



République algérienne démocratique et populaire

Université Akli Mohand Oulhadj

BOUIRA

Institut de Technologies



## Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

Licence professionnalisant en :

**Génie de l'eau**

### THÈME :

**Réalisation d'un collecteur des eaux usées par la  
méthode de tunneliers dans la ville d'Alger**

**Réaliser par:** M<sup>r</sup>. BOUROUROU Billel

**Encadré par:** M<sup>r</sup>. MENNAD Moussa

Magister / Chercheur Permanent/CNRDPA

**Tuteur de l'entreprise:** M<sup>r</sup>. MERZOUK Ramdane

- Ministère des Ressources en Eau

**Jury:**

**Président :** M<sup>me</sup>. HAMZAOUI Sara.

**Rapporteur:** M<sup>r</sup>. MENNAD Moussa

**Examineur :** M<sup>r</sup>. DAHMANI Saad

**Année : 2017 / 2018**

## ∞ Dédicace ∞

Je dédie ce travail a

*À mes très chers parents qu'ont toujours été là pour moi*  
Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour  
que je vous porte

*À Ma princesse Mama « Zohra » chérie*  
mon âme, mon cœur, la bonheur dans ma vie , la raison dans mon  
succès la raison de ma sourirez tout les jours même dans les  
moments difficiles

*À mon cher papa « abd el kader »*  
ZAAAIM de ma vie, celui qui m'a indiqué la bonne voie et qui a  
veillé sur moi dans chaque pas de ma vie.

*À mes très chères sœurs que je l'aime beaucoup:*

MARWA la force dans ma vie ma belle  
Bouchra mes chères yeux la plus belle fille du monde

*À DADA AZIZ SAYAH la source de la sagesse*

*À mon frère Karim et Rahim je l'aime beaucoup*

*À tous mes amis spécialement : houari, Hicham, Mohamed Tahar,  
abd el ghani, chafzabd el Rahman, et tous mes amis qui j'amie*

*À ma famille de l'institut de technologie et à toute la promotion  
2017/2018 de l'hydraulique.*

*Je termine avec la personne qui a partagé tout le travail avec moi,  
et toutes les personnes que j'aime*

*\*Billel\**

# REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, AHMADE ALLAH qui m'a guidé sur le chemin droit et qui m'a donné le courage et Laforce pour continuer jusqu'à la fin*

*Je remercie Mes parents pour le soutien jusqu'à la fin*

*Au nom de vertu de travail et de l'esprit d'élévation de la connaissance, nous tiendrons à exprimer tous notre respect à mon encadreur : M. **Moussa MENNAD** de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

*Un remerciement spécial pour mon Co-encadreur M. AKLIOUAT Hacene*

*Nous adressons nos très sincères remerciements à M. **Marzouk RAMDAN**, leurs disponibilités, leurs conseils ont permis la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie vivement l'ensemble des membres du jury*

*Je remercie tous les personnes travaillant au Ministère des ressources en eau, direction ressource en eau, entreprise Cosider, l'entreprise DENYS  
J'exprime ma profonde reconnaissance à Madame HALAM*

*Il est difficile de remercier toutes les personnes qui, d'une façon ou d'une autre, m'ont apporté leur aide, sans prendre le risque d'en oublier.*

*MERCI ! ... MERCI !*

## Référence

[1] **AKROUCHE.Habibe**, « Etude de la réhabilitation de réseau de l'assainissement de la ville de BOUFARIK (W. Blida) » MEMOIRE DE FIN D'ETUDES (2008).

[2] Fiche technique, « Etude et réalisation du collecteur Pointe Pescade 5ème tranche», NF5.342.2.262.116.02.13.

[3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alger>

[4] Fiche technique, « Rapport géotechnique »

[5] Cahier de charge du collecteur Pointe Pescade.

[6] [www.denys.com](http://www.denys.com)

[7] Fiche technique, « présentation du tunnelier », N° : ER,8910.

[8] Fiche technique, « Etudes et réalisation du collecteur Pointe Pescade 5 ème tranche », N°NS.5.342.6.262.116.02.13.

## ملخص

أن التلوث الحاصل في ولاية الجزائر ومع ارتفاع نسبة السكان أزداد كمية مياه الصرف الصحي. حيث يتم ألقائها مباشرة في البحر مما أدى ألي أضرار بيئية مست كل الجوانب و لهذا تم اقتراح فكرة وجود قناة صرف الصحي تتم جمع كل هذه المياه وتحويلها إلي محطة معالجة مياه صرف الصحي .

في هذا العمل سنتكلم عن انجاز مشروع مجمع صرف الصحي بطريقة الحفر تحت الأرض بالة حفر الإنفاق. تتم هذه الطريقة عندما يكون عمق الحفر كبير أو عندما تكون منطقة الحفر ولاية كبيرة كولاية الجزائر لا نستطيع انجاز أعمال الحفر و غلق الطرقات من اجل الإشغال .

وبالتحديد يتم حفر حفرة لإدخال الآلة الحفر وأخرة لإخراجه وتقوم الآلة بالحفر و أخراج التراب و وضع جدار قناة صرف الصحي .

## Résumé

Dans ce travail, on va parler sur la réalisation d'un collecteur d'assainissement du projet Pointe Pescade avec une méthode de creusement souterrain à l'aide d'un tunnelier, dans ce cas on utilise cette méthode quand on trouve une grande profondeur ou bien une grande ville comme la wilaya d'Alger, on ne peut pas arrêter de naviguer pour les travaux.

Pour réalisation ce collecteur doit démarrer à partir d'un puits d'entrée et sortir du puits sortie

Le collecteur de diamètre 2760 mm et une longueur de 2.6 km à l'aide d'un tunnelier.

La réalisation d'un puits de sortie avec des pieux armés pour sortir le tunnelier à la fin de collecteur.

## Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b><i>Chapitre 1 : Zone du projet</i></b>	
1. Zone de réalisation du projet.....	2
1.1. Situation géographique.....	2
1.2. Topographie et géologie .....	3
<b><i>Chapitre 2 : présentation du projet</i></b>	
1. Présentation générale de projet .....	4
2. Présentation de l'entreprise de la réalisation du projet. ....	5
<b><i>Chapitre 3 : présentation du technique</i></b>	
1. Présentation du tunnelier .....	6
2. Phase de fonctionnement du tunnelier .....	7
3. Fabrication des anneaux et des voussoirs.....	8
4. La mise en place des travaux par la méthode de tunnelier .....	9
4.1. Réalisation des puits de sortie et d'entrée du tunnelier.....	10
4.1. Le train suiveur.....	11
4.2. Fabrication de mortier .....	12
4.3. Système de guidage .....	12
4.2. L'exécution des travaux .....	13
4.2.1. Pose des voussoirs.....	13
4.2.2. Injection le mortier.....	14
<b><i>Chapitre 4 : Calcul hydrolique</i></b>	
1. Objectif .....	15
2. Contexte et rappel des hypothèses.....	15
3. Modification de la pente envisagée en cours d'exécution .....	15
4. Modes de fonctionnement de l'ouvrage .....	16
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>21</b>

## Liste de Figure

**Figure 1.** Situation géographique de la zone d'étude.

**Figure 2.** Aperçu globale du collecteur d'eaux usées de la wilaya d'Alger

**Figure 3.**Image d'un tunnelier

**Figure 4.** Phase de fonctionnement du tunnelier

**Figure 5.** Fabrication des voussoirs

**Figure 6.** Vue d'un puits d'entrée

**Figure 7.** Vue d'un puits de sortie

**Figure 8.** Schéma d'un train suiveur

**Figure 9.** un système de guidage.

**Figure 10.** La forme extérieure des anneaux liées.

## Liste de Figure

**Figure 1.** Situation géographique de la zone d'étude.

**Figure 2.** Aperçu globale du collecteur d'eaux usées de la wilaya d'Alger

**Figure 3.**Image d'un tunnelier

**Figure 4.** Phase de fonctionnement du tunnelier

**Figure 5.** Fabrication des voussoirs

**Figure 6.** Vue d'un puits d'entrée

**Figure 7.** Vue d'un puits de sortie

**Figure 8.** Schéma d'un train suiveur

**Figure 9.** un système de guidage.

**Figure 10.** La forme extérieure des anneaux liées.

# INTRODUCTION

## **1. Introduction**

Durant plusieurs années, le phénomène de la pollution de l'eau de mer se propage sur le littoral de la wilaya d'Alger à cause de l'évacuation des eaux usées sans traitement dans le milieu naturel. A cet effet, le ministère des ressources en eau décide d'arrêter ce phénomène et collecter toutes les eaux usées et les acheminer vers la station d'épuration du Baraki.

Les eaux usées ou eaux polluées sont des eaux issues de l'activité humaine. La nature des matières polluantes contenues dans l'effluent dépend de l'origine de ces eaux usées, on distingue : les eaux usées d'origine domestique et les eaux usées d'origine industrielle. L'assainissement des eaux usées a pour objet d'évacuer ces eaux et les collecter, transporter et traiter dans une station d'épuration et en fin les rejeter dans le milieu naturel. [1]

Le présent travail a pour objet la description de la réalisation d'un collecteur d'assainissement dans la wilaya d'Alger qui s'étale de Pointe Pescade au caroubier (constitué de cinq (05) tranches) ; le creusement de la cinquième tranche se fera avec la méthode de creusement souterraine à l'aide d'un tunnelier avec un diamètre de 2500mm et une longueur de 2,6 Km avec une profondeur de 12 à 18 m. [2]

Cette méthode est choisie, vue que la ville d'Alger est une ville surpeuplée. Ce qui nécessite l'utilisation de la méthode de creusement au tunnelier pour la pose des conduites pour éviter l'arrêt de la circulation routière. Aussi, cette méthode est moderne et coûteuse, mais c'est là plus adapté pour la ville d'Alger.

Il est à signaler que la réalisation de tunnel de ce collecteur fait à l'aide d'un tunnelier. Cette machine est absente chez les entreprises algériennes, donc le projet sera réalisé par une entreprise étrangère s'appelle « DENYS ».

Dans un premier chapitre on présentera la zone de réalisation du projet. Ensuite nous allons faire une présentation succincte de l'entreprise « DENYS ». Une présentation du projet avec les différents calculs, les méthodes et le dimensionnement d'un collecteur avec la méthode de creusement tunnelier et on termine le travail par une conclusion générale.

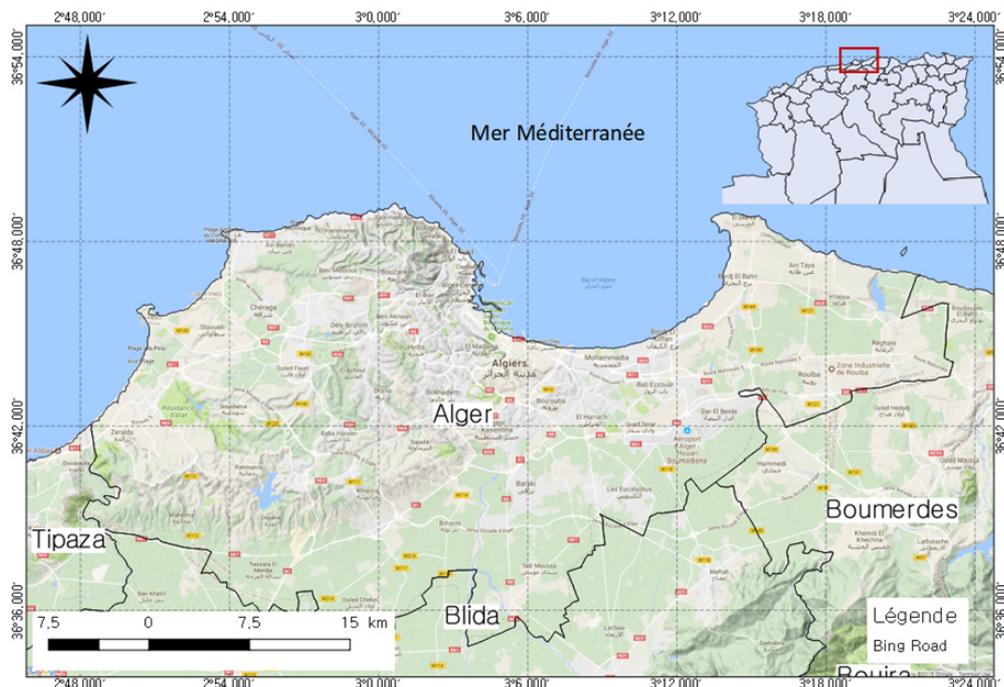
**ZONE DE REALISATION DU PROJET**

## 2. Zone de réalisation du projet

### 2.1. Situation géographique

La wilaya d'Alger est située au Nord - Centre de l'Algérie. Elle occupe une position géostratégique, aussi bien, du point de vue des flux et d'échanges économiques avec le reste du monde, que du point de vue géopolitique (**figure 1**). Elle s'étend sur plus de 810 Km<sup>2</sup> et limitée par : [3]

- La mer méditerranée au nord,
- La wilaya de Blida au Sud,
- La wilaya de Tipaza à l'ouest,
- La wilaya de Boumerdes à l'est



**Figure 1.** Situation géographique de la zone d'étude en 2016.

La wilaya d'Alger totalisait 2 987 160 habitants. En 2016, elle est estimée à 3,6 Millions d'habitants, soit une augmentation de plus de 30% en 8 ans. La densité de la population s'élève à 4 450 habitants par Km<sup>2</sup> (RGPH, 2008). D'ici 2030, la population dépassera la barre de 5 « MH » et pourrait même atteindre 5,3 « MH ». [3]

Avant la réalisation du projet, une étude du terrain sur tous les plans est très importante, afin de prévoir les moyens et les techniques nécessaires pour la mise en place des collecteurs d'eaux usées. Pour cela une étude de la topographie et de la géologie de la zone d'implantation des collecteurs est réalisée.

La topographie du site de réalisation du projet présente un terrain ayant un relief pratiquement plat, la pente varie entre 0% et 0,2 % avec une moyenne de 0.1 % chose qui facilite l'implantation des équipements et des réseaux. [4]

Une campagne géotechnique réalisée a identifié la principale formation suivante :

- Des remblais hétérogènes, sur une épaisseur compris 1.50m à 6.50m,
- Des alternances de sable fin et de grés friables, avec présence locales de microconglomérats ou d'argiles sableuses, sur une épaisseur variant de 4.40 m à 15.30m, et un substratum marneux. [4]

Aussi, il a signalé la présence d'une nappe phréatique juste en dessous de la couche de remblais. L'eau de la nappe phréatique est saumâtre, son hauteur au-dessus de la génératrice supérieure de tunnel projeté varie entre 5.60m et 9m. [4]

Sur le plan géologique, les faciès rencontrés durant la phase de creusement suivant un profil en long du tracé du collecteur sont les suivants :

- De 0.00 à 135,00 mètre linéaire(ml), il s'agit des marnes argileuses, pâteuses, humide de couleur gris-bleue.
- De 135,00 à 767,72 ml, il s'agit des marnes argileuses, pâteuses, humides de couleur grisâtre avec parfois des faibles passages d'argiles sableuses et un passage sableux à 247,00 ml, de 1,50 m d'épaisseur.
- De 767,72 ml à 957, 00 ml, il s'agit d'un sable consolidé de couleur jaune.
- De 957.00 ml à 1123,00 ml, il s'agit d'alternance de marne sableuse et sable consolidé.
- De 1123,00 ml à 1536,00 ml, il s'agit des marnes argileuses, pâteuses, humides de couleur grisâtre avec parfois des faibles passages d'argile sableuse
- De 1536,00 ml à 1543,00 ml, il s'agit d'un sable consolidé.
- De 1543,00 ml à 1581,00 ml, il s'agit des marnes argileuses, pâteuses, humides de couleur grisâtre avec parfois des faibles passages d'argiles sableuse.[5]

# PRESENTATION DU PROJET

### 3. Présentation du projet

Le collecteur de récupération des eaux usées de la wilaya d'Alger (figure 2) est inscrit dans le programme de la wilaya pour le rassemblement de tous les eaux usées au niveau de la wilaya. Ce collecteur est relié à la station d'épuration de Baraki pour le traitement avant de les rejetées dans la mer.

Ce collecteur est composé de cinq (05) tranches (tableau 1), en allant de la pointe Pescade au caroubier. Pour la réalisation des travaux de creusement deux techniques sont utilisées en fonction de la profondeur :

- Moins de six (06) mètres : le creusement se fait par tranchée, ensuite on met la conduite et on fait le remblaiement,
- Plus de six (06) mètres : le creusement se fait par la méthode de tunnelier (objet du présent travail) ; cette méthode est préconisée surtout pour les fonds durs et profonds

Le tableau suivant présente les cinq tranches du projet avec l'état d'avancement dans leur réalisation.

**Tableau 1.** Tranche du collecteur des eaux usées de la wilaya d'Alger.

Tranches	Observation
1. Cap caxine – Rais Hamidou	- Réalisée
2. Rais Hamidou – Bab El Oued	- Non réalisée
3. Bab El Oued – Tafourah	- Réalisée
4. Tafourah – Sablette	- Réalisée
5. Sablette – Caroubier	- En cours de réalisation

Dans le cadre de la réalisation de la cinquième tranche du collecteur d'assainissement, il est prévu de réaliser un collecteur d'assainissement d'une longueur totale de 2.600 ml, avec une pente de 0,1%, pour transférer les eaux usées depuis le Puits P3 (sablettes), au puits P5 (Caroubier). La pente et le profil en long sont imposés par le puits P3 existant, et par le poste de relevage Caroubier existant.

La galerie hydraulique est réalisée en souterrain par la méthode de creusement au tunnelier, le revêtement définitif est en voussoirs en béton armé, assemblés du tunnelier au fur et à mesure de l'avancement du creusement. Le diamètre intérieur de la galerie finie est de 2.760 mm.

Les travaux sont réalisés en milieu urbain (Alger centre), le long de l'autoroute côtière reliant le port d'Alger à Bordj al Kifan.

#### **4. Présentation de l'entreprise de la réalisation du projet :**

DENYS est une entreprise belge de construction fondée en 1923. En 1935, cette entreprise familiale est transformée en société anonyme ayant pour objet l'exécution d'importants travaux de conduites d'eau et de travaux de génie civil. En 1962, la société anonyme est intégrée dans la Compagnie Générale des Conduites d'Eau de Liège.[6]

Depuis 2001, l'activité internationale est en pleine expansion, surtout dans le secteur hydraulique (projets complexes en hydraulique urbaine et rurale et projets d'assainissement) et dans le secteur du transport d'hydrocarbures gazeux et liquides par pipelines.

Denys commence en 2005 avec la construction de bâtiments. Il constitue aujourd'hui une entité à part entière. Aujourd'hui le groupe DENYS compte plus de 2500 employés. 60% de l'activité est réalisée à l'étranger. [6]

Le chiffre d'affaire de DENYS dépasse aujourd'hui les 270 millions d'euro, elle opère depuis de nombreuses années en Europe et en Afrique (Maroc, Algérie, Ghana, Niger, République Démocratique du Congo, Cameroun). DENYS possède des références importantes de réalisation de projets d'infrastructures hydrauliques (captage, traitement, pompage, transfert, stockage, distribution), d'infrastructures d'énergie (construction de pipeline) et infrastructures associées, de génie civil et des travaux souterrains. Les différentes filières sont : canalisation et câbles, tunnels et forages, bâtiments et génie civil, conduite d'eau potable et d'assainissement, rénovation et restauration.[6]

## PRESENTATION DU TECHNIQUE

- *Réalisation d'un collecteur d'eau usée par la méthode de creusement tunnelier*

## 5. Présentation du tunnelier

Un tunnelier est une machine permettant d'excaver des tunnels de section circulaire dans le sol avec un diamètre extérieur de 3.560 m et une longueur totale de machine 9.132 m. [2]

La roue de coupe attaque le front de taille dans sa rotation, une vis de marinage déverse la matière abattue sur des convoyeurs situés à l'arrière du bouclier alors que le vérin hydraulique propulse la machine sans interruption vers l'avant.

Les éléments préfabriqués en béton armé appelé voussoirs sont mises en places à l'abri de la virole du bouclier, une fois complet poser la machine peut prendre appui sur le nouvel anneau du revêtement du tunnel pour progresser dans le terrain.

Un tunnelier assure plusieurs fonctions :

- L'abattage de la roche en face de lui (le front de taille).
- L'évacuation des déblais.
- La mise en place éventuelle d'un soutènement.



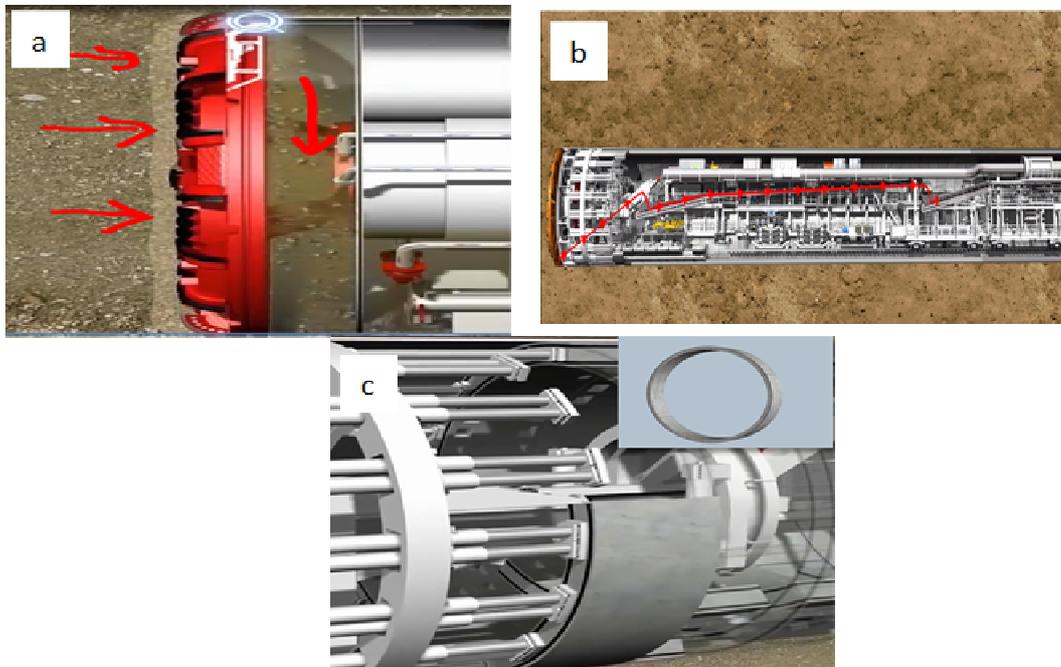
**Figure 3.**Image d'un tunnelier

Dans des conditions optimales de travail, la machine peut creuser jusqu'à 350 mètres par semaine, le volume de matière excavée peut atteindre dans ce cas 40000 mètres cubes et le nombre de voussoir poser plus de 1000, un tel volume de matière abattu nécessite la mise en œuvre de moyens logistiques complexes ,ses équipements sont répartis sur la longe du train suiveur du tunnelier. [2]

## 6. Phase de fonctionnement du tunnelier

Le fonctionnement du tunnelier passe par trois phases pour la mise en place du collecteur des eaux usées (figure 4) :

- **Le creusement**(figure 4. a) : Pendant la phase de creusement la roue de coupe dont la rotation peut atteindre 2,7 tours à la minute et comprimé contre le front de taille avec une force de 400 bars générée par des vérins de poussée hydraulique ; 24 moteurs hydrauliques entraînent la roue par le biais d'une couronne dentée générant un couple de rotation pouvant atteindre 38000 kg Newton. Le terrain peut être conditionné si nécessaire avec de l'eau ou de la mousse provenant de système d'injection embarquer sur le train suiveur. Les buses intégrées dans la roue de coupe injectent le produit de conditionnement respectives dans la boue qui à son tour est injecté dans la chambre d'abattage sous la pression de terre et de l'eau ambiante.
- **La sortie des déblais** (figure 4. b) : Au fur et à mesure que la machine creuse le sol, les déblais produits sont acheminés par un passage dédié vers l'extérieur de la machine.
- **La mise en place des voussoirs (anneaux)** (figure 4. c) : En même temps qu'il creuse, le tunnelier pose des éléments préfabriqués appelés voussoirs, qui tapissent la paroi. A l'intérieur de la machine, les voussoirs sont stockés et déposés au fur et à mesure de sa progression par un érecteur. Les voussoirs déposés sur cette paroi s'emboîtent pour former un anneau.



**Figure 4.**Phase de fonctionnement du tunnelier

### 7. Fabrication des anneaux et des voussoirs

Un anneau complet du tunnel est composé de plusieurs segments appelez voussoir (éléments en béton armé). Ils sont acheminés dans le tunnel sur des wagons jusqu'à la fin du train suiveur.

L'anneau est généralement constitué d'un nombre variable de voussoirs (de 4 à 10) selon la géométrie et les contraintes du tunnel :

- Des voussoirs courants en constituent la plus grande partie
- Deux contre-clés
- Une clé, un voussoir plus petit, qui ferme l'anneau

Pour un anneau complet, il faut donc plusieurs moules différents. L'ensemble des moules nécessaires pour réaliser un anneau complet est appelé un jeu de moules

L'anneau doit pouvoir s'assembler parfaitement dans le tunnel. Chaque moule doit prendre en compte la précision nécessaire de chaque voussoir, de l'ordre de  $3/10^{\text{ème}}$  de millimètre.

Le voussoir en béton dispose également de rajouts nécessaires à la pose et l'assemblage des voussoirs. Ces rajouts qu'on doit retrouver sur chaque voussoir sont aussi intégrés dès l'étape du moule produit par ses usines.

L'entreprise conçoit et fabrique des moules pour la production de ces voussoirs, ainsi que des usines automatisées destinées à améliorer leur rythme de production.

Il y'a une usine spéciale (Baraki en Alger) pour doter d'un véritable processus industriel son rôle fabriquer les anneaux en béton armé.

Pour assurer la continuité des travaux du tunnelier, il est préférable de démarrer l'activité du voussoir avant le tunnelier pour avoir un stock tampon, ainsi il faut vérifier en permanence les moules pour conserver la qualité du voussoir. En général l'usine fabrique le nombre qu'il faut pour un tunnel (12 anneaux par jours).

Pour la construction d'un voussoir, on procède à avoir les prestations suivantes (figure 5) :

- Formation de l'armature du voussoir,
- Nettoyage des moules (a),
- La mise en place des cages de renforts pour les produits (barres de fer sous forme de voussoirs) (a),
- Le bétonnage des moules (b),
- Le séchage durant trois jours (c),
- Démoulage par une grue,
- Transportation et stockage.



**Figure 5.** Fabrication des voussoirs

## 5. La mise en place des travaux par la méthode de tunnelier

Avant le commencement des travaux de creusement par tunnelier, il est nécessaire de réaliser deux puits, l'un pour faire entrer l'appareil et l'autre pour la faire sortie. La réalisation du creusement par tunnelier se base sur les éléments suivants cités en dessous, ces éléments ou étapes se fonctionnent en parallèle des travaux de creusement :

- La pose des voussoirs,
- L'injection du mortier,
- Le transport par le train suiveur ,

Aussi, la construction de la galerie au tunnelier nécessite des moyens en surface « à proximité de puits de départ » et des moyens dans le tunnel même.

A la surface, est prévu le matériel suivant :

- Installation de mélange de mortier ;
- Grue portique ;
- Chargeur pour évacuation des déblais ;
- Emprise de stockage et de préparation des voussoirs ;
- Emprise de stockage des déblais

Dans le puits de départ est prévu

- Installation électrique

### 5.1. Réalisation des puits de sortie et d'entrée du tunnelier

Un puits d'entrée (départ) ou bien un puits d'attaque c'est une fosse et un départ de creusement et aussi la place pour poser le tunnelier pour le démarrage (figure 6).

Le puits réalisé dans le présent travail est un puit rectangulaire pour permettre l'entrée facile de l'appareil. Il possède une longueur de 13.6 m, une largeur de 5 m et une profondeur de 15 m.

Le creusement du puit se fait par une pelle mécanique. Au fur et à mesure du creusement, les murs sont soutenus par le fer pour éviter le glissement du terrain.

A la fin des travaux et mise en service du collecteur les puits seront transformés en des puisards de collecte des eaux usées.



**Figure 6.** Vue d'un puits d'entrée

A la fin de collecteur on à un puits de sortie pour sortir le tunnelier. La méthode utilisée pour réaliser un puits de sortie est mettre des parois mouillées circulaires entourés par le puits de sortie et puis creuser le puits circulaire de profondeur de 19 m et un rayon de 5.05 m.

La réalisation d'une paroi mouillée fait par creusement du sol horizontalement et circulaire par la machine de forage, ensuite une cage et mettre le béton dans ces parois.



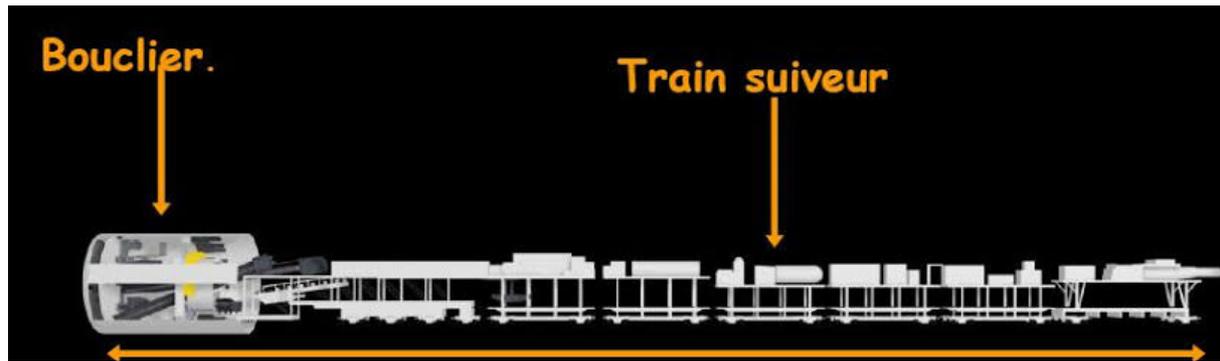
**Figure 7.** Vue d'un puits de sortie

## 5.2. Le train suiveur

Le train suiveur est utilisé pour tous les opérations du transport durant l'exécution des travaux ; citons par exemple le déplacement des voussoirs, du mortier et les déblais. Il est constitué de 7 remorques aux fonctions distinctes (figure 8) : [7]

**Tableau 2.** Description des fonctions des remorques du train suiveur

<b>Remorque</b>	<b>Fonctions</b>
<b>Remorque 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cabine de contrôle, avec opérateur en charge du creusement</li> <li>- Bande transporteuse pour l'évacuation des matériaux excavés</li> <li>- Alimentation en voussoirs ; transport des voussoirs de la logistique tunnel à l'érecteur</li> <li>- Dispositif d'injection de mousse pour conditionnement des matériaux excavés</li> </ul>
<b>Remorque 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bande transporteuse, pour l'évacuation des matériaux excavés</li> <li>- Conduites de ventilation</li> <li>- Fenêtre pour passage du laser guidage</li> <li>- Equipements hydrauliques et électriques, pompe à eau, pompes à graisse</li> </ul>
<b>Remorque 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moteur électrique, raccordé sur la pompe hydraulique principale</li> <li>- Moteurs électriques secondaires</li> <li>- Seconde pompe à graisse</li> </ul>
<b>Remorque 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décharge du convoyeur à bande</li> <li>- Réservoir d'huile hydraulique</li> <li>- Dispositif de refroidissements de l'huile hydraulique</li> <li>- Moteurs pour équipement auxiliaires</li> <li>- Troisième pompe à graisse</li> </ul>
<b>Remorque 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Armoires de distribution électrique</li> <li>- Réservoir d'air comprimé</li> </ul>
<b>Remorque 6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformateur électrique principale</li> <li>- Compresseur d'air</li> <li>- Ventilateur secondaire</li> </ul>
<b>Remorque 7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conduite de ventilation</li> <li>- Enrouleurs pour conduites d'eau</li> <li>- Dispositif de pose des rails</li> <li>- Enrouleur pour câbles électrique</li> </ul>



**Figure 8.** Schéma d'un train suiveur

### 5.3. Fabrication de mortier

Le malaxeur mélange le mortier composé des éléments suivants :

- Filler 405.25 kg
- Ciment 53.5 kg
- Filler+ Ciment 454.75 kg
- Sable 0/1 mm 411.48 kg
- Eau 194.32 litres
- Adjuvant 0.47 kg
- Bentonite 20 kg [7]

Cette formule type, fera l'objet d'essais, et devra être affinée lors des premières semaines de creusement. Cette composition peut être modulée selon des paramètres à prendre en compte tels que les changements de terrain, les arrêts prolongés du tunnelier (mortier moins chargé en ciment et plus chargé en bentonite) ou durant la phase du terrassement (en phase de démarrage ou en configuration définitive).

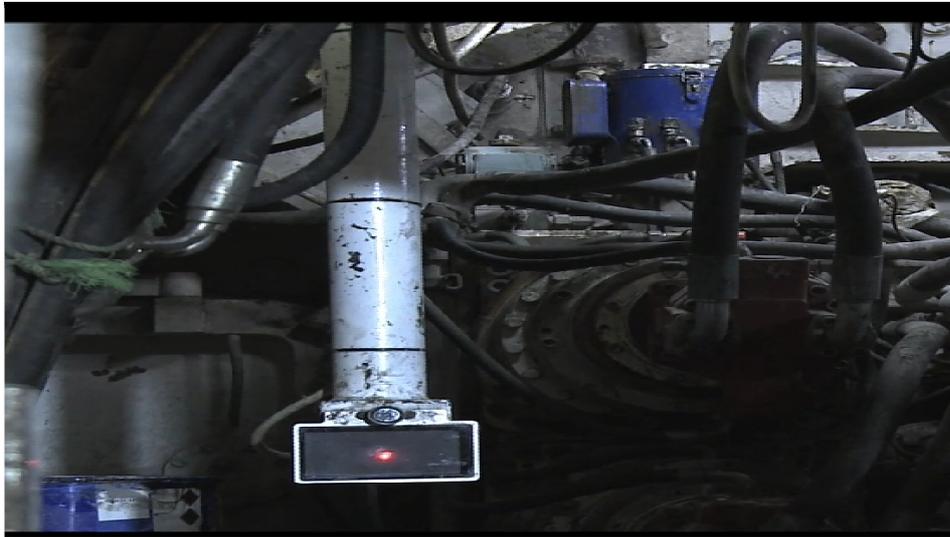
### 5.4. Système de guidage

Le système de guidage utilise 2 capteurs pour capter la position de tunnelier, c'est un système de navigation pour des tunneliers, type mixte et type roche.

Le système est basé sur une station totale (montée sur la paroi du tunnelier) et une câble (placée dans le tunnelier), le système de navigation mesure la position exacte en 3D du tunnelier. Comme base pour la position du tunnelier, on se sert de 2 points connus du système des coordonnées. Le premier point correspondant à la position de la station totale qui se dirige vers la cible. En relation avec le deuxième point (prisme dans tunnel) l'orientation est connue et la direction d'avancement peut être déterminée. Afin d'adapter la trajectoire, la

distance et l'angle vers la cible théorique sont mesurés et calculés. Les nouveaux paramètres de guidage sont insérés. La progression peut continuer. La rotation et le tangage du tunnelier sont déterminés par l'inclinomètre qui est monté dans la cible.

Toutes les mesures sont collectées dans une table électronique dans le tunnelier.



**Figure 9** un système de guidage.

### **5.5. L'exécution des travaux**

Pendant le creusement du sol par le tunnelier les travaux suivant sont réalisés :

- Sortir les déblais issus de l'excavation,
- Transport et pose des voussoirs,
- Transport et injection du mortier ,

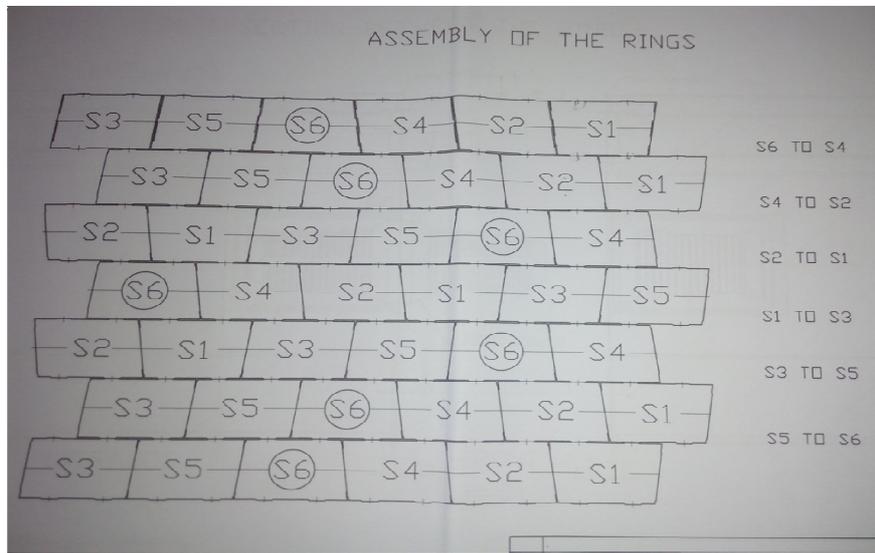
Tous les opérations du transport se feront par un train suiveur en aller et retour entre le puits du départ et le tunnelier.

#### **5.5.1. Pose des voussoirs**

Les voussoirs pesant plusieurs tonnes sont saisis et déplacé par un bras à commande hydraulique appelé érecteurs muni de ventouse à vide. Les recteurs reposent sur de rail de roulement sur lesquels il se déplace ,il peut opérer une rotation et il est équipé d'un télescope. La pose des voussoirs suit toujours le même schéma ; les recteurs saisi le voussoir sur l'alimentation, les vérins de poussée hydraulique se rétracte à l'emplacement du voussoir et ensuite poser à vue d'œil au moyen d'une télécommande. Les vérins hydrauliques ressortant suite pour maintenir le soir dans sa position et le fixer au moyen de vis d'ancrage.

Les voussoirs sont posés en alternant d'un côté puis de l'autre. Après le posage du dernier voussoirs la clé ses flancs biaisé provoque un serrage automatique de l'Anneau. La poste de la clef marque la fin de la séance de pose de l'anneau.

Ensuite le tunnelier continue l'opération de creusement.



**Figure 10** La forme extérieure des anneaux liées.

### 5.5.2. Injection du mortier

L'extrémité du bouclier est appelée jupe elle est munie d'un joint périphérique réalisant l'étanchéité entre la structure en acier du bouclier et l'anneau du tunnel constitué de voussoir.

Ce système garantit l'étanchéité requise entre la chambre de travail intérieur et la pression de terre extérieure, l'espace situé entre la paroi extérieure de l'anneau et le terrain est rempli en permanence de mortier bourré au travers d'orifice dans la jupe ou le voussoir le mortier injecté dans l'espace annulaire sert à consolider la galerie.

Le mortier est transféré depuis la centrale de fabrication jusqu'à un malaxeur de reprise de 6m<sup>3</sup> placé en bordure du puits de départ. Ensuite, il est acheminé jusqu'au train de marinage, qui est équipé de wagons prévus à cet effet.

Chaque train de marinage est ainsi équipé d'un bac malaxeur de transport équipé d'agitateurs, ce qui permet d'assurer le transfert du mortier du puits de départ vers tunnelier. A l'arrivée au tunnelier, le mortier est transféré dans le bac de reprise, plus pompé à travers la jupe.

L'injection s'effectuera par pression de 2.0 bars à chaque avancement du tunnelier.

# CALCUL HYDRAULIQUE

### 3. Objectif

L'objectif de la présente note de calcul hydraulique est d'étudier l'impact d'un changement de pente du collecteur gravitaire sur la vitesse d'écoulement des effluents, et sur la sédimentation de ce dernier. En particulier à vérifier que la vitesse  $v$  des effluents vérifie l'inégalité.

$$V > 0.6 \text{ m/s}$$

### 4. Contexte et rappel des hypothèses

Le collecteur est excavé au tunnelier à pression de terre, entre le puits de départ « p3 » (sablettes), et le puits de réception « p5 » (caroubier). Le collecteur est revêtu en voussoirs en béton armé préfabriqués, les parements intérieurs sont lisses, le diamètre intérieur du collecteur est de 2.760mm.

Le collecteur a initialement été dimensionné avec une pente en long constante de 1 ‰. La construction du collecteur a démarré depuis le P3 (chainage 0+000), vers le puits P5 (chainage 2+580m). Le collecteur est donc construit en descendant. [8]

### 5. Modification de la pente envisagée en cours d'exécution

En cours de creusement il a été constaté que la pente constante  $i = 1 \text{ ‰}$  ne pourrait être respectée, sans créer une contrepente au niveau du raccordement entre le puits P5, et le poste de relevage existant « PR05 ». Pour éviter cette situation, il est envisagé de réduire la pente en long à partir du chainage 0+800m, conformément du principe suivant :

**Tableau 3.** Tableau sur les données de changement la pente.[8]

Chainage	0+000	0+800	2+572	2+580
Ouvrage	Puits P3		Puits P5	Poste de relevage
Fil d'eau NGA	-10.80	-11.61	-12.82	-12.87
Pente		(-) 1 ‰	(-) 0.7 ‰	

On a changé la pente parce que dans le démarrage de creusement

**6. Modes de fonctionnement de l’ouvrage**

A l’horizon 2030, les débits ci-après seront canalisés par le collecteur :

Débit de jour  $Q_j-2030 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Débit de nuit  $Q_n-2030 = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Au moment de la mise en service de l’ouvrage, le débit canalisé sera  $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . [8]

**a. Fonctionnement du collecteur à section pleine**

Les tableaux suivants permettent de calculer les débits à section pleine, pour des pentes de 1‰ et de 0.7‰ respectivement. Pour une pente en long  $i = 1‰$

**Tableau 4.** Calcul des débits à section pleine pour la pente  $i = 1‰$  [8]

K=1.5 Q      V	K=1.75		K=0.50		K=0.25		K=0.10		1.00% (1.1000)  DN
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	
6598   159	7102	1.71	7396	1.78	7842	1.89	8355	2.01	2300
7376   163	7937	1.75	8235	1.82	8762	1.94	9336	2.06	2400
8208   167	8829	1.80	9180	1.87	9745	1.99	10384	2.12	2500
9 095   171	9781	1.84	10169	1.92	10794	2.03	11702	2.017	2600
1141   197	11868	1.93	12336	2.00	3812	2.3	13952	2.27	2800

Pour une pente de 1‰, le débit à section s’établit à  $Q = 11.041 \text{ l/s}$ . La vitesse correspondante est  $v = 1.76 \text{ m/s}$ .

Le coefficient de rugosité  $k=1.50 \text{ mm}$  correspond à un béton coulé en place, c’est la valeur de rugosité la plus élevée. [8]

**Pour une pente en long  $i = 0.7‰$**

**Tableau 5.** Calcul des débits à section pleine pour la pente  $i = 0.7\text{‰}$  [8]

K=1.50		K=75		K=0.50		K=0.25		K=0.10		0.70‰ (1.1429)
Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	DN
5516	1.33	5933	1.43	6167	1.48	6538	1.57	6946	1.67	2300
6166	1.36	6631	1.50	6891	1.52	7306	1.61	7762	1.72	2400
6862	1.40	7377	1.50	7666	1.56	8126	1.66	8635	1.76	2500
7603	1.34	8172	1.54	8492	1.60	9001	1.70	9566	1.80	2600
9230	1.50	9916	1.61	10302	1.67	10919	1.77	11605	1.88	2800

Pour une pente de  $0.7\text{‰}$ , le débit à section pleine s'établit à  $Q = 9.230$  l/s. La vitesse correspondante est  $v = 1.50$  m/s.

#### b. Fonctionnement du collecteur pour les débits $Q_j_{2030}$ , $Q_n_{2030}$ et $Q$

Pour les débits partiels  $Q_j_{2030}$ ,  $Q_n_{2030}$  et  $Q$  l'écoulement dans le collecteur se fait à surface libre. On a des tables liant les grandeurs  $Q_p/Q$  et  $V_p/V$ , ce qui permet de déterminer la vitesse partielle  $V_p$  d'écoulement de l'effluent à surface libre.[8]

#### Vitesse partiel pour $Q_p = Q_j_{2030}$

- Pour  $i = 1\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 5.000/11.041 = 0.453$
- Pour  $i = 0.7\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 5.000/ 9.230 = 0.542$

Les tableaux suivants permettent alors de calculer les ratios  $v_p/v$  correspondants, et de déduire  $v_p$  :

**Tableau 6.** Calcul des ratios  $V_p/v$  pour  $Q_p = Q_j_{2030}$  [8]

$Q_r/Q_v$	$V_r/V_v$	$H_T/D$	$A_T/A_v$	$I_{U,T}/I_{U,v}$	$R_{h,y,T}/r_{h,y,v}$	$B_T/d$	$Q_T/Q_v$
0.440	0.970	0.464	0.454	0.477	0.952	0.997	0.440
0.450	0.975	0.470	0.462	Pour $i=1\text{‰}$	0.960	0.998	0.450
0.460	0.960	0.476	0.469		0.966	0.999	0.460
0.470	0.985	0.482	0.477	0.489	0.976	0.999	0.470
0.480	0.990	0.488	0.485	0.492	0.984	1.000	0.480
0.490	0.995	0.494	0.492	0.496	0.992	1.000	0.490
0.500	1.000	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	0.500
0.510	1.005	0.506	0.508	0.504	1.008	1.000	0.510
0.520	1.009	0.512	0.515	0.508	1.015	1.000	0.520
0.530	1.014	0.518	0.523	0.511	1.022	0.999	0.530
0.540	1.018	0.524	0.530	Pour $i=0.7\text{‰}$	1.029	0.999	0.540
0.550	1.023	0.530	0.538		1.036	0.998	0.550

- Pour  $i=1\text{‰}$   $v_p/v = 0.977$ , d'où  $v_p = 0.977 \cdot 1.79 \text{ m/s} = 1.749 \text{ m/s}$
- Pour  $i=0.7\text{‰}$   $v_p/v = 1.019$ , d'où  $v_p = 1.019 \cdot 1.50 \text{ m/s} = 1.529 \text{ m/s}$

#### Vitesse partielle pour $Q_p = Q_n_{2030}$

- Pour  $i = 1\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 1.200/11.041 = 0.109$
- Pour  $i = 0.7\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 1.200/9.230 = 0.130$

Les tableaux suivants permettent alors de calculer les ratios  $v_p/v$  correspondants, et de déduire  $v_p$  :

**Tableau 7.**Calcul des ratios  $V_p/v$  pour  $Q_p = Q_n_{2030}$

$Q_r/Q_v$	$V_t/V_v$	$H_T/D$	$A_T/A_v$	$l_{u,T}/l_{u,v}$	$R_{h,y,T}/r_{h,y,v}$	$B_T/d$	$Q_T/Q_v$
0.095	0.643	0.205	0.148	0.299	0.493	0.808	0.095
0.100	0.653	0.211	0.153	Pour $i=1\text{‰}$		0.816	0.100
0.110	0.670	0.221	0.164			0.830	0.110
0.120	0.686	0.231	0.175	Pour $i=0.7\text{‰}$		0.843	0.120
0.130	0.702	0.241	0.185			0.855	0.130
0.140	0.716	0.250	0.195	0.330	0.580	0.866	0.140
0.150	0.730	0.259	0.205	0.340	0.604	0.876	0.150

- Pour  $i=1\text{‰}$   $v_p/v = 0.668$ , d'où  $v_p = 0.668 \cdot 1.79 \text{ m/s} = 1.196 \text{ m/s}$
- Pour  $i=0.7\text{‰}$   $v_p/v = 0.702$ , d'où  $v_p' = 0.702 \cdot 1.50 \text{ m/s} = 1.053 \text{ m/s}$

**Vitesse partielle pour  $Q_p = Q$**

- Pour  $i = 1\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 500/11.041 = 0.045$
- Pour  $i = 0.7\text{‰}$ ,  $Q_p/Q = 500/ 9.230 = 0.054$

Les tableaux suivants permettent alors de calculer les ratios  $v_p/v$  correspondants, et de déduire  $v_p$  :

**Tableau 8.**Calcul des ratios  $V_p/v$  pour  $Q_p = Q$  [8]

$Q_r/Q_v$	$V_t/V_v$	$H_T/D$	$A_T/A_v$	$l_{u,T}/l_{u,v}$	$R_{h,y,T}/r_{h,y,v}$	$B_T/d$	$Q_T/Q_v$
0.042	0.510	0.137	0.082	0.241	0.341	0.687	0.042
0.044	0.518	0.140	0.085	Pour $i=1\text{‰}$		0.349	0.044
0.046	0.594	0.143	0.088			0.355	0.700
0.048	0.530	0.146	0.091	0.250	0.363	0.706	0.048
0.050	0.537	0.146	0.093	0.252	0.369	0.712	0.050
0.055	0.591	0.149	0.100	Pour $i=0.7\text{‰}$		0.386	0.055
0.060	0.565	0.156	0.106			0.265	0.401
0.065	0.578	0.163	0.112	0.270	0.416	0.751	0.065
0.070	0.590	0.170	0.119	0.276	0.430	0.762	0.070
0.075	0.602	0.176	0.125	0.281	0.444	0.772	0.075

- Pour  $i = 1\text{‰}$   $v_p/v = 0.521$ , d'où  $v_p = 0.521 \cdot 1.79 \text{ m/s} = 0.933 \text{ m/s}$
- Pour  $i = 0.7\text{‰}$   $v_p/v = 0.548$ , d'où  $v_p' = 0.548 \cdot 1.50 \text{ m/s} = 0.822 \text{ m/s}$

**c. Résultat du calcul de fonctionnement du collecteur**

- Pour  $Q_p = Q_j_{2030}$  le changement de pente en long de  $i = 1\text{‰}$  à  $i = 0.7\text{‰}$  entraîne une légère diminution de la vitesse d'écoulement de l'effluent, qui passe de  $v_p = 1.749 \text{ m/s}$  à  $v_p' = 1.529 \text{ m/s}$ . La vitesse d'écoulement reste suffisante pour assurer un écoulement sans sédimentation.
- Pour  $Q_p = Q_n_{2030}$  le changement de pente en long de  $i = 1\text{‰}$  à  $i = 0.7\text{‰}$  entraîne une légère diminution de la vitesse d'écoulement de l'effluent, qui passe de  $v_p = 1,196 \text{ m/s}$  à  $v_p' = 1.053 \text{ m/s}$ . La vitesse d'écoulement reste suffisante pour assurer un écoulement sans sédimentation.
- Pour  $Q_p = Q$  le changement de pente en long de  $i = 1\text{‰}$  à  $i = 0.7\text{‰}$  entraîne une légère diminution de la vitesse d'écoulement de l'effluent, qui passe de  $v_p = 0.933 \text{ m/s}$  à  $v_p' = 0.822 \text{ m/s}$ . La vitesse d'écoulement reste suffisante pour assurer un écoulement sans sédimentation.

En général. Pour les 3 modes de fonctionnement du collecteur associés aux débits transportés  $Q_j_{2030}$ ,  $Q_n_{2030}$  et  $Q$ , les vitesses partielles d'écoulement sont toujours supérieures à  $0.6 \text{ m/s}$  (= vitesse critique sédimentation), du même avec une pente en long de  $0.7\text{‰}$ , en lieu et place de  $1\text{‰}$ .

## CONCLUSION GENERALE

## *Conclusion générale*

La réalisation du collecteur des eaux usées de la wilaya d'Alger permette de collecter la majorité des eaux usées de la ville d'Alger. Les eaux usées collectées seront dirigées vers la station d'épuration Baraki pour subir le différent traitement biologique et physique. Ce collecteur participe à la protection de la mer contre la pollution des eaux usées. C'est une bonne étape qui affecte positivement tous les domaines surtout le domaine du tourisme et de l'exploitation des plages

La méthode de creusement tunnelier est une méthode très chère, mais c'est le moyen le plus adapte pour la réalisation de ce collecteur dans la ville d'Alger ; afin d'éviter tout dérangement de la population ou de la circulation routière. La technologie joue un grand rôle en facilitant le travail, et pour avoir des constructions de haute qualité.

Pour toute appareil ou technologie nous avons des avantages et des inconvénients

Les principaux avantages de la méthode de creusement tunnelier sont :

- Ne pas arrêter le mouvement de la surface : Il y a des zones où le trafic ne peut pas être arrêté comme le cas d'Alger(un district administratif),
- Une bonne qualité d'exécution et une bonne rentabilité.
- Vitesse d'achèvement,
- Réalisation de longues distances dans un temps record,
- Éviter les problèmes associés aux méthodes traditionnelles (comme creuser une route et ne pas être en mesure de le retourner à un cas primaire),
- Pas affecte par le climat comme fortes pluies et vent sur le projet parce que le travail s'effectue en sous terrain.

Aussi, nous notons quelques inconvénients qui ne diminuent pas de l'efficacité de la méthode :

- Prix très cher par rapport aux méthodes normales estimées à 3 fois,
- Réduire le nombre de travaux et remplacer l'homme par la machine,
- La difficulté de résoudre les problèmes dans le tunnelier, dans la machine ou le tunnel, vue la difficulté du déplacement (une entrée et une sortie avec une longue distance)
- Le tunnelier marche seulement vers l'avant ce qui rend difficile son éjection en cas d'arrêt.

Enfin, nous pouvons conclure que l'utilisation de creusement souterrain à l'aide d'un tunnelier est une méthode très efficace pour réaliser un collecteur dans les grandes villes. Les travaux se réalisent sans grand gêne aux gens et/ou à la navigation routière. A cet effet, nous préconisons l'utilisation de cette méthode puissante et souveraine que les autres méthodes malgré qu'elle est très coûteuse.

## **Référence**

[1] **AKROUCHE.Habibe**, « Etude de la réhabilitation de réseau de l'assainissement de la ville de BOUFARIK (W. Blida) » MEMOIRE DE FIN D'ETUDES (2008).

[2] Fiche technique, « Etude et réalisation du collecteur Pointe Pescade 5ème tranche», NF5.342.2.262.116.02.13.

[3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alger>

[4] Fiche technique, « Rapport géotechnique »

[5] Cahier de charge du collecteur Pointe Pescade.

[6] [www.denys.com](http://www.denys.com)

[7] Fiche technique, « présentation du tunnelier », N° : ER,8910.

[8] Fiche technique, « Etudes et réalisation du collecteur Pointe Pescade 5 ème tranche », N°NS.5.342.6.262.116.02.13.