



HAL
open science

Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau de Moulin à Huile situé à Rezé

Fadi Haddad

► **To cite this version:**

Fadi Haddad. Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau de Moulin à Huile situé à Rezé. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03618279

HAL Id: dumas-03618279

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03618279v1>

Submitted on 24 Mar 2022

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

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

Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau de Moulin à Huile situé à Rezé.



Fadi HADDAD

Promotion 2020-2021

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement**

Novembre 2021

Remerciements :

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser mes sincères remerciements et ma grande reconnaissance à mon encadrante, Madame Brigitte HILICO, pour tout le support, la riche expérience professionnelle qu'elle m'a offerte tout au long du stage.

Je désire aussi remercier mon professeur en Alimentation en eau potable, Monsieur Jean-Bernard BARDIAUX de l'ENGEES, qui m'a fourni les outils pédagogiques nécessaires à la réussite de mes études et de mon stage.

Je tiens à remercier spécialement Madame Catherine COUESNON-MILLIER, qui fut la première à me faire découvrir le sujet du stage.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Un grand merci à Joelle MATAR pour ses conseils concernant mon style d'écriture et la bonne mise en page du mémoire, ils ont grandement facilité mon travail.

Enfin, j'adresse mes vifs remerciements aux membres de jury pour avoir bien voulu examiner et juger cette étude.

Résumé/Abstract :

Depuis de nombreuses années, les travaux de réhabilitation du système d'étanchéité intérieure de la cuve du château d'eau du Moulin à Huile sont repoussés faute de solution simple pour sa mise hors service pendant le temps des travaux estimé à 4 mois.

Ce château d'eau est alimenté par pompage depuis deux bâches au sol. Sa mise hors service demande, pour assurer la continuité de service, de mettre en œuvre une nouvelle station de pompage à vitesse variable à partir des bâches au sol.

L'exploitant du réseau met régulièrement en alerte sur la capacité d'adduction vers les bâches au sol qui deviendrait de plus en plus tendue du fait de l'évolution de la demande en eau sur le secteur desservi. Par ailleurs, à travers la mise en application de son schéma directeur de 2011, Nantes Métropole mène actuellement un programme de travaux qui va renforcer la sollicitation du réseau de ce secteur et s'interroge sur l'influence qu'ils pourraient avoir sur l'adduction des bâches au sol.

Par ailleurs, de façon plus générale, la Direction du Cycle de l'Eau souhaite entamer une réflexion plus large sur l'intérêt des stockages sur son réseau, ce en balayant un panel de critères tels que la sécurité de desserte, les économies d'énergie, les contraintes d'exploitation, etc...

Alors, Les attendus de ce travail se déclinent sur 3 volets :

- Étude approfondie du fonctionnement du système AEP en lien avec le château d'eau du Moulin à Huile à Rezé.
- Faisabilité technique, inventaire des contraintes pour la mise en œuvre d'une surpression sur le site du château d'eau du Moulin à Huile à Rezé.
- Réflexion générale sur les stockages d'eau potable.

SOMMAIRE :

I.	Table des figures	7
II.	Table des tableaux.....	8
III.	Liste des abréviations utilisées.....	9
IV.	Présentation de l'organisme d'accueil	10
V.	Présentation général du réseau d'eau potable de Nantes métropole	10
VI.	Présentation du contexte de l'étude	12
A.	Objectifs prioritaires :	12
B.	Données d'entrée.....	12
C.	Présentation des sites.....	12
a)	Présentation du site du Moulin à Huile	12
b)	Présentation de la station de surpression de la Pierre	13
VII.	Présentation du réseau d'eau potable de la zone en étude	14
A.	La structure du réseau	14
a)	Les canalisations structurantes	14
b)	La sectorisation	16
B.	L'état du réseau :.....	17
a)	Le rendement	17
b)	L'indice linéaire de consommation et l'indice linéaire de pertes	18
c)	L'âge du réseau	18
C.	Les besoins en eau potable	20
a)	Les gros consommateurs	20
b)	Etude démographique.....	20
c)	Les besoins en eau potable actuels.....	21
d)	Les besoins en eau potable dans le futur.....	22
VIII.	Diagnostic du site du Moulin à Huile.....	22
A.	Equipements	22
B.	Mode de fonctionnement	22
IX.	La modélisation	24
A.	Mike Urban+	24
B.	Excel	24
X.	Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau	26

A.	L'autonomie et la sécurité	26
B.	Le pompage du Moulin à Huile	29
a)	Le pompage actuel	29
b)	Le pompage futur	30
C.	La consommation énergétique	32
D.	Autres critères	35
a)	Environnement	35
b)	L'exploitation :	35
a)	Le coût d'investissement :	35
E.	Conclusion	36
XI.	Les canalisations résistantes	37
XII.	Les travaux	40
A.	La faisabilité des travaux	40
B.	Date limite pour effectuer les travaux	40
XIII.	L'intérêt des ouvrages de stockage dans le système d'alimentation	42
A.	Les fonctions d'un réservoir	42
B.	Volumes des réservoirs	42
C.	La criticité des ouvrages de Nantes Métropole	44
a)	Techniquement	45
b)	Sécurité : Méthode d'évaluation de la probabilité	46
XIV.	Synthèse globale	53
XV.	Bibliographie	54
XVI.	Les annexes	55

I. Table des figures

Figure 1: Circulation des masses d'eau à Nantes Métropole	11
Figure 2: Vue aérienne du site du moulin à huile	13
Figure 3: Vue aérienne de la station de la Pierre	14
Figure 4: La structure du réseau en études	15
Figure 5: Les réseaux du secteur d'étude	16
Figure 6: Schéma altimétrique du réseau en étude	17
Figure 7: Etat du réseau par commune	18
Figure 8: Pourcentage du linéaire de réseau selon l'année de pose	19
Figure 9: Répartition des matériaux composant les canalisations de Rezé-Les Sorinières	20
Figure 10: Comparaison du marnage du château entre le calcul sur Excel et les données mesurées	25
Figure 11: Comparaison du marnage des bâches entre le calcul sur Excel et les données mesurées	26
Figure 12: Autonomie horaire du site du Moulin à Huile sans le château d'eau en 2050	27
Figure 13: Autonomie horaire du château d'eau en 2050	28
Figure 14: Comparaison entre le maintien et l'abandon du château en terme de sécurité	28
Figure 15: Marnage du château d'eau en 2021 en fermant les Landes Blanches	29
Figure 16: Marnage du château d'eau en 2021 en ouvrant les Landes Blanches 3 h/j	30
Figure 17: Marnage du château d'eau en 2035 avec une capacité de pompage 170 m ³ /h/pompe	30
Figure 18: Le nombre de pompe en fonction selon le débit de distribution pour une station à vitesse variable sans le château	31
Figure 19: Marnage des bâches avec et sans le château d'eau en 2035	31
Figure 20: Choix du pompe futur	32
Figure 21: Courbe caractéristique de la pompe 080-065-160	33
Figure 22: Diagramme comparant la consommation énergétique entre un système de surpresseur à vitesse variable sans le château et celui d'un pompage à vitesse fixe avec le château	34
Figure 23: Diagramme comparant les heures de fonctionnement entre un système de surpresseur à vitesse variable et celui d'un pompage à vitesse fixe avec le château	34
Figure 24: Canalisation résistante en amont de la station de la Pierre	37
Figure 25: Canalisations résistantes en amont du site du Moulin à Huile	38
Figure 26: Piézométrie de la canalisation principale en aval du château d'eau en 2050	39
Figure 27: Marnage du château d'eau en 2027 avec la capacité de pompage actuel et pour 5 h/j d'ouverture des Landes Blanches	40
Figure 28: Marnages des Bâches en 2031 après modification de la capacité de pompage et avec une 5 h/j d'ouverture des Landes Blanches	41
Figure 29: Planning des travaux	41
Figure 30: Répartition des volumes d'un ouvrage de stockage	42
Figure 31: Marnage du château en 2019	43
Figure 32: Marnage des bâches en 2019	43
Figure 33: Comparaison sécuritaire entre trois différents sites de stockage en mettant hors service une partie du stock	51
Figure 34: Proposition de sécurisation par maillage du site de Carquefou	52
Figure 35: : Comparaison sécuritaire entre les deux choix pour sécuriser le secteur alimenté par Carquefou	52

Table des tableaux

Tableau 1: Présentation globale des ouvrages de stockage du site du Moulin à Huile	13
Tableau 2: Indice linéaire de perte et l'indice linéaire de consommation par commune	18
Tableau 3: Evolution démographique entre 2018 et 2035	21
Tableau 4: Les besoins journalier en eau du secteur haute pression en 2019	21
Tableau 5: Les besoins journalier en eau du secteur haute pression en 2035 et 2050	22
Tableau 6: Fonctionnement du château d'eau	23
Tableau 7: Fonctionnement des bâches 1 et 2	23
Tableau 8: Coefficient de stockage du site du Moulin à Huile sans et avec le château d'eau	27
Tableau 9: Etat actuel des pompes du Moulin à Huile	29
Tableau 10: Puissance à fournir en fonction du débit de pompage	33
Tableau 11: Comparaison entre les travaux à accomplir pour la réhabilitation et l'abandon du château	35
Tableau 12: Récapitulatif des différents critères déjà abordé concernant la réhabilitation ou l'abandon du château	36
Tableau 13: Coût de renforcement des canalisations	39
Tableau 14: Répartition du volume de stockage du site du Moulin à Huile	44
Tableau 15: Comparaison entre les différents cas de mise hors service	45
Tableau 16: Risque selon la probabilité calculée	46
Tableau 17: Note1 selon l'autonomie horaire pour une journée de pointe	47
Tableau 18: La Note2 selon la sécurisation du secteur	47
Tableau 19: Note3 selon l'état de la canalisation d'adduction	48
Tableau 20: Note4 ¹ selon l'environnement de la canalisation d'adduction	48
Tableau 21: Note4 ² selon la présence ou l'absence d'un secours électrique	48
Tableau 22: Note4 ³ selon la présence ou l'absence d'une pompe de secours	49
Tableau 23: Les coefficients de pondération	49
Tableau 24: Vérification des coefficients de pondération	49

II. Liste des abréviations utilisées

DOPEA : Direction des Opérateurs Public de l'Eau et de l'Assainissement

DCE : Direction du Cycle de l'Eau

QSE : Qualité Sécurité Environnement

Q : Débit

VMD : Volume mis en distribution

Φ : Diamètre d'une conduite

NTH : Niveau Très Haut

NTB : Niveau trop Bas

mNGF : Nivellement Général de la France

HMT : Hauteur Manométrique Totale

ILC : Indice linéaire de consommation

ILP : Indice linéaire de perte

h : Heure

ml : Mètre linéaire

III. Présentation de l'organisme d'accueil

La Direction du Cycle de l'Eau de Nantes Métropole pilote la politique publique de l'eau sur le territoire. Elle couvre l'intégralité du cycle de l'eau : production et distribution de l'eau potable, assainissement des eaux usées et gestion des eaux pluviales. En 2018, s'est également ajoutée la compétence de gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations.

La Direction du Cycle de l'Eau est composée de cinq Pôles :

- 1) **Le pôle ingénierie et travaux**, qui a comme rôle principal de prioriser et de réaliser les travaux de réhabilitation, d'amélioration et d'extension du patrimoine (réseaux et ouvrages).
- 2) **Le pôle gestion du patrimoine**, qui a comme rôle principal de garantir la connaissance du patrimoine et le respect de sa qualité, tout en apportant une aide décisionnelle sur le renouvellement pour la pérennité des infrastructures publiques actuelles et futures.
- 3) **Le pôle stratégie, développement et animation**, qui conçoit une vision à moyen et long terme des services publics (schémas directeurs, prospective) et ceci en maîtrisant l'impact du cycle de l'eau sur le territoire et en valorisant les milieux aquatiques. Ce pôle a aussi des rôles d'animation du système managérial (QSE) et la politique publique de l'eau.
- 4) **Le pôle gestion des opérateurs et contrôles**, qui définit un niveau de service rendu par les opérateurs privés et public tout en faisant respecter aux usagers leurs obligations en terme de raccordement.
- 5) **Le pôle cellule de gestion**, qui conseille les autres pôles de la DCE de manière adaptée au contexte et aux enjeux et ceci en garantissant le cadre applicable (juridique et doctrine) dans les différents domaines supports.

IV. Présentation générale du réseau d'eau potable de Nantes métropole

Nantes Métropole regroupe 24 communes dans le but de faciliter la coopération intercommunale. Autorité organisatrice des services publics de l'eau potable, la Direction du Cycle de l'Eau a fait le choix de mixer des modes de gestion de l'eau potable sur son territoire, avec une gestion en régie exercée par la direction des opérateurs public de l'eau et de l'assainissement (DOPEA), et une délégation de service public assurée par une entreprise privée (VEOLIA) (Consulter [Annexe 0](#)).

Le linéaire de l'intégralité du réseau d'eau potable de Nantes Métropole est de 3 176 Km (hors branchement), ce réseau distribue l'eau à 646 522 habitants soit 220 324 abonnés qui ont consommé, en 2019, 32 347 270 m³ d'eau, donc 137 litres par jour et par habitant en moyenne.

La ressource en eau principale de Nantes Métropole est la Loire. En effet, elle constitue la seule ressource de Nantes Métropole exploitée en continuité hors situation de crise où il existe deux prises de secours. Cette eau est traitée à l'usine de la Roche qui a une capacité de production journalière égale à 160 000 m³/j. Cependant, il existe une deuxième usine d'eau potable sur le territoire de Nantes Métropole, l'usine de Basse-Goulaine qui appartient au SIAEP Vignoble-Grandlieu.

Voici ci-dessous une [figure 1](#) indiquant la circulation des masses d'eau entre les usines et les différents sites de stockage existants à Nantes Métropole :

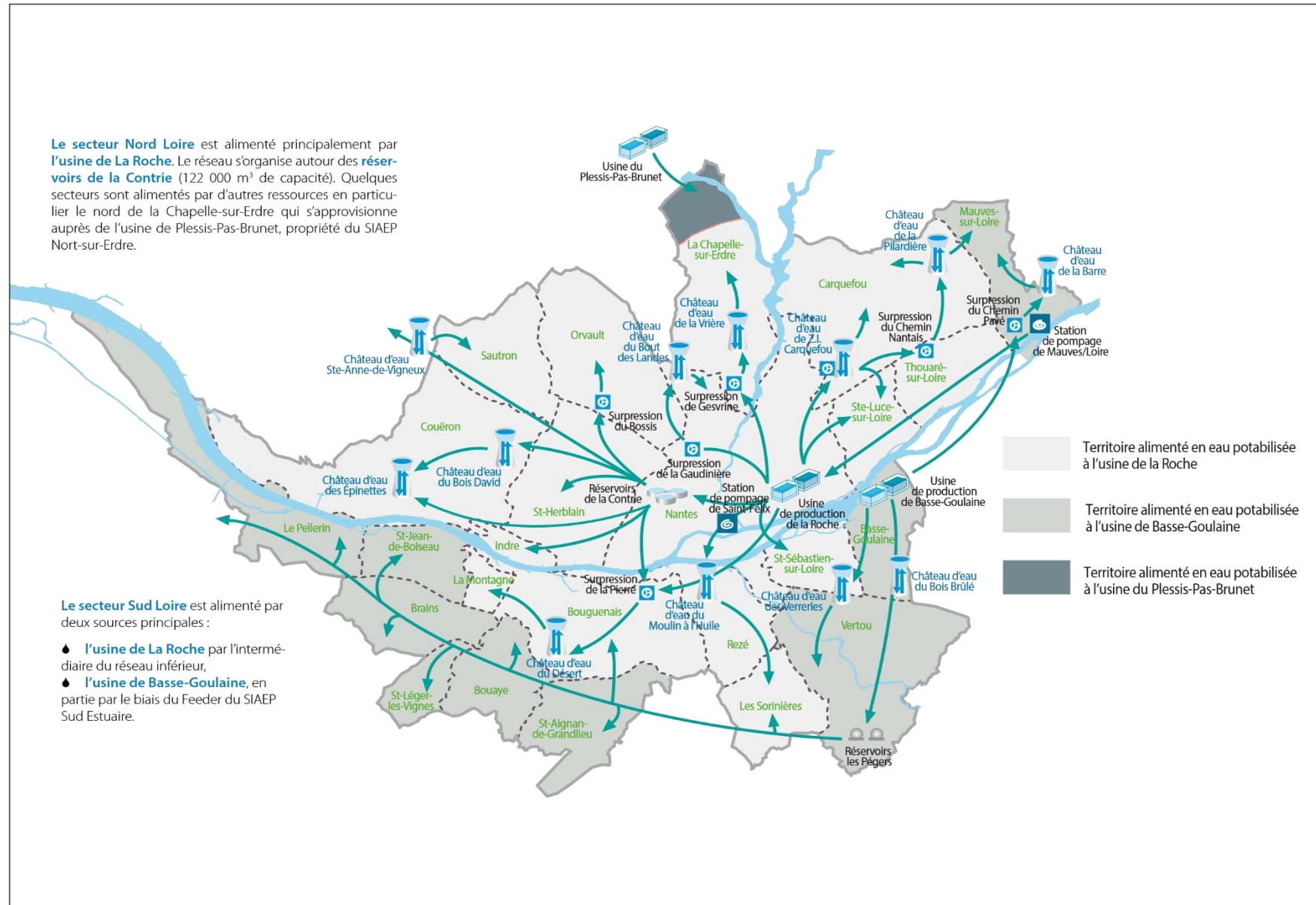


Figure 1: Circulation des masses d'eau à Nantes Métropole

V. Présentation du contexte de l'étude

A. Objectifs prioritaires :

Les objectifs prioritaires de cette étude sont :

- Sécuriser la distribution en eau potable des communes Rezé-Les Sorinières.
- Privilégier le transfert depuis l'usine de la Roche en renforçant les réseaux de transfert et la station de pompage du Moulin à Huile.
- Evaluer la capacité de stockage existante sur le site du Moulin à Huile et analyser la possibilité de la mise hors service du château du Moulin à Huile.
- Évaluer la faisabilité technique de la mise en arrêt du château pour la réhabilitation de son étanchéité interne.

Les objectifs doivent être réalisés tout en garantissant la continuité du service de la distribution en eau potable du secteur.

Une étude globale concernant les stockages aura comme objectifs :

- Evaluer l'intérêt des ouvrages de stockage dans le système d'alimentation.
- Évaluer et interpréter cet intérêt afin d'analyser la possibilité hydraulique et sécuritaire de la mise hors service de certains ouvrages.

B. Données d'entrée

Un tableau de l'ensemble des données et documents disponibles, et analysés, est fourni en [annexe1](#).

Cependant, malgré la disponibilité des données sur les années 2019 et 2020. Cette étude sera basée essentiellement sur l'année 2019. En effet, d'après météo France l'année 2019 est au 3e rang des années les plus chaudes en France Métropolitaine depuis le début du XXe siècle (consulter [annexe 2](#)). Ceci est clairement visible par le débit de la Loire qui a atteint des valeurs minimales arrivant jusqu'à 106 m³/s, alors que le débit seuil de crise est de 100 m³/s (consulter [annexe 2](#)). De plus, l'année 2020 est très exceptionnelle à cause du COVID 19, **donc l'année 2019 est considérée la plus représentative**.

C. Présentation des sites

Voici ci-dessous une présentation globale sur les sites et les ouvrages existants sur la zone d'études :

a) Présentation du site du Moulin à Huile

Le site est situé rue le Haut Landreau (parcelle N° 1025), dans une rue résidentielle. La rue le Haut Landreau, accessible depuis la rue du château de Rezé, permet d'accéder au site du Moulin à Huile. La parcelle n'est pas totalement occupée.

Le site comprend deux bâches au sol semi-enterrées, chacune de 1960 m³ et un réservoir sur tour de 1800 m³ (volume jusqu'au niveau du trop-plein).

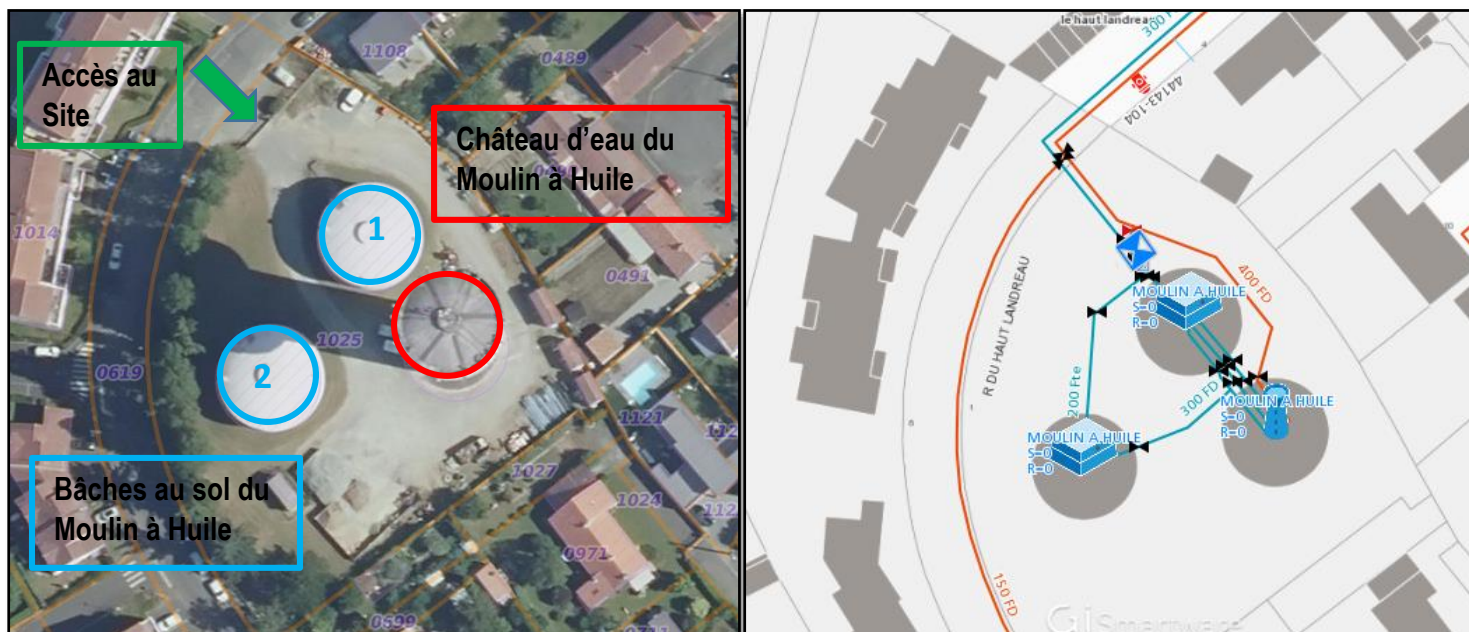


Figure 2: Vue aérienne du site du moulin à huile

Tableau 1: Présentation globale des ouvrages de stockage du site du Moulin à Huile

Ouvrage	Château d'eau	Bâches au sol 1 et 2
Type	Réservoir sur tour	Réservoir au sol semi enterré
Volume	1800 m ³ (Volume jusqu'au trop-plein)	1960 m ³ (Volume jusqu'au trop-plein)
Hauteur	36.67 m (sol – radier) 7.6 m (radier – trop-plein)	8.25 m (radier – trop-plein)
Hauteur altimétrique du radier	67.69 mNGF	29.01 mNGF
Date de mise en Service	Entre 1960-1970	Entre 1960-1970
Date de Réhabilitation (étanchéité)	Jamais	Depuis 10 ans

b) Présentation de la station de surpression de la Pierre

La station est située rue de la Pierre à Bouguenais (parcelle N° 367), dans une rue résidentielle. La rue de La Pierre, accessible depuis la route de Pornic, permet d'accéder à la station de La Pierre.

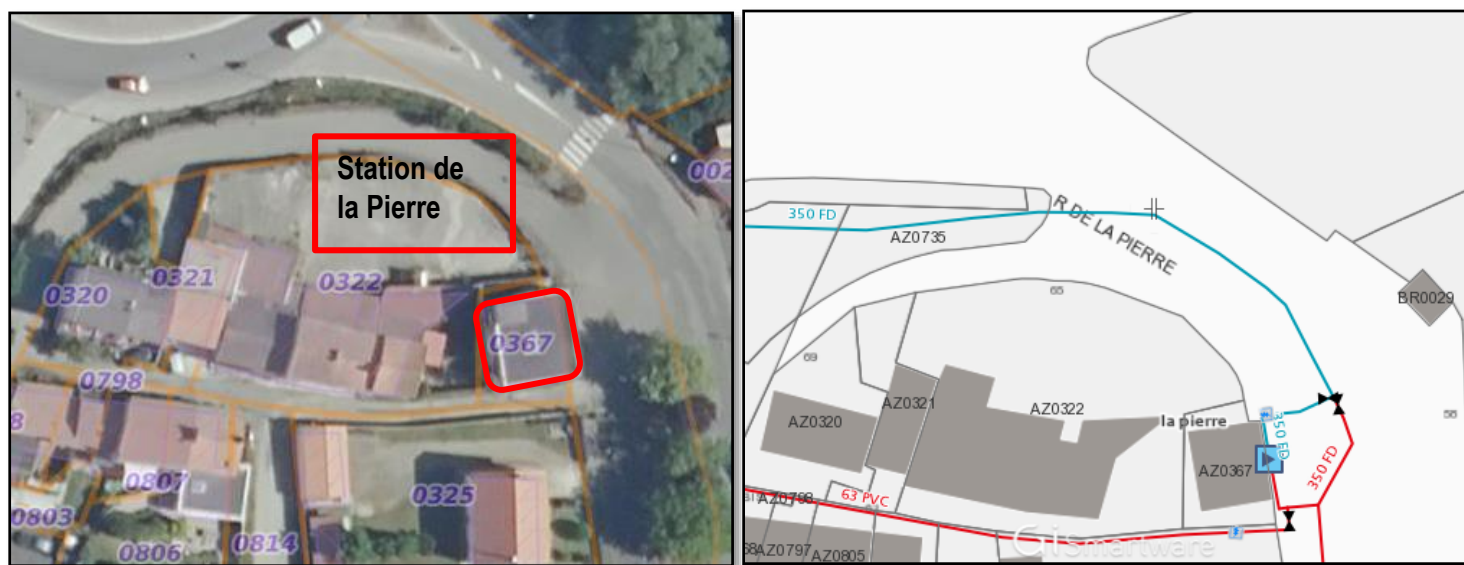


Figure 3: Vue aérienne de la station de la Pierre

VI. Présentation du réseau d'eau potable de la zone en étude

A. La structure du réseau

a) Les canalisations structurantes

Les secteurs en lien avec le site du Moulin à Huile, comptent actuellement deux communes : **Rezé et Les Sorinières**, qui se situent Sud-Loire coté Est. Ces deux communes possèdent une superficie totale de 26,8 Km² (13,78 Km² Rezé et 13,02 Km² Les Sorinières), avec des altitudes qui varient entre 5 mNGF et 45 mNGF (consulter [annexe 3](#)). Le linéaire du réseau d'alimentation en eau potable hors branchements est de 176,6 km à Rezé et 70,6 km aux Sorinières.

L'alimentation en eau potable de ces deux communes se fait à partir de cinq entrées d'eau, quatre entrées amènent l'eau de l'usine de la Roche à travers des ponts, sous la Loire, et une entrée correspond à un achat d'eau du Syndicat Atlantic 'eau à travers un piquage du Feeder Sud-Estuaire au niveau des **Landes Blanches**.

Les conduites d'alimentation ou/et d'adduction vers Rezé-Les Sorinières sont :

- SNCF Φ 500 et Passage à Niveau Φ 300 passant à travers le pont de Pornic.
- Sarrail Φ 300 passant à travers le pont Rousseau.
- Chevire 2 Φ 250 passant en dessous la Loire.
- Piquage des Landes Blanches Φ 500.

Cependant, l'adduction vers le site du Moulin à Huile, se fait à partir d'un piquage de la canalisation SNCF Φ 500 comme adduction principale. En effet, cette arrivée constitue actuellement **75 %** du volume d'adduction arrivant au Moulin à Huile, et les **25 %** restant arrivent à travers la canalisation Sarrail Φ 300 comme adduction secondaire. Ce fonctionnement est schématisé ci-dessous en [Figure 4](#)

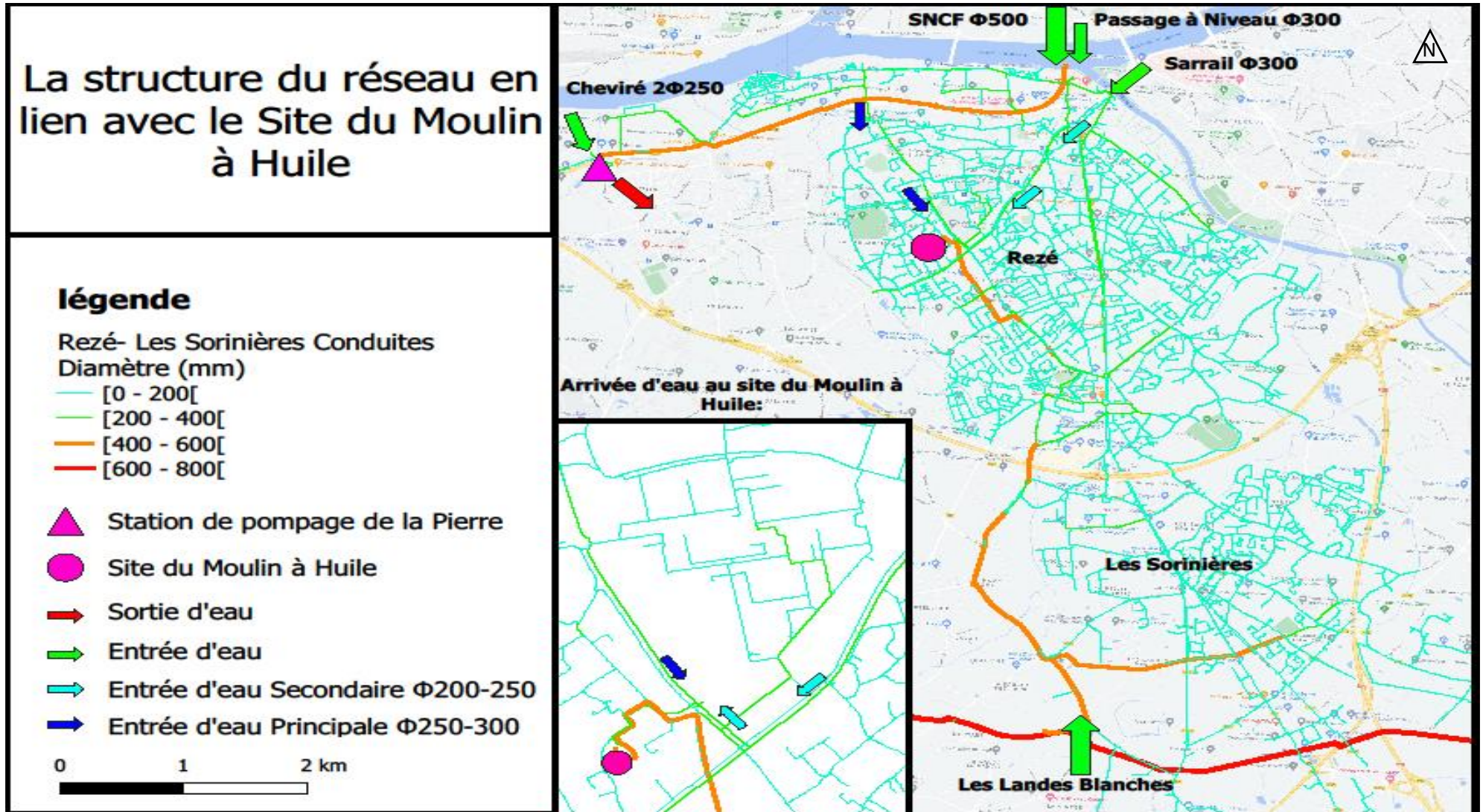


Figure 4: La structure du réseau en études

b) La sectorisation

Les deux communes sont alimentées par deux réseaux ([figure 5](#)) :

- **Le réseau Basse Pression** (52,27 km) qui alimente Nord Rezé. L'adduction vers le site du Moulin à Huile et la station de pompage de la Pierre se fait à travers les canalisations structurantes de ce réseau.
- **Le réseau Haute Pression** (203,58 km) qui alimente Rezé-Les Sorinières à partir du site du Moulin à Huile et le piquage des Landes Blanches.

Le niveau piézométrique du réseau Basse Pression est de 50-55 m. Cependant, celui de Haute Pression varie entre 70 et 75 m.

Ces deux réseaux sont sectorisés en secteurs plus petits, par des vannes fermées, qui délimitent les limites des secteurs ([consulter annexe 4](#)), de façon à mieux surveiller les fuites. En effet, des compteurs ou des débitmètres télé-gérés sont posés aux entrées et aux sorties.

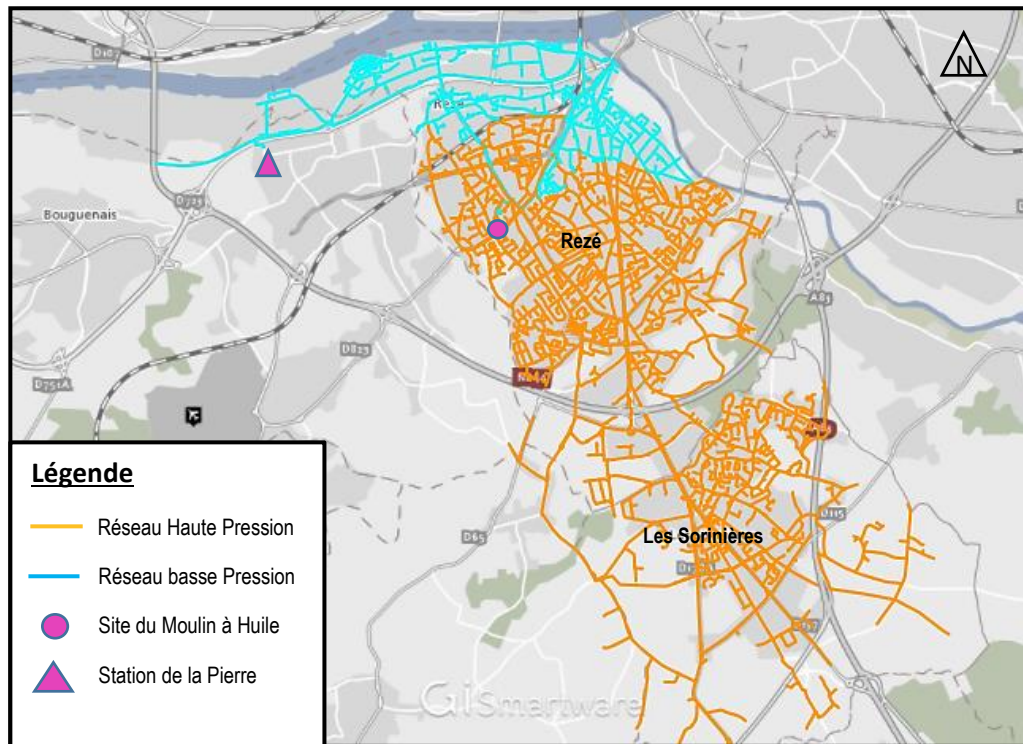


Figure 5: Les réseaux du secteur d'étude

Nous avons retranscrit ces deux réseaux sur un schéma altimétrique ([figure 6](#)). Celui-ci permet de compléter l'étude et la compréhension de la circulation des masses d'eau entre les deux réseaux. Et il permet aussi d'illustrer les configurations de fonctionnement et d'adduction vers le site du Moulin à Huile et la station de la Pierre.

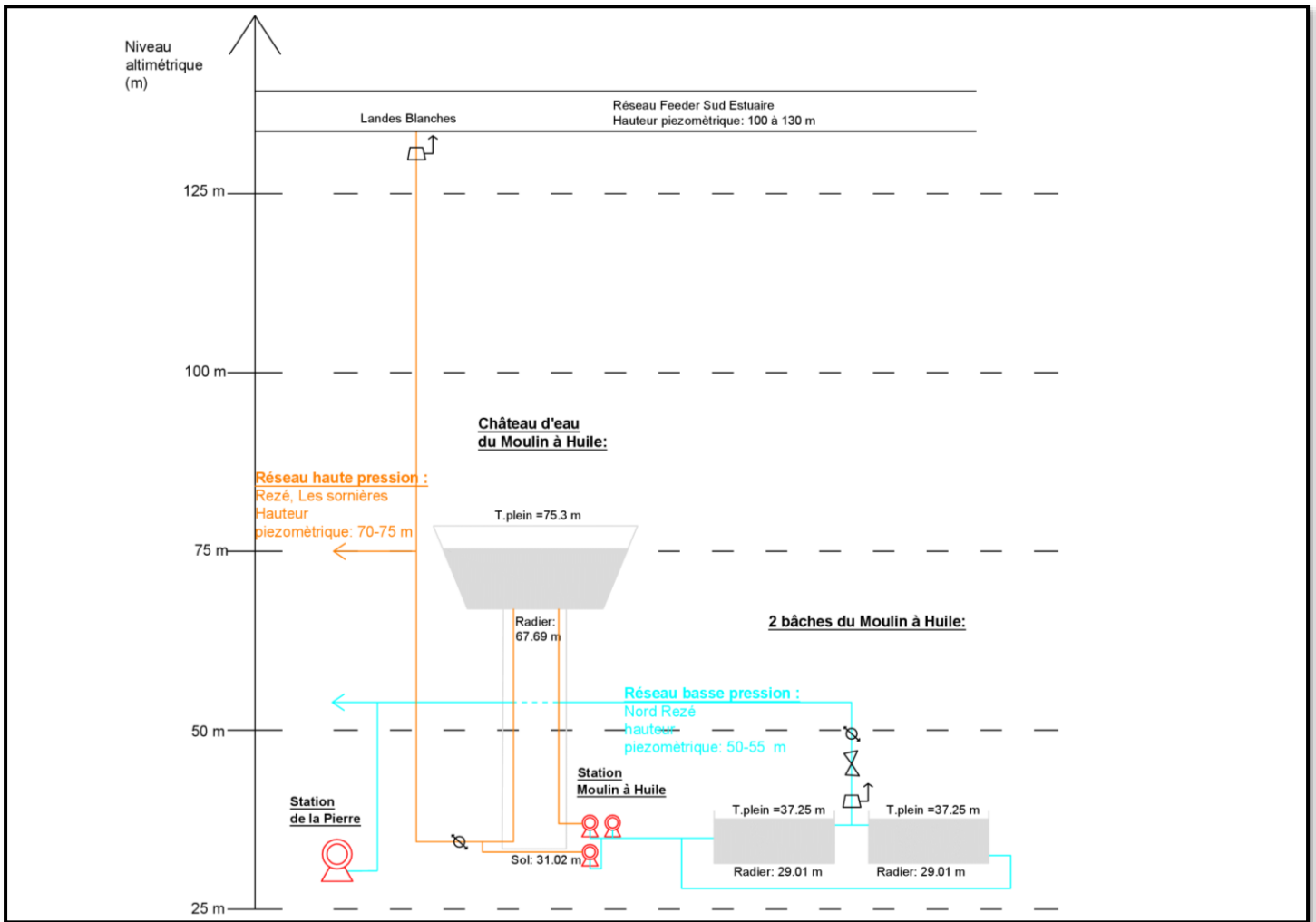


Figure 6: Schéma altimétrique du réseau en étude

B. L'état du réseau :

a) Le rendement

Le rendement primaire est calculé pour le réseau d'étude en entier, c'est-à-dire pour Rezé-les Sorinières. Cependant, le calcul par secteur n'était pas possible, du fait du manque de données de consommation par secteur. Mais, de manière plus générale, le rendement primaire du territoire d'étude en 2019 est 88 %, ceci est à peu près égale à celui de Nantes Métropole en 2019 qui est à 86.9 % selon le rapport annuel sur l'eau 2020. La formule utilisée est la suivante :

$$\text{Rendement primaire ou rendement technique} = \frac{\text{Volume facturé}}{\text{Volume mis en distribution}} \times 100$$

b) L'indice linéaire de consommation et l'indice linéaire de pertes

Le [tableau 2](#) indique l'indice linéaire de perte, calculé à partir du rendement primaire, et l'indice linéaire de consommation. Pour comparer entre les différentes communes, la grille Inter agence de l'eau est utilisée ([figure 7](#)).

Tableau 2: Indice linéaire de perte et l'indice linéaire de consommation par commune

METROPOLE / COMMUNE	2019	
	Indice linéaire de perte (m ³ /j/km)	Indice linéaire de consommation (m ³ /j/km)
NANTES METROPOLE	5,25	27,5
REZE	4,18	31,27
LES SORINIÈRES	1,85	13,58

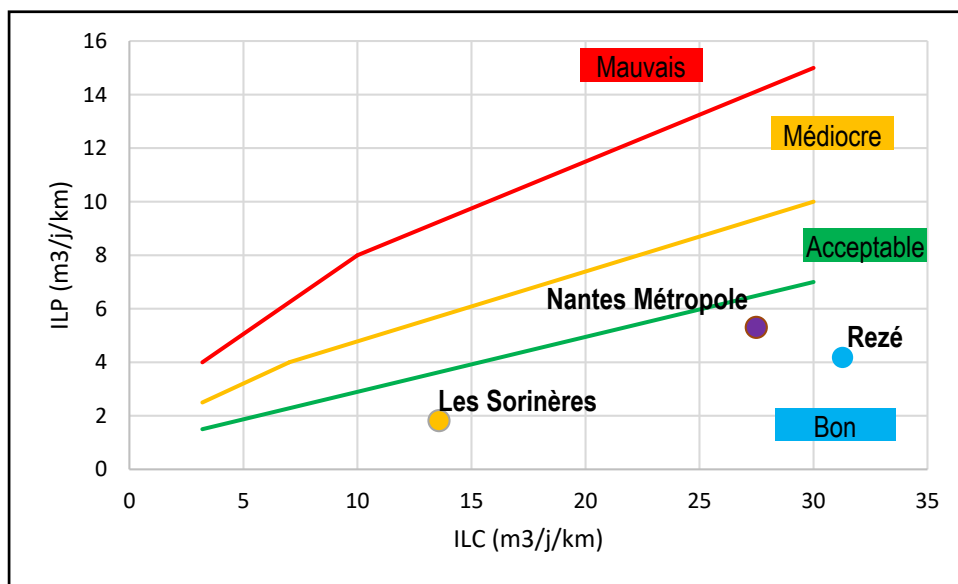


Figure 7: Etat du réseau par commune

Le graphe ci-dessus, indique que Nantes Métropole en globale est proche de la limite entre le bon et l'acceptable. Cependant le réseau d'étude Rezé-Les Sorinières est en bon état.

c) L'âge du réseau

En général, les indicateurs de performance, comme le rendement et l'indice linéaire de perte, donnent une vue globale sur l'état du réseau.

En particulier, il existe souvent des modèles numériques qui évaluent le risque de défaillance futur des canalisations selon plusieurs facteurs, comme : les casses passées, l'âge, les caractéristiques liées à la nature de la canalisation, à son environnement, son fonctionnement...

Cependant, l'âge du réseau étudié sera évalué uniquement parmi les facteurs déjà cités. Le diagramme ci-dessous, ([figure 8](#)), illustre la répartition du réseau selon l'année de pose pour Rezé-Les Sorinières.

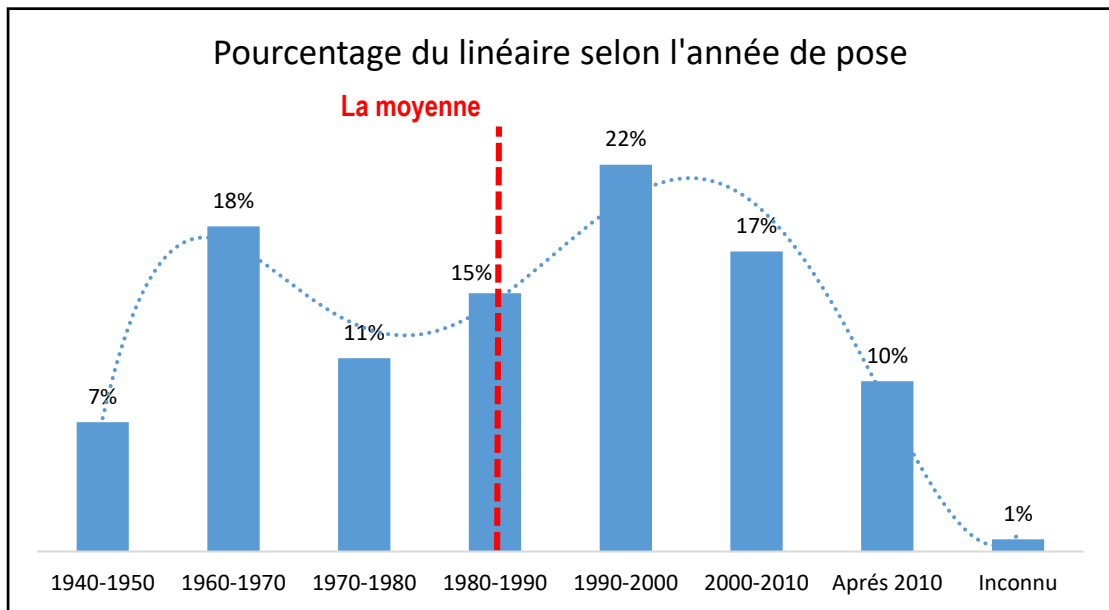


Figure 8: Pourcentage du linéaire de réseau selon l'année de pose.

Le réseau à Rezé Les Sorinières, avec une année moyenne de pose 1985 (âge moyen 36 ans), est relativement récent. Ce qui est parfaitement cohérent avec les analyses déjà effectuées précédemment et qui indiquent que le réseau d'études est en bon état.

Cependant, les canalisations ayant un âge supérieur à 50 ans, ont été posées entre les années 1940 et 1970, constituent 26 % de la totalité, dont 32 % sont des canalisations structurantes ayant un diamètre nominal supérieur à 200 mm.

Ainsi, le linéaire de ces anciennes canalisations principales de longueur 20,8 km, constitue 55 % de la globalité des canalisations structurantes ($DN \geq 200$).

On remarque qu'au regard des résultats globaux précédent, il convient d'être vigilant concernant certaines canalisations critiques :

- La canalisation SNCF $\Phi 500$ (4,02 km) en acier qui part vers la station de la Pierre (consulter [figure 4](#)). Cette canalisation a été posée dans les années 1960-1970, elle possède une protection cathodique. Mais, malgré cela, l'exploitant est inquiet concernant son état.
- La canalisation $\Phi 500$ au niveau du piquage des Landes Blanches (Consulter [figure 4](#)). Elle possède les mêmes caractéristiques que la canalisation SNCF $\Phi 500$. En effet, elle a été posée dans les années 1960-1970 et elle possède une protection cathodique.

d) Composition du réseau

Le réseau de distribution de Rezé les Sorinières est composé principalement de fonte 48 % et de PVC 41%. Le pourcentage de PVC existant sur ce territoire est plus élevé que le pourcentage sur Nantes Métropole, qui est égale à 34%. Cependant, 4 % des canalisations sont en acier, elles constituent les canalisations citées dans le paragraphe précédent et qui commencent à poser des soucis concernant leurs états.

Voici un diagramme circulaire indiquant la répartition des matériaux composant les canalisations :

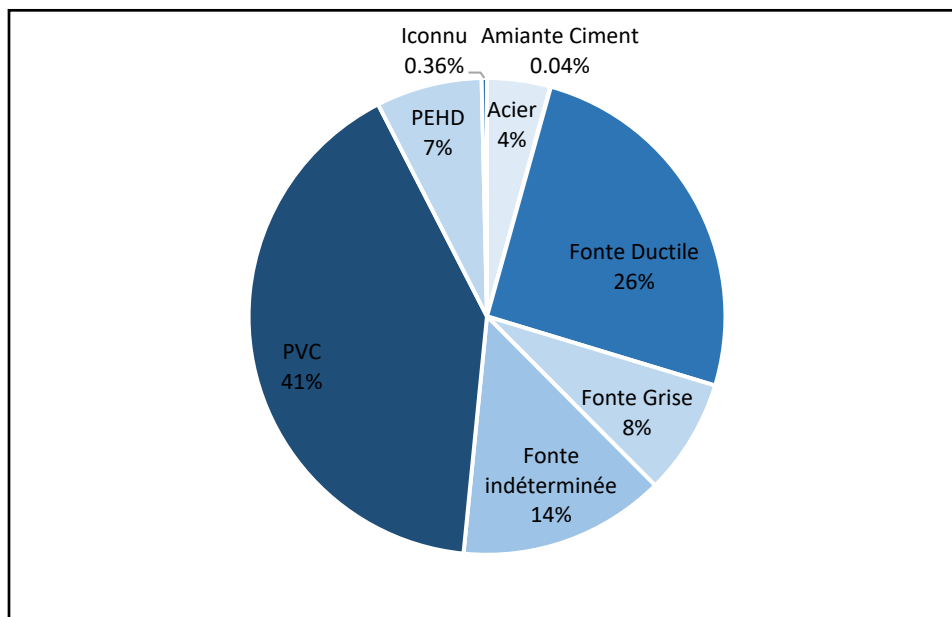


Figure 9: Répartition des matériaux composant les canalisations de Rezé-Les Sorinières

C. Les besoins en eau potable

a) Les gros consommateurs

Une liste des consommateurs industriels ayant une consommation supérieure à 5000 m³/an, est récupérée auprès de l'exploitant (consulter [annexe 5](#)). Le nombre de ces abonnés est dix, leur consommation annuelle totale en 2019 est 133 185 m³. Cependant, la consommation totale en eau est de 2 378 000 m³. Ainsi, le pourcentage de consommation industrielle est 6%, ce pourcentage sera utilisé pour évaluer la consommation journalière moyenne d'un habitant.

b) Etude démographique

La Loire Atlantique est le seul département avec une croissance non ralentie selon l'INSEE. L'accroissement essentiel de la population est à Nantes Métropole. En effet, la population de Nantes Métropole a augmenté de 47 000 habitant entre 2013 et 2018, soit une augmentation de 1,27 % par an. Cependant, l'étude démographique pour la population future effectuée par Nantes Métropole indique des croissances supérieures à celles estimées par la projection des courbes de l'INSEE. En effet, cette étude prend en compte des facteurs en lien avec les Zones d'Aménagements Concerté (ZAC), les divers aménagements, les permis de construire... (consulter [annexe 6](#))

Voici un tableau indiquant l'évolution de la population, selon cette étude, de Nantes métropole en général et de Rezé et Les Sorinières en particulier :

Tableau 3: Evolution démographique entre 2018 et 2035

METROPOLE / COMMUNE	POPULATION 2018	POPULATION 2035	TAUX D'AUGMENTATION JUSQU'EN 2035	POPULATION 2050	TAUX D'AUGMENTATION DE 2035 JUSQU'EN 2035
NANTE METROPOLE	650 000	800 000	1.22 %/an	870 000	0.56 %/an
REZE	41 400	51000	1.24 %/an	55 500	0.56%/an
LES SORINIÈRES	8 630	11220	1.55 %/an	11 400	0.12 %/an

On remarque que le taux d'augmentation de Rezé est inférieur à celui des Sorinières jusqu'en 2035. En effet, Rezé est plus proche de la commune de Nantes au centre, donc, elle devient de plus en plus saturée par rapport au Sorinieres, qui est une commune limitrophe semi-rural de Nantes Métropole. Cependant, de 2035 jusqu'en 2050, la population des Sorinieres devient stable par rapport à Rezé, qui évolue, mais avec un taux d'augmentation beaucoup plus faible. Ces taux seront utilisés pour l'estimation des besoins futurs en eaux du réseau Haute Pression, qui est alimenté par le site du Moulin à Huile.

Les pompes seront dimensionnées pour l'année 2035, alors que les canalisations d'adduction vers le site du Moulin à Huile seront dimensionnées pour l'année 2050.

c) Les besoins en eau potable actuels

La consommation actuelle en eau potable, prise en compte dans les calculs, est la consommation réelle de 2019. Alors, voici ci-dessous le tableau indiquant les volumes mis en distribution actuels sur le réseau Haute Pression :

Tableau 4: Les besoins journalier en eau du secteur haute pression en 2019

Année 2019	Réseau Haute Pression
VMD jour Moyen (m ³ /j)	5 002
VMD jour de Pointe	5 764
Coefficient de pointe	1,15

Cependant, les calculs indiquent que la consommation journalière moyenne par habitant alimentée par le réseau Haute Pression est **121 L/j/habitant**.

En prenant les facteurs suivants :

- La consommation journalière moyenne par habitant = 121 L/j/habitant
- Le pourcentage de la consommation industrielle en eau est égal à 6%
- Le rendement est égal à 88%
- Le coefficient de pointe journalier est 1,15

Ainsi, et selon les calculs, le nombre des habitants alimentés par le château d'eau du Moulin à Huile constitue actuellement 34 301 en totale dont 8 841 aux Sorinières et 25 461 à Rezé.

d) Les besoins en eau potable dans le futur

En prenant les facteurs cités dans le paragraphe précédent comme hypothèse valable dans le futur en 2035 et 2050, et en utilisant les taux d'augmentation mentionnés dans le paragraphe de l'étude démographique, voici ci-dessous le tableau indiquant les populations et les volumes mis en distribution sur le réseau Haute Pression en 2035 et 2050 :

Tableau 5: Les besoins journalier en eau du secteur haute pression en 2035 et 2050

Réseau Haute Pression	En 2035	En 2050
Population	42 241	45 130
VMD jour Moyen (m ³ /j)	6 160	6 546
VMD jour de Pointe	7 098	7 528
Coefficient de pointe	1,15	1,15

VII. Diagnostic du site du Moulin à Huile

A. Equipements

Les équipements et les installations présents sur le site sont les suivants :

- Une chambre de vannes, en amont des bâches sur la conduite d'adduction, contient : une vanne motorisée par rapport au niveau des bâches, un stabilisateur de pression amont (réglage de consigne 1.8 bars), et un débitmètre.
- Une chambre de vannes en aval sur la conduite de distribution qui contient : un débitmètre et un pressiomètre.
- Au niveau du sol du château d'eau, se trouve la station de pompage du Moulin à Huile : trois pompes (P1, P2 et P3) de 150 m³/h **en théorie** équipées chacune d'un débitmètre électromagnétique :
 - Pompe n°1 et n°2 sont équipées de démarreurs/ralentisseurs électroniques.
 - Pompe n°3 est équipée d'un variateur de fréquence.
- Chloration sur la conduite d'adduction en amont des bâches.
- Chloration sur la conduite de distribution en sortie du réservoir.
- Armoire électrique.
- Cinq afficheurs de débit : un pour chaque pompe, plus un afficheur pour l'adduction et un pour la distribution.
- Un ballon anti béliet.
- Une prise de raccordement électrique de secours.

Des photos concernant les équipements cités si dessus sont en [annexe 7](#).

B. Mode de fonctionnement

Voici ci-dessous le [tableau 6](#) indiquant le mode de fonctionnement de l'automatisme de pompage des pompes P1 et P2 au château d'eau. Et le [tableau 7](#) indiquant l'automatisme de fonctionnement des bâches 1 et 2.

Tableau 6: Fonctionnement du château d'eau

SONDE DE NIVEAU (0-10 m)	POIRES (alarmes)	VOLUME	AUTOMATISME/POIRES
7 m	● NTH	1 602 m ³	ALARME
Niveau R4 6,7 m		1 583 m ³	NV 4 : Arrêt pompage
Niveau R3 6 m		1 373 m ³	NV 3 : Démarrage 1 ^{ère} pompe ou arrêt 2 ^{ème} pompe
Niveau R2 5,5 m		1 259 m ³	NV 2 : Démarrage 2 ^{ème} pompe ou Fermeture électrovanne Landes Blanches HP
Niveau R1 2 m	● NTB	459 m ³	Ouverture électrovanne Landes Blanches HP ALARME

Tableau 7: Fonctionnement des bâches 1 et 2

SONDE DE NIVEAU (0-10 m)	POIRES (alarmes)	VOLUME	AUTOMATISME/POIRES
7,7 m	● NTH	1 832 m ³	ALARME
Niveau B4 7,5 m		1 785 m ³	NV B4 : Fermeture vanne électrique adduction
Niveau B3 6,5 m		1 547 m ³	NV B3 : Ouverture vanne électrique adduction
Niveau B2 5,5 m		1 254 m ³	NV B2 : Démarrage pompage autorisé
Niveau B1 2 m	● NTB	456 m ³	NV B1 : Démarrage pompage non autorisé ou arrêt pompage ALARME

Alors la pompe n°1 et pompe n°2 sont affectées au pompage vers le château d'eau (voir [tableau 6](#)). Cependant, la pompe n°3 est affectée prioritairement à la surpression vers le réseau de distribution tel que :

- Débit > 250 m³/h => Démarrage pompe n°3 .
- Débit < 150 m³/h => Arrêt pompe n°3 .
- La pompe n°3 s'arrête ou ne démarre pas si le niveau dans le château d'eau est inférieur à R2 favorisant ainsi le pompage au château par la pompe n°1 et 2.

Le variateur de fréquence de la pompe P3 asservi au seuil de pression : consigne 4.3 bars

Concernant l'ouverture de l'électrovanne du stabilisateur de pression aux Landes Blanches, il s'effectue sur une plage horaire dans les situations normales (Passage pression basse 4.5 bars à pression haute 4.8 bars) :

- Hiver (périodes heures de pointes) => 07h00 à 10h00 et 18h00 à 20h00
- Été => 08h00 à 09h00 et 18h00 à 19h00

Alors que dans les cas de crise l'ouverture, il se fait par rapport au niveau dans le château d'eau (consulter [tableau 6](#)).

VIII. La modélisation

A. Mike Urban+

Le réseau d'alimentation en eau potable de Nantes Métropole a été modélisé à l'aide du logiciel de simulation hydraulique Mike Urban+. Ce logiciel qui a été développé par DHI, est un unique outil permettant la modélisation des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Le moteur de calcul concernant la modélisation du réseau d'eau potable est fondé sur le logiciel de résolution d'équations hydrauliques Epanet, développé par l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis EPA (Environmental Protection Agency), qui utilise la formule de la rugosité de Colebrook pour les pertes par frottement.

Le choix de Nantes Métropole s'est porté sur ce logiciel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, pour son interface ergonomique qui permet d'exploiter le modèle facilement par rapport à d'autres logiciels comme Epanet, et ceci afin de lancer des études concernant le comportement hydraulique du réseau de distribution, ainsi que des études sur la qualité.

Cependant, autre que son interface conviviale Mike Urban+ permet d'ouvrir des modèles construits sur le logiciel Epanet, qui est utilisé par VEOLIA. De cette manière, la direction du cycle de l'eau pouvait utiliser ce logiciel pour exploiter les modèles fournis par l'exploitant privé. Ainsi, l'idée était que DHI fusionne les modèles fournis par VEOLIA, ainsi que le modèle qu'elle a construit pour la zone exploitée par la régie DOPEA afin d'obtenir un modèle complet du territoire de Nantes Métropole.

Il a été constaté que les simulations sur le modèle fusionné, donnent calculs erronés. Ceci est due principalement à deux raisons :

- La fusion a été réalisée sans enlever les astuces de modélisation créés sur les points d'intersection entre les modèles.
- Chaque modèle est calé séparément sur une période différente de l'autre.

Pour cela, l'utilisation du modèle fusionné n'a pas été possible, ainsi le modèle fourni par VEOLIA pour le secteur Sud-Est est utilisé dans cette étude.

B. Excel

L'utilisation du modèle Mike Urban+ (Secteur Sud-Est fournit par VEOLIA) pour pouvoir effectuer les études sur le site du Moulin à Huile a indiqué des contradictions. En effet, l'exploitant disait que pour une journée de pointe, le site du Moulin à Huile ne pouvait pas alimenter le secteur Haute Pression sans l'ouverture des Landes Blanches aux heures de pointe. Cependant, le modèle numérique sur Mike Urban+ qui est fourni à Nantes Métropole, par le même exploitant, indique que cela est possible (Consulter [annexe 8](#)).

De plus, Mike Urban+ ne permettait pas de réguler le démarrage et l'arrêt d'une pompe par rapport à un débit dans une canalisation, comme le cas de la pompe P3, qui est asservie de cette manière. Alors, pour les raisons citées précédemment, un calcul sur tableur Excel a été mis en oeuvre. Ce calcul permet de voir le marnage du château d'eau, ainsi que les bâches. Ceci avec la possibilité de modifier plusieurs paramètres :

- L'année pour se projeter dans le futur.
- Type de jour : moyen ou de pointe.
- Nombre d'heures d'ouverture des Landes Blanches.

- Le débit de pompage et le débit moyen de l'adduction.
- Le mode de fonctionnement du pompage.

Le travail est effectué en utilisant, parmi les données, la demande en eau du secteur sur une semaine choisie avec une ouverture minimale des Landes blanche de 3 h/j. Donc, en moyenne 600 m³/j. Alors, voici le tableau indiquant le volume mis en distribution sur le réseau Haute Pression de chaque jour de cette semaine :

Tableau 1: Semaine type choisie pour effectuer les calculs

Jour	Lundi 15/07/2019	Mardi 16/07/2019	Mercredi 17/07/2019	Jeudi 18/07/2019	Vendredi 19/07/2019	Samedi 20/07/2019	Dimanche 21/07/2019
VMD par le château (m ³ /j)	5156	5309	5255	4832	5063	4583	4735
VMD par Les Landes Blanches (m ³ /h)	675	517	509	541	547	531	540
VMD Totale(m ³ /j)	5830	5826	5765	5372	5610	5114	5275

Le lundi, mardi et mercredi, sont des jours de pointes, le jeudi et le vendredi sont des jours intermédiaires entre la journée moyenne et la journée de pointe. Cependant, le samedi et le dimanche sont des jours moyens mais avec une pointe horaire matinale à 11 h. (consulter [annexe 8-b](#))

Une comparaison entre le marnage calculé et le marnage mesuré indique la fiabilité du modèle numérique. Voici ci-dessous les figures indiquant la comparaison.

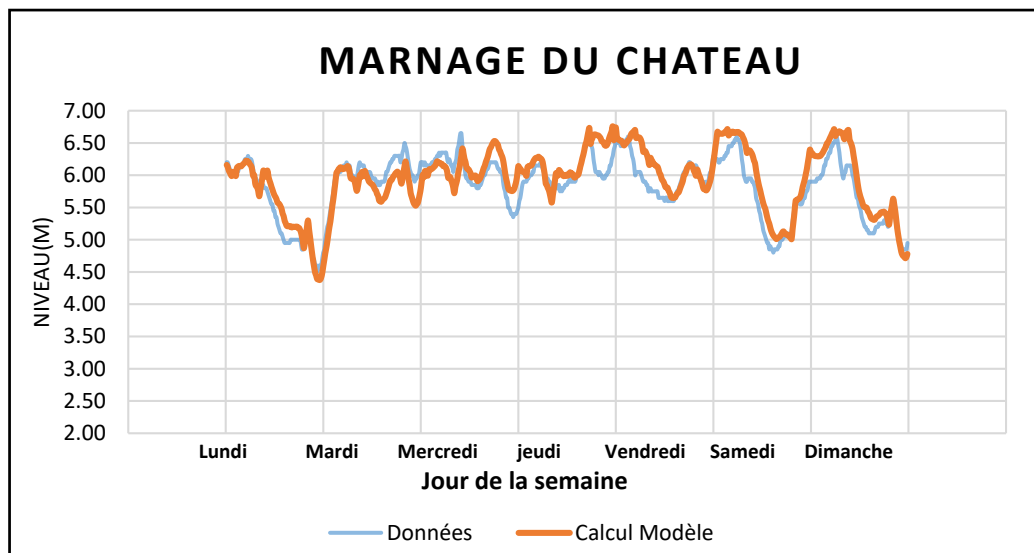


Figure 10: Comparaison du marnage du château entre le calcul sur Excel et les données mesurées

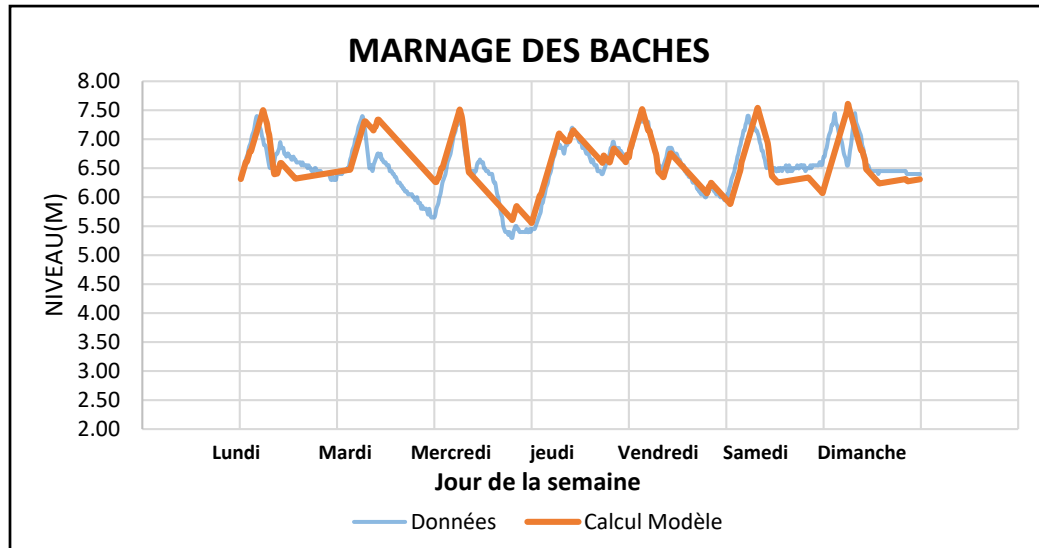


Figure 11: Comparaison du marnage des baches entre le calcul sur Excel et les données mesurées

Alors, le calcul effectué est fiable. En effet, il est remarquable que les courbes se superposent (consulter [annexe 8-c](#) pour la pompe P3 et pour l'adduction), donc, le modèle est bien calé. Ainsi, le calcul sur Excel sera utilisé pour dimensionner le pompage futur, calculer les consommations énergétiques et programmer les travaux. Alors que le modèle de Mike Urban+ sera utilisé pour localiser les canalisations limitantes.

IX. Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau

A. L'autonomie et la sécurité

Il n'existe pas de textes officiels sur le dimensionnement des ouvrages de stockage pour l'alimentation en eau potable, les recommandations de dimensionnement des réservoirs s'appuient sur :

- Une circulaire du 12 Décembre 1946 du Ministère de l'Agriculture qui recommande une autonomie de stockage d'une journée moyenne ;(Legoas 2014)
- Une directive du Ministère de la Reconstruction du 30 Juillet 1948 qui recommande, pour les sites urbains, de disposer d'une autonomie globale de 50 % des besoins de pointe.(Legoas 2014)

Cependant, en prenant la deuxième recommandation : « disposer d'une autonomie globale de 50 % des besoins de pointe » veut dire un coefficient de stockage de 50 %, voici ci-dessous, la formule du coefficient de stockage :

$$Cst = \frac{\text{Volume de la réserve utile}}{\text{Besoin journalier de pointe}}$$

En prenant l'hypothèse que le nouvel automate permettra le démarrage des pompes, si le niveau des baches atteint le 2 m, tout en gardant le déclenchement de l'alarme à ce niveau. Le tableau ci-

dessous indique les coefficients de stockage du site du Moulin à Huile, avec et sans le château d'eau en 2050 pour une journée de pointe :

Tableau 8: Coefficient de stockage du site du Moulin à Huile sans et avec le château d'eau

En 2050		
	Avec le château	Sans le château
Volume du réserve utile (m³)	5 200	3 600
Besoin journalier de pointe (m³)	7 528	
Cst	69 %	48 %

On constate alors, dans le cas de l'abandon du château d'eau, on respecte toujours la recommandation de la directive du ministère de la reconstruction du 30 Juillet 1948.

Or, il ne faut pas traduire le Cst en autonomie horaire, et dire que, dans le cas ci-dessus, puisque le coefficient de stockage est de 48 % sans le château d'eau, alors, l'autonomie horaire est de 12 h pour une journée de pointe. En effet, c'est faux, car cela signifierait que la réserve utile est intégralement disponible à tout moment. Or, le plus souvent un réservoir connaît un marnage.

Afin de calculer les autonomies horaires, il faut se baser sur le cas défavorable, c'est-à-dire, un arrêt de l'alimentation au moment le plus critique durant une journée de pointe. Plusieurs situations peuvent être traitées. Voici par exemple deux situations, le minimum des deux sera retenu :

- Arrêt de l'alimentation juste avant la pointe horaire de consommation.
- Arrêt de l'alimentation au moment où le niveau d'eau dans le réservoir est le plus bas.

Voici les graphes indiquant l'autonomie dans différentes situations en 2050, pour une journée de pointe :

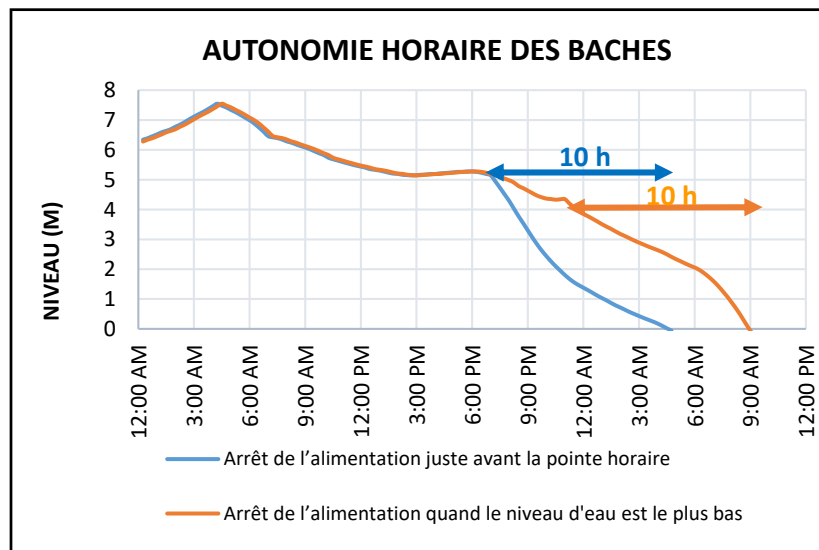


Figure 12:Autonomie horaire du site du Moulin à Huile sans le château d'eau en 2050

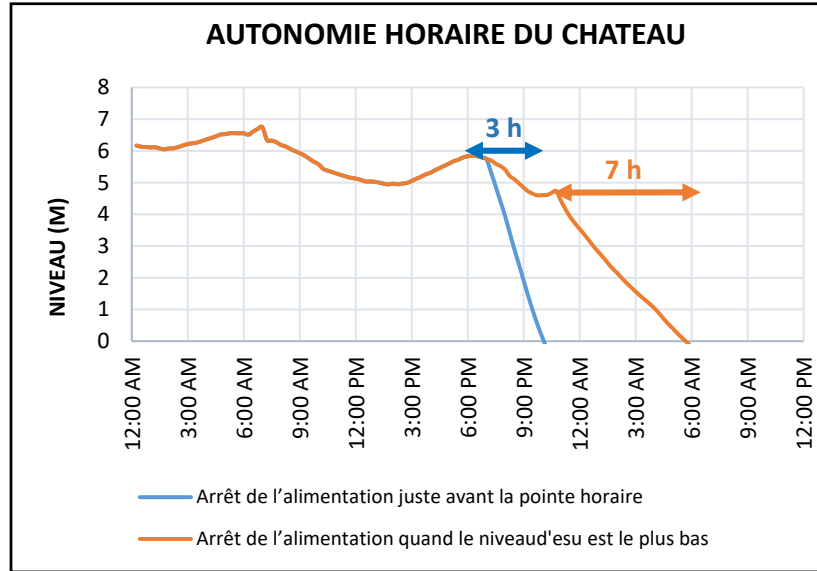


Figure 13: Autonomie horaire du château d'eau en 2050

Alors en 2050, l'autonomie horaire est égale à 10 h dans le cas de l'abandon du château d'eau. De plus, le conserver ajoute une autonomie horaire supplémentaire de 3 h uniquement, ce qui ne constitue pas un énorme intérêt en terme d'autonomie horaire.

Cependant, pour juger la sécurité du secteur Haute Pression, plusieurs autres paramètres interviennent. Ceci est élaboré par une méthode bien détaillée dans le [paragraphe XIII-C-b](#). Selon cette méthode, l'abandon du château d'eau ne constitue pas un problème de sécurité sur le réseau Haute Pression. En effet, la [figure 14](#) illustre une comparaison entre le maintien et l'abandon du château en terme de sécurité. Le calcul effectué est en [annexe 11](#).

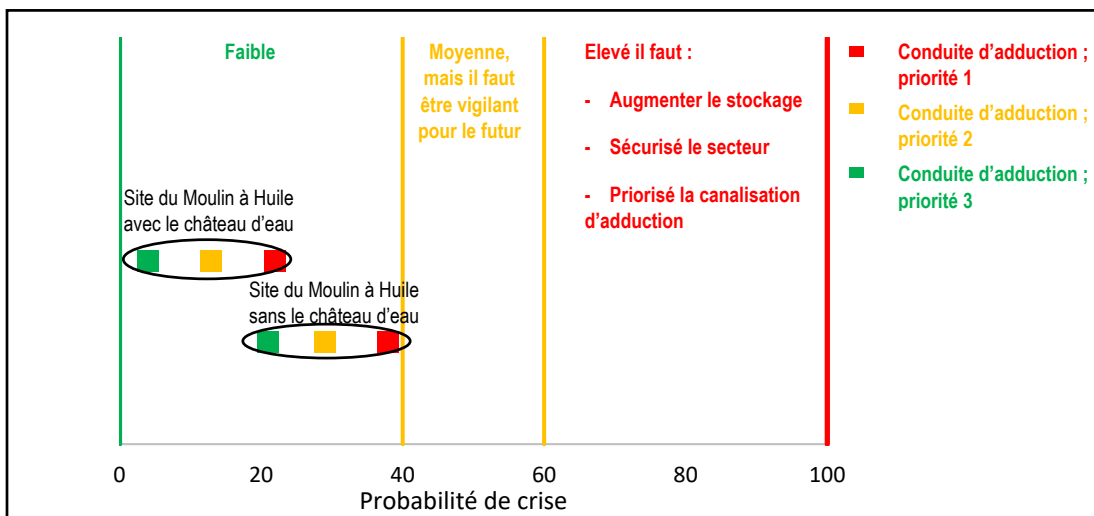


Figure 14: Comparaison entre le maintien et l'abandon du château en terme de sécurité

B. Le pompage du Moulin à Huile

a) Le pompage actuel

Le [tableau 9](#) affiche la capacité de pompage actuelle des pompes :

Tableau 9: Etat actuel des pompes du Moulin à Huile

Pompe	Fonctionnement Actuel (m ³ /h)	En théorie (m ³ /h)	Etat
P1 ou P2 fonctionne	117	150	Mauvais
P1 et P2 fonctionnent	126	150	Mauvais
P3 en surpression	146	150	Acceptable

Cette capacité de pompage actuelle des pompes n'est pas suffisante pour maintenir un bon marnage du château d'eau, d'où la nécessité obligatoire d'un achat d'eau d'Atlantic'eau. Ainsi, une ouverture des Landes Blanches de 3 h/j au minimum durant les heures de pointe (2h le matin, 1h l'après-midi) est primordiale, sinon, le château d'eau se vide au bout de 18h comme le montre la figure ci-dessous.

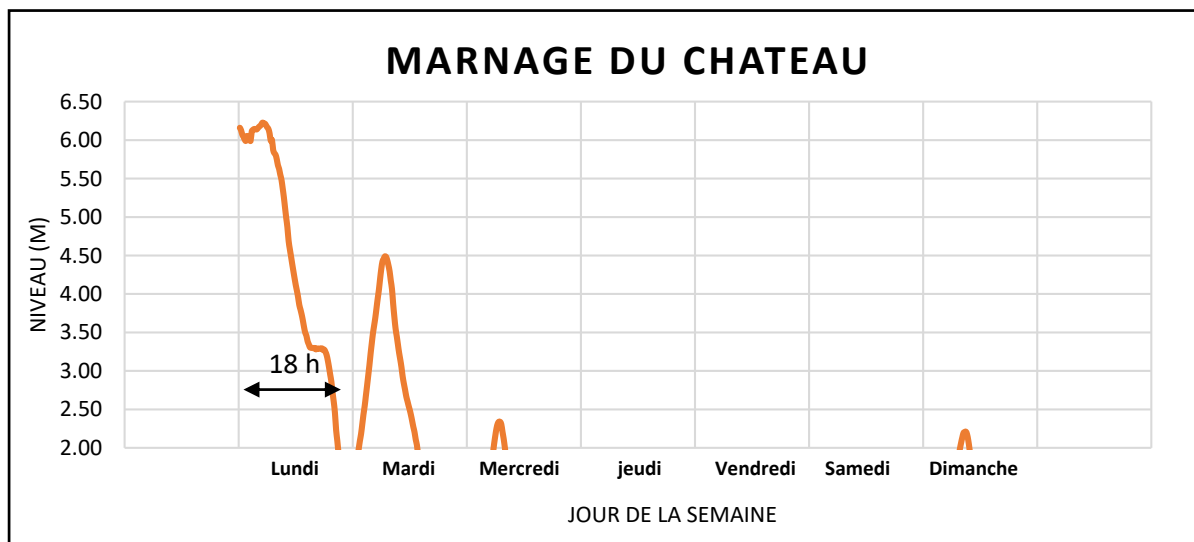


Figure 15: Marnage du château d'eau en 2021 en fermant les Landes Blanches

Cependant, le graphe de la [figure 16](#) montre le marnage du château d'eau pour la semaine de pointe en 2021, et ceci en ouvrant Les Landes Blanche 3 h/j afin de soulager la distribution aux heures de pointes. Le niveau d'eau dans le château d'eau est maintenu.

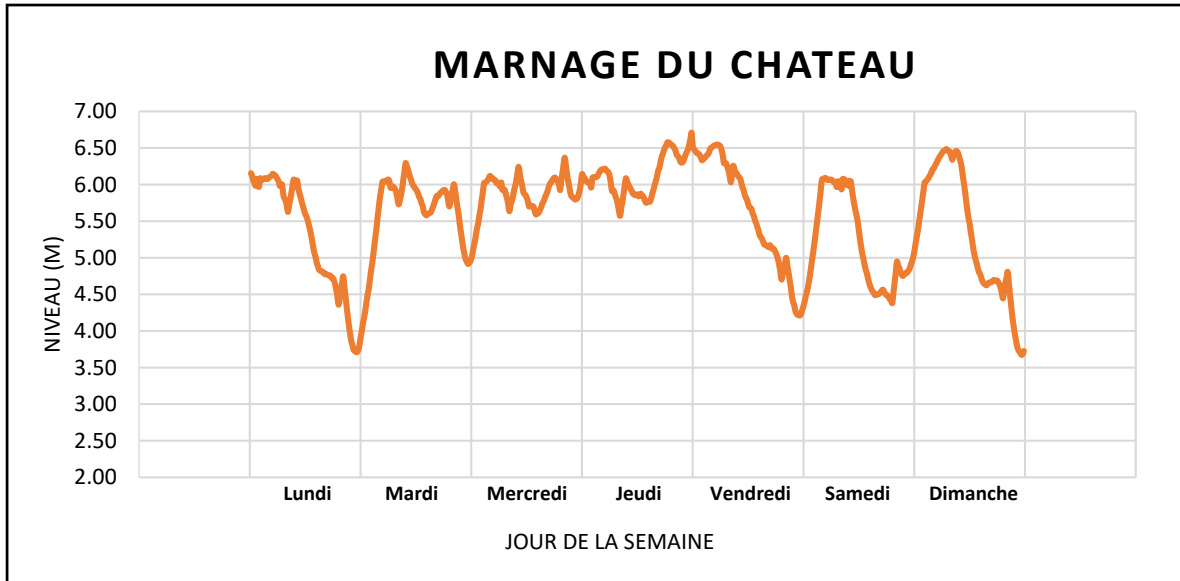


Figure 16: Marnage du château d'eau en 2021 en ouvrant les Landes Blanches 3 h/j

b) Le pompage futur

Pour satisfaire la demande future de pointe en 2035, une capacité de pompage de 170 m³/h par pompe, est nécessaire. En effet, le graphe de la [figure 17](#) indique le marnage du château avec une telle capacité de pompage tout en fermant les Landes Blanches.

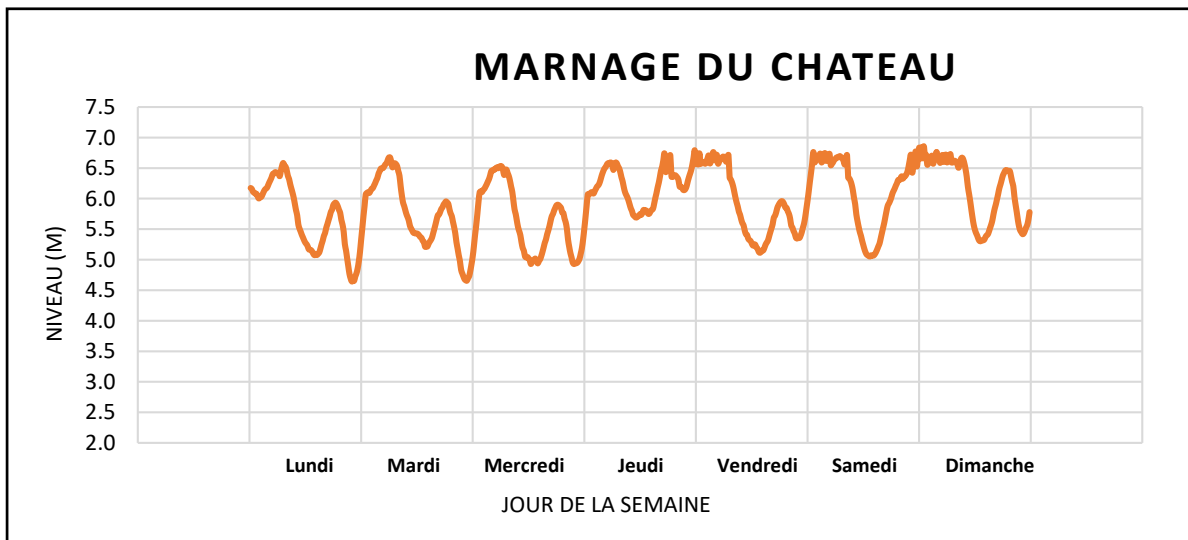


Figure 17: Marnage du château d'eau en 2035 avec une capacité de pompage 170 m³/h/pompe

Cependant, dans le cas d'un maintien du château d'eau, le pompage a besoin de deux pompes avec une capacité de 170 m³/h chacune, et d'une pompe de secours en plus. Donc, un total de trois pompes. Alors que, dans le cas de l'abandon du château, et la construction d'un surpresseur, le besoin est de trois pompes ([figure 18](#)), plus une pompe de secours. Donc, au total quatre pompes. En effet, dans ce cas-là, le pompage doit satisfaire la pointe horaire. Donc,

il faut pomper des débits plus grands par rapport à la présence du château d'eau, qui compense la pointe horaire par sa réserve utile. Donc par un marnage.

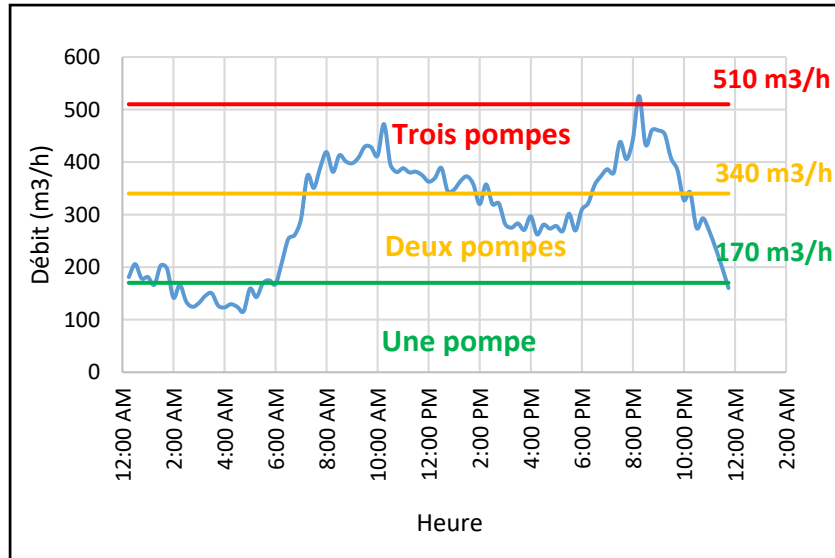


Figure 18: Le nombre de pompe en fonction selon le débit de distribution pour une station à vitesse variable sans le château

Concernant le marnage des baches, dans le cas de l'abandon du château d'eau, il est remarquable que celles-ci vont être plus sollicitées, donc elles vont subir un marnage plus grand. En effet, voici la [figure 19](#) ci-dessous indiquant la comparaison du marnage entre le pompage au château et le pompage en distribution directe par une station de pompage à vitesse variable.

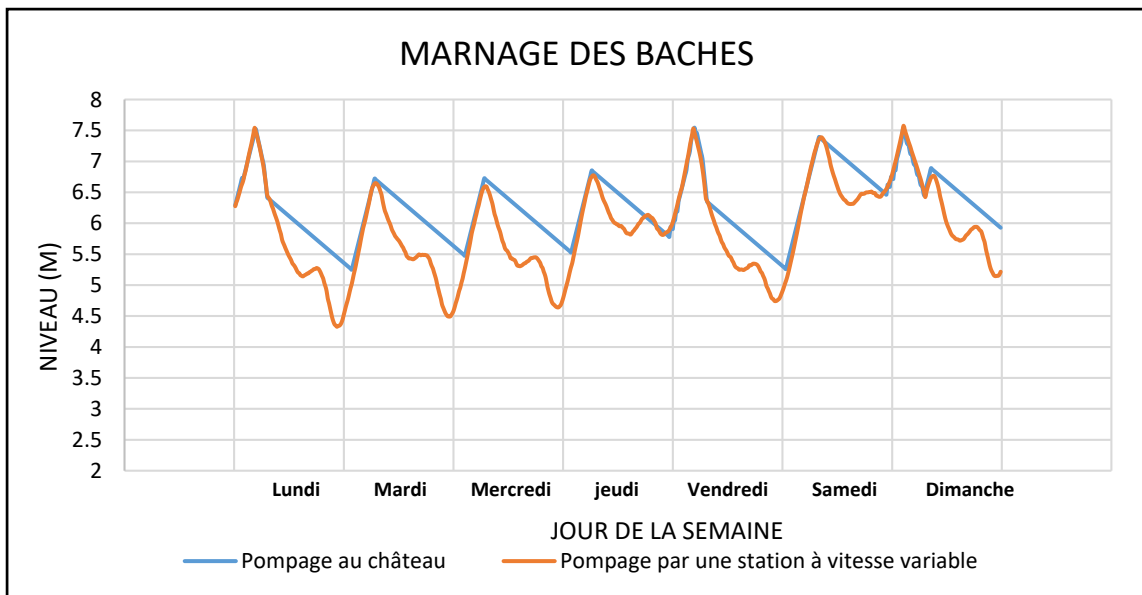


Figure 19: Marnage des baches avec et sans le château d'eau en 2035

C. La consommation énergétique

L'état de fonctionnement actuel détérioré des pompes provoque un temps de pompage plus grand, ce qui rend la consommation énergétique (0.28 kWh/m³) **plus élevée de 28,5 %** par rapport à la consommation théorique (0,21 kWh/m³) prévu par les pompes existantes actuellement. Notons que ceci est synchronisé avec un achat d'eau d'Atlantic 'Eau. Donc, il s'agit d'une perte économique sur deux niveaux.

Pour cela, le changement du pompage est primordial pour diminuer ces pertes qui vont devenir au cours du temps plus élevées. En effet, l'état des pompes va s'aggraver de plus en plus avec une demande en eau qui augmente au cours du temps.

Cependant, la question qui se pose, est-ce-qu'une station à vitesse variable sans le château d'eau réduit les consommations énergétiques par rapport à une station de pompage classique qui pompe au château d'eau ?

Afin de répondre à cette question, une pompe adéquate avec la capacité de pompage futur est choisie dans le catalogue KSB : **Q=170 m³/h et HMT=43 m.**(Etanorm 2018)

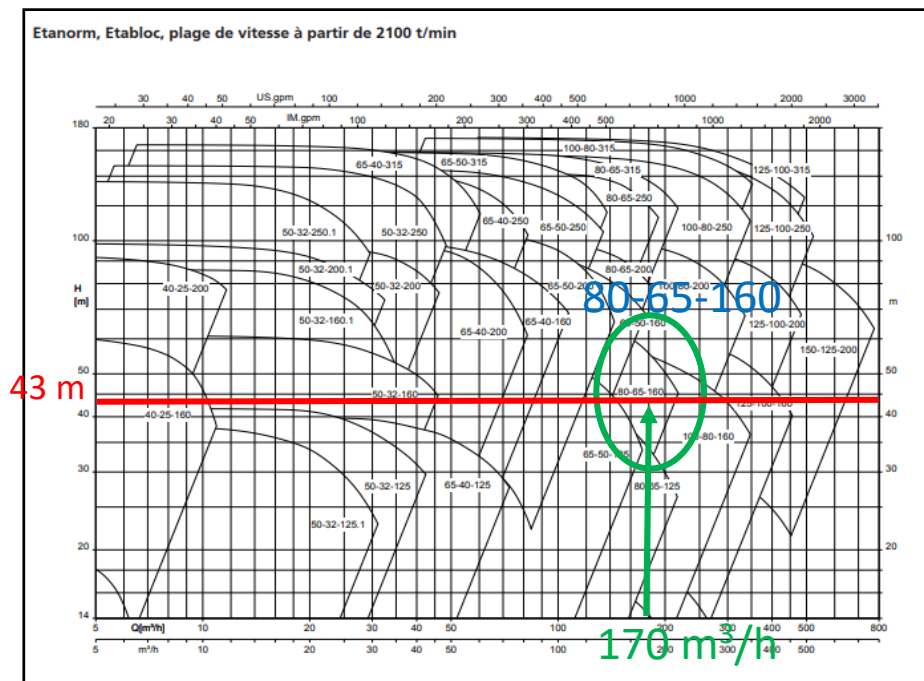


Figure 20: Choix du pompe futur

Alors, le numéro de la pompe est 80-65-165, voici donc issues du catalogue (Etanorm 2018) les courbes caractéristique de fonctionnement de cette pompe ainsi que la méthode de calcul énergétique adaptée(XPair 2021)

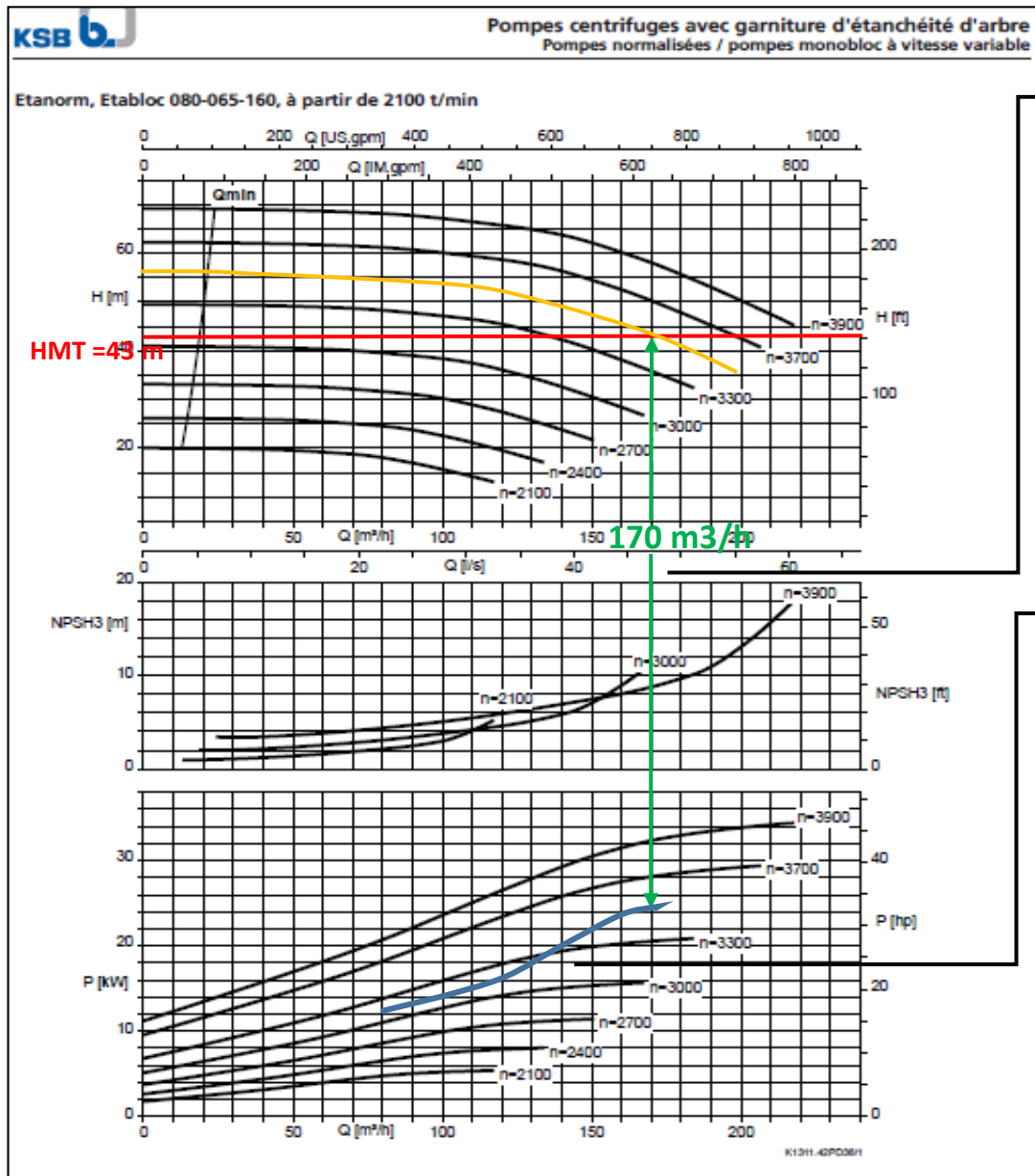


Figure 21: Courbe caractéristique de la pompe 080-065-160

Dans le cas d'un pompage classique au château d'eau, la pompe devrait fonctionner avec une vitesse de 3 500 t/min pour fournir : HMT=43 m et Q=170 m³/h.

Dans ce cas-là, la puissance à fournir est $P=24$ KW (voir [figure 21](#))

Dans le cas d'un surpresseur et l'abandon du château d'eau, la station de pompage doit maintenir une HMT constante = 43 m mais avec un débit variable durant la journée.

Or, lorsque le débit est réduit, les pertes de charges diminuent dans la distribution, alors HMT augmente. Cependant, puisque la station est équipée de variateur de vitesse, les pompes réduiront leur vitesse (et inversement) en maintenant une HMT constante ce qui permettra de substantielles économies d'électricité.

Pour réguler la variation de vitesse, des capteurs interprètent les variations de Delta P.

Alors la courbe en bleu ([figure 21](#)), indique la variation de la puissance à fournir en fonction du débit. Les valeurs se trouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10: Puissance à fournir en fonction du débit de pompage

Vitesse (t/min)	Débit (m3/h)	Puissance (KW)
Entre 3 000	80	12
	90	13
	100	14
	110	15,3
	120	16,5
	130	18
	140	20
	150	22
Et	160	23,5
	170	24
3 500	170	24

Le diagramme de la [figure 22](#) compare la situation actuelle et les résultats des consommations énergétiques journalières moyennes de la semaine type en 2035, et ceci en fermant les Landes Blanches.

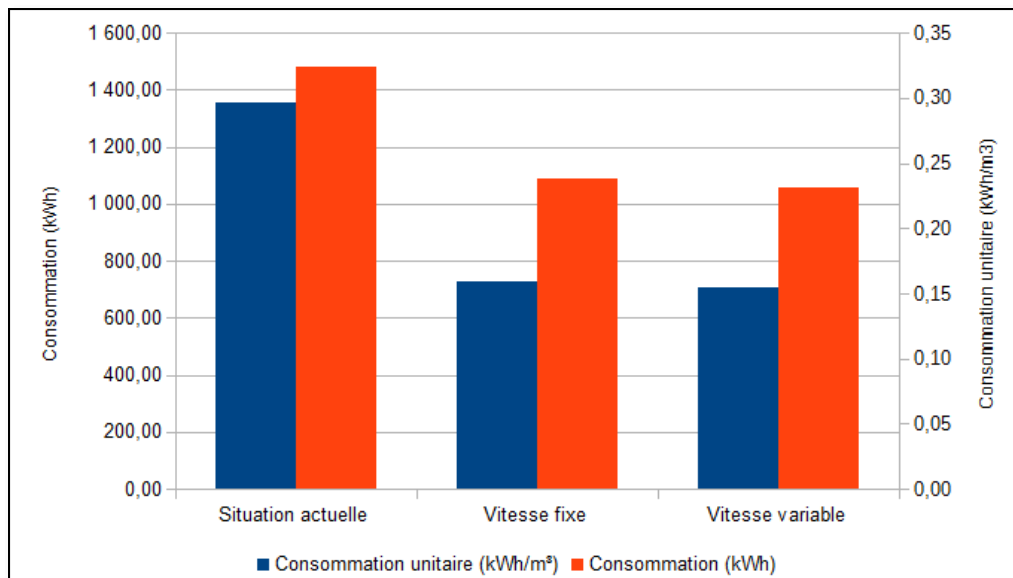


Figure 22: Diagramme comparant la consommation énergétique entre un système de surpresseur à vitesse variable sans le château et celui d'un pompage à vitesse fixe avec le château

Il est intéressant de constater que la consommation unitaire actuelle est le double de la consommation énergétique unitaire prévue par les pompes choisies quel que soit le système. En effet, la station de pompage classique à vitesse fixe avec le maintien du château, a une consommation unitaire égale à celle d'une station de pompage à vitesse variable en abandonnant le château. Cette égalité en consommation se justifie par le nombre d'heures de fonctionnement des pompes qui est plus élevé dans une station à vitesse variable sans le château d'eau. Le diagramme de la [figure 23](#) indique le nombre d'heures de fonctionnement des deux systèmes en 2035 et en fermant le Landes Blanches pour la semaine type.

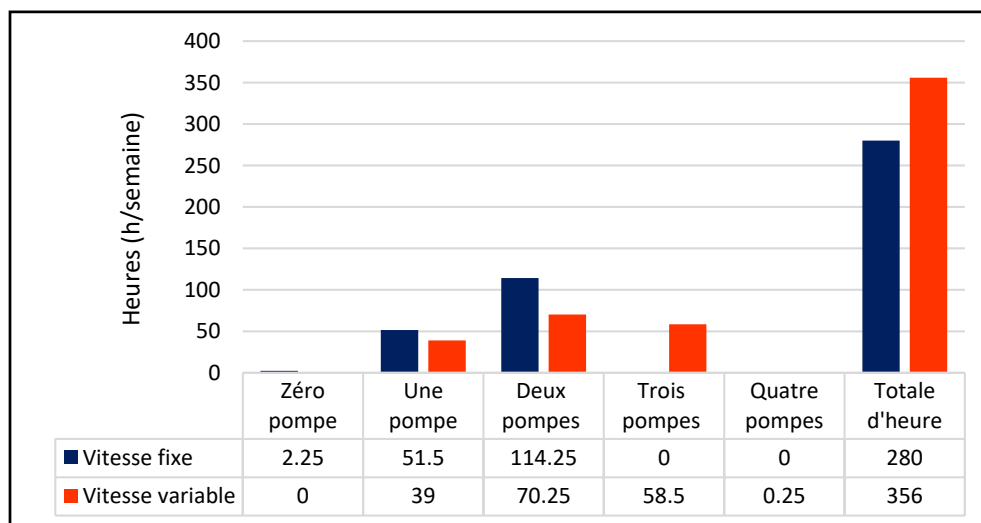


Figure 23: Diagramme comparant les heures de fonctionnement entre un système de surpresseur à vitesse variable et celui d'un pompage à vitesse fixe avec le château

D. Autres critères

a) Environnement

Bien que la pérennité du génie civil est d'au moins 100 ans comprenant des réhabilitations séquentielles, et ceci dans le cas de l'abandon du château d'eau et la construction d'un nouveau local avec une station de pompage à vitesse variable, il existe d'autres critères indésirables environnementaux comme :

- Les déchets dus à la démolition du château d'eau.
- Les poussières et le bruit lors de la démolition, surtout que **les maisons des particuliers entourent le site à quelques dizaines de mètres.**
- La hauteur du château d'eau permet aux entreprises télécom de poser des antennes relais. Sa destruction peut amener ces entreprises à construire de nouvelles tours. **Mais attention**, il est recommandé que l'accès à ces antennes se fasse par l'extérieur du château, et ceci pour préserver la qualité de l'eau.

b) L'exploitation :

Bien que l'abandon du château d'eau élimine la tâche du nettoyage, une surpression demande la présence plus fréquente d'un agent d'exploitation sur le site. En effet, elle constitue un point faible vis-à-vis des pannes électriques. Cependant, vu la présence des Landes Blanches, l'automate peut être programmé pour ouvrir les Landes Blanches en cas de panne électrique sur le surpresseur, ce qui peut diminuer dans ce cas bien particulier la vigilance de l'exploitant.

a) Le coût d'investissement :

Manque d'informations précises concernant le prix des travaux. Le [tableau 11](#) liste uniquement les travaux à accomplir dans chacun des deux cas :

Tableau 11: Comparaison entre les travaux à accomplir pour la réhabilitation et l'abandon du château

Réhabilitation du château d'eau:	Abandon du château:
<ul style="list-style-type: none"> • Réhabilitation de l'étanchéité interne du château • Refonte global des canalisations et robinetterie interne du château. • Renouvellement des pompes et du système électrique existant. • Pas d'étude spécial dans ce cas 	<ul style="list-style-type: none"> • Démolition du château d'eau • Evacuation des déchets • Construction d'un nouvel local de pompage avec équipements • Renouvellement des pompes et du système électrique • Groupe électrogène • Refonte globale des canalisations extérieures • Nécessite une petite étude géotechnique et intégration des contraintes sismique pour la construction du locale. Plus une étude pour la démolition.

Le pôle Ingénierie et travaux estime le choix de l'abandon plus couteux en investissement.

E. Conclusion

Voici un tableau récapitulatif :

Tableau 12: Récapitulatif des différents critères déjà abordés concernant la réhabilitation ou l'abandon du château

Les Critères	Réhabilitation du château d'eau:	Abandon du château:	Remarque:
Sécurité	😊	😊	La présence du château d'eau assure une autonomie supplémentaire de 3 h uniquement.
Pompage	😊	😞	Le nombre de pompes à prévoir pour une station de surpression est supérieur à celle d'un pompage classique au château d'eau.
Energie	😊	😊	La consommation énergétique est identique pour les deux systèmes
Environnement	😊	😞	Les déchets de la démolition ,les bruits et les poussières lors de la démolition, et l'utilité du château d'eau pour l'installation des antennes télécom, rendent son abandon plus nuisible à l'environnement.
Exploitation	😊	😊	La présence des Landes Blanches capable d'alimenter tout le réseau Haute Pression diminue dans ce cas bien particulier la vigilance de l'exploitant concernant la surpression
Coût d'investissement	😊	😞	le coût d'investissement est supérieur dans le cas de l'abandon du château

Donc la proposition est de réhabiliter le château d'eau tout en adoptant un nouveau système de pompage (trois pompes de 170 m³/h chacune) avec deux modes de fonctionnement :

- **Le mode principal : Pompage au château.**
- **Le mode secondaire : By-Pass** (temporaire car il y a juste trois pompes). Ce mode est employé lors du lavage de la cuve du château ou pour d'autre mise à l'arrêt temporaire du château, donc **elle servira à dépasser les 4 mois prévus pour la réhabilitation de l'étanchéité interne.**

Pour cela, les pompes seront équipées de variateurs de vitesse.

X. Les canalisations limitantes

Les résultats issus des simulations du fonctionnement du réseau dans sa configuration future, intégrant les évolutions démographiques estimées par Nantes Métropole (Voir [paragraphe VI-C-b](#)) et le renforcement de la station de pompage de la Pierre (consulter [annexe 9-a](#)), sont exposés dans le paragraphe suivant.

Les simulations mettent en évidence des pertes de charge localement importantes en période de consommation future de pointe (en 2050) tout en fermant les Landes Blanches :

- **La première canalisation $\Phi 350$ en amont de la station de pompage de la Pierre** (Rue de la Pierre), doit être renforcée par une canalisation $\Phi 500$. [Figure 24](#).
- **La deuxième canalisation $\Phi 250-300$ principale d'adduction vers le site du Moulin à Huile** (AV. du Maréchal de Tassigny => Rue Jean Louis => Rue Théodore Brosseaud => Rue Octave Rousseau => Rue du Château de Rezé) doit être renforcée par une canalisation $\Phi 350$. [Figure 25](#).
- **La troisième canalisation $\Phi 300$ directement en amont du site du Moulin à Huile** (Rue Maurice Utrillo => Rue du Haut Landreau => Site du Moulin à Huile) doit être renforcée par une canalisation $\Phi 400$. [Figure 25](#).

Le renforcement des tronçons concernés est à prendre en compte dans le programme de renouvellement. Les figures ci-dessous illustrent les canalisations résistantes :

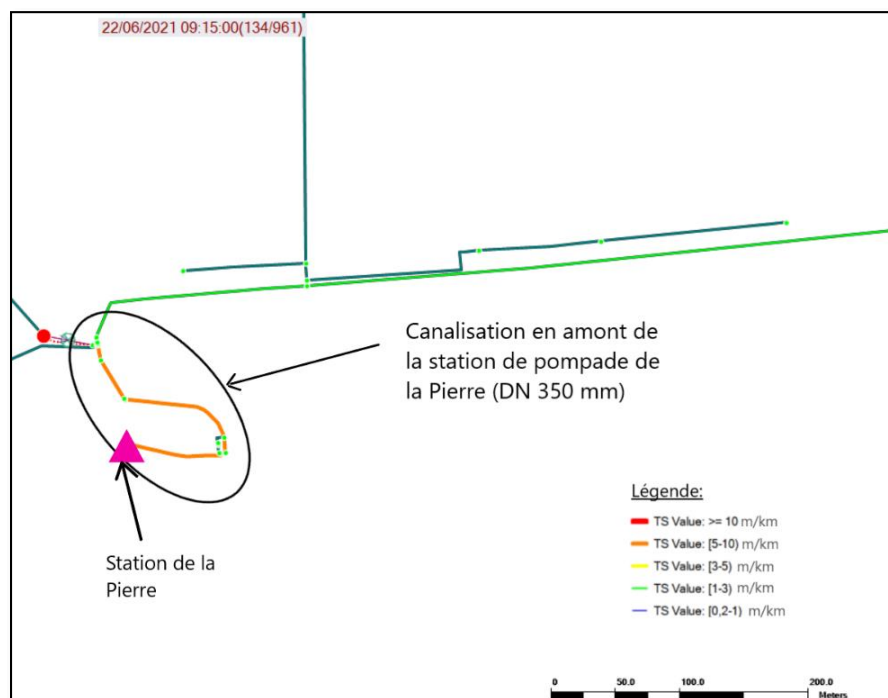


Figure 24: Canalisation résistante en amont de la station de la Pierre

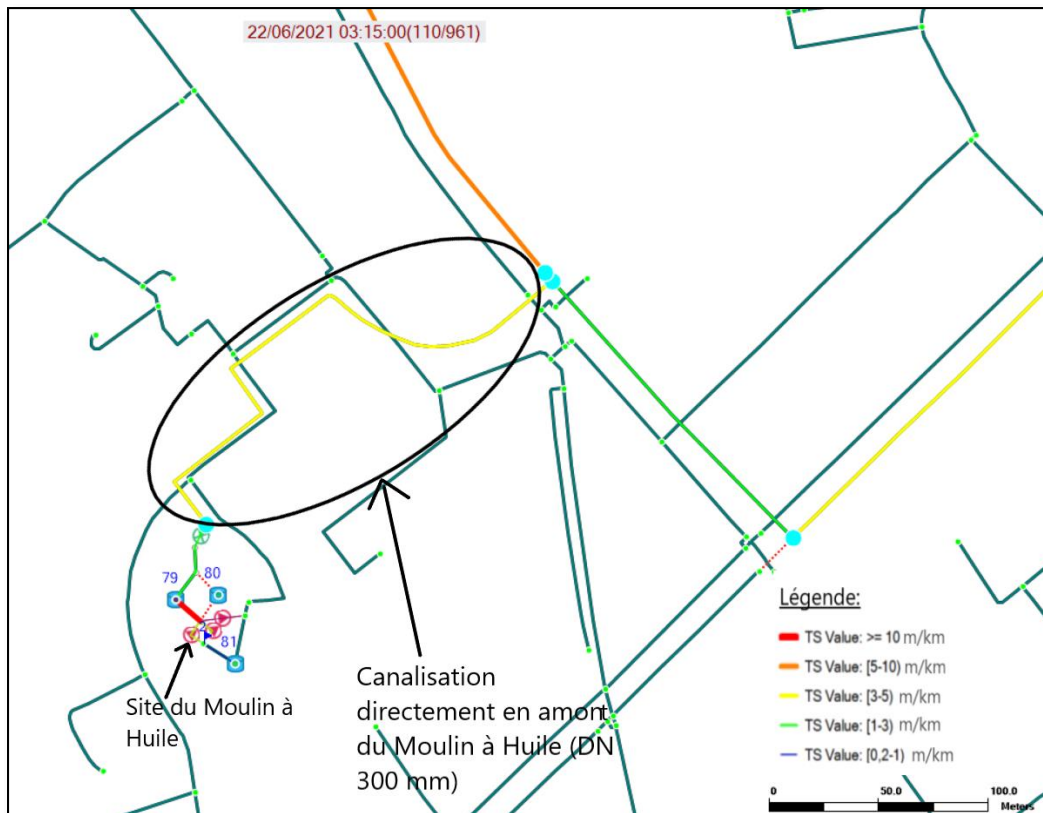
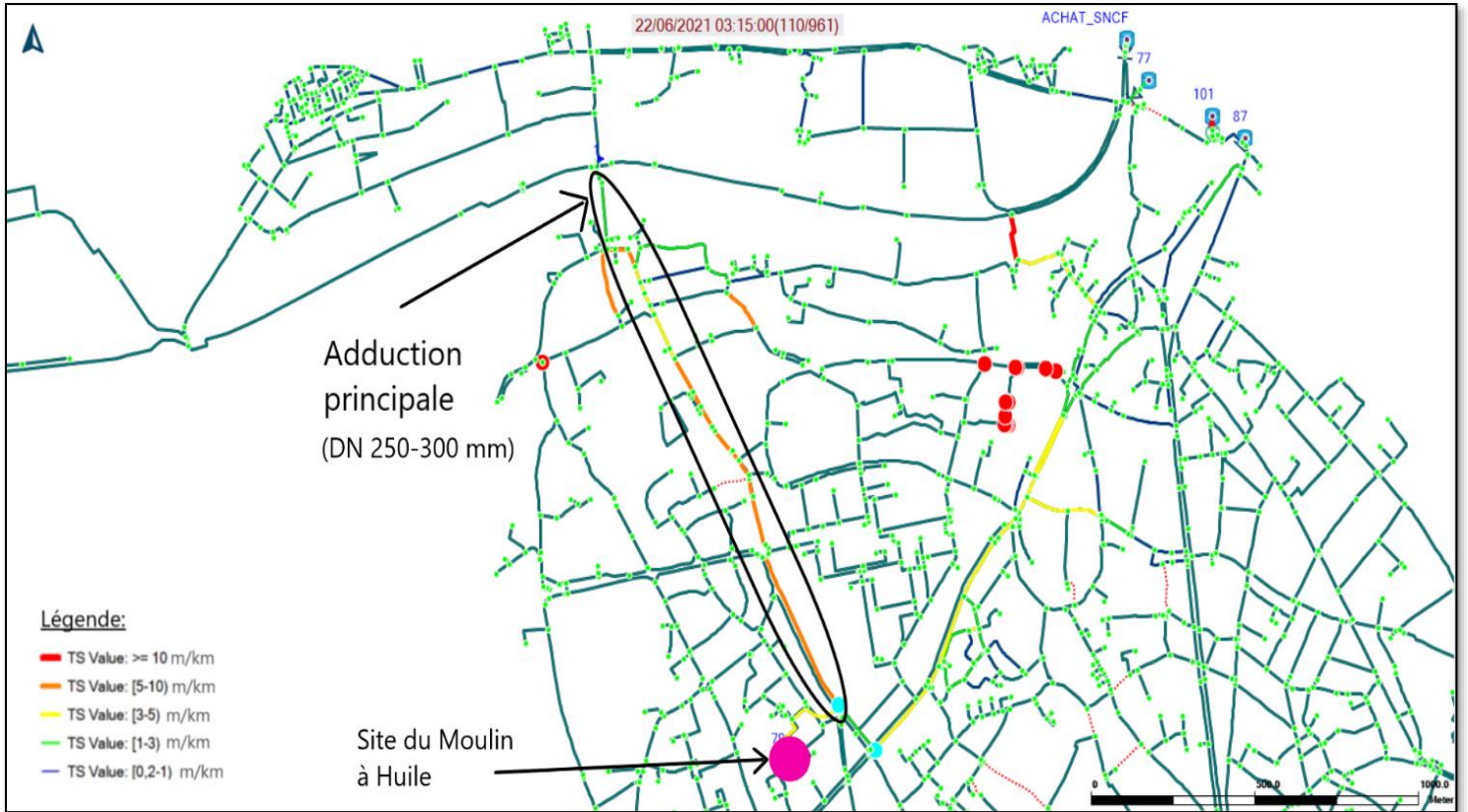


Figure 25: Canalisations résistantes en amont du site du Moulin à Huile

Le coût relatif au renforcement du réseau est présenté dans le [tableau 13](#).

Tableau 13: Coût de renforcement des canalisations

CANALISATION	Longueur (ml)	Nouveau diamètre (mm)	Prix / ml (€ HT)	Coût total (€ HT)
Première	150	500	420	63 000
Deuxième	1 710	350	250	427 500
Troisième	277	400	305	85 000
Total HT			Travaux	575 500
Divers et imprévus			15%	86 300
Montant des opérations				662 000

Les renforcements à réaliser, pour satisfaire les besoins de pointe future et l'agrandissement de la station de la Pierre, concernent 2 137 ml de réseau. La pression minimale en pointe simulée est directement en amont des bâches au niveau du stabilisateur amont, est de l'ordre de 1,8 bars. Consulter dans [l'annexe 9-c et d](#) la piézométrie de la canalisation principale d'adduction vers le site du Moulin à Huile en période de consommation future de pointe après et avant le renforcement.

Cependant, la canalisation de distribution en aval du château, voir [figure 26](#), ne présente pas de soucis en pertes de charges. En effet, voici la piézométrie de cette canalisation en période de consommation future de pointe :

Alors, la pression minimale en pointe simulée est de l'ordre de 2,7 bars qui est largement satisfaisant.

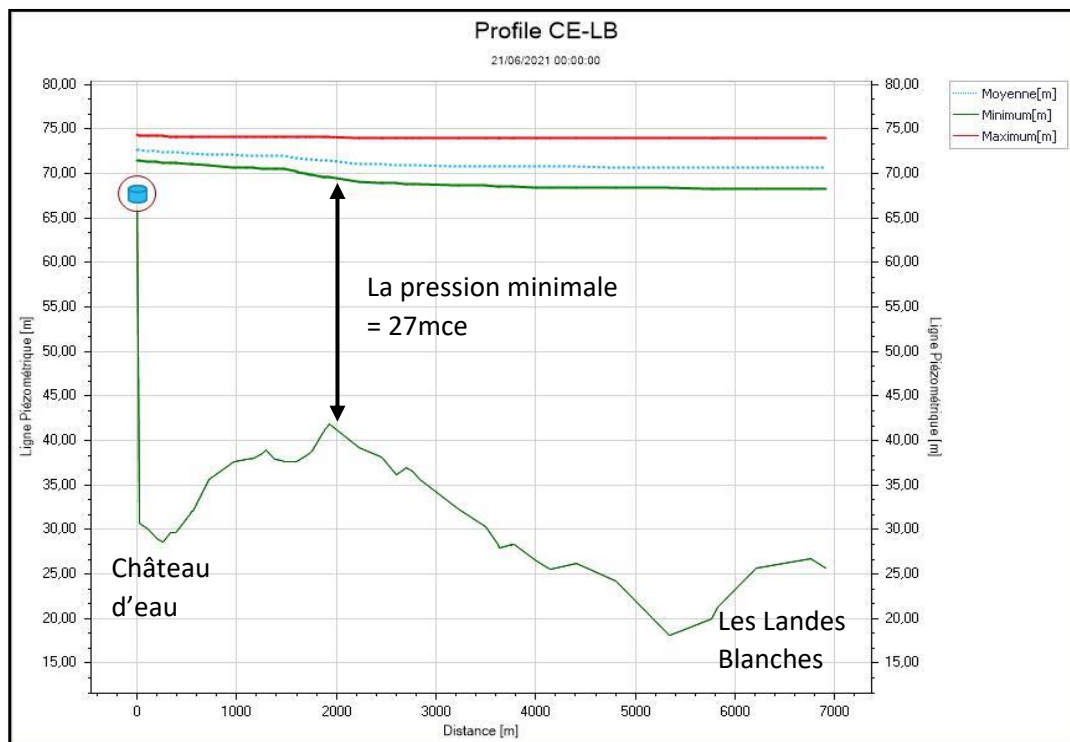


Figure 26: Piézométrie de la canalisation principale en aval du château d'eau en 2050

XI. Les travaux

A. La faisabilité des travaux

Les visites effectuées sur le site indiquent la possibilité de faire les travaux du renforcement de pompage tout en assurant la continuité du service (consulter [annexe 10](#)), cependant peu importe le choix, la réhabilitation du château ou son abandon, la parcelle du site est largement suffisante en superficie pour assurer les installations de chantier (consulter [annexe 10](#)).

B. Date limite pour effectuer les travaux

En considérant qu'il ne faut pas dépasser les 5 h/j d'ouverture des Landes Blanches, la date limite pour effectuer l'augmentation de la capacité de pompage est **2027**, voir [figure 27](#).

Cependant, dans le cas où les travaux de renforcement du pompage seraient effectués avant ceux du réseau en amont, il faudra quand même maintenir une ouverture des Landes Blanches pour soulager dans ce cas-là les bâches au sol. Alors, la date limite pour renforcer les canalisations limitantes est l'année **2031**, voir [figure 29](#).

Les graphes ci-dessous prouvent le raisonnement opté précédemment :

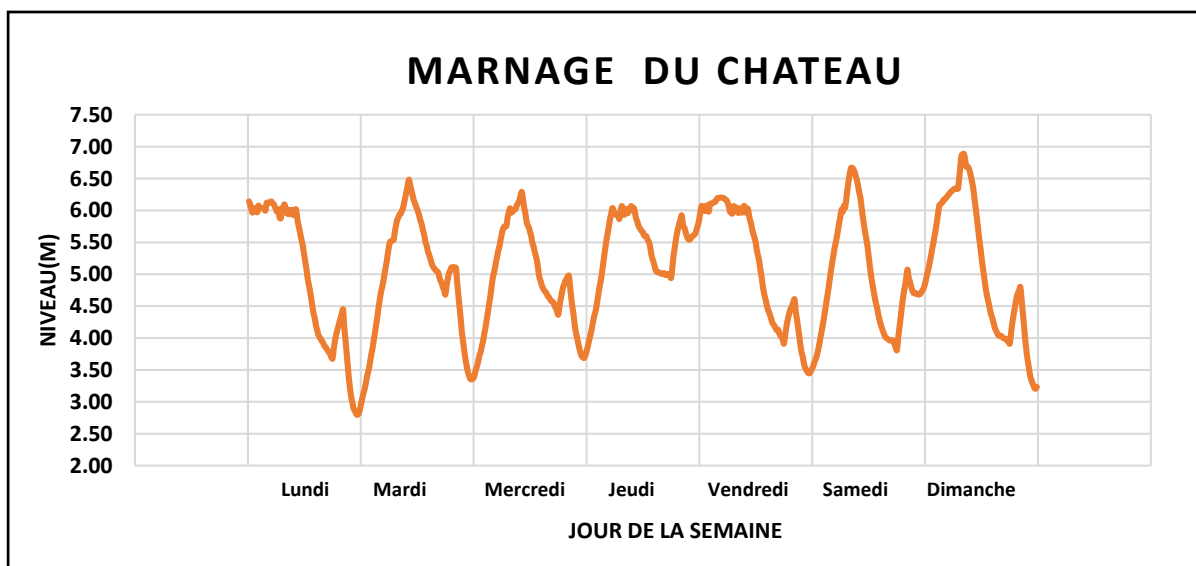


Figure 27: Marnage du château d'eau en 2027 avec la capacité de pompage actuel et pour 5 h/j d'ouverture des Landes Blanches

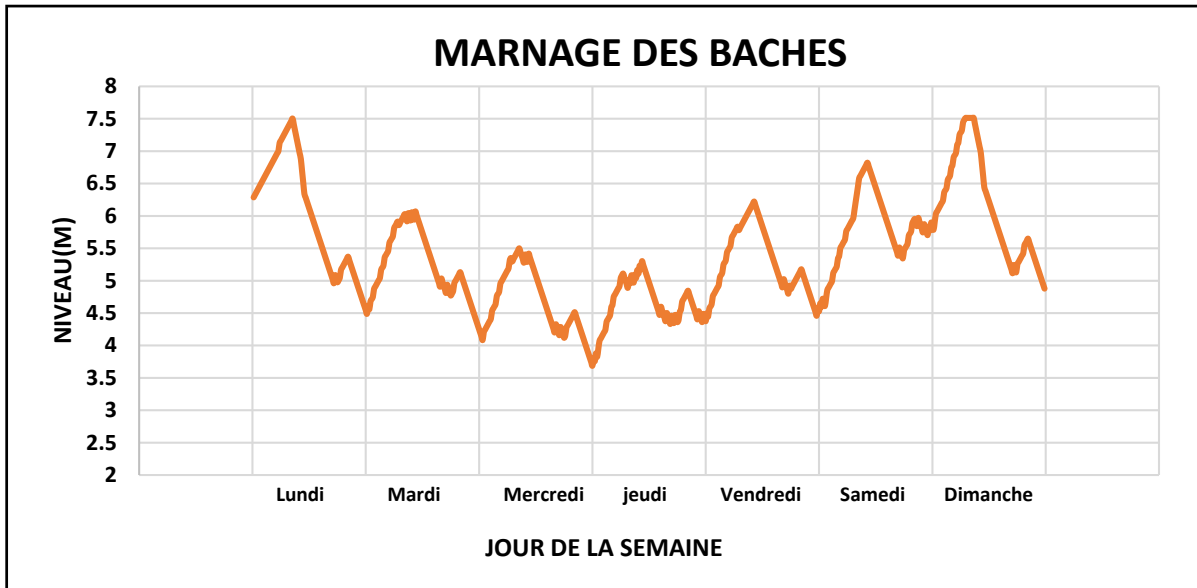


Figure 28: Marnages des Bâches en 2031 après modification de la capacité de pompage et avec une 5 h/j d'ouverture des Landes Blanches

Cependant, la problématique de l'étanchéité interne du château devient de plus en plus critique et urgente. En effet, les résultats des analyses effectuées sur le revêtement intérieur en septembre 2021, indiquent la présence de l'amiante dans la composition chimique de ces matériaux. Pour cela, voici un planning proposé qui prend cette problématique en considération :

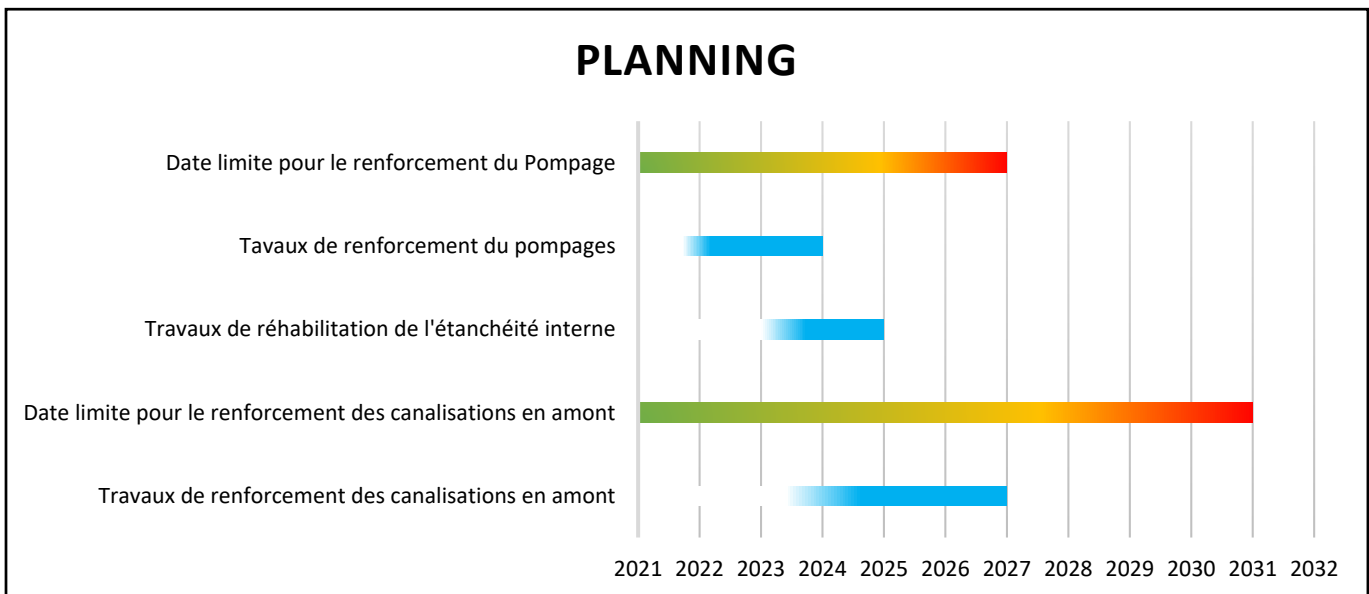


Figure 29: Planning des travaux

XII. L'intérêt des ouvrages de stockage dans le système d'alimentation

A. Les fonctions d'un réservoir

Le réservoir peut jouer quatre fonctions principales :

- Mise en pression d'un réseau.
- Tampon entre adduction et distribution.
- Sécurité d'approvisionnement.
- Défence incendie (Optionnelle).

Pendant, il existe deux type principaux de réservoirs :

- Les réservoirs enterrés ou semi-enterrés, où la mise en pression du réseau est permise par la topographie. L'élévation du réservoir est donnée par le sol.
- Les réservoirs sur tour où le territoire à la variation d'altitude faible, ne permet pas d'élever le stock.

B. Volumes des réservoirs

Le volume total d'un réservoir est formé principalement par la somme de deux volumes, tel que :

- **LE VOLUME DE LA RESERVE INCENDIE** : souvent ce volume est lié au règlement Départemental de la Défense Extérieure Contre l'Incendie (DECI)
- **LE VOLUME DE LA RESERVE UTILE** : correspond au fonctionnement normal, il est décomposé en deux volumes :
 - **Réserve utile minimale** : c'est la comparaison entre entrée et sortie. Ainsi elle constitue le volume dans lequel marne le réservoir.
 - **Marge de sécurité** : afin de pallier un dysfonctionnement pour maintenir le service.

(Bardiaux 2020)

La figure suivante illustre ces différents volumes :

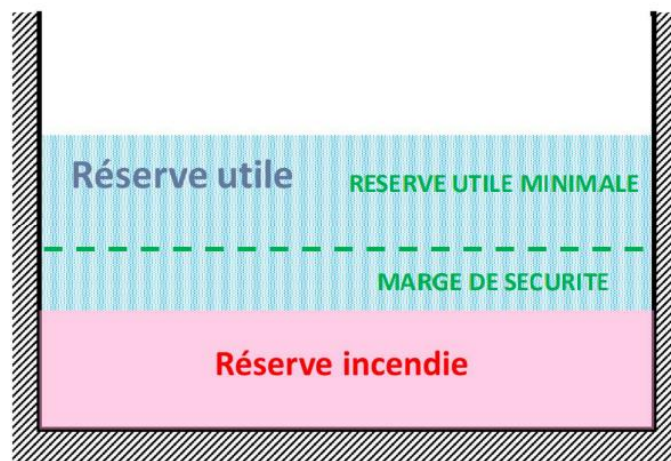


Figure 30: Répartition des volumes d'un ouvrage de stockage

Prenant à titre d'exemple, le site du Moulin à Huile :

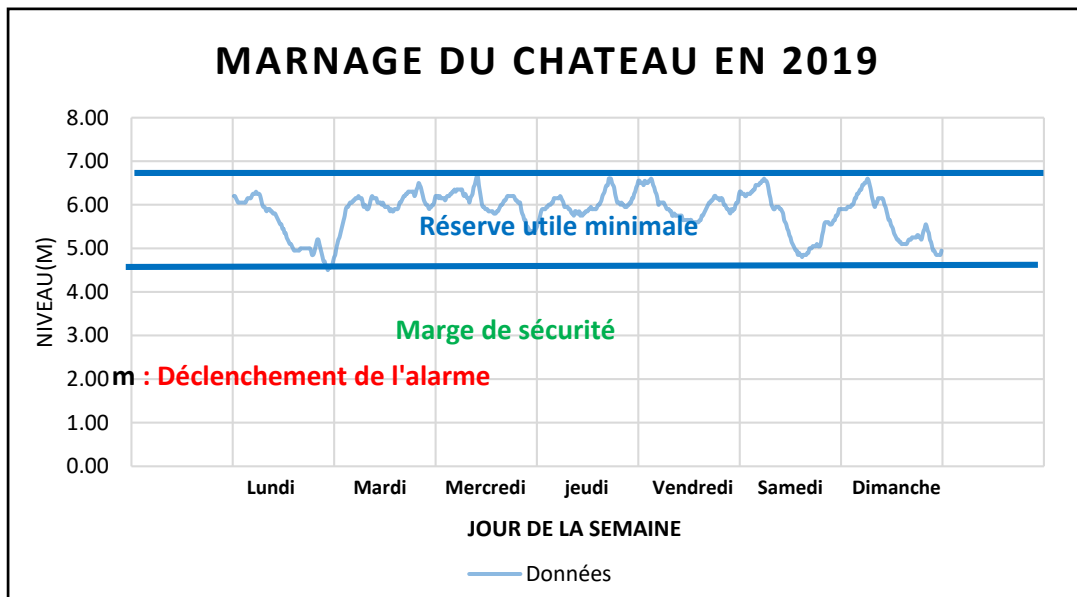


Figure 31: Marnage du château en 2019

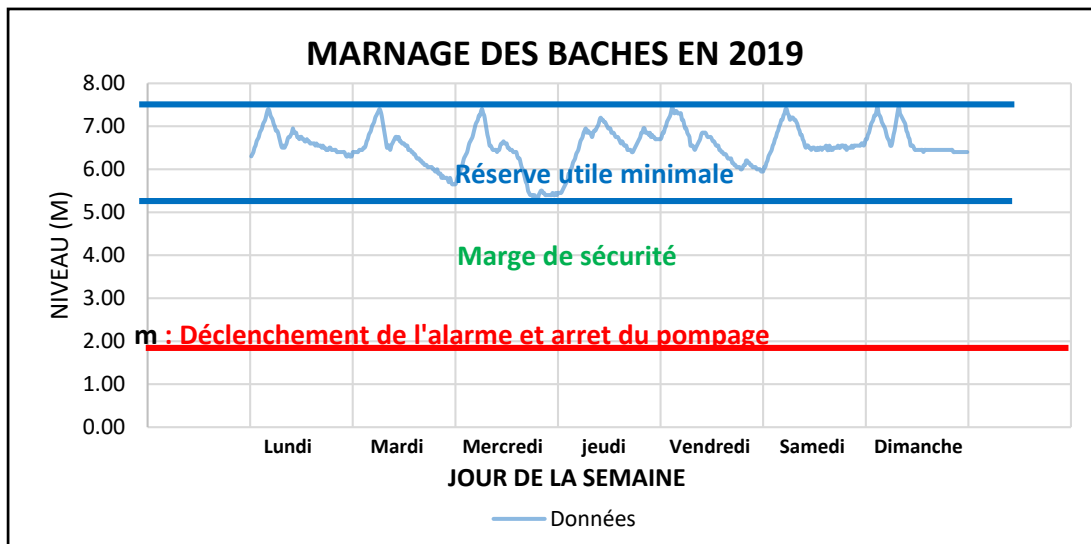


Figure 32: Marnage des bâches en 2019

Ainsi, le [tableau 14](#) récapitule les résultats des graphes précédents :

Tableau 14: Répartition du volume de stockage du site du Moulin à Huile

Site du Moulin à Huile		
En 2019	Bâche 1 ou 2	Château d'eau
Le volume jusqu'au trop plein	1 960	1 800
La réserve utile minimale (m³)	564	436
La marge de sécurité (m³)	764	1 364
La réserve utile (m³)	1 329	1 583
La réserve incendie (m³)	0	0

Il est important de noter qu'un grand volume des bâches n'est pas exploitable directement. En effet, le pompage s'arrête quand le niveau d'eau atteint les 2 m. Il est recommandé de changer ce mode de fonctionnement dans la conception future par l'un des deux choix :

- Considérer ce volume comme une réserve incendie et modifier les robinetteries pour pouvoir mobiliser cette réserve en cas d'incendie.
- Mobiliser une partie de ce volume (à un niveau un peu plus élevé que celui des crépines d'aspiration) tout en maintenant le déclenchement de l'alarme au niveau des 2 m.

Sans effectuer des modifications sur l'automate, le volume de la réserve utile et de la réserve incendie est fixe pour un ouvrage de stockage. Actuellement, les données existantes chez la direction du cycle de l'eau sont uniquement ceux du volume jusqu'au trop plein de chaque réservoir du territoire. Or, il est important d'avoir une fiche technique pour chaque ouvrage indiquant :

- Le mode de fonctionnement comme dans le [paragraphe VII-B](#).
- La répartition des volumes (consulter [tableau 14](#)).
- L'état de l'ouvrage.
- L'historique des réhabilitations.

Avoir ces informations mises à jour pour chaque ouvrage séparément, permettrait à Nantes Métropole de faire des études concernant le stockage. Ainsi, il permet la mise à jour du modèle hydraulique Mike Urban+.

C. La criticité des ouvrages de Nantes Métropole

La Métropole de Nantes souhaite poser une base de réflexion globale sur l'intérêt des ouvrages dans le réseau d'alimentation en eau potable, de façon globale, et en particulier sur certains ouvrages dont la mise hors service pourrait constituer une diminution de la facture énergétique et de maintenance, selon l'exploitant.

Cependant, un ouvrage de stockage joue plusieurs rôles dans le système. Pour cette raison, sa mise hors service doit être évaluée sur l'échelle technique et sécuritaire :

- Techniquement, la possibilité de la mise hors service dépend de deux facteurs : la capacité du réseau d'adduction et le système de pompage.

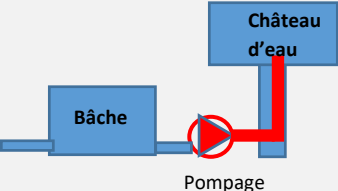
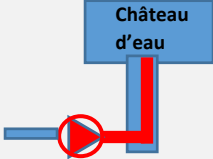


- Concernant la sécurité, l'évaluation sera définie par une méthode développée et inspirée par une méthodologie inter agence de l'eau, qui évalue la sécurité du système d'approvisionnement en eau potable. La méthode aboutie à une probabilité de crise sur un secteur alimenté par cet ouvrage.

Les deux échelles seront abordées dans les paragraphes suivants.

a) Techniquement

Voici un tableau indiquant les différents cas de mise hors service à vérifier :

Tableau 15: Comparaison entre les différents cas de mise hors service

Etat de base	Modification	Effet sur Le pompage	Effet sur le réseau d'adduction
	1) Mise hors service de la bâche : 	Moyen : le débit à pomper est le même. Cependant la HMT diminue. Donc il y a possibilité d'ajuster les pompes existantes pour avoir un point de fonctionnement avec un bon rendement, surtout si elles sont équipées de variateur de fréquence.	Moyen : le débit de pompage maximal est souvent un peu plus grand que le débit d'adduction maximal dans l'état de base. Cette modification va augmenter le débit d'adduction maximal. Ce qui peut causer une légère diminution de la pression en amont.
	2) Mise hors service du Château : 	Elevé : le débit de pompage n'est plus suffisant. Donc la possibilité d'ajuster les pompes est difficile, souvent il faudra augmenter le nombre de pompes.	Limité : la capacité d'adduction peut rester identique, mais la bâche va subir un marnage plus élevé.
	3) Mise hors service de tout le stockage : 	Elevé : même problématique que la modification 2.	Elevé : le débit de pompage doit satisfaire les heures de pointe en distribution. Alors, le débit dans la canalisation amont va augmenter fortement. Cette modification peut causer une grande diminution des pressions en amont de la station de pompage.

Techniquement, le tableau ci-dessus n'est qu'un indicateur des différents cas possibles, avec une idée générale sur la criticité technique de la mise hors service d'un ouvrage de stockage. Cependant, les décisions finales sont vérifiées uniquement par la modélisation numérique et les calculs de chaque cas d'une manière spécifique.

Notons, par exemple, dans le cas de l'étude du site du Moulin à Huile, il s'agit de la deuxième modification du [tableau 15](#) où l'effet sur le réseau d'adduction est limité. Mais, concernant le pompage, le nombre de pompes à prévoir est supérieur par rapport à l'état de base (consulter le [paragraphe IX-B-b](#))

b) Sécurité : Méthode d'évaluation de la probabilité

La probabilité de survenue d'un événement entraînant la baisse de la performance du service de distribution d'eau, à l'échelle d'un secteur alimenté par un ouvrage de stockage, est déduite à :

- L'autonomie de l'ouvrage de stockage.
- La sécurisation.
- L'état de la conduite d'adduction.
- Le temps de réparation.

Chaque paramètre est affecté d'une note dont les échelles de valeurs sont détaillées dans les paragraphes suivants. Pour tenir compte de leur poids relatif, on utilise des coefficients pondérateurs qui seront déterminé dans une partie suivante. La formule pour calculer la probabilité est :

$$P = Cp1 \times Note1 + Cp2 \times Note2 + Cp3 \times Note3 + Cp4 \times Note4$$

Avec :

- Note1 : attribuée à l'autonomie horaire de l'ouvrage de stockage.
- Note2 : attribuée à la sécurisation du secteur.
- Note3 : attribuée à l'état de la conduite d'adduction.
- Note4 : attribuée au temps de réparation nécessaire.
- Cpn : est le coefficient de pondération de chacune des notes selon la valeur de n.

Si le calcul donne une valeur négative, on retient la valeur P = 0.(Legoas 2014)

Voici un tableau indiquant le risque selon la Probabilité calculée :

Tableau 16: Risque selon la probabilité calculée

P	Risque
[0-40[	Faible
[40-60[	Moyen
[60-100]	Elevé

Paramètre 1 : l'autonomie horaire

Le calcul de l'autonomie horaire d'un ouvrage de stockage est indiqué dans le [paragraphe IX-A](#). Cependant, il n'existe pas de texte officiel concernant une autonomie horaire à respecter. Le tableau ci-dessous montre les notes attribuées selon les autonomies. Plus les valeurs des notes sont élevées plus l'autonomie est basse.

Tableau 17: Note1 selon l'autonomie horaire pour une journée de pointe

Autonomie horaire pour une journée de Pointe	Note1
[0-6[	100
[6-12[	75
[12-18[	50
[18-24[	25
≥24	0

Paramètre 2 : la sécurisation

Le deuxième paramètre intervenant dans le calcul de la probabilité est la sécurisation, qui est évaluée par la présence d'un réseau maillé et des interconnexions capables d'alimenter le secteur en cas de crise. Voici un tableau indiquant les notes selon les différents cas :

Tableau 18: La Note2 selon la sécurisation du secteur

La sécurisation	Note2
Absence de sécurisation	100
Présence d'un secours limitant ¹	50
Présence d'un secours ²	0

1 : Un secours limitant : un secours temporaire, un secours qui permet l'adduction ou l'alimentation, mais avec un débit limitant ne couvrant pas les besoins d'une journée de pointe. **Pour attribuer cette note à un secteur, il faut que le secours limitant soit capable d'amener plus que 50 % du volume mise en distribution pour une journée de pointe.**

2 : Un secours permettant l'adduction vers les ouvrages ou l'alimentation des abonnés normalement sans contraintes sur les performances.

Paramètre 3 : l'état de la conduite d'adduction

Le troisième paramètre est lié à l'environnement et l'état de la conduite d'adduction, plus précisément à la probabilité de casse de cette conduite. La note est donnée par la formule suivante :

$$Note3 = Probabilité\ de\ casse\ de\ la\ conduite\ d'adduction - 100$$

Cependant, le calcul de la probabilité de casse revient au pôle gestion patrimoniale qui travaille actuellement sur un modèle numérique « MOSARE », qui prend en compte plusieurs facteurs pour évaluer le risque de défaillance future des canalisations. Notons par exemple :

- Les casses passées : plus une canalisation a subi de casses par le passé, plus elle risque de casser à l'avenir ;(Behrens, Blanchet 2016)
- L'âge : le risque de casse augmente avec l'âge, phénomène de vieillissement ;(Behrens, Blanchet 2016)
- Des caractéristiques liées à la nature de la canalisation, à son environnement et à son fonctionnement : le risque de défaillance futur est influencé par des éléments de contexte liés notamment à la robustesse de la canalisation et aux contraintes qu'elle subit(Behrens, Blanchet 2016)

Le temps que cet outil soit accessible d'une manière plus facile à travers un système d'information géographique, une demande peut être effectuée à la gestion patrimoniale pour les diagnostics des canalisations d'adduction en étude. La gestion patrimoniale classe les canalisations selon trois catégories illustrées dans le tableau ci-dessous. Pour chaque catégorie une Note3 sera attribuée.

Tableau 19: Note3 selon l'état de la canalisation d'adduction

Probabilité de casse de la conduite d'adduction	Risque	Note3
[0-33[	Priorité 3	-75
[33-66[	Priorité 2	-50
[66-100]	Priorité 1	-25

Paramètre 4 : le temps de réparation.

Le dernier paramètre intervenant dans le calcul de la probabilité est le temps nécessaire pour effectuer les réparations, ce paramètre est évalué sur plusieurs niveaux :

- Casse dans la canalisation d'adduction ;
- Coupure d'électricité ;
- Panne au niveau des pompes.

Tableau 20: Note4¹ selon l'environnement de la canalisation d'adduction

Canalisation d'adduction	Note4 ¹
Passage par des endroits sans contraintes et DN<400 mm	-60
Passage par des endroits critique ¹ ou DN>400 mm	0

1 : Les endroits critique sont : les ponts, les rivières, les routes départementales ou d'autres endroits estimés comme critiques pour effectuer des réparations.

Tableau 21: Note4² selon la présence ou l'absence d'un secours électrique

Electricité	Note4 ²
Présence d'un groupe électrogène ou d'un prise de raccordement électrique	-20
Absence d'un groupe électrogène et d'un prise de raccordement électrique	0

Tableau 22: Note4³ selon la présence ou l'absence d'une pompe de secours

Les pompes	Note4 ³
Présence d'une pompe de secours	-20
Absence d'une pompe de secours	0

Alors la Note4 sera la somme des trois Notes.

Les coefficients de pondération :

Pour déterminer les coefficients de pondération, le calcul de tous les cas possibles est effectué en faisant varier ces coefficients, le choix des valeurs qui est indiqué dans le [tableau 23](#) est retenu.

Tableau 23: Les coefficients de pondération

Coefficients de pondération			
Cp1	Cp2	Cp3	Cp4
0,65	0,5	0,35	0,1

Cette méthode, avec les notes et les coefficients cités ci-dessus, est présentée à plusieurs personnes du service. Leurs avis sont pris en considération à plusieurs reprises en effectuant des rectifications. Cependant, pour justifier ce choix le [tableau 24](#) illustre la variation de la probabilité tout en en fixant au début la note de l'autonomie horaire (Note1), suivie de la note de la sécurisation (Note2).

Tableau 24: Vérification des coefficients de pondération

Note1	La probabilité minimal	La probabilité maximal	Remarque
0 ou 25	0	58	Donc, le risque peut atteindre « Moyen » malgré la bonne autonomie horaire du site. En effet, un site avec une bonne autonomie et sans sécurisation commence à poser des soucis si la canalisation d'adduction est en mauvais état et le temps de réparation estimé est très élevé.
50	0	74	Donc, le risque peut atteindre « Elevé ». L'autonomie horaire Moyen d'un site, sans sécurisation, est risquée si la canalisation d'adduction est en mauvais état et le temps de réparation estimé est très élevé.
75 ou 100	13	100	Donc, le secteur alimenté par un site avec une mauvaise autonomie horaire peut avoir un risque « Faible » dans le cas où le secteur est sécurisé et la canalisation d'adduction est en bon état
Note2	La probabilité minimal	La probabilité maximal	Remarque

0	0	57	Donc, le risque peut atteindre « Moyen » malgré la présence d'un secours. En effet, un secteur avec un secours, mais avec une autonomie horaire de stockage très faible et des canalisations d'adduction en mauvais état, entraîne une réflexion de vigilance surtout pour les canalisations d'adduction.
50	0	82	Donc, le risque peut atteindre « Elevé » malgré la présence d'un secours partiel. En effet, un secteur avec un secours partiel, mais avec une autonomie horaire de stockage très faible, et des canalisations d'adduction en mauvais état, entraîne une réflexion de vigilance très élevée, surtout pour les canalisations d'adduction.
100	14	100	Donc, l'absence d'un secours peut avoir un risque « Faible » sur le secteur dans le cas où le site a une bonne autonomie horaire avec des canalisations d'adduction en bon état.

Application :

Cette méthode sera appliquée pour comparer trois différents sites de stockage pour lesquels la Métropole se pose la question de l'importance de certains ouvrages :

- Le site de Carquefou : Château d'eau plus une bache au sol. La bache au sol a été mise hors service récemment.
- Le château d'eau de la Vrière qui est alimenté par la bache de Gesvrine actuellement en service.
- Le site du moulin à huile : château d'eau avec deux baches au sols.

Voici un graphe indiquant la probabilité de la baisse de performance en alimentation en eau potable des secteurs alimentés par ces sites. (Voir en [annexe 11](#) les détails des notes).

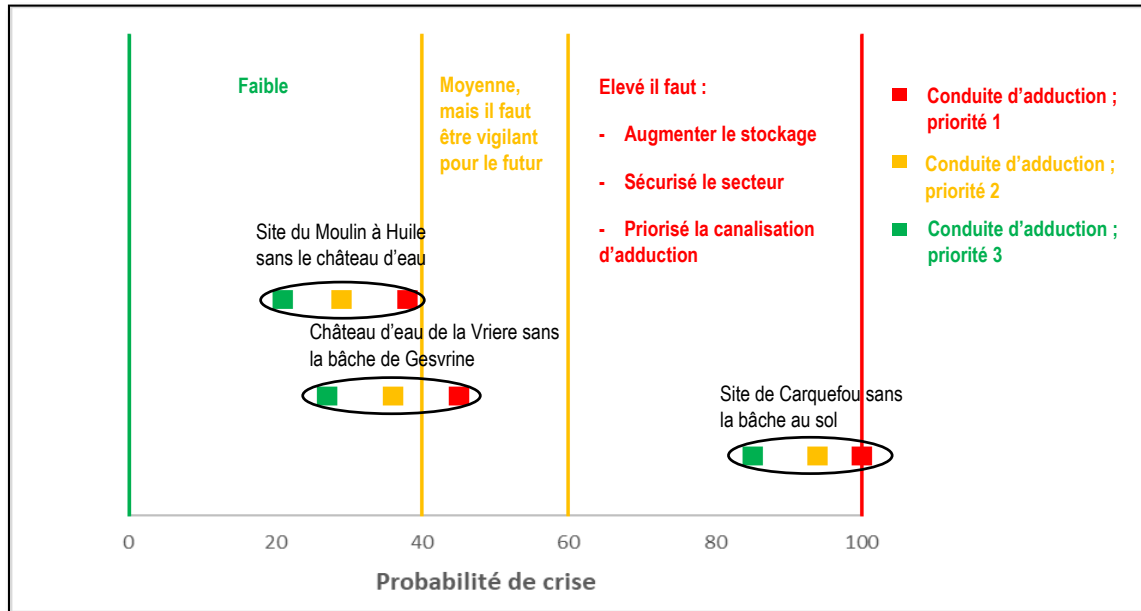


Figure 33: Comparaison sécuritaire entre trois différents sites de stockage en mettant hors service une partie du stock

L'exploitant (DOPEA), qui gère le site de Carquefou, a affirmé durant une réunion d'avoir mis hors service la bache de Carquefou pour plusieurs raisons :

- L'impossibilité de la mise hors service temporaire de la bache pour son nettoyage ;
- L'état du génie civil détérioré de la bache ;
- Sa présence n'assure que 3 h d'autonomie, ce qui ne constitue pas un grand intérêt ;
- Réduire la consommation énergétique des pompes.

Cependant, il est remarquable que le secteur alimenté par Carquefou n'est pas sécurisé. La question qui se pose est la suivante : faut-il réhabiliter cette bache et la remettre en service de nouveau pour sécuriser le secteur ? ou bien faut-il trouver d'autres solutions ?

Les deux choix pour améliorer la sécurité et diminuer la probabilité de crise sont :

- Remettre la bache en service.
- Sécuriser le secteur en améliorant le maillage de la canalisation d'adduction vers le site comme l'indique la [figure 34](#).

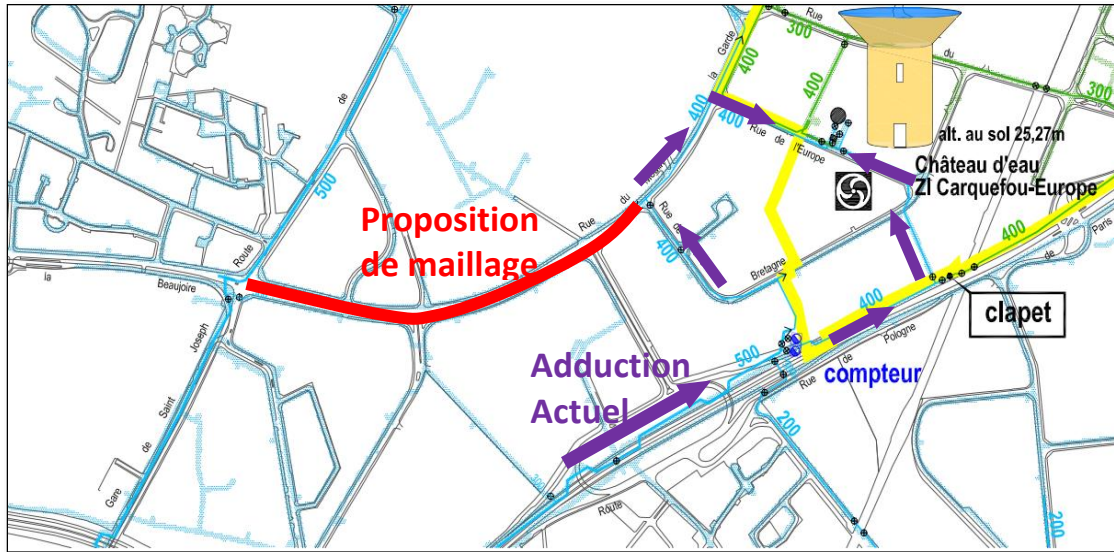


Figure 34: Proposition de sécurisation par maillage du site de Carquefou

Par ailleurs, le graphe de la [figure 35](#) indique la probabilité de baisse de performance en alimentation en eau potable du secteur alimenté par Carquefou, avec chacun des choix cités précédemment.

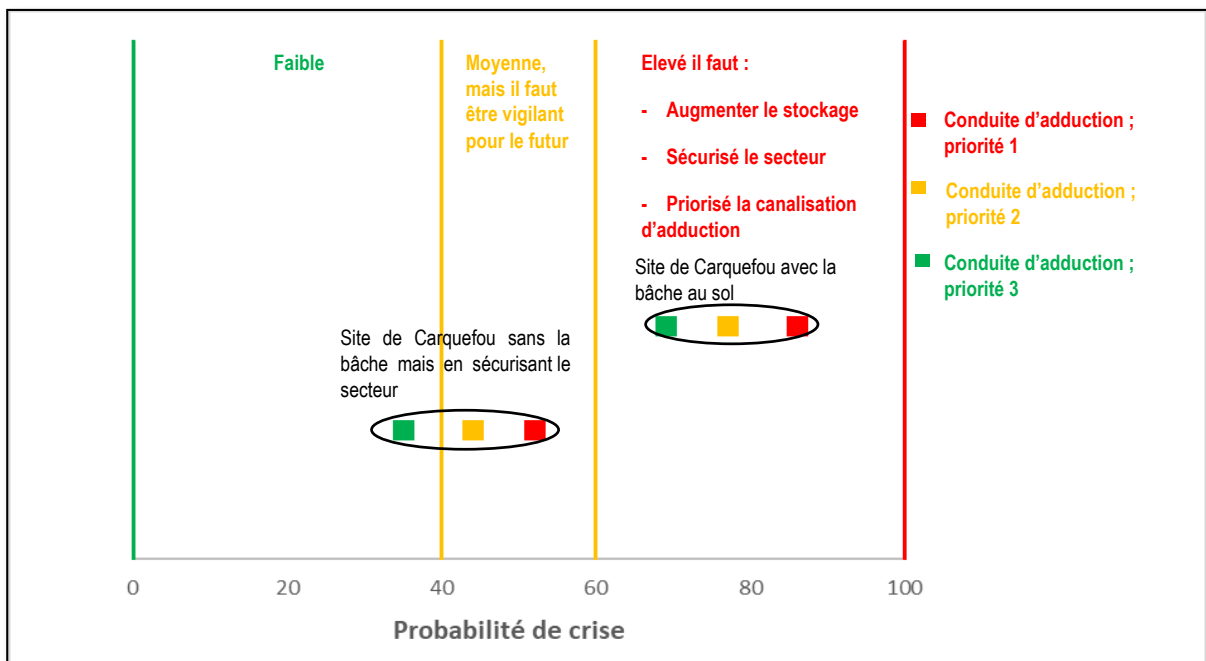


Figure 35: Comparaison sécuritaire entre les deux choix pour sécuriser le secteur alimenté par Carquefou

Afin de sécuriser le secteur alimenté par le château d'eau de Carquefou, le maillage de la canalisation d'adduction s'avère meilleur que la remise de la bache en service. En effet, elle n'ajoute que 3 heures supplémentaires d'autonomie, ce qui n'améliore pas vraiment la situation.

XIV. Synthèse globale

L'étude concernant le site du Moulin à Huile et l'avenir du château, a donné les résultats suivants :

1. Le pompage actuel est en mauvais état sur deux niveaux :
 - La capacité de pompage est insuffisante, d'où la **dépendance du syndicat Atlantic 'eau** pour pouvoir alimenter le secteur Haute Pression.
 - La consommation énergétique du système de pompage actuel est très élevé, et l'achat d'eau d'Atlantic 'eau, constitue **une perte économique**.
2. Les études effectuées sur plusieurs niveaux (sécurité, pompage, énergie, coût...) aboutissent au maintien du château d'eau, tout en adoptant un nouveau système de pompage (trois pompes chacune de 170 m³/h et HMT = 43 m) avec deux modes de fonctionnement :
 - **Le mode principal : Pompage au château.**
 - **Le mode secondaire : By-Pass** (temporaire car il y a juste trois pompes). Ce mode est employé lors du lavage de la cuve, ou pour d'autres mises à arrêt temporaire du château. Donc, ce mode servira à dépasser les 4 mois prévus pour la réhabilitation de l'étanchéité interne de la cuve.
3. Le diamètre des conduites d'aspiration existantes des pompes (3Φ150 mm : une pour chaque pompe) est acceptable. Cependant, le diamètre de la conduite de refoulement est de 250 mm actuellement, il est préférable d'augmenter ce diamètre à 300 mm.
4. L'adduction vers les bâches du Moulin à Huile est insuffisante, d'où la nécessité de renforcer 1 987 ml de réseau.
5. Le renforcement de la capacité de pompage est possible en assurant la continuité du service. Par ailleurs, la date limite pour effectuer les travaux sont :
 - 2027 pour le renforcement du pompage.
 - 2031 pour le renforcement de l'adduction.

Concernant l'étude globale sur l'intérêt des ouvrages de stockage, deux facteurs interviennent dans la prise de décision concernant la mise hors service de l'un d'eux :

1. Facteurs techniques
2. Sécurité

La méthode élaborée, pour évaluer la sécurité, met principalement en évidence la nécessité d'adapter **des stratégies de sécurisation en diversifiant les entrées d'eau au secteur**. Dans le cas où cela n'est pas possible (exemple : les réseaux entourants le secteur ont un niveau piézométrique inférieur), il est primordial **de doubler ou mailler le réseau d'adduction de manière à pouvoir alimenter les sites par plusieurs chemins**. Par contre, l'ajout ou la remise en service d'un ouvrage existant n'améliore pas beaucoup la sécurité sur les gros secteurs où la demande en eau est élevée. **Cette stratégie de diversification des entrées doit être assurée sur tous les secteurs du territoire.**

XV. Bibliographie

BARDIAUX, J B, 2020. ALIMENTATION EN EAU POTABLE A.E.P. RESEAUX RESERVOIRS. In : . 2020. pp. 68.

BEHRENS, Jean-Christophe et BLANCHET, Frédéric, 2016. Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable Volume II : Optimiser ses pratiques pour un service durable et performant. In : . Mai 2016. pp. 116.

ETANORM, Courbier, 2018. Etanorm/Etabloc Variation de la vitesse de rotation. In : . Février 2018. pp. 88.

LEGOAS, Henry, 2014. HLG_rapport-Méthodes_v3_validée. In : . janvier 2014. pp. 25.

XPAIR, 2021. économies d'énergie | E-formation. In : *XPair* [en ligne]. 2021. [Consulté le 22 octobre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://formation.xpair.com/cours/pompes-vitesse-variable-economie-energie.htm>.

XVI. Les annexes

[Annexe 0](#) : répartition des communes selon les opérateurs eau potable 2020.

[Annexe 1](#) : tableaux des données d'entrées.

[Annexe 2](#) : vague de chaleur en France depuis 1947 plus le débit de Loire en 2019 2020

[Annexe 3](#) : élévation du Réseau sud-est de Nantes Métropole.

[Annexe 4](#) : la sectorisation de Rezé-Les Sorinières.

[Annexe 5](#) : les gros consommateurs.

[Annexe 6](#) : les évolutions démographiques sur Nantes Métropole en globale et Rezé les Sorinières en particulier.

[Annexe 7](#) : les photos du site du Moulin à Huile.

[Annexe 8](#) : le marnage actuel du château selon Mike Urban+ plus des graphes concernant les calculs effectué sur Excel pour le site du Moulin à Huile.

[Annexe 9](#) : le fonctionnement futur de la station de la Pierre et les lignes piézométrique avant et après le renforcement des canalisations d'adduction vers le Moulin à Huile.

[Annexe 10](#) : les étapes de changement des pompes du Moulin à Huile.

[Annexe 11](#) : les détails de calcul concernant la sécurité des différents secteurs.

Annexe 0

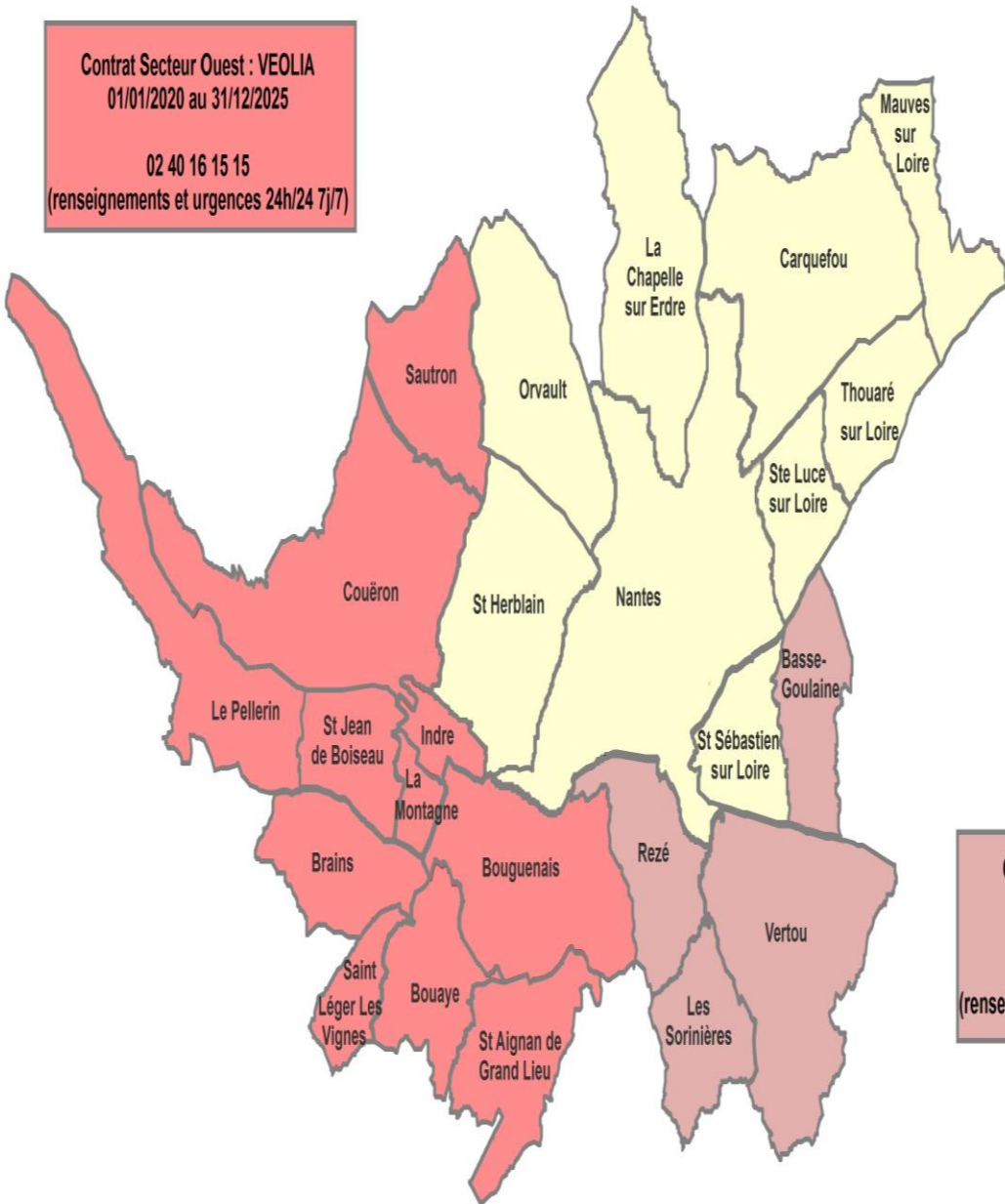
OPERATEURS EAU POTABLE 2020

Contrat Secteur Ouest : VEOLIA
01/01/2020 au 31/12/2025

02 40 16 15 15
(renseignements et urgences 24h/24 7j/7)

DOPEA (Régie Nantes Métropole)

02 40 18 88 00
(renseignements et urgences 24h/24 7j/7)



Contrat Secteur Est : VEOLIA
01/01/2019 au 31/12/2025

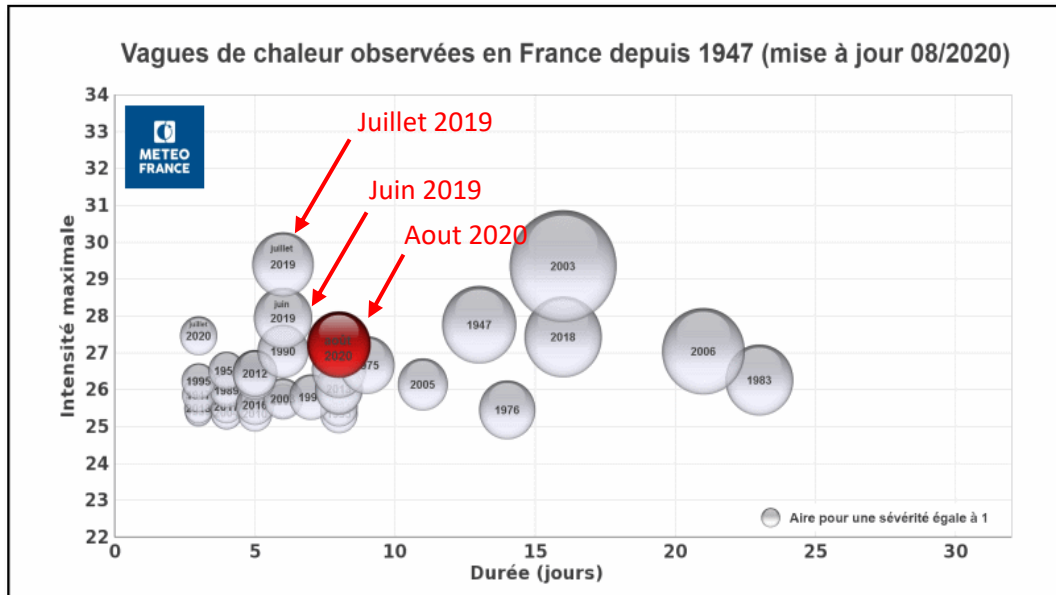
02 40 16 15 15
(renseignements et urgences 24h/24 7j/7)

Annexe 1

Tableau des données			
N°	Descriptif de l'élément	Transmis Par	Commentaires
1	Données de volume /débit pour les compteurs principaux : <ul style="list-style-type: none"> • Pont SNCF et passage à niveau. • Sarrail. • Chéviré. • Landes Blanches. 	Une partie par VEOLIA/ Une partie par Nantes Métropole	Les données récupérées sont pour les années 2019 et 2020
2	Données des compteurs de sectorisation	Non récupérés	Ne constitue pas un facteur essentiel dans l'étude concernant le site du moulin à Huile
3	Données sur le site du Moulin à Huile : <ul style="list-style-type: none"> • Débit entrant d'adduction, Débit sortant pompé. • Niveau (Château d'eau +les deux bâches). • Le temps de fonctionnement des pompes et la consommation énergétique du site. • Réglage des stabilisateurs, régulateurs de pression, asservissement des pompes, automatismes (fiches techniques). 	VEOLIA	
4	Données sur la station de la pierre : <ul style="list-style-type: none"> • Les débits de pompage en 2019 et 2020 • Le débit de pompage futur 	Nantes métropole et SCE	Le Débit de pompage future récupéré de l'étude « Etudes préliminaires de la station de surpression de la Pierre à Bouguenais et des réservoirs de St Jean de Boiseau dans le cadre de la sécurisation de l'alimentation en eau potable du sud-ouest » effectué par SCE
5	Autre données : <ul style="list-style-type: none"> • Schéma directeur de sécurisation en eau potable de 2011 • Schéma départementale de 2020 • ... 	Nantes Métropole	

Annexe 2

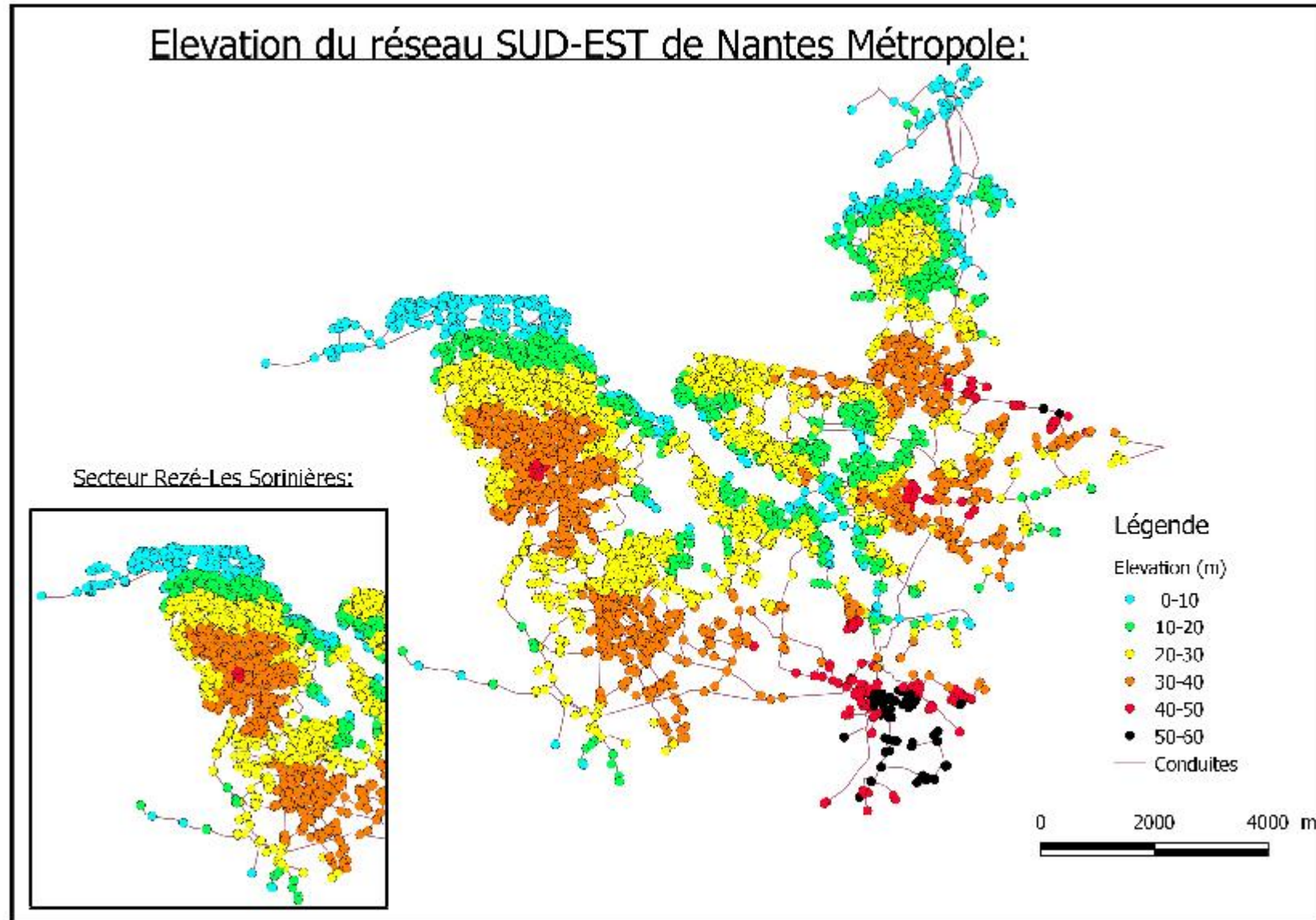
1) Vague de chaleur en France depuis 1947 :



2) Débit du Loir en 2019 2020 :

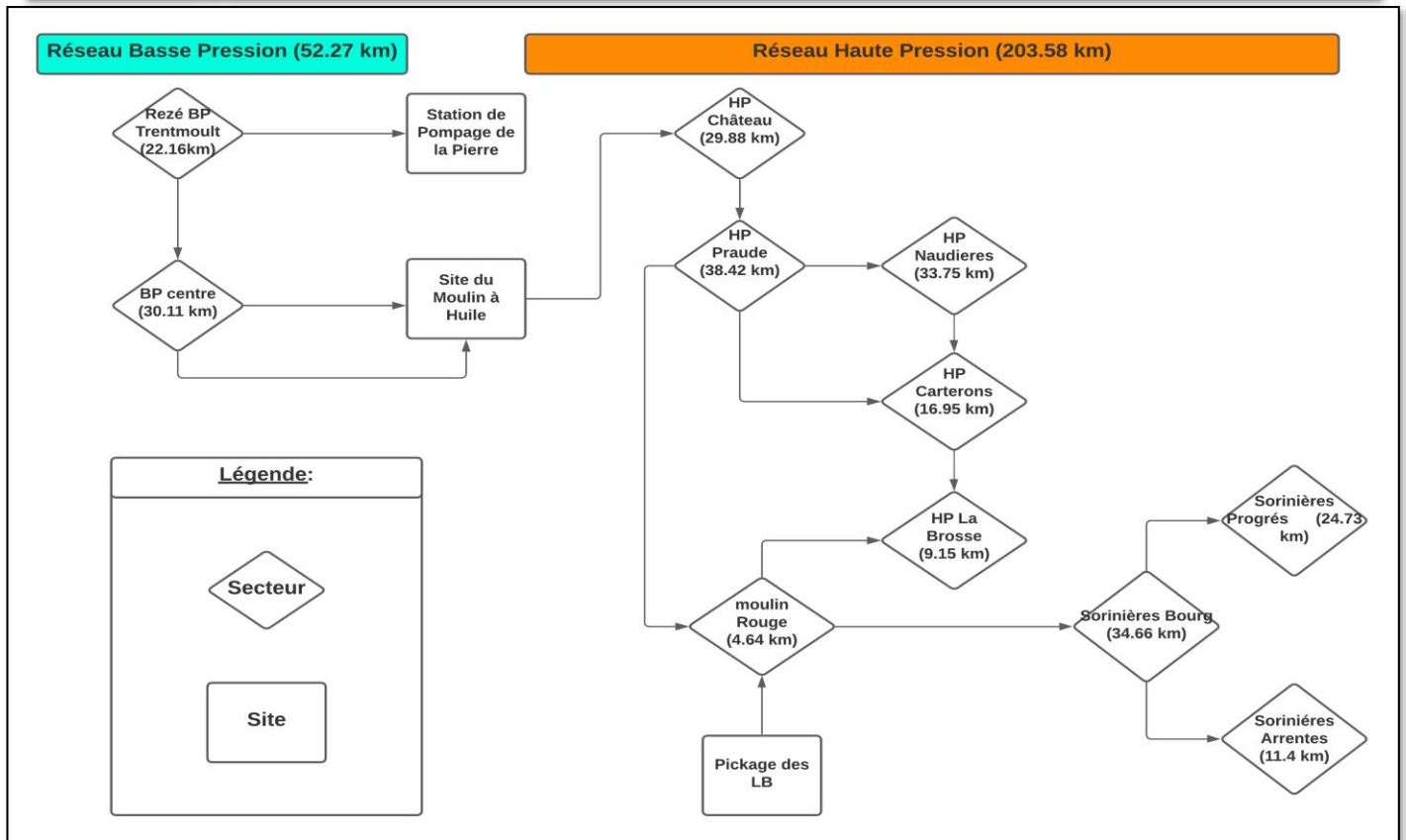
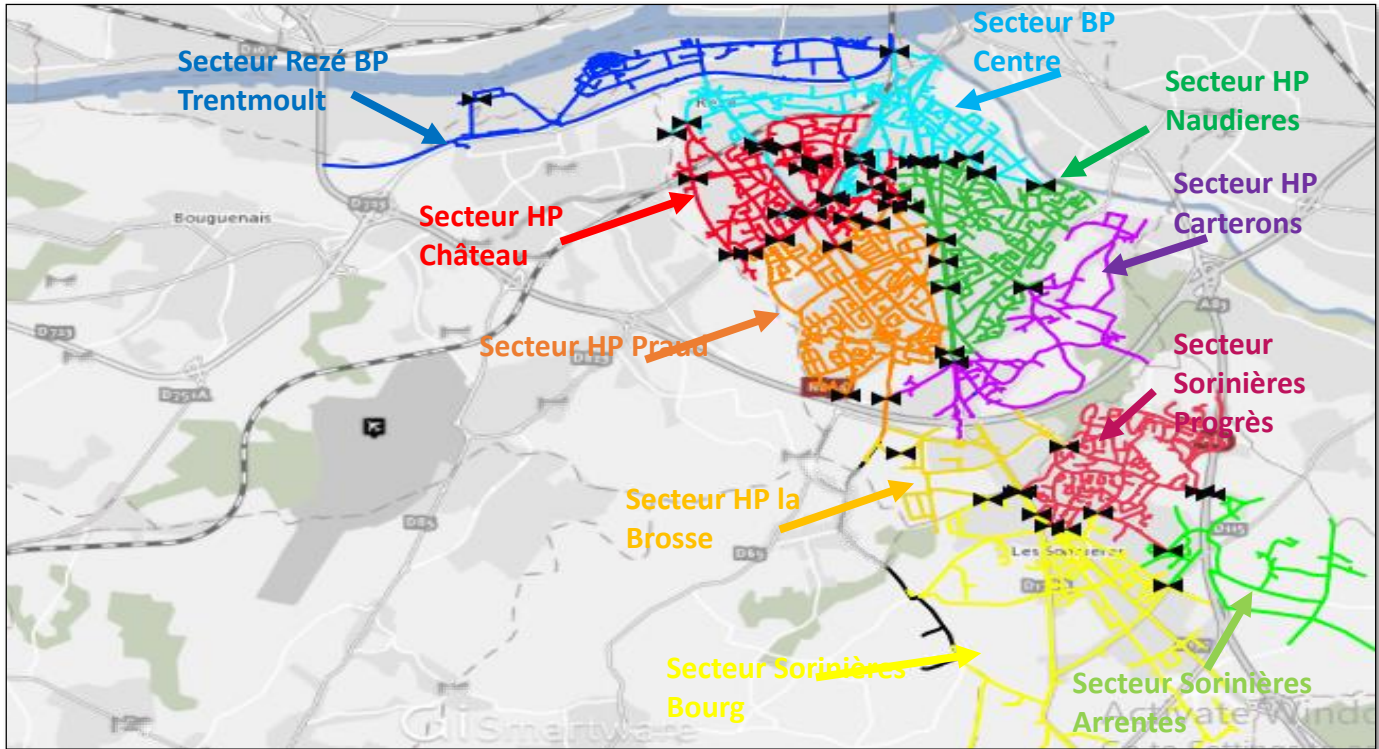
Q (m ³ /s)	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	décembre
2019	379	373	234	121	106	113	185	888	2 130
2020	505	578	405	198	133	135	328	320	849

Annexe 3



Annexe 4

Les figures ci-dessous illustre la sectorisation :



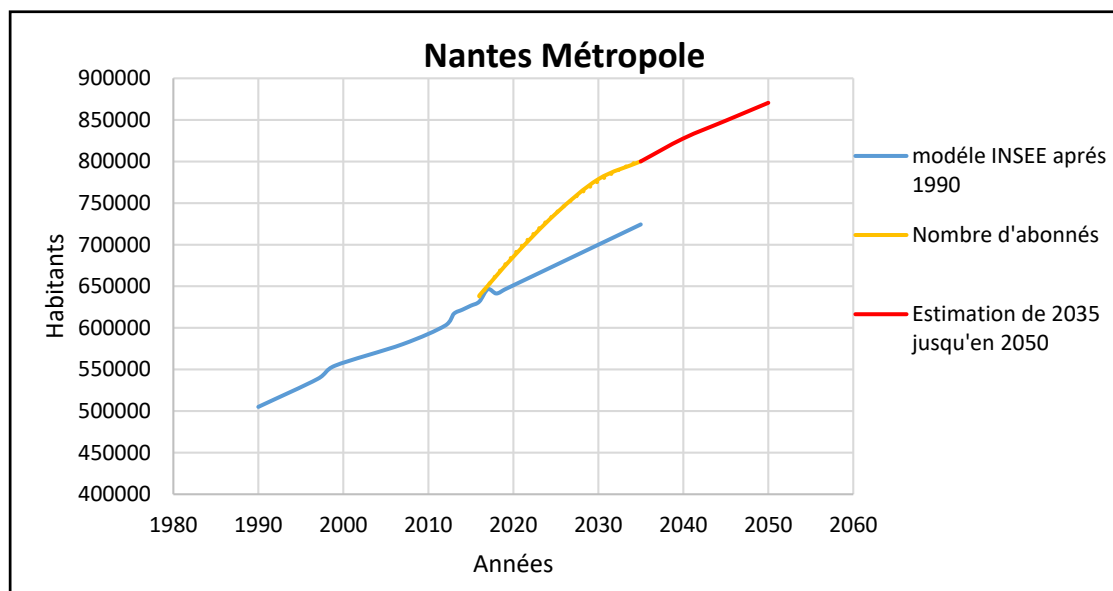
Annexe 5

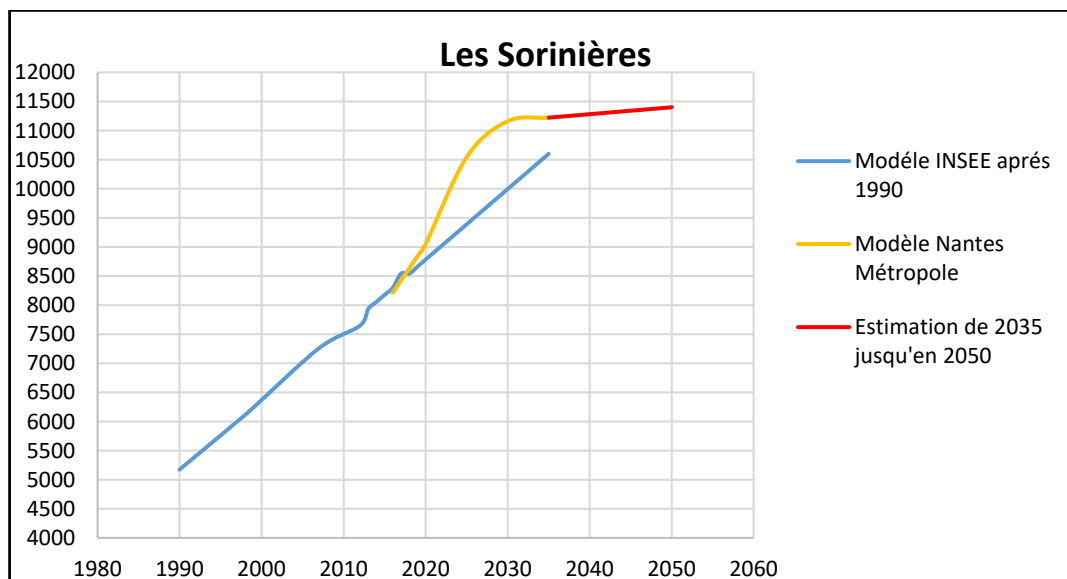
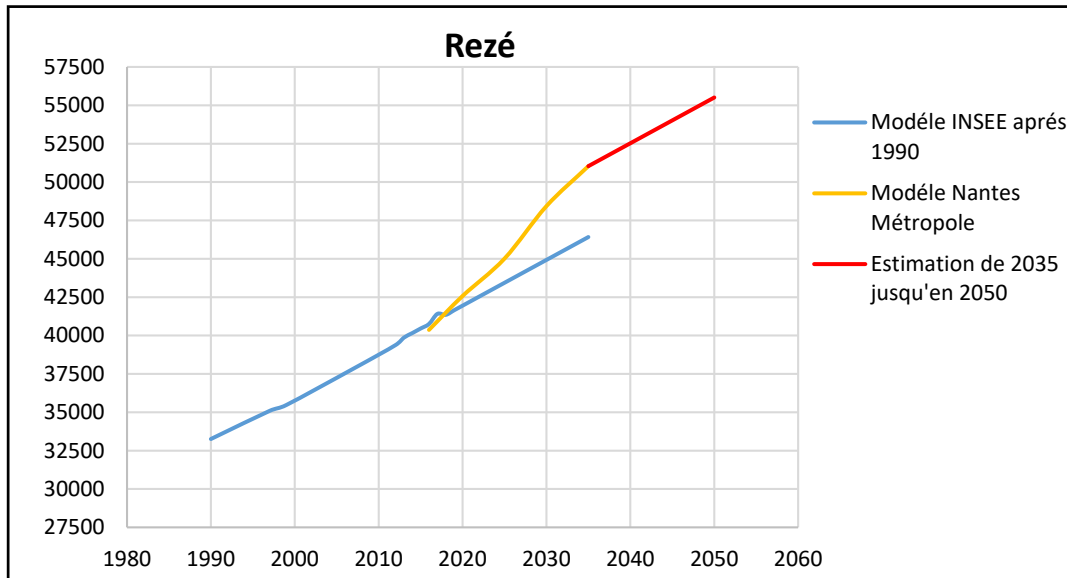
Le tableau ci-dessous illustre les gros consommateurs :

VILLE	NOM CONC	ADRESSE CONC	Diam	Total général (m3/an)
Rezé	PISCINE VICTOR JARA	5 AVENUE LEON BLUM	60	15 465
Rezé	COMPLEXE SPORTIF	RUE DE LA ROBINIERE	40	8 152
Rezé	LYCEE JEAN PERRIN	PLACE CHATEAU DE REZE	100	9 680
Rezé	SARL DISCARETZ	1 RUE LA BAUCHE THIRAUD	40	5 400
Rezé	REZE SUD	CHE FONTAINES LAURENT	65	11 039
Rezé	SUD LOIRE DISTRIBUTION	CHE FONTAINES LAURENT	65	10 692
Rezé	CTR DIVISIONN ARROSAGE	RUE DE LA TROCARDIERE	65	7 926
Rezé	CAB THIERRY IMMOBILIER	RUE F. GARCIA LORCA	40	5 573
Rezé	CAB THIERRY IMMOBILIER	2 RUE F. GARCIA LORCA	60	6 011
Rezé	SOC MITI	35 RUE FONTAINE LAURENT	80	53 247

Annexe 6

Graphe montrant les évolutions démographiques sur Nantes Métropole en globale et Rezé les Sorinières en particulier :





Annexe 7

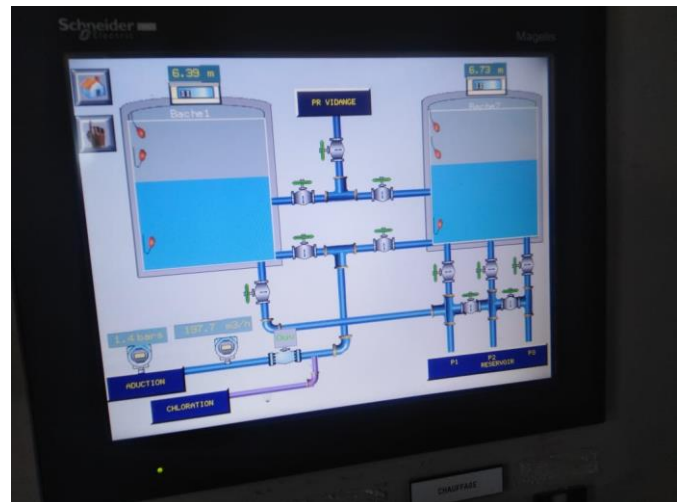
a) Photos des pompes :



b) Chloration :



c) Armoire électrique :



d) Afficheurs de débit :





e) ballon anti bélier :



f) Une prise de raccordement électrique de secours :



g) La canalisation de refoulement et de distribution :

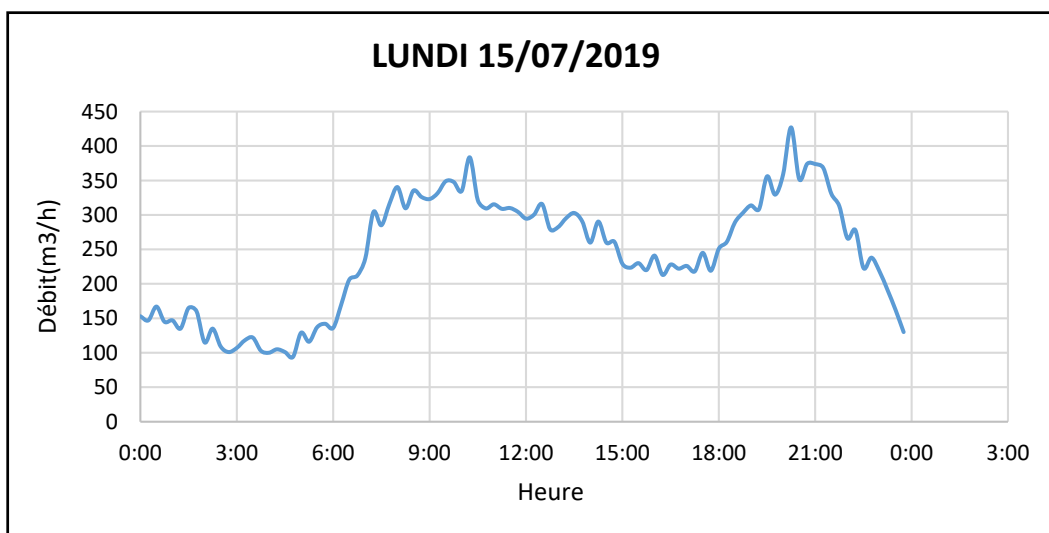


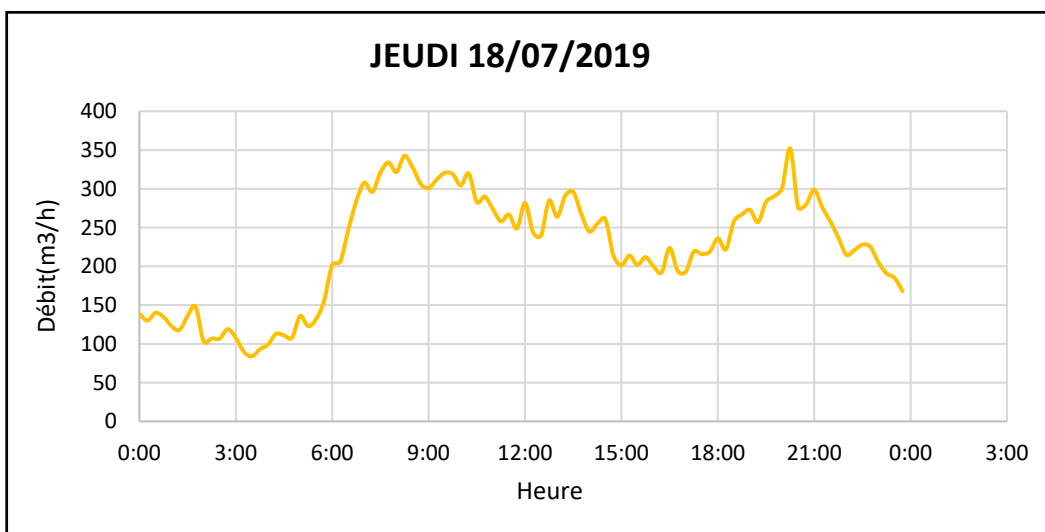
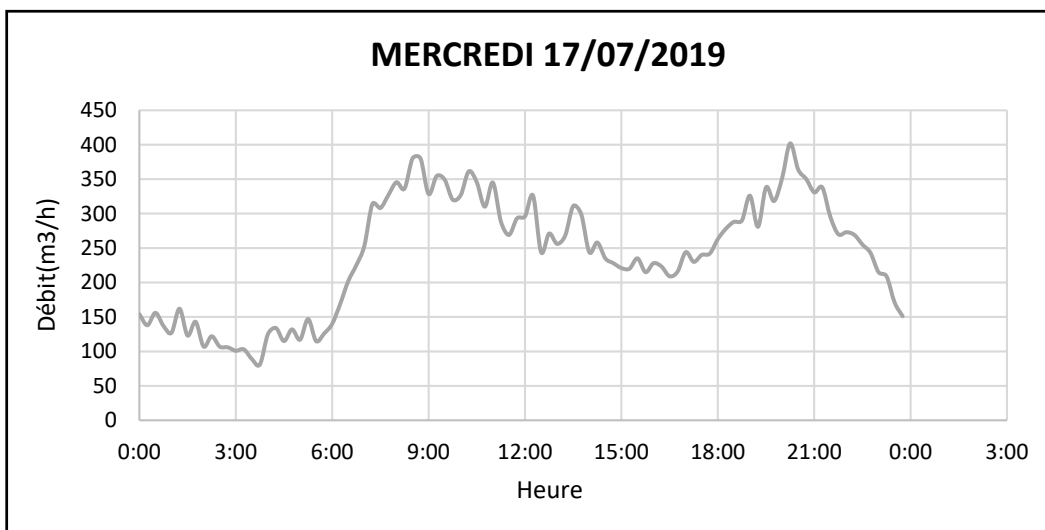
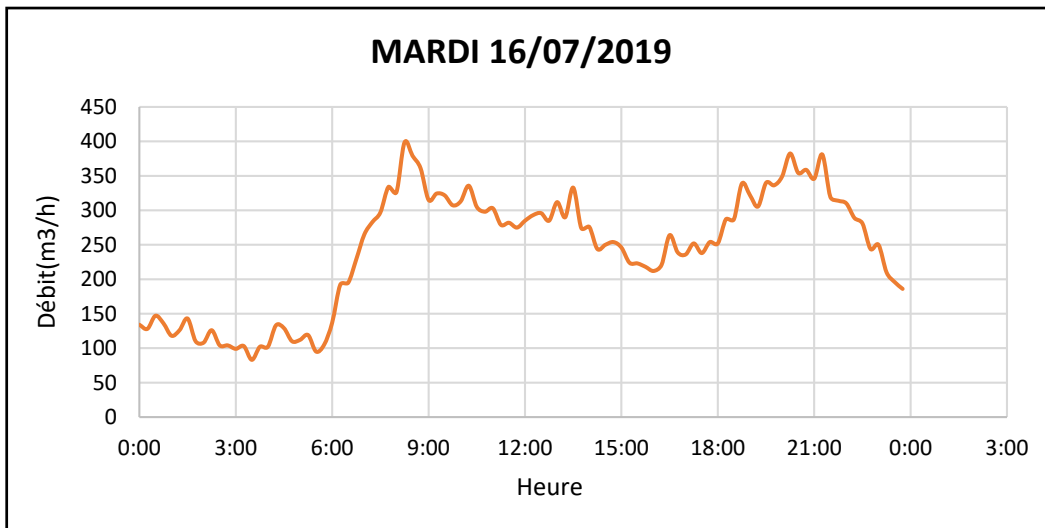
Annexe 8

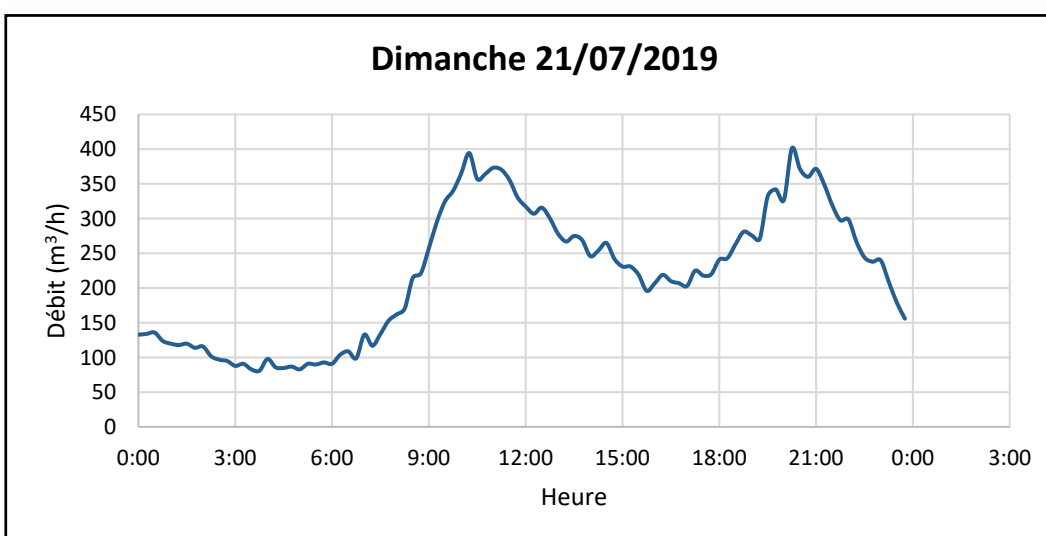
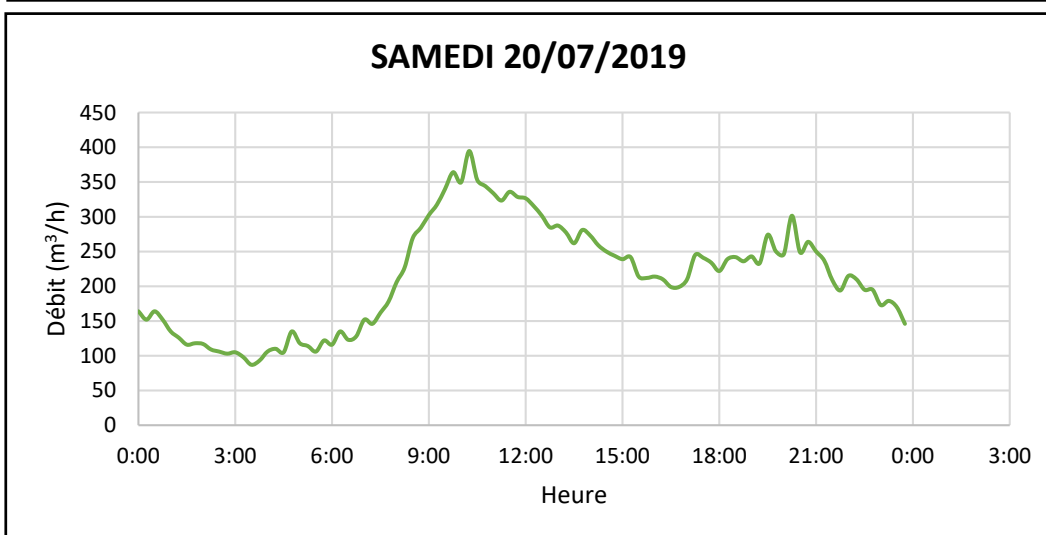
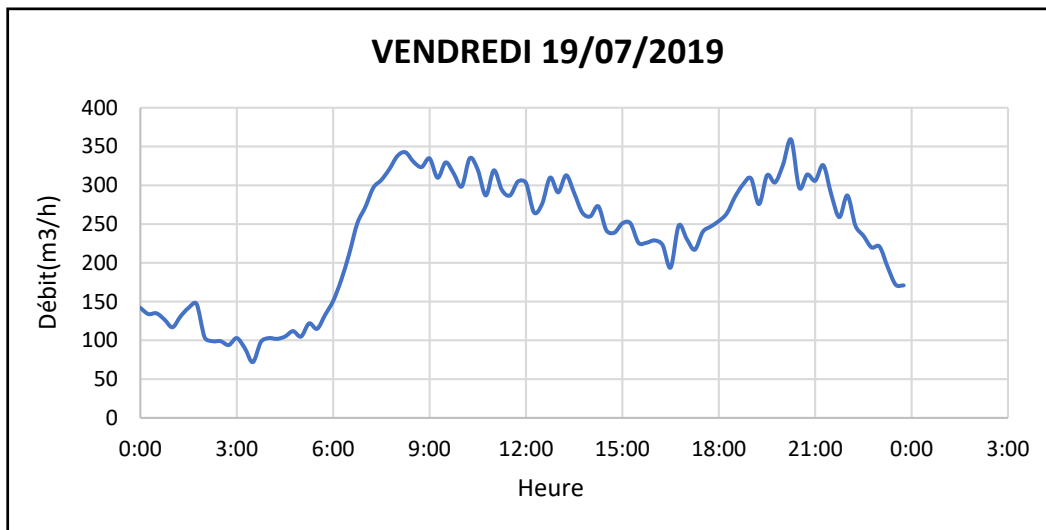
a) La figure ci-dessous indique le marnage du château en fermant les Landes Blanches (en rouge) et en ouvrant les Landes Blanches (en vert). Il intéressant de noter, que selon le modèle Mike Urban+ et en fermant Les Landes Blanches, le réservoir ne se vide pas.



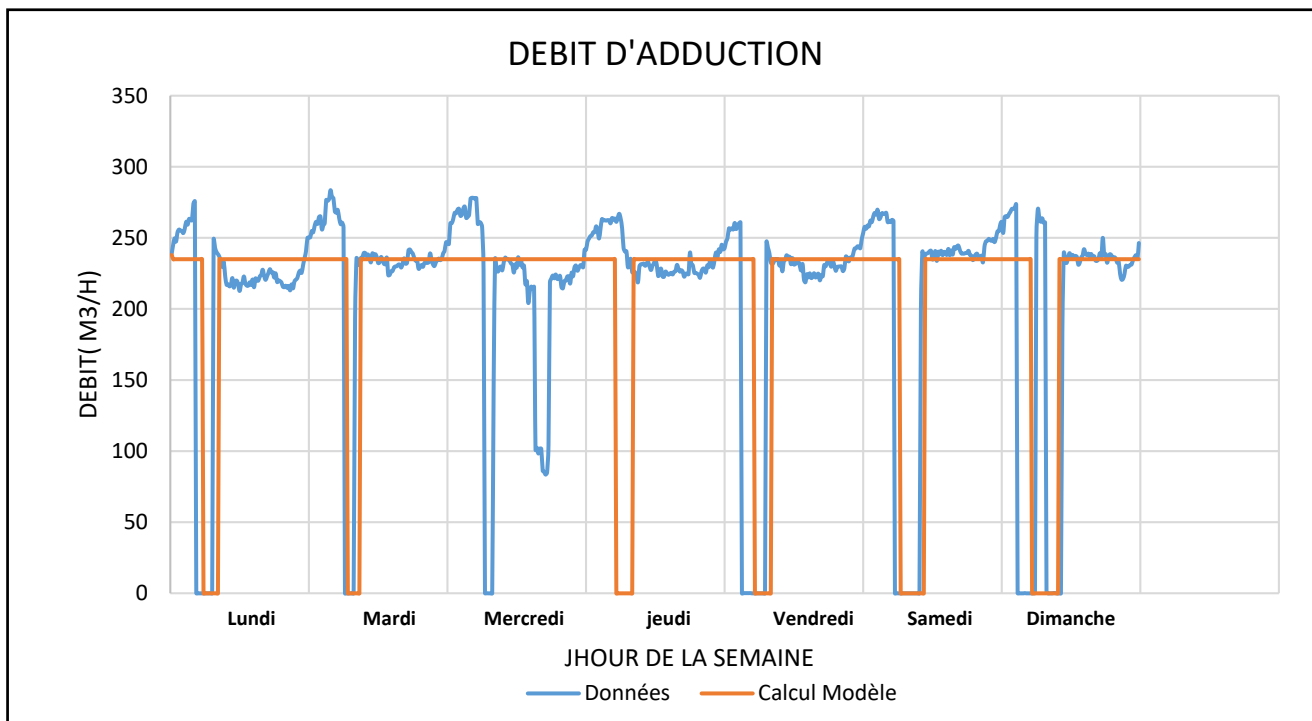
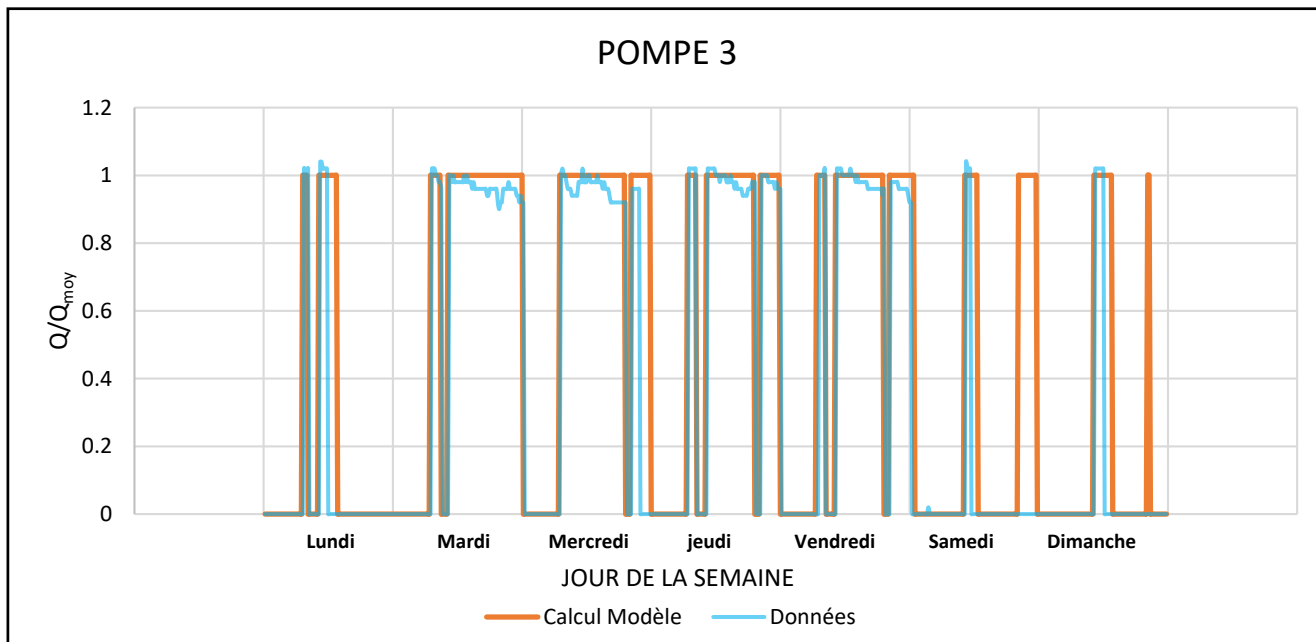
b) Les figures suivantes illustre la demande en eau du secteur Haute Pression de chaque jour de la semaine type choisie :





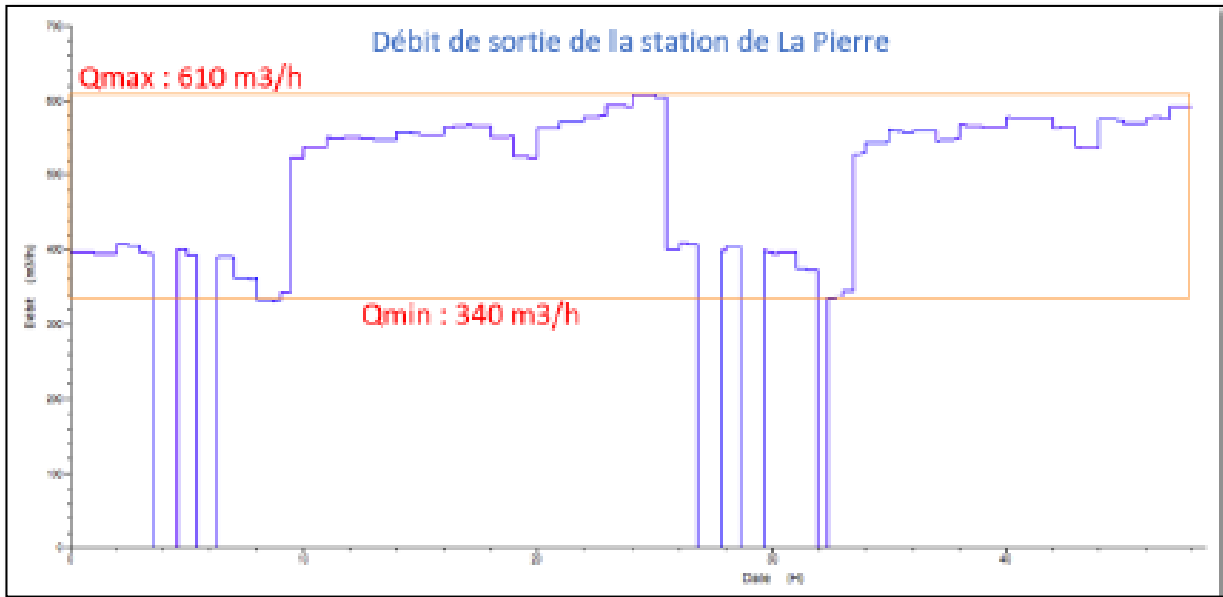


c) Voici ci-dessous le fonctionnement de la pompe P3 et le débit d'adduction selon : les données et les calculs effectués.

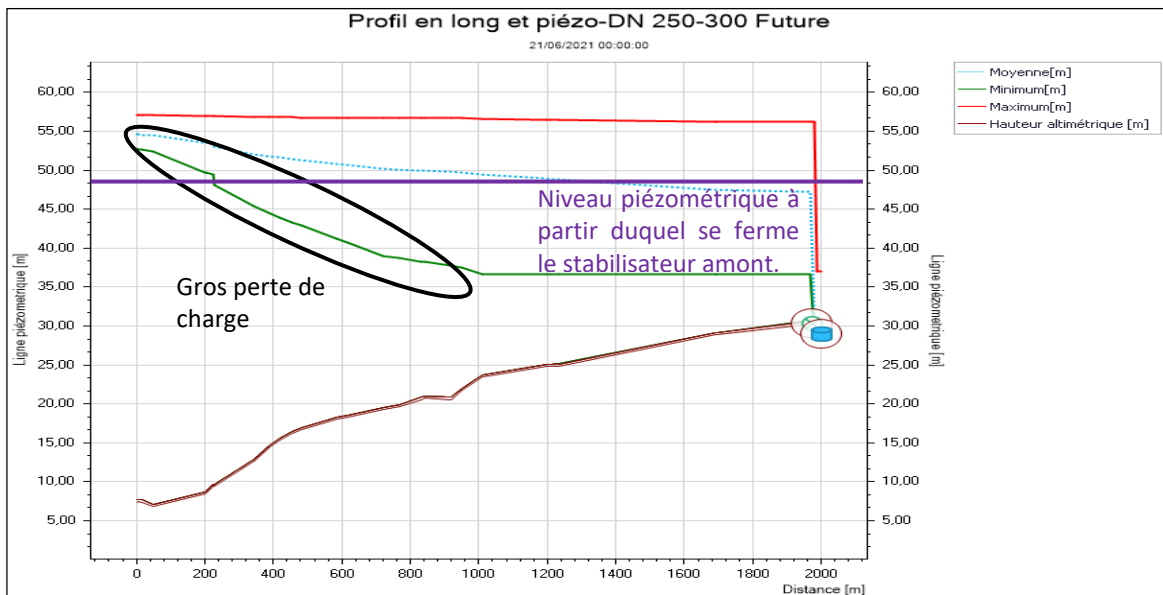


Annexe 9

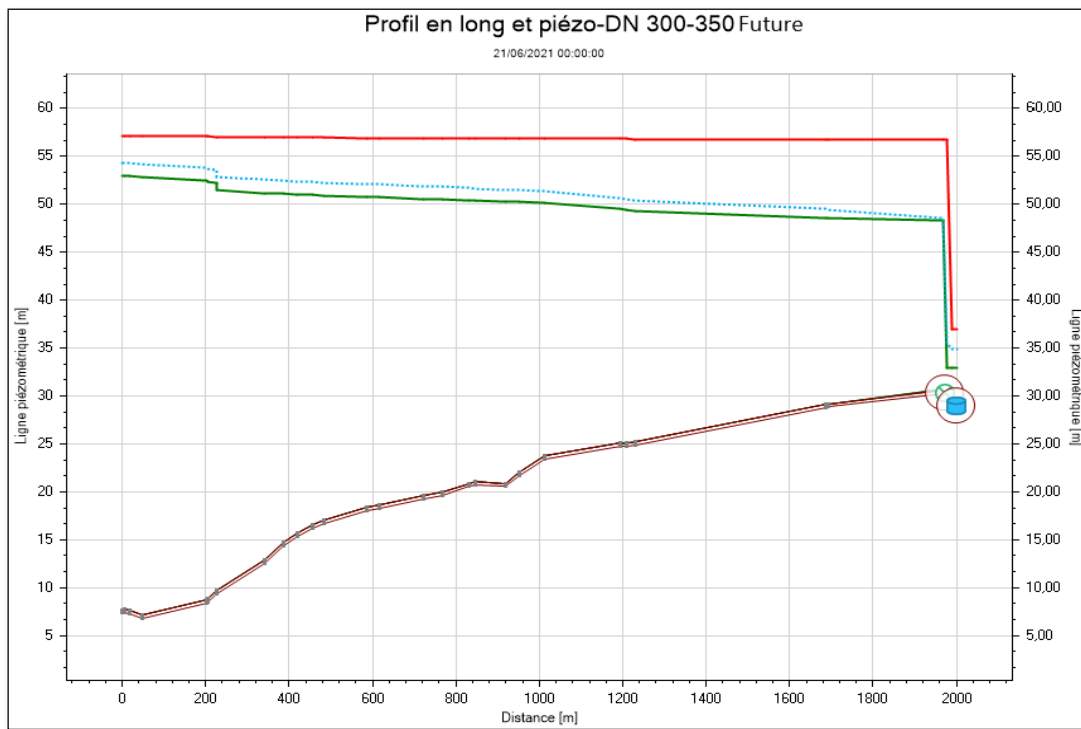
a) Le débit de pompage futur de la station de la Pierre varie entre = 340 et 610 m³/h ;



b) Ligne piézométrique avant de renforcer les canalisations en amont du site du Moulin à Huile :



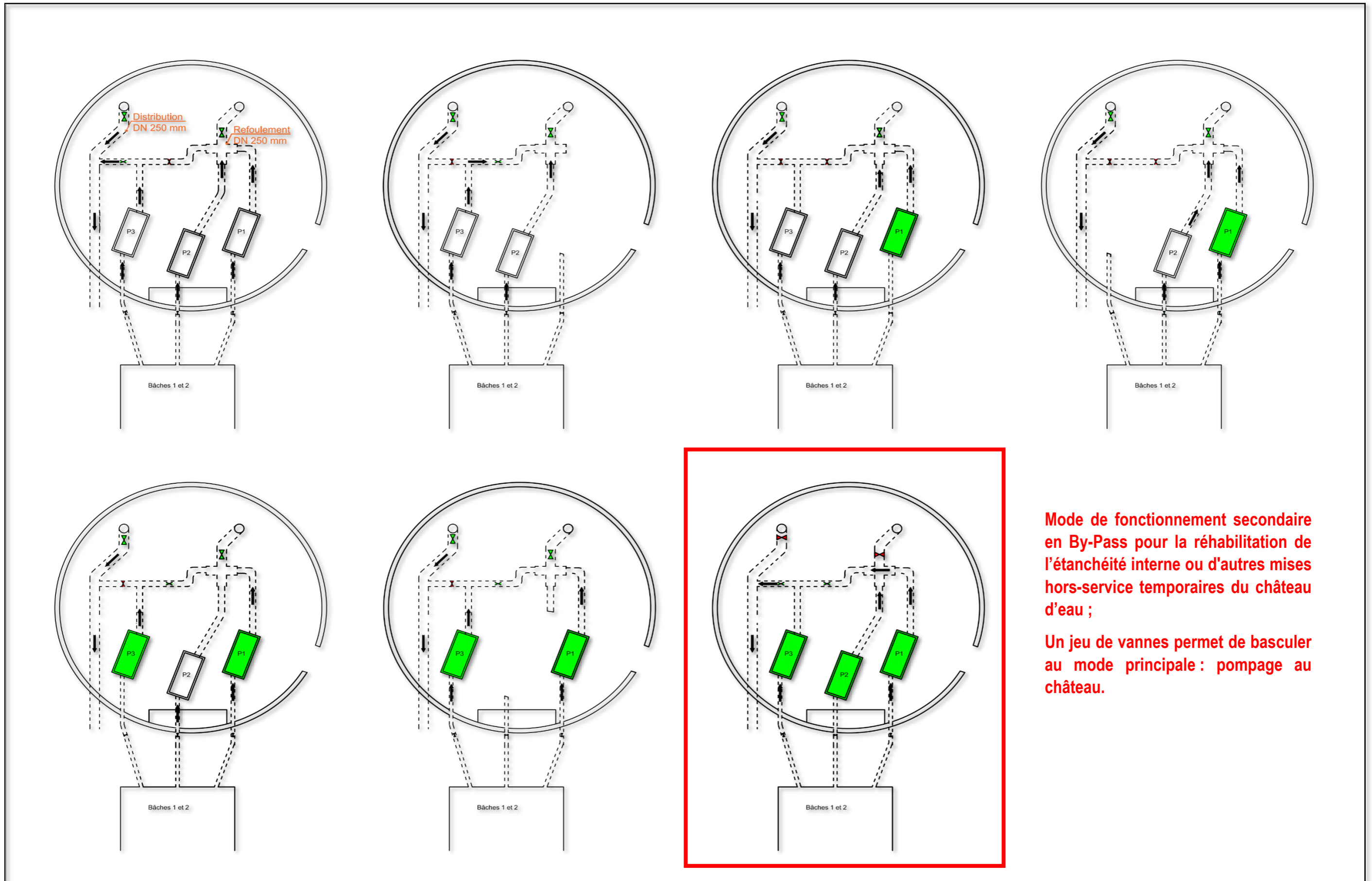
Ligne piézométrie après le renforce



Annexe 10



Les étapes de changement des pompes :



Annexe 11

a) Malgré la récupération de la diagnostique des canalisations d'adduction vers Carquefou et vers Gesvrine du pôle patrimoine, les calculs seront effectués selon les trois hypothèse suivante :

- Hypothèse 1 : Note3=-75 la conduite est en bon état.
- Hypothèse 2 : Note3=-50 la conduite est en état moyen.
- Hypothèse 3 : Note3=-25 la conduite est en mauvaise état.

Site	Autonomie horaire (h)	Note1	Sécurisation	Note2	Note3			Note4	Probabilité P		
					Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3		Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
Moulin à Huile avec le château d'eau	[12-18]	50	Les Landes Blanches	0	-75	-50	-25	-20	4	13	22
Moulin à Huile sans château d'eau	[6-12]	75	Les Landes Blanches	0	-75	-50	-25	-40	19	27	36
Château de la Vrière sans la bâche de Gesvrine	[12-18]	50	Interconnexion avec un secteur ayant une piézométrie supérieur + la possibilité d'achat limitant des syndicat voisin	50	-75	-50	-25	-40	27	36	45
Carquefou sans bâche	[0-6]	100	Il n'y a pas	100	-75	-50	-25	-40	84	94	100
Carquefou avec la bâche	[6-12]	75	Il n'y a pas	100	-75	-50	-25	-40	69	77	86
Carquefou en sécurisant l'adduction Et sans la bâche	[0-6]	100	Maillage de la canalisation d'adduction	0	-75	-50	-25	-40	35	44	52

b) Le tableau ci-dessous illustre toutes les probabilités possibles :

Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	P	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	P	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	P	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	P	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	P
0	0	-75	-100	0	25	0	-75	-100	0	50	0	-75	-100	0	75	0	-75	-100	13	100	0	-75	-100	29
0	0	-75	-80	0	25	0	-75	-80	0	50	0	-75	-80	0	75	0	-75	-80	15	100	0	-75	-80	31
0	0	-75	-60	0	25	0	-75	-60	0	50	0	-75	-60	0	75	0	-75	-60	17	100	0	-75	-60	33
0	0	-75	-40	0	25	0	-75	-40	0	50	0	-75	-40	2	75	0	-75	-40	19	100	0	-75	-40	35
0	0	-75	-20	0	25	0	-75	-20	0	50	0	-75	-20	4	75	0	-75	-20	21	100	0	-75	-20	37
0	0	-75	0	0	25	0	-75	0	0	50	0	-75	0	6	75	0	-75	0	23	100	0	-75	0	39
0	0	-50	-100	0	25	0	-50	-100	0	50	0	-50	-100	5	75	0	-50	-100	21	100	0	-50	-100	38
0	0	-50	-80	0	25	0	-50	-80	0	50	0	-50	-80	7	75	0	-50	-80	23	100	0	-50	-80	40
0	0	-50	-60	0	25	0	-50	-60	0	50	0	-50	-60	9	75	0	-50	-60	25	100	0	-50	-60	42
0	0	-50	-40	0	25	0	-50	-40	0	50	0	-50	-40	11	75	0	-50	-40	27	100	0	-50	-40	44
0	0	-50	-20	0	25	0	-50	-20	0	50	0	-50	-20	13	75	0	-50	-20	29	100	0	-50	-20	46
0	0	-50	0	0	25	0	-50	0	0	50	0	-50	0	15	75	0	-50	0	31	100	0	-50	0	48
0	0	-25	-100	0	25	0	-25	-100	0	50	0	-25	-100	14	75	0	-25	-100	30	100	0	-25	-100	46
0	0	-25	-80	0	25	0	-25	-80	0	50	0	-25	-80	16	75	0	-25	-80	32	100	0	-25	-80	48
0	0	-25	-60	0	25	0	-25	-60	2	50	0	-25	-60	18	75	0	-25	-60	34	100	0	-25	-60	50
0	0	-25	-40	0	25	0	-25	-40	4	50	0	-25	-40	20	75	0	-25	-40	36	100	0	-25	-40	52
0	0	-25	-20	0	25	0	-25	-20	6	50	0	-25	-20	22	75	0	-25	-20	38	100	0	-25	-20	54
0	0	-25	0	0	25	0	-25	0	8	50	0	-25	0	24	75	0	-25	0	40	100	0	-25	0	56
0	50	-75	-100	0	25	50	-75	-100	5	50	50	-75	-100	21	75	50	-75	-100	38	100	50	-75	-100	54
0	50	-75	-80	0	25	50	-75	-80	7	50	50	-75	-80	23	75	50	-75	-80	40	100	50	-75	-80	56
0	50	-75	-60	0	25	50	-75	-60	9	50	50	-75	-60	25	75	50	-75	-60	42	100	50	-75	-60	58
0	50	-75	-40	0	25	50	-75	-40	11	50	50	-75	-40	27	75	50	-75	-40	44	100	50	-75	-40	60
0	50	-75	-20	0	25	50	-75	-20	13	50	50	-75	-20	29	75	50	-75	-20	46	100	50	-75	-20	62
0	50	-75	0	0	25	50	-75	0	15	50	50	-75	0	31	75	50	-75	0	48	100	50	-75	0	64
0	50	-50	-100	0	25	50	-50	-100	14	50	50	-50	-100	30	75	50	-50	-100	46	100	50	-50	-100	63
0	50	-50	-80	0	25	50	-50	-80	16	50	50	-50	-80	32	75	50	-50	-80	48	100	50	-50	-80	65
0	50	-50	-60	2	25	50	-50	-60	18	50	50	-50	-60	34	75	50	-50	-60	50	100	50	-50	-60	67
0	50	-50	-40	4	25	50	-50	-40	20	50	50	-50	-40	36	75	50	-50	-40	52	100	50	-50	-40	69
0	50	-50	-20	6	25	50	-50	-20	22	50	50	-50	-20	38	75	50	-50	-20	54	100	50	-50	-20	71
0	50	-50	0	8	25	50	-50	0	24	50	50	-50	0	40	75	50	-50	0	56	100	50	-50	0	73
0	50	-25	-100	6	25	50	-25	-100	23	50	50	-25	-100	39	75	50	-25	-100	55	100	50	-25	-100	71
0	50	-25	-80	8	25	50	-25	-80	25	50	50	-25	-80	41	75	50	-25	-80	57	100	50	-25	-80	73
0	50	-25	-60	10	25	50	-25	-60	27	50	50	-25	-60	43	75	50	-25	-60	59	100	50	-25	-60	75
0	50	-25	-40	12	25	50	-25	-40	29	50	50	-25	-40	45	75	50	-25	-40	61	100	50	-25	-40	77
0	50	-25	-20	14	25	50	-25	-20	31	50	50	-25	-20	47	75	50	-25	-20	63	100	50	-25	-20	79
0	50	-25	0	16	25	50	-25	0	33	50	50	-25	0	49	75	50	-25	0	65	100	50	-25	0	81
0	100	-75	-100	14	25	100	-75	-100	30	50	100	-75	-100	46	75	100	-75	-100	63	100	100	-75	-100	79
0	100	-75	-80	16	25	100	-75	-80	32	50	100	-75	-80	48	75	100	-75	-80	65	100	100	-75	-80	81
0	100	-75	-60	18	25	100	-75	-60	34	50	100	-75	-60	50	75	100	-75	-60	67	100	100	-75	-60	83
0	100	-75	-40	20	25	100	-75	-40	36	50	100	-75	-40	52	75	100	-75	-40	69	100	100	-75	-40	85
0	100	-75	-20	22	25	100	-75	-20	38	50	100	-75	-20	54	75	100	-75	-20	71	100	100	-75	-20	87
0	100	-75	0	24	25	100	-75	0	40	50	100	-75	0	56	75	100	-75	0	73	100	100	-75	0	89
0	100	-50	-100	23	25	100	-50	-100	39	50	100	-50	-100	55	75	100	-50	-100	71	100	100	-50	-100	88
0	100	-50	-80	25	25	100	-50	-80	41	50	100	-50	-80	57	75	100	-50	-80	73	100	100	-50	-80	90
0	100	-50	-60	27	25	100	-50	-60	43	50	100	-50	-60	59	75	100	-50	-60	75	100	100	-50	-60	92
0	100	-50	-40	29	25	100	-50	-40	45	50	100	-50	-40	61	75	100	-50	-40	77	100	100	-50	-40	94
0	100	-50	-20	31	25	100	-50	-20	47	50	100	-50	-20	63	75	100	-50	-20	79	100	100	-50	-20	96
0	100	-50	0	33	25	100	-50	0	49	50	100	-50	0	65	75	100	-50	0	81	100	100	-50	0	98
0	100	-25	-100	31	25	100	-25	-100	48	50	100	-25	-100	64	75	100	-25	-100	80	100	100	-25	-100	96
0	100	-25	-80	33	25	100	-25	-80	50	50	100	-25	-80	66	75	100	-25	-80	82	100	100	-25	-80	98
0	100	-25	-60	35	25	100	-25	-60	52	50	100	-25	-60	68	75	100	-25	-60	84	100	100	-25	-60	100
0	100	-25	-40	37	25	100	-25	-40	54	50	100	-25	-40	70	75	100	-25	-40	86	100	100	-25	-40	100
0	100	-25	-20	39	25	100	-25	-20	56	50	100	-25	-20	72	75	100	-25	-20	88	100	100	-25	-20	100
0	100	-25	0	41	25	100	-25	0	58	50	100	-25	0	74	75	100	-25	0	90	100	100	-25	0	100



ENGEES

Ecole Nationale du Génie de l'Eau
et de l'Environnement de Strasbourg

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement

Auteur : HADDAD Fadi

Année : 2020-2021

Titre : Étude d'opportunité technique pour mise à l'arrêt du Château d'Eau de Moulin à Huile situé à Rezé.

Nombre de pages texte : 55

Nombre d'annexes : 23

Nombre de références bibliographiques : 5

Structure d'accueil : Nantes Métropole-Direction du Cycle de l'Eau

Maître de stage : Brigitte HILICO

Résumé :

Depuis de nombreuses années, les travaux de réhabilitation du système d'étanchéité intérieur de la cuve du château d'eau du Moulin à Huile sont repoussés faute de solution simple. L'étude s'est déroulée en plusieurs étapes. La première a consisté en la collecte des données sur le site et sur le réseau en lien, afin de comprendre leurs fonctionnements. La deuxième étape consiste à comparer entre deux solutions sur plusieurs critères en s'appuyant sur des calculs sur Excel et sur le Modèle Mike Urban+. Cette étude a donné des chiffres clefs au pôle ingénierie et travaux.

Une deuxième étude globale consiste à évaluer et à interpréter l'intérêt des ouvrages de stockage afin d'analyser la possibilité hydraulique et sécuritaire de la mise hors-service de certains ouvrages.

Mots-clés : Eau potable, réseau, modélisation, diagnostic, Mike Urban+, pompage à vitesse variable, calcul énergétique, les réservoirs.