

Development of Strategic Framework for upgradation to a smart water network system through technological interventions in Sousse and Monastir in Tunisia

Assessing energy savings from optimization of water production and distribution system

Deliverable 2.2.5

Report

Project No 22-002

June 2024

Prepared for CTCN



Development of Strategic Framework for upgradation to a smart water network system through technological interventions in Sousse and Monastir in Tunisia

Assessing energy savings from optimization of water production and distribution system - Deliverable 2.2.5

Report
Project No 22-002

Prepared for: CTCN
Represented by Ms Nadège Trocellier

Contact person: Nadège Trocellier
Project Manager: Magali Larsson
Quality Supervisor: Maija Bertule
Author: Mortadha Guermiti, Petr Ingeduld
Project No.: 11827067
Revision: 2.0 FINAL
Classification: **Confidential**

File name: Optimisation_Rapport_2_2_5_FINAL.docx

Table des matières

Summary	5
1 Introduction	7
1.1 Cadre du projet	7
1.2 Activités et objectifs	7
1.3 Modélisation des réseaux d'adduction et de distribution de Monastir	7
2 Analyse du pompage	9
2.1 Zone de distribution – Zone haute de Monastir	9
2.1.1 Pompes	9
2.1.2 Résultats issus de l'analyse du modèle	10
2.2 Zone de production	11
2.2.1 Les pompes	12
2.2.2 Analyse	13
2.3 Remplacement des pompes	13
3 Optimisation de la distribution	15
3.1 Contraintes hydrauliques	15
3.2 Amélioration du pompage vers la zone haute de Monastir	15
3.2.1 Proposition	15
3.3 Résultats	16
4 Optimisation de la production	18
4.1 Contraintes hydrauliques	18
4.2 Contraintes énergétiques	18
4.2.1 Energie fournie par la STEG	18
4.2.2 Energie solaire	19
4.3 Centrale de dessalement	21
4.3.1 L'importance du choix des pompes	21
4.3.2 Planification optimale du pompage	23
4.3.3 Contrôle avec le modèle hydraulique	25
4.4 Analyse et proposition d'amélioration	26
5 Bilans hydrauliques et énergétiques	27
5.1 Prévisions de production et de consommation dans la zone pilote	27
5.1.1 Evolution démographique sans aucun changement en termes de consommation et de pertes	27
5.1.2 Réduction de la consommation grâce aux compteurs intelligents	28
5.1.3 Réduction des pertes	29
5.2 Impact sur la production d'eau	29
5.3 Impact sur la consommation énergétique	30
6 Recommendations	31
6.1 Remplacement des pompes	31
6.2 Développement du système de supervision	31
6.3 Stratégie de pompage	32
6.3.1 Système de distribution	32
6.3.2 Station de dessalement	32

Figures

Figure 1-1: Les modèles de distribution et de production de Monastir.....	8
Figure 2-1: Modélisation du système de réservoir et de pompage de Monastir	9
Figure 2-2: Courbes caractéristiques de pompe du réseau de Monastir	9
Figure 2-3: Carte des deux zones gravitaire et pompage sur le réseau de Monastir	10
Figure 2-4: La zone avec la faible pression	11
Figure 3-1: Nœud de contrôle de pression pour les pompes VSD (pompes Monastir)	15
Figure 3-2: La pression maximale et minimale avant l'installation des pompes à vitesse variable	16
Figure 3-3: La pression maximale et minimale après l'installation des pompes à vitesse variable	16
Figure 3-4: La série temporelle de la pression au niveau du même nœud de contrôle testé auparavant	17
Figure 4-1: Tarif des coûts de l'énergie - profil journalier	19
Figure 4-2: Evolution du prix moyen durant le jour et la nuit (REKK)	20
Figure 4-3: Intensité en CO ₂ de la production d'électricité (REKK)	20
Figure 4-4: Intensité en CO ₂ pendant la journée (REKK)	21
Figure 4-5: Pompe Grundfos vs KSB - courbe Q-H.....	22
Figure 4-6: Pompe Grundfos vs KSB – courbe d'efficacité	22
Figure 4-7: Programmation ou fonctionnement optimal de la pompe	24
Figure 4-8: Courbes du soleil pendant l'été (source : https://suncurves.com/en/view/?location_id=20128).....	24
Figure 4-9: Courbes de soleil hivernales (source : https://suncurves.com/en/view/?location_id=20128)	25
Figure 4-10: Résultats de temps de drainage sur le réservoir de Monastir	26
Figure 5-1 Evolution démographique pour la ville de Monastir	27
Figure 6-1: Ecosystème d'un jumeau numérique	31

Tables

Table 2-1: caractéristiques des deux zones du réseau de distribution	10
Table 2-2 Données brute concernant les pompes de la zone pilote	12
Table 2-3 Extrait du calcul effectué sur les pompes	13
Table 4-1: Tableau représentant les coefficients de consommation (hiver, été).....	25
Table 5-1 Estimation de production et consommation en eau pour 2041 dans la zone pilote – sans mesure ni changement.....	28
Table 5-2 Estimation de la consommation dans la zone pilote a l'horizon 2041 en mettant en place une consommation intelligente.....	28
Table 5-3 Estimation de la consommation dans la zone pilote a l'horizon 2041 en mettant en place une distribution intelligente (sectorisation et optimisation du pompage).....	29
Table 5-4 Estimation de la production dans la zone pilote à l'horizon 2041 en mettant en place une consommation et une distribution intelligente (sectorisation et optimisation du pompage)	30

Summary

The report primarily focuses on reducing energy consumption in water systems while improving efficiency. The modernization aims to convert the water network into a smart, technologically advanced system that can handle growing demand and ensure sustainable resource use.

The pumping conditions has been analysed in the pilot are, for the main water supply and Monastir's distribution system:

- Monastir's water distribution system consists of two main zones: one that relies on gravity and another that requires pumping. The pumping system includes four primary pumps, each with different performance capabilities, and this system plays a vital role in ensuring water reaches all parts of the city. However, some inefficiencies have been identified in this network. Notably, the system experiences energy losses due to friction in the pipelines, with about 46.5% of energy being wasted. Additionally, certain areas suffer from low water pressure during peak hours, highlighting the need for system improvements.
- Many of the pumps in operation are several decades old, resulting in reduced efficiency and performance. Replacing these with modern pumps would cut down energy waste and improve the overall functioning of the network.
- One of the key solutions proposed to address inefficiencies is the installation of variable speed pumps (VSD). These pumps adjust their speed according to real-time demand, reducing excessive energy consumption and optimizing pressure levels in the system. Simulation tests conducted as part of the report demonstrate the effectiveness of this approach, showing that installing VSDs could reduce physical water losses by around 10%, decrease pipeline ruptures by 20%, and significantly cut energy consumption. These savings would not only help reduce operational costs but also improve the sustainability of the water supply system.

The water production systems for both Sousse and Monastir are dependent on the transfer of water from northern Tunisia and in the future on the new desalination plan, a process that requires considerable energy input. The primary source of energy for water production and transportation is fossil fuels, provided by the Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG). The optimization of desalination plants, which are critical for meeting the growing water demands in the region is very important:

- Incorporating solar energy into the system to reduce reliance on fossil fuels and minimize CO₂ emissions. Given Tunisia's high levels of sunlight, solar power is a feasible solution that could meet up to 65% of the system's energy needs for the desalination plant during daylight hours.
- A comparison with two pumps with similar hydraulic performance highlights the importance of selecting the right equipment, as the operational costs of running pumps over their lifespan far exceed their initial purchase and installation costs. Choosing the most efficient pump model can therefore lead to substantial savings in both energy and operating expenses.

An analysis of future water demand in the pilot zone has been carried out based on the assumption that the population will grow by 34% by 2041. This increase in population will naturally result in higher water consumption. However, the implementation of smart technologies, such as smart water meters and the sectorization of the distribution network, could help mitigate this rise in demand. Smart meters allow consumers to monitor their water usage in real-time, encouraging more responsible consumption. The report suggests that these meters could reduce water consumption by 10-15%. Moreover, sectorization, which involves dividing the network into smaller zones and optimizing the pressure in each zone, could reduce water losses and improve overall system efficiency. By managing water pressure more effectively, the report estimates that these strategies could lower water losses by 10%, further reducing energy consumption for pumping.

By 2041, the combined effect of these interventions—smart metering, sectorization, and optimized pumping—could save as much as 10.5 million cubic meters of water annually. This would also result in significant energy savings. If all the saved water were to come from desalination plants, the energy savings would amount to approximately 31.6 million kWh per year. Even if only half of the savings were from desalination and the other half from conventional water sources, the report predicts energy savings of around 18.1 million kWh annually. These reductions in water and energy consumption not only help meet the growing demand but also contribute to a more sustainable and resilient water supply system.

In terms of recommendations, the report stresses

- The need for replacing outdated pumps, starting with the oldest and least efficient models. Replacing these pumps with modern, energy-efficient alternatives would provide immediate benefits in terms of both energy savings and system performance.
- The development of a comprehensive Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system is recommended. This system would allow for real-time monitoring of water flow, pressure, and pump performance across the network, enabling operators to make data-driven decisions that optimize the system's efficiency. A SCADA system could also play a critical role in identifying leaks early, maintaining water quality, and managing energy use more effectively.
- Refining the pumping strategy, especially in areas where pressure is high. The installation of variable-speed pumps, combined with strategically placed pressure sensors, would allow the system to adjust its pumping levels dynamically based on real-time conditions. This would minimize energy use while ensuring that water pressure remains sufficient for
- In desalination plants, where energy costs fluctuate throughout the day, it is recommended that pumping operations be scheduled to make the best use of lower-cost energy during off-peak hours and renewable solar energy during the day.

1 Introduction

1.1 Cadre du projet

La présente étude entre dans le cadre du projet intitulé « Elaboration d'un cadre stratégique pour la mise en place d'un système de réseau d'eau intelligent à Sousse et Monastir ».

Le projet traite les activités suivantes :

1. Evaluation des performances de la zone pilote ;
2. Etude de cas de réseaux d'eau intelligents ;
3. Etude pilote sur les compteurs intelligents ;
4. Application pour les consommateurs ;
5. Réalisation de modèles hydrauliques représentant le système d'adduction et de distribution de la zone pilote ;
6. Optimisation de la stratégie opérationnelle avec l'aide des modèles hydrauliques ;
7. Plan d'action national pour le développement d'un réseau intelligent en Tunisie ;
8. Etablissement d'une Note Conceptuelle pour le Fond Vert pour le Climat ;

La présente étude développe l'activité 6 (2.2.5) concernant l'optimisation de la stratégie de production et de distribution d'eau dans la zone pilote.

1.2 Activités et objectifs

Le but de cette activité est d'évaluer les économies d'énergie résultant d'un fonctionnement intelligent du système.

Dans cette activité, le modèle hydraulique est développé davantage afin de comprendre le comportement du système et de minimiser les coûts qui sont principalement des coûts énergétiques pour la production et le transport de l'eau.

Afin de déterminer l'impact de la mise en place d'un réseau intelligent le profil de consommation incluant la réduction de consommation estimée et la réduction estimée de l'eau non facturée (pertes) seront pris en compte.

1.3 Modélisation des réseaux d'adduction et de distribution de Monastir

Dans le cadre du projet les réseaux construits sont le modèle de distribution de la ville de Monastir et le réseau de production simplifié.

Les deux modèles ont été construits en utilisant le logiciel MIKE+.

Les étapes de construction des deux modèles se résument ci-dessous :

- Import des données SIG (conduites, nœuds...)
- Caractérisation des différents éléments importés
- Définition de la consommation et des profils de consommation
- Définition des règles de contrôle
- Mise en place de la sectorisation
- Lancement des simulations
- Calage
- Analyse des résultats

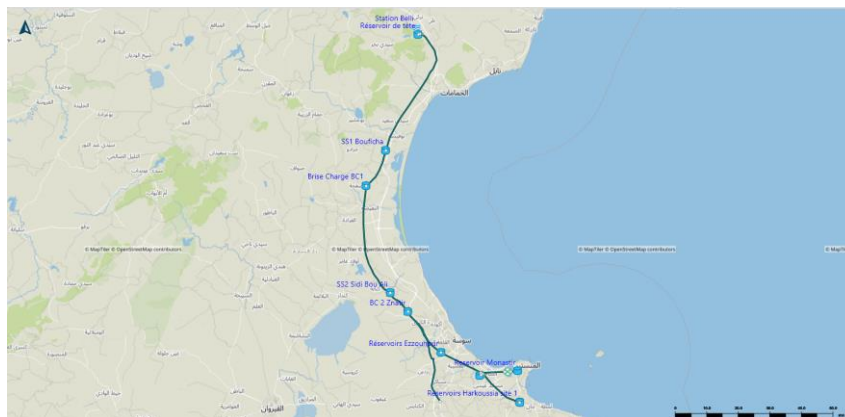


Figure 1-1: Les modèles de distribution et de production de Monastir

Lors de la construction des deux modèles, des hypothèses de fonctionnement (détaillés dans le rapport de modélisation, 2.2.4) ont été définies afin de pouvoir avancer sur le projet.

2 Analyse du pompage

2.1 Zone de distribution – Zone haute de Monastir

2.1.1 Pompes

Le réseau de Monastir comprend une station de pompage constituée de quatre pompes. Le pompage à partir des réservoirs permet d'alimenter la zone haute du réseau.

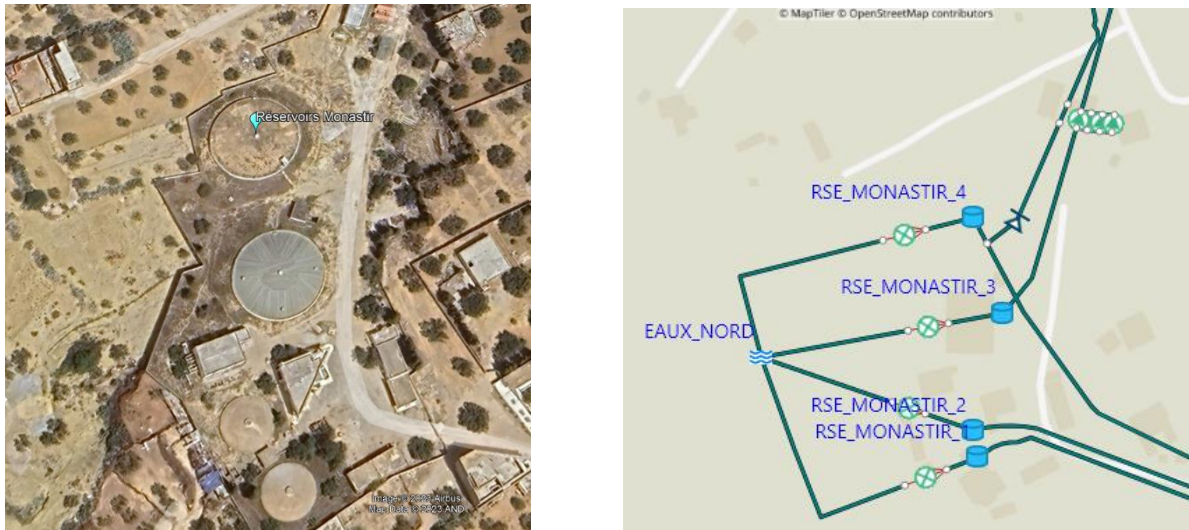


Figure 2-1: Modélisation du système de réservoir et de pompage de Monastir

Les 4 pompes en fonctionnement ont des caractéristiques différentes. Il y a deux couples de pompes identiques ayant les points de fonctionnement suivants :

- HMT=32m et Q=396 m³/h.
- HMT=35m et Q=324 m³/h.

Les courbes caractéristiques intégrées au modèle pour les pompes sont présentées ci-dessous :

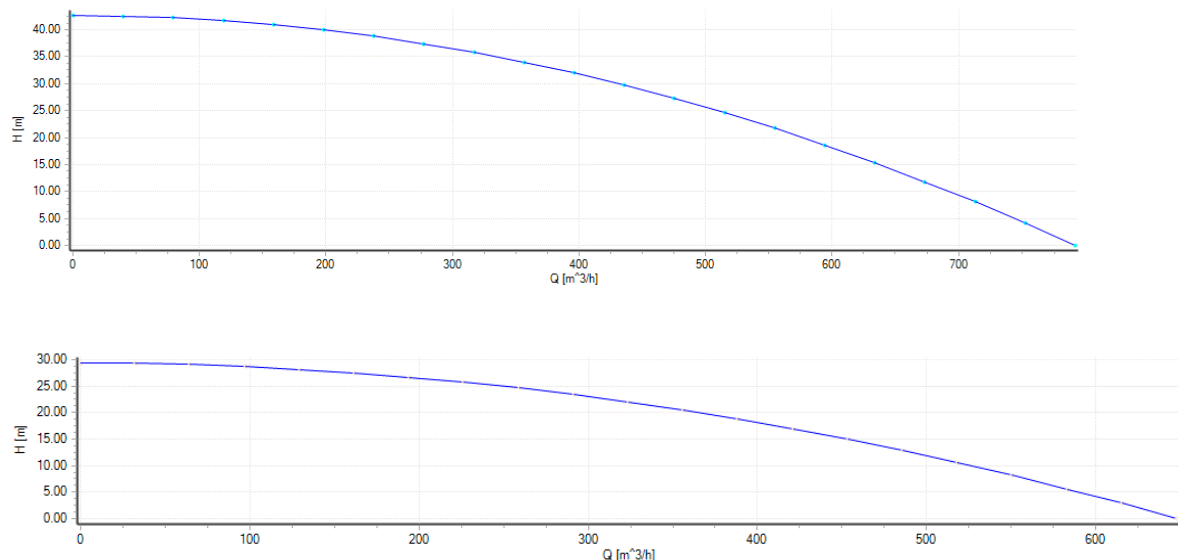


Figure 2-2: Courbes caractéristiques de pompe du réseau de Monastir

Suite à notre workshop d'optimisation, la SONEDE a envoyé les données de pompes mises à jour. Ces données ont été intégrées dans la dernière version du modèle.

2.1.2 Résultats issus de l'analyse du modèle

Le modèle de distribution permet d'avoir un bilan complet sur le système de pompage :

- Débit total moyen de la pompe : 391 m³/h
- Puissance moyenne de l'énergie absorbée par l'arbre de la pompe : 44,6 kW
- Puissance moyenne de l'énergie absorbée par l'arbre de la pompe/jour : 1070 kWh/jour
- Pertes d'énergie par frottement (puissance) : 31,6 kW
- Pertes d'énergie par frottement (%) : 46.5 %
- Pertes d'énergie par frottement (puissance/jour) : 759,4 kWh/jour

Ces indicateurs, permettent d'avoir une idée globale sur la performance du système de pompage du réseau de distribution.

Le modèle a été calé en se basant sur la campagne de mesure du schéma directeur d'alimentation en eau potable (SDAEP) de 2017.

Le réseau de distribution de la ville de Monastir se divise en deux grandes zones. Une zone alimentée en gravitaire et une zone alimentée via le pompage.

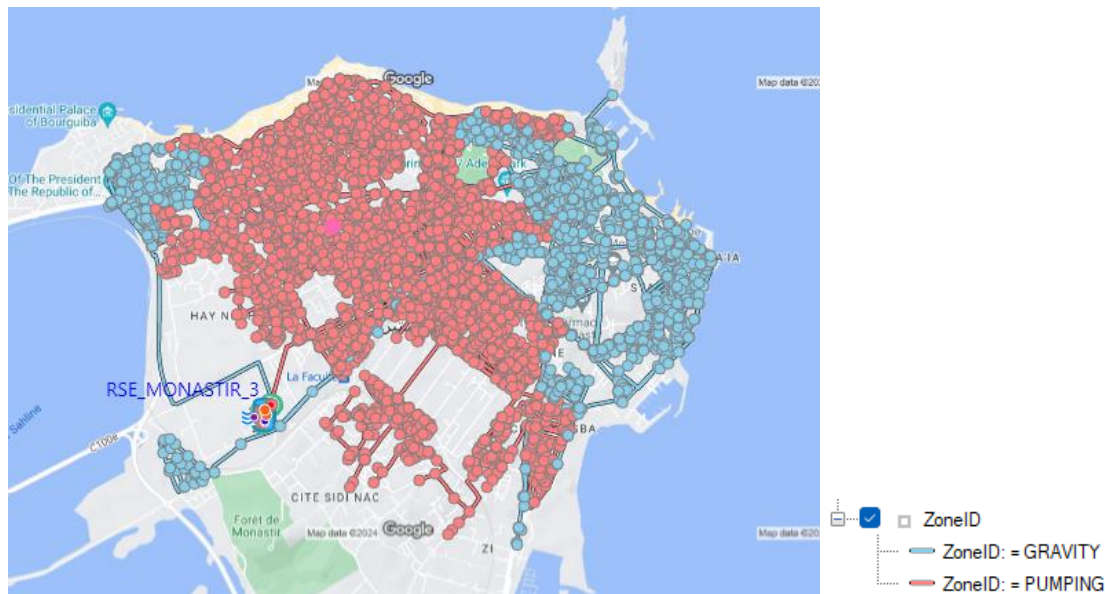


Figure 2-3: Carte des deux zones gravitaire et pompage sur le réseau de Monastir

L'analyse a été effectuée en prenant en compte les deux zones.

Table 2-1: caractéristiques des deux zones du réseau de distribution

Zone	Conduites (Km)	Pression moyenne (m)	Pression moyenne des nœuds de consommation (m)
GRAVITAIRE	106.6	25.8	24.9
POMPAGE	179.2	34.2	34.3

Le constat principal dans ce tableau est que la pression moyenne dans la zone de pompage est supérieure d'environ 10 m à celle de la zone gravitaire.

Le deuxième résultat issu de la modélisation, est la présence d'une zone avec une faible pression (quotidiennement entre 10h et 16h) sur la zone de pompage, comme le montre la Figure 2-4.

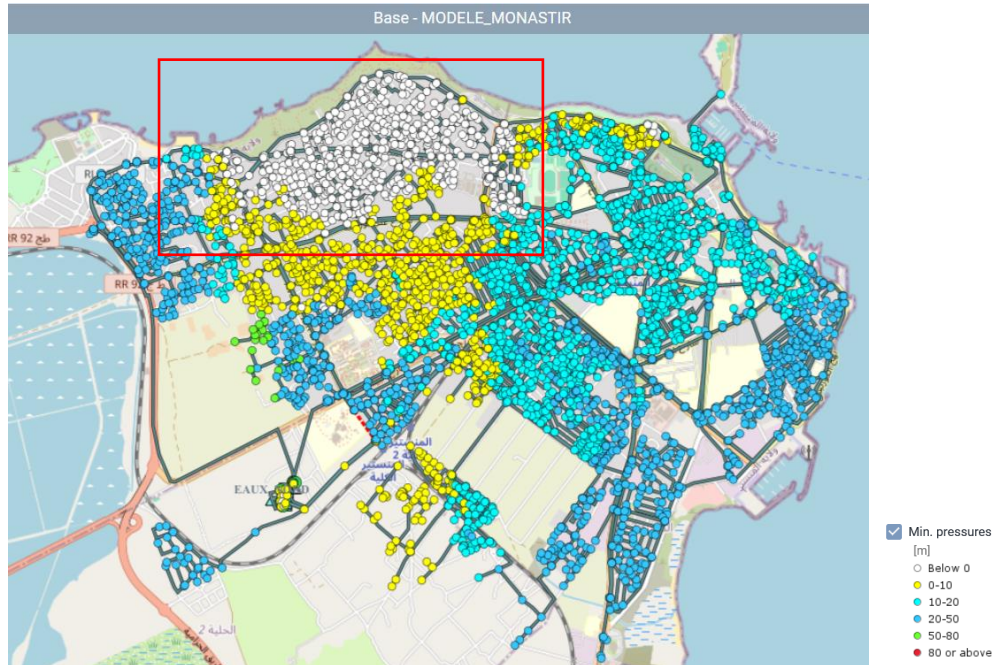


Figure 2-4: La zone avec la faible pression

2.2 Zone de production

Le système de production globale est destiné à alimenter en eau potable les régions du Cap Bon, du Sahel et de Sfax à partir des eaux de Nord. Il comporte essentiellement (de l'amont vers l'aval):

- Le complexe de traitement et de production de Belli ;
- Les deux conduites d'adduction des eaux de Nord entre Belli et Sousse (BC3) ;
- La conduite d'adduction des eaux du nord entre BC3 et les réservoirs de Sfax ;
- La conduite d'adduction du sahel central et Sahel sud.

Le réseau d'adduction de Monastir qui a été construit par DHI commence au niveau du complexe de production de Belli et représente le transfert des eaux du nord en passant par les réservoirs de tête, SS1, SS2, BC1, BC2, les réservoirs Ezzouhour, les réservoirs Monastir, les réservoirs Moûtmar, les réservoirs Harkoussia et le départ vers Sfax.

- ❖ SS : Station de surpression
- ❖ BC : Brise charge

2.2.1 Les pompes

Le système de production est composé de 20 pompes.

Ce tableau représente les données brutes envoyées par la SONEDE.

Table 2-2 Données brute concernant les pompes de la zone pilote

Site	Emplacement	Nombre de pompes	Q (l/s)	Hmt	Date
SSTBelli	SP	Pompe n°1	700	68	2015
		Pompe n°2	700	68	2015
		Pompe n°3	700	68	2015
		Pompe n°4	700	68	2015
		Pompe n°5	500	68	1984
		Pompe n°6	700	68	2002
		Pompe n°7	700	68	2002
		Pompe n°8	700	68	2002
		Pompe n°9	350	106	2005
		Pompe n°10	350	106	2005
	SR	Pompe n°1	700	72	1984
		Pompe n°2	700	72	1984
		Pompe n°3	700	72	2021
		Pompe n°4	700	72	2021
		Pompe n°5	700	72	2002
		Pompe n°6	700	72	2002
		Pompe n°7	700	72	2002
		Pompe n°8	700	72	2015
SS1	1	2,300	83	1996	
SS2	1	2,300	68	1996	

Anciennes pompes

Très anciennes pompes

En général la durée de vie de telles pompes est comprise entre 15 et 20 ans. Le système est donc composé de plusieurs d'anciennes pompes voire très anciennes :

- SSTBelli SP a une très vieille pompe (n°5, presque 40 ans), les autres pompes ont soit 10 ans, soit 20 ans.
- SSTBelli SR a 2 pompes très anciennes (n°1 et n°2, presque 40 ans), 3 pompes ont environ 20 ans, 1 pompe a 10 ans, et 1 est une nouvelle pompe de 3 ans.
- Les pompes de surpression SS1 et SS2 ont presque 30 ans.

La différence entre la consommation électrique annuelle pour un fonctionnement 365/24/7 et la consommation réelle. Par exemple, 58% pour SS1 ou 66% pour SSTBelli SP en 2022 et cela montre probablement le % élevé d'utilisation de la pompe.

2.2.2 Analyse

L'analyse des pompes a été basée sur les données de 2022 reçues par la SONEDE.

Nous avons utilisé les données sur la puissance afin de déterminer les efficacités de pompes :

Efficacité= Puissance requise/ Puissance d'entraînement.

Table 2-3 Extrait du calcul effectué sur les pompes

Site	Emplacement	Nombre de pompes	Q (l/s)	Hmt	Date	Effic (%)
SSTBelli	SP	Pompe n°1	700	68	2015	68%
		Pompe n°2	700	68	2015	68%
		Pompe n°3	700	68	2015	68%
		Pompe n°4	700	68	2015	68%
		Pompe n°5	500	68	1984	68%
		Pompe n°6	700	68	2002	68%
		Pompe n°7	700	68	2002	68%
		Pompe n°8	700	68	2002	68%
		Pompe n°9	350	106	2005	68%
		Pompe n°10	350	106	2005	68%
	SR	Pompe n°1	700	72	1984	68%
		Pompe n°2	700	72	1984	68%
		Pompe n°3	700	72	2021	68%
		Pompe n°4	700	72	2021	68%
		Pompe n°5	700	72	2002	68%
		Pompe n°6	700	72	2002	68%
		Pompe n°7	700	72	2002	68%
		Pompe n°8	700	72	2015	68%
SS1	1	2,300	83	1996	87%	
SS2	1	2,300	68	1996	85%	

En effectuant les calculs, nous avons identifié un certain nombre d'incohérences et incertitudes concernant les données de puissance fournies (efficacité des pompes SS1 et SS2).

Ces pompes selon le tableau reçu par la SONEDE représentent des pompes très anciennes (posées avant 1996). Des pompes aussi âgées ne peuvent pas avoir une puissance et efficacité élevée comme décrit dans les données. Une pompe perd en efficacité suite à l'usure ce qui n'est pas le cas pour les pompes SS1 et SS2. Les données restent à vérifier.

Le constat général est que l'efficacité est inférieure à l'efficacité optimale d'une pompe neuve (supérieure à 80%).

Les propositions d'amélioration visent une meilleure efficacité qui permettra une optimisation globale et une baisse de la consommation énergétique.

2.3 Remplacement des pompes

Supposons que les anciennes pompes à faible rendement ou les pompes dont le rendement d'origine s'est dégradé avec le temps sont remplacées par de nouvelles pompes à haut rendement et que le moteur de la pompe est également remplacé.

Dans ce chapitre sont présentés les bénéfices attendus dans le cas où les pompes de la station de traitement de Belli pour l'eau brute et l'eau traité sont remplacées par des pompes neuves.

Les pompes existantes sont de grosses pompes avec une hauteur de refoulement nominale de 70-100 m et un débit nominal de 500-700 l/s.

Une pompe similaire dans cet exemple est la pompe KSB Omega V 300-700 A SC G M avec un moteur Siemens de 630 kW, Q = 450 l/s, H = 107 m et son coût d'achat est d'environ 200 000 euros, sans l'installation.

Supposons qu'il y ait 5 pompes en service dans SST Belli SR :

- Coût d'achat = 5 x 200 000 EUR = 1 000 000 EUR.
- Augmentation de l'efficacité : 15% (68% à 73%)
- Économies annuelles liées à l'augmentation de 15 % de l'efficacité des pompes = ~ 430 000 EUR,
- Le retour sur investissement est d'environ 2,3 ans, ou d'environ 3 ans si l'on inclut les coûts d'installation et de remplacement des pompes.

En supposant que la durée de vie de la pompe soit de 10 ans, cela représenterait environ 7 (années) * 430 000 EUR = ~ 3 000 000 EUR d'économies sur la puissance de la pompe et du moteur (kWh).

3 Optimisation de la distribution

3.1 Contraintes hydrauliques

Sur le réseau de distribution de la zone de Monastir plusieurs constats ont été identifiés :

- Une consommation élevée d'énergie
- Une pression élevée sur la zone de pompage
- Une zone avec une faible pression entre 10h et 16h sur la zone de pompage

L'objectif est d'améliorer ces points tout en gardant en tête plusieurs points de fonctionnement hydraulique :

- La pression minimale chez l'abonné, 15 mètres d'eau
- Le remplissage/vidange des réservoirs
- La pression maximale sur la zone de pompage, 50 m

3.2 Amélioration du pompage vers la zone haute de Monastir

3.2.1 Proposition

Comme illustré ci-dessous, les conditions de pression dans la zone pompée peuvent être améliorées tout en réduisant la puissance de la pompe et la consommation d'énergie.

Comme les pompes consomment beaucoup d'énergie, une pompe à vitesse variable est un moyen efficace d'améliorer l'efficacité d'un système de pompage.

Pour ce faire, on détermine la pression nécessaire au point de sortie et on ajuste en conséquence la vitesse de fonctionnement du moteur. Un nœud de pression critique, tel qu'un nœud de pression élevée ou un nœud de pression basse, est généralement sélectionné pour ce contrôle de la pression. Nous pouvons sélectionner l'un des nœuds de la zone en surbrillance, comme « 1674616 », par exemple.

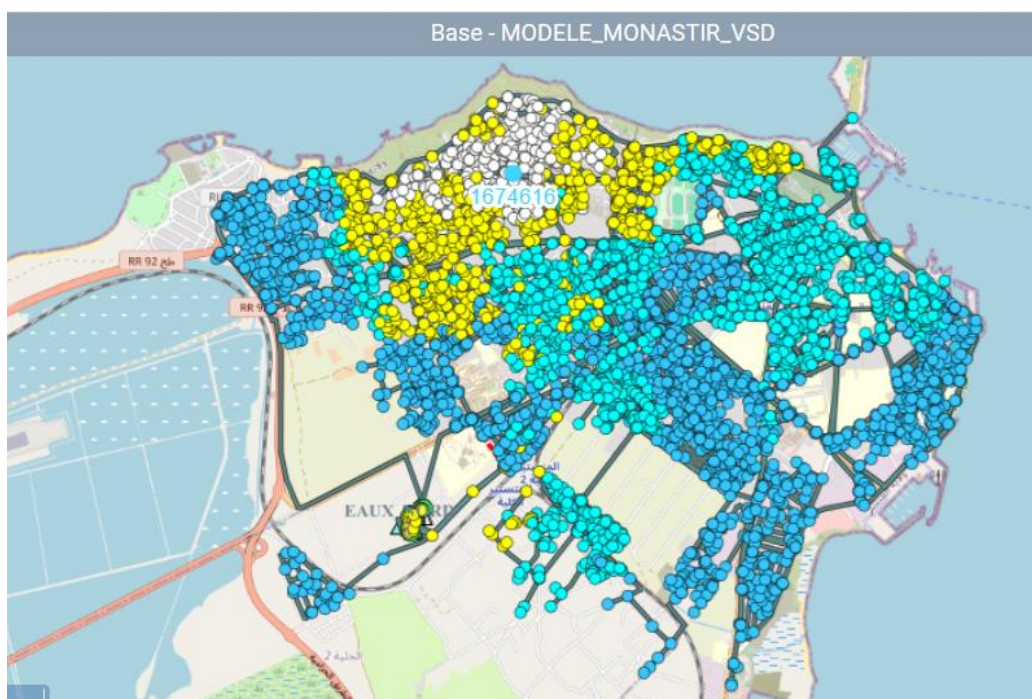


Figure 3-1: Nœud de contrôle de pression pour les pompes VSD (pompes Monastir)

3.3 Résultats

Des tests ont été réalisés avec le modèle hydraulique. La Figure 3-2, respectivement Figure 3-3 montre la pression au niveau de la zone avec faible pression avant, respectivement après, l'installation des pompes à vitesse variable.

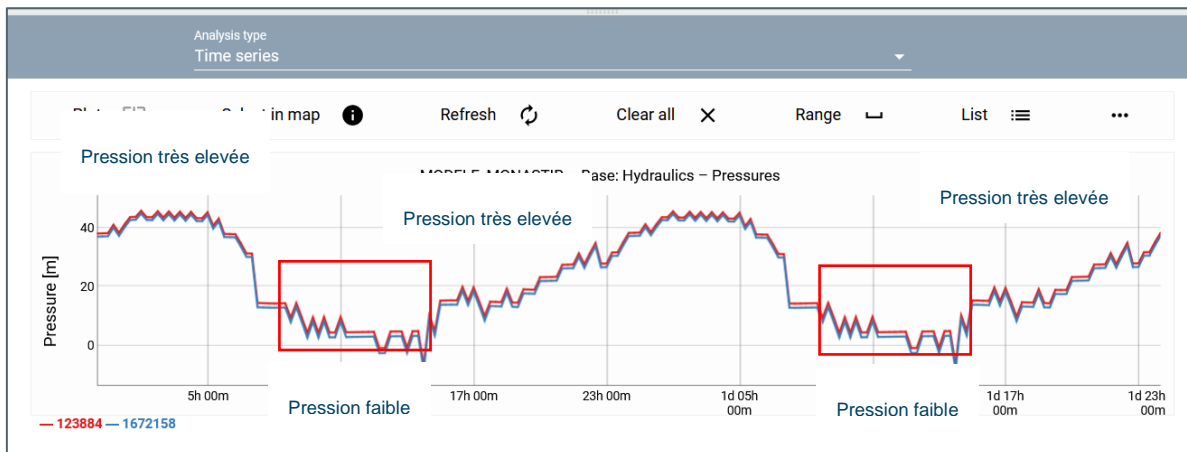


Figure 3-2: La pression maximale et minimale avant l'installation des pompes à vitesse variable

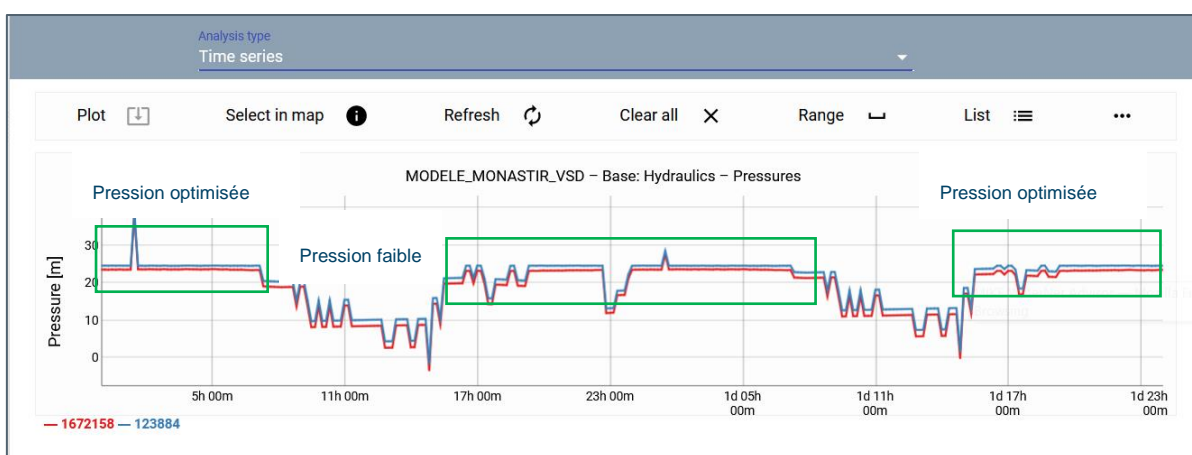


Figure 3-3: La pression maximale et minimale après l'installation des pompes à vitesse variable

Pour tester le fonctionnement du modèle nous avons intégrés les pompes à vitesse variable transmises par la SONEDE mais nous avons augmenté la HMT à 35 m. Le débit est resté inchangé 324 m³/h.

L'augmentation de la HMT des pompes permet d'avoir une pression minimale de 15 mCE sur la zone identifiée avec des pressions faibles.

Cette hypothèse doit être validée avec la SONEDE afin de vérifier les capacités de pompes existantes ou les altitudes des nœuds de la zone concernée.

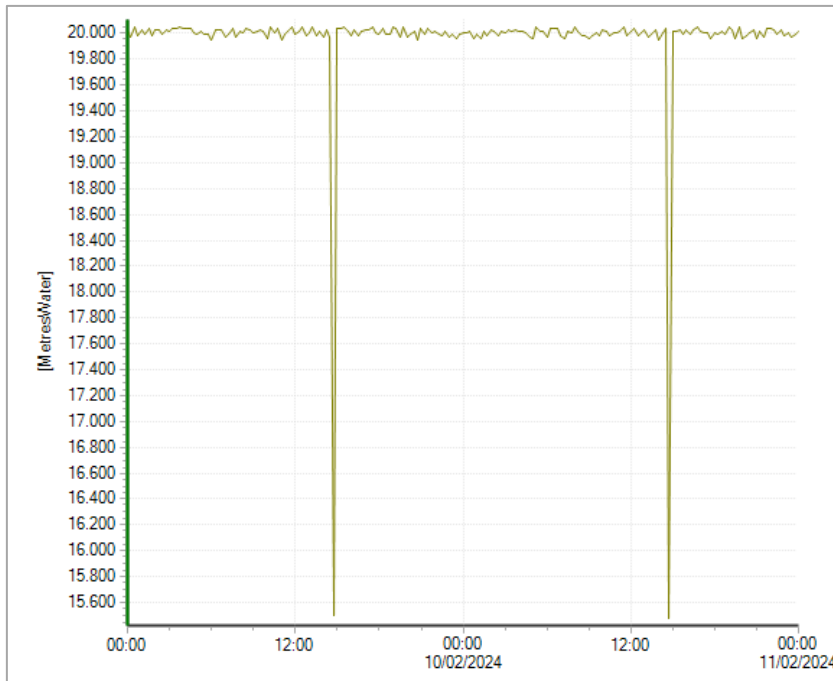


Figure 3-4: La série temporelle de la pression au niveau du même nœud de contrôle testé auparavant

Les pompes à vitesse variable permettent à la fois la réduction de la pression très élevée et l'optimisation de la pression minimale.

La pression consigne de contrôle peut être modifiée afin de trouver le meilleur scénario possible.

La réduction de pression avec la mise en place des pompes à vitesse variable permet :

- ~10% de pertes d'eau physiques en moins (quelles sont les pertes d'eau physiques ?)
- ~20% de ruptures de canalisations en moins (existe-t-il des données sur les ruptures de canalisations et les incidents ?)
- ~10% de pompage en moins, ce qui donne, sur la base des données de 2022 :
 - ~13 000 TND (DT) d'économies annuelles
 - ~46 720 kWh de réduction d'énergie annuelle

4 Optimisation de la production

Lors de l'atelier du 21 février 2024, les contraintes hydrauliques et énergétiques à prendre en compte lors de l'analyse du système de production de Sousse et Monastir ont été définies avec la SONEDE.

4.1 Contraintes hydrauliques

- Distribution aux abonnés 24h/24
- Pression minimale requise sur le réseau :
 - Distribution : 2,5 bar (au niveau des conduites)
 - A l'entrée des stations de pompage : 1 bar
- Réservoirs :
 - Fonction : gérer les pics de consommation
 - Volume minimal disponible requis : 120 m³ (incendie)
 - Niveau minimal : 1 m (pour éviter les cas de sous-pression)

4.2 Contraintes énergétiques

- Coûts énergétiques de production et de transport d'eau
 - Les coûts énergétiques existant qui sont pris en compte dans cet analyser sont basés sur les données envoyées par la SONEDE (activité 2.2.1)
 - Le coût de production du m³ d'eau de la station de dessalement est estimé à 2,6-2,8 kWh/m³ (hors pompage) en se basant sur les données des autres stations de la SONEDE.
- Sources d'énergie propres à la SONEDE :
Des panneaux solaires d'une capacité de 4MW seront installés au niveau de la station de dessalement.
- Prise en compte de la tarification horaire de la STEG (Société Tunisienne d'électricité et de Gaz)

4.2.1 Energie fournie par la STEG

La STEG est le fournisseur principal d'énergie de la SONEDE. Selon des estimations datant de 2021, la part d'énergie fossile représente plus de 90% de la capacité totale de production de la STEG. Ainsi l'énergie fournie par la STEG sera appelée « énergie fossile » dans la suite de ce rapport.

La structure tarifaire existante comporte deux périodes, haute et basse (ou jour et nuit) :

- Tarif élevé = prix moyen des heures de jour « élevées » pour l'année donnée
- Tarif bas = prix moyen des heures de nuit « basses » pour l'année donnée.

Il existe un tarif/une redevance énergétique différent(e) en fonction de l'heure de la journée.

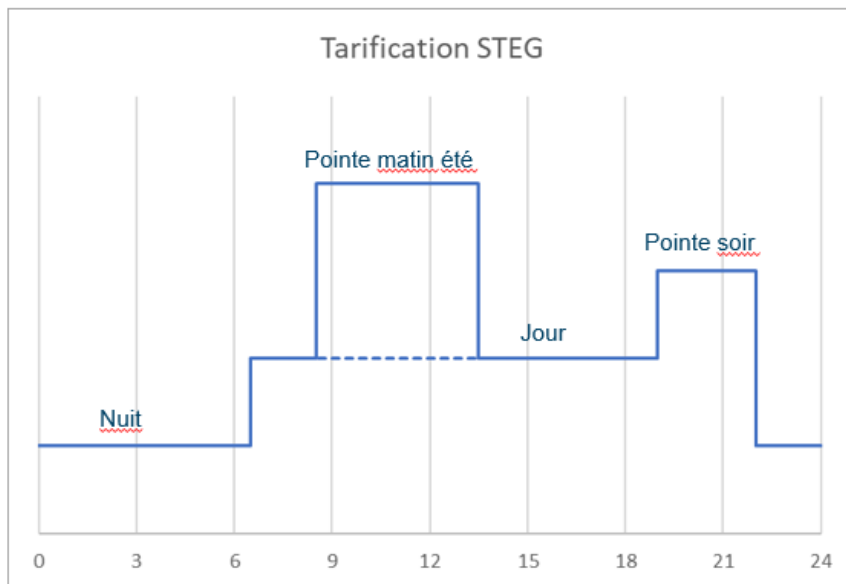


Figure 4-1: Tarif des coûts de l'énergie - profil journalier

4.2.2 Energie solaire

En ce qui l'énergie solaire, il faut prendre en compte l'évolution de son prix à l'avenir. En général, les prix augmentent d'année en année.

Sur la base d'une étude du marché de l'énergie, le Centre régional de recherche sur la politique énergétique (REKK) a fourni des estimations sur la manière dont l'utilisation de l'énergie solaire en Europe centrale pourrait avoir un impact ou modifier l'économie de l'utilisation de l'énergie. D'après le graphique ci-dessous, Figure 4-2, il semble que dans les pays suffisamment exposés au soleil, l'installation d'un nombre suffisant de panneaux solaires entraînera une « rupture » lorsque l'énergie deviendra moins chère pendant les heures de jour que pendant les heures de nuit (comme c'est le cas aujourd'hui). Dans le graphique ci-dessous, ce moment se situe aux alentours de 2035.

On s'attend donc à ce qu'un changement se produise entre les prix relatifs des périodes diurnes et nocturnes :

- Actuellement, le jour est plus cher, car la demande d'électricité est plus élevée pendant la journée que pendant la nuit.
- Lorsque de plus en plus d'énergie solaire est utilisée, la période pendant laquelle les panneaux solaires peuvent produire de l'énergie (entre 8h et 21h) devient moins chère.

Dans le cas de la Tunisie, cela est particulièrement vrai en ce qui concerne l'exposition à la lumière du soleil et la différence entre les mois d'hiver et d'été qui ne devrait pas être trop importante.

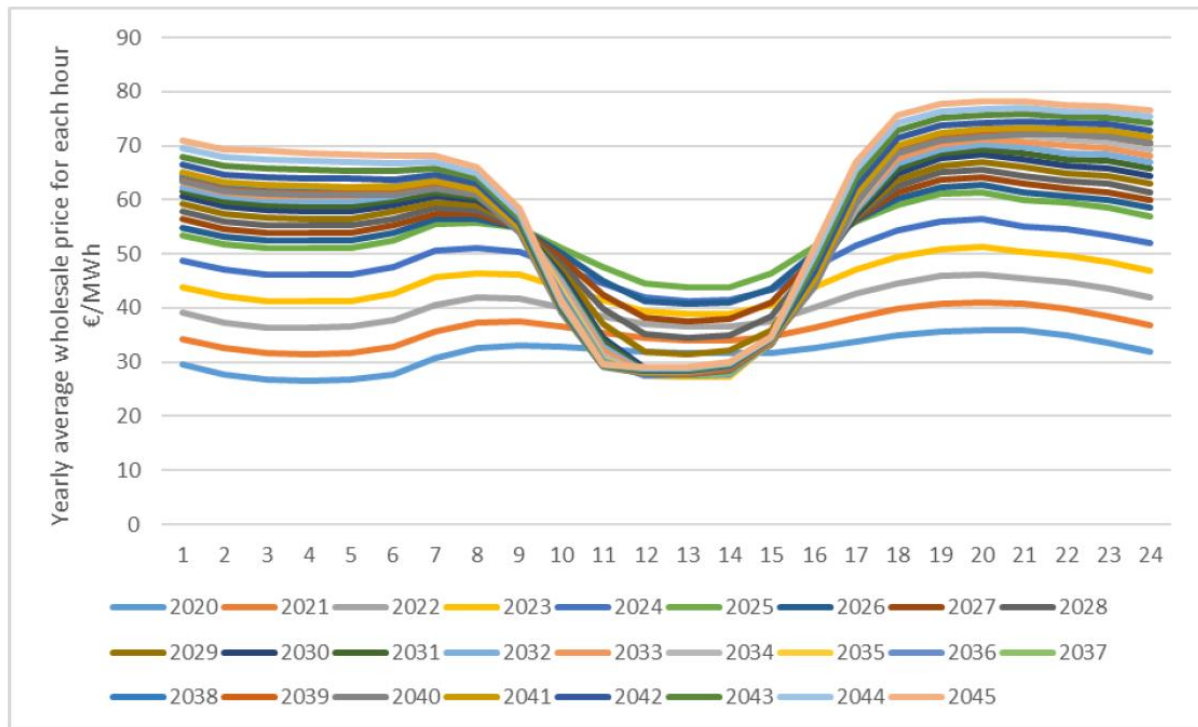


Figure 4-2: Evolution du prix moyen durant le jour et la nuit (REKK)

Cela influencerait le fonctionnement de l'approvisionnement en eau ou de la production d'eau. Si, à l'heure actuelle, il est économiquement optimal (moins coûteux) de faire fonctionner les pompes pendant la nuit, il en sera autrement lorsque l'énergie solaire sera utilisée, et il sera préférable de faire fonctionner les pompes ou d'effectuer des tâches nécessitant de l'énergie pendant la journée.

Ainsi la consommation d'énergies fossile diminuera au profit d'énergies renouvelable, ce qui entraînera une réduction de la production de CO₂ pendant la journée, voir Figure 4-3 et Figure 4-4.



Figure 4-3: Intensité en CO₂ de la production d'électricité (REKK)

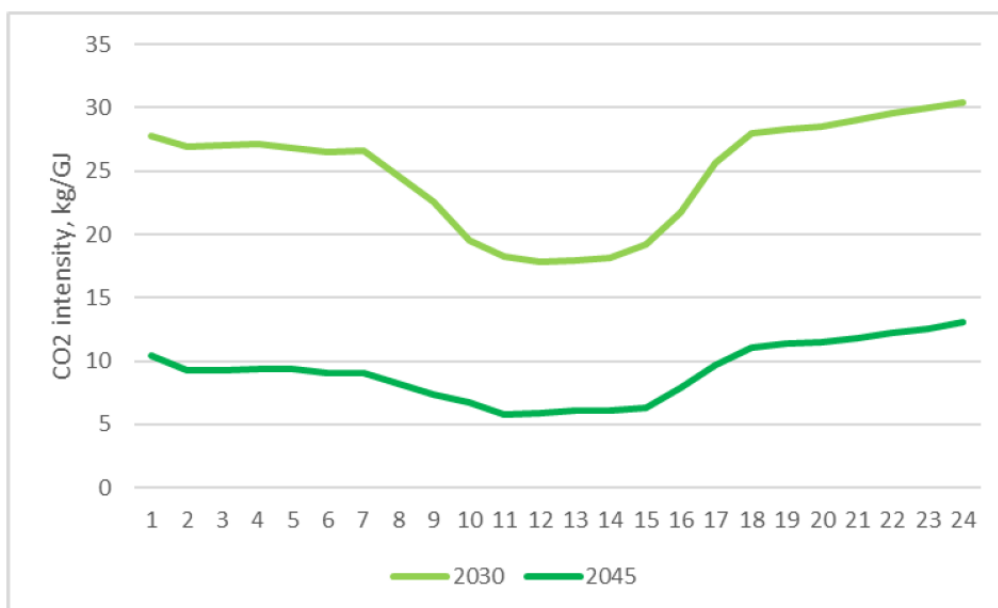


Figure 4-4: Intensité en CO₂ pendant la journée (REKK)

4.3 Centrale de dessalement

L'optimisation énergétique de la station de dessalement inclut ces trois étapes :

- le choix des pompes
- l'optimisation du pompage avec l'énergie fournie par la STEG
- l'optimisation du pompage avec l'énergie solaire

4.3.1 L'importance du choix des pompes

Etant donné que les coûts opérationnels (OPEX) de pompage sont plus importants que les coûts d'achat et d'installation (CAPEX) des pompes elles-mêmes, il est essentiel de bien choisir les pompes qui équiperont la station de dessalement.

L'exemple ci-dessous montre comment une différence relativement faible dans l'efficacité d'une pompe permet de réaliser d'importantes économies d'énergie au fil du temps.

Deux pompes ont été évaluées :

- Pompes KSB Omega V 300-700 A SC G M, avec une hauteur de refoulement de 107 m et 1620 m³/h = 450 l/s, un rendement de 87,1 %, 1 493 tr/min.
- Pompes Grundfos LSV 350-250-630B ,1F2BBBBVP1 630/4 50 Hz, avec une hauteur de refoulement de 104 m et 1732 m³/h = 481,1 l/s, rendement ~82%, meilleur rendement 83,4%, 1490 tr/min.

Leurs performances hydrauliques sont pratiquement identiques, comme le montrent les courbes Q-H, Figure 4-5.

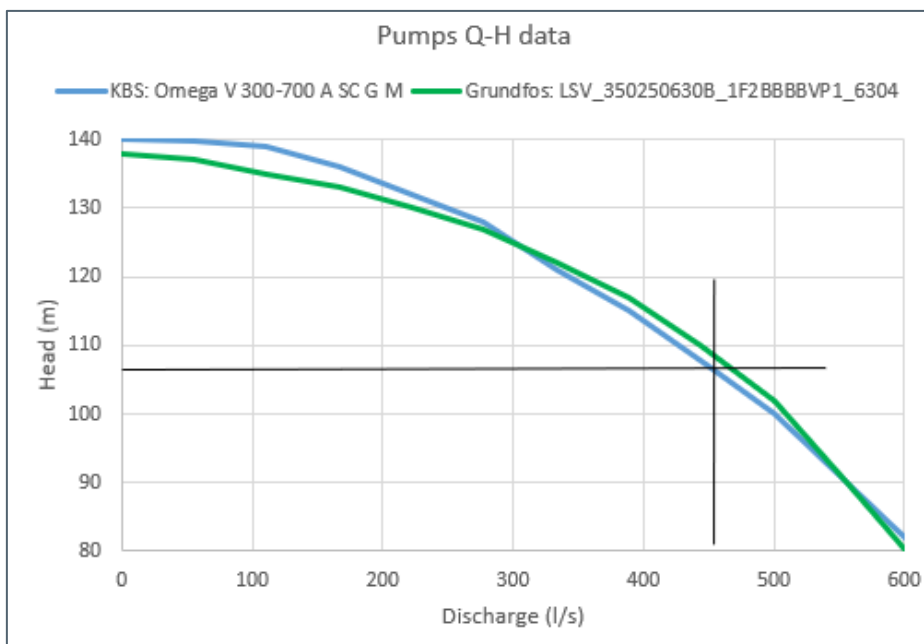


Figure 4-5: Pompe Grundfos vs KSB - courbe Q-H

Cependant, comme nous pouvons le voir sur le graphique de l'efficacité de la pompe ci-dessous, Figure 4-6, l'efficacité de la pompe KSB, dans ce cas particulier, est systématiquement meilleure (supérieure) à l'efficacité de la pompe Grundfos, de 4 %.

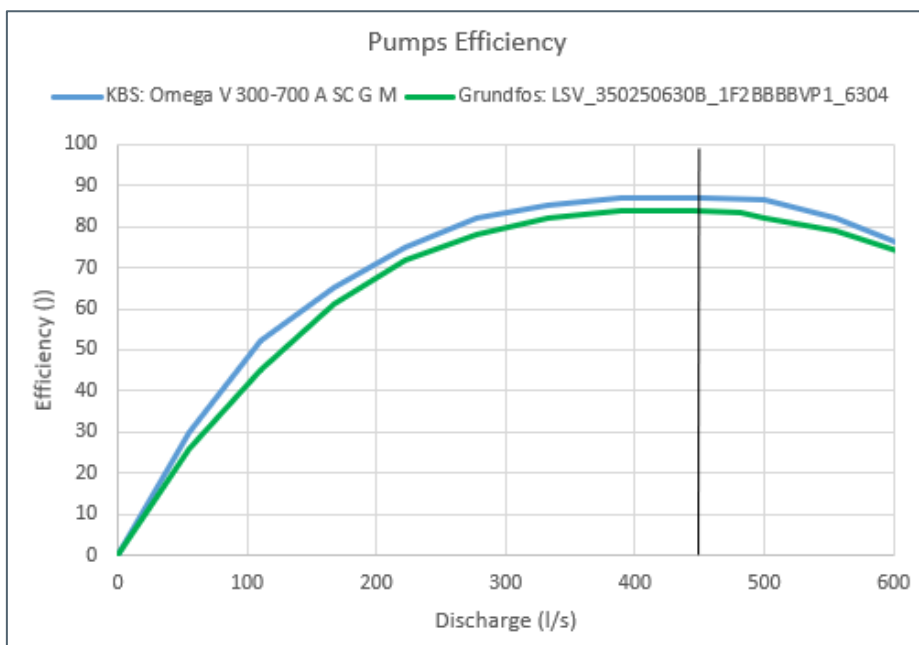


Figure 4-6: Pompe Grundfos vs KSB – courbe d'efficacité

Les performances hydrauliques, la hauteur de pression et le débit, sont très similaires dans les deux cas, pour les pompes Grundfos et KSB.

Le moteur Siemens utilisé dans les deux cas a les mêmes caractéristiques, il semble qu'il s'agisse du même moteur et qu'il ait le même rendement et les mêmes caractéristiques de puissance.

La pompe KSB (Omega V 300-700 A SC G M) a un meilleur rendement que la pompe Grundfos (LSV_350250630B_1F2BBBBVP1_6304). Elle est environ 4% plus efficace sur toute la plage de débit.

Dans ce cas, si nous supposons une puissance réelle de 588 kW (Grundfos) contre 541 kW (KSB) pour le débit nominal, la différence est de **47 kW**, soit **1128 kWh par jour** ou **441 720 kWh par an et par pompe**.

4.3.2 Planification optimale du pompage

D'après les données fournies par la SONEDE, la capacité de production de l'usine de dessalement est de :

- 580 l/s, soit 0,58 m³/s (initiale)
- 1 150 l/s, soit 1,15 m³/s (future)

L'intensité énergétique prévue pour la station de dessalement, basée sur d'autres usines en Tunisie :

- 2,6-2,8 kWh/m³ (pompage exclu)
- 0,11 kWh/m³ (estimation du pompage initial/futur, Q 0,58 m³/s, H 3 5m, efficacité 86%)

Les besoins énergétiques journaliers pour la station de dessalement, pour un fonctionnement en continu sont estimés à :

- Capacité initiale (Q 0,58 m³/s) par jour
 - $0,58 * 24 * 3600 = 50,112 \text{ m}^3$,
 - $50,0112 * (2,8+0,11) \approx 146,000 \text{ kWh}$ par jour ou 6,000 kWh (par heure)
- Capacité future (Q 1,15 m³/s) par jour
 - $1,15 * 24 * 3600 = 99\ 360 \text{ m}^3$,
 - $99\ 360 * (2,8+0,11) \approx 290\ 000 \text{ kWh}$ par jour ou 12 000 kWh (par heure)

Les panneaux solaires de la SONEDE sur le site de la station ont une capacité de 4 MW. Si cette capacité solaire est de 4 MW par heure, le pourcentage des besoins horaires en électricité que couvrira les panneaux seront de :

- Capacité initiale : 6 MW nécessaires, 4 MW solaires, soit ~65 % de solaire.
- Capacité future : 12 MW nécessaires, 4 MW solaires, soit ~35 % de solaire.

En d'autres termes, il s'agit de la répartition entre les besoins en énergie « fossile », fournie par la STEG et en énergie solaire, fournie par la SONEDE :

- Capacité initiale : 6 MW nécessaires :
 - ~65 % solaire
 - ~35 % fossile
- Capacité future : 12 MW nécessaires :
 - ~35 % solaire
 - ~65 % fossile

L'utilisation optimale de l'énergie solaire se fait pendant les heures de la journée, tandis que l'utilisation optimale de l'énergie fossile se fait pendant les heures de la nuit. On obtient ainsi la programmation optimale suivante des pompes, conformément à la figure 4.7:

- Capacité initiale :
 - ~65 % (solaire) pendant la journée
 - ~35 % (fossile) pendant la nuit entre 22 heures et 6 heures du matin
- Capacité future :
 - ~35 % (solaire) pendant la journée
 - ~65 % (fossile) pendant la nuit entre 22 heures et 6 heures du matin

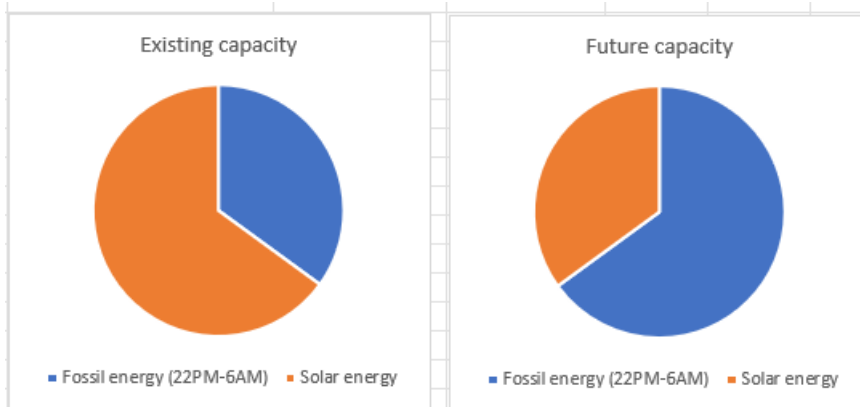


Figure 4-7: Programmation ou fonctionnement optimal de la pompe

Pour maintenir ratio énergie solaire/énergie « fossile » au même niveau, dans des conditions futures, il sera nécessaire d'ajouter $7,8 \text{ MW} - 4 \text{ MW} = 3,8 \text{ MW}$ ou 4 MW supplémentaires à la capacité solaire existante de la SONEDE.

Si cela est fait, ou plutôt si la capacité solaire est continuellement augmentée en même temps que la production d'eau, aucune modification du fonctionnement (programmation) ne sera nécessaire.

Pour suivre les opérations de pompage optimales d'un point de vue économique (calendrier), il est nécessaire de procéder comme suit

- ~65 % (solaire) pendant la journée
- ~35 % (STEG / fossile) pendant la nuit entre 22 heures et 6 heures.

La consommation d'énergie fournie par la STEG, pendant la nuit de 22h à 6h, n'a pas besoin de changer au cours de l'année.

L'utilisation de l'énergie solaire, en revanche, devrait probablement suivre les heures d'ensoleillement, à moins qu'il n'y ait suffisamment de capacité de stockage disponible pour l'énergie solaire.

Les données indiquent que les heures d'ensoleillement à Sousse varient entre 5h 17 min pour chaque jour de décembre et 12h 03 min pour chaque jour de juillet. Le jour le plus long de l'année est de 14h 31 min et le jour le plus court est de 9h 28 min. Il y a 5h 03 min d'écart entre le jour le plus long et le jour le plus court.

Ci-dessous les heures d'ensoleillement pour le milieu de l'été et l'hiver :

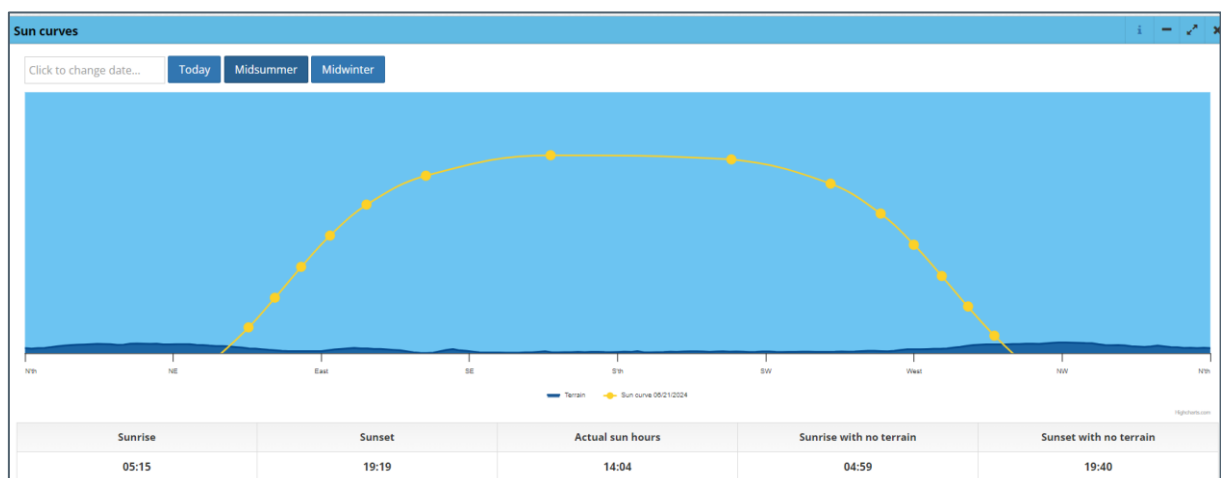


Figure 4-8: Courbes du soleil pendant l'été (source : https://suncurves.com/en/view/?location_id=20128)

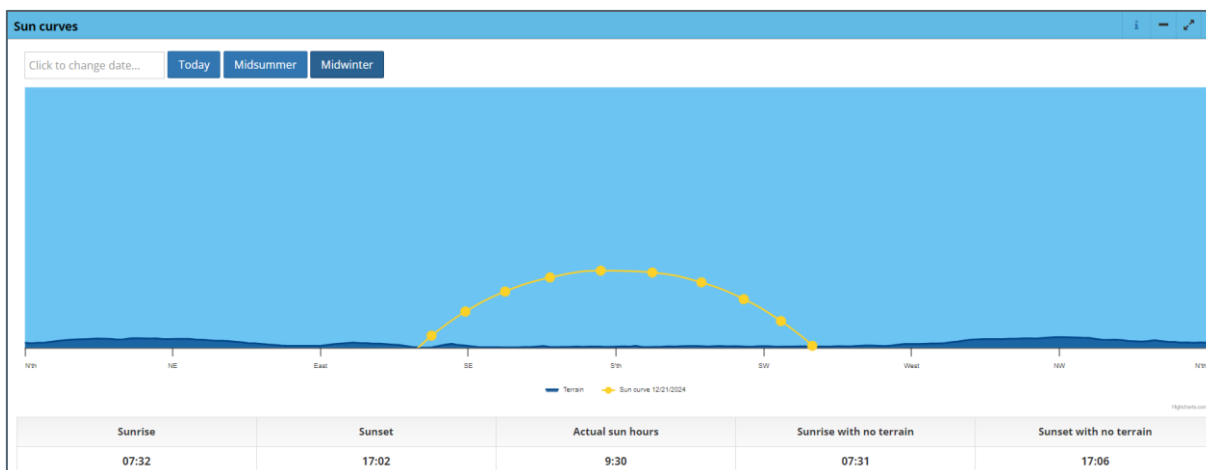


Figure 4-9: Courbes de soleil hivernales (source : https://suncurves.com/en/view/?location_id=20128)

4.3.3 Contrôle avec le modèle hydraulique

Pour tester la faisabilité des projets, nous avons vérifié l'autonomie des réservoirs.

Ce test a été effectué sur les réservoirs de Monastir et de Moûtmar. Au niveau de ces réservoirs nous disposons des données de consommation ce qui permet d'avoir une certaine fiabilité.

Le test consiste à remplir les réservoirs, arrêter leur alimentation et voir la durée d'autonomie.

Le test a été effectué en hiver entre 19h et 21h (pointe de soir) et en été entre 20h et 21h.

Table 4-1: Tableau représentant les coefficients de consommation (hiver, été)

Heure	Tarif Hiver	Tarif coefficient hiver	Tarif été	Tarif coefficient été
0	Nuit	0.5	Nuit	0.5
1	Nuit	0.5	Nuit	0.5
2	Nuit	0.5	Nuit	0.5
3	Nuit	0.5	Nuit	0.5
4	Nuit	0.5	Nuit	0.5
5	Nuit	0.5	Nuit	0.5
6	Nuit	0.5	Solaire	0.1
7	Nuit	0.5	Solaire	0.1
8	Solaire	0.1	Solaire	0.1
9	Solaire	0.1	Solaire	0.1
10	Solaire	0.1	Solaire	0.1
11	Solaire	0.1	Solaire	0.1
12	Solaire	0.1	Solaire	0.1
13	Solaire	0.1	Solaire	0.1
14	Solaire	0.1	Solaire	0.1
15	Solaire	0.1	Solaire	0.1
16	Solaire	0.1	Solaire	0.1
17	Solaire	0.1	Solaire	0.1
18	Day	1	Solaire	0.1
19	Pointe Soir	1.5	Solaire	0.1
20	Pointe Soir	1.5	Pointe Soir	1.5
21	Pointe Soir	1.5	Pointe Soir	1.5
22	Nuit	0.5	Nuit	0.5
23	Nuit	0.5	Nuit	0.5
24	Nuit	0.5	Nuit	0.5

Le test montre que les réservoirs sont complètement autonomes sur les périodes de pointes testées. Le drainage ne cause pas de vidanges pour tous les réservoirs testés.

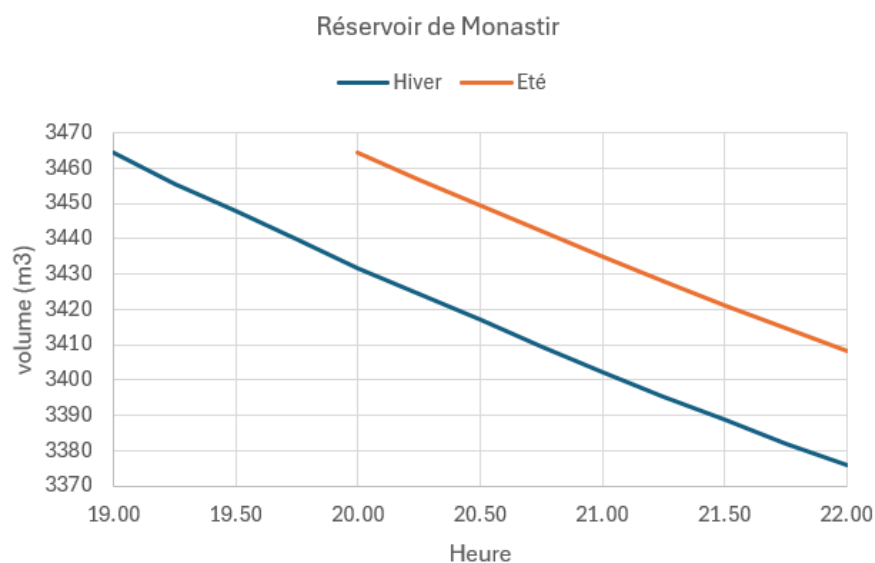


Figure 4-10: Résultats de temps de drainage sur le réservoir de Monastir

4.4 Analyse et proposition d'amélioration

Ces tests réalisés avec l'aide du modèle hydraulique pour que les réservoirs de Monastir et Moûtmar ont l'autonomie nécessaire pour limiter le pompage lorsque l'énergie solaire n'est pas disponible pour la station de dessalement. En pratique, les stations de Belli et Kala Kebira seront certainement en fonctionnement pour l'alimenter les autres localités comme celle de Sfax.

Un calage plus avancé du modèle d'adduction, comme proposé dans le rapport 2.24, qui prend également en compte les différents piquages le long de la conduite d'adduction ainsi que l'alimentation de Sfax peut être utilisé pour affiner la stratégie de pompage de la station de dessalement.

En ce qui concerne le système d'adduction et le fonctionnement en parallèle des pompes, l'idéal serait de faire fonctionner les plus petites pompes en charge maximale et les plus grosses pompes en répression (complément) de la charge, ou de faire fonctionner (les deux, toutes) les pompes à la même fréquence.

5 Bilans hydrauliques et énergétiques

5.1 Prévisions de production et de consommation dans la zone pilote

Pour pouvoir évaluer les effets d'un réseau d'eau intelligent dans la zone pilote à l'horizon 2040, nous avons estimé la consommation et la production en eau en prenant en compte :

- L'évolution démographique dans la zone pilote, en se basant sur les estimations pour la ville de Monastir
- L'évolution de la consommation en se basant sur les effets de l'installation de compteurs intelligents (à partir des résultats constatés lors de l'étude de cas, voir le rapport 2.2.1 ainsi que les résultats liés à l'étude comportementale, voir le rapport 2.2.3)
- La réduction des pertes sur le réseau grâce à la sectorisation du réseau de distribution et l'optimisation du pompage dans les zones de surpression (à partir des résultats présentés dans le rapport 2.2.4)

5.1.1 Evolution démographique sans aucun changement en termes de consommation et de pertes

D'après les données fournies par la SONEDE et utilisées pour la modélisation du système futur (voir le rapport 2.2.4), une projection de l'évolution démographique dans la ville de Monastir indique que la population de 2041 aura augmenté d'un tiers (34%) par rapport à la population de 2017 (année de référence pour le modèle hydraulique), voir Figure 5-1.

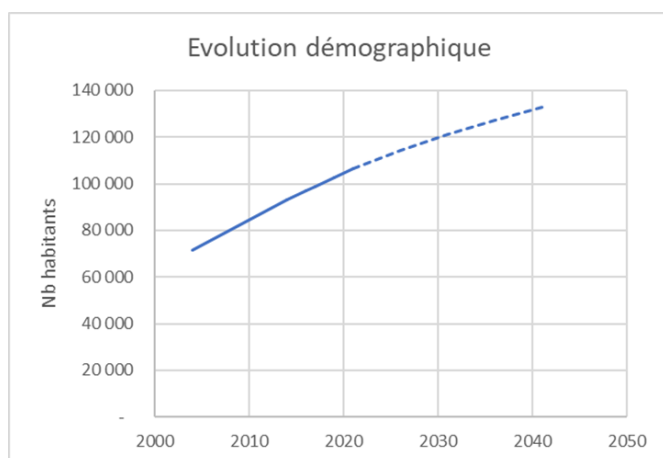


Figure 5-1 Evolution démographique pour la ville de Monastir

La même évolution démographique est supposée dans les districts de Monastir et Sousse

Sans aucune mesure, les consommations domestique, touristique et industrielles restent inchangées et il n'y a pas de réduction de pertes sur le réseau (le rendement reste inchangé).

Le tableau montre ainsi que la consommation et la production en eau dans la zone pilote augmente proportionnellement avec la population et augment d'un tiers par rapport à 2017.

Table 5-1 Estimation de production et consommation en eau pour 2041 dans la zone pilote – sans mesure ni changement

	2017	2021	2031	2041
	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>
Production Monastir Ville	8 256 000	7 474 000	10 127 019	11 086 662
Consommation Monastir	7 126 000	6 340 000	8 740 933	9 569 229
Pertes	1 130 000	1 134 000	1 386 087	1 517 433
<i>Rendement (%)</i>	86,3	84,8	86,3	86,3
Production Monastir District	18 840 000	19 482 000	23 109 623	25 299 505
Consommation Monastir District	15 270 000	16 062 000	18 730 570	20 505 490
Pertes	3 570 000	3 420 000	4 379 053	4 794 014
<i>Rendement (%)</i>	81,1	82,4	81,1	81,1
Production Grand Sousse	42 375 000	43 147 000	51 978 251	56 903 743
Consommation Grand Sousse	34 498 000	35 544 000	42 316 123	46 326 025
Pertes	7 877 000	7 603 000	9 662 128	10 577 718
<i>Rendement (%)</i>	81,4	82,4	81,4	81,4

5.1.2 Réduction de la consommation grâce aux compteurs intelligents

D'après les résultats des études menées au cours du projet (voir les rapports liés aux activités 2.2.1 Etude de cas et 2.2.3 Etude du comportement), l'installation de compteurs intelligents et la mise à disposition pour l'abonné d'informations pertinentes et en temps réels peuvent mener à une réduction durable de la consommation estimée entre 8 et 15 %.

Table 5-2 Estimation de la consommation dans la zone pilote a l'horizon 2041 en mettant en place une consommation intelligente

	Consommation sans changement	Consommation intelligente	Economie
	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>
Monastir Ville	9 569 229		
Réduction de 5 %		9 090 767	478 461
Réduction de 10 %		8 612 306	956 923
Réduction de 15 %		8 133 845	1 435 384
Monastir District	20 505 490		
Réduction de 5 %		19 480 216	1 025 275
Réduction de 10 %		18 454 941	2 050 549
Réduction de 15 %		17 429 667	3 075 824
Grand Sousse	46 326 025		
Réduction de 5 %		44 009 724	2 316 301

Réduction de 10 %		41 693 423	4 632 603
Réduction de 15 %		39 377 121	6 948 904

Le tableau ci-dessus montre les économies potentielles en eau liées à l'installation de ces compteurs intelligents pour la zone pilote à l'horizon 2041.

5.1.3 Réduction des pertes

Grâce à une sectorisation du réseau de distribution, comme proposé dans le rapport 2.2.4 pour la ville de Monastir, et l'installation de débitmètres sur le réseau de distribution mais aussi grâce à l'optimisation du pompage dans les zones de surpression, la réduction des pertes peut être estimées entre 10 et 25 %

La table montre la réduction potentielle des pertes en eau liées à la sectorisation et l'installation débitmètres pour la zone pilote à l'horizon 2041.

Table 5-3 Estimation de la consommation dans la zone pilote a l'horizon 2041 en mettant en place une distribution intelligente (sectorisation et optimisation du pompage)

	Pertes sans changement	Pertes avec distribution intelligente	Economie
	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>	<i>m3/an</i>
Monastir Ville	1 517 433		
Réduction de 10%		1 365 690	151 743
Réduction de 20%		1 213 947	303 487
Réduction de 25%		1 138 075	379 358
Monastir District	4 794 014		
Réduction de 10%		4 314 613	479 401
Réduction de 20%		3 835 212	958 803
Réduction de 25%		3 595 511	1 198 504
Grand Sousse	10 577 718		
Réduction de 10%		9 519 946	1 057 772
Réduction de 20%		8 462 174	2 115 544
Réduction de 25%		7 933 288	2 644 429

5.2 Impact sur la production d'eau

La table montre une estimation de la production dans la zone pilote à l'horizon 2041 après la mise en place d'un réseau d'eau intelligent, c'est-à-dire l'installation de compteurs intelligents mais aussi de débitmètres sur le réseau intelligent après sectorisation du réseau de distribution. Les calculs sont effectués en se basant sur :

- Une réduction de la consommation de 10%
- Une réduction des pertes de 25%

Ainsi l'économie d'eau réalisée par rapport au scénario lors duquel aucun changement n'a été opéré est estimée à environ **10 500 000 m³/an**.

Table 5-4 Estimation de la production dans la zone pilote à l'horizon 2041 en mettant en place une consommation et une distribution intelligente (sectorisation et optimisation du pompage)

	Production sans changement	Consommation et distribution intelligente	Economie
	<i>m³/an</i>	<i>m³/an</i>	<i>m³/an</i>
Monastir Ville			
Production	11 086 662	9 750 381	1 336 281
Rendement	86.3 %	88.3 %	
Monastir District			
Production	25 299 505	22 050 452	3 249 053
Rendement	81.1 %	83.7 %	
Grand Sousse			
Production	56 903 743	49 626 711	7 277 032
Rendement	81.4 %	84.0 %	
Total			10 526 085

5.3 Impact sur la consommation énergétique

Les résultats montrent que grâce à la mise en place d'un réseau d'eau intelligent, il est possible de réaliser une économie d'eau d'environ 10 500 000 m³/an à l'horizon 2041. Cela signifie également une réduction des coûts énergétiques puisque cette eau n'a ni besoin d'être produite ni pompée :

- Dans l'hypothèse où cette économie d'eau est réalisée à 100 % par la station de dessalement qui a un coût énergétique estimée à 3 kWh/m³ cela représente une économie d'énergie de **31 600 000 kWh** par an à l'horizon 2041
- Dans l'hypothèse où cette économie d'eau est réalisée à 50 % par la station de dessalement et à 50% par les autres stations dont le coût énergétique est estimé à 0.4 kWh/m³, cela représente une économie d'énergie de **18 100 000 kWh** par an à l'horizon 2041

Les économies d'énergie réalisées grâce au remplacement de vieilles pompes au rendement faible, n'ont pas été prises en compte dans ces estimations.

6 Recommandations

6.1 Remplacement des pompes

La consommation d'énergie dans les systèmes d'eau est principalement due au pompage, sauf dans le cas de station de dessalement. L'étude réalisée a montré que les pompes installées dans la zone pilote sont souvent anciennes et donc que leur efficacité est limitée comparée à une pompe neuve (efficacité supérieure à 80%). Afin d'augmenter les performances énergétiques du système il est recommandé de renouveler le parc de pompes en commençant par les plus anciennes.

Afin de réaliser un choix optimal de pompe il est recommandé de prendre contact avec différents fournisseurs de pompes pour obtenir des propositions adaptées au besoin du système en question.

Les modèles hydrauliques développés dans le cadre de ce projet peuvent ensuite être utilisés pour tester les pompes proposées par les fournisseurs et s'assurer de leur pertinence pour les systèmes en question.

6.2 Développement du système de supervision

Le système de supervision, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) est l'une des composantes les plus importantes dans l'optimisation d'un réseau hydraulique.

Avoir un système de supervision permet à l'exploitant une vision globale et claire de son réseau.

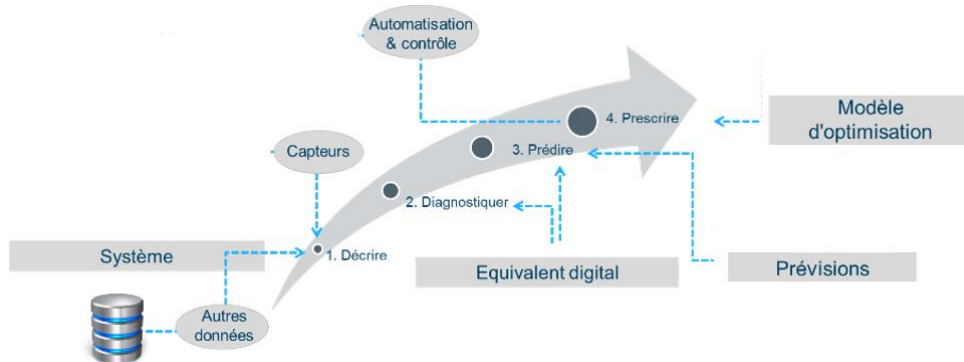


Figure 6-1: Ecosystème d'un jumeau numérique

Les données acquises sur le réseau via la supervision permettent de décrire l'état du réseau. Le modèle hydraulique permet de valoriser les données existantes et de répondre aux différents besoins et enjeux de modélisation hydraulique. Associé à des systèmes de prévision de la demande et à une description en temps réel de l'état des réseaux, le modèle hydraulique permet d'optimiser son fonctionnement et ainsi l'efficacité de la distribution en minimisant les pertes et consommations. Le système devient ainsi plus efficace.

Le système de la supervision permettra de répondre, dans un premier temps, aux objectifs de compréhension du fonctionnement du réseau et de diagnostic de celui-ci. Nous rappelons ci-dessous les bénéfices de la supervision pour l'exploitation et la planification :

- Fiabilité
 - Haut niveau de service (débit, pression)
 - Sécurité d'approvisionnement, secours
 - Qualité de l'eau (chlore, temps de séjour)

- Efficacité
 - Performance de la distribution, sobriété, détection précoce des fuites
 - Frugalité énergétique
 - Optimisation de la distribution, efficacité du système
- Sécurité
 - Opérateur stratégique / PGSSE
 - Gestion anticipée des arrêts d'eau, continuité de service
 - Maitrise de la défense incendie
- Planification pour :
 - Améliorer la distribution actuelle
 - Dimensionner les réseaux et les équipements pour les projets à venir
 - Assurer la défense incendie actuels et futurs

Des données SCADA fiables sont également fondamentales pour cartographier l'énergie dans le système d'eau potable. Grâce à la mesure continue des pressions et des débits dans le système et depuis les installations, l'énergie hydraulique fournie et perdue peut être déterminée. En plus du débit et de la pression, la consommation d'énergie de chaque pompe doit également être mesurée et stockée, ce qui donne la possibilité d'évaluer l'efficacité des pompes et donc l'efficacité de la stratégie de contrôle d'un point de vue énergétique.

Dans le cas où plusieurs systèmes de supervision autonome il est préférable de les fusionner en un seul système intégré afin de faciliter le traitement des données récoltées ainsi que leur visualisation et interprétation.

6.3 Stratégie de pompage

6.3.1 Système de distribution

Afin d'optimiser la consommation d'énergie sur le réseau de distribution et de garantir une pression minimale chez l'abonné, Il est recommandé de modifier la stratégie de pompage de la zone haute :

- Installation de pompes à vitesse variable
- Installation d'un ou plusieurs compteurs de pression dans la zone où des pressions basses sont observées
- Ces points de contrôle et la pression souhaitée sont utilisés comme pression consigne pour le pompage. Ces points de contrôle sont utilisés et la pression souhaitée sont utilisés comme pression consigne pour le pompage.

La pression consigne de contrôle peut être modifiée afin de trouver le meilleur scénario possible

6.3.2 Station de dessalement

En raison des différents tarifs de consommation d'énergie au cours d'une même journée, le fonctionnement de ces pompes doit être contrôlé pour minimiser leur consommation et par conséquent diminuer le coût de fonctionnement.

Les modèles hydrauliques développés peuvent être utilisés pour vérifier la faisabilité hydraulique de ces stratégies de pompage et pour garantir qu'ils respectent également les contraintes hydrauliques telles que le niveau des réservoirs d'eau et la pression au niveau des abonnés.

Une fois la centrale de dessalement en service, réaliser des campagnes de mesures pour vérifier et améliorer les stratégies avec l'aide du modèle hydraulique.