



ies
a

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté pour obtenir le titre de :

Licence en Sciences et Techniques

Eau et Environnement

Intitulé :

Modélisation numérique du réseau Feeder d'eau potable de la ville de Marrakech par logiciel piccolo

Réalisé par :

- Soufiane BECHNATI
- Said ELGHOULAM

Encadré par :

Ali BACHNOU
Abdessatar AABID

Soutenu le 20 Février 2013 devant le jury composé de :

Mr Ali BACHNOU : Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech
Mr Mohammed RAIBI : Ingénieur d'étude au sein de la RADEEMA,
Mme Khadija ELHARIRI : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech
Mr Mohammed JAFAL : Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech

DEDICACES

Pour nous avoir permis d'être ce que nous sommes devenus aujourd'hui, nous voudrions remercier ALLAH.

Et nous dédions ce mémoire,

A nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous espérons qu'ils trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour.

A nos chères sœurs,

A nos beaux frères,

A tous ceux qui représentent beaucoup pour nous et qui nous aiment très fort,

A nos meilleurs amis : Ali, Ismail, Mounir, Omar, Rim, Saïd,

Aux employés de la société RADEEMA,

REMERCIEMENTS

Au terme de ce projet, fruit de nos années d'études, nous tenons à remercier sincèrement *Allah*, de nous avoir octroyé les moyens et les personnes qui nous ont aidé dans son élaboration, ainsi que ceux qui ont bien voulu l'évaluer

Nous tenons à remercier chaleureusement, notre encadrant *Mr. Abbid Abdessatar* pour sa disponibilité, ses conseils, sa patience et sa confiance.

Nous remercions tout particulièrement à *Mr. Bachnou Ali* Professeur à la Faculté des Sciences et technique de Marrakech pour avoir accepté être parmi les jurys.

Nous vifs remercions tout particulièrement aux Ingénieurs d'études *Mr. Raïbi Mohammed* et *Mr. Ait hacha Taha* pour leurs soutiens, leurs conseils.

Nous tenons à remercier particulièrement *Mr. Fathi Khalid* Ingénieur conseil, pour nous avoir guidé, conseillé, Et aussi pour nous avoir consacré beaucoup de temps pendant toute la durée de notre stage.

Un grand Merci pour *Ms Youness Lehbabi*, chef de département « Exploitation », pour nous avoir conseillé, et aussi pour nous faciliter l'accès aux documentations mise à disposition.

Nous Remercions nos Enseignants et tous les personnels de la RADEEMA pour leurs contributions à notre formation.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX.....	6
LISTE DES ABREVIATION	7
RESUME	8
INTRODUCTION GENERALE.....	9
PROBLEMATIQUE.....	11
PARTIE I : GENERALITE.....	12
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RADEEMA	12
1. Présentation de l'organisme R.A.D.E .E .MA.....	12
2. Domaines d'activité de la R.A.D.E.E.MA	12
3. Chiffres clés.....	13
4. Les objectifs stratégiques de la régie.....	13
5. Organigramme.....	14
CHAPITRE II : AIRE D'ETUDE	15
I. Données générales sur la ville de Marrakech.....	15
1 Emplacement du projet.....	15
2 Aire de l'étude.....	16
2.1 Evolution passée de la population de Marrakech	16
3 Milieu physique.....	18
3.1 Relief et topographie	18
3.2 Hydrologie.....	18
3.3 Hydrogéologie	18
Chapitre III : LE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE DE LA VILLE DE MARRAKECH	19
I. Les ressources en eau potable.....	19
1. Les ressources en eau de surface.....	19
1.1 Les ressource en eau du canal de Rocade.....	19
1.2 Les ressources de secours.....	19
1.3 Les ressources souterraines.....	19
II. Description du système de stockage.....	20
1 Réservoirs de stockage existants.....	20
1.1 Réservoir 50 000 m3 de Sidi Moussa.....	20
1.2 Réservoir 55 000 m3 de la route d'Ourika.....	21
1.3 Réservoirs de stockage projeté.....	21
III. Caractéristiques de Réseau de distribution.....	21
1. Linéaire du réseau et nature des conduites.....	21
2. Nature des conduites.....	21
3. Diamètre des conduites	22
4. Age du réseau.....	22
PARTIE II : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUE.....	23
CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA MODELISATION.....	23
1 généralité.....	23
1.1 Introduction	23
1.2 But de la modélisation.....	23
1.3 Les modèles.....	23
1.4 Les problèmes à résoudre.....	24
2 Construction du modèle.....	24
2.1 Les campagnes de mesures.....	25
2.1.1 Les objectifs.....	25

2.1.2 La méthodologie.....	25
2.1.2.1 Les mesures de débit.....	26
2.1.2.2 Les mesures de niveau.....	26
2.1.2.3 Les mesures de pression	26
3 le calage du modèle.....	26
3.1 Objectif.....	26
3.2 La méthode de calage.....	26
3.3 Le calage statique.....	26
3.4 Le calage dynamique.....	27
3.5 Les paramètres de calages.....	27
3.6 La Validation	27
CHAPITRE II : PRESENTATION DU LOGICIEL.....	28
I. GENERALITES.....	28
1 Typologie de réseau.....	28
2 Composantes physiques d'un système d'eau potable.....	28
2.1 Nœuds de demande.....	29
2.2 Réservoirs.....	30
2.3 Tuyaux.....	30
3 Présentation de logiciel.....	31
3.1 Généralités	31
3.2 Définition	32
3.3 Capacités.....	32
3.4 Les étapes d'utilisation de piccolo.....	33
3.5 Principes de modélisation	34
3.6 Variables du modèle.....	34
3.7 Principes hydrauliques régissant les calculs du logiciel.....	34
3.7.1) Les lois de base du calcul.....	34
3.8 Les entrées et les sorties de logiciel piccolo.....	37
PARTIE III : Résultats ET DISCUSSION	39
CHAPITRE I : PREPARATION ET SAISIE LES DONNEES DU MODELE	39
1. La modélisation du réseau.....	39
1.1 Détermination de l'ossature du réseau à modéliser.....	39
1.2 Préparation du modèle mathématique de réseau.....	40
1.2.1 Conception du modèle.....	40
1.2.2 Saisie du réseau dans PICCOLO.....	43
1.3 Actualisation du réseau.....	44
1.4 Affectation de la consommation.....	47
1.5 Affectation des débits aux nœuds.....	47
2. La distribution des pressions sur le réseau feeder.....	49
3. Campagne de mesures hydrauliques.....	53
3.1 Appareils de mesures.....	53
3.2 Présentation de la campagne de mesure.....	53
3.2.1 Mesures de débit et pression de l'étage HS.....	55
3.2.2 Mesures de débit et pression de l'étage BS.....	56
CHAPITRE II : CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE.....	57
Introduction.....	57
1 Critères et principes de calage.....	57
2 Calage du modèle de l'étage haut service.....	58
2.1 Calage des débits de l'étage haut service	58
2.2 Calage des pressions de l'étage haut service	60
3 Calage du modèle de l'étage bas service.....	64

3.1 Calage des débits de l'étage bas service	64
3.2 Calage des pressions de l'étage bas service	67
RECOMMANDATION.....	68
CONCLUSION.....	69
BIBLIOGRAPHI.....	70
LISTE DES ANNEX.....	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Situation de la ville de Marrakech.....	15
Figure 2	Délimitation des communes de Marrakech.....	17
Figure 3	Composants Physiques d'un Système de Distribution d'Eau potable.....	29
Figure 4	Schéma synoptique de situation des étages de distribution et de leurs secteurs.....	41
Figure 5	Model existant du réseau de la ville de Marrakech	44
Figure 6	Model du réseau de la ville de Marrakech avant et après l'actualisation	46
Figure 7	La distribustion du pression sur les nœuds du réseau Feeder.....	50
Figure 8	Localisation des étages de distribution.....	51
Figure 9	Les points de Mesure de débit	54
Figure 10	Calage du débit des conduites principales DN 800 à la sortie du réservoir de l'étage haut service.....	59
Figure 11	Calage du débit du reste des conduites principales de l'étage haut service SB et MS et MH.....	60
Figure 12	Calage des charges (pressions) du secteur haut service non stabilisé.....	61
Figure 13	Calage des charges (pressions) du secteur SYBA (HS) ; Manomètres HM 3 et HM 7.....	62
Figure 14	Calage des charges (pressions) du secteur SYBA (HS) ; Manomètre HM 16.....	63
Figure 15	Calage des charges (pression) du secteur SYBA(HS) ; Manomètre HM 17	63
Figure 16	Calage du débit de la conduite DN 600 de l'étage bas service SB	65
Figure 17	: La variation de la vitesse d'écoulement en fonction des secteurs étudiés.....	66
Figure 18	Calage des charges (pressions) du secteur ; Manomètres BM 10 et BM 11 et BM5.....	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Les coefficients d'écoulement d'Hazen-Williams en fonction des différents matériaux.....	35
Tableaux 2	: La hauteur d'aspérité équivalente en fonction des différents matériaux de conduite.....	36
Tableau 3	: les entrées et les sorties de piccolo.....	37
Tableau 4	Numérotation des nœuds et codes consommation des secteurs.....	42
Tableau 5	Actualisation de liniéair du réseau.....	46
Tableau 6	Actualisation des consommations du réseau	47
Tableau 7	Gros consommateurs et consommateurs diffus.....	48
Tableau 8	Etages de distribution.....	52
Tableau 9	Les point de mesure dans les deux étages	53
Tableau 10	Caractéristiques des courbes des débits de l'étage HS.....	55
Tableau 11	Caractéristiques des courbes de pression de l'étage HS.....	55
Tableau 12	Caractéristiques des vitesses d'écoulement de l'étage HS.....	56
Tableau 13	caractéristiques des courbes des débits de l'étage BS.....	56
Tableau 14	caractéristiques des courbes de pression de l'étage BS.....	56
Tableau 15	Caractéristiques des vitesses d'écoulement de l'étage BS.....	56
Tableau 16	Consommations nominales et mesurées par secteur Haut Service.....	58
Tableau 17	: Consommations nominales et mesurées par secteur Bas Service.....	64

LISTE DES ABREVIATIONS

AC : Amiante Ciment

AEP : Alimentation en Eau Potable

AU : Agence Urbaine

BP : Besoins de pointe

BI : Bouche d'incendie

BS : Bas Service

Cpj : Coefficient de pointe journalière

Cph : Coefficient de pointe horaire

CR : cote radié

DN : Diamètre Nominal

Hab. : Habitant

HS : Haut Service

MCD : modèle de compilation de données

NGM : Nivellement Général du Maroc

ONEP : Office National de l'Eau Potable

ORMVAH : Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz

PA : Plan d'Aménagement

PVC : Polychlorure de Vinyle

Pi : Poteau d'incendier

R.A.D.E.E.MA. : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de la ville de Marrakech

SEM : Société d'Electricité de Marrakech

SMD : société marocaine de distribution

SYBA: Sidi Youssef Ben Ali

TN : terrain naturel

TP : Trop plein

FG : fonte grise

Résumé



Le travail présenté dans ce mémoire de fin d'études de la licence « Eau et environnement » concerne la modélisation du réseau Feeder de distribution d'eau potable de la ville de Marrakech par le logiciel PICCOLO.

Dans ce travail, un modèle mathématique du réseau d'eau potable de la ville de Marrakech a été mis en point pour simuler d'une façon simple et rapide et avec une précision acceptable le fonctionnement hydraulique du réseau en vue de déterminer les dysfonctionnements constatés et de tester les solutions proposées avant leur mise en œuvre.

Le modèle établi permet aussi de simuler tout incident majeur sur le réseau et aide à estimer les besoins en renforcement et en extension en termes d'infrastructures.

Mots clés : modélisation, PICCOLO, réseau de distribution d'eau potable.

Introduction générale

La ville de Marrakech comme pour les autres villes du Maroc qui connaissent un fort accroissement démographique, économique et urbain, rencontre des problèmes liés à l'insuffisance des réseaux en termes de fiabilité et de qualité d'où la nécessité de mettre à niveau l'ensemble des infrastructures de la ville notamment les réseaux d'alimentation en eau potable. Afin de mettre en évidence les dysfonctionnements hydrauliques (fuites importantes, faible rendement,...) du réseau d'eau potable, la RADEEMA a bien conscience du rôle de la modélisation.

En effet, la modélisation est un outil très utile qui permet de prédire, de réparer et d'analyser les dysfonctionnements hydrauliques, qui par leur complexité échappent au calcul traditionnel. La modélisation envisagée dans le cadre de cette étude, a pour but de simuler de façon simple et rapide, et avec une précision acceptable le réseau de distribution d'eau potable de la ville de Marrakech. La réalisation d'un modèle hydraulique permet d'effectuer un diagnostic du réseau. En plus l'outil de modélisation est basé sur l'utilisation de logiciel Piccolo.

L'établissement du modèle du réseau de Marrakech passera par quatre principales étapes :

- Etablissement, à l'aide de logiciel spécialisé, du modèle mathématique du réseau rassemblant les différentes informations sur la topologie, les caractéristiques des conduites et équipements, la répartition des consommations, etc.
- Réalisation d'une campagne de mesures de débits et pressions au niveau de points clés du réseau pour comprendre le fonctionnement durant un cycle de distribution de 24 heures,
- Calage du modèle mathématique établi au niveau de la première étape par rapport aux résultats des mesures effectuées au niveau de la deuxième étape,

En vue d'atteindre les objectifs assignés à cette étude, la méthodologie d'approche adoptée est la suivante :

Partie I :

- ↳ Cette partie aura pour but de présenter la RADEEMA, la zone d'étude et le réseau d'eau potable de la ville de Marrakech.

Partie II :

- ↪ Cette partie a pour objectif de présenter les principales notions physiques, techniques et les éléments concernant la modélisation (étude bibliographie), et aussi consiste à présenter le logiciel de simulation, C'est pourquoi, la deuxième partie représente l'élément de base pour ce mémoire.

Partie III :

- ↪ Cette partie consiste à présenter les résultats de simulation du réseau d'eau potable moyennant l'utilisation de logiciel PICCOLO, et permet l'établissement et le calage du modèle hydraulique, permettant de suivre l'évolution de certains paramètres hydraulique dans le réseau.
- ↪ Pour clore cette étude, nous allons présenter, une analyse des résultats et une conclusion.

Problématiques

Les principaux problèmes du réseau ont été dégagés sont:

- faible rendement du réseau en quelques points, ce qui signifie que les pertes en eau sont très importantes.
- Amélioration de fonction de réseau d'alimentation d'eau potable de la ville de Marrakech.
- développement importantes au niveau de l'urbanisation ;
- mauvais étanchéité au niveau des vannes de sectorisations ;
- faible autonomie au niveau du réservoir : 18heures
- Les principales anomalies physiques du réseau de distribution sont les suivantes :
 - ✓ Présence d'anciennes conduites en fonte grise qui posent des problèmes physiques liés au vieillissement (casses fréquentes, réduction de la section ou obturation des tuyaux par les dépôts, ou autre). En plus, ce matériau pose des difficultés d'entretien et ne permet pas de faire de la recherche de fuites.
 - ✓ Problèmes des extensions en polyéthylène qui sont très fragiles et qui présentent des fuites très fréquentes.

Partie I : GENARALITE

Chapitre I : Présentation de la RADEEMA

1. Présentation de l'organisme R.A.D.E .E .MA

En 1922 : La création de la Société d'Electricité de Marrakech (SEM) qui avait pour tâche d'assurer la distribution d'électricité au sein de la ville de Marrakech. L'eau potable était distribuée par la Municipalité.

En 1964 : Un protocole d'accord a été signé pour le rachat de la concession qui fut à la société marocaine de distribution (SMD) dont le capital était franco-marocain.

En 1971 : Suite aux délibérations du conseil communal de la municipalité de Marrakech conformément aux dispositions du décret N°2-64-394 du 29 Septembre relatif à l'organisation communale, la régie autonome de distribution d'eau et électricité de Marrakech a remplacé la SMD.

En 1998 : Depuis le premier janvier 1998, la R.A.D.E.E.M.A a pris en charge de la gestion et l'exploitation du service de l'assainissement liquide, au sein des préfectures de Marrakech, suite aux délibérations de la communauté urbaine de Marrakech.

Actuellement, la régie se charge de la distribution de l'énergie électrique, la distribution de l'eau potable et aussi la gestion du réseau d'assainissement liquide dans le périmètre de la ville de Marrakech.

2. Domaines d'activité de la R.A.D.E.E.MA

La régie œuvre dans le périmètre urbain de la ville de Marrakech dans les domaines suivants :

- ✚ La distribution d'électricité dans la zone d'action de la régie, avec la gestion, l'entretien, la réhabilitation et la maintenance du réseau de distribution moyen tension et basse tension.
- ✚ La distribution de l'eau potable à Marrakech, avec le suivi, le contrôle et le maintien de la qualité de l'eau à l'intérieur du réseau de distribution, ainsi que la réhabilitation, l'extension et la maintenance de ce dernier.

La gestion de l'assainissement liquide à l'intérieur de la ville de Marrakech depuis 1998, la réhabilitation et la restructuration du réseau collecteur et le traitement et la réutilisation des eaux usées après la création de la station d'épuration en 2008.

3. Chiffres clés :

- Abonnés Eau: 208 000
- Abonnés Electricité: 220 000
- Consommation Eau 2009 : 39 919 596 m³
- Consommation Electricité 2009 : 560 634 464 kW
- Prix moyen du m³ eau + assainissement : 6,71 Dh
- Prix moyen du kW : 0.95 Dh
- Chiffre d’Affaire 2009 : 1 300 000 000 Dh
- Employés : environ 1000

4. Les objectifs stratégiques de la régie

- Réalisation de l’infrastructure de base nécessaire au développement de la ville.
- Satisfaction des demandes actuelles et futures en eau, en énergie électrique et en assainissement liquide.
- Réponse aux exigences croissantes en matière de qualité des services techniques et commerciaux.
- Généralisation de l’accès de la population à des services aussi vitaux que l’eau, l’électricité et l’assainissement liquide.
- Contribution au développement humain dans le cadre de l’INDH par l’amélioration des conditions de vie des populations démunies via la mise à leur disposition des services de base.
- Sécurisation de l’approvisionnement et continuité des services assurés.
- Amélioration des rendements des réseaux d’eau potable et d’électricité.
- Résorption de la pollution du milieu naturel et réutilisation des eaux usées épurées à diverses fins notamment l’arrosage des espaces verts.

5. Organigramme :

Pendant 3 mois Nous avons effectué un stage de fin d'étude de la Licence Sciences et Techniques au sein de la RADEEMA, notamment au service exploitation eau à l'agence Sidi Youssef ben Ali (SYBA) Marrakech.



I. Données générales sur la ville de Marrakech

1. Emplacement du projet

La ville de Marrakech, chef lieu de la préfecture ayant le même nom, est située à un endroit stratégique au centre du pays. Elle se trouve sur la Route National 1 a environ **300 km** au Sud- Est de la capitale (Rabat). Cette situation lui confère une importance capitale à l'échelle de la province et a l'échelle du Royaume. Elle est aussi desservie par la ligne ferroviaire et le réseau autoroutier du royaume(Figure1).



Figure1 : Situation de la ville de Marrakech
<http://www.ucam.ac.ma/fssm/images/CarteMaroc.gif>

Marrakech est une ville qui se trouve au centre du Maroc, est englobée une partie du Haut Atlas (Fig. 2). Sa superficie est de 31 160 km², ce qui représente 4,5 % du territoire national, pour une population de 3 102 652 habitants³.

Géographiquement, la région est limitée au Nord par les régions de Chaouia-Ourdigha et Doukkala-Abda, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, à l'Est par la région de Tadla-Azilal et au Sud par la chaîne montagneuse du Haut Atlas (Région Souss-Massa-Draâ)

2. Aire de l'étude

L'aire de l'étude correspond à la zone desservie par le réseau d'eau potable de la RADEEMA, comprenant l'agglomération de Marrakech (Figure 2) « les zones où il passe les conduites supérieures à 400 'Feeder' » (Menara-Gueliz, Médina, Méchouar-Kasbah, Sidi Youssef Ben Ali, Annakhil et Mhamid) et qui s'étend au-delà vers une partie des Communes Rurales :

- Saada sur la route d'Essaouira-Agadir,
- Tassoultane sur la route d'Ourika,
- Ouahat Sidi Brahim sur la route de Casablanca.
- Aloudane sur la route de Fès

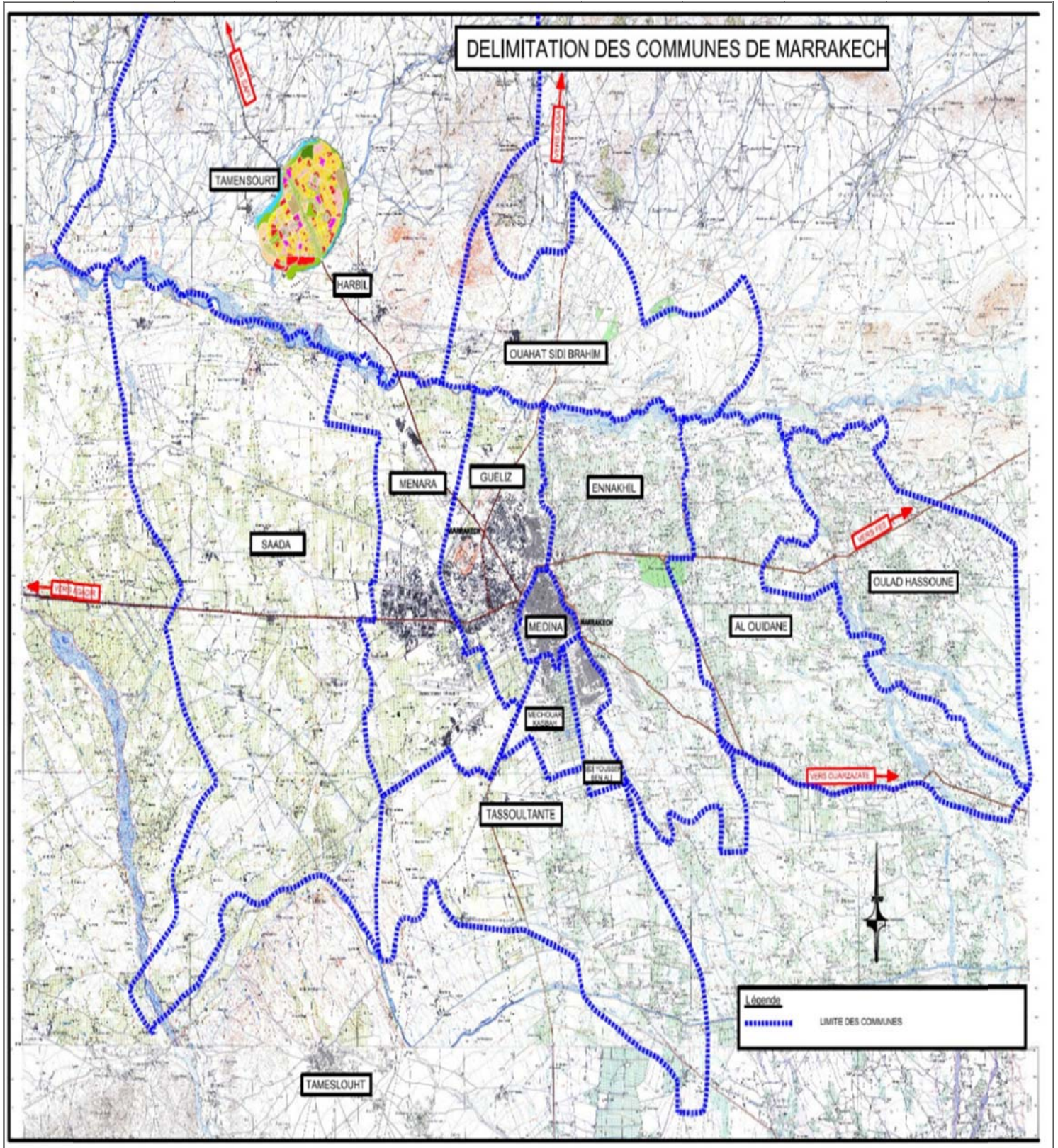


Figure 2: Délimitation des communes de Marrakech

Référence : département de planification 'la RADEEMA'

3. Milieu physique

3.1. Relief et topographie

L'agglomération de Marrakech est située dans la plaine du Haouz central, enserrée par le massif du Haut Atlas au Sud et celui des Jbilettes au Nord et qui s'étend sur une superficie de 60 km². Le site de Marrakech est une plaine uniforme s'inclinant doucement selon une pente d'environ 8 % orientée du sud-Est vers le Nord-Ouest depuis la côte 500 NGM (zone touristique de la route d'Ourika) jusqu'à la cote 380 NGM (oued Tensift). Les seuls reliefs sont constitués par les collines Guéliz et Koudiat Al Abid.

3.2. Hydrologie

Marrakech est parcourue par un réseau hydrographique organisé autour de l'oued Tensift, et comprenant les cours d'eau suivants :

- l'oued Tensift au nord ;
- L'oued Issil qui alimente l'oued Tensift au Nord ;
- La châaba Ali Bali qui traverse Ménara Guéliz pour se jeter au Nord dans l'oued Tensift ;

3.3. Hydrogéologie

Selon la carte des systèmes aquifères du Maroc, établie par la Direction de l'Hydraulique, l'agglomération de Marrakech fait partie du bassin hydrogéologique du Haouz de Marrakech.

Les unités hydrogéologiques d'extension notable sont comprises dans la couverture sédimentaire qui forme le sous-sol de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont :

- ✓ la nappe du Haouz-Mejjate ;
- ✓ les nappes du bassin d'Essaouira-Chichaoua dont la nappe de oulad Bousbaâ, la bande côtière et la nappe de Meskala-Kourimate ;
- ✓ Ainsi que les parties centrales et occidentales de la nappe de la Bahira ;

Chapitre III : Le réseau de distribution d'eau potable de la ville de Marrakech

I. Les ressources en eau potable

Les ressources en eau potable mobilisées sont constituées d'eaux superficielles et de ressources souterraines représentant, en situation actuelle, respectivement 98% et 2 % du volume mobilisé pour l'AEP de Marrakech.

1. Les ressources en eau de surface

1.1. Les ressources en eau du canal de Rocade

Les eaux superficielles sont mobilisées à partir du barrage Sidi Driss lui-même alimenté par le barrage Hassan Premier. Elles sont véhiculées par le canal de Rocade (d'un linéaire de 118 km et d'une capacité de transit de 12 m³/s) qui approvisionne en eau brute de la station de traitement de l'ONEP.

La prise d'eau brute de la station de traitement est située dans la partie aval du canal, au kilomètre 112, et à une distance de 1,7 km de la station de traitement de l'ONEP. La capacité nominale de traitement de la station ONEP est de 1 100 l/s.

Par ailleurs et afin de faire face à l'accroissement constant des besoins de Marrakech, l'ONEP vient d'achever les travaux de renforcement de la station de traitement pour faire passer le débit produit à 2 300 l/s. Ce projet intègre aussi une réserve supplémentaire de 20 000 m³ d'eau traitée, pour une meilleure souplesse dans l'approvisionnement de la ville.

1.2. Les ressources de secours

Depuis 1999, la station de traitement de Marrakech dispose d'une prise d'eau brute et d'une adduction de secours à partir du barrage Lalla Takerkouste. Ce système adducteur est composé :

D'une station de pompage d'eau brute pour 1400 l/s vers un réservoir de mise en charge de 2x2500 m³

D'une adduction de 17 Km de longueur et 1000 et 1100 mm de diamètre.

1.3. Les ressources souterraines

Les eaux souterraines proviennent de différents champs captants, forages, puits et drains dispersés géographiquement de l'est à l'ouest de la ville sur un rayon maximal de 35 km environ.

- **Le champ captant N'Fiss**, composé de 13 forages situés à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de la ville. L'adduction à partir de ce champ capte en cours de route la production de deux puits dits Bahja.
- **Le champ captant Agdal**, regroupant huit puits situés à l'est de la ville, dont les débits d'équipement varient de 35 à 50 l/s.

-
- **Le champ captant Issil**, comportant quatre forages et un puits situés au sud-est de la ville et dont le débit d'équipement varie entre 15 et 30 l/s.
 - **Le champ captant Ourika**, capté par trois puits situés au sud de la ville et dont le débit d'équipement varie entre 40 et 50 l/s.
 - **Autres ouvrages de production**, tels que :
 - la Khettara Agdal et le drain Bouzoughar dont la production est fortement influencée par la pluviométrie et varie de 0 à 200 l/s.
 - Les puits Menara (Menara I et II) situés au voisinage de la Menara, leurs débits d'équipement sont de 45 l/s chacun.
 - Le puits Iziki situé dans le quartier Iziki (réseau ouest de la ville), son débit d'équipement est de 25 l/s.

Le débit total équipé s'élève à 17 34 l/s, alors que le débit exploitable atteint à peine 114 l/s .en effet, la capacité des ressources souterraines a connu une chute importante au fil des années.

II. Description du système de stockage

1. Réservoirs de stockage existants

1.1. Réservoir 50 000 m³ de Sidi Moussa

Le réservoir 50 000 m³, situé dans le complexe hydraulique Sidi Moussa, sur la route d'Ourika, alimente l'étage haut service de Marrakech. La parcelle, sur la quelle est construit le réservoir, comprend actuellement trois cuves semi-enterrées indépendantes en béton armé :

- une cuve de 25 000 m³ qui a été construite en 1995,
- une cuve de 12 500 m³ ayant été construite en 1999,
- une cuve de 12 500 m³ ayant été construite en 2008,
- une cuve de 30000 m³ ayant été construite en 2011.

Les cotes de ce réservoir sont les suivantes :

- Cote moyenne du terrain naturel : 552,5 NGM,
- Cote du radier : 549 NGM,
- Cote du trop plein : 553,94 NGM.

Le réservoir 50 000 m³ de Sidi Moussa est alimenté exclusivement à partir de la station de traitement de l'ONEP.

1.2. Réservoir 55 000 m³ de la route d'Ourika

Le réservoir 55 000 m³ est situé sur la route d'Ourika, dans la future zone touristique de Marrakech. La cuve de ce réservoir est constituée de cellules indépendantes.

Les cotes de ce réservoir sont les suivantes :

- Cote moyenne du terrain naturel : 492,45 NGM,
- Cote du radier : 490,06 NGM,
- Cote du trop plein : 494,92 NGM.

Le réservoir 55 000 m³ est alimenté de deux cotés :

- les conduites d'alimentation à partir des forages ;
- La conduite d'alimentation à partir de la station de traitement ;

1.3. Réservoirs de stockage projetée

Les réservoirs de stockage projeté sont :

- Un réservoir de 30 000 m³ à construire à moyen terme (mise en service en 2014),
- Un réservoir de 30 000 m³ à construire à long terme (mise en service en 2020).

III. Caractéristiques de Réseau de distribution

1. Linéaire du réseau et nature des conduites

Le réseau de distribution dessert les différents secteurs et quartiers de l'agglomération et s'étend pour alimenter plusieurs zones périphériques faisant partie des Communes Rurales voisines, telles que Saâda à l'ouest, Tassoultant au sud, Ouahat Sidi Brahim au nord et El Ouidane à l'est.

Le réseau totalise actuellement près de 2167 km de conduites de DN 50 à 1 200 mm de différentes natures : béton précontraint, amiante ciment, fonte grise, fonte ductile, PVC et polyéthylène.

2. Nature des conduites

Près des deux tiers du linéaire de ce réseau est en amiante ciment et près d'un tiers en PVC, ces deux types de conduites totalisent 97% du linéaire. La part des conduites en PVC est en constante augmentation ; les nouvelles extensions du réseau sont en PVC.

Les conduites en béton précontraint totalisent environ 24 km en DN 600 ; 800 et 1 200 mm, et font partie du réseau de feeders de la ville.

Environ 7 km de conduites de distribution en fonte ductile sont posées au niveau du centre ville, du M'échouar, Le linéaire des conduites en fonte grise est de moins en moins important (5,6 km), ce matériau est en cours de remplacement progressif par la Régie.

3. Diamètre des conduites

Les conduites de DN compris entre 64 et 225 mm totalisent environ 1467 km (82% du linéaire) et constituent le réseau de distribution à l'intérieur des quartiers,

Les conduites principales de DN 250 à 600 mm totalisent près de 192 km (15% du réseau) et constituent l'ossature principale qui alimente les quartiers à partir du réseau de feeders,

Les feeders de DN 800 et 1200 mm totalisent près de 32 km (3% du linéaire), ils alimentent le réseau à partir des réservoirs et se prolongent jusqu'au centre de la ville.

4. Age du réseau

Les premières conduites de distribution datent de 1929 et desservent la Médina. L'ossature desservant les quartiers extérieurs a été posée à partir de 1960.

Les premiers grands travaux de réhabilitation ont été réalisés à partir des années 90, avec la réalisation du Plan Directeur. Ces travaux se poursuivent actuellement, l'ancien réseau est en grande partie renouvelé, à l'exception de quelques conduites en amiante ciment et en fonte grise.

Près de 900 km de réseau (61% du linéaire) a moins de 20 ans, dont 350 km (24% du linéaire) a moins de 10 ans, et 200 km ayant moins de 5 ans.

Partie II : Etudes bibliographiques#

Chapitre I : Généralités sur la modélisation

1 Généralités

1.1 Introduction

Pour décrire la réalité complexe de l'hydraulique en réseau d'eau potable, un important effort de développement des modèles mathématiques a été réalisé depuis trente ans. Cet effort a été grandement favorisé par le développement des moyens informatiques, Les modèles de plus en plus sophistiqués et la capacité croissante des ordinateurs permettent d'aborder des cas toujours plus complexes et c'est le cas des modèles hydrauliques des réseaux d'eau, qui sont considérés comme l'une des plus récentes technologies d'un processus de développement et qui a commencé. Ainsi, il est important de faire quelques rappels sur les modèles, les différentes approches modélisatrices et les différentes étapes à suivre.

1.2 But de la modélisation

La modélisation des systèmes d'alimentation en eau potable constitue :

- ✓ un outil d'investigation indispensable à la maîtrise du fonctionnement du réseau modélisé et à la compréhension de ses dysfonctionnements ;
- ✓ un outil d'aide à la décision puissant destiné aux Maîtres d'Ouvrage, support des orientations techniques pour le système ;
- ✓ un outil de communication performant. Cet outil permet de trouver des solutions optimales tant au niveau environnemental, que technique et économique ;

1.3 Les modèles

Un modèle mathématique est une représentation informatique du réseau et de son fonctionnement hydraulique. Il permet d'en déterminer les caractéristiques, en particulier la pression, le sens de la circulation de l'eau, le débit dans les canalisations, le fonctionnement des ouvrages, etc.

Les modèles mathématiques, d'une façon très générale, sont constitués:

- ✚ d'un ensemble de variables, choisies pour représenter l'objet étudié,
- ✚ d'un ensemble de relations mathématiques entre ces variables, choisies pour représenter son fonctionnement.

Ces relations, qui doivent permettre de calculer les variables de sortie en fonction des variables d'entrée, font aussi intervenir d'autres paramètres. Cette imitation recouvre deux fonctions essentielles, complémentaires et indispensables :

-
- ✚ l'une de représentation simplifiée de la réalité, perçue d'un certain point de vue par le modélisateur, à travers un filtre conceptuel : un modèle est donc une interprétation et non simple reproduction,
 - ✚ l'autre, d'instrument d'étude de cette réalité, conçu pour répondre à un certain objectif guidant l'ensemble des choix faits au cours de la modélisation : un modèle est donc aussi une représentation orientée et sélective.

1.4 Les problèmes à résoudre

De nombreux problèmes restent à résoudre pour parvenir à des modèles qui soit à la fois fondés scientifiquement et opérationnels. En effet, toute modélisation est assujettie à des erreurs difficiles à réduire ou à compenser, provenant tant du modèle que des données et de leurs interactions au cours de la modélisation. En effet, on rencontre différents problèmes :

- ✚ les erreurs liées à la structure du modèle : les limites théoriques (par exemple en hydraulique), les approximations théoriques, les approximations numériques (solutions approchées) et les approximations spatiales (description du bassin versant),
- ✚ la disponibilité des données : les problèmes métrologiques et méthodologiques,
- ✚ l'adéquation des données au besoin de la modélisation,
- ✚ le calage et la validation du modèle,

2 Construction du modèle

La construction du modèle est effectuée par l'intermédiaire d'un traçage d'objets interactifs représentant chacun un élément de réseau. Chaque objet comporte un modèle de compilation de données (MCD) associé. Ce MCD peut varier selon le logiciel utilisé pour la modélisation. Ce sont l'ensemble des MCD qui vont alimenter le calcul hydraulique. Un des composants du MCD pourra être choisi comme paramètre de calage (exemple de la rugosité pour les canalisations).

2.1 Les campagnes de mesures

2.1.1 Les objectifs

La campagne de mesure doit permettre d'obtenir l'ensemble des données nécessaires au calage dynamique du modèle numérique du réseau en réalisant des mesures de débit et de pression sur le réseau, et des mesures de niveau sur le réservoir.

Les emplacements de mesure de débit, pression et niveau d'eau ont été définis sur l'ensemble du réseau afin:

- ↪ de permettre un cadencement des mesures permettant de minimiser le matériel nécessaire, tout en conservant un très bon niveau de connaissance du comportement du réseau ;
- ↪ d'appréhender les pertes de charge linéaires dans tous les tronçons de canalisation ayant un impact significatif sur la distribution d'eau potable sur le réseau ;
- ↪ de disposer d'un jeu d'informations propres à réaliser le calage du modèle du réseau, ainsi que sa validation.

2.1.2 La méthodologie

La campagne de mesure doit se dérouler sur une période assez longue pour :

- ✓ obtenir des données en nombre suffisant afin d'éliminer les valeurs parasites dues à des conditions particulières ponctuelles.
- ✓ obtenir des données dans des régimes de fonctionnement variés (heures creuses et heures de pointe).

Les appareils de mesure de pression sont installés d'après les critères suivants :

- ✓ obtenir une bonne couverture spatiale.
- ✓ utiliser au mieux le matériel disponible.
- ✓ être assez éloignés des réservoirs pour enregistrer des variations de pression significatives.

Tous les réservoirs en service doivent faire l'objet d'une relève en continu du niveau d'eau (sondes, manomètres, relèves manuelles...), et éventuellement de leur débit.

Tous les débits entrants et sortants du réseau doivent être mesurés. Il s'agit des ventes et achats.

Toutes les mesures doivent être réalisées simultanément. Un relevé topographique précis (à moins de 0.1 m) doit être fait sur tous les points de mesure de pression et de niveau.

2.1.2.1 Les mesures de débit

Elles seront implantées sur tous les points d'entrée ou de sortie de débit de chaque secteur.

Les mesures de débit sont réalisées avec des compteurs, des débitmètres électromagnétiques ou encore des débitmètres à insertion et ultrasons.

2.1.2.2 Les mesures de niveau

Ces mesures permettent d'observer la variation du volume des réservoirs, et donc de compléter les données sur les débits

2.1.2.3 Les mesures de pression

Lorsque le diagnostic intègre la modélisation du réseau, des mesures de pression sont associées aux mesures de débit et de niveau pour le calage du modèle mathématique. Les mesures de pression permettent toujours d'améliorer la connaissance du réseau.

3 le calage du modèle

3.1 Objectif

Le calage a pour objectif de rapprocher le comportement du modèle de celui du système réel. Il s'agit de rendre le modèle représentatif de la réalité. Pour cela, des mesures de pressions et de débits ont été réalisées au niveau de poteaux incendie situés sur l'ensemble du réseau. A partir de ces mesures réalisées dans des situations données (niveau dans le réservoir, tranche horaire, ...), des rugosités ont été affectées aux canalisations. Le modèle devient donc une image du fonctionnement du réseau sur la durée de la campagne de mesures.

3.2 La méthode de calage

Pour caler le modèle, des mesures de pressions et de débits ont été réalisées au niveau des différents quartiers du secteur. Les mesures considérées sont celles enregistrées la nuit. Les débits et les pressions de nuit calculés par Piccolo doivent être proches de celles enregistrées sur le terrain.

3.3 Le calage statique

Le calage statique débute par le choix d'au moins deux instants précis (au minimum) : l'un en heure de pointe, l'autre en heure creuse. On effectue les simulations statiques correspondant aux deux régimes. Les états du réseau étant définis par :

- ✓ les niveaux de réservoir
- ✓ le mode de fonctionnement des appareils du réseau
- ✓ la consommation totale du réseau (calculée)

3.4 Le calage dynamique

Le calage dynamique intervient après le calage statique du réseau. Il nécessite des mesures en continu sur une journée (au minimum).

On effectue la simulation correspondant à l'état réel du réseau sur la période choisie.

L'état du réseau est défini par :

- ✓ le niveau des réservoirs au début de la simulation,
- ✓ les asservissements des pompes et le fonctionnement des appareils au début et en cours de simulation,
- ✓ la courbe de consommation des abonnés sur la période considérée - (calculée).

3.5 Les paramètres de calages

Les paramètres à la disposition de l'utilisateur pour caler le réseau sont principalement :

- ✓ la rugosité des canalisations,
- ✓ la répartition des consommations,
- ✓ la localisation et l'évaluation des fuites.

Si ces paramètres ne sont pas suffisants, il est possible de mettre en doute les données concernant l'état du réseau.

- ✓ états des vannes (vannes fermées),
- ✓ connexions inconnues ou erronées, mesures topographiques (cote NGM des points de mesure, des réservoirs),
- ✓ fuites.

La précision d'une telle modélisation est naturellement liée à la qualité des données entrantes dans le modèle

3.6 La Validation

L'étape de calage ne suffit cependant pas à valider les modèles et donc à s'assurer de leur «réalisme ». Il reste encore à vérifier la qualité du modèle calibré sur des séries de mesures non utilisées lors du calage. Cette validation doit être menée d'une part sur d'autres périodes sur le même bassin et d'autres parts sur d'autres sites.

CHAPITRE II : PRESENTATION DU LOGICIEL

Le programme utilisé dans la présente étude pour la simulation est le logiciel PICCOLO

I. GENERALITES

Avant toute simulation le choix du type de réseau et les composantes qui le constitue présentent un paramètre influant les résultats de simulation c'est la raison pour laquelle qu'il faut choisir le type de réseau le plus adéquat en terme de cout et de qualité.

1 Typologie de réseau

Le type de réseau le plus adopté au niveau du milieu urbain est de type *maillé* vu les avantages qu'il présente par rapport aux autres types de réseau.

Les réseaux maillés :

Dans un réseau maillé, la situation est plus complexe. Il s'établit un équilibre dans les conduites. Les variables à calculer sont toujours les débits Q et les charges H .

Les réseaux ramifiés :

Pour le réseau ramifié, il n'y a qu'un seul trajet possible pour aller du réservoir à un point de distribution. Ce schéma est le plus simple et le plus économique. Cette configuration est justifiée par

la dispersion des abonnés, Par contre, il présente l'inconvénient de priver d'eau tous les consommateurs aval si pour une raison ou une autre. On est obligé d'intervenir en un point du réseau.

Ce type de réseau s Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural.

2 Composantes physiques d'un système d'eau potable

Les réseaux de distribution constituent l'ensemble du circuit hydraulique qui permet de véhiculer l'eau potable depuis le réservoir jusqu'à l'abonné. grâce à un ensemble d'arcs reliés à des nœuds, les arcs représentent des tuyaux, des pompes, des stabilisateur(amont /aval) ,et des vannes de contrôle Les nœuds représentent des nœuds de demande, des réservoirs et des bâches La figure 3 ci-dessous indique les liaisons entre les différents objets formant le réseau.

L'eau est généralement fournie au réseau par l'intermédiaire d'un réservoir de stockage qui est relié au réseau par une conduite maîtresse. Le réseau se compose de conduites principales, secondaires et tertiaires posées dans les rues de l'agglomération concernée par l'alimentation en eau potable.

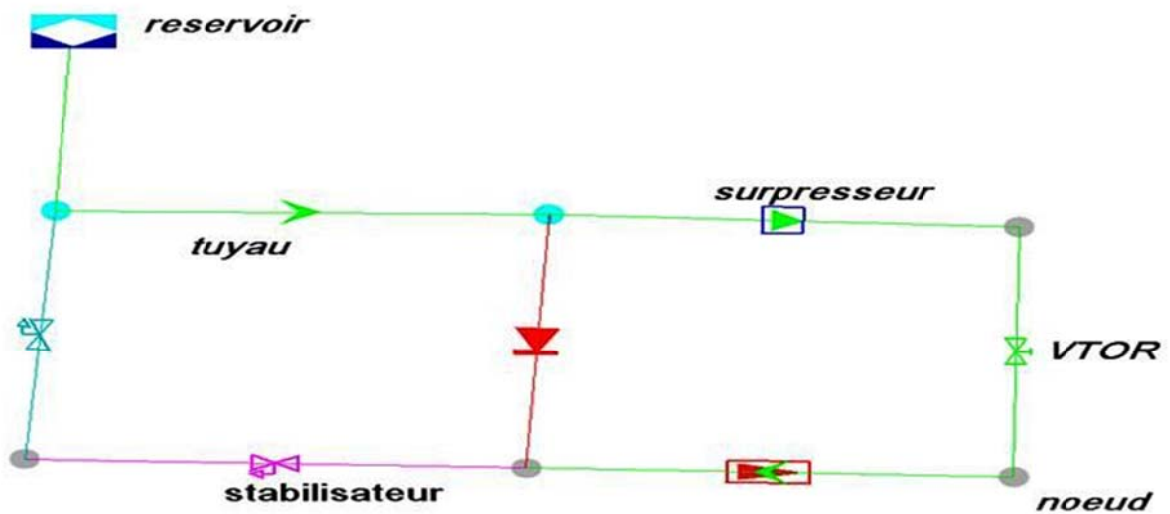


Figure 3 : Composants Physiques d'un Système de Distribution d'Eau potable

Référence : Guide de la modélisation

2.1 Nœuds de demande

Les Nœuds de Demande sont les points du réseau où les arcs se rejoignent. Ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent également ne pas avoir de débit. Les données d'entrée minimales exigées pour les nœuds de demande sont:

- ✓ Les données topographiques
 - X = abscisse,
 - Y = ordonnées,
 - Z = niveau,
 - ZN = zone,
 - NO = nom,
- ✓ Les données consommation
 - CD = permet de différencier les types de consommateurs (industriel, domestique, etc).

En pratique, il faut déterminer autant de classes qu'il est nécessaire. Elles permettent **de matérialiser des comportements indépendants.**

- CS = c'est la valeur de la consommation nominale. Elle est généralement prise égale à la valeur moyenne annuelle ou journalière et elle doit correspondre à la somme des consommations du nœud, pour le type considéré.
- ✓ Les données relatives aux poteaux d'incendie

-
- PI = permet de spécifier le type du poteau implanté au nœud.

Les résultats calculés aux nœuds de demande, à chacun des intervalles de temps d'une simulation sont:

- la charge hydraulique (ou hauteur piézométrique): énergie interne par poids spécifique de fluide ou bien somme de l'altitude avec la hauteur de pression
- la pression
- la qualité de l'eau

Les nœuds de demande peuvent également:

- Avoir une demande qui varie dans le temps;
- Être affectés de demandes de différents types (domestique, industrielle, ..);
- Avoir des demandes négatives, ce qui indique que l'eau entre dans le réseau à ce point;

2.2 Réservoirs

Les Réservoirs sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau stocké peut varier au cours du temps. Les données de base pour des réservoirs sont les suivantes:

- L'altitude du radier (où le niveau d'eau est zéro)
- Le diamètre (ou sa forme s'il n'est pas cylindrique)
Les niveaux initial, minimal et maximale de l'eau
- La qualité initiale de l'eau.

Les principaux éléments calculés dans la simulation sont les suivants:

- La charge (altitude de l'eau)
- La pression (niveau de l'eau)
- La qualité de l'eau.

2.3 Tuyaux

Les tuyaux appelés également conduites sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à l'autre.

Ces derniers sont supposés pleins à tout instant. L'eau s'écoule de l'extrémité qui a la charge hydraulique la plus élevée (altitude + pression, ou énergie interne par poids d'eau) à celle qui a la charge hydraulique la plus faible. Les données de base pour les tuyaux sont:

- le nœud initial ;
- le nœud final ;
- la longueur ;

-
- le diamètre (valeur numérique ou diamètre nominal ;
 - la rugosité ou le matériau ;
 - le coefficient de rugosité (pour déterminer la perte de charge) ;

Les principaux éléments calculés dans la simulation sont les suivants:

- débit ;
- vitesse ;

Elles servent à transporter l'eau sous pression. On les utilise généralement lorsque la topographie ne permet pas de faire des canaux et que les hauteurs de chutes sont élevées. Construites en béton précontraint, en acier, en fonte ou en fibrociment d'amiante, elles sont soit enterrées soit posées sur le sol. Un aqueduc constitué en tout ou en partie nécessite l'utilisation d'un grand nombre d'équipements annexes facilitant le bon fonctionnement du réseau de distribution, ainsi que sa gestion et son exploitation,

Ce réseau doit être équipé de vannes, ventouses, vidanges, réducteurs de pression, les diaphragmes, robinets-vannes de pièces spéciales (coudes, tés, cônes,...), appareils hydrauliques (bouches et poteaux d'incendie, branchements particuliers) préalablement expliqués.

3 Présentation de logiciel

3.1 Généralités

Le logiciel PICCOLO est le dernier né, en 1987, d'une série de programmes de simulation de réseaux de fluides. Il est entièrement développé par SAFEGE et est dédié aux cas particuliers des réseaux d'eau (eau potable, eau surchauffée, climatisation).

PICCOLO permet de modéliser l'ensemble des vannes et appareils hydrauliques classiques, les différentes configurations de réservoirs, en régime permanent ou dynamique.

PICCOLO dispose d'interfaces puissantes et conviviales qui permettent avant tout un apprentissage et une exploitation aisée du logiciel : interface à base de menus déroulants, représentation graphique en couleur intégrée des données et des résultats, saisie et modification des données par simple pointé à l'écran.

La puissance de son algorithme de résolution rend possible l'étude interactive de réseaux très détaillés et composés d'un très grand nombre d'éléments. Un module de qualité permet le calcul des temps de séjours et du chlore résiduel, ou la propagation de composants chimiques. Enfin, un module de calcul des coûts d'exploitation, un module de calcul des phénomènes transitoires en réseau maillé, et deux modules qualité avancés (Piccobio et Sédiments) sont également disponibles. Ces qualités le destinent à l'ensemble des

activités traditionnelles de modélisation du bureau d'étude, mais également à une utilisation opérationnelle en exploitation.

Les principales caractéristiques:

- ✓ visualisation de schémas de réseaux de distribution d'eau potable,
- ✓ visualisation et impression des résultats sous forme de tableau ou sur le schéma du réseau,
- ✓ visualisation et impression des résultats sous forme de profils hydrauliques,
- ✓ exportation des données et des résultats vers un tableur de type Excel,
- ✓ exportation des graphiques de résultats vers un traitement de texte de type WinWord.

3.2 Définition

Piccolo est un logiciel de modélisation du comportement hydraulique et de la qualité de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Il permet donc en particulier de simuler, sur une longue durée le fonctionnement hydraulique d'un réseau d'eau potable,

Le réseau d'eau potable n'est qu'un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs, clapet, etc.

Piccolo calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

L'interface graphique du logiciel est simple d'utilisation, elle permet de schématiser le réseau étudié 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.

Piccolo a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il constitue une aide à la décision pour le dimensionnement et la gestion d'un réseau de distribution ou d'adduction d'eau potable.

3.3 Capacités

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. **Piccolo** contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes :

-
- 1) la taille du réseau étudié est illimitée
 - 2) PICCOLO dispose d'une flexibilité maximale
 - 3) pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, et Chezy-Manning
 - 4) il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
 - 5) il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable
 - 6) il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti-retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc
 - 7) il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.
 - 8) il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple)
 - 9) l'efficacité de la résolution numérique dans l'espace des pressions, par des algorithmes d'inversion optimisée de matrices creuses.
 - 10) La méthode de résolution utilisée par **piccolo** est une méthode "hybride" mise au point par Y. Hamam et A. Brameller .
 - 11) La simulation en régime statique et dynamique.

3.4 Les étapes d'utilisation de piccolo

Les étapes classiques de l'utilisation de PICCOLO pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes:

- Dessiner un réseau représentant le système de distribution ou importer une description de base du réseau enregistrée dans un fichier au format texte;
- Saisir les propriétés des éléments du réseau;
- Décrire le fonctionnement système;
- Sélectionner un ensemble d'options de simulation;
- Lancer une simulation hydraulique ou une analyse de la qualité;
- Visualiser les résultats d'une simulation.

3.5 Principes de modélisation

Le logiciel PICCOLO est un programme interactif de résolution des problèmes d'écoulements en charge dans les réseaux maillés, s'appuie sur une méthode itérative de résolution très performante : l'algorithme hybride, lié au non linéarité des équations de perte de charge.

3.6 Variables du modèle

Ces variables sont de deux types :

- rattachées aux nœuds : charge et consommation
- rattachées aux arcs : débit, vitesse et perte de charge.

Ces variables sont dépendantes et l'état du système est déterminé si :

- la consommation ou la charge est fixée pour chaque nœud,
- le débit ou la résistance hydraulique est connue pour chaque arc.

3.7 Principes hydrauliques régissant les calculs du logiciel

3.7.1) Les lois de base du calcul

La dépendance entre les différentes variables peut être formulée par les équations suivantes :

- la somme algébrique des débits à un nœud est nulle (première équation de Kirchhoff).
- la somme des pertes de charge le long d'une boucle fermée est nulle.
- la somme des pertes de charge entre deux réservoirs est égale à la différence de pression de ces deux réservoirs (deuxième équation de Kirchhoff).
- Le débit (variable d'arc) s'exprime en fonction de la perte de charge (variable de nœud) : équation de perte de charge.

Formule de Hazen-Williams

$$J = 10.69^{(Q/C)^{1.852}} * 1/D^{4.871}$$

Avec:

Q: débit (m³/s)

D: diamètre (m)

C: coefficient d'Hazen-Williams

Le coefficient d'écoulement d'Hazen-Williams est directement proportionnel au débit et dépend de la rugosité de la conduite, qui peut varier avec l'âge de cette dernière, en voici quelques exemples types :

Tableau 1 : Les coefficients d'écoulement d'Hazen-Williams en fonction des différents matériaux

Matériau de conduite	C
PVC	140-150
Fonte revêtue	135-150
Fonte encrassée	80 – 120
Béton, acier revêtu	130 – 150

☞ **Formule de Darcy - Weisbach**

☞ La perte de charge et l'écoulement peuvent aussi se calculer de façon plus précise avec la formule de Darcy - Weisbach dans laquelle, contrairement à la formule précédente, le coefficient de frottement varie en fonction du régime hydraulique caractérisé par le nombre de Reynolds :

$$h = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

Ou encore, pour les conduites circulaires :

$$h = \frac{8f L}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

Avec g, la gravité et f, le facteur de frottement. Cette formule est homogène sur le plan des unités, le facteur f peut être déterminé sur le diagramme de Moody ou encore par la formule de Cole brook :

Cette dernière équation peut être modélisée par Cole brook ou Hazen pour les tuyaux, et par une courbe débit- HMT pour les pompes. Il existe deux options dans le choix de la formule de Cole brook, utilisant toutes les deux la loi de Darcy.

La formule par défaut (ÉQUATION COLE BROOK) utilise l'hypothèse d'un écoulement pleinement rugueux pour le calcul de Lambda.

☞ **Formule de Colebrook :**

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \log (k/3.71 D) + (2.51/Re) \sqrt{\lambda}$$

- Re représente le nombre de Reynolds ($Re = V \cdot D / \nu$)
- V : vitesse (m/s)
- D : diamètre (m)
- ν : viscosité $1.15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ pour l'eau à 15°C
- k : hauteur d'aspérité équivalente

Tableaux 2 : La hauteur d'aspérité équivalente en fonction des différents matériaux de conduite

Référence : Guide de la modélisation

Matériau de conduite	k (mm)
Fonte ou Acier non revêtu (eau moyennement corrosive), béton grossier	2
Fonte ou Acier non revêtu (eau peu corrosive)	1
Fonte ou Acier avec revêtement ciment, béton type BONNA	0.5
Acier neuf laminé et soudé, béton paroi lisse	0.1
Fonte ou acier avec revêtement centrifugé béton précontraint	0.05
Amiante-ciment	0.03
Tuyaux lisses (PVC)	0

L est calculé à partir de (V, D) par itérations successives (3 itérations suffisent le plus souvent à partir de la valeur initiale $l_0 = 0.02$). L est généralement compris entre 0.01 et 0.02.

Formule simplifiée donnant explicitement la valeur de L :

$$1/L = 4 \log (k/3.7D + x/Re^Y)$$

Avec les deux jeux de paramètres possibles :

- $x = 5.74 ; Y = 0.90$
- $x = 5.13 ; Y = 0.89$

3.8 Les entrées et les sorties de logiciel piccolo

Tableau 3 les entrées et les sorties de piccolo

Composant physique	Les entrées	Le sorties
Nœuds de demande	<ul style="list-style-type: none">• L'altitude• La demande en eau• La qualité initiale d'eau (si on exécute une analyse de l'eau)	<ul style="list-style-type: none">• La charge hydraulique• La pression• La qualité d'eau
Bâche	<ul style="list-style-type: none">• Charge total• La qualité initiale d'eau (si on exécute une analyse de l'eau)	Aucun propriétés n'est calculé au cours de simulation (car une bâche est un élément de frontière de réseau)
Réservoir	<ul style="list-style-type: none">• l'altitude du radier (où le niveau d'eau est zéro)• Le diamètre ou sa forme s'il n'est pas cylindrique• Le niveau initial, minimale Et maximal de l'eau• la qualité initiale de l'eau.	<ul style="list-style-type: none">• la charge (altitude de l'eau)• la pression (niveau de l'eau)• la qualité de l'eau.

<p>Tuyaux (Arcs)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • les nœuds initial et final • le diamètre • la longueur • le coefficient de la rugosité • l'état (ouvert, fermé, ou avec un clapet anti retour) <p><u>Les données de qualité de l'eau pour les tuyaux sont :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • coefficient de réaction dans la masse d'eau • coefficient de réaction aux parois 	<ul style="list-style-type: none"> • les débits • la vitesse d'écoulement • la perte de charge • le facteur de friction de Darcy Weisbach • la vitesse moyenne de réaction (le long du tuyau) • la qualité moyenne de l'eau
<p>Pompes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nœuds d'aspiration • nœuds de décharge • courbe caractéristique d'une pompe 	<ul style="list-style-type: none"> • les débits • gain de charge hydraulique
<p>Vannes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nœuds d'entrée et sortie • diamètre • la consigne de fonctionnement • état de vanne 	<ul style="list-style-type: none"> • les débits • la perte de charge hydraulique

Partie III : Résultats et discussions#

Chapitre I : Présentation et saisie des données du module

1. La modélisation du réseau

La modélisation du réseau est le résultat d'un travail minutieux de synthèse et de préparation de données. En partant d'une cartographie fiable du réseau, confirmée par des reconnaissances de terrain et des interviews avec l'exploitant, il a été procédé à l'établissement du modèle selon les étapes suivantes :

- ✓ Définition de l'ossature du réseau à intégrer au modèle,
- ✓ Saisie de l'ossature du réseau et constitution du fichier de base,
- ✓ Affectation des débits aux nœuds.

La description de ces différentes étapes est donnée dans les paragraphes ci-dessous.

1.1. Détermination de l'ossature du réseau à modéliser

Conformément aux termes de références, les conduites intégrées au modèle sont celles de diamètre nominal supérieur ou égal à 400 mm, ainsi que les conduites de diamètre 300 qui jouent un rôle important dans l'équilibre du fonctionnement du réseau en assurant la liaison entre ses conduites.

Une fois les conduites sélectionnées sur plan, nous avons procédé à l'identification des différents raccordements et maillages amont et aval de telle sorte à comprendre au mieux le fonctionnement du réseau. Dans cette étape il a été fait appel aux résultats des reconnaissances de terrain pour confirmer les informations sur certains maillages et vannes fermées.

Les nœuds ont été ensuite définis suivant la méthode « classique », en distinguant :

- Les nœuds d'intersection entre conduites modélisées,
- Les nœuds à l'amont ou à l'aval d'une vanne d'intersection ou de sectionnement dans la mesure où leur état est susceptible de changer des simulations à venir,
- Les nœuds par lesquels les réservoirs et autres injections alimentent le réseau,
- Les nœuds « géométriques » servant à définir un coude important sur une conduite ou encore, à isoler deux tronçons de diamètre différents.

Les nœuds repérés ont été numérotés suivant une méthodologie bien précise, comme décrit plus loin, en tenant compte de l'architecture du réseau et de son fonctionnement.

Le plan du réseau modélisé a été établi à une échelle de 1/20.000^{ème}. Ce plan présente les réservoirs, les conduites formant le réseau modélisé et les nœuds. Il donne aussi le détail de raccordement au niveau des principaux maillages.

1.2 Préparation du modèle mathématique de réseau

1.2.1 Conception du modèle

Le modèle a été conçu de telle façon à ce qu'il permette une exploitation souple tout en reflétant le fonctionnement actuel du réseau et en tenant compte des possibilités d'extensions futures.

Afin de cerner au maximum son fonctionnement, le réseau doit être subdivisé en secteurs hydrauliques indépendants pour lesquels il est possible de mesurer le débit entrant et sa modulation horaire, ainsi que la pression aux extrémités et aux points névralgiques. La superposition des courbes de débit et de pression permet de comprendre et d'interpréter les variations observées et de faire un calage dynamique du modèle.

Le réseau de la ville de Marrakech a été divisé en huit grands secteurs hydrauliques appartenant à deux étages de pression : l'étage Haut Service alimenté par le réservoir de Sidi Moussa (50000 m³) et l'étage Bas Service alimenté par le réservoir de la Route d'Ourika (55 000 m³) Figure 4 ci-dessous.

✚ **L'étage Haut Service (HS)** est subdivisé en quatre secteurs :

- Secteur non stabilisé de la zone touristique,
- Secteur stabilisé de Mhamid,
- Secteur stabilisé de Sidi Youssef Ben Ali,
- Secteur stabilisé de la Médina Sud.

✚ **L'étage Bas Service (BS)** est également subdivisé en quatre secteurs :

- Grand secteur non stabilisé comprenant les quartiers : Massira, Hivernage, Guéliz, Daoudiate, Assif, Médina Nord et Route de Targa,
- Secteur stabilisé de la route de Casablanca (Palmeraie),
- Secteur stabilisé de la Zone Industrielle route de Safi,
- Secteur route de Fès.

Le secteur stabilisé de route de Targa a été raccordé au réseau du secteur Massira à la suite d'un problème au niveau de l'une des deux conduites maîtresses qui alimentent ce secteur.

Pour chaque secteur, les vannes frontières et les alimentations ont été identifiées pour être mesurées lors de la campagne de mesure. Les points de mesure de pression ont été judicieusement positionnés de telle sorte à avoir une carte de pression dans le réseau, qui soit la plus représentative de la réalité.

La numérotation des nœuds a tenu compte à la fois du découpage des secteurs hydrauliques et des limites des principaux quartiers et zones urbaines, dans l'objectif d'assurer une souplesse au niveau de l'affectation des codes de consommations des secteurs (chaque code renvoie à une série de coefficients représentant la modulation horaire des consommations d'un secteur).

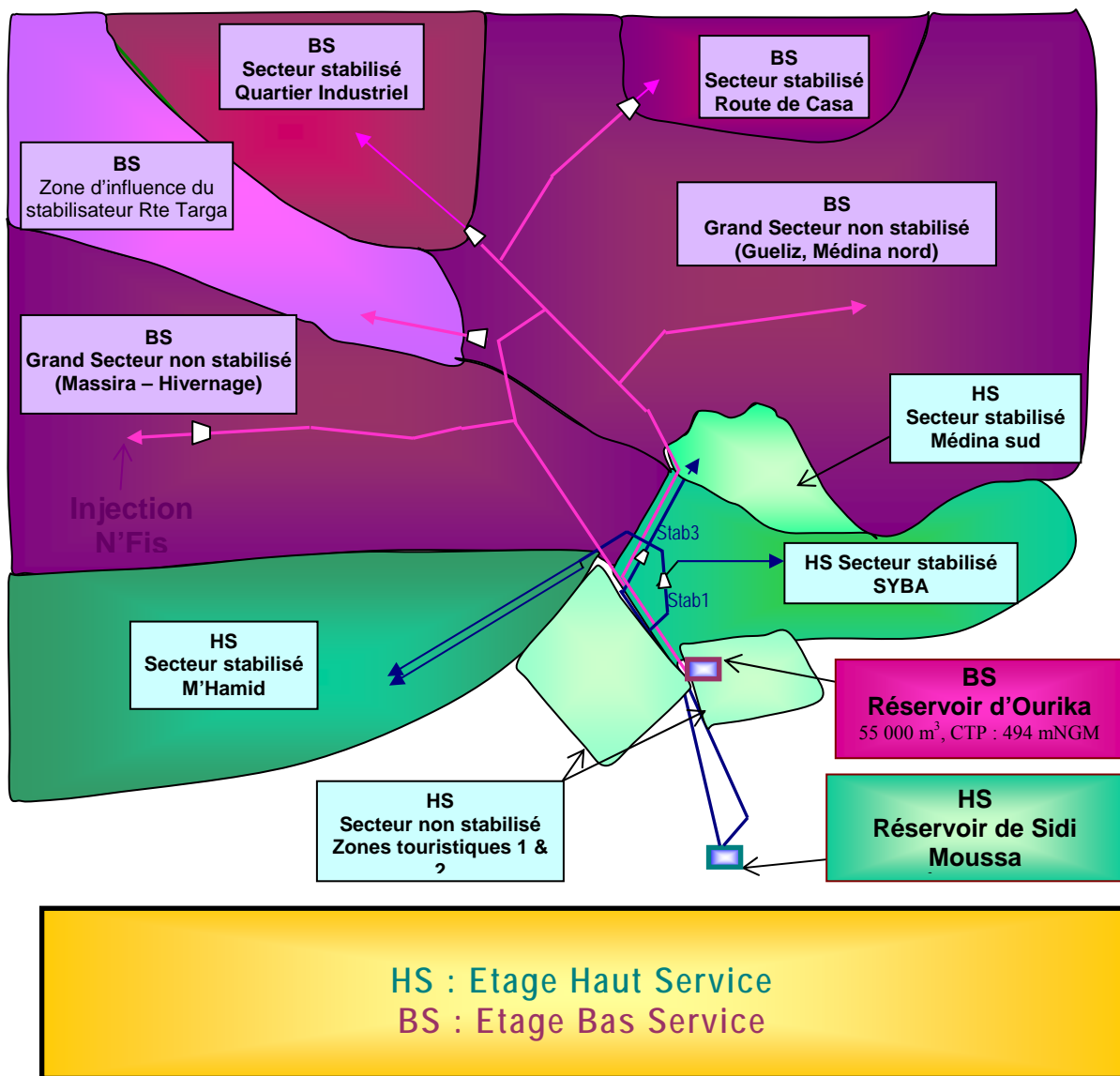


Figure 4: Schéma synoptique de situation des étages de distribution et de leurs secteurs

#

#

#1#

Le tableau suivant donne le principe de numérotation des nœuds de chaque secteur et le code de consommation correspondant :

Tableau 4 Numérotation des nœuds et codes consommation des secteurs

Secteurs	Numéros de nœuds	Code de consommation
Zone touristique HS alimentée par la DN 800 AC	0 à 999	ZT1
Zone touristique HS alimentée par la DN 800 BP	0 à 999	ZT
M'Hamid	1 000 à 1 999	MH
Sidi Youssef Ben Ali	2 000 à 2 999	SB
Médina Sud	3 000 à 3 999	MS
Massira – Hivernage	4 000 à 4 999	BS
Route de Targa	5 000 à 5 999	BS
Zone Industrielle route de Safi	6 000 à 6 999	ZI
Route de Casablanca	7 000 à 7 999	RC
Guéliz – Daoudiate – Assif	8 000 à 8 999	BS
Médina Nord	9 000 à 9 056	BS
Route de Fès	9 057 à 9 999	RF

Dans le modèle, nous avons distingué les nœuds de consommation, auxquels les débits calculés ci-après et les codes de consommations ci-dessus ont été affectés, des nœuds géométriques imposés par la topologie du réseau présentant des consommations nulles et affectés d'un code de consommation NL (nœuds de liaison).

1.2.2 Saisie du réseau dans PICCOLO

Les nœuds ont été digitalisés à l'écran en utilisant un fond de plan géo-référencé, ce qui permet d'avoir automatiquement ses coordonnées X et Y. Ensuite, les autres caractéristiques des nœuds (altitude et consommation) ont été renseignées manuellement. L'altitude de chaque nœud a été relevée sur les restitutions existantes. Les consommations ont été calculées comme précisé dans le paragraphe ci-dessous.

Les nœuds digitalisés ont été ensuite reliés entre eux par des tuyaux. La longueur de chaque tuyau étant calculée automatiquement par le logiciel, à partir des coordonnées Lambert des nœuds d'extrémité, le diamètre et la rugosité sont saisis « manuellement ».

Le fichier ainsi obtenu constitue le fichier de base PICCOLO.

Il comprend pour chaque nœud :

- Ses coordonnées Lambert,
- Sa cote NGM,
- La consommation moyenne annuelle,
- Le code de consommation (secteur hydraulique délimité lors de la campagne de mesure).

Pour chaque tuyau :

- Sa longueur et son diamètre nominal,
- Son matériau,
- Sa rugosité.

Les rugosités adoptées dans le modèle sont les suivantes :

- Conduites en amiante ciment de petit diamètre (AC) : 0,5 mm
- Conduites en amiante ciment de grand diamètre (ACGD) : 0,1 mm
- Conduites en béton précontraint (BP) : 0,5 mm
- Conduites en PVC (PVC) : 0,1 mm
- Conduites en amiante en polyéthylène (PEHD) : 0,1 mm
- Conduites en fonte grise (FG) : 1 mm
- Conduites en fonte ductile (FD) : 0,5 mm

Ces rugosités tiennent compte aussi des pertes de charge singulières dans le réseau.

C'est ce fichier qu'il s'agira de caler par rapport aux séries de mesures sur le terrain.

1.3 Actualisation du réseau

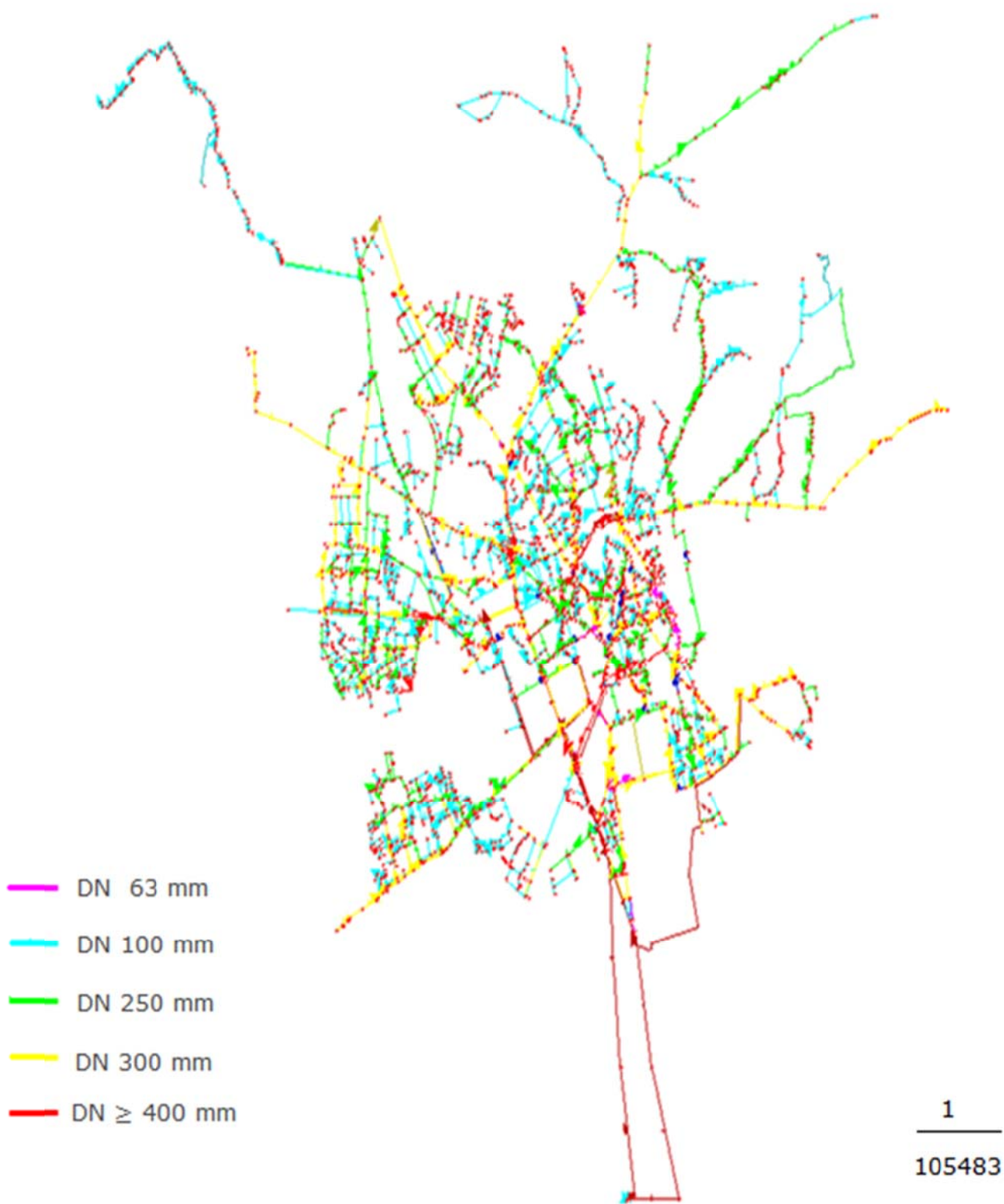


Figure 5: Model existant du réseau de la ville de Marrakech

Le model existant construit en 2007 (Figure 5) ci-dessus, contient des paramètres anciens c'est pour cela qu'il a fallu l'actualiser. Cette étape est très importante afin de mettre en évidence les modifications qu'a subit le réseau au court de ces dernières années ; renouvellement des conduites, nouveau raccordement, condamnation de parties du réseau d'effectuées et l'actualisation des données d'entrée.

En raison de la courte période de notre stage, nous nous sommes limités juste à l'actualisation des Feeders (les conduits de diamètre nominale supérieur a 400mm) et donc toutes les conduites de DN inferieur a 400 ainsi que les autres composantes (les nœuds, les vannes ...) n'ont pas été étudié.

Cette étape consiste à travailler dans un premier lieu sur le logiciel **AUTOCAD** afin d'extraire le réseau Feeders afin d'avoir une vue générale du réseau.

Ensuite, nous avons ouvert le fichier de l'ancien modèle du réseau sur **PICCOLO** pour y effectuer les modifications nécessaire :

Dessin de nouvelles conduites, raccordements, nœuds, vannes ..., du à la construction de nouveaux lotissements et donc l'augmentation des abonnés. Pour ce faire il nous a fallu avoir recours aux coordonnées géo spatiales et ensuite entrer les caractéristiques de chaque composante :

- Pour les arcs : Diamètre nominal, rugosité, linéaire, la côte...
- Pour les nœuds : Côte, consommation...
- Et l'état des vannes : fermées ou ouvertes.

La figure 5 ci-dessous indique le model du réseau de la ville de Marrakech avant et après l'actualisation

Une fois le travail sur support électronique achevé, nous sommes passés aux mesures réelles sur terrain. Cette étapes se base sur l'insertion des appareils mesures pendant environ 24h dans les différents points de mesure préexistant ; débitmètres sur les arcs pour avoir les débits et manomètres sur les nœuds pour avoir les pressions ; les valeurs du débit ainsi que celles de pression sont récoltés avec un pas d'une heure.

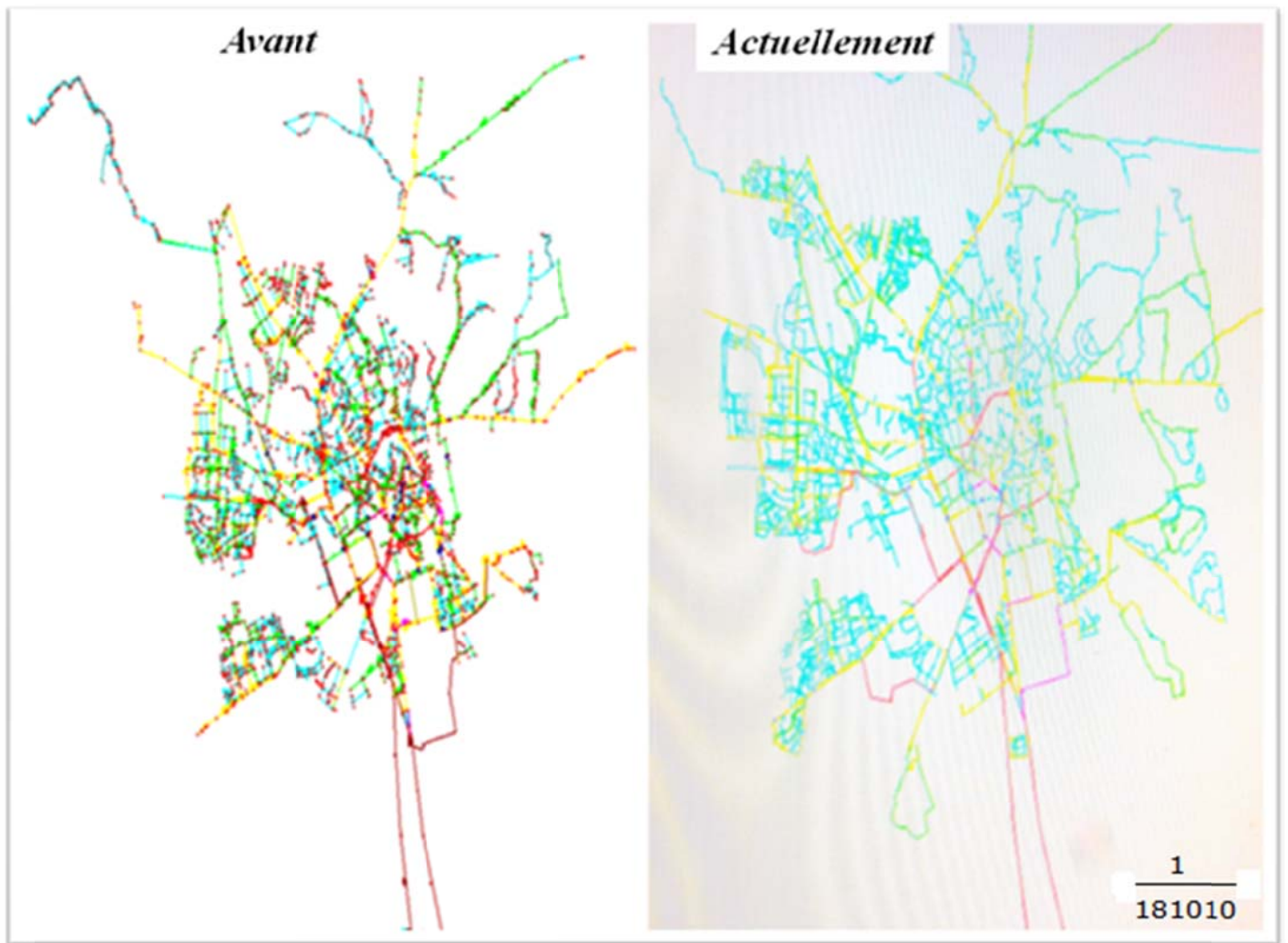


Figure 6 : Model du réseau de la ville de Marrakech avant et après l'actualisation

Le tableau suivant présente le diamètre des conduites après actualisation du réseau :

Tableau 5 actualisation du réseau

Diamètre des conduites en mm	Le linéaire des conduites avant actualisation	Le linéaire des conduites après actualisation	Le linéaire ajouté
Compris entre 63 et 350	1467 Km	1867 m	400 Km
Compris entre 400 et 1200 (feeders)	224 Km	300 Km	76 Km
Total	1691 Km	2167 Km	476 Km

Le tableau suivant donne le volume de consommation après actualisation du réseau :

Tableau 6 actualisation des consommations du réseau

Etage	<i>Consommation avant l'actualisation</i>	<i>Consommation après l'actualisation</i>
<i>Bas service</i>	673	744
<i>Haut service</i>	313	356
Total	986	1100

1.4 Affectation des consommations :

L'actualisation du réseau a aussi touché à la modification des valeurs des consommations (vu que celle préexistantes datent de 2007). Tous les maillages éliminés contiennent des volumes d'eau desservis des réservoirs qui devraient à la base entrer dans les calculs des consommations afin de bien calculer le rendement du réseau, et donc pour cela nous sommes obligé à affecter ces quantités d'eau non comptabilisé au nœud du Feeder le plus proche du maillage.

NB : le but de cette procédure est de trouver à la fin que les volumes d'eau tirés du réservoir correspondent en quelques sortes aux volumes circulant dans l'ensemble des Feeders et donc d'avoir des calculs cohérents lors de notre simulation sous « piccolo ».

1.5 Affectation des débits aux nœuds

Pour l'affectation des débits aux nœuds, nous avons utilisé la méthode des zones nodales, en définissant la zone d'influence de chaque nœud par la méthode des médianes et en lui affectant les consommations comprises dans cette zone.

Lors de cette affectation nous avons distingué les consommateurs diffus, des gros consommateurs. Les consommations exploitées sont celles de 2012 classées par secteur de relève et par catégorie de consommateurs (localités selon la désignation de la RADEEMA). L'avantage de l'exploitation de ces données, c'est qu'elles permettent la spatialisation de la consommation et la distinction entre la consommation diffuse et celle des gros consommateurs.

Au préalable, un plan de délimitation des secteurs de relève a été reconstitué et vérifié avec les responsables de la RADEEMA. Ce plan a été superposé avec celui du réseau modélisé pour définir la zone d'influence de chaque nœud. Par la suite, la consommation de chacun des secteurs a été affectée aux différents nœuds au prorata de la surface.

Les gros consommateurs ont été définis, selon les critères du tableau ci-dessous, et localisés sur plan en collaboration avec les équipes de la RADEEMA. Leurs consommations ont été extraites des fichiers des abonnés. La consommation de chaque unité a été affectée au nœud réel de consommation.

Tableau 7 Gros consommateurs et consommateurs diffus

Catégories de consommateurs	Consommateurs localisés	Consommateurs diffus
10 A (Particuliers à usage domestique)	Plus de 10 000 m ³ /an	Le reste
Gratuité (Personnel de la RADEEMA)	-	Tous
Gros compteurs particuliers)	Tous	-
14 A (Bains Maures)	Plus de 10 000 m ³ /an	Le reste
GCI (Gros compteurs industriels)	Tous	-
10 Z (Bornes Fontaines)	Plus de 10 000 m ³ /an	Le reste
10 F (équipements administratifs)	Plus de 10 000 m ³ /an	Le reste
10 K (Bouches d'arrosage)	Plus de 10 000 m ³ /an	Le reste
10 L (Collectivités locales)		Tous
10 O (Offices)		Tous
Locaux de la Régie	Tous	
GCA (Gros compteurs administratifs)	Tous	

En définitif, tous les abonnés disposant de gros compteurs ont été considérés comme gros consommateurs et leurs consommations ont été affectées directement aux nœuds de consommation. Pour les abonnés disposant de compteurs petit calibre, nous avons distingué ceux qui consomment plus de 10.000 m³/an et qui ont été considérés comme des gros consommateurs (affectation directe aux nœuds) de ceux qui consomment moins de ce seuil, dont la consommation a été considérée comme diffuse.

Le seuil de 10.000 m³/an (débit moyen de 0,3 l/s) correspond à la consommation moyenne d'une BF, et également à la moitié de la consommation d'un abonné disposant de gros compteur.

Les tableaux de répartition nodale et de calcul des débits aux nœuds sont joints en annexe.

2. La distribution des pressions dans le réseau Feeder

Avant de regarder dans le détail les résultats de cette simulation, rappelons brièvement les caractéristiques générales du réseau et son fonctionnement global. Comme illustré dans la figure 7 ci-dessous, la ville est soumise à une forte dénivellation impliquant un fonctionnement de la distribution sur 2 zones.

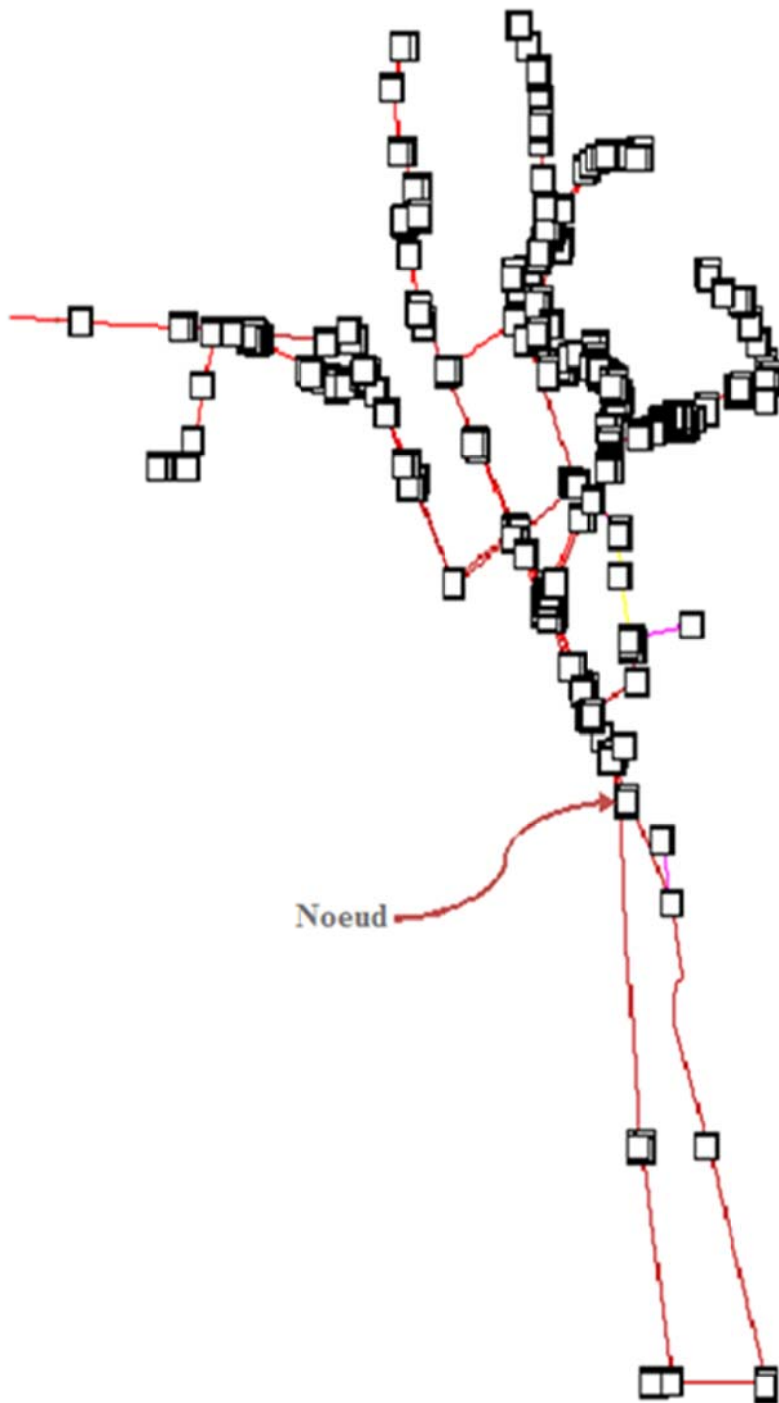


Figure 7: LA DISTRIBUTION DES PRESSION SUR LES NŒUD DU RESEAU FEEDER

Les réservoirs de la ville se répartissent donc l'alimentation en eau potable est assurée sur 2 étages :

- ✓ Un étage Haut Service (HS) au sud,
- ✓ Un étage Bas Service (BS) au nord,

Ces étages sont eux mêmes subdivisés en différents secteurs plus ou moins indépendants.

La figure 8 ci-après présente ces 2 étages de distribution du réseau AEP.

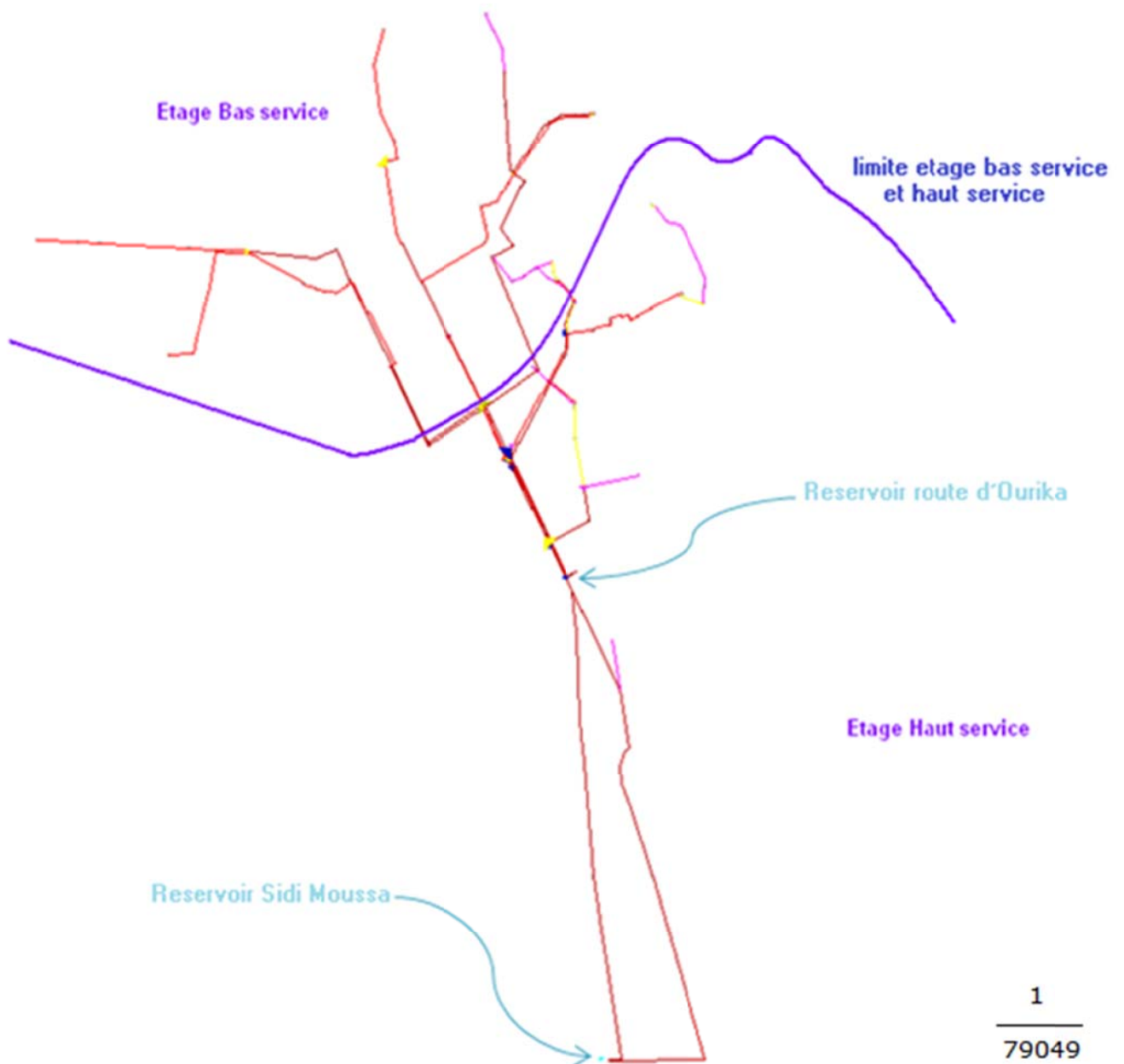


Figure 8: Localisation des étages de distribution

- **L'étage Haut Service** est alimenté par deux réservoirs localisés au sud de Marrakech sur le site de l'ONEP.
 - o Le réservoir 1 contribue à l'alimentation de l'étage Haut Service à hauteur de 62% des apports, à l'exception d'une partie de la zone touristique (ZT2) qui ne reçoit pas d'eau de ce réservoir.
 - o Le complément pour l'étage Haut Service est apporté par le réservoir 2 : 100% pour ZT2 non alimentée par le réservoir 1 et 38,4% pour le reste.
- **L'étage Bas Service**, quand à lui, est alimenté à 100 % par le 3ème réservoir situé dans la zone touristique.

Les principales caractéristiques des deux étages de distribution sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 8 Etages de distribution

Réservoir	Capacité du Réservoir	Etage de distribution	Sectorisation
Réservoir d'Ourika (CR : 490 m NGM, CTP : 494 m NGM)	55 000 m ³	BAS SERVICE (BS)	- Secteur non stabilisé : Massira - Hivernage, Guéliz - Medina Nord, - Secteur stabilisé Zone Industrielle - Secteur stabilisé Route de Casablanca - Secteur stabilisé Route de Targa
Réservoir de Sidi Moussa (CR : 549 m NGM, CTP : 554 m NGM)	50000 m ³	HAUT SERVICE (HS)	- Secteur Zone touristique 1 et 2 - Secteur stabilisé SYBA (Sidi Youssef Ben Ali) - Secteur stabilisé M'Hamid - Secteur stabilisé Médina Sud

3. Campagne de mesures hydrauliques

3.1 Appareils de mesures

Les moyens matériels utilisés lors de cette campagne de mesure sont :

- débitmètres à ultrasons à sondes externes
- débitmètres électromagnétiques à insertion de type Aquaprobe et Hydrins
- manomètres enregistreurs de type Metrolog, Loggermate II, Cello et Multilog
- manomètres à bain d'huile
- hydrosol pour l'écoute des vannes
- Matériel nécessaire à l'installation des appareils (raccords, batteries, outils etc....)
- PC pour le téléchargement et l'exploitation des données

3.2 Présentation de la campagne de mesure

Les points de mesures de débit et de pression ont été judicieusement choisis pour refléter l'état de fonctionnement du réseau. Ces points sont répartis comme suit :

Tableau 9 Les point de mesure dans les deux étages

Étage	Nb. De points de mesure	
	de débit	de pression
Haut Service	8	4
Bas Service	1	5

La figure 9 ci-dessous présente Les points de Mesure de débit :

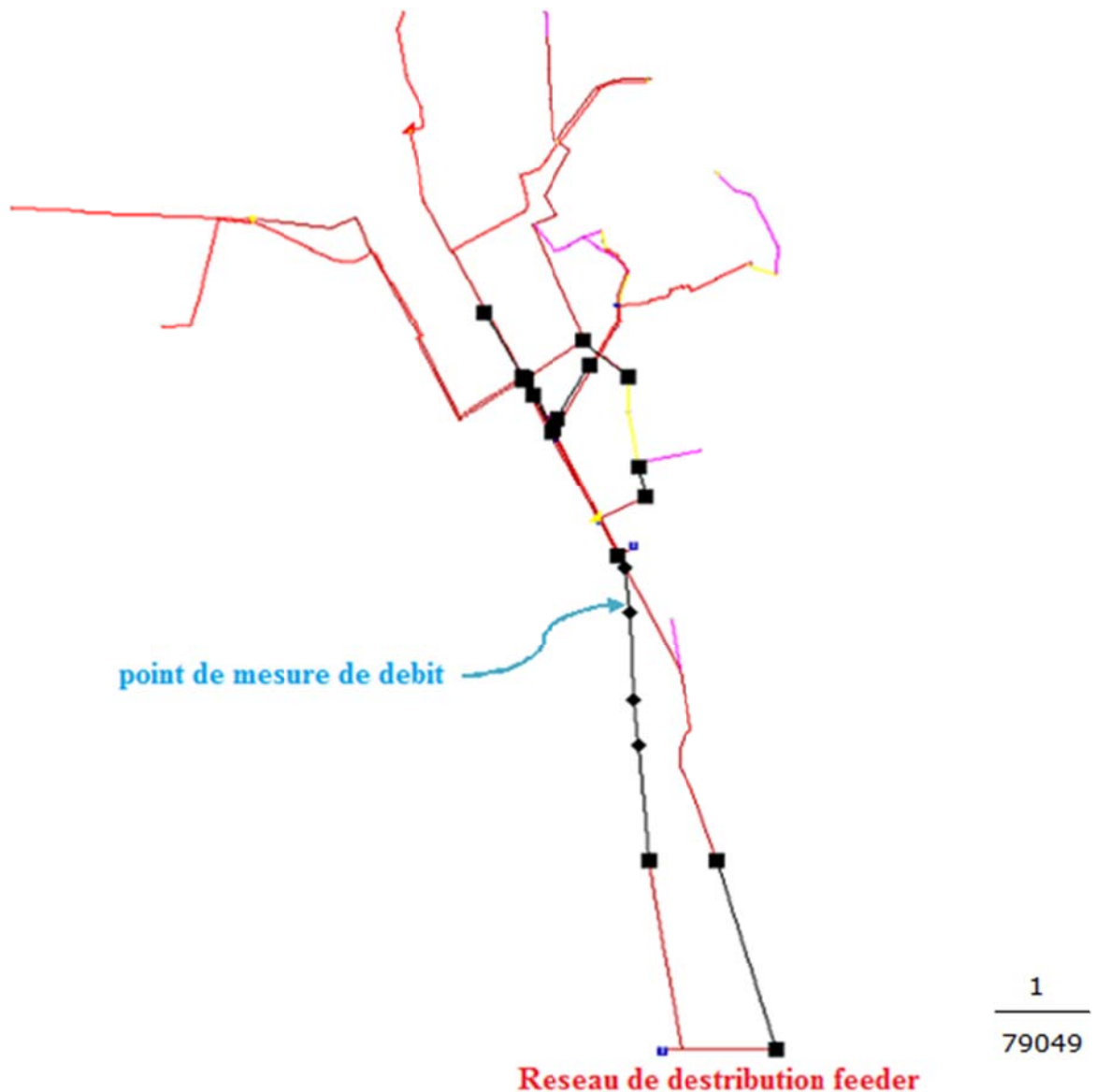


Figure 9 : Les points de Mesure de débit

Les enregistrements des mesures ont effectués en continu sur une période de 24 heures avec un pas de temps d'une heure.

Les mesures de débit et de pression sur l'étage Bas Service ont été effectuées en deux étapes, une première étape pour les secteurs stabilisés, l'autre pour le grand secteur non stabilisé.

Les mesures de débit et pression de l'étage Haut Service ont été effectuées en une seule étape.

Chaque campagne de mesure consiste en l'enregistrement en continu sur une période de 24 h :

- Des débits injectés dans chacun des secteurs,

- Des pressions en plusieurs points remarquables du réseau,
- De la fluctuation des niveaux des réservoirs.

L'intérêt d'effectuer la mesure sur cette période est de pouvoir observer la réponse du réseau aux différentes sollicitations auxquelles il est soumis au cours d'une journée : heures creuses de la nuit, pointe la demi journée ou de la soirée, etc.

Les enregistrements de débit et de pression permettent d'établir les courbes de demande en eau des différentes zones de la ville et de comparer l'évolution des pressions calculées par le modèle mathématique avec celles effectivement mesurées sur le terrain.

Ils permettent aussi d'identifier les secteurs présentant des valeurs anormales de pression et de débit nocturne, et peuvent donc servir d'élément de décision à la programmation d'interventions curatives ou préventives sur le réseau.

3.2.1 Mesures de débit et pression de l'étage HS

Les mesures de débit ont été effectuées à la sortie des réservoirs et aux entrées des secteurs afin d'enregistrer les débits mis en distribution. Les mesures ont été effectuées de deux manières :

- Mesure directe avec un débitmètre, ou par relevé de compteur,
- Mesure indirecte : calcul par déduction en utilisant les débits mesurés dans l'étage et ceux mesurés dans les autres secteurs.

Lors de cette campagne, les débitmètres ont été disposés soit dans des regards si les conditions nécessaires de pose pouvaient être respectées, soit dans des tranchées spécialement exécutées pour les mesures.

Les courbes de débit et pression présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau 10 Caractéristiques des courbes des débits de l'étage HS

Type de mesure	N° nœud	Secteur Correspondant	Débit (l/s)				
			Minimum		Maximum		Moyenne
Directe	3903	Sortie de réservoir	350	3h30	660	12h20	505
	3905		20	3h20	60	13h15	40
	3630	SYBA	125	3h15	360	12h20	242.5
	3686	Medina	265	1h50	580	12h50	422.5
	3698	M'Hamid	10	2h45	30	14h50	20

Tableau 11 Caractéristiques des courbes de pression de l'étage HS

N° Nœud	Pression (m)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
117	32	62	47
3002	58	69	64.5
3003	20	23	21.5

- Vitesse d'écoulement

Tableau 12 Caractéristiques des vitesses d'écoulement de l'étage HS

Site	DN (mm)	Débit max (m3/h)	Vitesse (m/s)
Sortie du réservoir	800	2312.23	1.35
	800	150.63	1.09
SYBA	400	1194.87	2.63
Medina	500	1045.79	1.55
M'Hamid	400	680.98	1.43

3.2.2 Mesures de débit et pression de l'étage BS

Les courbes de débit et pression présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau 13 caractéristiques des courbes des débits de l'étage BS

N° Nœud	Débit (l /s)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
2228	60	130	95

Tableau 14 caractéristiques des courbes de pression de l'étage BS

N° Nœud	Pression (m)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
3211	22	34	23
4328	25	40	31.5
9000	3	32	17.5

- Vitesse d'écoulement

Tableau 15 Caractéristiques des vitesses d'écoulement de l'étage BS

Site	DN (mm)	Débit max (m3/h)	Vitesse (m/s)
Hivernage	300	74,8	0,30
Massira & Hivernage	500	1363,83	1,8
Hivernage2	500	492,2	0,65
Massira	600	908,17	0,81

CHAPITRE II : CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE

Introduction

Le calage du modèle a consisté à faire des ajustements sur les données de base du modèle mathématique préétabli de telle sorte à obtenir, après calcul, des valeurs de débit et pression les plus proches possible de celles mesurées sur le terrain.

Etant donné que le réseau Feeder de Marrakech se présente sous forme d'étages et secteurs formant chacune une unité hydraulique indépendante des autres, les campagnes de mesure et le calage du réseau ont été menés séparément pour chaque secteur, puis par étage.

Les mesures ont été réalisées avec des pas de temps d'une heure pour les pressions, les débits et les niveaux d'eau dans les réservoirs. Pour les besoins du calage les séries des mesures obtenues ont été transformées en valeurs horaires, après lissage des courbes par élimination des valeurs incohérentes, dues à des fluctuations instantanées trop importantes des mesures suite à des perturbations des appareils. Ceci a permis de faire un calage dynamique du modèle de réseau avec des pas de temps d'une heure, soient 24 périodes par jour.

1 Critères et principes de calage

Le calage d'un modèle doit commencer impérativement par un calage en débit. Ce n'est qu'une fois que le modèle est "quasiment" calé en débit que l'on pourra travailler sur le calage des pressions et des niveaux des réservoirs, les pressions étant bien entendu liées au plan piézométrique des réservoirs modélisés, et aux consignes des stabilisateurs de pressions.

Le calage dynamique en débit se fait par le moyen des consommations nominales des nœuds affectées par :

- un coefficient de consommation qui traduit les pertes et l'ensemble de l'eau non comptabilisée (fuites, branchements clandestins, compteurs cassés...) et qui permet de rapporter les consommations de la date de base des données utilisées au niveau de la consommation à la date de réalisation de la campagne de mesure,
- des coefficients horaires représentant la modulation de la consommation au cours de la journée.

Afin de maîtriser la répartition des débits entre quartiers et d'effectuer avec efficacité le calage du réseau, chaque étage a été découpé en secteurs isolés, dont les débits entrants et sortants ont été mesurés. Chaque secteur correspond à un ou plusieurs quartiers qui se comportent de la même façon (groupe de consommateurs). Un secteur est caractérisé par un coefficient de consommation et par une série de 24 coefficients dynamiques.

Conformément aux termes de références, le réseau est supposé calé quand l'écart entre les mesures et les calculs est inférieur ou égal à 10 % pour les débits et à 1bar pour les pressions.

Il peut arriver quelquefois que les résultats du calage ne soient pas satisfaisants. Dans ce cas plusieurs raisons sont possibles :

- la répartition des débits aux nœuds n'est pas parfaite,
- des vannes faisant office de frontières avec d'autres réseaux n'ont pas été détectées lors de la phase d'investigation,
- des maillages, vannes fermées ou tiercées au sein même du réseau modélisé sont inconnus.

Dans ce cas, les anomalies sont recherchées et traitées successivement jusqu'à l'obtention de résultats de calage satisfaisants.

2. Calage du modèle de l'étage haut service

2.1 Calage des débits de l'étage haut service

Les consommations nominales et mesurées par secteur sont les suivantes :

Tableau 16 Consommations nominales et mesurées par secteur Haut Service

Secteurs	Consommations nominales (l/s)	Code de consommation	Coefficient de consommation (l/s)
Zone touristique 1	7	ZT1	2,22
Zone touristique 2	5	ZT	12,28
Sidi Youssef Ben Ali	128	SB	1,29
Mhamid	72	MH	1,51
Medina Sud	144	MS	1,68
Total	356	-----	1,60

Les courbes de calage des débits à l'entrée de l'étage haut service et des secteurs stabilisés sont les suivantes :

La conduite DN 800 BP n'alimente qu'une partie de la zone touristique, le débit véhiculé et la vitesse d'écoulement sont très faibles et risquent de conduire à des dépôts dans ce tuyau. Il est recommandé d'interconnecter ces deux conduites pour un meilleur fonctionnement.

Egalement, il est à souligner que le débit de nuit enregistré au niveau sur la DN 800 AC reste très élevé : environ 334 l/s, soit 69% du débit moyen journalier mesuré (481 l/s).

Le débit de nuit observé est en très grande partie soutiré par les secteurs Médina et SYBA (voir courbes ci-dessous).

La pointe de consommation est observée entre 13 h et 14 heures. Les plus faibles débits sont notés entre 3 et 4 heures du matin. Donc c'est un calage parfait.

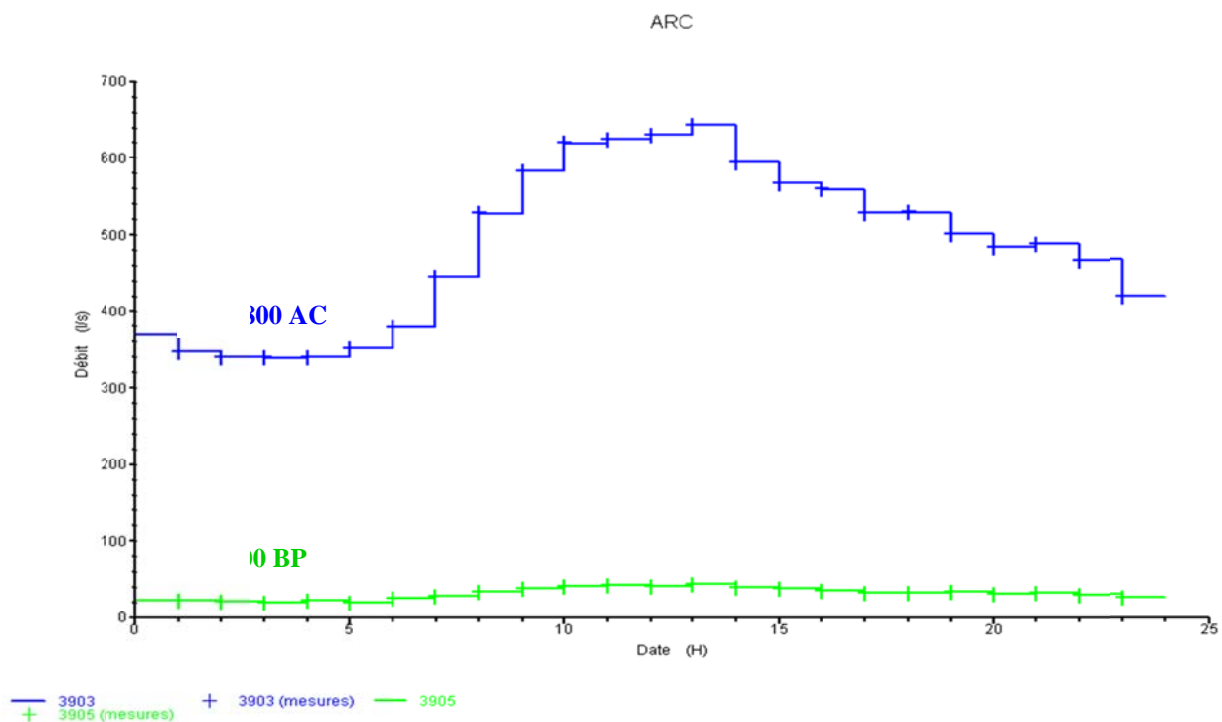


Figure 10 Calage du débit des conduites principales DN 800 à la sortie du réservoir de l'étage haut service

Les courbes des mesures et des résultats de calculs de débit nous donnent un calage parfait en débit durant toute la période (voir courbes ci-dessous).

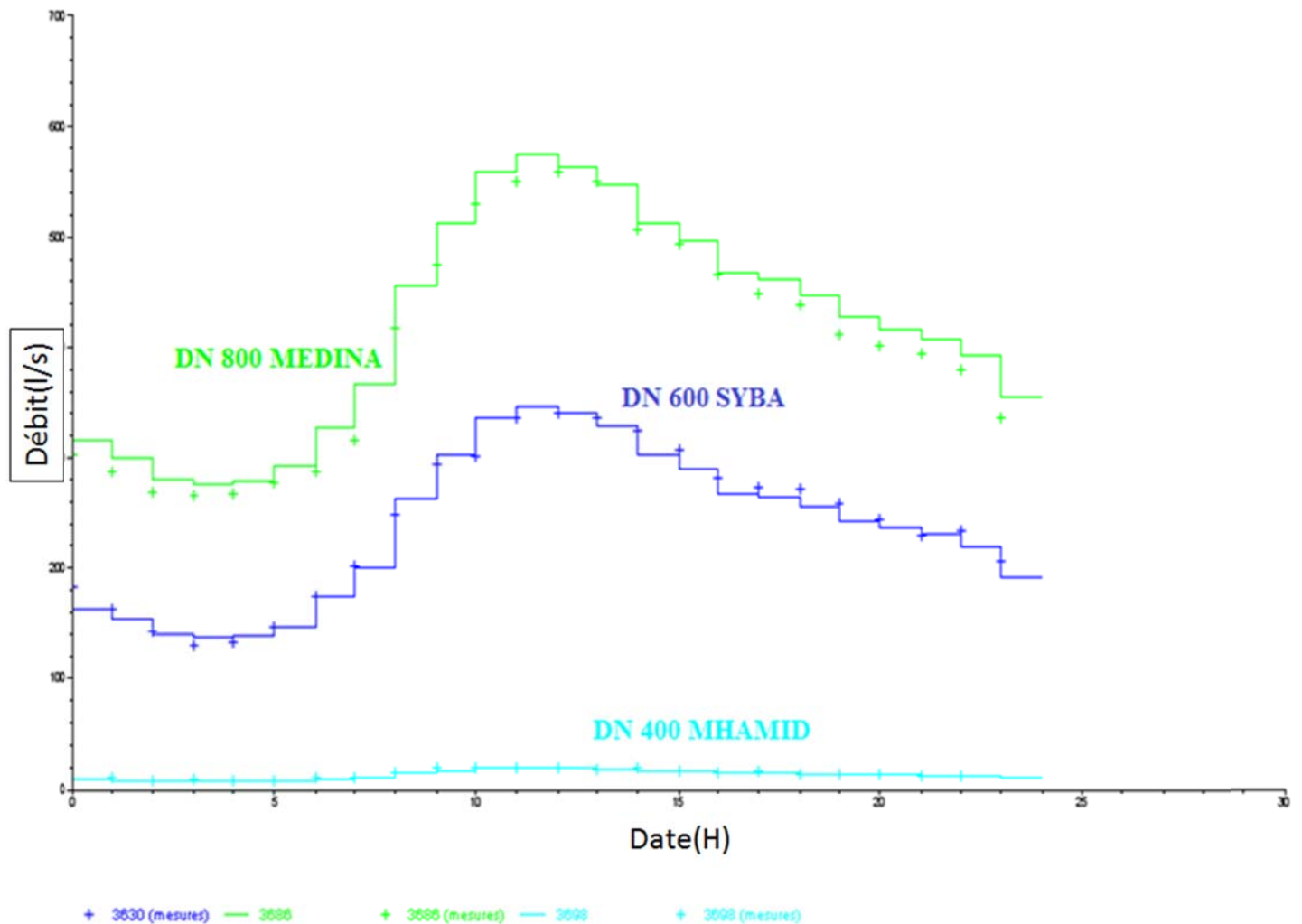


Figure 11 Calage du débit du reste des conduites principales de l'étage haut service SB et MS et MH
2.2 Calage des pressions de l'étage haut service

Les résultats du calage des pressions au niveau des nœuds sont présentés dans les figures ci-jointes (sous forme de charge), avec les commentaires nécessaires. Les données de correspondance entre les points de mesure et les éléments du modèle sont synthétisées, par secteur hydraulique, dans les tableaux joints en annexe.

Les courbes de pressions (piézométries) calculées au niveau de tous les nœuds se superposent avec celles mesurées. Les écarts de pression entre les mesures et les calculs varient de 0 à 5 m, ce qui permet de répondre aux exigences du marché.

HAUT SERVICE NON STABILISE :

Vu les faibles débits enregistrés dans la zone touristique, la charge qui y est relevée est celle de la DN 800 AC au droit du point de raccordement.

Or, une perte de charge importante est observée entre la DN 800 AC et l'amont des stabilisateurs SYBA et Medina (plus de 10 m sur un faible linéaire).

Une deuxième visite sur terrain nous a aidé à vérifier et détecter les problèmes existants et en plus nous avons trouvé que l'introduction des vannes tiercées sur les conduites en amont des stabilisateurs de SYBA et Médina est une solution adéquate, on a refait les mesures et nous avons introduit les données dans piccolo, suivie par le lancement de la simulation et on obtient par la suite des courbes de calage parfait, comme présenté ci-dessus.

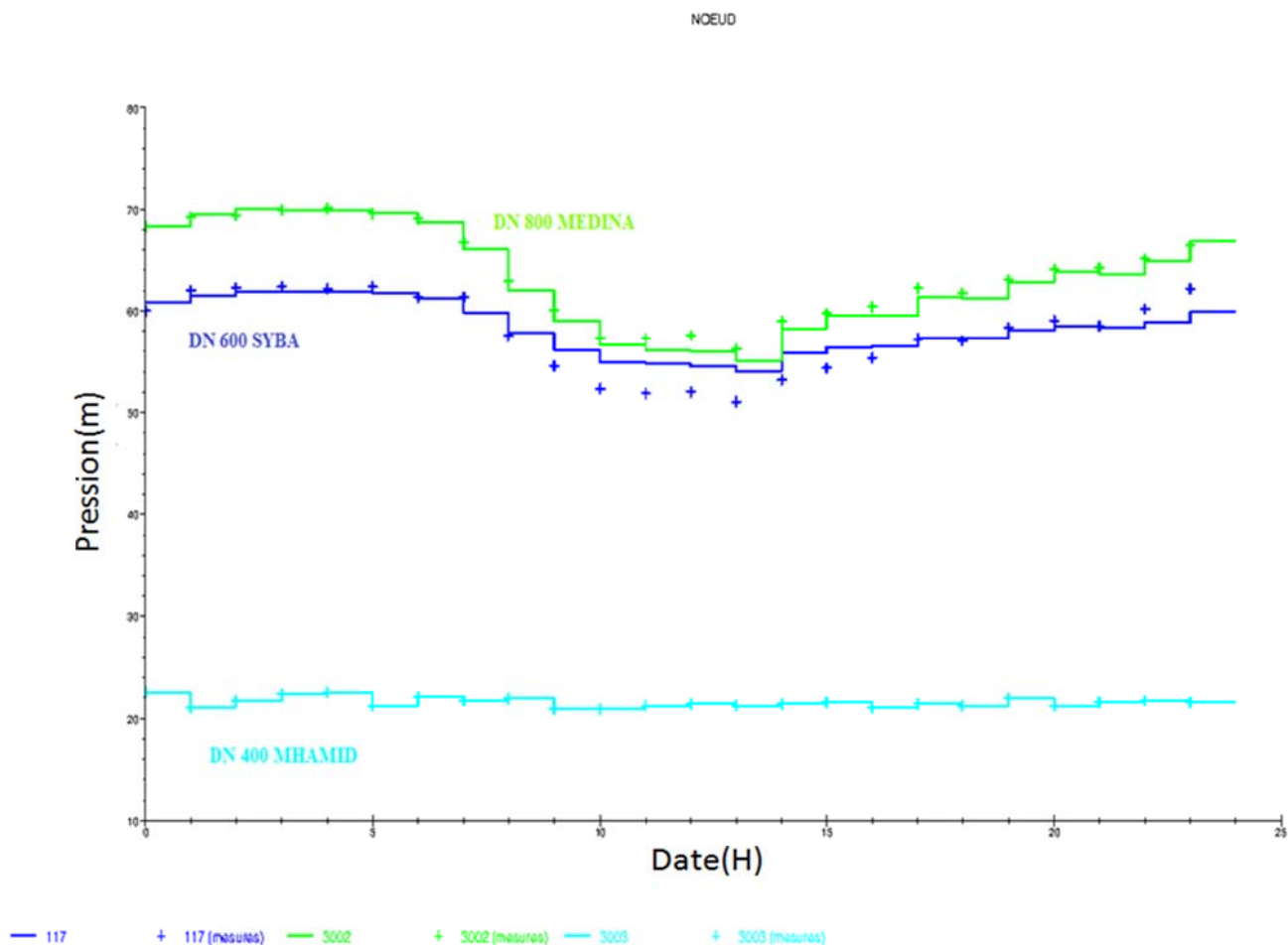


Figure 12 Calage des charges (pressions) du secteur haut service non stabilisé

SECTEUR SYBA :

- ✓ Manomètre HM 3 en aval du stabilisateur de SYBA : Calage parfait. La ligne de charge est relativement stable (autour de 516 m NGM, pression de consigne de 3,4 bars).
- ✓ Manomètre HM 7 à Sidi Amara : Calage parfait (l'écart de pression ne dépasse pas 1 m), qui a mis en évidence l'existence d'un maillage entre la DN 400 près des jardins de l'Agdal et la DN 300 vers Sidi Amara, présentant une petite perte de charge singulière.

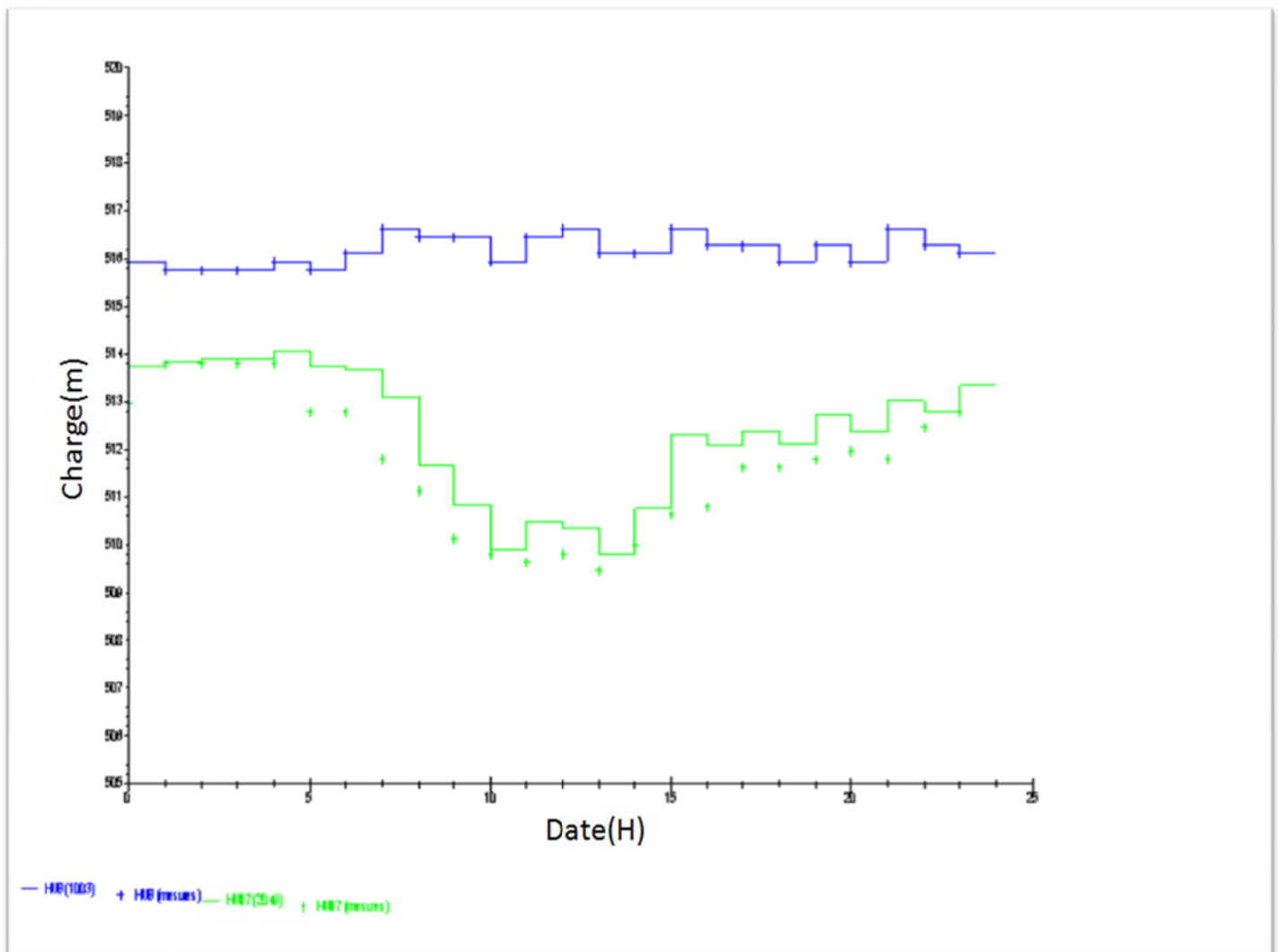


Figure 13 Calage des charges (pressions) du secteur SYBA (HS) ; Manomètres HM 3 et HM 7

✓ Manomètre HM 16 au Mechouar : La courbe montre bien qu'un fort tirage ponctuel durant toute la journée (de 7h à 21 h) engendre une importante perte de charge (plus de 25 m), puisque la conduite d'alimentation est de petit diamètre (DN 300 PVC). On voit bien que pendant la nuit la pression remonte et qu'on coïncide avec celle mesurée, ce qui exclue toute possibilité de fuite. Ce tirage reste sans influence sur le reste du réseau puisque l'ossature y très importante.

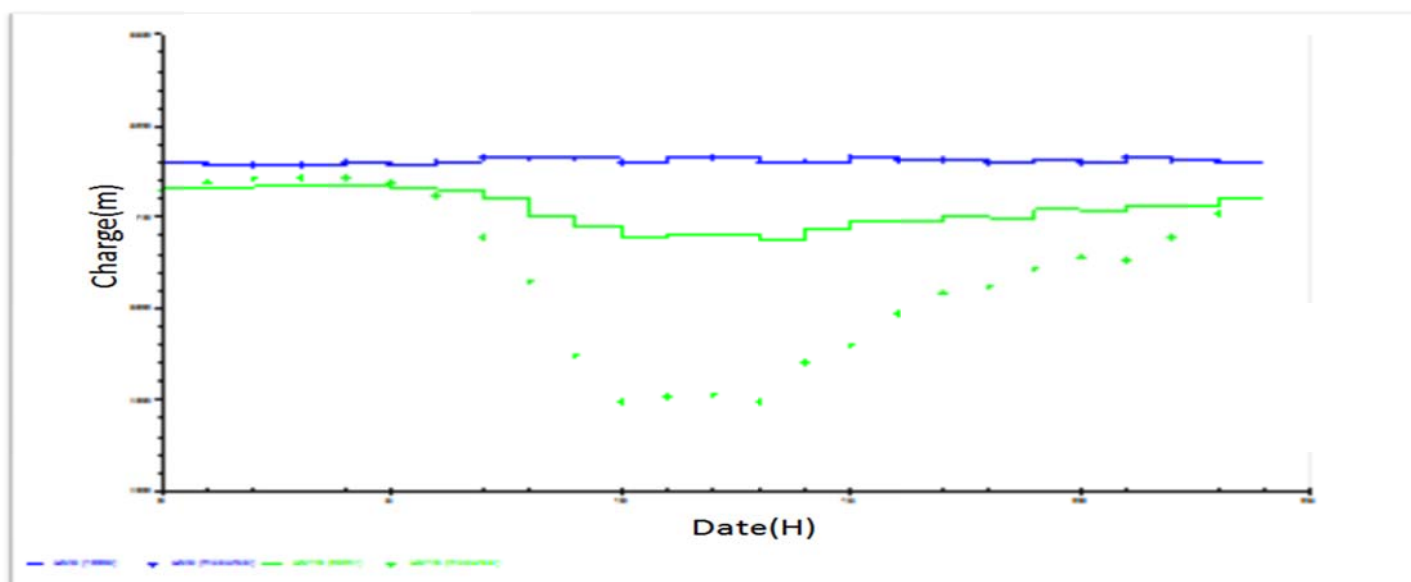


Figure 1 Calage des charges (pressions) du secteur SYBA (HS) ; Manomètre HM 16

➤ Manomètre HM 17 à lotissement RIAD : Calage parfait, l'écart de pression ne dépasse pas 1 bar.

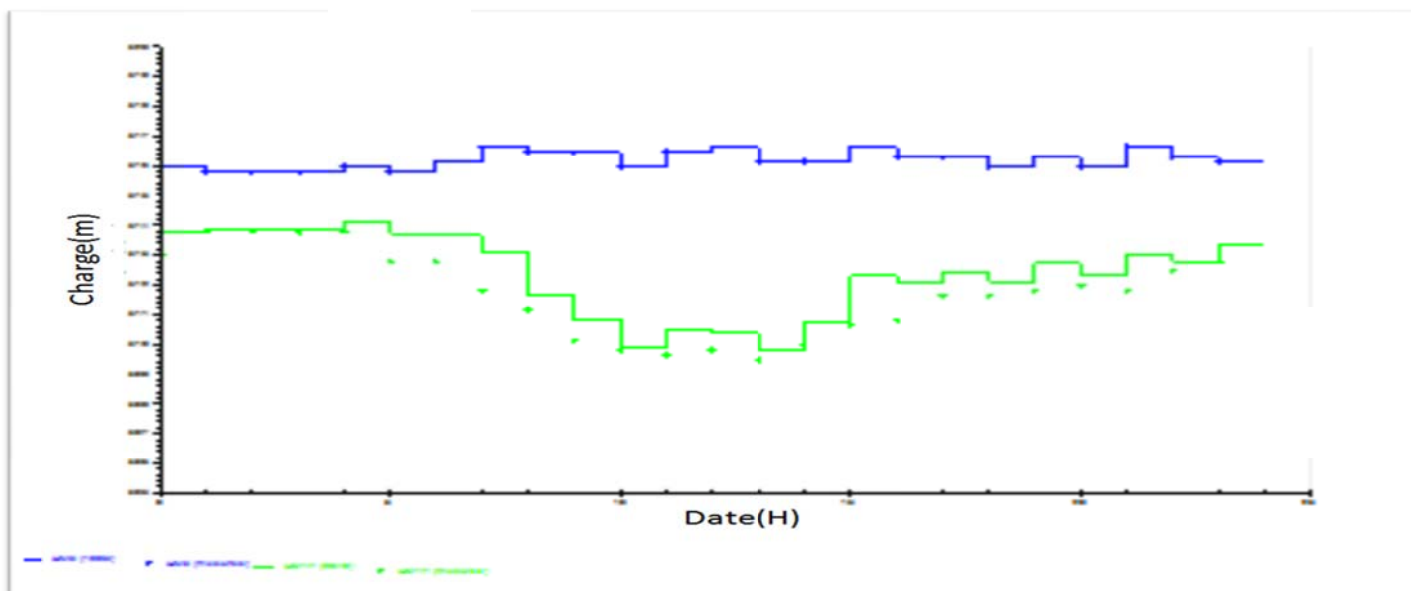


Figure 15 Calage des charges (pressions) du secteur SYBA (HS) ; Manomètre HM 17

3. Calage du modèle de l'étage bas service

3.1 Calage des débits de l'étage bas service

Les consommations nominales et mesurées par secteur sont les suivantes :

Tableau 17 : Consommations nominales et mesurées par secteur Bas Service

Secteurs	Consommations nominales (l/s)	Coefficient de consommation (l/s)	Code de consommation
Bas service non stabilisé	637	1,35	BS
Route de Fès	40	0,79	RF
Route de Casablanca	39	0,97	RC
Zone Industrielle Route de Safi	28	0,98	ZI
Total	744	1,28	

Les courbes de calage des débits à l'entrée de l'étage bas service et des secteurs stabilisés sont les suivantes :

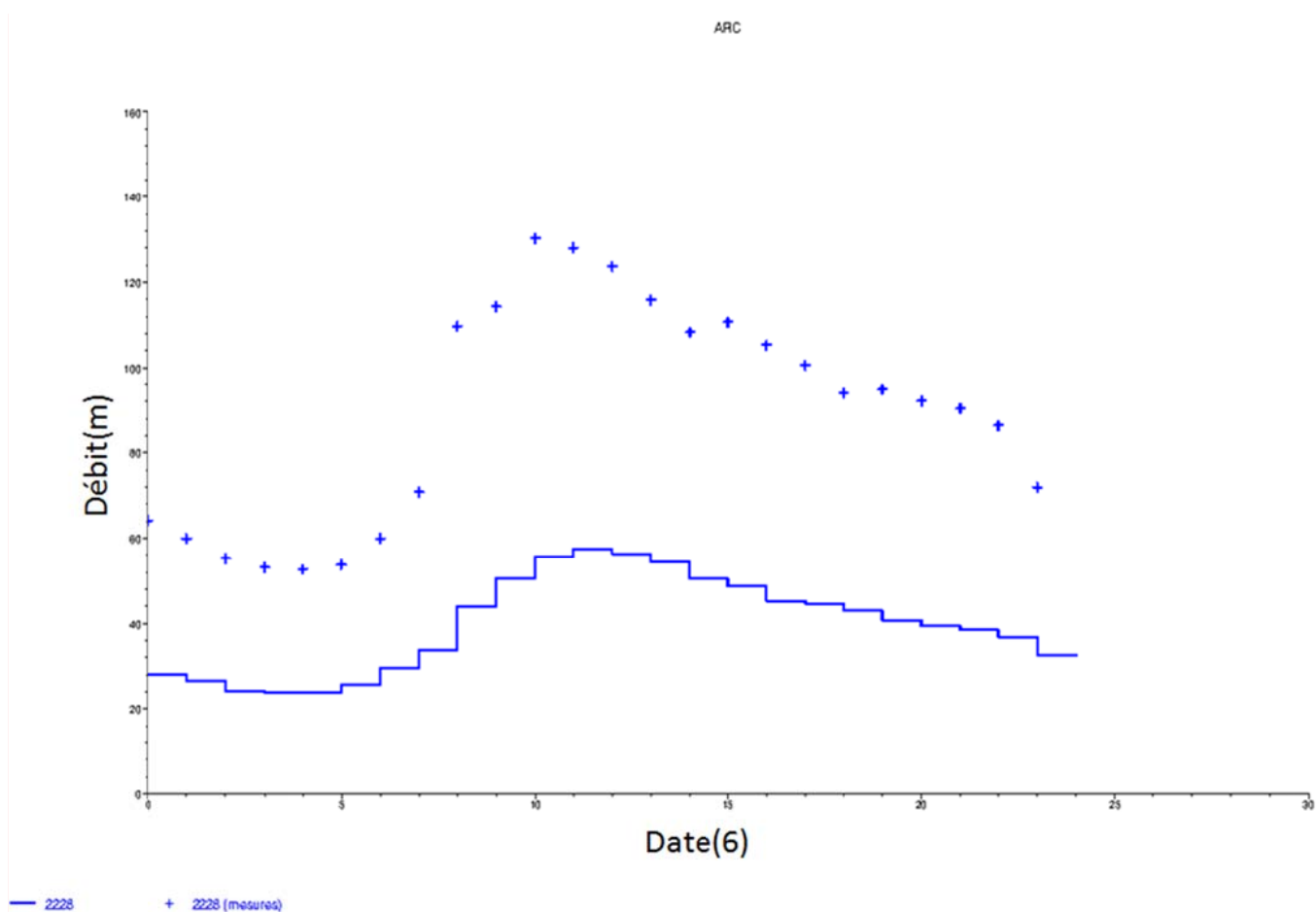


Figure 16 Calage du débit de la conduite DN 600 de l'étage bas service SB

La courbe de mesure sur terrain et les résultats théorique de débit sont non calée dépasse la norme.

Vu que notre période de stage s'est terminé donc nous n'avons pas le temps suffisant pour réaliser le calage c'est pour cela nous avons transporté l'information à la RADEEMA qui va s'occuper de la résolution du problème détecté.

3.2 Calage des pressions de l'étage bas service

Les résultats du calage des pressions au niveau des nœuds sont présentés dans les figures ci-jointes (sous forme de charge), avec les commentaires nécessaires. Les données de correspondance entre les points de mesure et les éléments du modèle sont synthétisées, par secteur hydraulique, dans les tableaux joints en annexe.

Les courbes de pressions calculées au niveau de tous les nœuds se superposent avec celles mesurées. Les écarts de pression entre les mesures et les calculs varient de 0 à 4 m, ce qui peut être considéré acceptable.

SECTEUR BAS SERVICE NON STABILISE

- Manomètres BM 10 (Hivernage, Avenue Med VI, courbe en vert) et Manomètre BM 11 (près de la gare ONCF, courbe en bleu) : Calage parfait (l'écart de pression ne dépasse pas 2 m), qui a mis en évidence l'existence d'une singularité sur la conduite DN 1200 alimentant le secteur bas service en amont de sa bifurcation en DN 800 et DN 1200.

Cette singularité produit une perte de charge importante (plus de 15 m entre le réservoir et ces points), qui ne peut être générée par le réseau en fonctionnement normal. après la vérification on a constaté que le problème était à cause d'une vanne mal ouverte, puisque le problème est corrigé on obtient par la suite des courbes de calage parfait.

- Manomètres BM 5 (Quartier Massira, courbe en bleu ciel) : Calage parfait (l'écart de pression ne dépasse pas 2 m).

La vitesse d'écoulement doit être comprise entre 1 et 3 m/s. Toute vitesse qui sort de cette intervalle est une anomalie, nous remarquons qu'au niveau des zones 'Massira, Hivernage ' la vitesse d'écoulement est faible par rapport a la norme. 'Voir tableau 10 page 56'.

Donc dans ce cas nous avons recommandé d'ajouter un maillage dans ces zones pour renforcer le réseau.

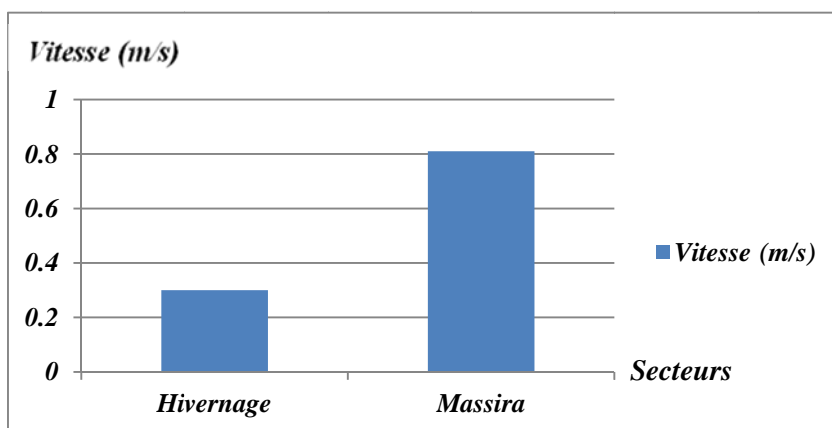


Figure 17 : La variation de la vitesse d'écoulement en fonction des secteurs étudiés

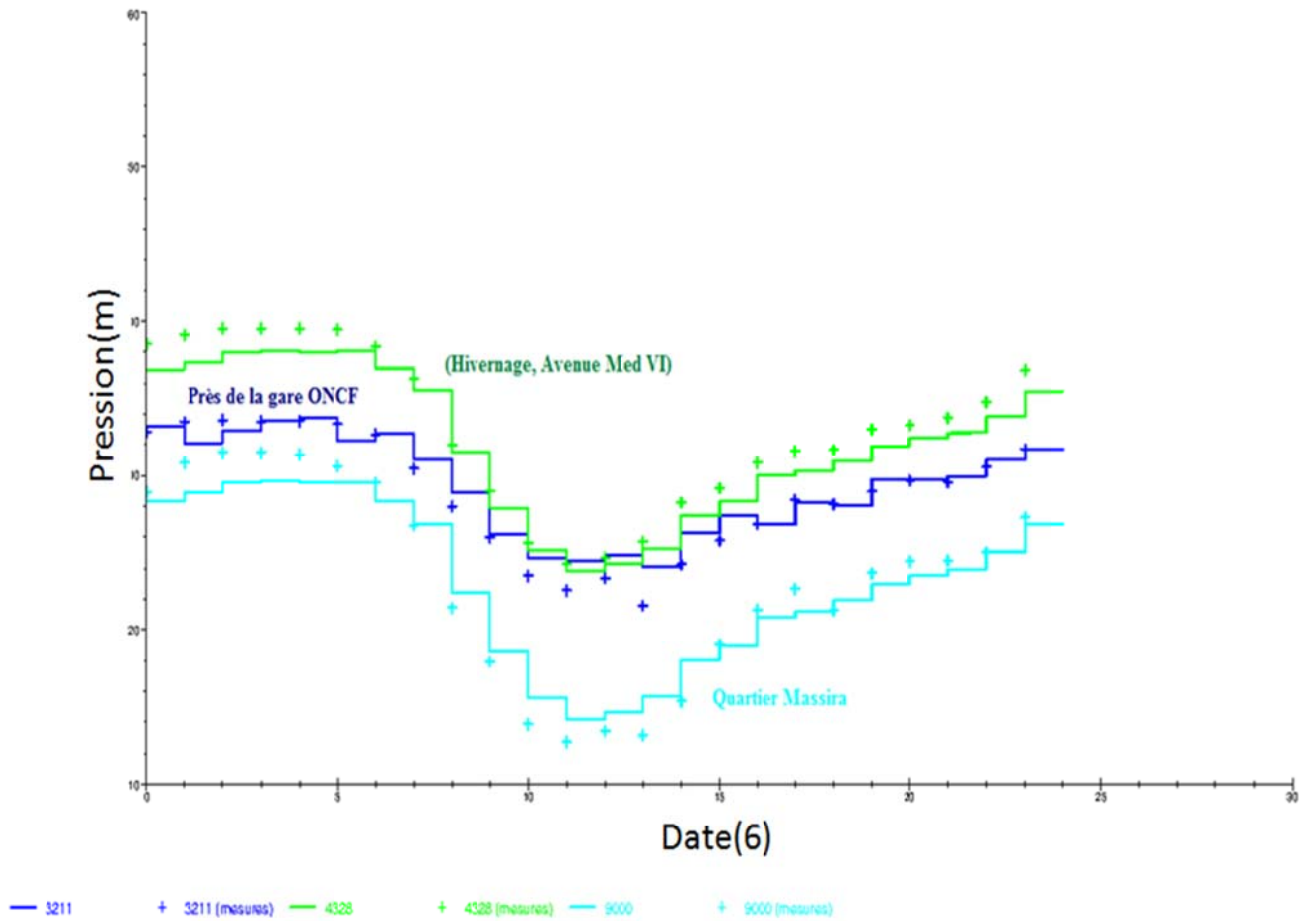


Figure 18 Calage des charges (pressions) du secteur ; Manomètres BM 10 et BM 11 et BM5

NB : pour plus d'information sur le calage du modèle voir l'annexe (Note technique)

Recommandations

Les principales recommandations qui sont retenues sont :

- ☞ Actualisation du Modèle du réseau d'eau potable de la ville de Marrakech « notamment les Feeder)
- ☞ Ajouter des extensions et actualisation des besoins augmentés dans les trois années précédentes.
- ☞ réduire les pertes en eau potable en quelque point :
 - en lançant une campagne de recherche de fuites afin de les localiser et ensuite de les réparer ou de renouveler les conduites trop endommagées ;
 - Changement des compteurs présentant des anomalies (bloqués, cassés ...) et les compteurs âgés ;
 - Installation d'un débitmètre pour le contrôle des eaux livrées par l'ONEP à l'entrée des réservoirs,
 - L'installation des postes de comptages au niveau des poteaux d'incendie afin de contrôler l'eau utilisée par les services de la ville (protection civile, ...)
- ☞ Vérifications périodiques des états (l'étanchéité, degré de fermeture,...) des vannes surtout les vannes de frontières entre les deux étages (HT et BS).
- ☞ Proposer des extensions au niveau d'amélioration de la fonction de réseau d'alimentation d'eau potable de la ville de Marrakech
- ☞ Introduire des systèmes de télégestions ;
- ☞ créations un nouvelle étage intermédiaire ;
- ☞ réalisation des ceintures périphériques pour améliorer la répartition de la pression et assurer une sécurité d'alimentation dans la zone ;
- ☞ Renforcement les réservoirs existant par des nouvelles implantations des réservoirs surtout en nord de la ville ;
- ☞ Réalisation d'un autre réservoir au niveau de Wa7at sidi Brahim.
- ☞ Renforcement du réseau de distribution par :
 - Renforcement de l'ossature principale du réseau qui dessert le secteur M'hamed, pour faire face à des chutes de pression en période de pointe ;

Conclusion Générale

La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau s'explique à la fois par la nature de l'eau qui est corrosive et par la conception du réseau. Ce dernier a été dimensionné pour assurer la défense incendie, ce qui implique un surdimensionnement des conduites entraînant des phénomènes de stagnation d'eau, synonymes de corrosion et de dépôts.

Dans les zones les plus sensibles, celles de massira et des hevernage, le redimensionnement et la mise en place de purges automatiques permettront de distribuer une eau de qualité, convenablement désinfectée

Toutefois, il serait intéressant de reminéraliser l'eau avant sa mise en réseau. Sa mise à l'équilibre calco-carbonique limiterait les problèmes de corrosion et de dépôts.

Le plan de renouvellement proposé permettra de remplacer prioritairement les canalisations les plus détériorées et donc d'éviter au maximum les ruptures, potentiellement génératrices de gros dégâts.

La sectorisation facilitera, par la prise en compte des disparités du réseau, la détection des fuites. Le suivi renforcé des pertes en eau améliorera l'efficacité du réseau.

Les différentes actions proposées permettront d'améliorer la gestion du fonctionnement du réseau, mais également la gestion du patrimoine et des fuites.

La modélisation du réseau a permis de représenter numériquement le réseau d'eau potable de la ville de Marrakech de la manière la plus fine possible. Ce modèle permet de caractériser l'état actuel du fonctionnement, mais aussi le fonctionnement en étiage et en pointe de consommation. Aussi, il a permis de localiser les zones de fortes pressions, les secteurs sensibles à un étiage ainsi qu'à une pointe de consommation.

Le logiciel Piccolo® a été d'une aide précieuse pour réaliser cette étude. La modélisation est un réel outil d'aide à la décision. Les consommations et le réseau évoluant

Le calage s'est fait par rapport à des enregistrements continus de débit sur 9 alimentations principales (8 au niveau du haut service et 1 au niveau du bas service), et de pression sur 9 points judicieusement choisis sur le réseau Feeder.

Le modèle ainsi calé pourra être utilisé, après approbation par la Régie RADEEMA, pour l'établissement du modèle qualité, et pour l'élaboration des scénarios de sortie de crise en cas d'une défiance du système hydraulique.

Bibliographies

Sites Internet :

- [1] <http://eauxpotables.canalblog.com/>;
- [2] <http://www.memoireonline.com>
- [3] WWW.SAFEGE.FR
- [4] http://www.kesakeau.ouvaton.org/aff_article.php?id_article=179

Références bibliographiques :

- [5] Cours hydrauliques urbaines ;
- [6] SAFEGE. Guide de modélisation PICCOLO;
- [7] S. LAMANDE, H. ALBALADEJO. Sectorisation des réseaux d'eau potable.
TSM, n°6, juin 2002. p. 31- 40.
- [8] Données de l'ONEP
- [9] Méthodes d'analyse quantitatives et qualitatives des dysfonctionnements hydraulique du réseau d'eau potable
- [11] Guide technique « sectorisation des réseaux d'eau potable »
- [12] documentation de la RADEEMA
- [13] Rapport entre pression et débit de fuites : Veolia
- [14] Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur : Optimisation de la gestion d'un réseau de distribution d'eau potable Modélisation Piccolo® du centre ville de Bayonne

Catalogue :

- [15] www.danfoss-socla.co
- [16] <http://www.pont-a-mousson.com>

Listes des Annexes :

Annexe1 : Note technique

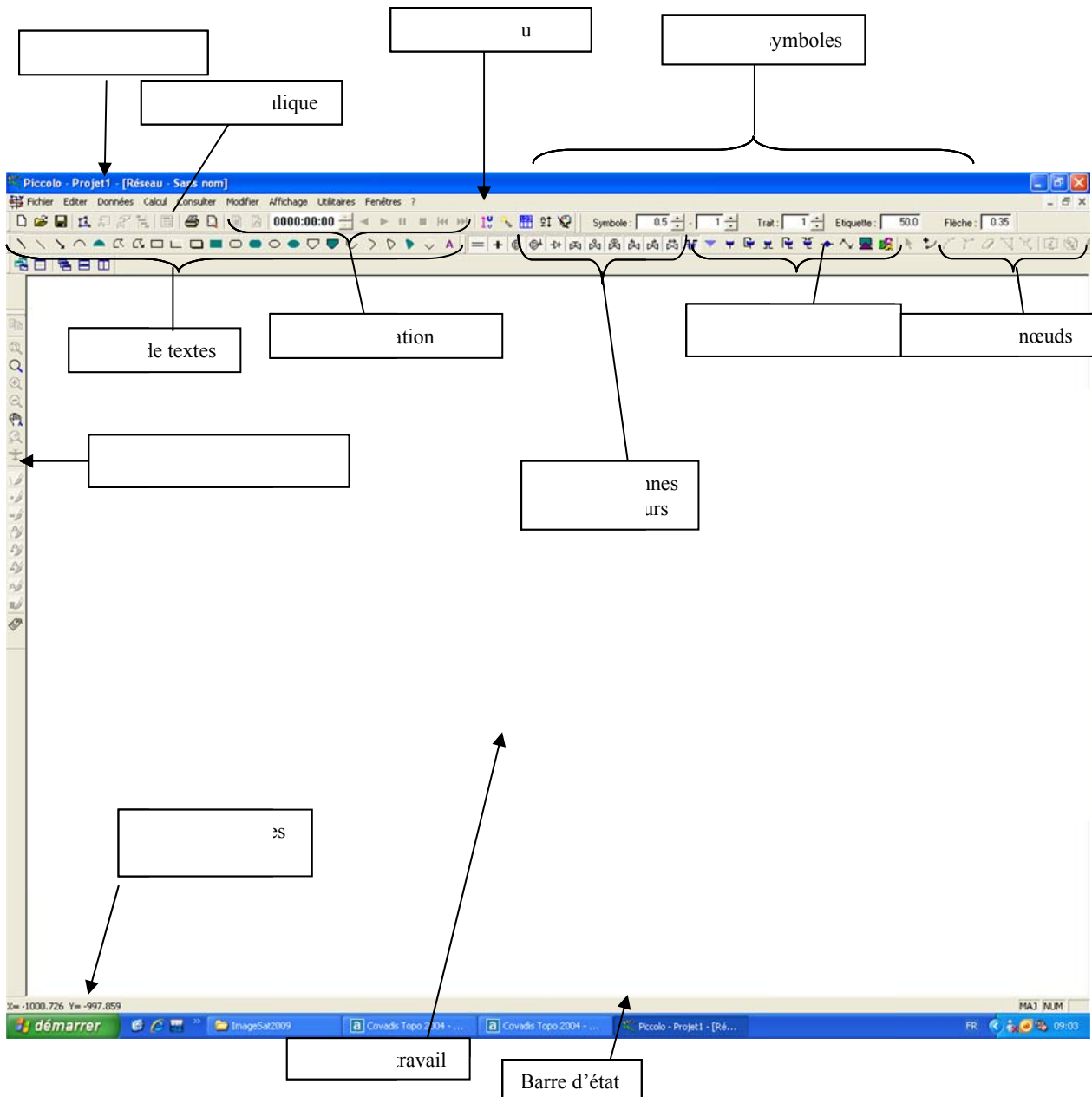
Annexe2: Schéma synoptique via piccolo

Annexe3 : Album photographique

Annexe 1 :

Note technique

Présentation générale de l'affichage de piccolo



DIGITALISATION DU RESEAU

1.1 PREPARATION DE PLAN DE TRAVAIL

Sur un plan du réseau à modéliser, toutes les canalisations à prendre en compte sont marquées

A chaque intersection, changement de direction ou de diamètre des canalisations, il a été défini un nœud du réseau : Chacun des nœuds est ensuite numéroté :

Les secteurs de relève sont ensuite reportés sur ce plan, avec leur numérotation.

1 .2 DIGITALISATION DU FICHER DE BASE

1 .2 .1 Importation du fond de plan

Le logiciel PICCOLO permet d'importer des fichiers images extension « bmp » et des fichiers AUTOCAD extension « DXF »

La façon la plus simple et la plus précise d'importer un fond de plan est d'utiliser les fichiers DXF :

Pour se faire, alléger le fichier du réseau établi sous ACAD, de telle sorte a ce qu'il ne contienne les conduites et ouvrages a modéliser avec les numéros des nœuds On note les coordonnées des 4 coins du cadre du plan, ainsi que sa largeur et sa hauteur et sa longueur de la diagonale

Ce fichier est ensuite exporté vers DXF pour ACAD 12

Avant d'importer un fond de plan, PICCOLO® doit avoir en mémoire les dimensions de cinq canalisations fictives, qui vont servir pour déréférencer le fond de plan et pour caler le fichier PICCOLO qui sera établi

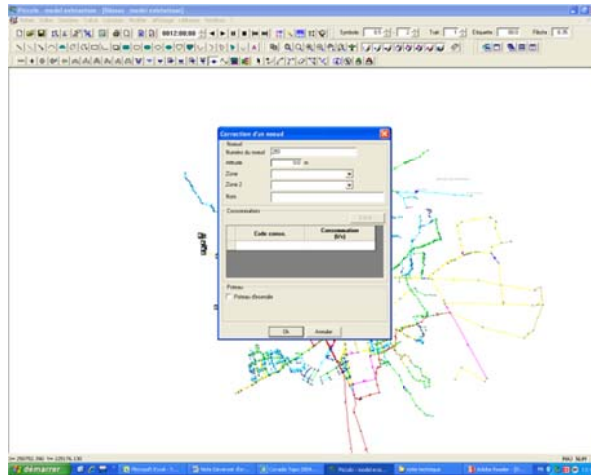
Pour se faire, on crée 4 nœuds fictifs, correspondant aux 4 coins du cadre du plan, reliés par cinq conduites, suivant la largeur, la hauteur et la diagonale

Nous allons décrire dans ce qui suit, les différentes étapes de l'importation d'un fond de plan dans PICCOLO®

1. Ouverture de PICCOLO

Il faut lancer le logiciel en double cliquant sur l'icône PICCOLO® située sur le bureau de l'ordinateur.

L'écran suivant apparaît:



Une fois le premier nœud créé, nous devons lui attacher les canalisations fictives

4. création d'une canalisation

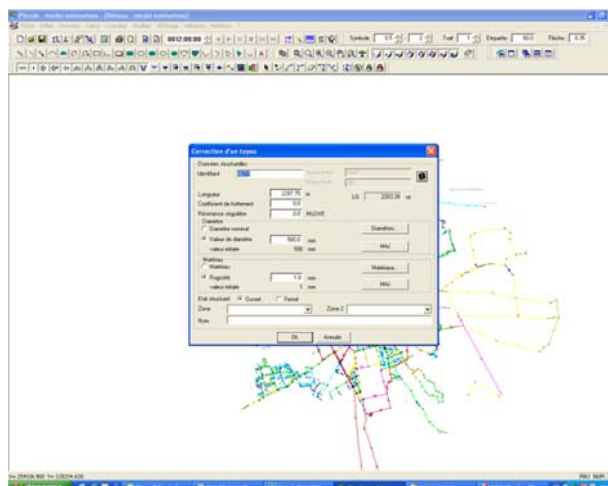
La création d'une conduite passe par le même menu déroulant **modifier** mais **en** choisissant l'option **créer tuyau**.

Un pointeur apparait. Il faut pointer le nœud déjà créé et faire glisser la souris sur la droite suffisamment loin pour obtenir l'allure d'une conduite. Des que le bouton gauche de la souris est lâché, la boîte de dialogue de création de nœud apparait. Une fois le numéro nœud d'extrémité renseigné, la boîte de dialogue de création de canalisation est proposée (Cf. page suivante).

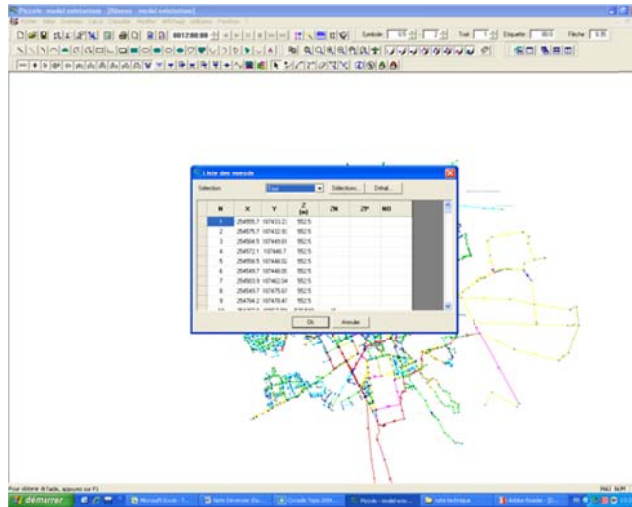
C'est a ce moment la qu'il est nécessaire de donner la longueur et le diamètre de la conduite.

Pour. L'importation du fond de plan, seule la longueur est importante.

5. Modification des coordonnées des nœuds fictifs



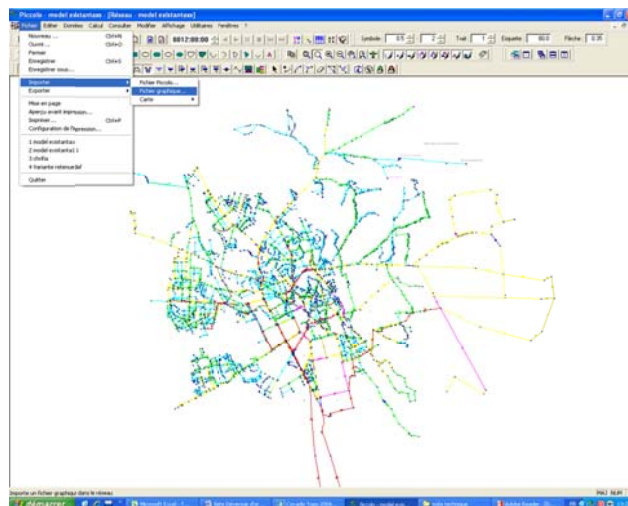
La modification des coordonnées des nœuds s'effectue en cliquant sur le menu déroulant **données** puis **topographique** La boîte de dialogue suivante est alors proposée



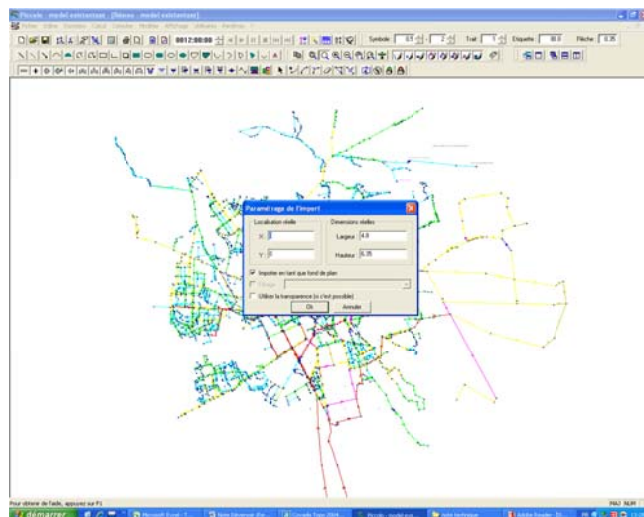
Les coordonnées précédâmes cités doivent être renseignées

6. Importation du fond de plan

L'importation du fond de plan dans PICCOLO® s'effectue alors en cliquant sur le menu **fichier**, puis **importer** et enfin **fichier graphique** (Cf. exemple d'écran ci-dessous). La boîte de dialogue suivante apparait:



Il s'agit donc ici de modifier le type de fichier (DXF AUTOCAD 12) et de choisir le fond de plan a importer (fichier DXF initialement exporte d'AUTOCAD) puis de cliquer sur **ouvrir**. La boîte de dialogue suivante apparait:



La boîte de dialogue qui apparaît donne les coordonnées du coin gauche du cadre du plan, ainsi que la largeur et la hauteur du cadre. Il faudra donc vérifier que les données affichées sont exactes, puis de valider en appuyant sur OK.

Le fond de plan est ainsi importé et déréférencé.

1.2.2 Digitalisation du réseau

1. Création des nœuds

La création des nœuds s'effectue comme indiqué au 3 du paragraphe 1.2.1.

La représentation géographique des nœuds sur le fond de plan informatique (écran PICCOLO®) doit être identique à celle du plan papier. Le repérage s'effectue en fonction de la position, d'une part, des canalisations reportées sur le fond de plan informatique et d'autre part, des habitations ou routes.

Comme nous l'avons vu, un numéro de nœud est demandé dans une boîte de dialogue. Nous devons rentrer le numéro du nœud qui correspond au plan de travail pour être en concordance avec les tables de correspondance de l'affectation des débits aux nœuds.

Une fois que les nœuds du réseau sont digitalisés, il est possible de créer les canalisations.

2. Création des canalisations

Étant donné que l'ensemble des nœuds du réseau a été créé, nous allons les relier entre eux par des canalisations.

Pour ce faire, il faut cliquer sur le menu déroulant **modifier** puis **relier tuyaux**.

Un pointeur apparaît à l'écran. Il faut alors cliquer sur le nœud initial de la conduite puis tout en gardant le bouton gauche de la souris enfoncé, faire glisser cette dernière jusqu'à atteindre le nœud final de la conduite.

Une fois ce dernier atteint, la boîte de dialogue vue au 4. Du paragraphe 1.2.1. Apparaît. Dans cette boîte de dialogue nous pouvons voir le numéro de Tare qui s'incrémente automatiquement, les numéros des nœuds initial et final ainsi que la longueur du tuyau. Cette dernière n'est pas renseignée par l'utilisateur, mais calculée par PICCOLO® du fait qu'une canalisation fictive a été créée.

Pour finir l'utilisateur renseigne le diamètre de la conduite, tandis que la valeur de la rugosité est par défaut égale à 1 (elle sera modifiée ultérieurement lors du calage).

3. Création des réservoirs

Pour insérer un réservoir il faut cliquer sur le menu **modifier** puis **créer réservoir**. Plusieurs réservoirs sont disponibles dans la liste. Il s'agit de choisir le type que Ton souhaite modéliser.

Un pointeur apparaît à l'écran. Il faut cliquer sur le nœud ou Ton souhaite implanter le réservoir.

L'ensemble du réseau étant saisi, nous obtenons le fichier du réseau

En d'autres termes, le code de consommation traduit la modulation journalière de la consommation dans Line partie du réseau.

2 .RENSEIGNEMENT DES COTES ET DES CONSOMMATIONS

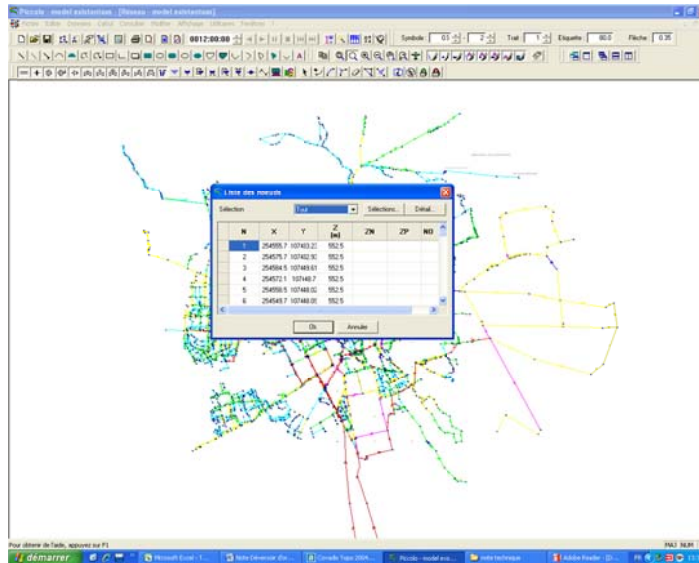
2.1 LES COTES DES NŒUDS

Le renseignement des cotes de chacun des nœuds peut se faire de deux manières différentes :

- ✓ Saisie manuelle
- ✓ Saisie informatique

Dans ce qui suit nous ne traiterons que la saisie manuelle.

La saisie des cotes dans PICCOLO® s'effectue en cliquant sur le menu **donne** puis **topographie** La boîte de dialogue suivante apparaît:



Il s'agit donc de renseigner chacun des champs par la cote altimétrique qui correspond.

Il reste maintenant à renseigner les codes de consommation ainsi que la consommation de chaque nœud.

2.2 LES CONSOMMATIONS ET CODES DE CONSOMMATION

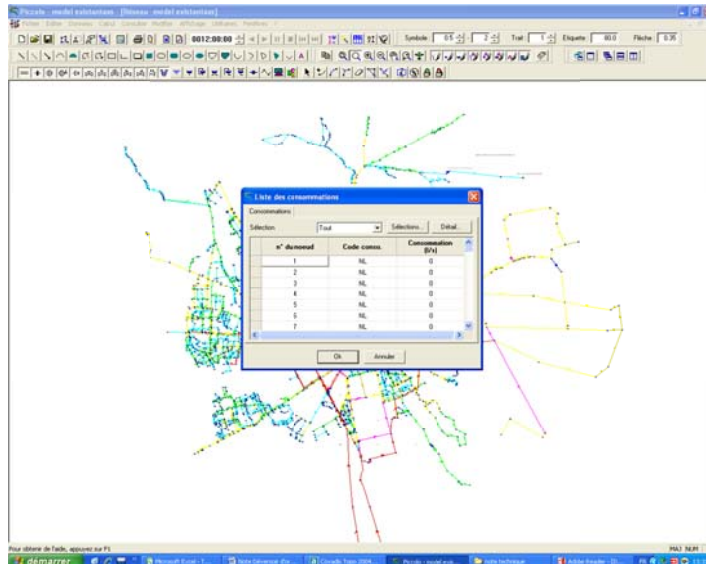
Comme pour les cotes, la saisie des codes de consommation et des consommations peut se faire de façon informatique ou manuelle.

2.2.1 Définition des codes de consommation

Le code de consommation est affecté à un sous réseau ou secteur pour lequel on est à même de comptabiliser les débits et où les abonnés sont supposés se comporter d'une manière similaire.

2.2.2 Saisie manuelle des consommations et codes de consommation

La saisie s'effectue en cliquant sur le menu donné puis **consommation**. La boîte de dialogue suivante apparaît :



Il s'agit donc de renseigner chacun des champs par le code consommateur et la consommation qui correspond.

3 LE CALAGE

3.1 CAMPAGNE DE MESURE

3.1.1 Les mesures de pression

Les mesures de pression doivent être les plus éloignées des réservoirs pour obtenir des variations de pression significatives.

3.1.2 Les mesures de débit

Les mesures de débit quand a elles, doivent permettre, en fonction de l'étendue du réseau, de sectoriser le réseau en sous réseaux. Suivant la sectorisation, les sous réseaux bénéficieront d'un code de consommation spécifique, et nous pouvons connaître le débit mis en distribution par chacun d'eux lors de la campagne de mesure.

3.1.3 Les mesures de niveau de réservoir

Ce sont elles qui permettront de connaître le plan piézométrique du réseau de distribution

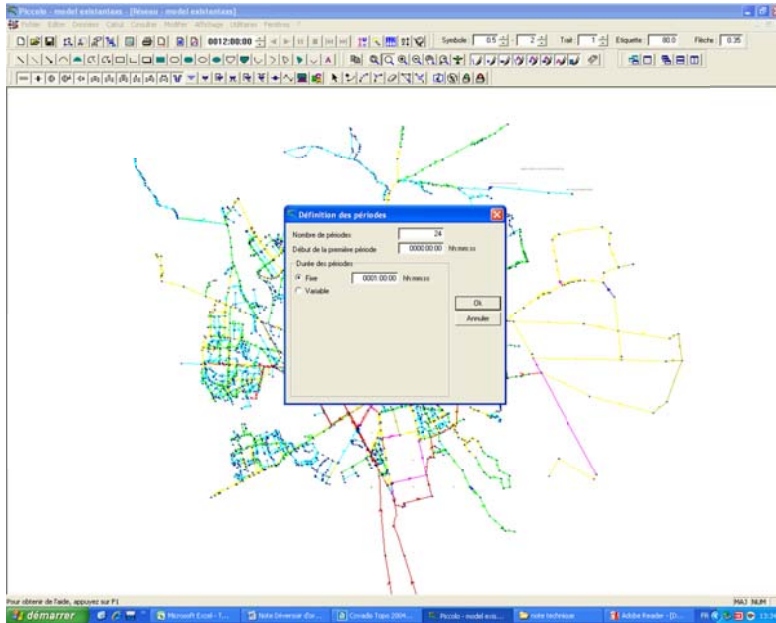
3.2 LES DONNEES DYNAMIQUES

3.2.1 Le nombre de périodes

Des que le modèle de réseau contient l'ensemble des données de consommation, a savoir la consommation des nœuds et leur code de consommation, nous devons définir le nombre de périodes de simulation a prendre en compte (1, 24 ou 48)

Le nombre de périodes sera déterminé en fonction des simulations réalisées (Statique ou dynamique)

En cliquant sur le menu données puis période nous avons accès à la boîte de dialogue suivante :



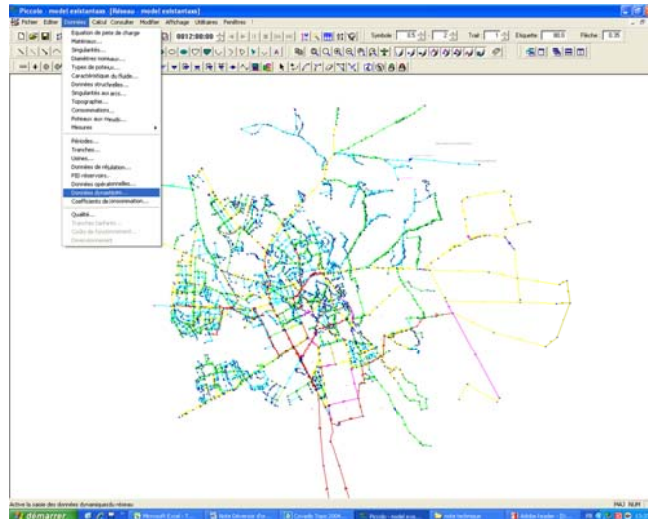
Il faut saisir le nombre de périodes que Ton souhaite, ainsi que l'heure de démarrage des simulations.

Cette étape faite, nous allons déterminer les coefficients de pondération horaire de chaque sous réseau.

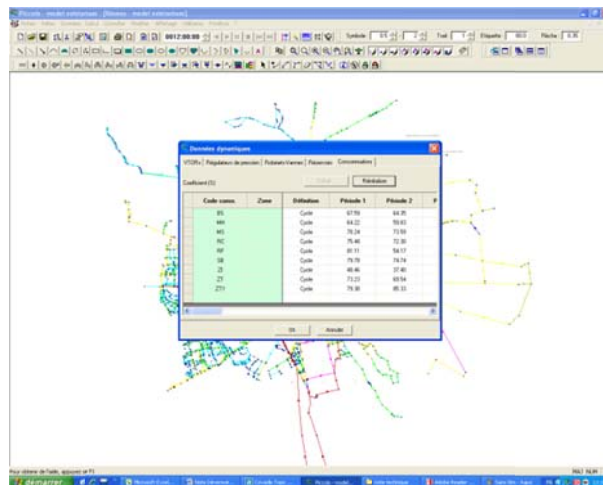
3.2.2 Coefficients de pondération horaire

Les coefficients de pondération horaire reflètent le comportement des consommateurs tout au long de la journée. Ils se calculent à l'aide du débit moyen journalier consommé sur un réseau ou sous réseau et des débits moyens horaires. En effet un coefficient de pondération horaire est égal au rapport entre le débit moyen horaire et le débit moyen journalier.

La saisie des coefficients de pondération horaire dans PICCOLO® s'effectue en cliquant sur le menu **données** puis **données dynamiques** (cf. écran ci-après)



Une fois cette opération réalisée la boîte de dialogue suivante apparaît :



C'est dans cette boîte de dialogue que l'on doit saisir les coefficients de pondération horaire pour chacune des périodes définies précédemment et pour chaque code de consommation.

Il reste à présent à renseigner les niveaux du réservoir pour les périodes considérées lors du calage.

3.2.3 Niveau du réservoir

Cette étape s'effectue de la même manière que pour les codes de consommation.

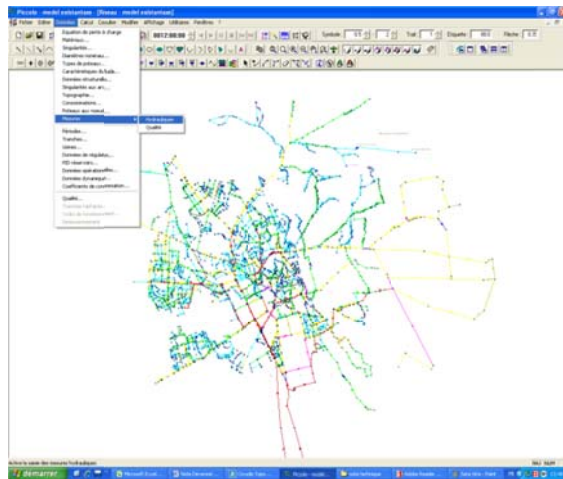
Remarque :

- Les codes de consommation s'expriment en pourcentage,
- Les niveaux des réservoirs s'expriment en mètre.

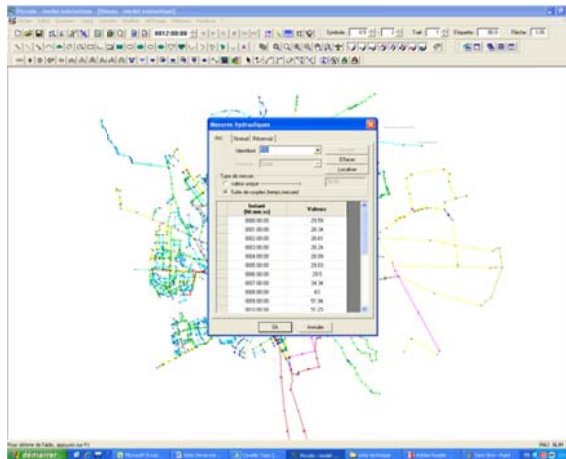
A ce stade de la modélisation le modèle est prêt pour les simulations du calage. Ceci étant et pour faciliter la comparaison entre les résultats de calcul et les valeurs des mesures, il est souhaitable de saisir toutes les données de mesure dans PICCOLO®.

3.2.4 Saisie des données de mesure

Cette option permet de saisir les données de mesure de pression, de débit et de niveau des réservoirs. Elle est accessible en cliquant sur le menu **données** puis **mesures hydrauliques** (Cf. écran suivant).



La boîte de dialogue mesures hydrauliques nous est alors proposée



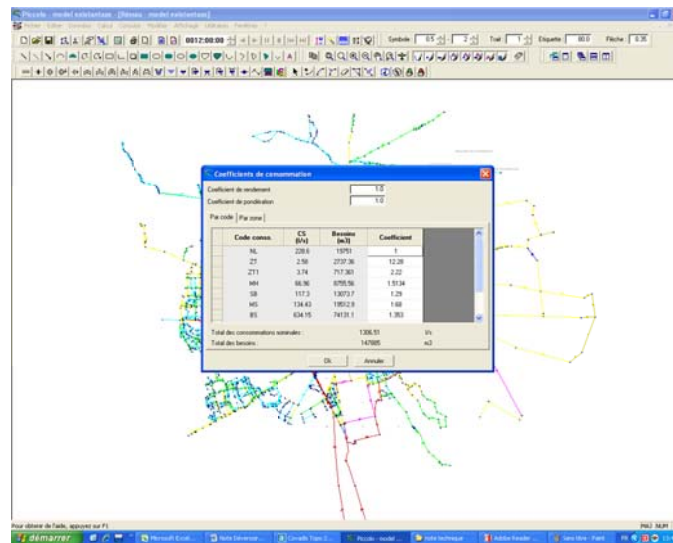
Il faut ici renseigner le numéro de Tare (nœud ou réservoir) sur lequel la mesure a eu lieu. Pour pouvoir renseigner les données de mesure effectuées sur un arc (noeur ou réservoir) il faut renseigner le numéro de Tare (nœud ou réservoir) cliqué sur le bouton **ajouter** puis cliquer sur le bouton **suite de couple**

3.3.1 Egalite des débits distribues et modélisés

Pour obtenir un modèle de réseau cale, il est nécessaire de vérifier, avant de lancer les calculs de simulation, que le débit moyen journalier mis en distribution par chacun des sous réseaux est identique au débit moyen journalier consommé par les nœuds de ces mêmes sous réseaux.

Les débits consommés par les nœuds de chaque sous réseau (ou code de consommation) sont consultables dans PICCOLO® en cliquant sur le menu **données** puis **coefficients de consommation**.

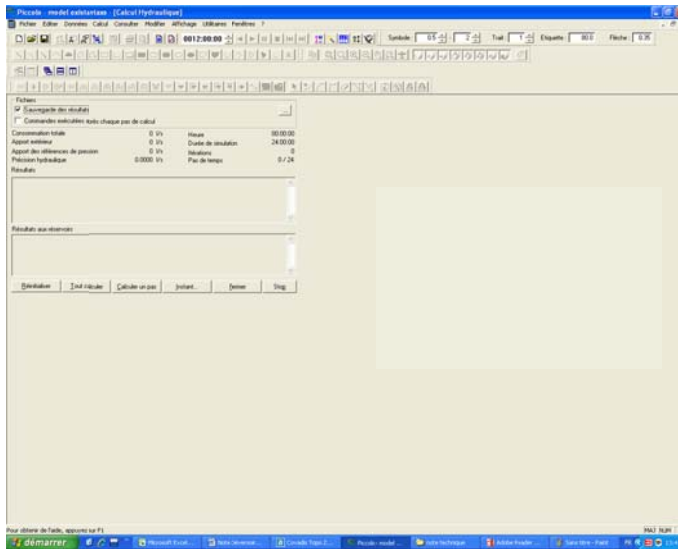
La boîte de dialogue suivante nous est proposée.



3.3.2 Les simulations

Il s'agit donc de réaliser diverses simulations pour obtenir des résultats de calculs identiques aux mesures effectuées sur le terrain. Pour obtenir un réseau cale nous devons jouer sur les rugosités des canalisations.

Les simulations se font en cliquant sur le menu **calcul** puis **hydraulique**.



La boîte de dialogue suivante nous est alors proposée:

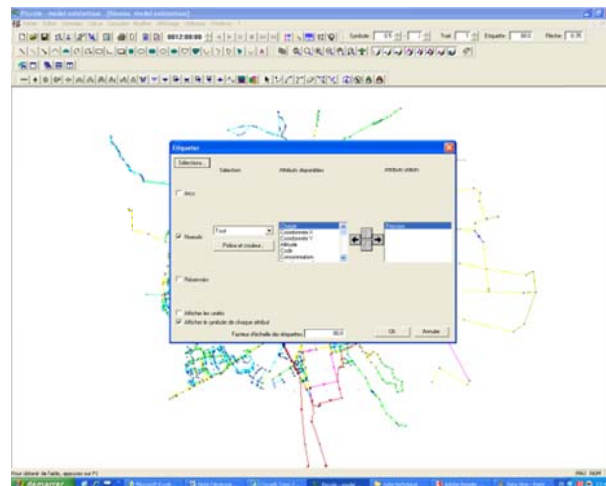
Il est nécessaire de cliquer sur **tout calculer**. Nous pouvons voir cependant qu'il est possible d'effectuer le calcul période par période, en cliquant sur **calculer un pas**, ou bien réaliser le calcul pour une période spécifique, en cliquant sur **calculer un instant**.

Une fois le calcul réalise il faut cliquer sur fermer

Les résultats des calculs sont consommables de deux façons différentes :

1. Directement à l' écran heure par heure.

Si Ton souhaite connaître la pression d'un nœud a une heure précise de la journée, il est nécessaire de faire apparaitre a l' écran les valeurs de pression. Pour ce faire, il faut cliquer sur le menu **affichage** puis **étiquettes éléments**. Une boîte de dialogue est proposée. Nous devons alors cliquer sur **nœuds** et choisir **pression** (Cf. écran ci-après).



Lorsque Ton clique sur Ok, l'ensemble des valeurs de pression apparait a cote de chaque nœud.

Pour consulter l' instant désire, il suffit de cliquer sur le menu **consulter** puis **instant**. L'heure de notre choix doit alors être renseignée. Une fois le bouton Ok presse, les pressions a l' instant choisi apparaissent.

La démarche est similaire si Ton souhaite connaitre le débit des arcs ou le niveau des réservoirs.

2. En utilisant les courbes de résultats

Ces courbes montrent révolution tout au long de la journée des débits aux arcs, des pressions aux nœuds ou encore des niveaux des réservoirs.

Pour obtenir les courbes, il faut cliquer sur le menu consulter puis **courbes** et enfin **résultats**. On doit alors choisir entre les arcs, les nœuds et les réservoirs. Lorsque le choix est fait, on clique sur Ok et on sélectionne l'arc (nœud ou réservoir) ou les arcs considérés (nœuds ou

Réservoirs). Pour obtenir la courbe ou les courbes a l' écran, il faut cliquer sur le bouton droit de la souris.

Lorsque nous consultons la courbe de résultats d'un arc (nœud ou réservoir) pour lequel une mesure de débit (pression ou niveau) a été faite, nous obtenons a l' écran la superposition de la courbe calculée par PICCOLO® et celle des mesures. Cette superposition de courbes permet d'une part, d'obtenir une vision claire et précise des erreurs du modèle par rapport a la réalité du terrain et d'autre part, d'estimer le chemin à parcourir avant d'obtenir un modèle calé.

Il peut arriver quelquefois que les résultats du calage ne soient pas satisfaisants. Dans ce cas plusieurs raisons sont possibles :

- La répartition des débits aux nœuds n'est pas parfaite,
- Des vannes faisant office de frontières avec d'autres réseaux n'ont pas été détectées lors de la phase d'investigation,
- Des maillages, vannes fermées ou tiercées au sein même du réseau modélisé sont inconnus,

Etc. -

La liste ci dessus n'est pas exhaustive mais elle présente les principales causes d'un calage difficile voire impossible.

Dans ce cas il est nécessaire de vérifier les points du calage en collaboration avec les responsables du réseau.

Lorsque le modèle est calé, nous avons en notre possession le modèle du réseau dans son état actuel.

Les études de diagnostic, de schéma directeur ou étude de cas pourront alors être mises en œuvre.

Calage : cas réelle

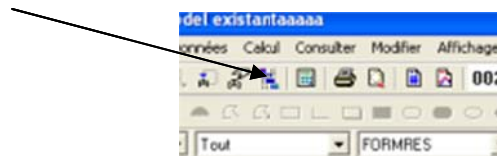
Remarque méthodologique :

Il est important de souligner que le calage d'un modèle doit commencer impérativement par un calage en débit. Ce n'est qu'une fois que le modèle est "quasiment" cale en débit que Ton pourra travailler sur le calage des pressions et des niveaux de réservoir, les pressions étant bien entendues liées au plan piézométrique des réservoirs modélisés. C'est pour cette raison que les calages du modèle en pression et en niveau ne doivent pas être dissociés.

Lorsque l'ensemble des débits mis en distribution est égal à l'ensemble des débits consommés par les nœuds du modèle, il est possible de lancer les calculs de simulation des réseaux

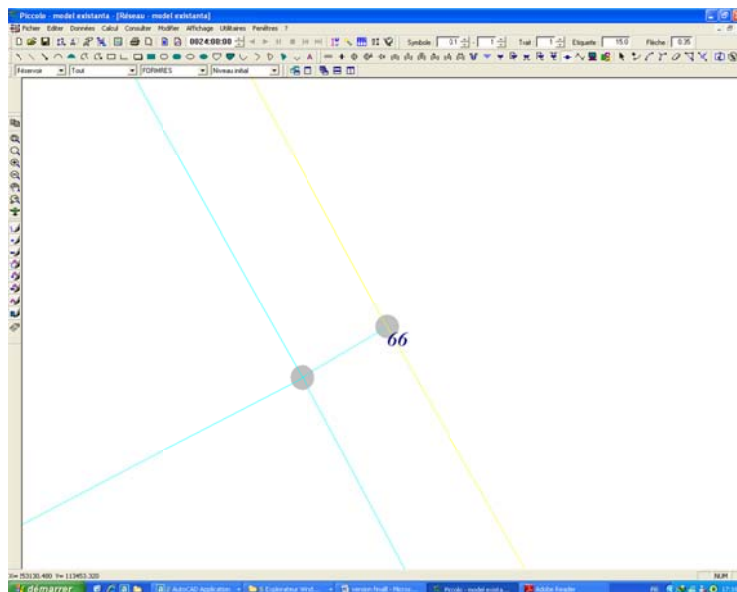
Les étapes pour le calage (pression) sont les suivantes :

- 1) Comme vu précédemment (les étapes précédents) ils doivent le faire ;
- 2) Lancer la simulation ;



- 3) Localiser le point que sou hait faire le calage (point numéro 66) :

Affichage → localiser → nœud → entrer n° 66 la boîte de dialogue suivant apparait :

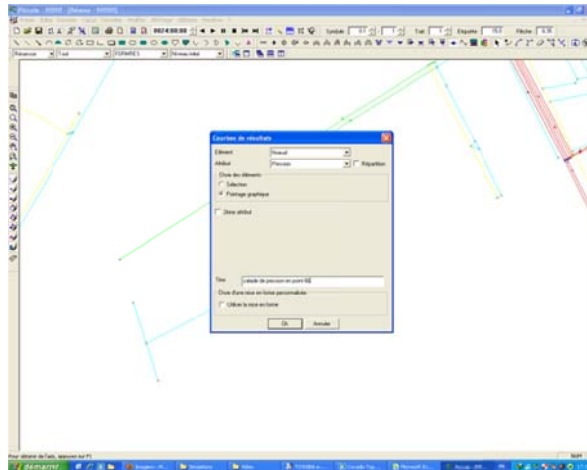


- 4) pour afficher la courbes d'évolution de pression durant le temps il suffit de cliquer sur l'icône des courbes suivant :

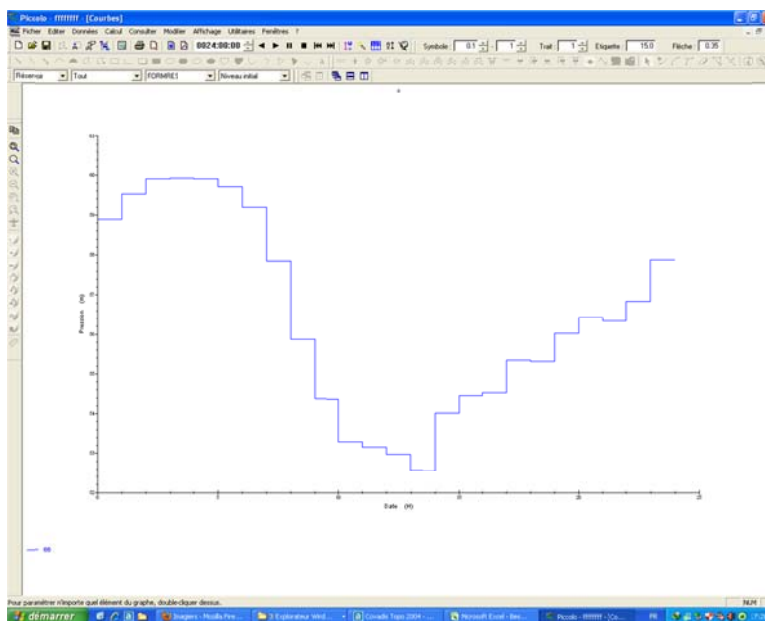




Remplir les champs nécessaires, La boîte de dialogue suivant apparait :



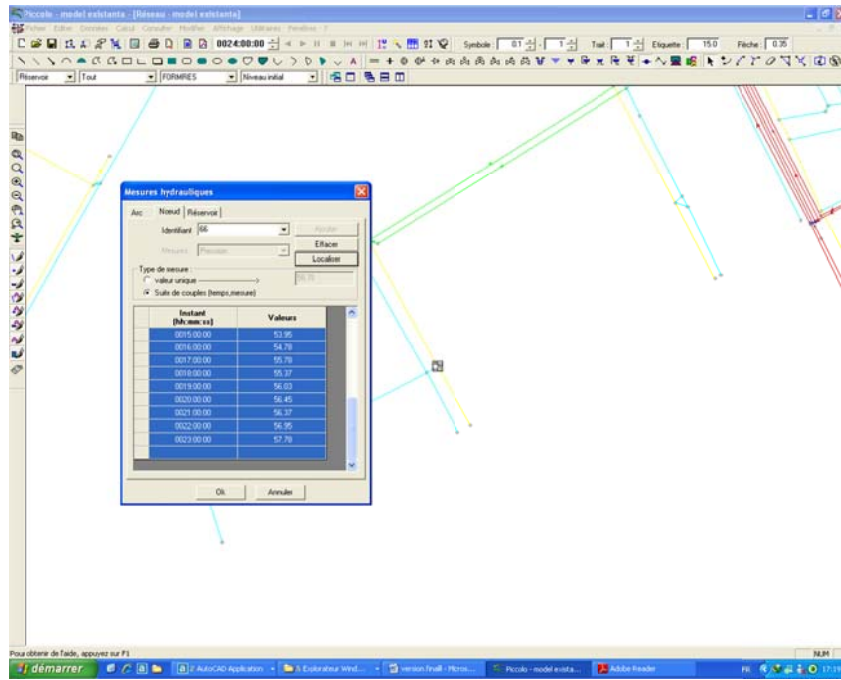
Puis appui sur le point 66, La boîte de dialogue suivant apparait (courbe de simulation c -a -d courbe théorique du modèle)



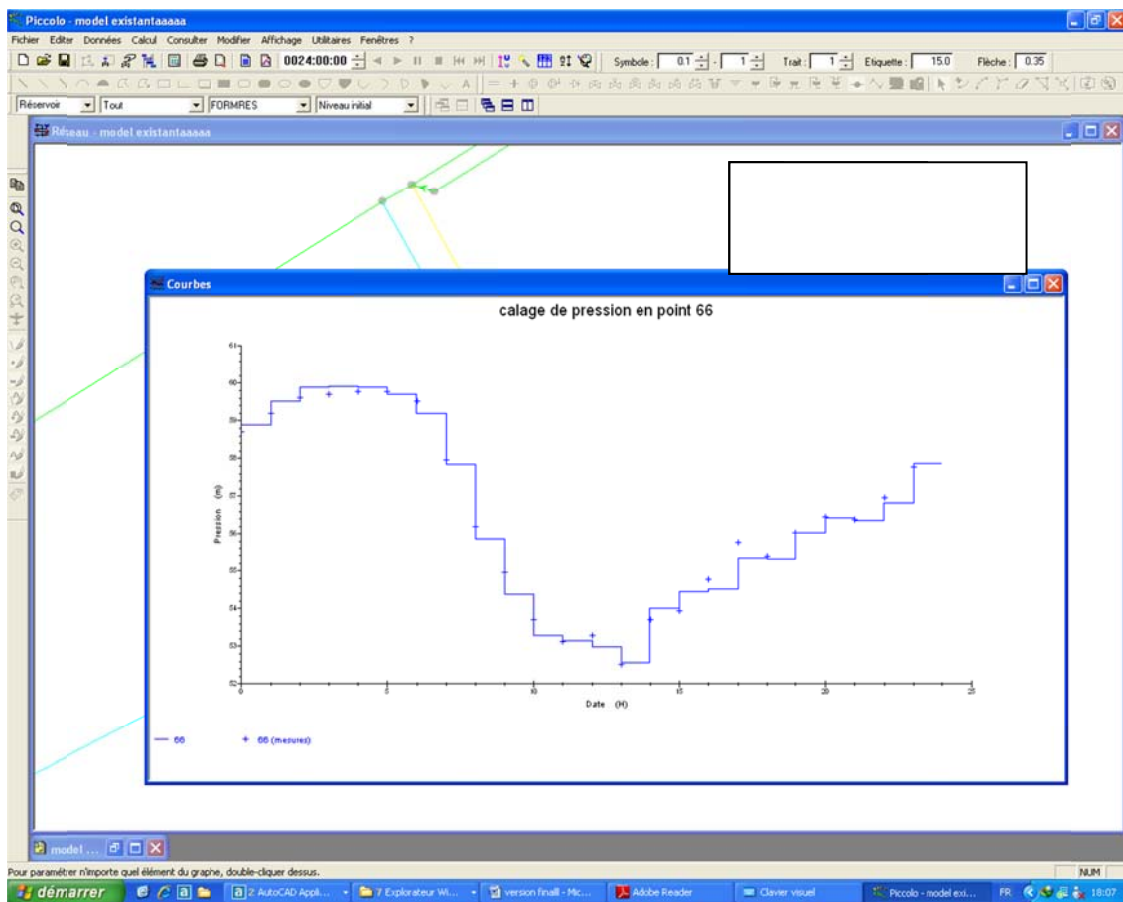
5) pour entrer les mesures en ce point il suffit de suivre les étapes suivantes :

- Cliqué sur l'icône **données** ➔ **mesures** ➔ **hydrauliques**, la boîte de dialogue suivant apparait :(remplir les champs puis importer les données de mesures ce forme des Excel

Car piccolo importe le fichier Excel)



Confirmer avec ok, la boîte de dialogue suivant apparait :



Pour obtenir un résultat satisfaisant il faut jouer sur les paramètres de calages tel que les

Paramètres des conduits (rugosité,...),

NB :

- ✚ Conformément aux termes de références, le réseau est supposé calé quand l'écart entre les mesures et les calculs est inférieur ou égal à 10 % pour les débits et à 5 mCE pour la pression.

Il peut arriver quelquefois que les résultats du calage ne soient pas satisfaisants. Dans ce cas plusieurs raisons sont possibles :

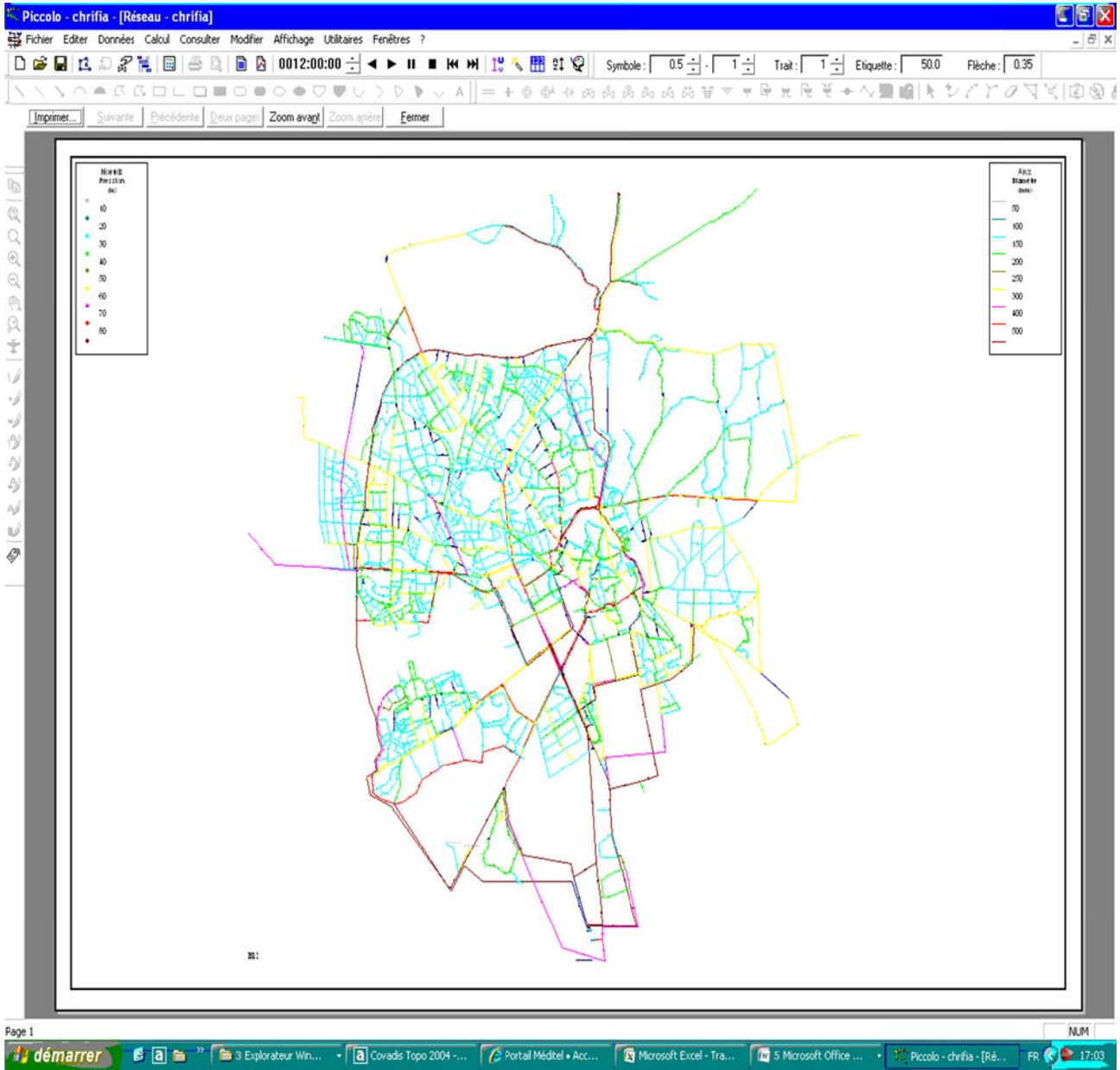
- la répartition des débits aux nœuds n'est pas parfaite,
- des vannes faisant office de frontières avec d'autres réseaux n'ont pas été détectées lors de la phase d'investigation,
- des maillages, vannes fermées ou tiercées au sein même du réseau modélisé sont inconnus,
- Etc.

Dans ce cas, les anomalies sont recherchées et traitées successivement jusqu'à l'obtention de résultats de calage satisfaisants.

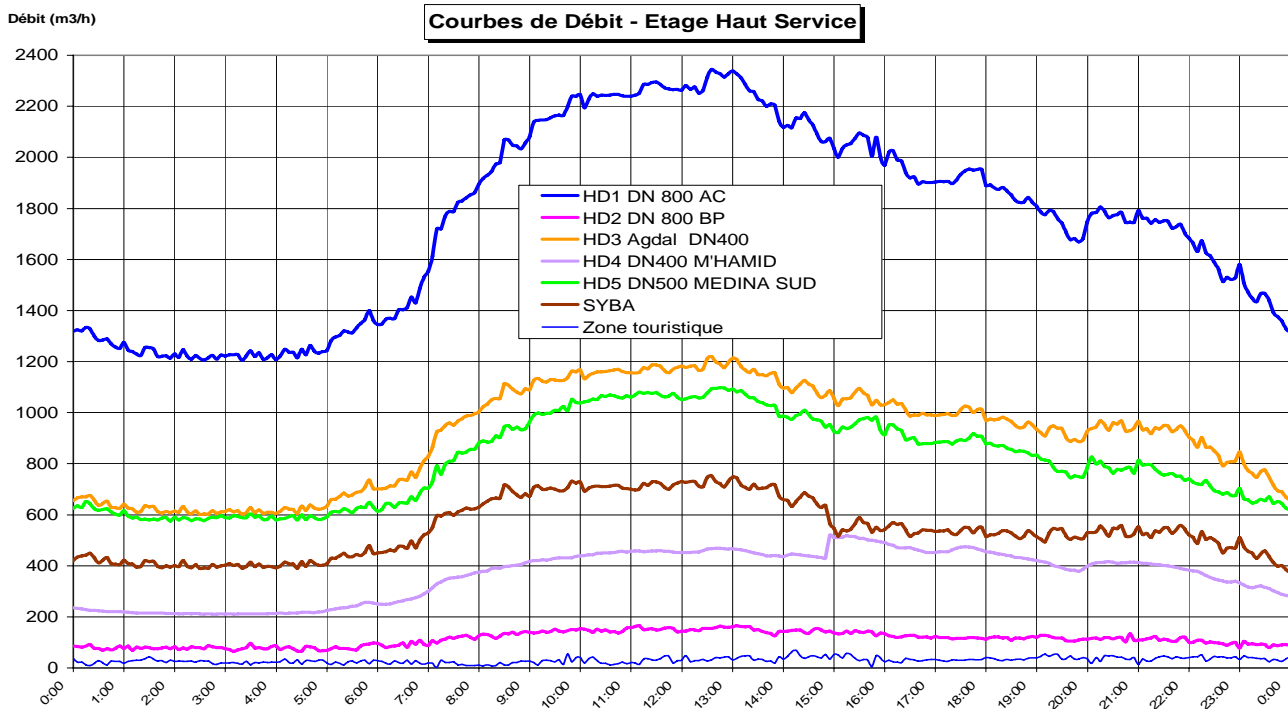
- ✚ Même étapes pour le calage des débits et hauteur d'eau de réservoir

Annexe2:

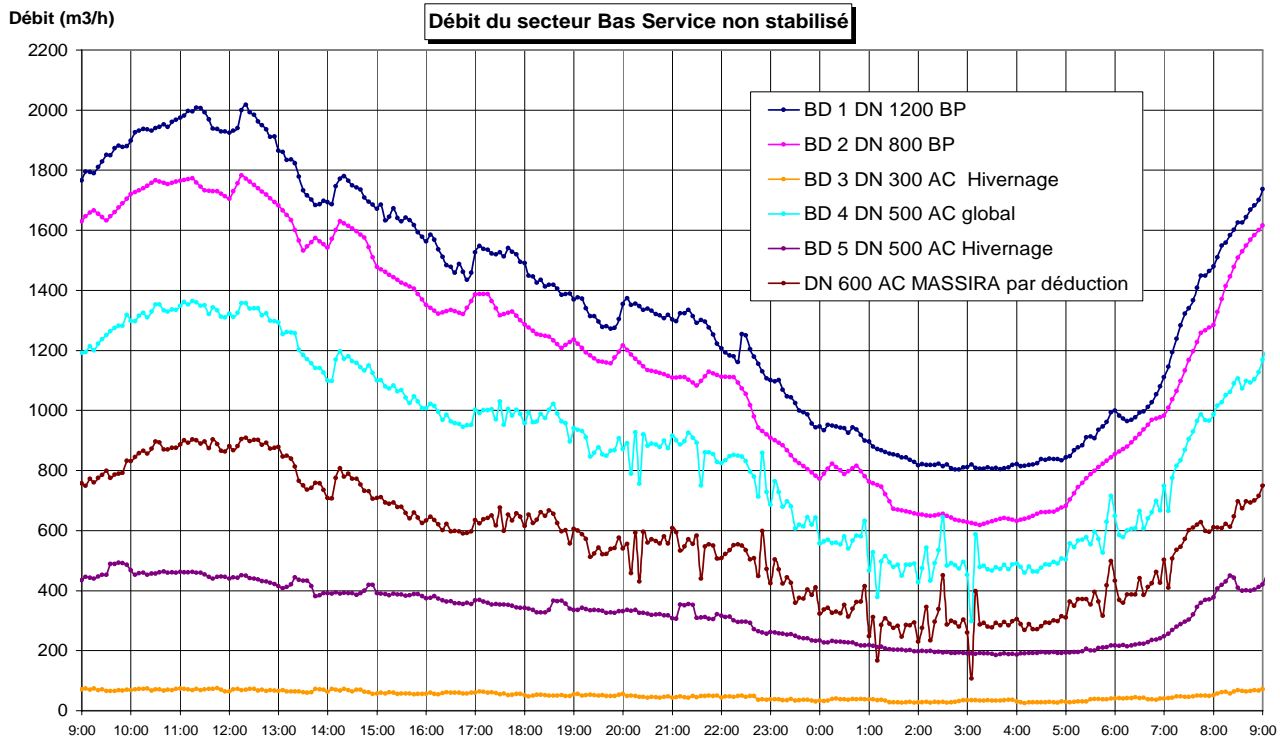
Schéma synoptique via piccolo et courbes de pression



Courbes des débits au niveau de l' étage HS



Mesure de débit au niveau du secteur BS non stabilisé



Annexe 3 :

Album photographique

Points de mesure de débit



Débitmètre à insertion installé sur DN800
BP (HD2)

Débitmètre à insertion installé sur DN800 AC (HD1)



Débitmètre à Ultrason installé sur DN500 AC vers
Medina Sud (HD5)



Débitmètre à Ultrason installé sur DN400
AC vers M'Hamid (HD4)

Chambre de vanne

