

**Chapitre II-      Elaboration du modèle et simulation du fonctionnement du réseau**

**II-1-    Vérification de la topologie du réseau dans le SIG**

La topologie du réseau est la configuration physique des conduites et des équipements qui le constituent.

Avant de procéder à l'exportation du plan du réseau d'AEP avec les données sur SIG vers le logiciel WaterCad, il a d'abord fallu vérifié dans le logiciel Arc Gis la topologie du réseau. En effet en auscultant minutieusement le tracé du réseau dans le SIG, des erreurs ont été constatées comme des conduites qui ne sont pas bien reliées, des conduites qui se superposaient ou l'absence de nœuds sur l'intersection des conduites...

Dans le cas où ces anomalies étaient présentes, il a fallu les repositionner de façon à ce que les tronçons soient reliés à leurs extrémités. Par la suite, il a fallu créé des points sur les jonctions des tronçons et sur les sommets de chaque tronçon.

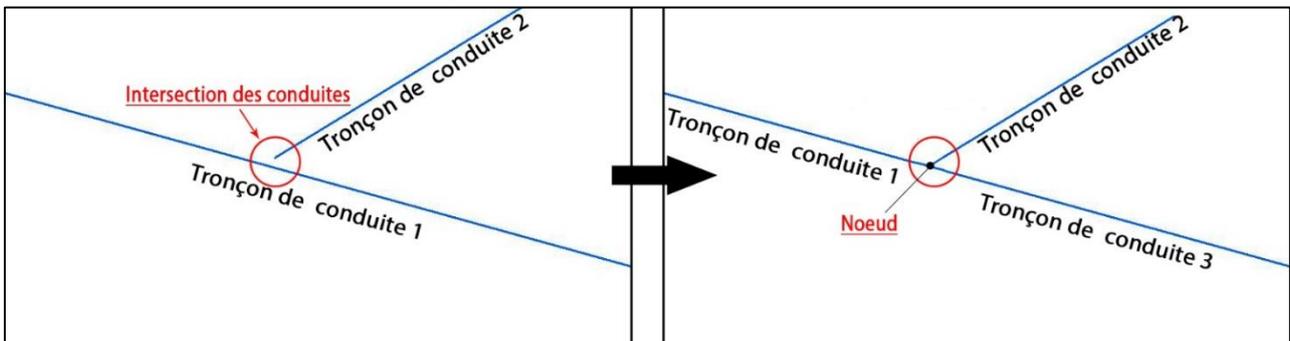


Figure 33: Création d'un nœud sur l'intersection des conduites

**II-2-    Insertion des conduites de branchement**

Pour pouvoir insérer les branchements des abonnés, le sectionnement des tronçons des conduites principales ou secondaires était nécessaire puis il a fallu ensuite créés des nœuds au niveau des points de piquage de ces branchements. Des nouveaux tronçons de conduites ont été alors obtenus donc il a fallu adopté une nouvelle nomenclature pour ces nouveaux tronçons (Cf. Annexe 7- ).

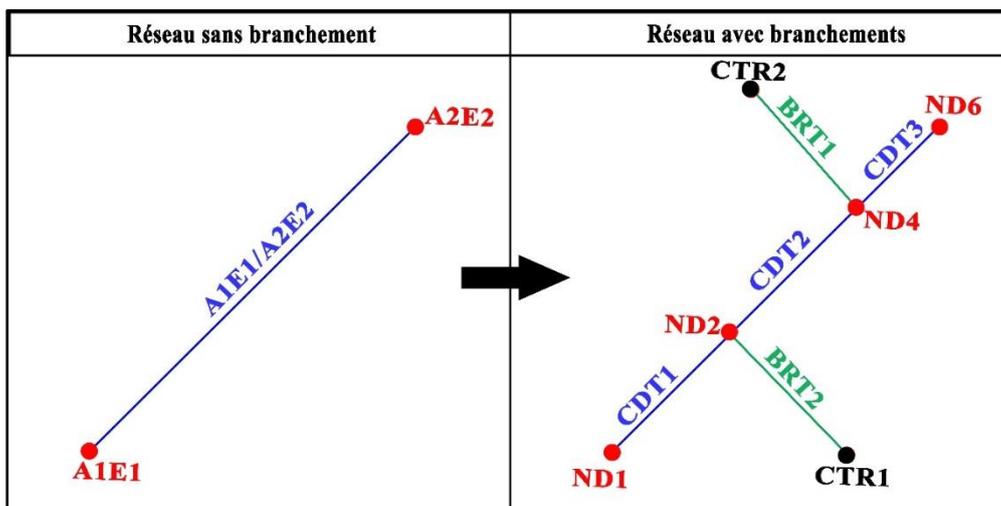


Figure 34: Insertion des tronçons des conduites de branchements

En regardant sur cette illustration, la conduite A1E1/A2E2 a été sectionnée en 3 tronçons (CDT1, CDT2, CDT3) afin d'insérer les conduites de branchements BRT1, BRT2 des compteurs CTR1 et CTR2 reliées au niveau des nœuds ND2 et ND4.

Notons que les sections des branchements des abonnés ont été obtenus après la réalisation d'une descente sur terrain avec un technicien de l'agence en vérifiant un bout de tronçon de chaque conduite de branchement.

Le tracé des branchements a été ensuite effectué sur SIG en se basant sur les principes suivants :

- Le tracé d'une conduite de branchement doit suivre le chemin le plus court entre une conduite de principale et le compteur des abonnés.
- Une conduite de branchement ne doit pas dépasser 40 m.

### II-3- Attribution des altitudes à chaque nœud du réseau

Une fois que la vérification de la topologie du réseau et la mise en place des conduites de branchements effectuées, il a fallu ensuite attribué à chaque nœud et à tous les compteurs des abonnés leurs altitudes à partir des courbes de niveau.

La première étape à faire est d'abord de créer un modèle numérique du terrain à partir des courbes de niveau du terrain en utilisant le logiciel ArcScene.

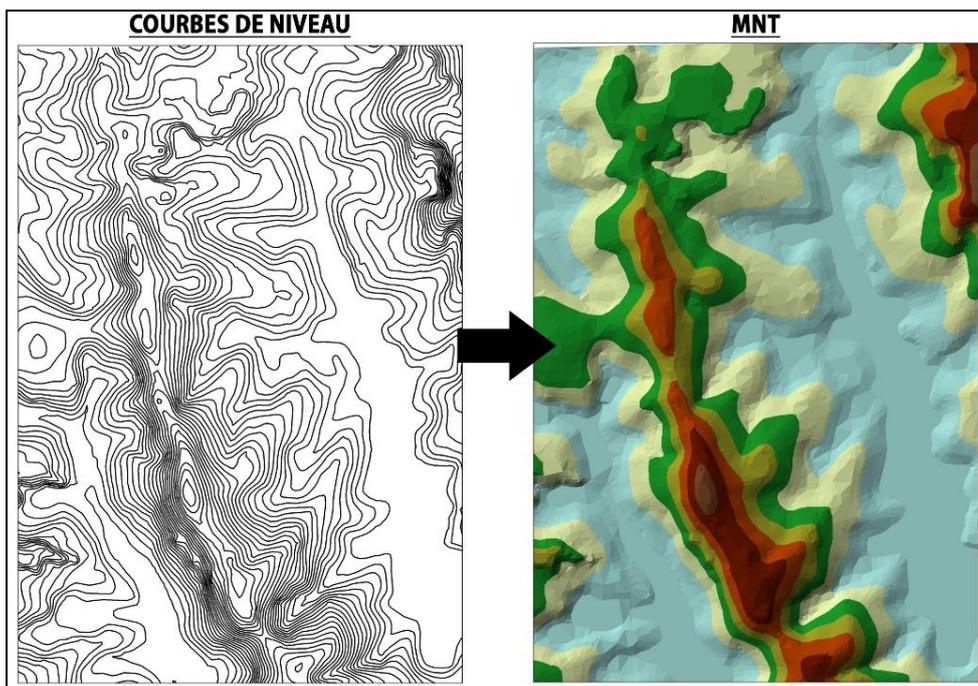


Figure 35: Création d'un MNT à partir des courbes de niveau

Un MNT permet d'attribuer les altitudes des nœuds et des équipements du réseau mais il permet aussi de visionner en 3D la morphologie du terrain, le tracé du réseau et la localisation des équipements existant en les superposant dans le logiciel Arcscene.

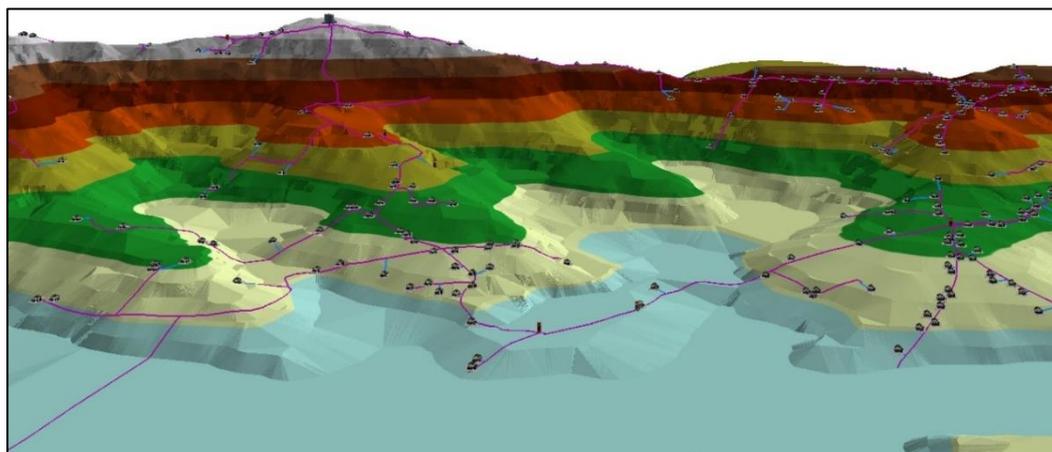


Figure 36: Image 3D du secteur Ambatomaro avec le réseau

L'outil « add surface information » dans la boîte à outils « 3D Analyst Tools » du logiciel ArcGis a permis de calculer les altitudes des nœuds du réseau par l'interpolation des altitudes des courbes de niveau.

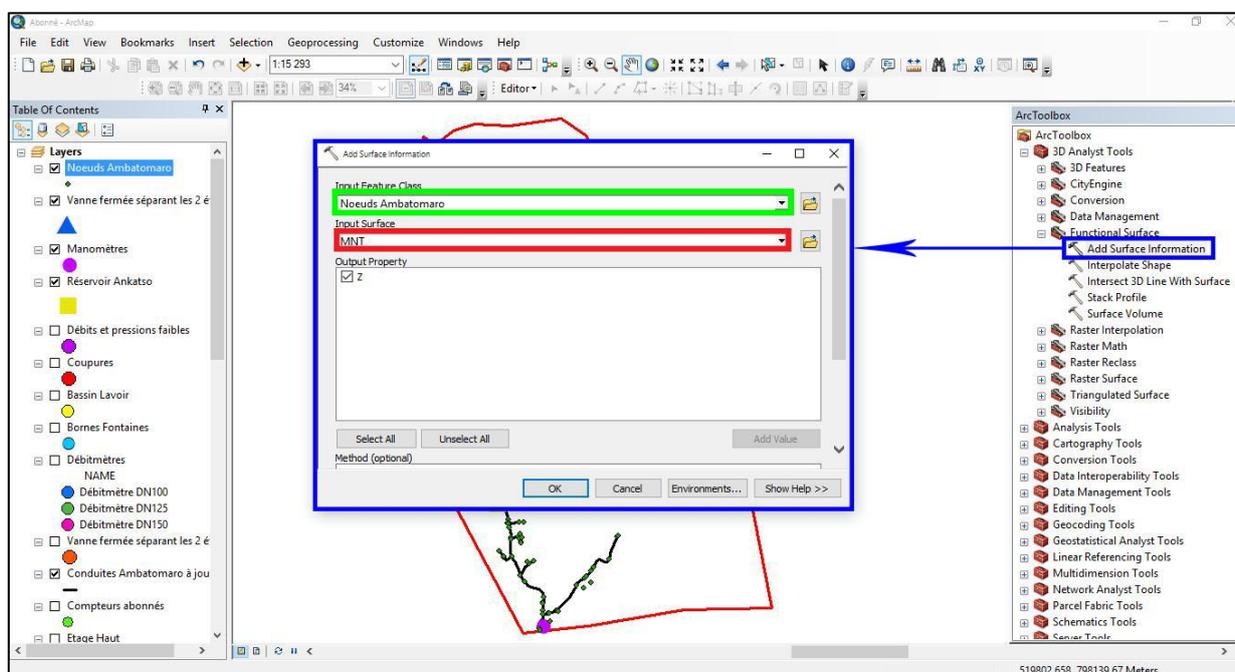


Figure 37: Image montrant l'outil "Add surface information"

Le fichier de forme des points ou des nœuds est inséré dans la case en verte ou le « Input Feature Class » et le fichier du MNT dans le « Input Surface » dans la case en rouge.

Après calcul fait une nouvelle colonne contenant les altitudes de chaque point sera créer dans le tableau de données du fichier de forme des points.

#### II-4- Estimation du besoin en eau du secteur

Les besoins en eau moyens pour les services et les établissements existant dans le secteur Ambatomaro ont été estimés à partir des résultats des enquêtes réalisées dans le secteur et le besoin en eau journalier de la population est évalué à 60l/j/personne avec le nombre de populations en 2015 égale à 18 928 habitants qui a été calculé précédemment en utilisant le taux d'accroissement naturel (Cf. PARTIE II-I-3-Démographie).

Etant donné que le réseau du secteur Ambatomaro fait partie du réseau d'AEP d'Antananarivo, les pertes en eau dans le secteur ont été déterminées en se basant du rendement de distribution du réseau d'AEP d'Antananarivo estimé à 57%.

L'estimation de besoin de la population est figurée dans le tableau récapitulatif ci-dessous :

Tableau 15: Calcul estimatif du besoin de la population

Désignation			Nombre	Besoin unitaire	Total (l/j)
Education	Etablissement public	Primaire	1	250 l/j	250
		Secondaire	0	250 l/j	0
		Institut	0	300 l/j	0
	Etablissement privé	Primaire	11	500 l/j	5 500
		Secondaire	6	600 l/j	3 600
		Institut	1	2 000 l/j	2 000
Eglise			2	20 l/j	40
Clinique privé			1	300 l/j	300
Poste avancé			1	100 l/j	100
Entreprise/société/zone franche			6	2 000 l/j	12 000
CROUA			1	3 000 l/j	3 000
<b>TOTAL PARTIEL</b>					<b>26 790</b>
<b>Consommation de la population</b>					
Population			18928	60 l/j/personne	<b>1 135 658</b>
<b>BESOIN EN EAU DE LA POPULATION</b>					<b>1 162 448</b>
			Perte réseau	43%	<b>499 853</b>
<b>BESOIN EN EAU TOTAL DU SECTEUR</b>					<b>1 662 301</b>

Donc le besoin en eau total du secteur est de **1 662 301 l/j** soit **19,24 l/s** et en répartissant cette valeur pour les 470 abonnés cela est égale à **0,04 l/s/abonné**.

## II-5- Exportation des données SIG vers le logiciel WATERCAD

### II-5-1- Création du fichier d'exportation

Pour pouvoir exporter le plan du réseau sur SIG avec les caractéristiques de tous les équipements qui le constituent un fichier d'exportation avec un format « INP » a été d'abord créé. De nos jours plusieurs logiciels et extensions liés aux logiciel de traitement des données SIG permettent de générer automatiquement ce fichier comme le logiciel Epcad, Inptools... L'inconvénient avec ces logiciels est que les caractéristiques des équipements ne sont pas toutes transcrites dans le fichier « INP » obtenus donc il faut les insérer un par un dans le fichier en utilisant un éditeur de texte.

Actuellement il y a aussi le logiciel Hydrocaz qui est une extension du logiciel ArcGis et qui permet de simuler directement dans le logiciel ArcGis le fonctionnement hydraulique du réseau mais jusqu'à présent cette extension reste encore un logiciel payant.

Pour cette étude la création du fichier « INP » a été effectuée manuellement en utilisant le logiciel Excel.

La structure du fichier « INP » à produire est la suivante :

[TITLE]							
[JUNCTIONS]							
;ID Noeud	Altitude		Demande de Base			Courbe Modulation	
[RESERVOIRS]							
;ID Noeud	Charge Tot			Courbe Modulation			
[TANKS]							
;ID Noeud	Altitude	Niv Init	Niv Min	Niv Max	Diamètre	VolMin	Courbe Vol
[PIPES]							
;ID Arc	Noeud1	Noeud2	Longueur	Diamètre	Rugosité	PerSing	Etat
[PUMPS]							
;ID Arc	NoeudAsp		NoeudDéch		Paramètres		
[VALVES]							
;ID Arc	NoeudAmont	NodeAval	Diamètre	Type	Consigne	PertSing	
[TAGS]							
[STATUS]							
;ID Arc				Etat/Consigne			
[PATTERNS]							
;ID Modulation				Multiplicateurs			
[COORDINATES]							
;ID Noeud	Coord X			Coord Y			
[VERTICES]							
;ID Arc	Coord X			Coord Y			
[END]							

Figure 38: Structure du fichier d'exportation sous format "INP"

Les différentes sections du fichier décrivant le réseau sont détaillées ci-dessous :

➤ [JUNCTIONS] : correspond à tous les nœuds du réseau qui peuvent être des intersections de conduites, la jonction de deux conduites avec des caractéristiques différentes, les extrémités des conduites... Les données d'entrées pour cet élément sont :

- Les étiquettes d'identification des nœuds
- Les altitudes de chaque nœud (en m)
- Les demandes de base qui sont les débits affectés à chaque nœud (Unité de débit)
- Le numéro de la courbe de modulation faisant varier la consommation au niveau du nœud pendant un laps de temps défini.

➤ [RESERVOIRS] : définit tous les baches du réseau et représentent les sources qui alimentent le réseau (rivière, lac ou forage). Les données d'entrées sont :

- Les étiquettes d'identification de la bache
- La charge totale qui est égale à l'altitude du point où se situe la bache ajoutée de la pression de sortie de la station de traitement (en m).
- Les étiquettes d'identification de la courbe de modulation qui fait varier la charge

➤ [TANKS] donne les caractéristiques de tous les réservoirs du réseau. Les données d'entrées sont :

- L'étiquette d'identification de chaque réservoir
- L'altitude du radier (m)
- Le niveau initial de l'eau dans le réservoir (m)
- Le niveau minimal de l'eau dans le réservoir (m)
- Le niveau maximal de l'eau dans le réservoir (m)
- Le diamètre nominal du réservoir (m)
- Le volume minimum d'eau dans le réservoir (m<sup>3</sup>)
- L'étiquette d'identification de la courbe de volume

➤ [PIPES] : définit tous les conduites du réseau.

Les données d'entrées sont :

- L'étiquette d'identification du tronçon
- L'étiquette d'identification du nœud de départ du tronçon
- L'étiquette d'identification du nœud de sortie du tronçon
- La longueur du tronçon (m)
- Le diamètre intérieur des tronçons (mm)
- Le coefficient de rugosité en fonction des matériaux constituant la conduite
- Le coefficient de pertes de charge singulières en fonction des obstacles rencontrés
- L'état de la conduite (OPEN, CLOSED, ou CV : tronçon pourvu de clapet anti-retour)

➤ [PUMPS] : définit tous les pompes du réseau. Les données d'entrée sont :

- L'étiquette d'identification de la pompe
- L'étiquette d'identification du nœud d'aspiration
- L'étiquette d'identification du nœud de refoulement
- Mot(s)-clef(s) et valeur(s)

- [VALVES] : définit les vannes du réseau et les données d'entrée nécessaires sont :
    - L'étiquette d'identification de la vanne
    - L'étiquette d'identification du nœud initial
    - L'étiquette d'identification du nœud final
    - Le diamètre de la vanne (mm)
    - Le type de la vanne (vanne de régulation de pression, vanne de régulation de débit, brise charge...)
    - Le consigne de la vanne
    - Le coefficient de pertes de charge singulières
  
  - [TAGS] : classe certains nœuds et tronçon selon leur catégorie. Les données d'entrées sont :
    - Le mot- clef (NODE pour les nœuds et LINK pour les tronçons)
    - L'étiquette d'identification du nœud ou du tronçon
    - Le type de nœud ou de tronçon à préciser.
  
  - [STATUS] : définit l'état initial des arcs sélectionnés. Les données d'entrées sont :
    - L'étiquette d'identification du tronçon
    - État ou consigne
  
  - [PATTERNS] : définit les différentes courbes de modulation applicables aux demandes, aux altitudes des baches, aux vitesses de rotation des pompes. Les données d'entrées sont :
    - L'étiquette d'identification de la courbe de modulation
    - Un ou plusieurs multiplicateurs, en séquence temporaire. Ces multiplicateurs sont des facteurs que l'on multiplie avec une valeur de base pour obtenir la valeur réelle à chaque période de simulation.
- NB** : Toutes les courbes doivent être basées sur les mêmes intervalles de temps (durée d'une période) mais le nombre de période peuvent varier d'une courbe de modulation à une autre.
- [COORDINATES] : assigne aux nœuds du réseau leurs coordonnées. Les données d'entrée sont :
    - L'étiquette d'identification du nœud
    - Les coordonnées X
    - Les coordonnées Y
  
  - [VERTICES] : détermine le tracé des arcs en précisant les points de passage des tronçons. Les données d'entrées sont :
    - L'étiquette d'identification du tronçon
    - Les coordonnées X
    - Les coordonnées Y

Les caractéristiques de tous les éléments du réseau issues du SIG ont été alors transcrites dans le logiciel Excel selon la structure du fichier « INP » ci-dessus.

**Remarques**

Dans la section [JUNCTIONS] les nœuds correspondants aux compteurs des abonnés sont affectés de valeur de demande de base égale à 0,04 l/s calculée précédemment (Cf. PARTIE III-II-4- Estimation du besoin en eau du secteur) et le numéro d'identification des courbes de modulation. Lorsque le fichier « INP » est créé il suffit de l'importer dans WaterCad puis il faut vérifier ensuite que le modèle ne présente pas des erreurs.

**II-5-2- Rugosité des conduites**

Les coefficients de rugosité des conduites sont donnés par le logiciel WaterCad en définissant le type de matériaux de chaque conduite. En effet le logiciel dispose d'un catalogue contenant plusieurs types de matériaux avec leurs propriétés. D'après le tableau il existe quelques types de matériaux dont leurs propriétés sont les suivants:

**Tableau 16: Propriétés de quelques types de matériaux fournies par WaterCad**

Types de matériaux	Coefficient de Hazen-Williams	ε de Darcy-Weisbach (mm)	n de Manning	Module d'Young (mH2O)	Coefficient de poisson
Aluminium	100	0,3048	0,024	7 138 040	0,35
Amiante ciment	140	0,0015	0,011	2 447 328	0,3
Fonte	130	0,2591	0,012	9 177 480	0,25
Acier	140	0,03	0,013	21 108 204	0,3
PVC	150	0,0015	0,010	336 508	0,45
Acier galvanisé	120	1,5240	0,016	0	0

Pour cette étude de modélisation il a fallu adopté la formule de perte de charge de Darcy-Weisbach. Elle est théoriquement la plus correcte et est la plus utilisée en Europe. Elle s'applique à tous les régimes d'écoulement et à tous les liquides.

**II-5-3- Modélisation des sources d'alimentation du réseau**

Pour modéliser le réseau du secteur Ambatomaro à partir des trois points d'installation des débitmètres il a fallu assigner aux trois nœuds qui représentent les débitmètres les valeurs moyennes des débits mesurés au niveau de ces trois points pendant dix jours comme demandes de base ainsi que le numéro d'identification des courbes de modulation de débits pour chaque point.

Pour que le logiciel WaterCad considère les trois points comme source il faut ajouter un signe négatif aux demandes de base.

Les coefficients multiplicateurs constituant la courbe de modulation horaire des débits sur les trois points ont été définis à partir de la formule suivante :

$$C_h = \frac{Q_h}{Q_m}$$

Tels que :

C<sub>h</sub> : Coefficients multiplicateurs au moment h

Q<sub>m</sub> : Débit moyenne ou demande de base (l/s)

Q<sub>h</sub> : Débit mesuré au moment h (l/s)

Les demandes de base et les coefficients multiplicateurs au niveau des trois points sont figurés dans les tableaux suivants :

**Tableau 17: Demandes de base pour les points au niveau des 3 débitmètres**

	Débitmètre DN125	Débitmètre DN100	Débitmètre DN150
<b>Demande de base (l/s)</b>	-0,978	-9,166	-0,926

**Tableau 18: Coefficients multiplicateurs des demandes de base pour les points au niveau des 3 débitmètres**

Heures	Coefficients multiplicateurs		
	Débitmètre DN125	Débitmètre DN100	Débitmètre DN150
00:00:00	0,867	0,541	0,001
01:00:00	0,841	0,549	0,008
02:00:00	0,860	0,549	0,050
03:00:00	0,888	0,595	0,073
04:00:00	0,955	0,752	0,105
05:00:00	1,088	1,116	0,943
06:00:00	0,997	1,224	1,992
07:00:00	1,051	1,154	1,280
08:00:00	0,971	1,149	1,425
09:00:00	0,993	1,165	1,222
10:00:00	0,732	1,170	0,769
11:00:00	0,989	1,214	0,000
12:00:00	1,334	1,201	0,235
13:00:00	1,641	1,192	1,101
14:00:00	1,389	1,187	6,117
15:00:00	1,284	1,196	6,399
16:00:00	0,949	1,213	0,137
17:00:00	0,884	1,214	0,000
18:00:00	0,789	1,211	0,001
19:00:00	0,906	1,183	0,033
20:00:00	0,809	1,099	0,027
21:00:00	0,918	0,898	1,178
22:00:00	0,929	0,690	0,864
23:00:00	0,937	0,540	0,043

#### **II-5-4- Variation de la consommation des abonnés**

Pour la détermination des valeurs des consommations horaires des abonnés il a été nécessaire de prendre en compte à la fois des résultats des enquêtes et des renseignements supplémentaires recueillis auprès de quelques groupes d'abonnés dans la partie haute du secteur. Soulignons que les

variations de consommation horaire des abonnés de l'étage bas et de l'étage haut déjà définies plus haut sont différentes en raison des divers problèmes d'alimentation qui règnent dans les zones élevées du secteur. En effet le manque d'eau fréquent qui subsiste à l'étage haut modifie le temps pendant lequel les habitants du secteur puisent de l'eau. D'après les enquêtes effectuées et les constatations sur terrain dans cette partie du secteur, l'arrivée de l'eau est très rare et cette situation ne se présente que la nuit à partir de minuit et ne dure que 4h au maximum avec un débit et une pression d'eau très faible.

Contrairement à la situation qui existe à l'étage haut les conditions d'alimentation en eau potable à l'étage bas sont différentes car les problèmes de manque d'eau sont rares sauf dans une petite partie de cet étage à l'entrée du secteur où il existe des périodes où les pressions de l'eau sont faibles.

L'allure des courbes de modulation des consommations obtenus après la réalisation des enquêtes est la même pour les abonnés des deux étages (Cf. PARTIE III-I-2-3-2-Consommation d'eau) mais celle-ci a été modifiée et séparée lors du calage du modèle qui sera présenté dans le paragraphe suivant.

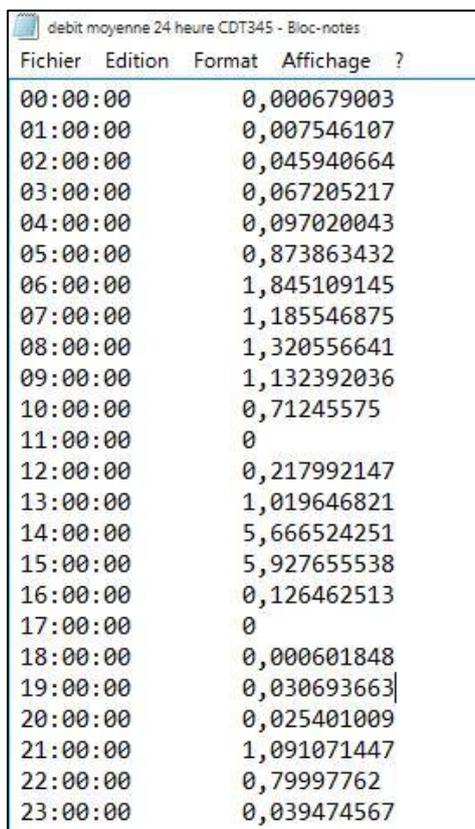
Toutefois, les consommations horaires des abonnés existant restent des valeurs approximatives car elles résultent des informations issues des résultats d'enquêtes peu précises.

## II-6- Calage du modèle

### II-6-1- Création du fichier de calage

Le calage du modèle consiste à ajuster les valeurs du niveau d'eau dans le réservoir, les valeurs de débits et pressions simulées à celles mesurées. Donc afin de comparer ces deux valeurs dans le logiciel WaterCad il faut créer le fichier de calage qui est un fichier texte (format .txt) pouvant être obtenu en utilisant un logiciel de traitement texte (Bloc-notes, Microsoft Word, WordPad...).

La structure du fichier texte à produire est comme suit :



Fichier	Edition	Format	Affichage ?
00:00:00		0,000679003	
01:00:00		0,007546107	
02:00:00		0,045940664	
03:00:00		0,067205217	
04:00:00		0,097020043	
05:00:00		0,873863432	
06:00:00		1,845109145	
07:00:00		1,185546875	
08:00:00		1,320556641	
09:00:00		1,132392036	
10:00:00		0,71245575	
11:00:00		0	
12:00:00		0,217992147	
13:00:00		1,019646821	
14:00:00		5,666524251	
15:00:00		5,927655538	
16:00:00		0,126462513	
17:00:00		0	
18:00:00		0,000601848	
19:00:00		0,030693663	
20:00:00		0,025401009	
21:00:00		1,091071447	
22:00:00		0,79997762	
23:00:00		0,039474567	

Figure 39: Exemple d'un fichier de calage

De droite à gauche, il y a les valeurs mesurées (niveau d'eau, débit, pression) et les heures correspondant à chaque valeur. Les fichiers de calage pour chaque élément du réseau sont créés séparément et pour cette étude il faut trois fichiers pour les débits mesurés au niveau des trois débitmètres et dix autres pour les pressions mesurées au niveau des dix manomètres installés.

Le fichier de calage est importé vers le logiciel WaterCad à partir de la fenêtre des « patterns » dans la liste de la tâche « component » comme montrée sur cette image :

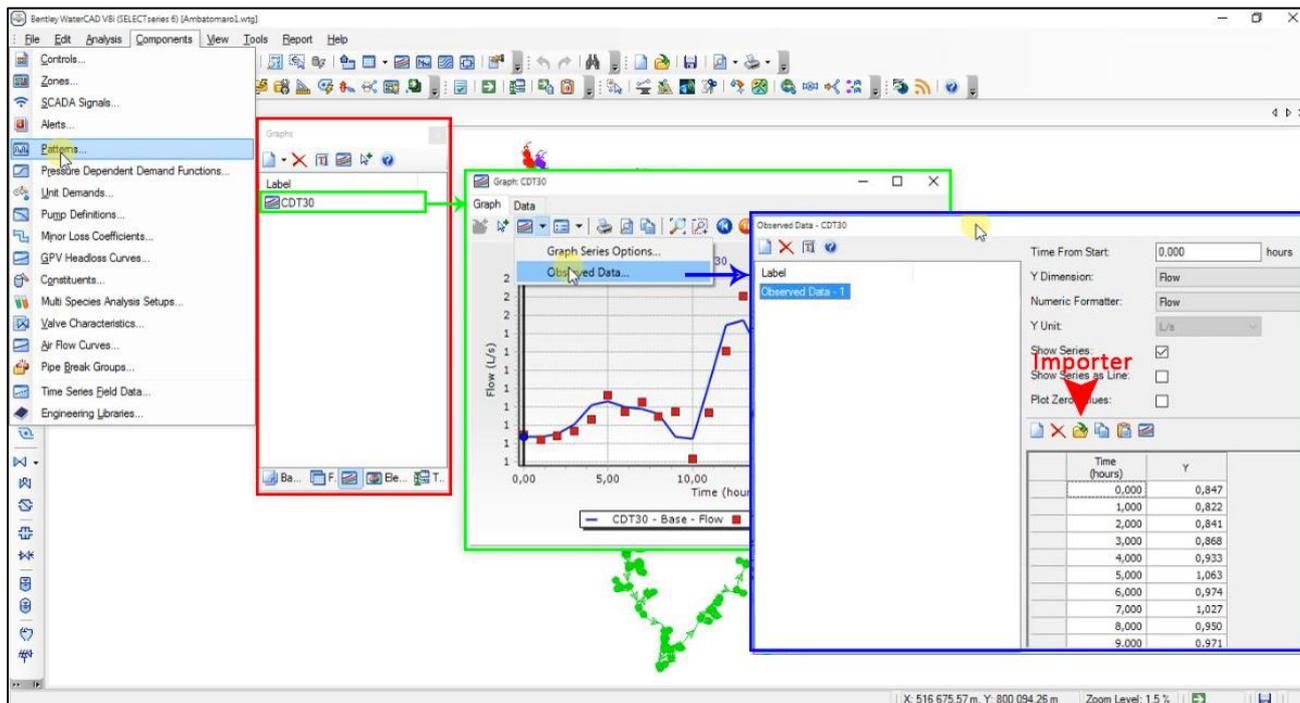


Figure 40: Importation du fichier de calage dans le logiciel WaterCad

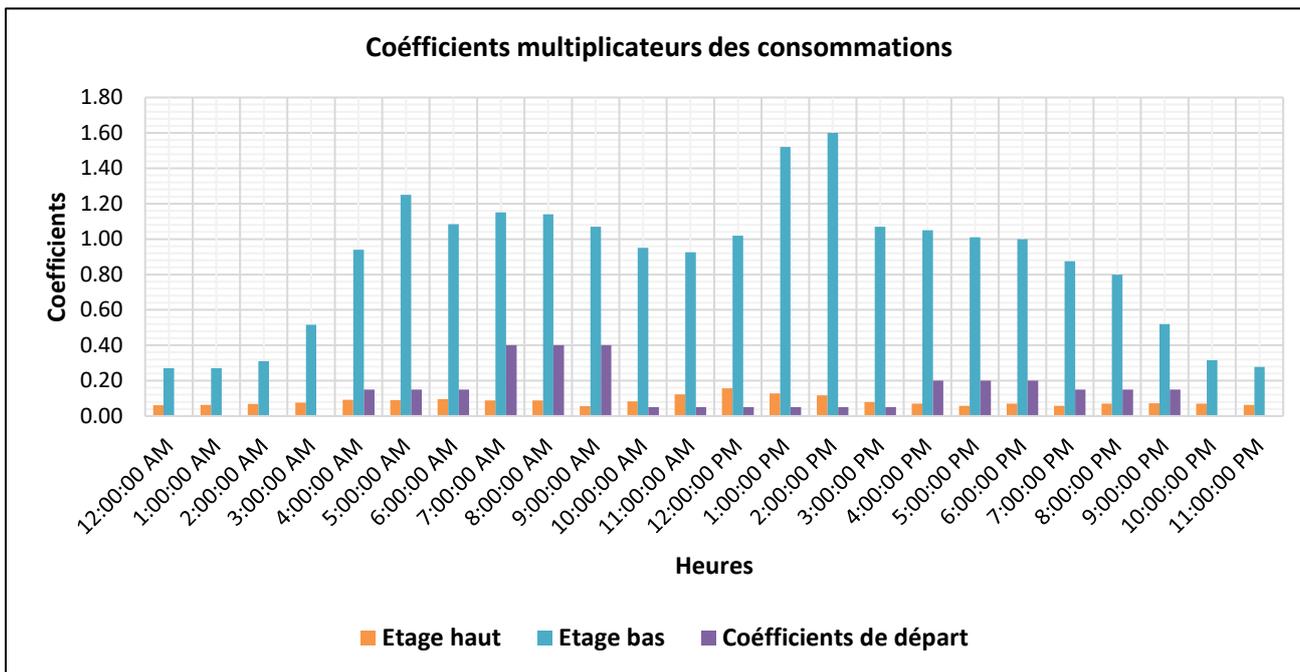
## II-6-2- Les étapes du calage

Lorsque tous les fichiers ont été créés le calage du modèle a été effectué en suivant les trois étapes suivantes :

- Le calage de volume d'eau par le marnage du réservoir
- Le calage du débit d'eau au niveau des trois conduites principales qui alimentent le secteur
- Le calage des pressions au niveau des dix manomètres.

Notons que pour caler le modèle il a fallu apporter quelques modifications aux paramètres qui n'ont pas beaucoup de précision. Concernant le calage du modèle pour cette étude de modélisation du réseau d'AEP dans le secteur Ambatomaro, les principales modifications apportées sont au niveau des coefficients multiplicateurs qui constituent la courbe de modulation des consommations des abonnés. En effet, comme il a été dit précédemment les consommations horaires des abonnés ont été obtenues à partir des enquêtes et sont des valeurs approximatives. Quant aux coefficients de rugosité des conduites ainsi que les pertes de charges provoquées par les singularités, l'influence de leur modification est négligeable en raison de la vitesse de l'écoulement de l'eau faible qui règne dans presque tous le réseau.

Le graphique suivant illustre la différence entre les coefficients multiplicateurs de départ et ceux après calage pour les abonnés des deux étages :



Graphique 8: Comparaison des coefficients multiplicateurs des deux étages avec les coefficients de départ

Un énorme écart entre les coefficients de l’étage bas et de l’étage haut peut être observé et par rapport aux coefficients de départ ceux de l’étage bas ont été considérablement augmentés par contre ceux de l’étage haut ont légèrement diminués. Notons aussi que la consommation des abonnés de l’étage bas est dix fois supérieures à celle de l’étage haut, en effet la moyenne des coefficients multiplicateurs de l’étage bas est de 0,87 contre 0,08 pour l’étage haut.

### **II-6-3- Résultats de calage**

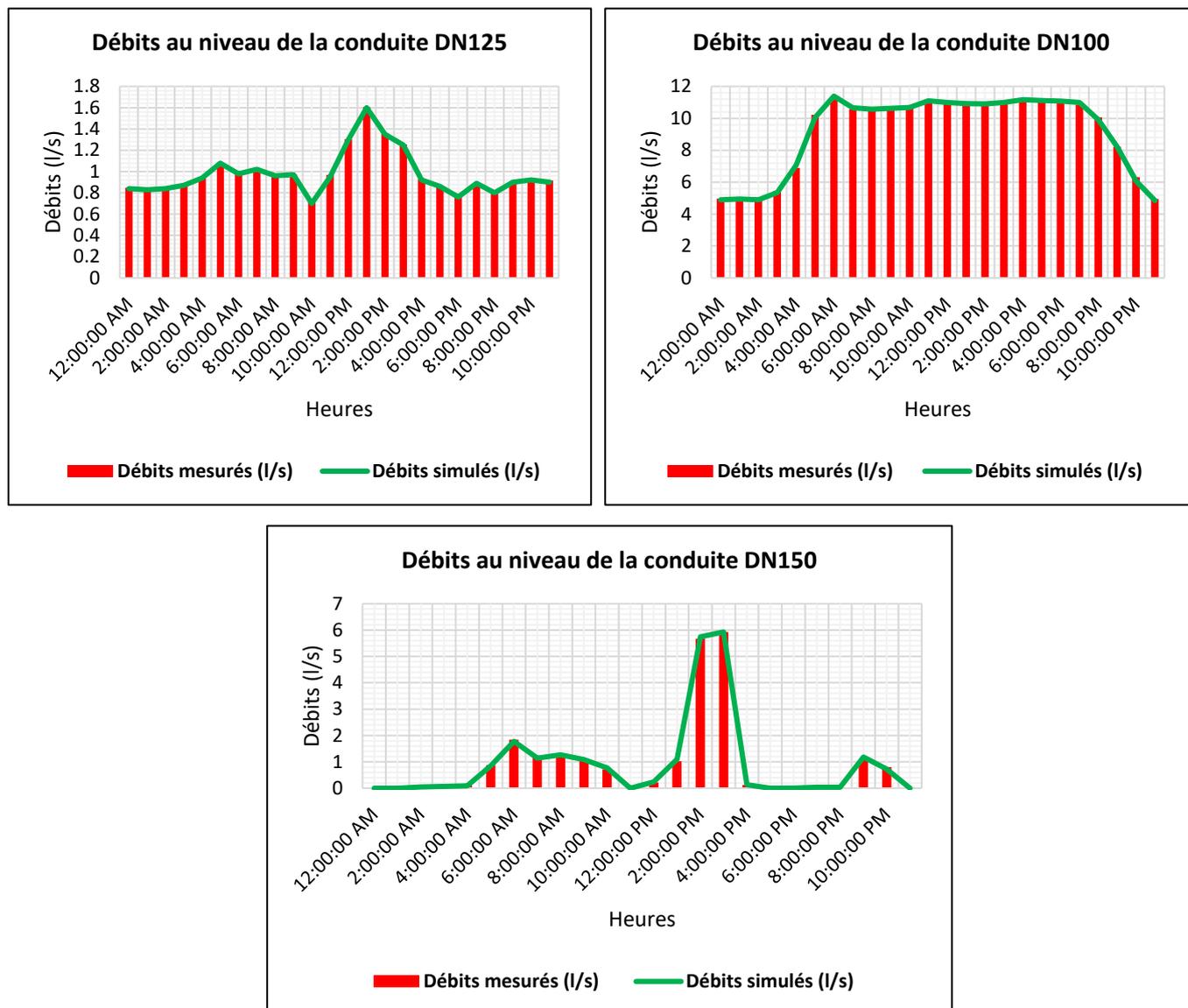
#### **II-6-3-1- Calage du volume d’eau**

Après la réalisation des enquêtes supplémentaires après les mesures de paramètres hydrauliques dans les quartiers aux alentours du réservoir pour des collectes d’informations utiles au calage du modèle établi, il a été conclu que le réservoir était vide car il n’y avait pas d’eau dans tous les quartiers enquêtés alimentés par le réservoir. Donc le volume d’eau dans le réservoir a été calé à son niveau minimum.

#### **II-6-3-2- Calage de débits**

Rappelons que les résultats de mesure de débits au niveau des trois débitmètres installés sur les trois conduites principales qui alimentent le secteur ont servi pour modéliser les sources d’alimentation du réseau dans le modèle c’est-à-dire que les débits simulés et les débits mesurés sont pratiquement identiques.

Les graphiques ci-après montrent la comparaison entre les débits simulés et les débits mesurés au niveau des trois conduites principales :



Graphique 9: Comparaison des valeurs de débits simulés et observés

Le tableau suivant montre les valeurs minimales, maximales et les valeurs moyennes des différences entre les débits mesurés et simulés au niveau des trois débitmètres :

Tableau 19: Différences entre les débits simulés et mesurés

Débitmètres	Différences entre les pressions mesurées et simulées		
	Valeurs Min (l/s)	Valeurs Max (l/s)	Valeurs Moyennes (l/s)
CDT DN100	0,00	0,07	0,08
CDT DN125	0,00	0,02	0,01
CDT DN150	0,00	0,09	0,03

Les différences minimales et maximales entre les débits mesurés et simulés sont toutes inférieures à 10% ;