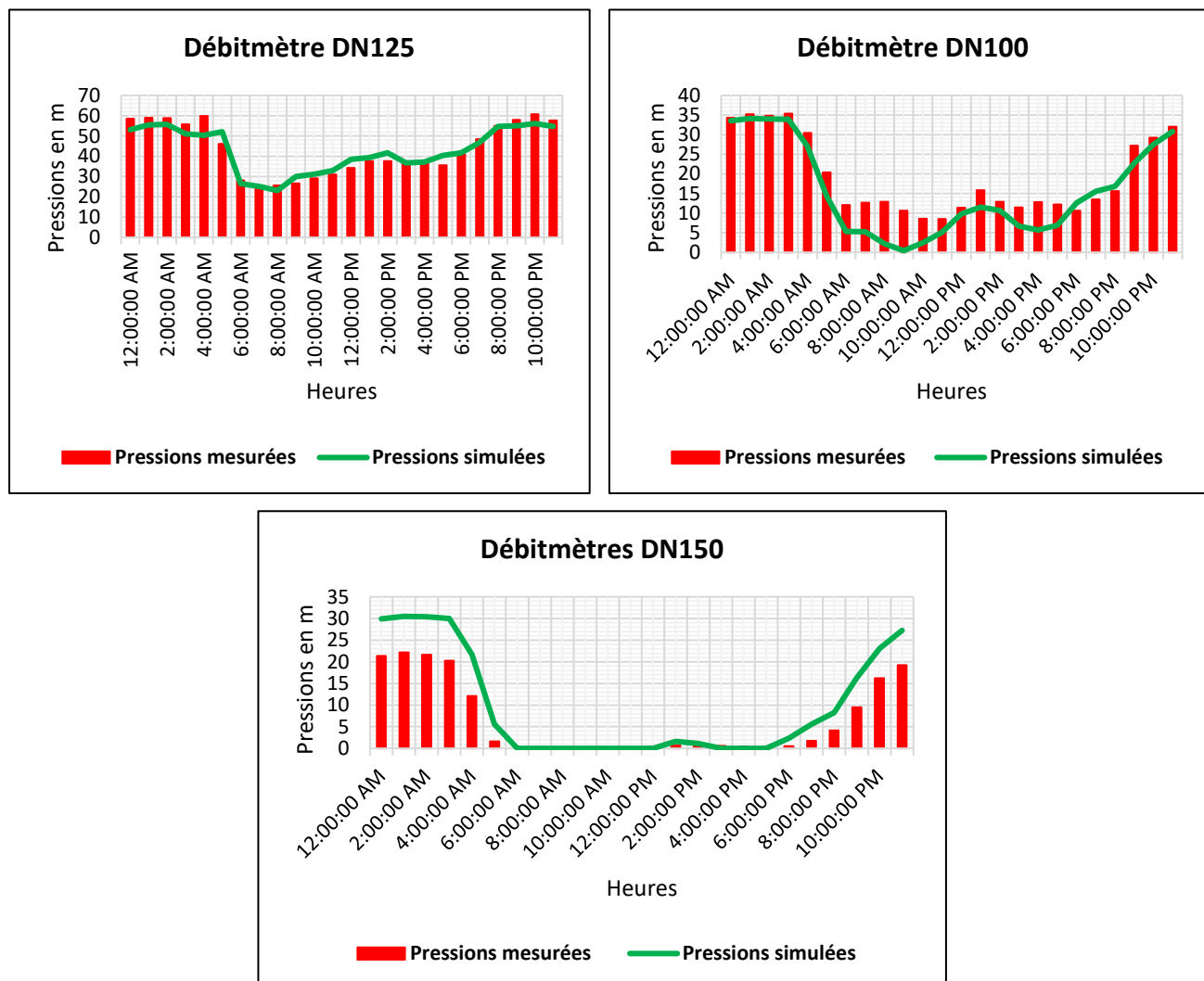


II-6-3-3- Calage de pressions

Les comparaisons des pressions mesurées et simulées au niveau des débitmètres et des manomètres sont présentées par les graphiques suivantes :

Au niveau des débitmètres



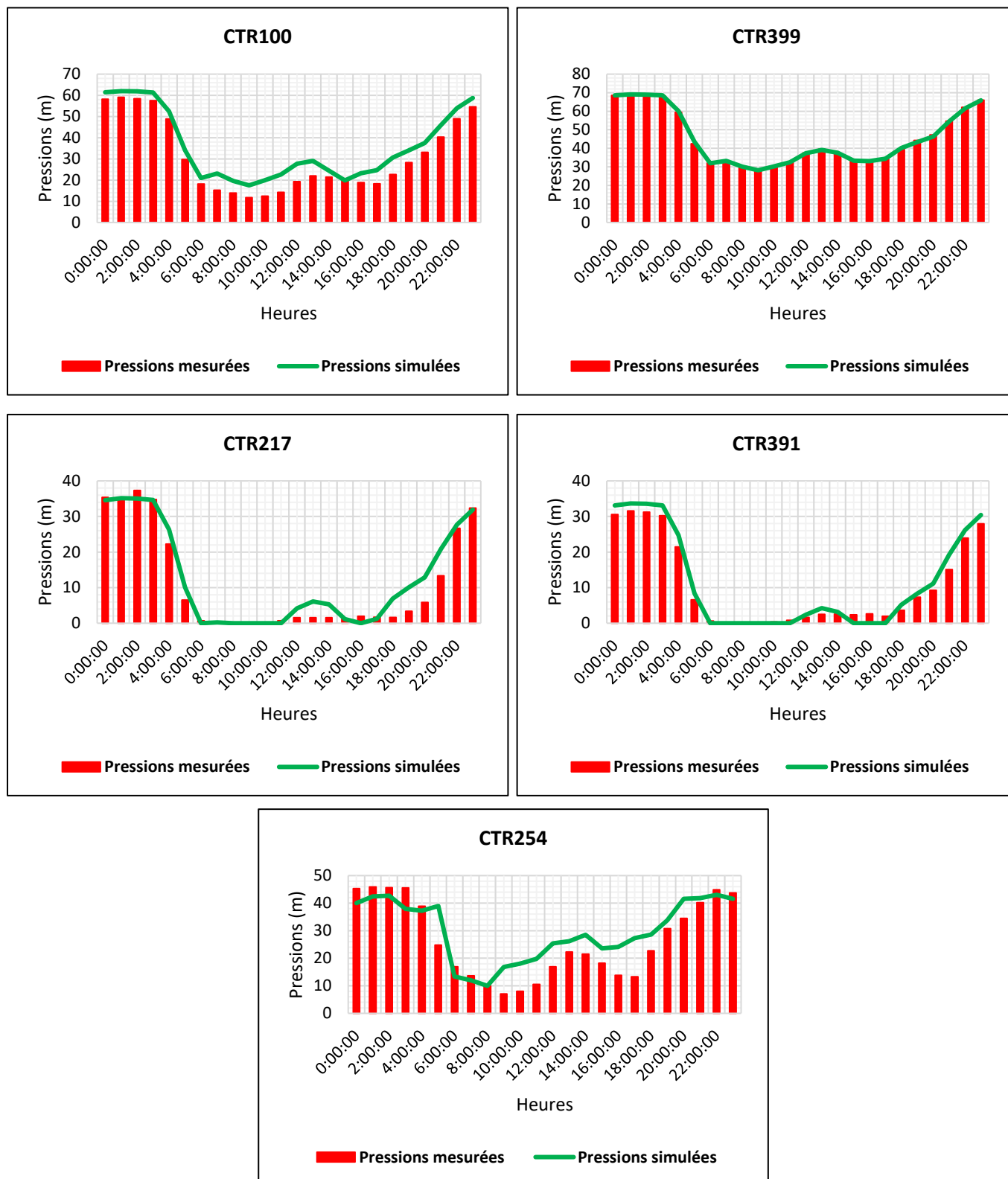
Graphique 10: Comparaison des pressions simulées et observées au niveau des trois débitmètres

Le tableau suivant présente les valeurs minimales, maximales et les valeurs moyennes des différences entre les pressions mesurées et simulées au niveau des trois débitmètres :

Tableau 20: Différences entre les pressions simulées et mesurées au niveau des trois débitmètres

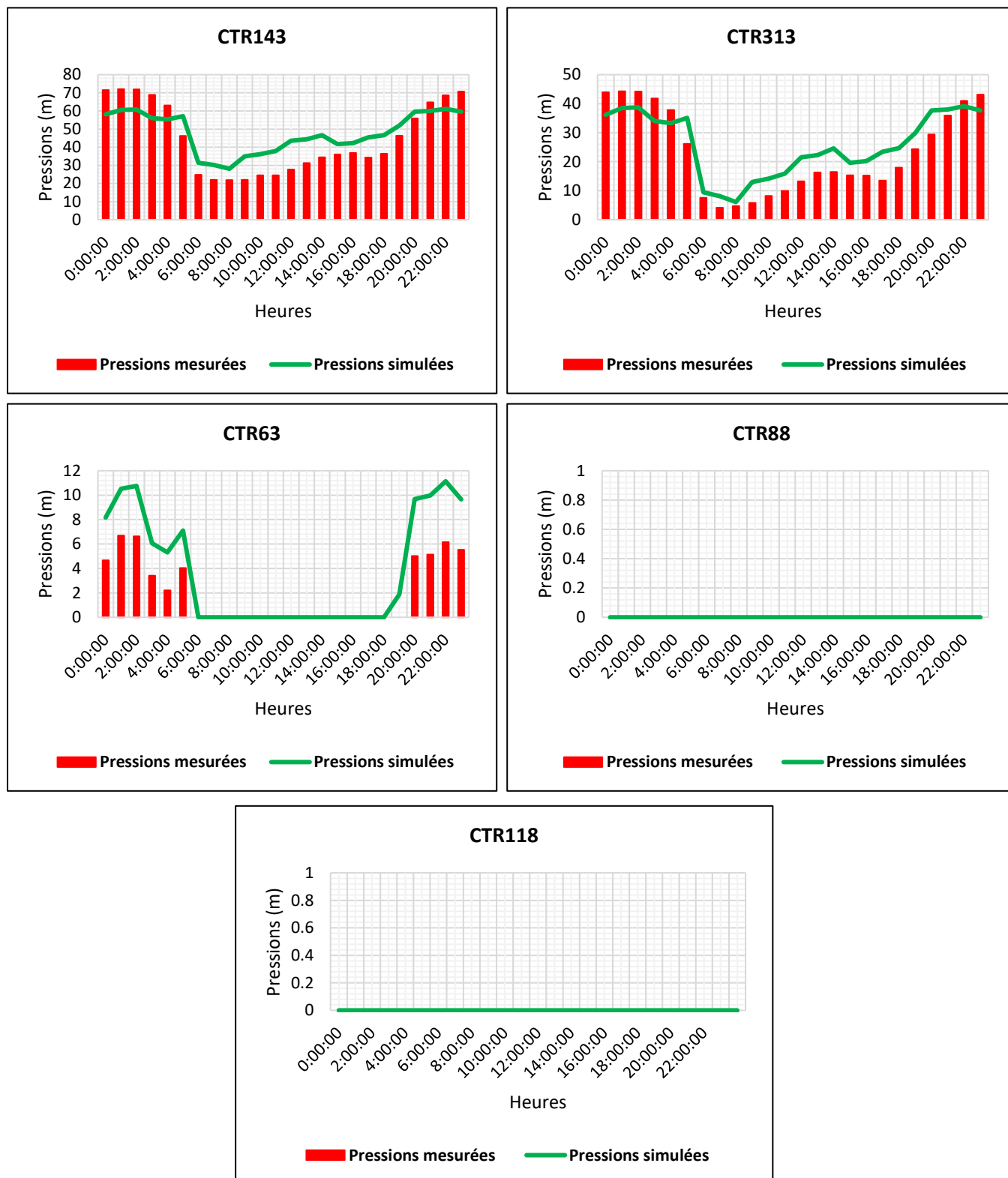
Débitmètres	Différences entre les pressions mesurées et simulées		
	Valeurs Min (m)	Valeurs Max (m)	Valeurs Moyennes (m)
CDT DN100	0,76	10,69	4,00
CDT DN125	0,06	9,48	3,04
CDT DN150	0,00	9,69	3,48

Au niveau des manomètres de l'étage bas



Graphique 11: Comparaison des pressions simulées et observées au niveau des manomètres de l'étage bas

Au niveau des manomètres de l'étage haut



Graphique 12: Comparaison des pressions simulées et observées au niveau des manomètres de l'étage haut

Les tableaux suivants présentent les valeurs minimales, maximales et les valeurs moyennes des différences entre les pressions mesurées et simulées au niveau des manomètres installées dans les deux étages du secteur :

Tableau 21: Différences entre les pressions simulées et mesurées au niveau des manomètres de l'étage bas

Manomètres étage bas	Différences entre les pressions mesurées et simulées		
	Valeurs Min (m)	Valeurs Max (m)	Valeurs Moyennes (m)
CTR100	0,07	8,38	4,07
CTR399	0,01	0,97	0,39
CTR217	0,00	7,52	2,26
CTR391	0,04	4,10	1,68
CTR254	0,03	14,25	3,84

Tableau 22: Différences entre les pressions simulées et mesurées au niveau des manomètres de l'étage haut

Manomètres étage haut	Différences entre les pressions mesurées et simulées		
	Valeurs Min (m)	Valeurs Max (m)	Valeurs Moyennes (m)
CTR143	3,73	15,84	4,70
CTR63	0,00	4,99	1,70
CTR313	1,37	9,95	5,05
CTR88	0,00	0,00	0,00
CTR118	0,00	0,00	0,00

D'après les conditions qui ont été déjà évoquées ultérieurement (Cf. PARTIE I-I-3-4-Calage du modèle) le modèle sera calé :

- Si la différence entre les pressions observées et les pressions simulées est inférieure ou égale à 5 m,
 - Si la différence entre la hauteur d'eau observée et simulée dans les réservoirs est inférieure ou égale à 10cm,
 - Si les erreurs entre les débits mini et maxi calculés et observés pour la distribution sont de 15%, et de 10% pour les débits de production,
- Dans notre cas après calculs faits :

- Le niveau de l'eau dans le réservoir est toujours à son niveau minimum ce qui a été le cas lors de la période de mesure de paramètres hydrauliques.
- Les erreurs entre les pressions simulées et observées sont inférieures à 5 m en moyenne même s'il y a des valeurs maximales plus de 10 m.
- Les valeurs minimales et maximales des erreurs entre les débits de production simulés et mesurés sont tous inférieurs à 10%.

Le calage du modèle est donc satisfaisant en tenant compte des conditions de calage citées précédemment et pour la suite des études le modèle calé peut être utilisé pour des projets d'améliorations ou d'extension du réseau.

II-7- Comparaison des résultats de simulation et des résultats d'enquête

Rappelons que la modélisation d'un réseau d'AEP consiste à reproduire le fonctionnement du réseau dans la réalité donc pour voir que le modèle établi dans le secteur Ambatomaro reflète bien la réalité il a fallu comparé le résultat de la simulation du modèle avec les résultats d'enquête concernant les problèmes de manque d'eau illustré à travers les deux images suivantes :

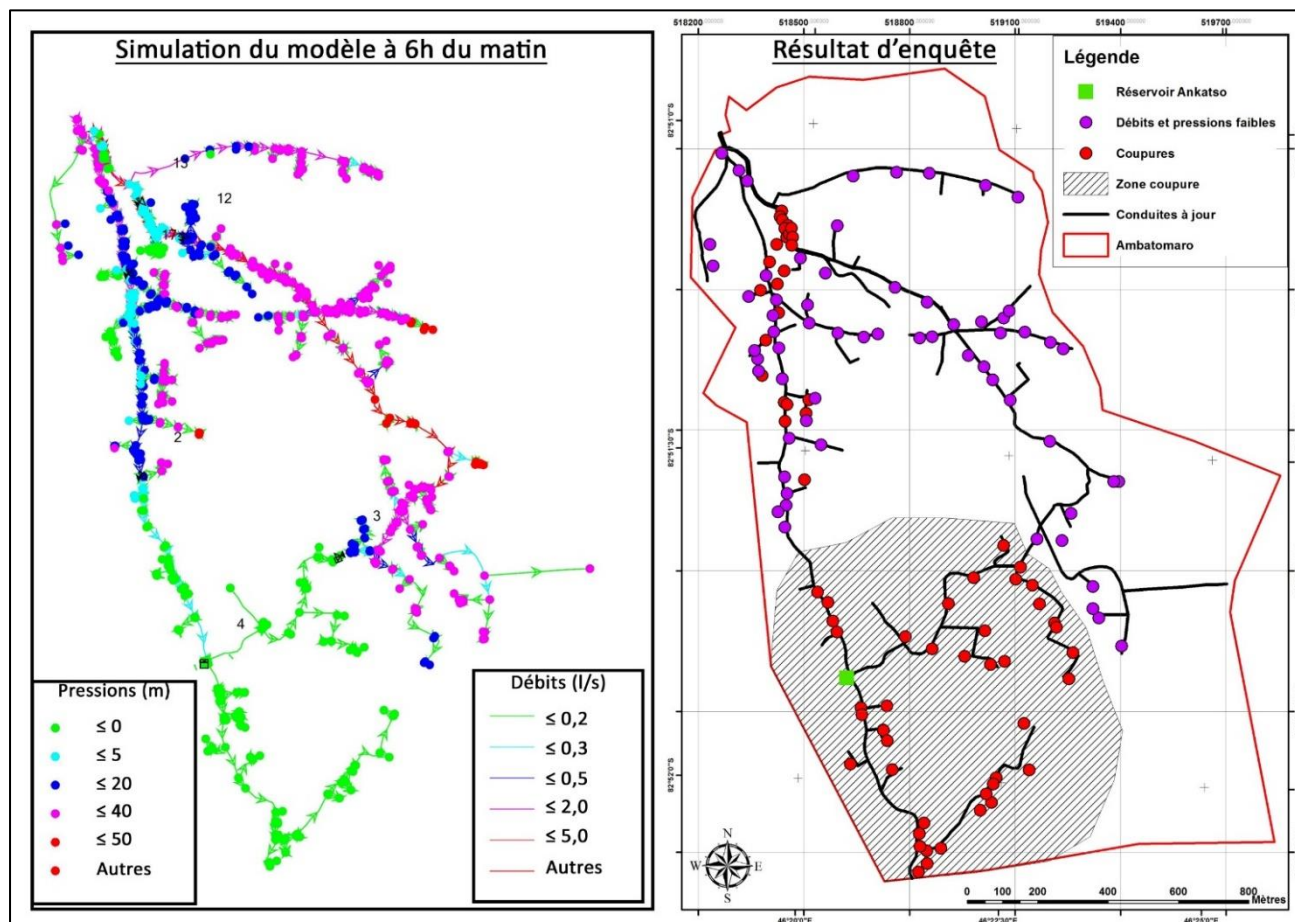


Figure 41: Comparaison des résultats de simulation et des résultats d'enquête(UTM WGS 84)

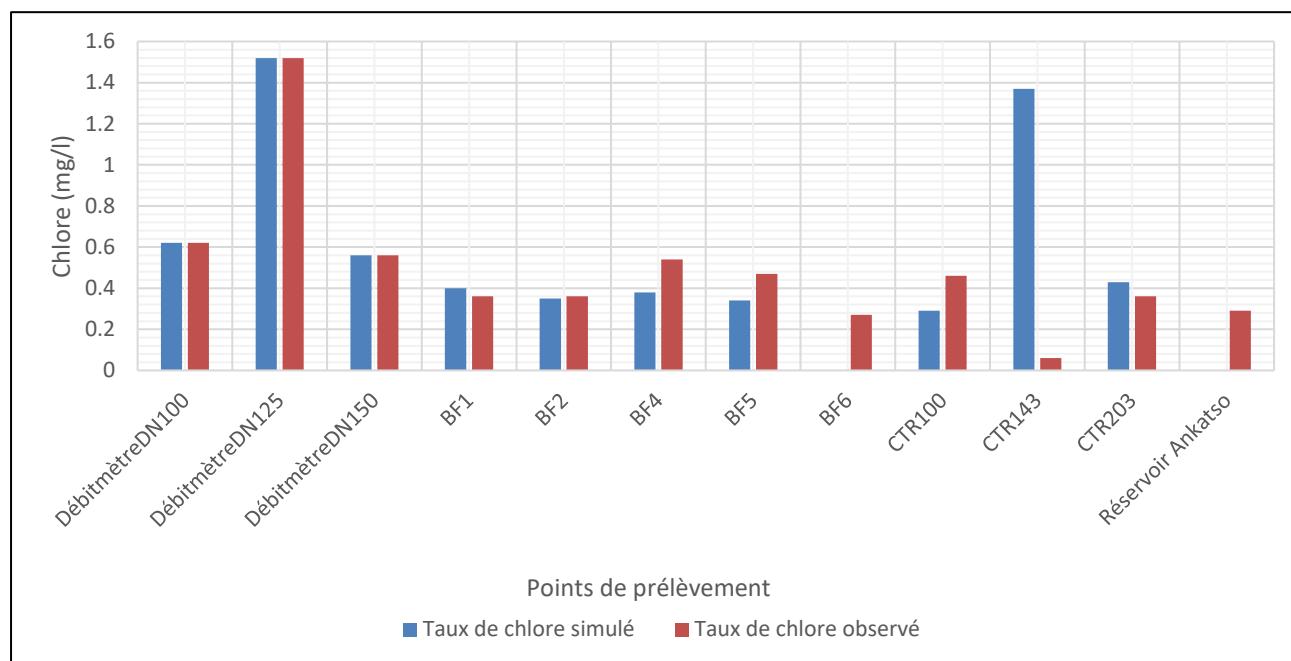
Il peut être constaté d'après ces deux cartes que les résultats de la simulation du modèle coïncident avec les résultats d'enquête car sur ces deux images, les points avec des pressions nulles (points verts) dans le résultat de la simulation se situent dans les zones où il y a des coupures fréquentes d'après les enquêtes.

D'après la simulation du modèle les pressions varient en général entre 20 m et 40 m et les débits y sont inférieurs à 2 l/s.

II-8- Simulation de la variation spatiale de chlore

Les résultats d'analyse cité plus haut ont été utilisées pour la simulation de la variation spatiale de chlore (Cf. PARTIE III-I-4-3-Résultats d'analyse). Les valeurs de chlore résiduel obtenues près des trois points d'installation des débitmètres ont été alors utilisées comme concentrations de base en chlore des trois points sources du modèle ensuite. Les valeurs de chlore calculées ont été alors comparées avec celles mesurées au niveau des points de prélèvement.

Le graphique suivant illustre la différence entre les valeurs de chlore simulées et observées :



Graphique 13: Comparaison des taux de chlore résiduel simulés et mesurés

Les taux de chlore simulés et observés sont à peu près similaires sauf pour le point CTR143 qui se situe à l'entrée du réseau où un taux de chlore égale à 0,06 mg/l a été observé alors que le taux de chlore au niveau de la source d'alimentation de cette partie est de 1,52 mg/l. Nous pouvons donc supposer que ce point pourrait être alimenté par un autre réseau ou des erreurs pouvaient avoir lieu au niveau des analyses.

Il peut être aussi constaté que les taux de chlore simulés au niveau du point BF6 et du réservoir Ankatso sont nuls. En effet les prélèvements d'échantillons d'analyse ont été réalisés des jours plus tard après les mesures de paramètres hydrauliques qui ont servi pour le modèle. Pendant les prélèvements d'échantillons il y avait de l'eau la nuit dans la zone élevée où se situe ces deux points alors que lors de la campagne de mesures des paramètres hydrauliques il n'y avait pas d'eau pendant plusieurs jours.

Chapitre III- Propositions de solutions aux problèmes d'alimentation en eau du secteur Ambatomaro

Pour la résolution des problèmes dans le secteur Ambatomaro qui font souffrir les habitants de ce secteur, deux variantes de solution ont été alors défini :

- L'application d'un tour de distribution d'eau entre les deux étages du secteur
- L'installation d'une conduite feeder à partir du surpresseur Ambatomaro jusqu'au réservoir Ankatso.

III-1- Première variante : Tour de distribution de l'eau

Nous avons vu précédemment que les abonnés de l'étage bas ne subissent pas des problèmes fréquents en matière d'alimentation en eau contrairement aux abonnés de l'étage haut.

Donc pour que tous les abonnés des deux étages puissent avoir accès à l'eau pendant la journée un tour de distribution de l'eau entre les deux parties a été proposé. Ceci consiste à refouler tous le débit d'eau provenant du surpresseur qui alimente le secteur vers le premier étage pendant un laps de temps et de le refouler ensuite vers le deuxième étage pour le reste du temps pendant 24 heures.

De ce fait, à partir de 5h du matin jusqu'à 20h du soir toute l'eau sera refoulée vers l'étage bas et pendant la nuit à partir de 20h jusqu'à 5h du matin elle sera refoulée vers l'étage haut. Cette répartition horaire a d'abord pour but de remplir le réservoir qui se trouve à l'étage haut pendant la nuit pour pouvoir alimenter les abonnés de cet étage le lendemain pendant la journée mais aussi pour pouvoir alimenter l'étage bas pendant le laps de temps défini étant donné que toutes les usines qui emploient beaucoup de personnes et qui utilisent beaucoup d'eau pendant la journée se situent dans cet étage.

Pour que ce soit possible il faudrait installer une autre vanne au niveau de la conduite DN 100 qui alimente l'étage bas sachant qu'une vanne existe déjà au niveau de la conduite d'alimentation DN125 (Cf. Figure 20).

L'image suivante illustre la localisation des deux vannes à l'entrée du secteur :

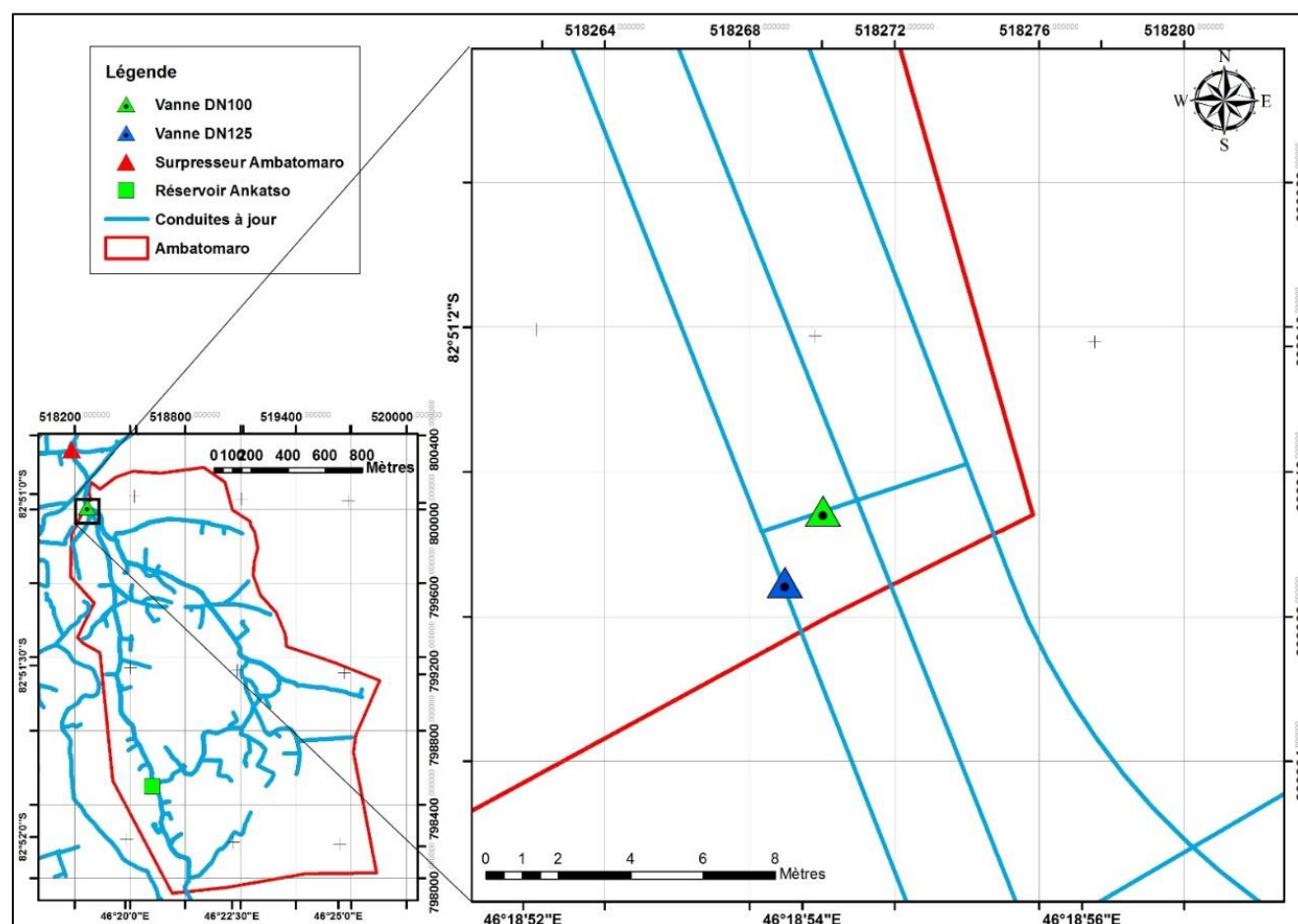


Figure 42 : Localisation des deux vannes à l'entrée du secteur(UTM WGS 84)

III-1-1- Simulation de la première variante

Pour pouvoir simuler cette variante il a fallu additionné les résultats de mesure de débits au niveau des deux conduites DN125 et DN100 sur un seul point qui se situe en amont des deux points d'installation des deux débitmètres considéré comme source d'alimentation. Le débit provenant de ce point sera réparti vers l'étage bas et l'étage haut à travers les deux conduites DN125 et DN100 selon les plages horaires déjà définies précédemment.

La demande de base au niveau du point source a été assignée d'un signe négatif et égale à **-10,124 l/s**. Cette valeur sera ensuite multipliée par les coefficients figurés dans le tableau suivant pour avoir les débits à toutes heures de la journée.

Tableau 23: Coefficients multiplicateurs de la demande de base au niveau du point source

Heures	Coefficient	Débits (l/s)
00:00:00	0,570	5,773
01:00:00	0,567	5,737
02:00:00	0,615	6,229
03:00:00	0,791	8,009
04:00:00	1,100	11,133
05:00:00	1,222	12,373
06:00:00	1,154	11,683
07:00:00	1,140	11,540
08:00:00	1,146	11,605
09:00:00	1,125	11,391
10:00:00	1,190	12,047
11:00:00	1,215	12,305
12:00:00	1,238	12,531
13:00:00	1,210	12,253
14:00:00	1,210	12,246
15:00:00	1,194	12,091
16:00:00	1,184	11,985
17:00:00	1,170	11,848
18:00:00	1,174	11,886
19:00:00	1,058	10,715
20:00:00	0,899	9,105
21:00:00	0,691	7,000
22:00:00	0,568	5,751
23:00:00	0,567	5,737

Afin de simuler automatiquement l'ouverture et la fermeture des deux vannes DN125 et DN100 à l'entrée du secteur, des commandes simples ont été créés dans le logiciel WATERCAD pour les deux vannes pour permettre à l'eau de refouler vers les deux étages du secteur pendant les laps de temps définis.

Les commandes permettent de donner des ordres aux éléments du réseau dans le logiciel par exemple de fermer une vanne lorsque le débit en amont de celle-ci est inférieur à 1l/s. Dans notre cas les commandes établies ferment automatiquement la vanne de la conduite DN100 et ouvre celle de la conduite DN125 à 20h du soir pour que l'eau soit totalement dirigée vers l'étage haut et inversement à partir de 5h du matin pour rediriger l'eau vers l'étage bas.

La fenêtre de commande se trouve dans la liste déroulante de la tâche « component » et il suffit ensuite de créer des commandes en sélectionnant les conditions appropriées parmi celles déjà prédéfinies dans la partie encadrée en vert que nous pouvons voir sur l'image suivante :

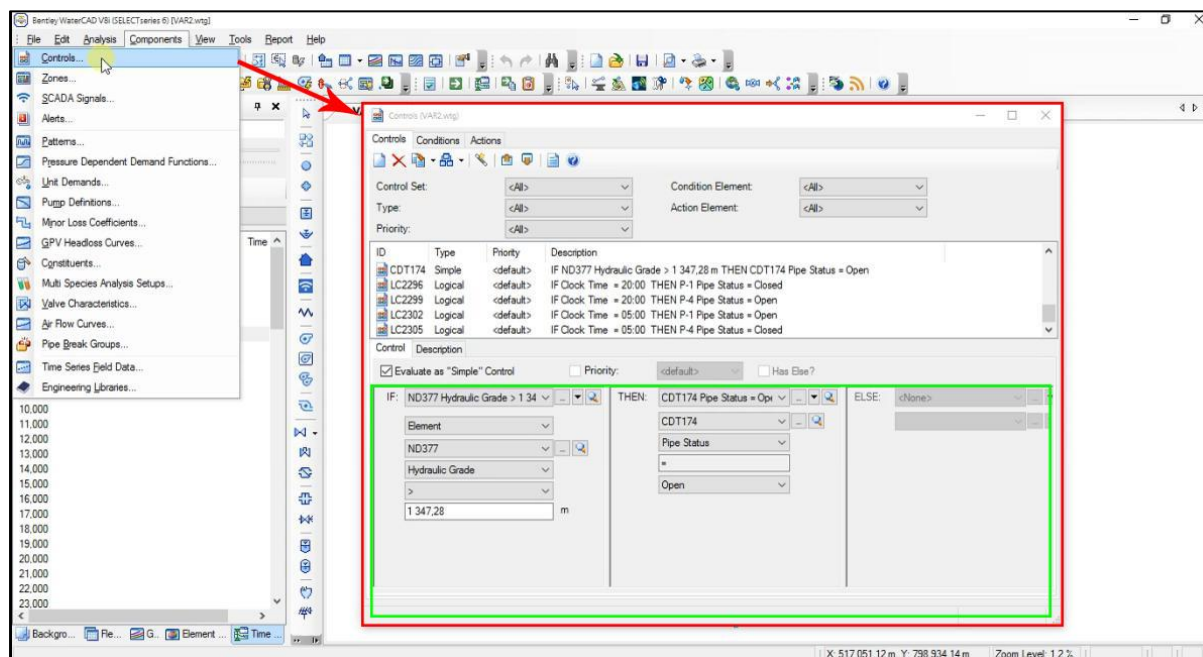


Figure 43: Fenêtre des commandes dans le logiciel WaterCad

III-1-2- Résultats de la simulation de la première variante

Pour observer les améliorations apportées par l'application de la tour de distribution d'eau entre les deux étages du secteur il a fallu comparé la simulation du modèle à son état actuel et avec l'application de la première variante.

Les deux images ci-dessous illustrent cette comparaison à 6h du matin :

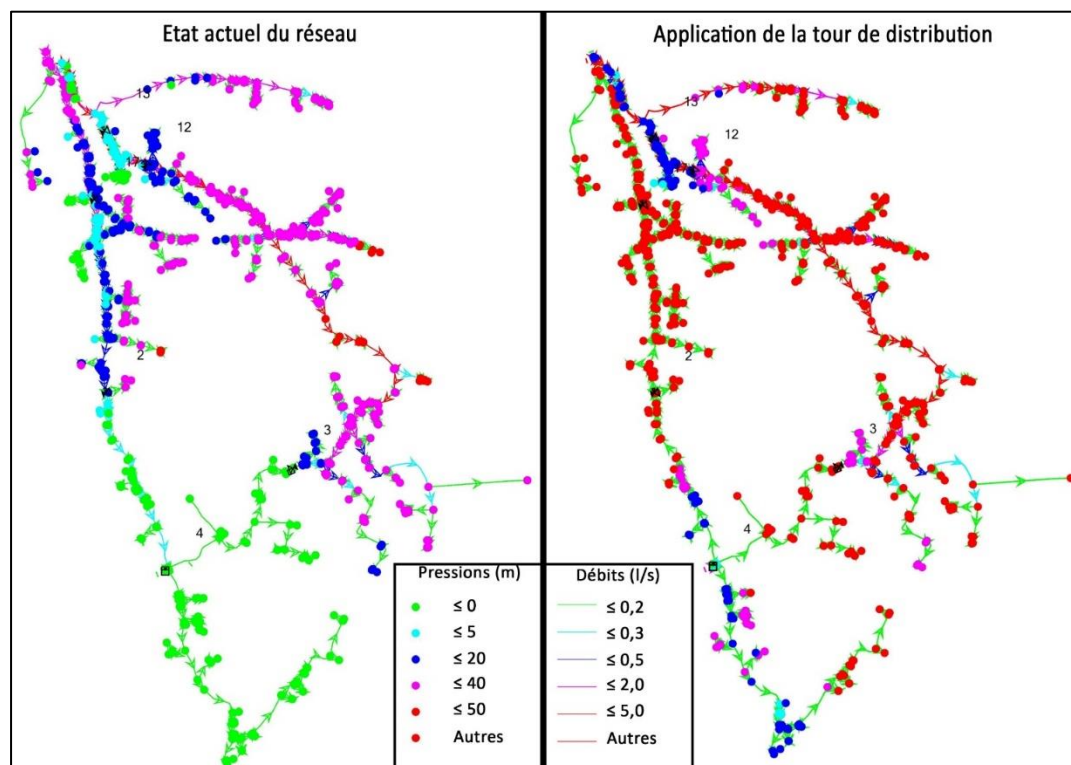


Figure 44: Comparaison des résultats de simulation du réseau à son état actuel et avec la tour de distribution

Il peut être constaté d'après ces deux cartes que les pressions faibles à l'état actuel du réseau ont augmentées après l'application de la tour de distribution surtout dans l'étage haut où il y a des pressions nulles qui sont représentées par les points en vert et qui sont maintenant compris entre 20 m à plus de 50 m. A l'étage bas, nous pouvons aussi voir des améliorations au niveau des pressions et sont aussi compris entre 20 m à plus de 50 m.

Avec la simulation de la première variante les pressions dans tous le réseau sont supérieures à 20m sauf au moment où il n'y a pas d'eau.

III-1-3- Devis estimatif pour l'installation de la vanne au niveau de la conduite DN100

Le devis estimatif pour l'installation d'une vanne DN100 a été élaboré à partir des coûts actuels utilisés par la JIRAMA. Le tableau ci-dessous contient le détail des matériels nécessaires et leurs coûts :

Tableau 24: Devis estimatif pour l'installation de la vanne DN 100

Désignation matériel	Unité	Quantité	Prix Unitaire (Ar)	Prix Total (Ar)
Arrêt de distribution et remise en charge sur conduite	U	1	80 255	80 255
Coupe sur conduite 100	U	2	8 266	16 532
Béton pour butée et calage	m ³	0,5	418 193	209 097
Robinet vanne DN 100 (Sens de fermeture antihoraire)	U	1	1 109 104	1 109 104
Ensemble bouche à clé à tête carré	U	1	429 951	429 951
Joint de bride DN 100	U	2	20 769	41 538
TOTAL				1 928 015

Donc le devis estimatif pour l'installation du robinet vanne DN100 s'est arrêté à la somme d'un **million neuf cent vingt-huit mille quinze ariary**.

III-2- Deuxième variante : Installation d'une conduite feeder

Pour la résolution des problèmes dans le secteur Ambatomaro il a été proposé d'installer une conduite feeder à partir du surpresseur Ambatomaro jusqu'au réservoir Ankatso en parallèle avec celle qui existe déjà. Cette nouvelle conduite feeder acheminera directement l'eau venant du surpresseur jusqu'au réservoir car la conduite existante joue actuellement le rôle d'une conduite de refoulement distributif c'est-à-dire qu'avant d'arriver jusqu'au réservoir elle est déjà piquée pour l'approvisionnement des abonnés en amont du réservoir.

Soulignons quand même que cette proposition ne fait qu'améliorer l'alimentation en eau du secteur mais elle ne permet pas de résoudre totalement les problèmes existants. En effet, sachant que le réseau du secteur Ambatomaro se situe à l'extrémité du réseau d'AEP de la ville d'Antananarivo,

les débits et les pressions à l'entrée du secteur dépend des conditions qui se trouvent dans tous le réseau des secteurs en amont du secteur Ambatomaro. Donc pour résoudre complètement le problème dans ce secteur il faut prendre en compte tous le réseau de la ville d'Antananarivo.

La carte suivante illustre la localisation de la conduite feeder par rapport au réseau du secteur :

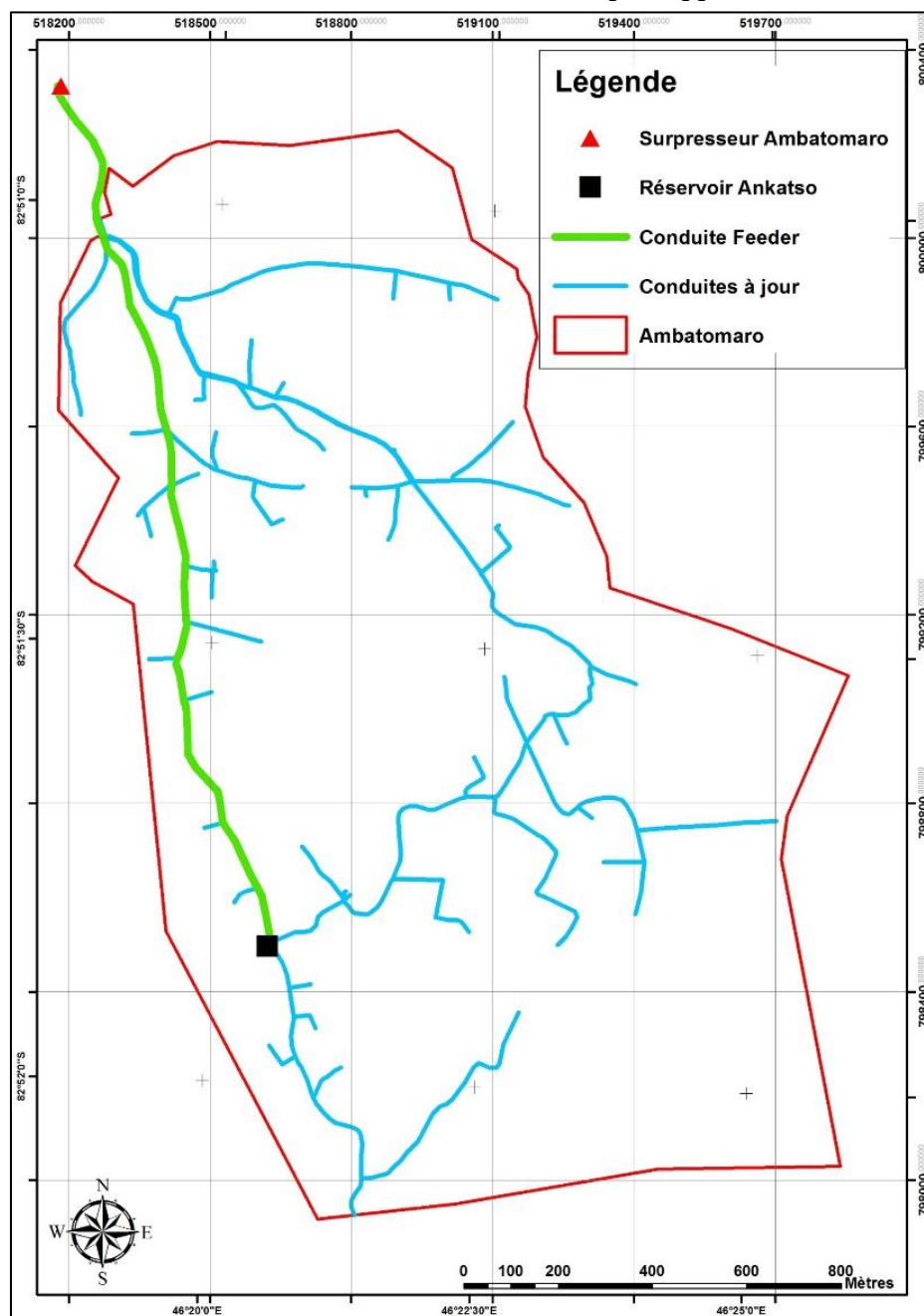


Figure 45: Localisation de la nouvelle conduite feeder dans le réseau(UTM WGS 84)

La conduite feeder acheminera l'eau sur une longueur de 2 km environ avec une section de 125 mm qui est la même que la conduite déjà existante. Une conduite en PVC a été aussi proposée pour avoir le minimum de perte de charge.

Tous les abonnés branchés sur l'ancienne conduite de refoulement seront alors alimentés par le réservoir de façon gravitaire.

III-2-1- Simulation de la deuxième variante

Le modèle établi a été utilisé pour simuler son fonctionnement et pour voir les améliorations apportées par la mise en place de la conduite feeder. L'insertion du tronçon de la conduite feeder dans le modèle a été effectuée selon la même méthode que l'élaboration du modèle c'est-à-dire qu'il a fallu d'abord insérer le conduite feeder dans le SIG puis il a fallu l'exporté vers le logiciel WATERCAD.

Nous pouvons voir d'après l'image suivante la comparaison entre la simulation du fonctionnement du réseau avant et après la mise en place de la conduite feeder à 06h du matin :

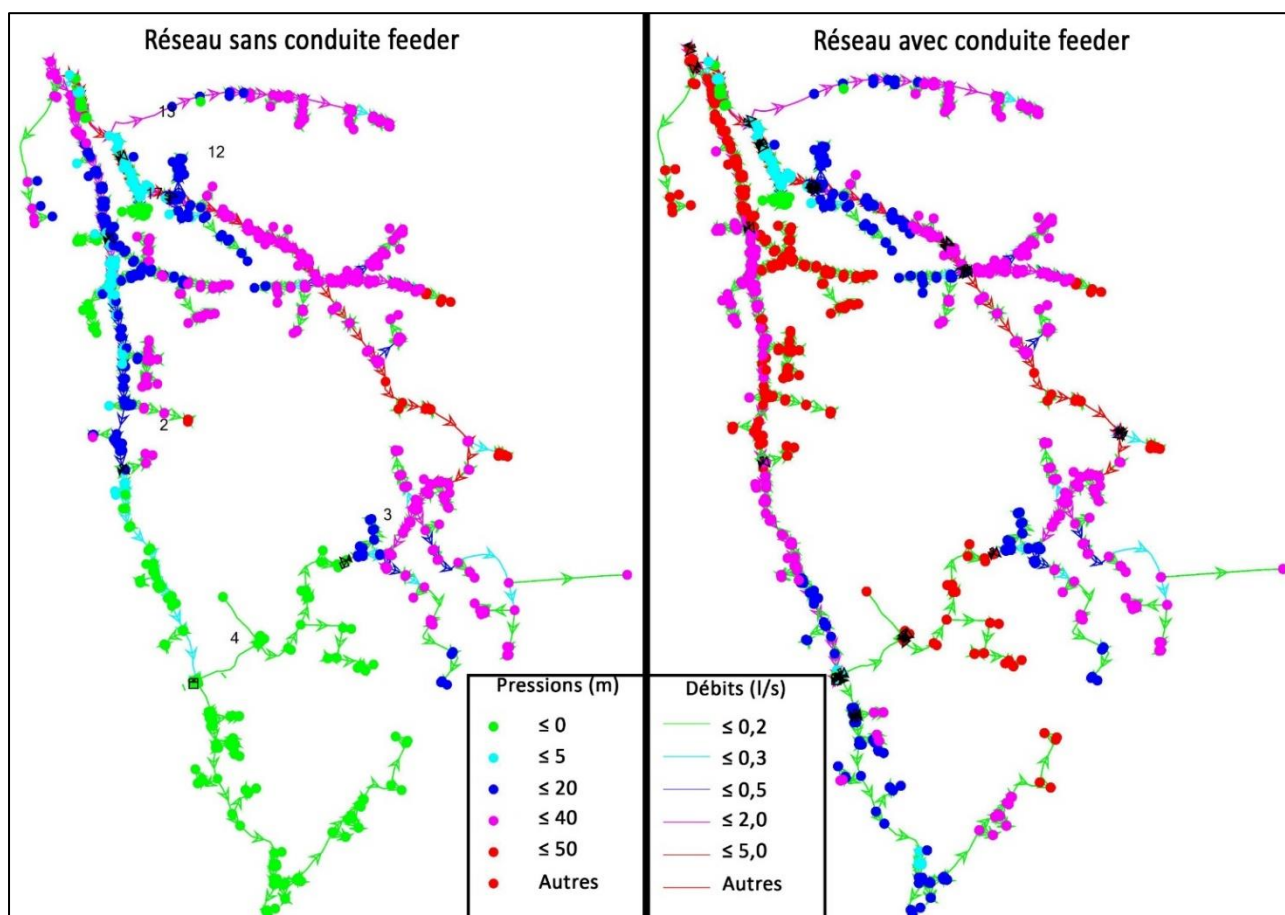
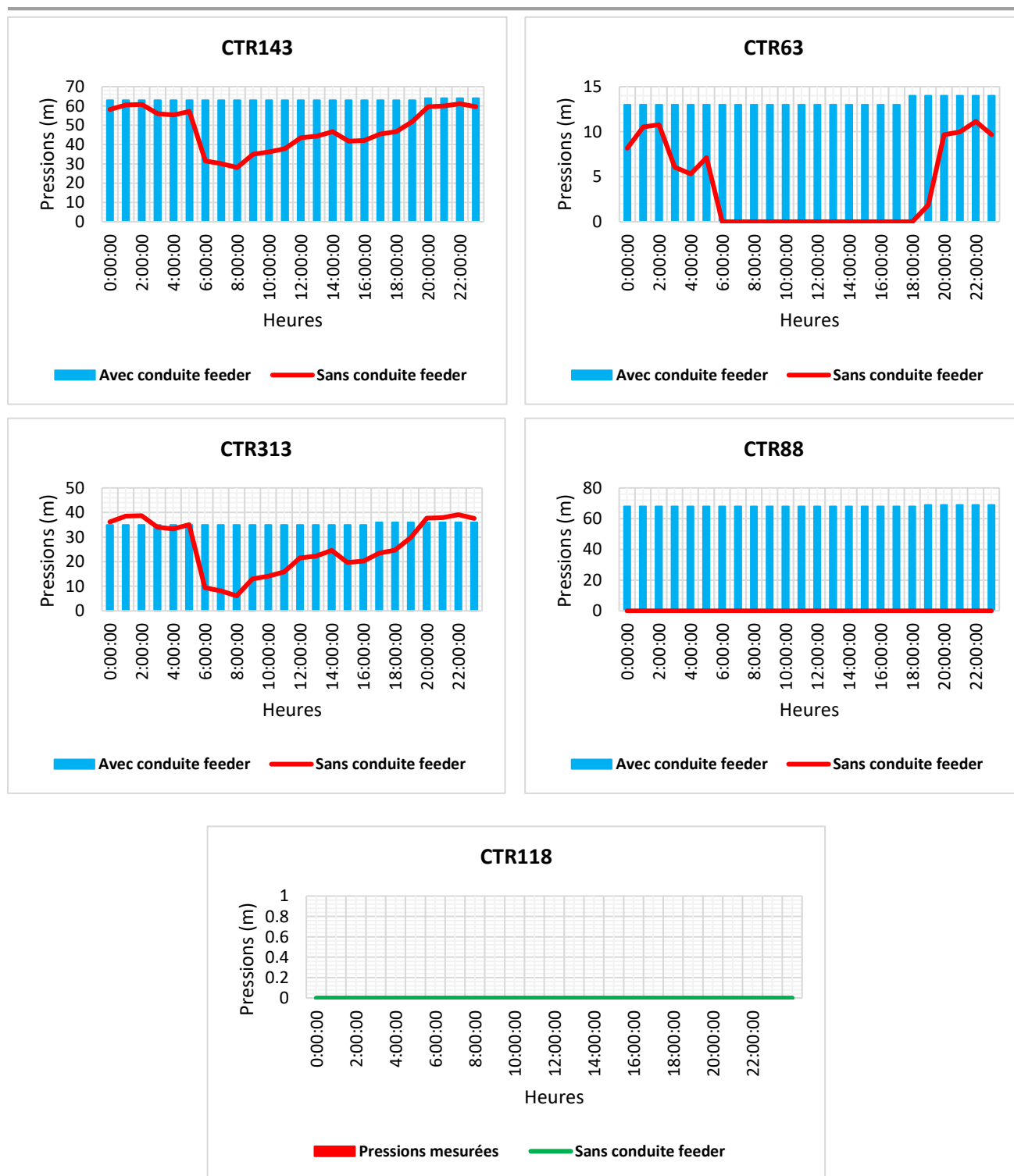


Figure 46: Comparaison des résultats de simulation avant et après la mise en place de la conduite feeder

D'après la simulation des améliorations ont été apportées au niveau des pressions de l'eau de l'étage haut après la simulation du modèle avec la conduite feeder. En effet dans la partie la plus élevée du secteur où il y a les points en vert avec des pressions nulles nous pouvons voir que les pressions ont été améliorées et sont maintenant comprises entre 5 m à plus de 50 m. Par contre le débit reste inchangé puisqu'il dépend de la capacité de la station de production et de tous le réseau qui se situe en amont du secteur Ambatomaro.

Les améliorations apportées concernent surtout l'étage haut car la nouvelle conduite feeder alimente seulement l'étage haut du secteur mais aussi parce que l'étage haut est le plus concerné par les problèmes de manque d'eau fréquents.

Les graphes suivants montrent la comparaison entre les pressions simulées avant et après la mise en place de la conduite feeder au niveau des points d'installation des manomètres de l'étage haut :



Graphique 14: Comparaison des pressions simulées avec et sans la conduite feeder dans l'étage haut

Il a été constaté que les pressions au niveau des points de l'étage haut ont nettement augmenté avec la conduite feeder. La variation des pressions pendant 24h au niveau de ces points dépend de la variation du niveau d'eau dans le réservoir étant donné qu'ils sont maintenant alimentés par le réservoir de façon gravitaire donc les pressions au niveau de tous les points sont données par la formule :

$$P_i = (Z_R + H_{\text{eau}}) - Z_i - \Delta H_i$$

P_i : La pression au niveau d'un point alimenté par le réservoir (m)

Z_R : Altitude du radier (m)

H_{eau} : Hauteur d'eau dans le réservoir (m)

Z_i : Altitude du point (m)

ΔH_i : Pertes de charge entre le réservoir et le point (m)

III-3- Analyse et comparaison des deux variantes

Les deux variantes de solution peuvent toutes résoudre le problème de manque d'eau fréquent dans le secteur Ambatomaro sur le court terme. Pour évaluer laquelle des deux est la solution la plus adéquate les avantages et les inconvénients des deux variantes sur quelques domaines ont été comparés dans le tableau suivant :

Tableau 25: Avantages et inconvénients des deux variantes

	Avantages	Inconvénients
Variante 1 : Application de la tour de distribution entre les deux étages	- Pressions et débits élevés dans tous le secteur - Peu coûteux - Facile à réaliser car ne nécessite que l'installation d'une vanne	- Perte d'étanchéité accélérée des vannes à cause des manœuvres fréquentes - Ouverture et fermeture manuelles journalières des vannes - Inexistence d'eau à l'étage bas la nuit - Refoulement toujours distributif vers le réservoir - Risque d'insuffisance d'eau dans les parties proches du réservoir d'eau lorsque les demandes en eau en aval de celui-ci augmentent à cause du système de refoulement distributif - Problème de dépôts
Variante 2 : Installation d'une conduite Feeder à partir du surpresseur jusqu'au réservoir	- Pressions élevées - Remise à la norme du système de refoulement - Distribution gravitaire de l'eau depuis le réservoir vers tous les abonnés de l'étage haut	- Projet assez cher - Durée d'exécution un peu longue - Débits inchangés dans les deux secteurs

	- Les pressions et débits dans les parties proches du réservoir ne dépendra plus de la consommation des abonnés en amont du réservoir.	
--	--	--

La deuxième variante a été donc choisie comme la solution adéquate même si celle-ci est plus coûteuse. En effet, elle est la mieux sécurisée en matière de distribution d'eau et elle permet aussi la remise à la norme du réseau de distribution d'eau par la distribution gravitaire et le refoulement direct