	1 167	2,88
Lingolsheim	Centre	2 339	2 339	1 041	112 219	506	530	1 065	2,10

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Lingolsheim	Sud Ouest	3 388	3 388	1 508	162 552	835	530	1 543	1,85
Strasbourg	Elsau Centre	3 696	3 589	1 762	177 320	357	495	1 683	4,71
Strasbourg	Elsau Ouest	2 584	2 577	1 265	123 985	116	482	1 177	10,14
Strasbourg	Elsau Est	747	-	-	35 836	7		340	48,58
Strasbourg	Montagne Verte Sud Est	2 097	2 097	1 029	100 609	143	480	955	6,68
Strasbourg	Montagne Verte Sud	1 622	1 622	796	77 833	352	480	739	2,10
Strasbourg	Montagne Verte Centre Ouest	3 102	3 102	1 522	148 819	322	480	1 412	4,39
Strasbourg	Montagne Verte Nord Ouest	2 262	2 227	1 093	108 513	191	488	1 030	5,39
Strasbourg	Montagne Verte Nord Est	2 852	2 750	1 350	136 804	266	498	1 298	4,88

Libellé commune	Libellé de l'IRIS	Population en 2008 (princ)	Pop ménages en 2008 (princ)	Ménages	Volume (m ³ /j/iris)	Adresses	l/j/Ménages	nb virtuel abonnés/iris	Ménage/adresse
NORD-EST									
Reichstett	Reichstett	4 466	4 425	1 886	212 192	1 401	112 509	2 050	1,46
Souffelweyersheim	Ouest	4 016	3 922	1 653	190 819	1 014	115 425	1 843	1,82
Souffelweyersheim	Est	3 164	3 129	1 319	150 323	798	113 984	1 452	1,82
Hoenheim	Ouest	2 439	2 439	1 088	115 876	539	106 482	1 119	2,08
Hoenheim	Centre	1 956	1 955	872	92 930	592	106 537	898	1,52
Hoenheim	Est	1 945	1 945	868	92 420	352	106 482	893	2,54
Hoenheim	Sud Est	1 790	1 790	799	85 067	209	106 482	822	3,93
Hoenheim	Nord	2 344	2 249	1 004	111 358	226	110 948	1 076	4,76
Bischheim	Annexe	37	36	16	1 770	63	109 003	17	0,27
Bischheim	Est	3 339	3 319	1 487	158 661	126	106 717	1 533	12,16

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Bischheim	Sud-Est	2 726	2 666	1 194	129 499	503	108 466	1 251	2,49
Bischheim	Nord	2 888	2 876	1 288	137 236	541	106 521	1 326	2,45
Bischheim	Centre-1	2 896	2 896	1 297	137 615	512	106 078	1 329	2,60
Bischheim	Ouest	1 817	1 782	798	86 325	122	108 162	834	6,84
Bischheim	Centre-2	1 746	1 746	782	82 956	128	106 078	801	6,26
Bischheim	Sud	2 242	2 242	1 004	106 534	126	106 078	1 029	8,17
Schiltigheim	Nord Nord Est	631	273	129	29 999	64	233 200	290	4,53
Schiltigheim	Est	2 905	2 786	1 314	138 009	117	105 032	1 333	11,40
Schiltigheim	Sud Est	3 416	3 335	1 573	162 310	337	103 185	1 568	4,65
Schiltigheim	Nord Est	2 417	2 397	1 131	114 854	366	101 583	1 110	3,03
Schiltigheim	Centre Sud Est	2 225	2 219	1 047	105 702	252	101 001	1 021	4,05
Schiltigheim	Centre Nord Est	2 320	2 320	1 094	110 238	310	100 729	1 065	3,44
Schiltigheim	Centre Centre Nord	3 934	3 789	1 787	186 896	518	104 565	1 806	3,49
Schiltigheim	Centre Nord 1	2 562	2 562	1 209	121 734	269	100 729	1 176	4,37
Schiltigheim	Centre Nord 2	2 450	2 450	1 155	116 383	123	100 729	1 124	9,14
Schiltigheim	Centre Nord Ouest	2 941	2 941	1 387	139 729	367	100 729	1 350	3,68
Schiltigheim	Centre Sud	2 087	2 087	984	99 152	296	100 729	958	3,24
Schiltigheim	Ouest	3 246	3 246	1 531	154 212	727	100 729	1 490	2,05
Strasbourg	Esplanade Sud Est	3 356	3 348	1 643	159 458	210	97 042	1 540	7,34
Strasbourg	Esplanade Sud Ouest	3 784	2 438	1 196	179 775	55	150 265	1 737	31,58
Strasbourg	Esplanade Nord Est	3 312	3 312	1 626	157 377	51	96 810	1 520	29,81
Strasbourg	Esplanade Nord Ouest	2 584	2 584	1 268	122 784	95	96 810	1 186	12,49
Strasbourg	Krutenau Centre Ouest	2 419	2 419	1 187	114 924	203	96 810	1 110	5,47
Strasbourg	Krutenau Centre Est	3 252	2 951	1 448	154 529	218	106 684	1 493	6,85
Strasbourg	KrutenauNord Ouest	2 589	2 570	1 261	123 005	294	97 526	1 188	4,04
Strasbourg	Krutenau Nord Est	3 438	3 277	1 608	163 354	257	101 567	1 578	6,14

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Strasbourg	Gare Sud Ouest	4 372	4 047	1 986	207 714	168	104 585	2 007	11,94
Strasbourg	Gare Sud Est	2 385	2 364	1 160	113 297	269	97 671	1 095	4,07
Strasbourg	Gare Nord Ouest	2 354	2 220	1 089	111 833	145	102 655	1 080	7,45
Strasbourg	Gare Centre	2 314	2 254	1 106	109 948	272	99 387	1 062	3,91
Strasbourg	Gare Nord Est	2 749	2 737	1 343	130 602	244	97 235	1 262	5,17
Strasbourg	Orangerie Est	4 198	3 989	1 958	199 466	665	101 883	1 927	2,90
Strasbourg	Orangerie Ouest	2 194	2 176	1 068	104 247	207	97 611	1 007	4,87
Strasbourg	RobertsauSud Ouest	2 032	2 024	993	96 523	318	97 161	932	2,93
Strasbourg	Robertsau Ouest	3 626	2 633	1 292	172 276	430	133 326	1 664	3,87
Strasbourg	Robertsau Nord	3 087	3 082	1 512	146 673	588	96 978	1 417	2,41
Strasbourg	Robertsau Centre	2 162	2 162	1 061	102 724	515	96 810	992	1,93
Strasbourg	Robertsau Sud Est	3 272	2 943	1 444	155 480	455	107 644	1 502	3,30
Strasbourg	Robertsau Est	2 644	2 639	1 295	125 611	588	96 994	1 213	2,06
Strasbourg	Mairie Nord	2 295	2 155	1 057	109 027	357	103 101	1 053	2,95
Strasbourg	Mairie Sud	3 624	3 347	1 643	172 174	583	104 813	1 663	2,85
Strasbourg	Petite France Nord Est	2 367	2 252	1 105	112 483	395	101 753	1 087	2,75
Strasbourg	Petite France Nord Ouest	2 269	2 260	1 109	107 801	357	97 196	1 041	2,92
Strasbourg	Petite France Centre	2 230	2 083	1 022	105 933	262	103 644	1 023	3,91
Strasbourg	Petite France Sud	2 253	2 083	1 022	107 039	192	104 712	1 034	5,39
Strasbourg	Poincare Ouest	4 028	4 028	1 977	191 390	239	96 810	1 849	7,74
Strasbourg	Poincare Est	2 893	2 821	1 384	137 432	260	99 282	1 328	5,11
Strasbourg	Kable Nord	328	99	48	15 563	16	321 748	150	9,40
Strasbourg	Kable Sud Est	3 390	3 208	1 574	161 056	199	102 303	1 556	7,82
Strasbourg	KableSud Ouest	2 900	2 900	1 423	137 769	203	96 810	1 331	6,56
Strasbourg	Contades Sud	3 265	3 227	1 584	155 134	335	97 950	1 499	4,47
Strasbourg	Contades Centre	3 448	3 154	1 548	163 833	343	105 834	1 583	4,61

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Strasbourg	Contades Nord	1 409	1 409	692	66 946	304	96 810	647	2,13
Strasbourg	Foret Noire Est	2 237	2 218	1 089	106 282	172	97 640	1 027	5,97
Strasbourg	Foret Noire Centre	1 850	1 850	908	87 920	114	96 810	849	7,45
Strasbourg	Foret Noire Ouest	1 917	1 857	912	91 094	153	99 938	880	5,75
Strasbourg	Foret Noire Sud	2 403	2 050	1 006	114 181	207	113 480	1 103	5,33
Strasbourg	Vauban Sud	2 230	2 230	1 094	105 959	113	96 810	1 024	9,06
Strasbourg	Vauban Est	2 641	2 597	1 275	125 493	125	98 451	1 212	9,70
Strasbourg	Vauban Ouest	2 628	2 251	1 105	124 883	148	113 022	1 206	8,15
Strasbourg	Cite de l'III Ouest	2 587	2 587	1 269	122 896	100	96 810	1 187	11,87
Strasbourg	Cite de l'III Est	2 028	1 938	951	96 378	165	101 340	931	5,64
Strasbourg	Plaine des Bouchers Ouest	1 602	999	490	76 096	352	155 142	735	2,09
Strasbourg	Plaine des Bouchers Est	2 147	2 145	1 053	102 006	494	96 901	985	1,99
Strasbourg	Plaine des Bouchers Centre	1 555	1 555	763	73 870	310	96 810	714	2,30
Strasbourg	Canardiere Ouest Ouest	4 084	3 989	1 958	194 033	258	99 116	1 875	7,27
Strasbourg	Canardiere Ouest Est	2 189	2 189	1 075	104 023	121	96 810	1 005	8,31
Strasbourg	Canardiere Est Est	3 051	3 051	1 498	144 982	88	96 810	1 401	15,92
Strasbourg	Canardiere Est Sud	1 799	1 799	883	85 457	148	96 810	826	5,58
Strasbourg	Polygone Est	1 335	1 335	655	63 421	218	96 810	613	2,81
Strasbourg	Polygone Sud	2 376	2 371	1 164	112 883	84	97 015	1 091	12,98
Strasbourg	Polygone Ouest	2 854	2 755	1 352	135 614	104	100 301	1 310	12,60
Strasbourg	Stockfeld Est	2 288	2 288	1 123	108 693	579	96 810	1 050	1,81
Strasbourg	Stockfeld Ouest	2 304	1 883	924	109 464	543	118 459	1 058	1,95
Strasbourg	Stockfeld Nord	3 213	3 057	1 500	152 662	417	101 766	1 475	3,54

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Libellé commune	Libellé de l'IRIS	Population en 2008 (princ)	Pop ménages en 2008 (princ)	Ménages	Volume (m³/j/iris)	Adresses	l/j/Ménages	nb virtuel abonnés/iris	Ménage/adresse
SUD-EST									
Strasbourg	Neudorf Ouest Sud-Est	1 960	1 960	962	121 466	201	126 283	926	4,6
Strasbourg	Neudorf Ouest Centre-Est	2 084	2 059	1 010	129 145	174	127 816	984	5,7
Strasbourg	Neudorf Ouest Sud	2 005	1 965	965	124 295	229	128 853	947	4,1
Strasbourg	Neudorf Ouest Centre-Ouest	1 942	1 942	953	120 370	305	126 283	917	3,0
Strasbourg	Neudorf Ouest Nord-Ouest	64	64	31	3 939	36	126 283	30	0,8
Strasbourg	Neudorf Ouest Centre	2 477	2 477	1 216	153 509	231	126 283	1 170	5,1
Strasbourg	Neudorf Ouest Nord Est	1 115	1 108	544	69 088	139	127 081	527	3,8
Strasbourg	Neudorf Est Sud	2 615	2 327	1 142	162 050	87	141 894	1 235	14,2
Strasbourg	Neudorf Est Centre Est	2 431	1 992	978	150 678	110	154 121	1 148	10,4
Strasbourg	Neudorf Est Centre	2 378	2 378	1 167	147 352	165	126 283	1 123	6,8
Strasbourg	Neudorf Est Centre Ouest	2 855	2 838	1 393	176 937	271	127 054	1 348	5,0
Strasbourg	Neudorf Est Nord	-	-	-	-	21		-	0,0
Strasbourg	Neudorf Sud Sud	2 418	2 394	1 175	149 835	381	127 542	1 142	3,0
Strasbourg	Neudorf Sud Sud Est	2 352	2 346	1 151	145 801	129	126 622	1 111	8,6
Strasbourg	Neudorf Sud Centre Est	1 869	1 869	917	115 843	189	126 283	883	4,7
Strasbourg	Neudorf Sud Nord	1 983	1 983	973	122 884	193	126 283	936	4,9
Strasbourg	Neudorf Sud Centre	1 931	1 910	937	119 681	200	127 671	912	4,6
Strasbourg	Neudorf Sud Centre Ouest	1 976	1 895	930	122 436	170	131 659	933	5,5
Strasbourg	Neudorf Sud Sud Ouest	2 191	2 138	1 049	135 810	166	129 413	1 035	6,2
Strasbourg	Neuhof Nord	2 722	2 722	1 336	168 730	142	126 283	1 286	9,1
Strasbourg	Neuhof Sud	1 920	1 843	905	119 018	348	131 558	907	2,6

Modélisation hydraulique du réseau d'alimentation de la Communauté urbaine de Strasbourg

Strasbourg	Port du Rhin Centre Ouest	2 781	2 592	1 272	172 380	279	135 507	1 314	4,7
Strasbourg	Port du Rhin Centre Est	1 325	1 325	650	82 142	98	126 283	626	6,4
Strasbourg	Port du Rhin Nord	110	68	33	6 833	62	203 999	52	0,8
Strasbourg	Port du Rhin Centre	9	9	4	550	26	126 283	4	0,2
Strasbourg	Port du Rhin Sud Ouest	85	85	42	5 259	54	126 283	40	0,7
Strasbourg	Port du Rhin Sud	425	3	2	26 350	118		201	1,7

Annexe 12: Grpahes des débits

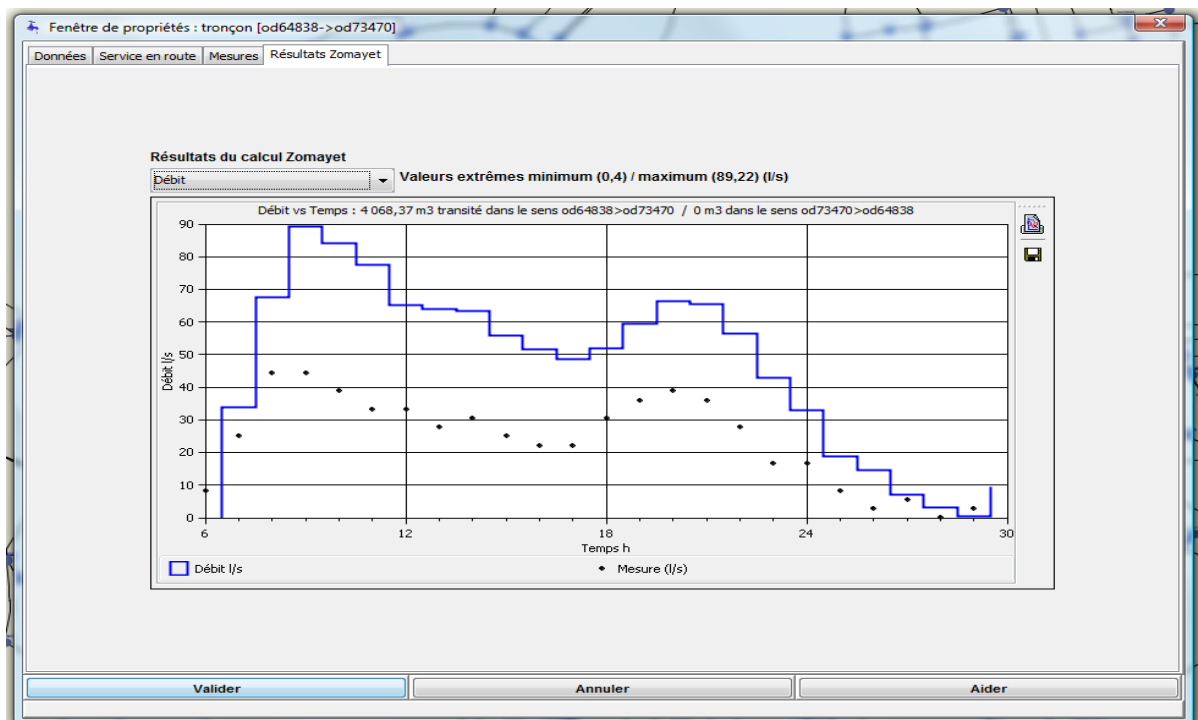


Figure 39: Débit mesuré et simulé au niveau du débitmètre situé au Stade Romens

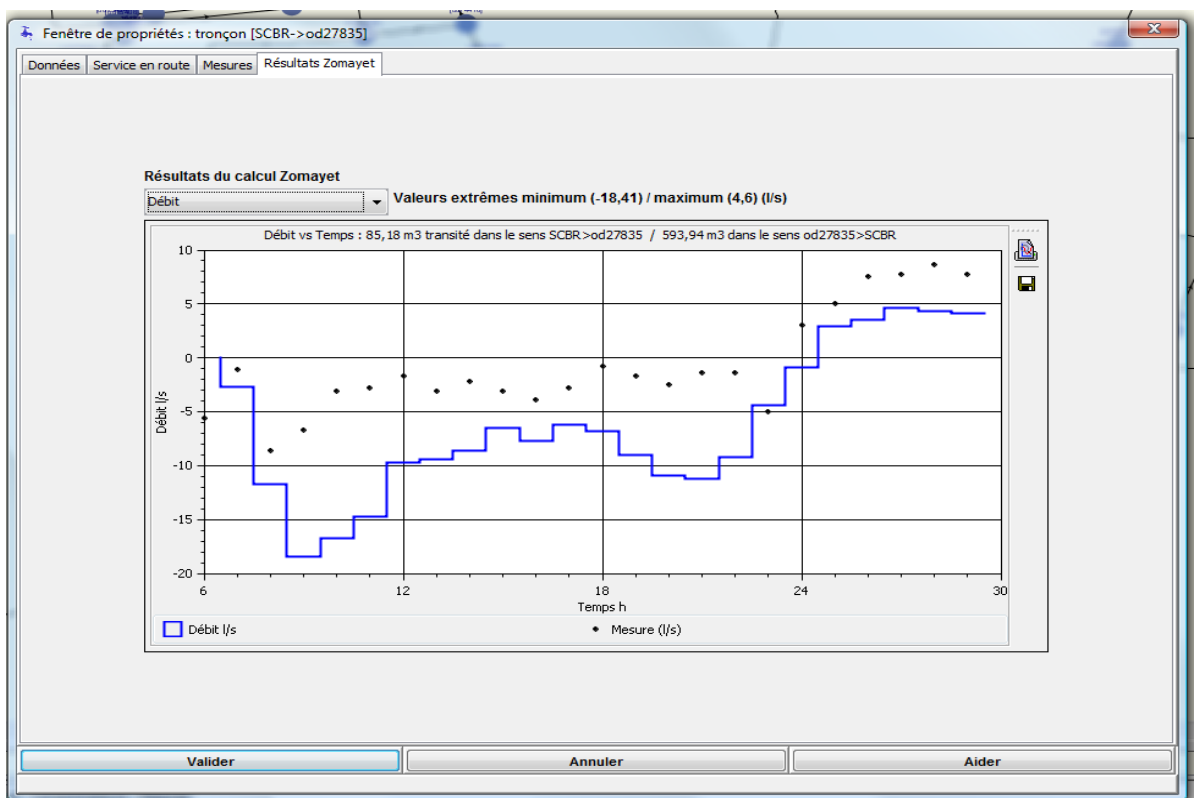


Figure 40: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé au Chemin des 2 ponts

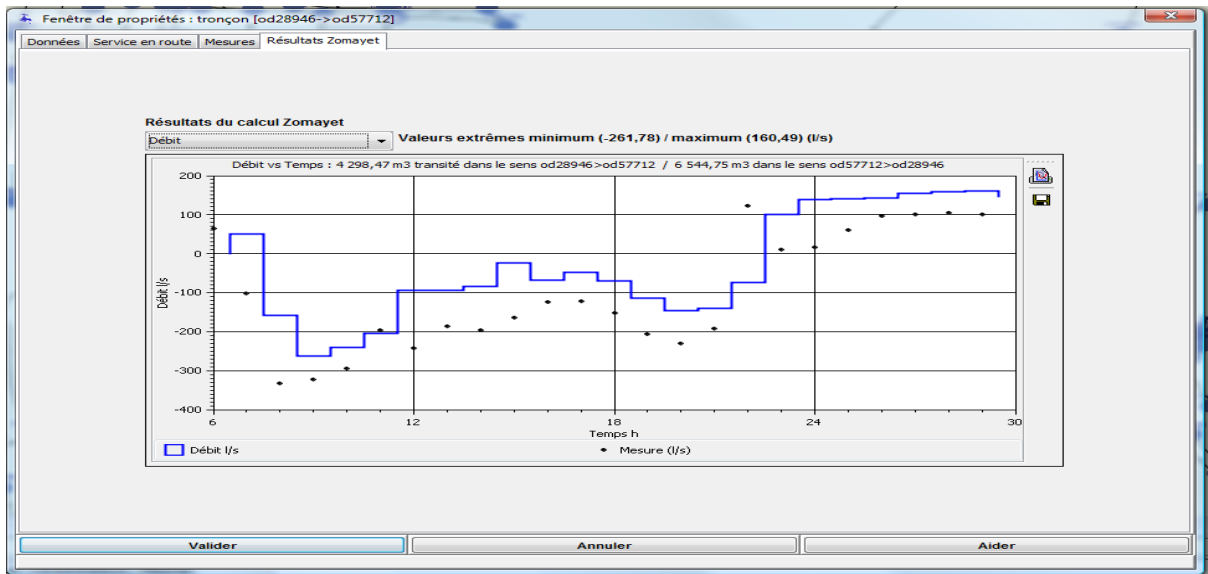


Figure 41: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue Wodli

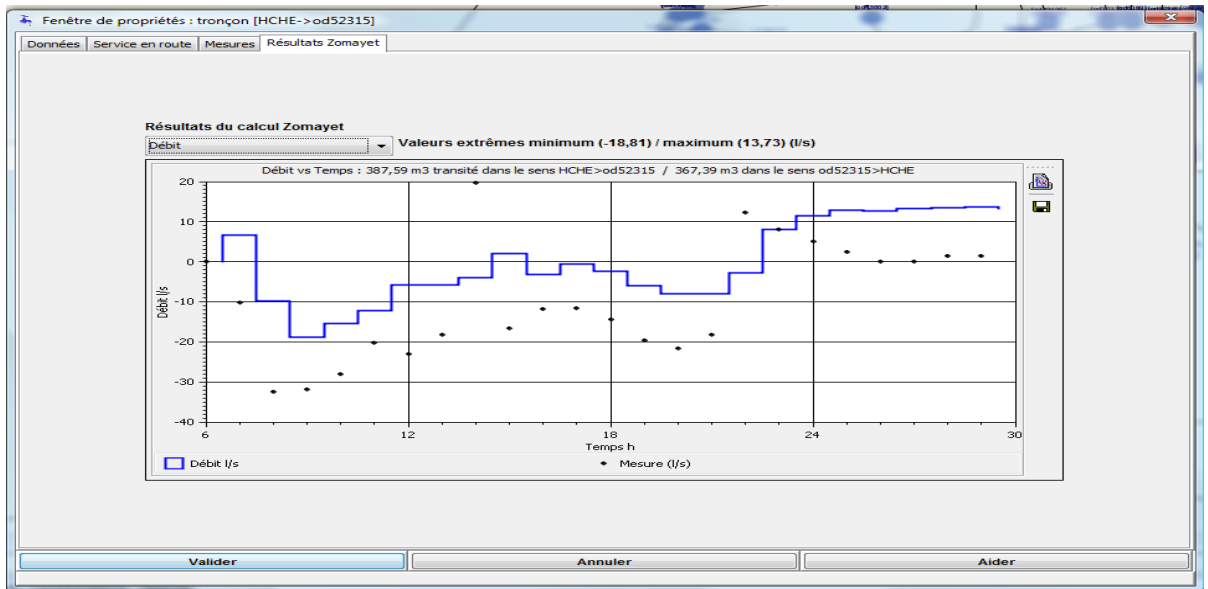


Figure 42: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé sur la Route de Schirmeck

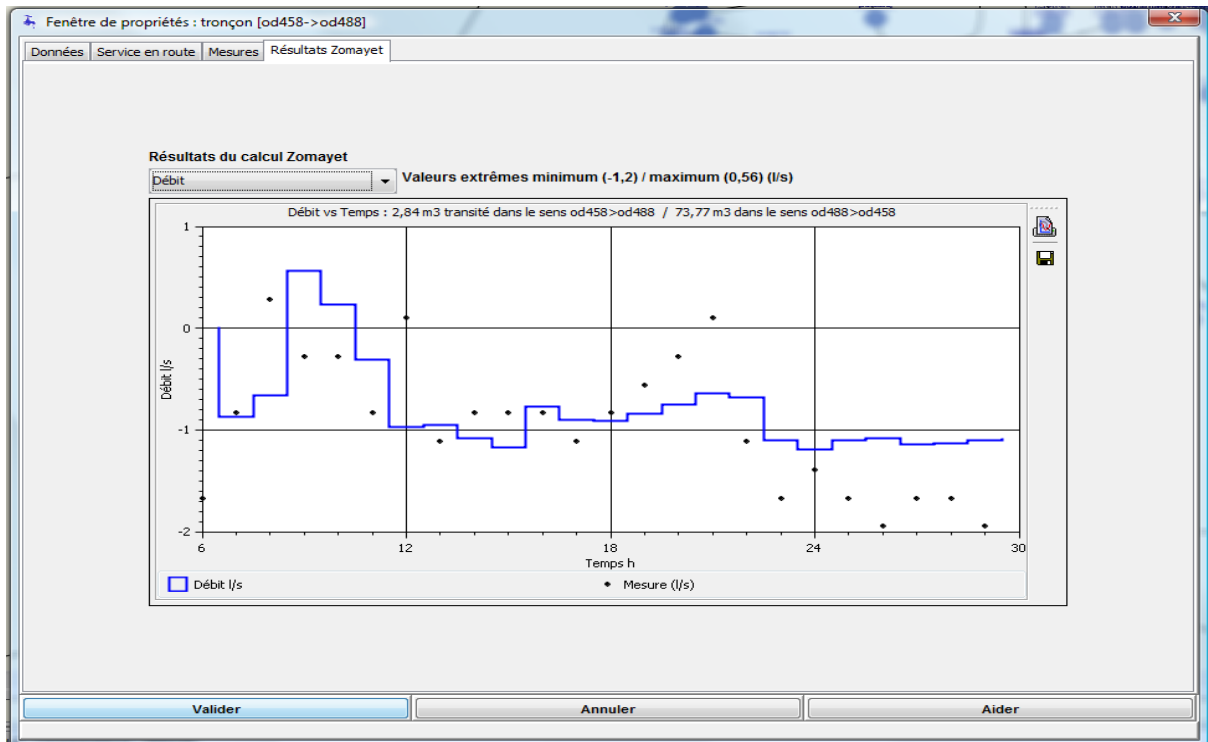


Figure 43: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé au niveau de la Rue de l'Abbé Lemire

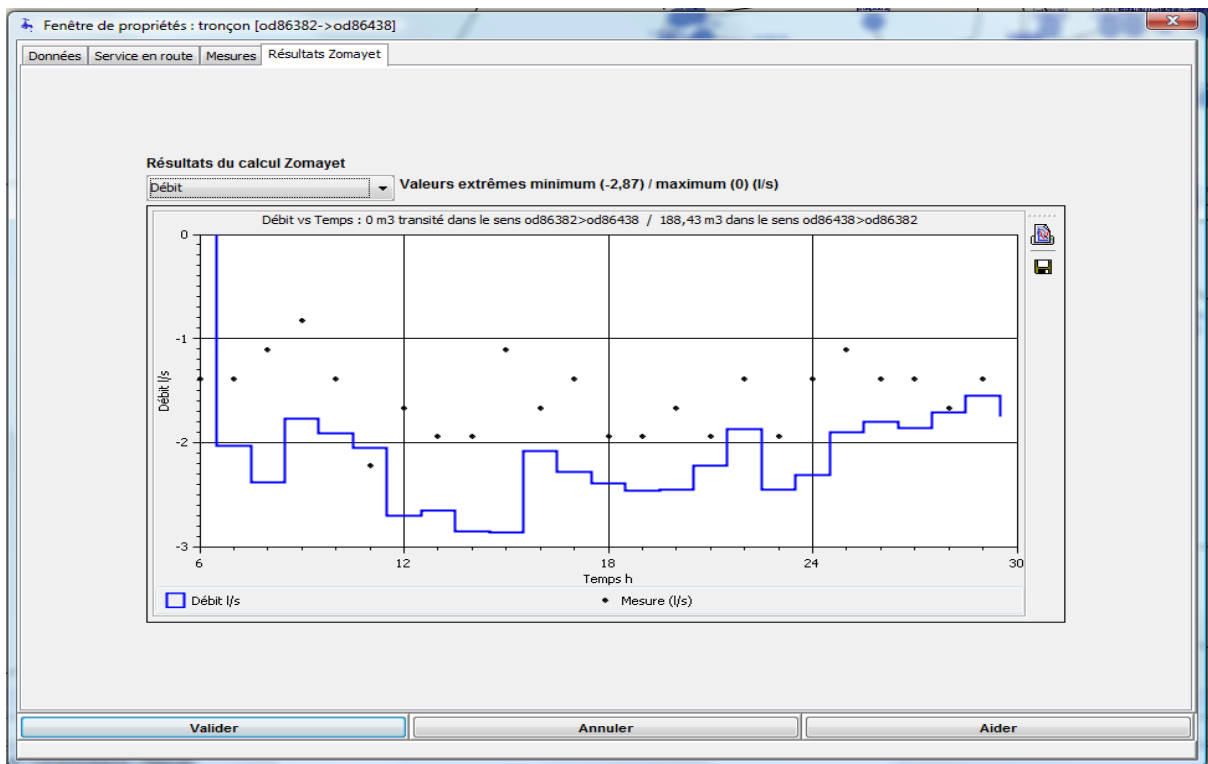


Figure 44: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé au niveau de la Rue du Schnokeloch

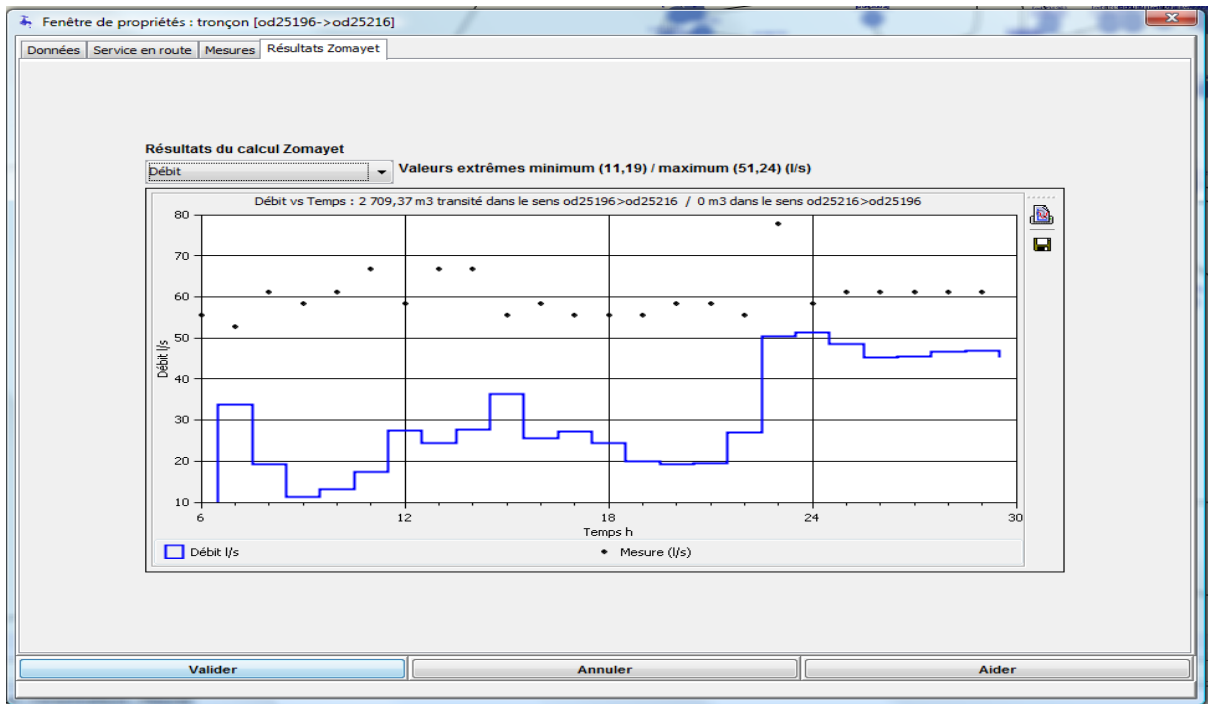


Figure 45: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue de l'Hôpital

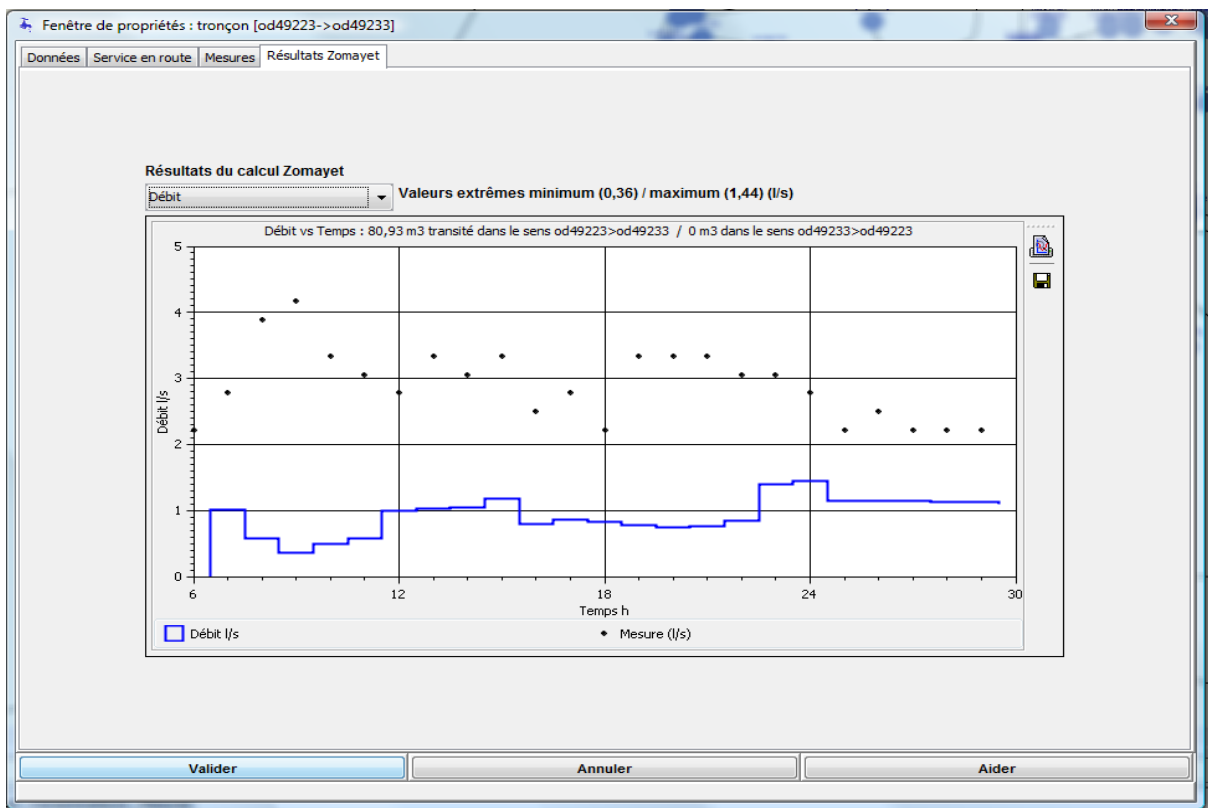


Figure 46: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Place de l'Etoile 150

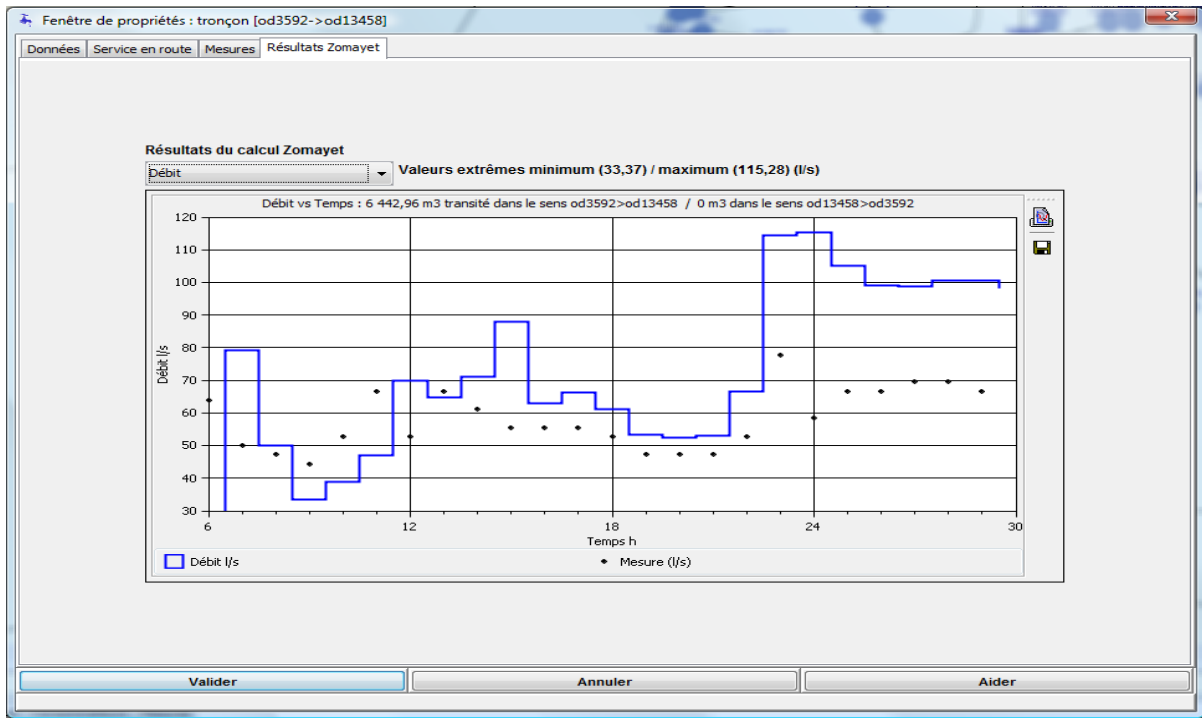


Figure 47: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Place de l'Etoile 600

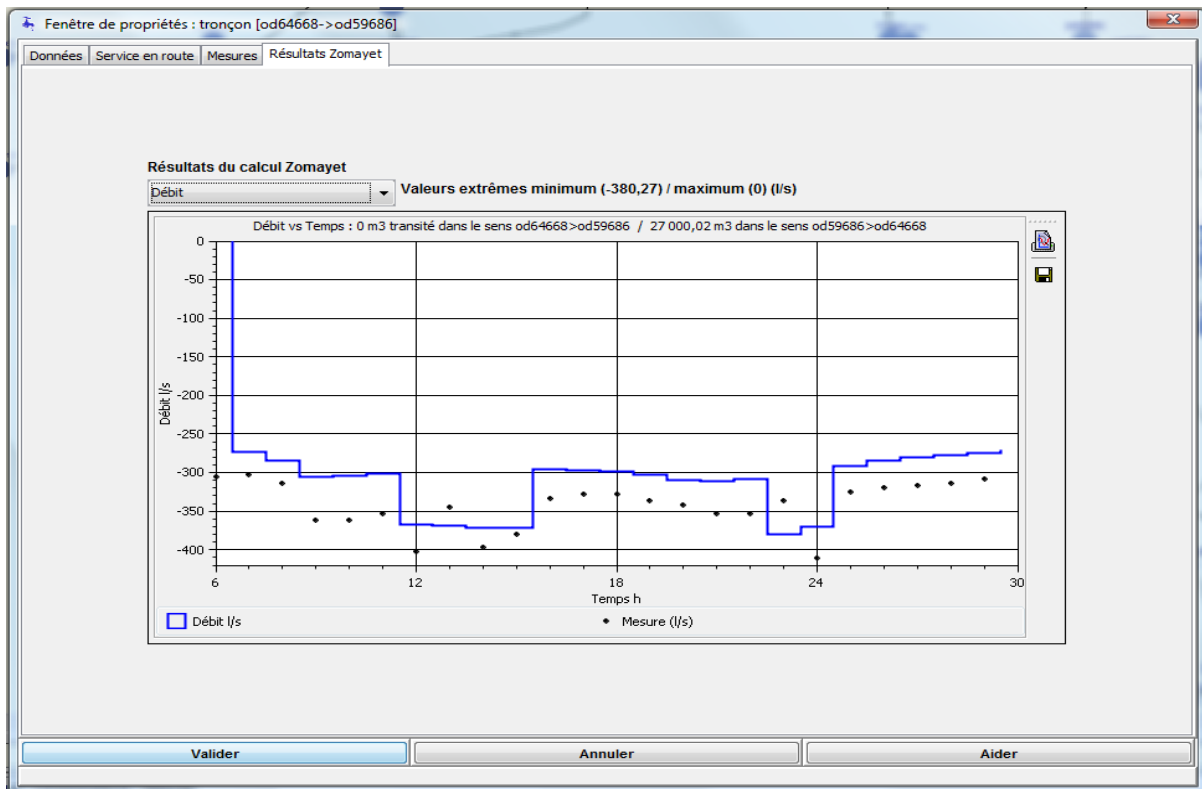


Figure 48: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue de Nantes

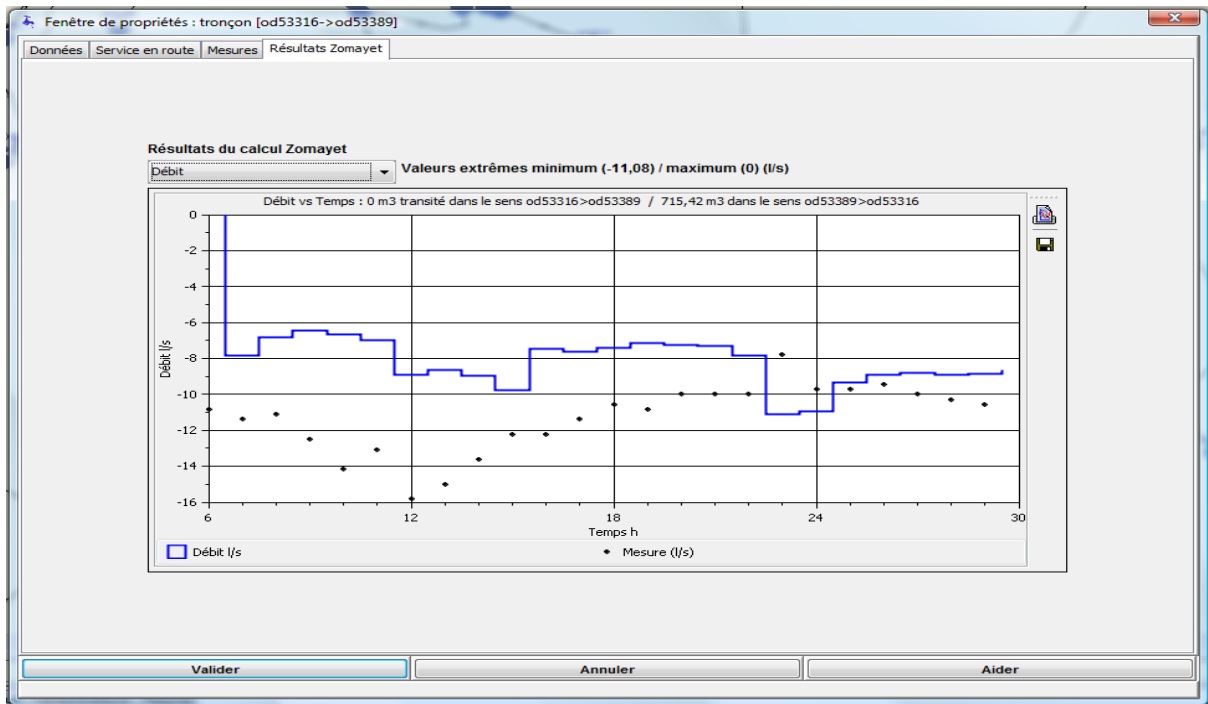


Figure 49: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue du Petit Rhin

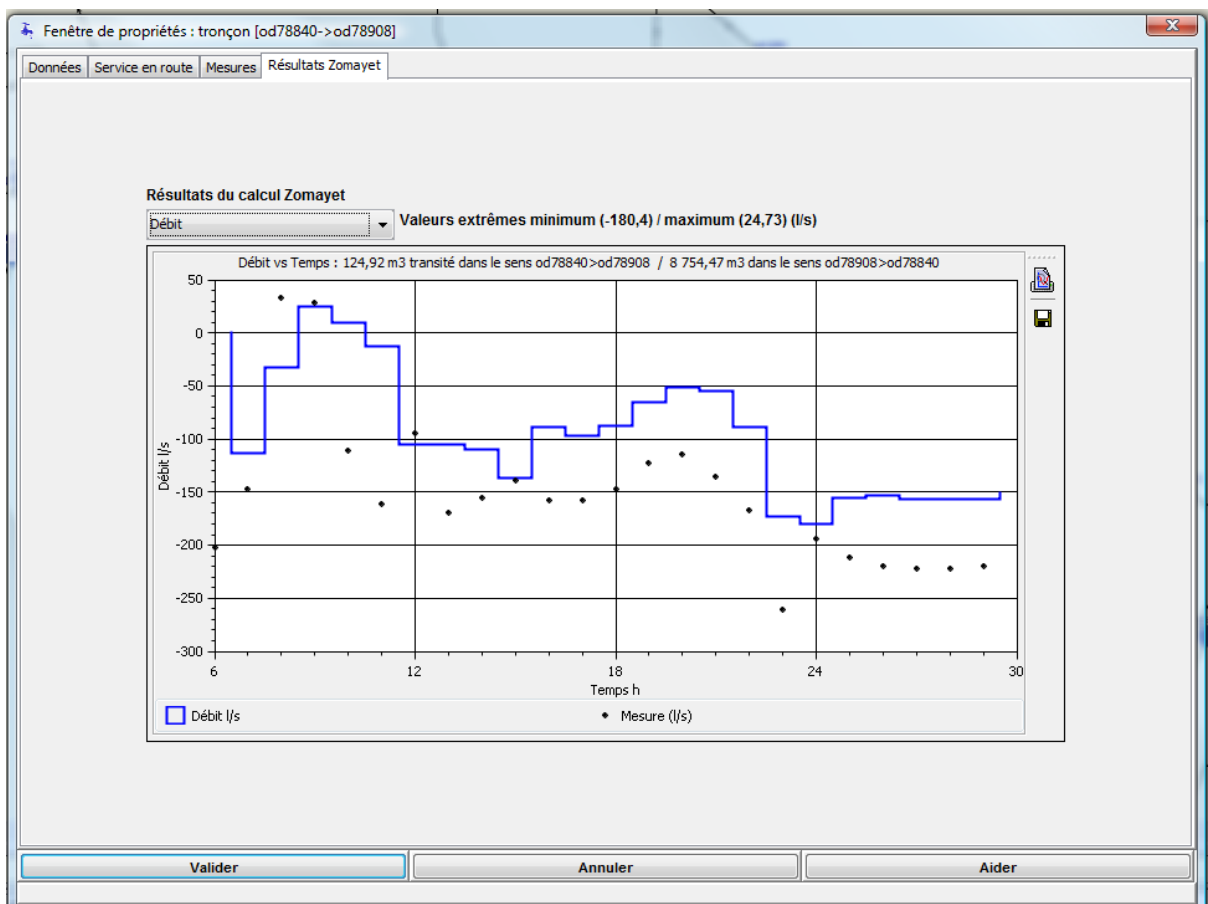


Figure 50: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue de Bartholdi

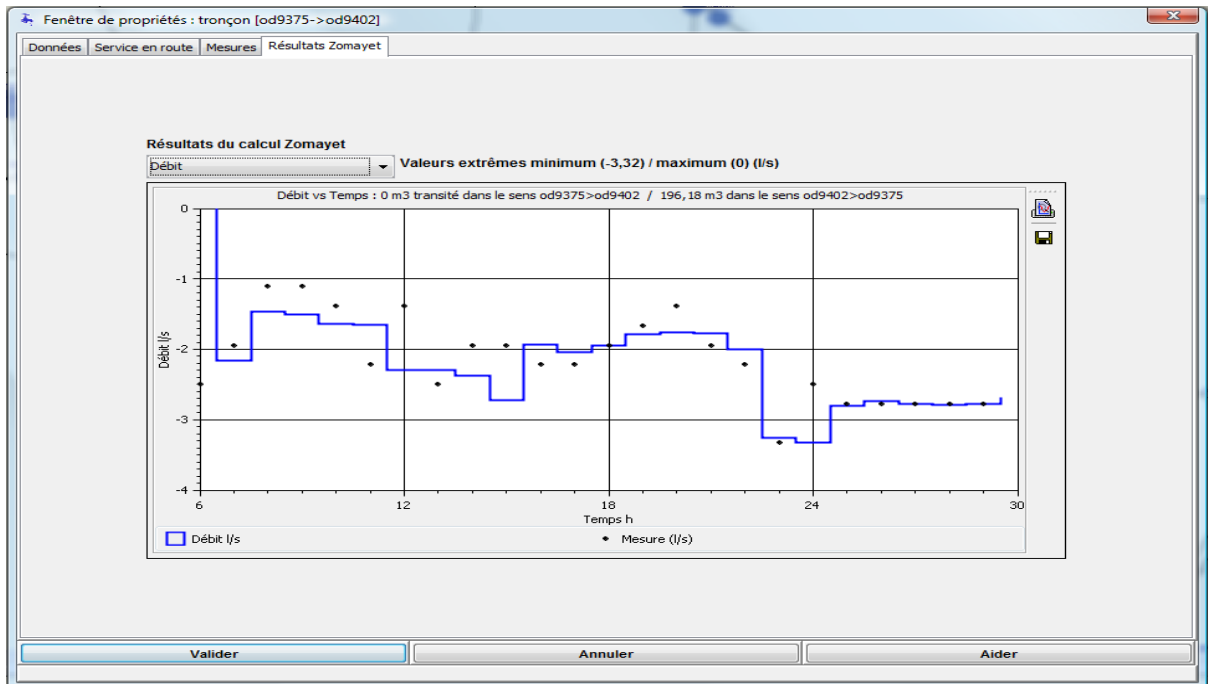


Figure 51: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue de l'Unterelsau

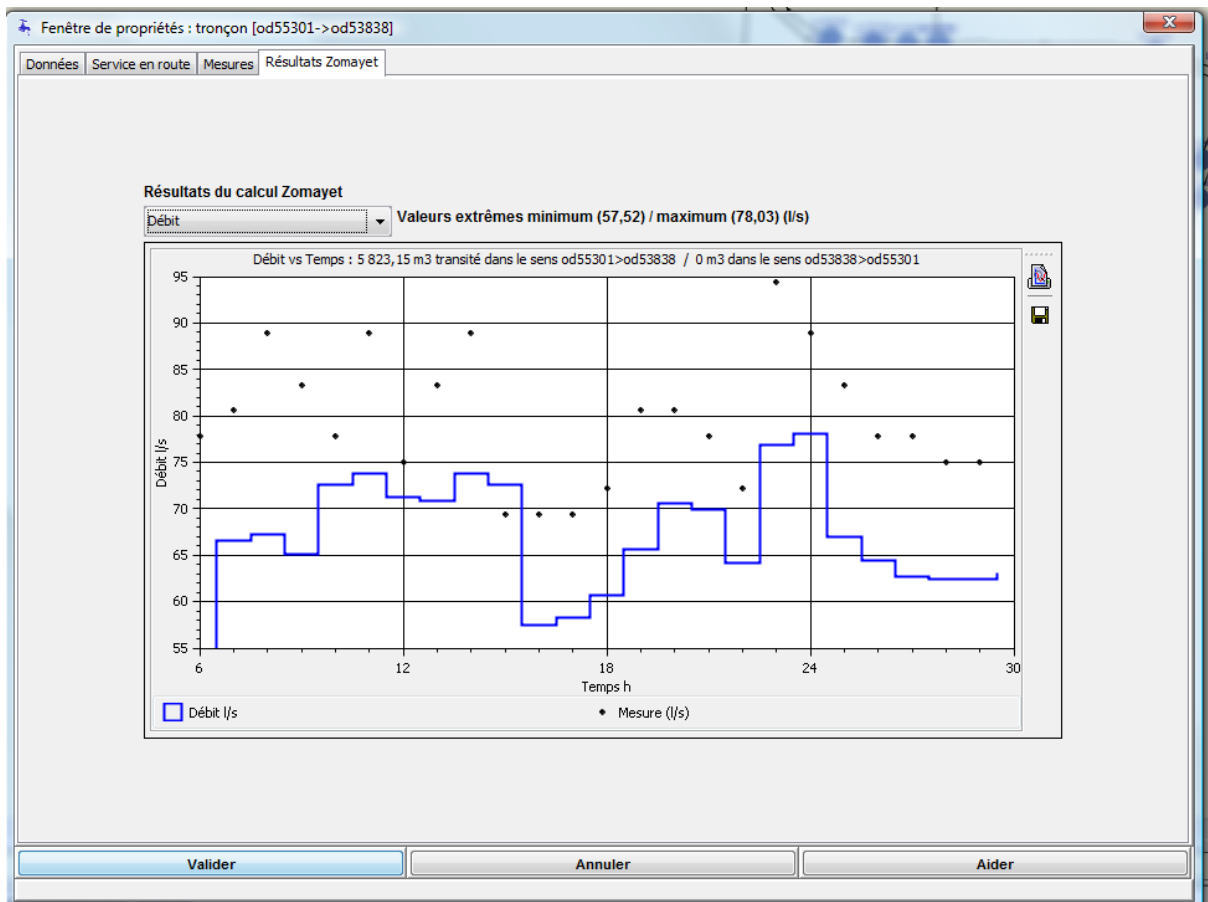


Figure 52: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue du Général Homps

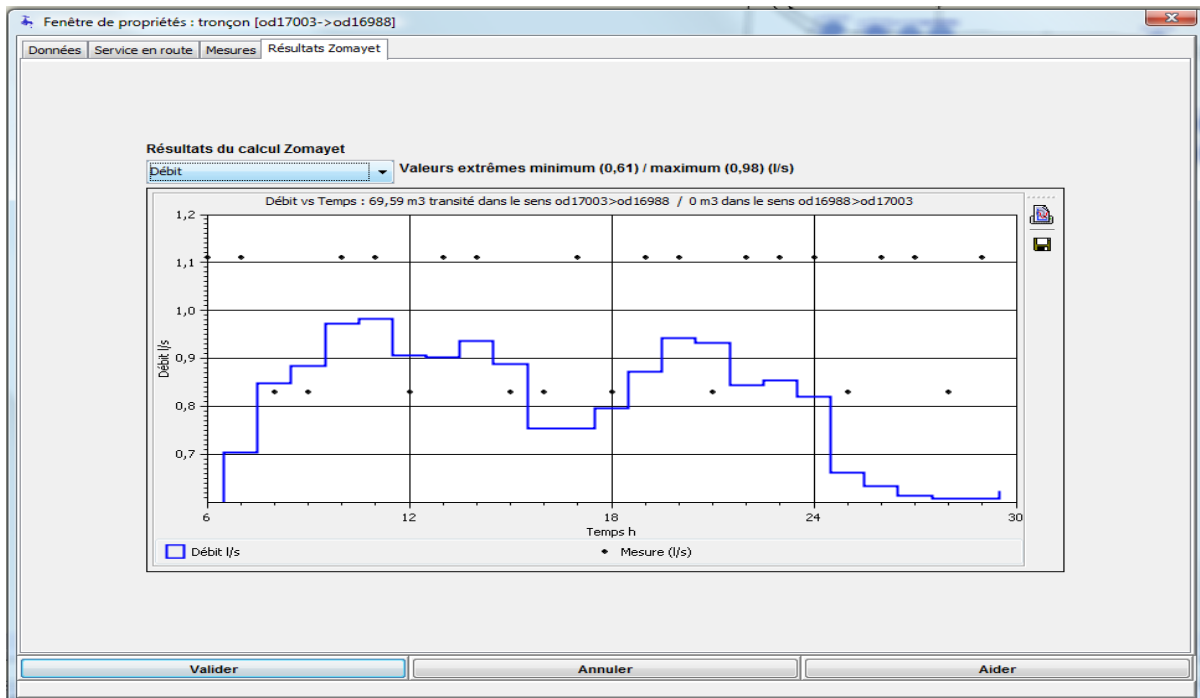


Figure 53: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à la Rue de la Plaine

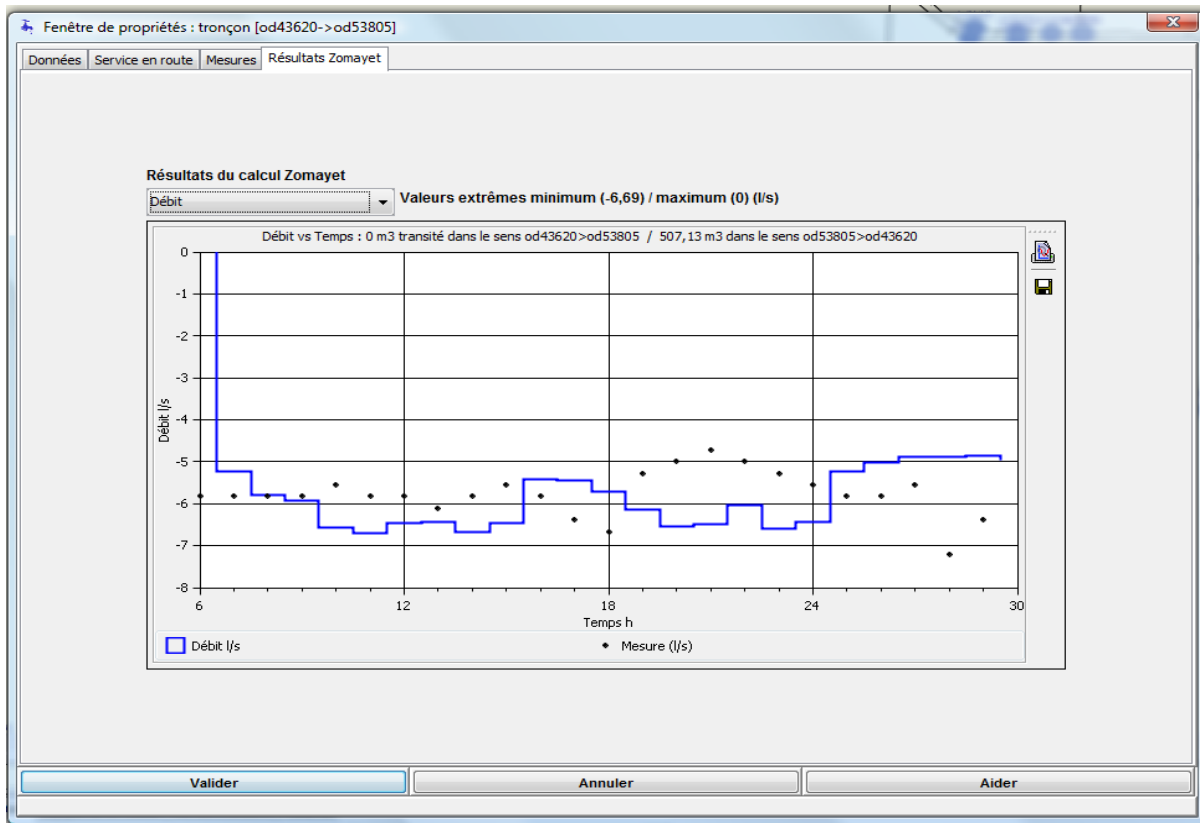


Figure 54: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé à l'Avenue de Strasbourg

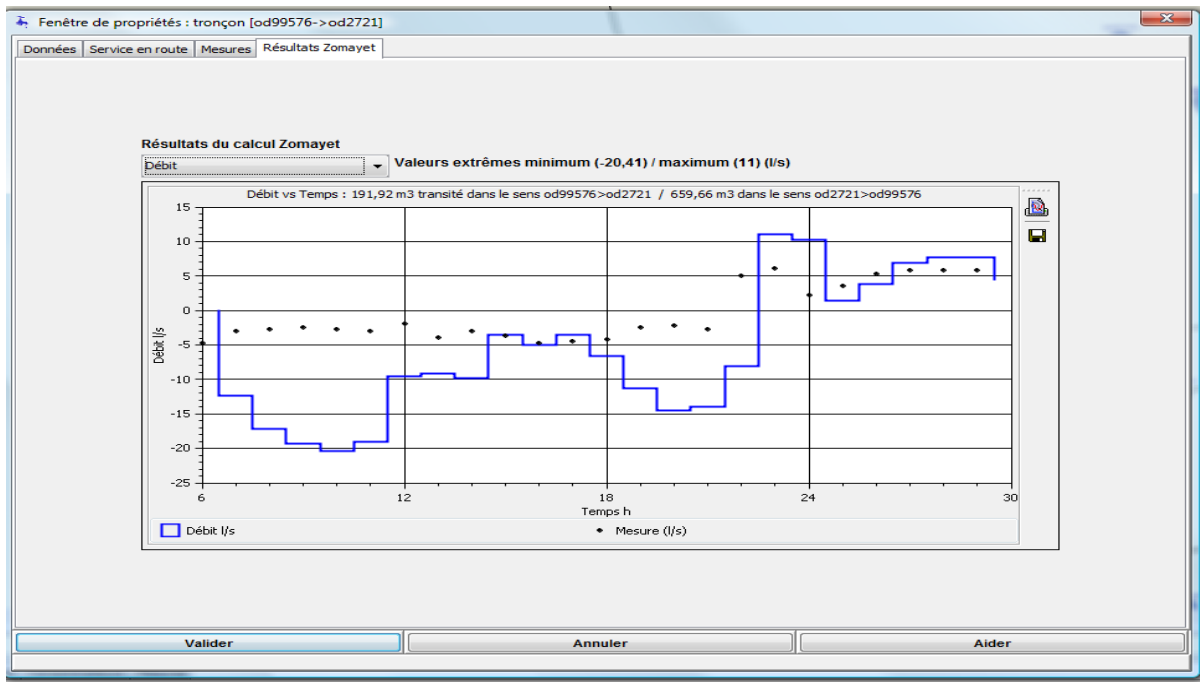


Figure 55: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé sur le Chemin de Ruthweg

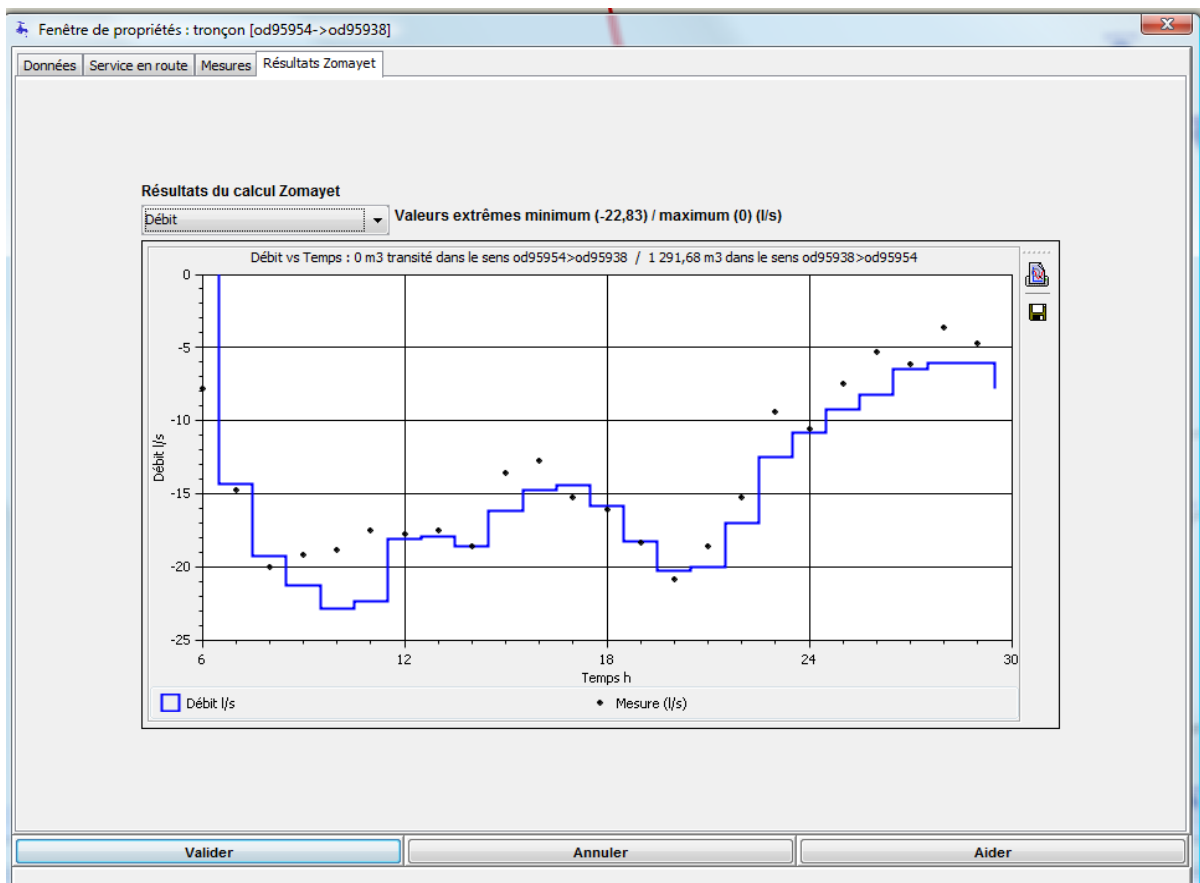


Figure 56: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé sur la Route de Lingolsheim

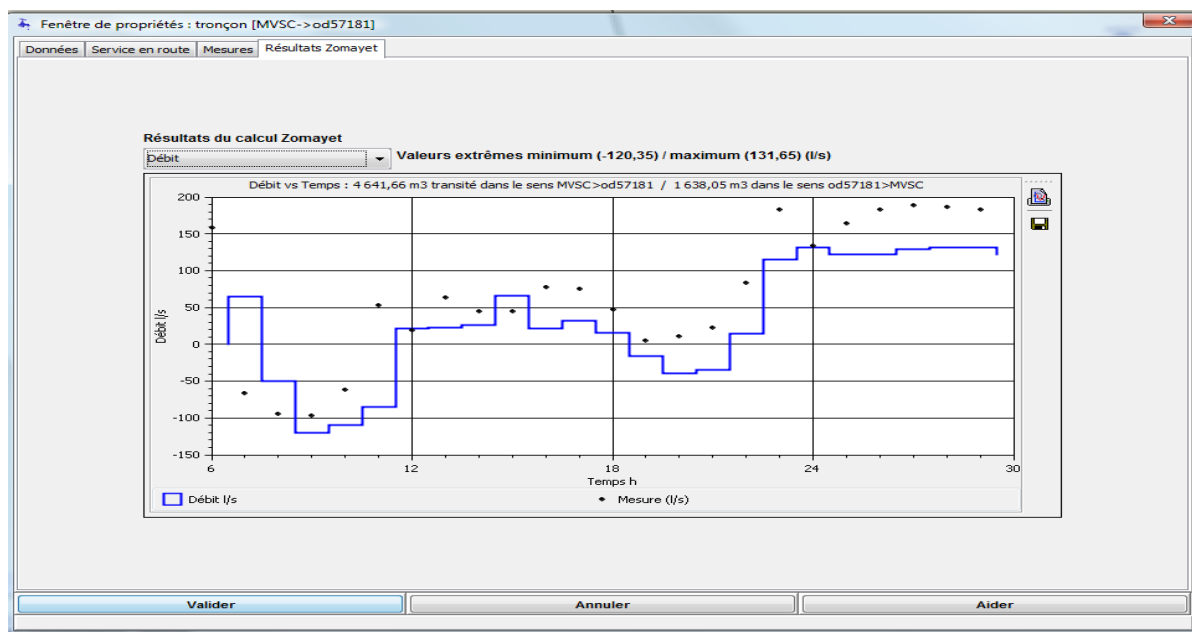


Figure 57: Débit simulé et mesuré au niveau du débitmètre situé sur le Canal de la Bruche



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Diplôme : Mastère Spécialisé

Spécialité : Eau Potable et Assainissement

Auteur :

Assimi DEMBELE

**Année
2012**

Titre :

**MODÉLISATION HYDRAULIQUE DU RÉSEAU D'ALIMENTATION DE LA
COMMUNAUTE URBAINE DE STRASBOURG**

Nombre de pages : 119

Texte : 61

Annexes : 58

Nombre de références bibliographiques : 17

Structure d'accueil :

**Service de l'eau
11 Quai Fustel de Coulanges 67000 Strasbourg**

Maître de stage :

M. WEBER Jean – Marc, Ingénieur

Résumé :

Le nouveau modèle a été mis point à partir du Porteau et du SIG. Il va servir à concevoir une « boîte à outils » pour la sécurisation du réseau en temps réel.

Les différentes modélisations réalisées ont montré une bonne cohérence du modèle avec le réseau réel.

Pour le suivi et la mise à jour du modèle, la fréquence a été définie ainsi que les acteurs chargés de le mettre à jour. En vue de faciliter sa mise à jour deux tableaux de bord ont été élaborés.

Mots-clés : Logiciel Porteau - SIG- boîte à outils-sécurisation-gros consommateur-fréquence-tableau de bord-mise à jour