

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la construction
Département Génie civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme

De Master en Génie Civil

Option : Construction Hydraulique et aménagements (CHA)

Thème

*Contribution au dimensionnement d'une conduite d'égouts de forme
« ovoïde »*

Réalisé par :

M^r : Amrouni Abderrahim

M^r : Achir Rafik

Encadré par :

M^r : Hammoum Hocine

Co-encadrée :

M^{me} : Bouzelha Karima

Promotion 2023-2024

Remerciements

Nous tenons à exprimer toutes nos profondes reconnaissances pour notre promoteur **Mr Hammoum Hocine** professeur au département de Génie Civil de l'UMMTO pour avoir acceptée de nous encadrer et pour sa disponibilité, son aide précieuse, sa patience, de nous avoir encouragés tout au long de ce travail.

Un grand remerciement à **madame Bouzelha Karima** professeur au département de Génie Civil de l'UMMTO pour sa disponibilité, son aide précieuse, sa patience, de nous avoir encouragés tout au long de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à tous les enseignants, pour l'aide, l'encouragement et les moyens qu'ils ont mis à ma disposition pour mener à terme notre travail.

Nous saisissons également cette opportunité pour remercier les membres du jury d'avoir acceptés de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage.

En fin Nous tenons à remercier sincèrement, l'ensemble du corps enseignant de l'université MOULOUD MAMMERY ; faculté de génie de la construction spécialement département génie civil.

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leur encouragement et soutien dans mes études.

A mon grand frère Hichem.

A mes petites sœurs Sarah et Ikram

A toute ma grande famille : tantes, oncles, cousins et cousines

A mes grands-mères maternelles et paternelle

A mes camarades de M2 CAA

En fin, je remercie mon binôme, Rafik.

Abderrahim 

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leur encouragement et soutien dans mes études.

A ma petite et Unique sœur

A mon épouse et à mes enfants

A mes camarades de M2 CHA

Et toute personne qui a contribué dans ce modeste travail

En fin, je remercie mon binôme, Rahim.

Rafik 

Introduction générale

Chapitre 1 : Etat de l'art

Introduction	1
1.1 Forme usuelle des égouts	1
1.2 Définition de l'ovoïde	1
1.3 Avantage de la forme ovoïde.....	2
1.4. Fonctionnement hydraulique de l'ovoïde.....	4
1.5. Différentes expériences dans le monde	4
1.6 Différents modèles d'ovoïde.....	5
1.7 Cas d'étude dans monde.....	6
1.7.1 Egouts de paris.....	6
1.7.2 Les égouts de Londres	9
1.7.3 Les égouts de Tizi-Ouzou	11
Conclusion.....	12

Chapitre 2 : Dimensionnement d'une conduite ovoïde sous écoulement à surface libre

Introduction	13
2.1. Caractéristiques géométriques de la conduite	13
2.1.1. Etapes de construction de la section Ovoïde	13
2.1.2. Calcul du rayon R	14
2.2. Détermination des caractéristiques de l'écoulement	14
2.2.A $0 \leq h \leq 2r$ ou $0 \leq h \leq 2/3$	15
2.2.B $H=3r$ ($h/H=1$) - Section pleine	18
2.2.C $2/3r \leq h \leq 3r$ ou $2/3 \leq h \leq 1$	20
2.3. Construction d'un abaque pour un dimensionnement graphique de la conduite	22
ovoïdale	22
2.4. Traiter un cas d'égout.....	24
Conclusion.....	26

Chapitre 3 : cas d'étude

Introduction.....	27
3.1 Description du projet.....	27
3.2 Dimensionnement de la variante ovoïde	30
Résultats et interprétations	32
3.3 Dimensionnement de la variante circulaire	32
Résultats et interprétations	33
3.4 Comparaison solution ovoïde – solution circulaire.....	34
Résultats et interprétations	35
3.5 Application de la méthode graphique.....	35
Conclusion.....	36

Conclusion générale**Références bibliographie****Annexe**

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Différents modèles de l'ovoïde	6
(Hammoum, 2024).	6
Figure 1.2 : Egouts de paris.....	7
Figure 1.3 : Egouts de paris sous la Seine.....	8
Figure 1.4 : Déficit techniques.	8
Figure 1.5 : Égouts de Paris (Souterrain de paris, France).....	9
(Belgrand, 1865).....	9
Figure 1.6 : Illustration des égouts de Londres	10
Figure 1.7 : Construction du réseau d'égout (Halliday, 1999).	11
Figure 1.8 : Modèle type d'un Ovoïde	12
Figure 2.1 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde.	14
Figure 2.2 : Caractéristiques géométriques de la conduite ($h < 2r$).	15
Figure 2.3 : Caractéristiques géométriques de la conduite ($2r \leq h \leq 3r$).....	20
Figure 2.4 : Construction de l'abaque	23
Figure 2.5 : Abaque	24
Figure 2.7 : Organigramme de la méthode graphique du dimensionnement de conduite de section ovoïdale.....	25
Figure 2.6 : Organigramme de la méthode analytique pour le dimensionnement de conduite de section ovoïdale.....	26
Figure 3.1 : Tracé souterrain du tunnel sous la RN23A.(AFRICAN GEOSYSTEM COMPANY).....	28
Figure3.2 : Hydrogramme de la crue vingtennale du réseau hydrographique de la vallée des jardins.....	30
Figure 3.3 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour le débit de dimensionnement avec une vingtaine de solution potentielle.	32
Figure 3. 4 Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour un débit de 23,5m ³ /s sur plusieurs sections de conduite circulaire	34
Figure 3.5 : Comparaison entre les vitesses et les hauteurs d'eau de l'ovoïde et du circulaire. 35	
figure 3.6: évolutions des vitesses et des hauteurs pour un même Aps à débit variable	39

Tableau 3.1 valeur de débit en fonction de temps	29
Tableau 3.2 : Note de calcul du dimensionnement de la conduite de section ovoïde faisant l'objet d'étude.	31
Tableau 3.3 / Note de calcul du dimensionnement d'une conduite de section circulaire équivalente ;	33
Tableau 3.4 résultat du calcul graphique (abaque2.5).....	36
Tableau 3.5 comparaison entre les deux méthodes (analytique, graphique).....	36
Tableau 3.6 calcule des vitesses et hauteur d'un section ovoïde a débit variable	37
Tableau 3.7 calcule des vitesses et hauteur d'un section circulaire a débit variable	38

On désigne par égout une canalisation destinée à collecter les différentes eaux (usées et pluviales). D'après la littérature, le premier réseau d'égout remonterait au 3^{ème} millénaire avant J.C

Les premiers réseaux ont soit été creusés à même la roche ou plus tard construits en maçonnerie. Quant aux formes, on favorisa d'abord la forme rectangulaire, puis en fer à cheval avant de généraliser la forme circulaire.

La forme ovoïde est apparue au milieu du 19^{ème} siècle (Hervieux, 1897). Cette forme est particulièrement bien adaptée au régime hydraulique des égouts qui transportent aussi bien des effluents avec un faible débit (en été) que des pluies d'orages en hiver, qui peuvent saturer leur capacité hydraulique.

L'étranglement de la cunette de la section d'égout de forme ovoïde assure une vitesse minimale aux effluents de temps sec faible hauteur d'eau, évitant ainsi la formation de dépôts solides. Il est bien connu que cette forme géométrique favorise l'autocurage.

On a créé au fil du temps bon nombre de types d'ovoïde et les plus connus sont les standards Anglais (old form) et (New Egg Shape). Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons à une forme particulière d'ovoïde dite forme exceptionnelle, qui dans sa partie inférieure est formée par un tracé des arcs brisés qui se rapproche de la forme triangulaire dont la géométrie sera détaillée en chapitre 2.

L'objectif de cette étude est de poser les équations de l'écoulement pouvant aboutir à proposer un abaque dans le but de permettre à l'ingénieur de mener des études par une approche graphique.

Pour mener à bien ce travail, nous l'avons reparti en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la présentation des différentes canalisations utilisées dans les réseaux d'assainissement, particulièrement les canalisations de forme ovoïdale. Différents modèles d'ovoïde utilisés dans le monde seront présentés.

Le deuxième chapitre est dédié au dimensionnement des conduites de forme ovoïdale, en considérant un écoulement permanent et uniforme. Une méthode analytique sera développée pour l'usage. Un abaque donnant le rapport des vitesses et le rapport des débits sera proposé pour les amateurs de la méthode graphique.

Le troisième chapitre fera l'objet d'une étude d'un cas concret. Les résultats seront comparés au cas d'une conduite circulaire de section pleine équivalente et véhiculant le même débit pour illustrer l'intérêt de la conduite de section ovoïdale.

CHAPITRE 1 :

ETAT DE L'ART

Introduction

Dans ce premier chapitre, intitulé état de l'art, nous présentons les différentes canalisations utilisées dans les réseaux d'assainissement. Nous nous intéressons particulièrement aux canalisations de forme ovoïdale. Ainsi, nous exposons les avantages de cette forme, son fonctionnement hydraulique, les différents modèles d'ovoïde ainsi que des cas d'études dans le monde.

1.1. Forme usuelle des égouts

Les canalisations de petits diamètres sont généralement circulaires dans les réseaux d'assainissement. Cependant, il existe également d'autres formes, notamment la forme ovoïde. Les canalisations ovoïdes ont une section transversale en forme d'œuf. Elles sont moins courantes que les formes circulaires, mais elles offrent une vitesse plus élevée pour une même pente et débit. Ces canalisations sont souvent utilisées dans les grands réseaux d'assainissement (Bonnin, 1986).

Il existe aussi d'autres formes de conduite, utilisées dans l'assainissement, tels que (Bonnin, 1986) :

- **Forme rectangulaire**

Les canalisations rectangulaires sont fréquemment utilisées pour les égouts pluviaux et les canaux de drainage.

- **Forme trapézoïdale**

Les canalisations trapézoïdales sont adaptées aux canaux d'irrigation et aux petits cours d'eau.

Chaque forme a ses avantages et inconvénients en fonction de l'application spécifique (Bonnin M., 1986). Dans notre étude on parlera de contribution au dimensionnement d'une section ovoïde dans le cas d'un écoulement à surface libre.

1.2. Définition de l'ovoïde

Un ovoïde désigne une canalisation des égouts de section ovoïde. Cette forme particulière empêche la sédimentation grâce à une vitesse supérieure de l'eau à faible débit dans la partie inférieure, plus étroite (écoulement de Poiseuille). En d'autres termes, l'ovoïde permet un écoulement plus efficace et réduit les risques d'accumulation de matières dans la canalisation (Butler et Davies, 2016).

1.3. Avantage de la forme ovoïde

La forme ovoïde, souvent utilisée dans les conduites d'égouts, présente plusieurs caractéristiques mécaniques avantageuses. Voici un aperçu des principales caractéristiques mécaniques de cette forme (Butler et Davies, 2016) :

a- Efficacité hydraulique

- **Flux optimisé** : La forme ovoïde favorise un écoulement plus efficace des liquides par rapport à des sections circulaires ou rectangulaires, surtout à bas débits.
- **Autonettoyage** : À faible débit, l'écoulement reste concentré dans la partie inférieure, ce qui aide à prévenir l'accumulation de sédiments et facilite et augmente la capacité d'autonettoyage.
- Les conduites ovoïdales offrent une plus grande capacité de transport d'eau par rapport aux conduites circulaires de même périmètre.
- Elles s'adaptent bien aux contraintes d'espace et peuvent être enterrées plus profondément sans augmenter leur diamètre.

En résumé, les conduites de forme ovoïdale présentent des caractéristiques hydrauliques uniques qui les rendent adaptées à certaines situations.

b- Réduction des dépôts

- **Profil inférieur** : La base étroite de la section ovoïde permet de maintenir une vitesse d'écoulement suffisante pour transporter les solides, réduisant ainsi la formation de dépôts et les coûts de maintenance.

c- Stabilité structurelle

- **Distribution des charges** : La forme ovoïde distribue les charges de manière plus uniforme par rapport à une section circulaire. Cela augmente la résistance de la conduite sous les charges de terre et de trafic.
- **Rigidité accrue** : La géométrie ovoïde offre une plus grande rigidité structurelle, rendant les conduites plus résistantes aux déformations sous les charges externes.

d- Capacité de stockage

- **Volume de stockage** : En cas de fortes précipitations ou de surcharge, la partie supérieure plus large de l'ovoïde peut stocker temporairement un plus grand volume d'eau, réduisant ainsi le risque de débordement.

e- Facilité de construction

- **Adaptabilité** : Les conduites ovoïdes peuvent être plus faciles à intégrer dans des environnements urbains complexes grâce à leur forme qui peut s'adapter à des espaces restreints.
- **Matériaux variés** : Elles peuvent être construites à partir de divers matériaux, y compris la brique, le béton et les composites modernes, offrant flexibilité et durabilité.

En résumé, l'ovoïde offre une alternative efficace et économique aux canalisations circulaires traditionnelles.

Dans l'article intitulé "Écoulement uniforme dans la conduite de forme ovoïdale" par (Achour et Riabi, 2011), l'auteur explore les caractéristiques géométriques et hydrauliques des conduites de forme ovoïdale. Voici un aperçu des sujets abordés dans cet article:

➤ Caractéristiques géométriques :

- L'auteur examine les propriétés géométriques spécifiques des conduites ovoïdales.
- Il décrit les dimensions et la forme de ces conduites.

➤ Caractéristiques de l'écoulement :

- L'article se penche sur les propriétés hydrauliques, telles que la conductivité relative et le coefficient de résistance.
- Différentes formules, telles que la formule de Chézy et la formule de Manning-Strickler, sont étudiées pour évaluer l'écoulement.

➤ Calcul de la profondeur normale par la méthode du modèle rugueux (MMR) :

- L'article présente une méthode pour calculer la profondeur normale dans les conduites ovoïdales.

En résumé, l'article d'Achour et Riabi offre une analyse approfondie des propriétés hydrauliques des conduites de forme ovoïdale, ce qui peut être utile pour la conception et la gestion de ces systèmes.

1.4. Fonctionnement hydraulique de l'ovoïde

Parlons du fonctionnement hydraulique des conduites de forme ovoïdale. Voici quelques points importants à considérer :

a- Vitesse de l'eau

- La vitesse de l'eau dans une conduite dépend du débit et de la section transversale. Dans une conduite ovoïdale, la vitesse est plus élevée près de la partie supérieure (la plus large) et plus faible près de la partie inférieure (la plus étroite).
- La vitesse maximale se produit généralement à la surface libre, là où l'écoulement est le plus profond.

b- Hauteur d'eau

- La hauteur d'eau dans une conduite ovoïdale varie également le long de la section transversale. Elle est plus grande au centre (partie supérieure) et diminue vers les bords (partie inférieure).
- La hauteur d'eau est essentielle pour déterminer la capacité de la conduite et la quantité d'eau qu'elle peut transporter.

c- Débit

- Le débit est la quantité d'eau qui passe à travers la conduite par unité de temps. Il est lié à la vitesse et à la section transversale.
- Les conduites ovoïdales peuvent gérer des débits plus élevés que les conduites circulaires de même diamètre.

1.5. Différentes expériences dans le monde

Les conduites de forme ovoïdale sont utilisées dans le monde entier pour l'assainissement et le drainage. Voici quelques exemples d'expériences et d'applications (David et John, 2004)

a- Égouts urbains

- Dans les villes, les conduites ovoïdales sont utilisées pour collecter et transporter les eaux usées et les eaux pluviales.
- Leur forme ovoïdale permet de maximiser la capacité de transport tout en utilisant un espace restreint.

b- Réseaux d'irrigation

- Dans l'agriculture, les conduites ovoïdales sont utilisées pour l'irrigation des cultures.
- Leur conception permet une distribution efficace de l'eau dans les champs.

c- Drainage des routes et autoroutes

- Les conduites ovoïdales sont installées sous les routes pour collecter les eaux de ruissellement.
- Elles aident à prévenir les inondations et à maintenir les routes en bon état.

d- Applications industrielles

- Dans les usines et les installations industrielles, les conduites ovoïdales sont utilisées pour le transport de liquides et de déchets.
- Leur forme permet de gérer des débits élevés.

En somme, les conduites de forme ovoïdale sont polyvalentes et s'adaptent à diverses situations hydrauliques.

1.6 Différents modèles d'ovoïde

Les modèles ovoïdes sont disponibles en différentes tailles et configurations pour répondre à une large gamme d'applications d'assainissement. Ils sont couramment utilisés dans les réseaux d'égouts municipaux, les systèmes de collecte des eaux pluviales et les installations de traitement des eaux usées (**Williams et Dickinson, 1996**)

Voici quelques-uns des différents types de modèles ovoïdes utilisés dans l'assainissement (Figure 1.1) :

- **Modèles à fond plat** : Ces modèles ovoïdes ont un fond plat qui offre une surface plane pour l'installation de tuyaux et d'autres équipements. Ils sont couramment utilisés dans les applications où l'espace est limité.
- **Modèles à fond conique** : Ces modèles ovoïdes ont un fond conique qui favorise la collecte et l'évacuation des eaux usées. Ils sont couramment utilisés dans les applications où il est important de minimiser le risque de formation de dépôts
- **Modèles à plusieurs compartiments** : Ces modèles ovoïdes sont divisés en plusieurs compartiments qui peuvent être utilisés pour séparer différents types d'eaux usées ou

pour fournir des étapes de traitement supplémentaires. Ils sont couramment utilisés dans les installations de traitement des eaux usées.

Le choix du type de modèle ovoïde approprié pour une application particulière dépend de plusieurs facteurs, notamment la taille et le débit du système d'égouts, les caractéristiques du sol et les exigences en matière d'entretien. Il est important de consulter un ingénieur spécialisé en assainissement pour sélectionner le modèle ovoïde qui répondra le mieux aux besoins spécifiques de votre projet.

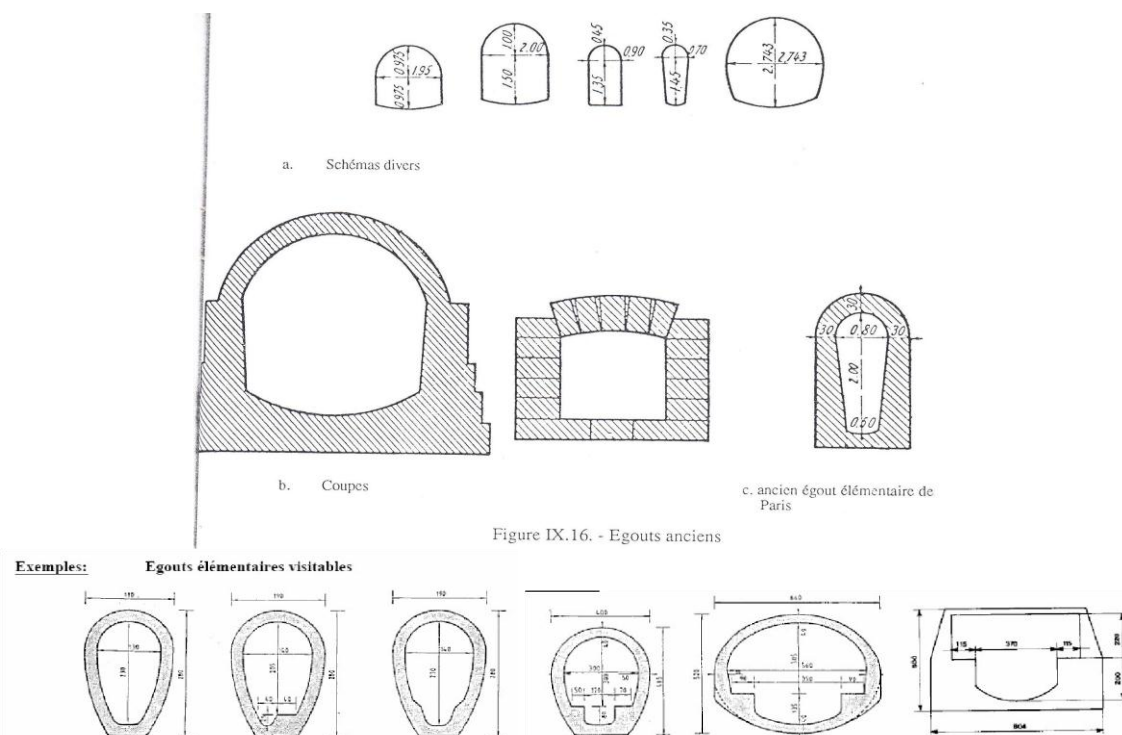


Figure 1.1 : Différents modèles de l'ovoïde (Hammoum, 2024).

1.7 Cas d'étude dans monde

1.7.1 Egouts de paris

Les égouts ovoïdes, comme ceux que l'on trouve à Paris (figure 1.2), ont joué un rôle important dans l'évolution des infrastructures urbaines. Les égouts de Paris ont subi une reconstruction transformatrice sous le Second Empire, reflétant les tensions liées au développement urbain et les problèmes de santé publique. Des études ont montré que les tuyaux ovoïdes des réseaux d'égouts unitaires présentent des performances hydrauliques supérieures à celles des tuyaux circulaires dans des conditions de faible débit, la forme ovoïde présentant de meilleures performances d'écoulement jusqu'à un taux de remplissage de $H/h =$

0,25. De plus, les caractéristiques géométriques de différentes formes d'égouts à œufs ont été calculées pour faciliter la résolution des problèmes hydrauliques, fournissant des solutions rapides et précises pour des applications pratiques. La conception innovante des tunnels en forme d'œuf a également été explorée pour améliorer la durabilité face aux charges du sol tout en minimisant les coûts de construction.



Figure 1.2 : Egouts de paris.

Ce réseau complexe et fascinant sous les rues animées de Paris s'étend un monde souterrain méconnu et fascinant : les égouts. Ce réseau labyrinthe de plus de 2 600 kilomètres de galeries collecte les eaux usées et pluviales de la ville pour acheminer vers la Seine (figure 1.3).

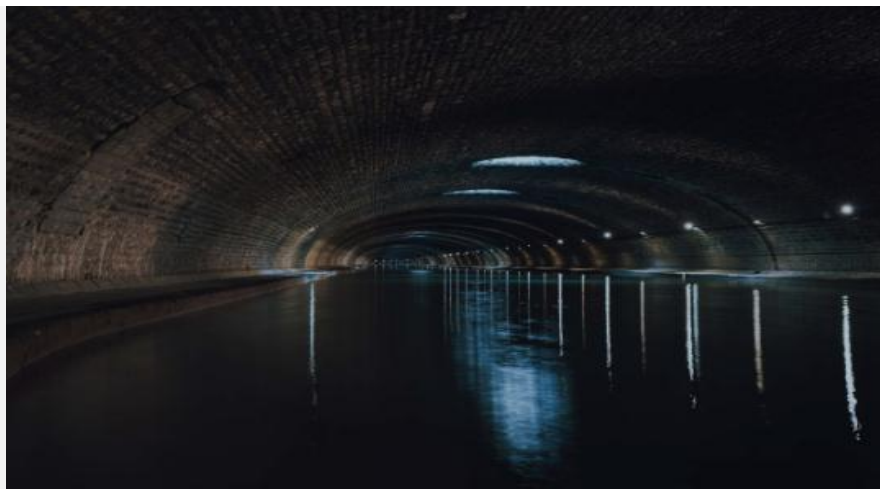


Figure 1.3 : Egouts de paris sous la Seine.

- **Défis techniques**

Lors de la construction d'égouts ovoïdes de Paris, plusieurs défis techniques ont été rencontrés. Ces défis comprenaient la nécessité d'une conception précise de l'excavation pour éviter l'effondrement et le blocage des tunnels, le risque de défaillance d'un nouveau panneau en plastique renforcé de verre (GRP) lors de l'installation en raison d'une analyse structurelle inadéquate, et la complexité de la prévision du mouvement des sédiments et des flux massiques dans les canaux d'égout malgré les récents progrès des calculs hydrauliques. De plus, la réponse structurale de revêtements d'égout en forme d'œuf inversé très serrés a été étudiée afin de comprendre l'impact des différentes configurations de charge et conditions de retenue pendant le processus d'installation. Dans l'ensemble, ces défis soulignent la nature complexe de la construction des égouts et l'importance d'une analyse et d'une conception approfondies pour garantir l'intégrité et la fonctionnalité des réseaux d'égouts.



Figure 1.4 : Défi techniques.

- **Forme et architecture**

Loin d'être de simples conduits, les égouts de Paris sont une prouesse d'ingénierie. Leur forme et leur architecture ont été soigneusement conçues pour optimiser l'écoulement des eaux et garantir la sécurité des installations (figure 1.5).



**Figure 1.5 : Égouts de Paris (Souterrain de paris, France)
(Belgrand, 1865).**

1.7.2 Les égouts de Londres

L'égout de Londres est une composante clé du système d'assainissement de la ville, conçu pour gérer les eaux usées et contribuer à l'assainissement de la métropole et prévenir les inondations (figure 1.6).

Les égouts en forme ovoïde de Londres représentent une innovation importante dans l'histoire de l'ingénierie civile, particulièrement au 19^{ème} siècle. Ces égouts, conçus par Sir Joseph Bazalgette, ont été développés en réponse à la crise sanitaire et environnementale connue sous le nom de "Great Stink" de 1858. Voici un aperçu détaillé de ces égouts ovoïdes

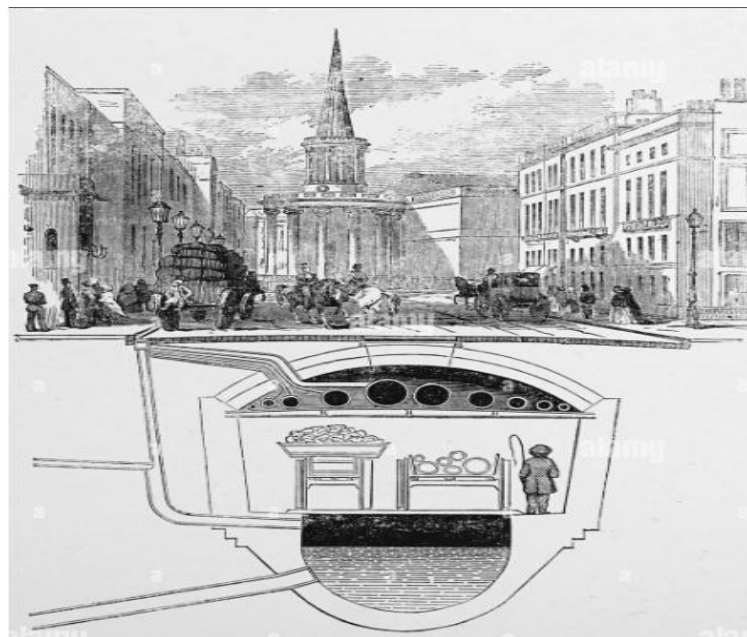


Figure 1.6 : Illustration des égouts de Londres.

- **Conception et construction** : Joseph Bazalgette, ingénieur en chef du Metropolitan Board of Works a été chargé de concevoir un système de drainage moderne pour la ville.
- **Forme ovoïde** : Les égouts ont été conçus en forme d'œuf (ovoïde) plutôt que circulaire ou rectangulaire pour plusieurs raisons :
 - **Efficacité hydraulique** : La forme ovoïde permet un écoulement plus rapide et efficace des eaux usées, surtout lorsque le débit est faible. Cette forme minimise également le dépôt de sédiments.
 - **Solidité structurelle** : La courbure de la forme ovoïde offre une meilleure résistance à la pression des sols environnants, rendant les structures plus robustes.
- **Matériaux et construction** : Les égouts étaient construits en briques et ciment. La partie inférieure (plus étroite) assurait un écoulement efficace même avec de faibles volumes d'eau, tandis que la partie supérieure (plus large) pouvait gérer des volumes plus importants lors de fortes pluies.

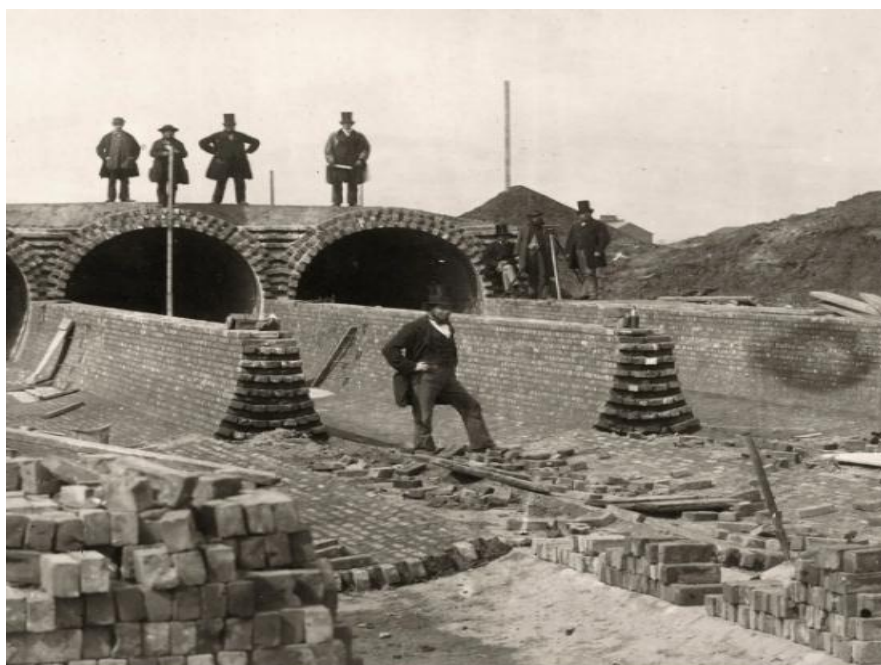
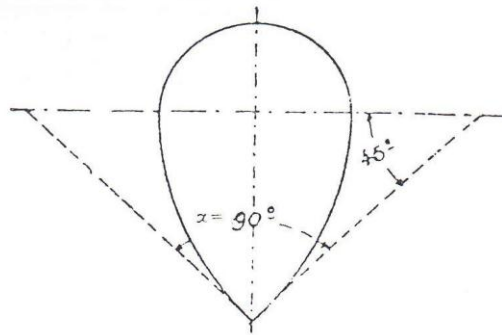


Figure 1.7 : Construction du réseau d'égout (Halliday, 1999).

1.7.3 Les égouts de Tizi-Ouzou

Les égouts de Tizi Ouzou, situés à environ 30 km au sud des côtes méditerranéennes en Algérie, sont conçus avec des conduites de forme ovoïde. Ses caractéristiques font des conduites ovoïdes un choix avantageux pour les réseaux d'égouts.

Et dans notre projet en fait l'étude d'un cas exceptionnel se présente, par exemple, quand le débit normal étant faible, on veut assurer l'écoulement par gravitation, en réduisant le plus possible le rayon du radier et se rapprocher de la section limite de l'ovoïde, tracée en arc brisé dans sa partie inférieure comme on le voit dans la figure ci-après.



Eléments	Type 1	Type 2
Hauteur totale	3 r	3 r
Largeur aux naissances	2 r	2 r
Rayon de la cunette	$\frac{r}{2}$	$\frac{r}{4}$
<u>Écoulement à pleine section</u>		
Section mouillée	4,59 r ²	4,46 r ²
Périmètre mouillé	7,93 r	7,84 r
Rayon hydraulique moyen (R)	0,579 r	0,57 r
<u>Écoulement au niveau des naissances ab</u>		
Section mouillée	3,023 r ²	2,89 r ²
Périmètre mouillé	4,79 r	4,70 r
Rayon hydraulique	0,631 r	0,615 r

Figure 1.8 : Modèle type d'un Ovoïde.

Conclusion

En conclusion du chapitre, nous retenons que les canalisations de forme ovoïde, de part leurs avantages, présentent des caractéristiques hydrauliques uniques qui les rendent adaptées à certaines situations. Cette canalisation offre une alternative efficace et économique aux canalisations circulaires traditionnelles.

CHAPITRE 2 :
DIMENSIONNEMENT D'UNE CONDUITE OVOÏDE SOUS
ÉCOULEMENT À SURFACE LIBRE

Introduction

Le présent chapitre a pour objectif le dimensionnement des conduites de forme ovoïdales. L'écoulement est considéré comme étant permanent et uniforme. Les éléments à considérer dans l'écoulement sont le débit Q [m^3/s], la pente I de la conduite, la rugosité de la paroi interne de l'ovoïde. Un développement mathématique est effectué pour déterminer les caractéristiques hydrauliques (section mouillée, périmètre mouillé et le rayon hydraulique) de l'écoulement en question. La relation de Chezy est utilisée pour déterminer la vitesse de l'écoulement à section pleine et à section partielle. Un abaque donnant le rapport des vitesses et le rapport des débits est proposé pour les amateurs de la méthode graphique.

2.1. Caractéristiques géométriques de la conduite

La conduite ovoïde considérée dans la présente étude et illustrée par la figure 2.1 est caractérisée par sa hauteur H à égale trois fois le rayon du demi-cercle circonscrit. La section est composée de deux parties séparées par un axe horizontal AA' . La conduite est formée dans sa partie supérieure par un demi-cercle (C1) de rayon r et dans sa partie inférieure par une section formée par deux arcs de cercle (C2) symétriques croisés de rayon de R ,

2.1.1. Etapes de construction de la section Ovoïde

Les étapes de construction de la section droite de l'ovoïde sont définies comme suit (figure 2.1) :

- a- Tracer le demi-cercle (C1) de rayon r et de centre (C),
- b- Positionner les points O et O' sur la droite horizontale passant par le centre (C) du demi-cercle (C1), tel que : $\overline{OA} = \overline{O'A'} = R$;
- c- Tracer l'arc du cercle (\widehat{AB}) de centre O et de rayon R ,
- d- Tracer l'arc de cercle ($\widehat{A'B}$) de centre O' et de rayon R
- e- Le point B de croisement des deux arcs (\widehat{AB}) et ($\widehat{A'B}$) est situé sur l'axe central vertical de l'ovoïde passant par le centre (C)

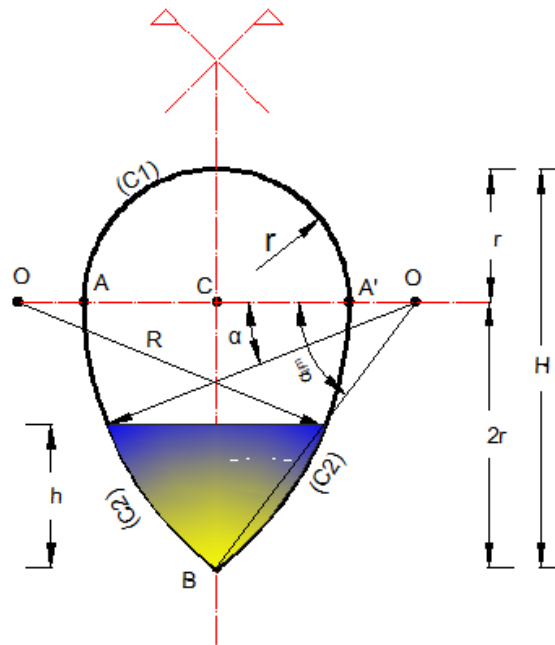


Figure 2.1 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde.

2.1.2. Calcul du rayon R

A partir de la figure 1, nous pouvons écrire :

$$\overline{OA} = \overline{OB} = R \quad (2.1)$$

En considérant l'angle droit $O\hat{C}B$, le théorème de Pythagore permet d'écrire :

$$\overline{OC}^2 + \overline{CB}^2 = \overline{OB}^2 = R^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Sachant que :} \quad \overline{OC} = R - r \quad (2.3)$$

$$\text{et} \quad \overline{CB} = 2r \quad (2.4)$$

Il vient :

$$(R - r)^2 + (2r)^2 = R^2 \quad (2.5)$$

$$\text{Ce qui donne :} \quad R^2 - 2Rr + r^2 + 4r^2 = R^2 \quad (2.6)$$

$$\text{Et enfin :} \quad R = \frac{5}{2} r \quad (2.7)$$

2.2. Détermination des caractéristiques de l'écoulement

Les caractéristiques de l'écoulement, telles que l'aire de la section mouillée A, le périmètre mouillé et le rayon hydraulique R_h s'expriment par différentes relations en fonction de la position de la surface libre, dépendant de la profondeur H et du taux de remplissage h/H.

$$\text{A- } 0 \leq h \leq 2r \text{ ou } 0 \leq \frac{h}{H} \leq \frac{2}{3}$$

A.1- Section mouillée

Considérons une section élémentaire dA de hauteur élémentaire dh et de longueur l , telle qu'illustrée en figure 2.2, il vient :

$$dA = l * dh \quad (2.8)$$

$$\text{Ce qui donne :} \quad A = \int_0^h l dh \quad (2.9)$$

Avec :

$$l = 2r - 2x = 2(r - x) \quad (2.10)$$

$$\text{Où :} \quad x = R - L \quad (2.11)$$

$$\text{Et :} \quad L = R \cos \alpha \quad (2.12)$$

α étant l'angle décrit par les arcs (\widehat{AB}) et $(\widehat{A'B})$ symétriquement (figure 2.2). Il varie de 0 à α_{lim} correspondant à $l=0$ ($h=0$), cas de l'ovoïde vide.

$$\text{Ce qui donne :} \quad x = R - R \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha) \quad (2.13)$$

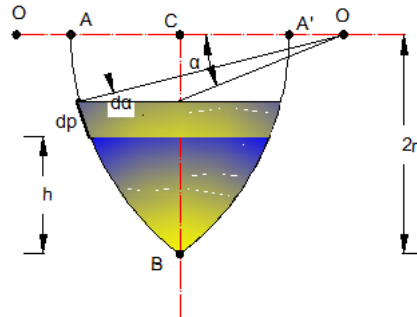


Figure 2.2 : Caractéristiques géométriques de la conduite ($h < 2r$).

Compte tenu de l'équation (2.11), (2.12) et (2.13), nous obtenons :

$$x = \frac{5}{2}r(1 - \cos \alpha) \quad (2.14)$$

Ce qui donne :

$$l = 2[r - \frac{5}{2}r(1 - \cos \alpha)] \quad (2.15)$$

Donc :

$$l = r * (5 \cos \alpha - 3) \quad (2.16)$$

Par ailleurs, en considérant un angle ($d\alpha$) infiniment petit (figure 2.1), nous pouvons confondre la hauteur dh avec l'arc décrit par $d\alpha$, et écrire :

$$dh = -R * d\alpha = -\frac{5}{2}r d\alpha \quad (2.17)$$

le signe (-) désigne le sens de rotation de l'angle α (sens horaire)

Compte tenu des équations (2.8), (2.16) et (2.17), il vient :

$$dA(\alpha) = r * (5 \cos \alpha - 3) * \left(-\frac{5}{2}r * d\alpha\right) \quad (2.18)$$

Ce qui donne :

$$A(\alpha) = -\frac{5}{2}r^2 \int_{\alpha_{lim}}^{\alpha} (5 \cos \alpha - 3) . d\alpha \quad (2.19)$$

Donc :

$$A(\alpha) = -\frac{5}{2}r^2 [(5 \sin \alpha - 3\alpha)]_{\alpha_{lim}}^{\alpha} \quad (2.20)$$

Enfin nous obtenons la section mouillée $A(\alpha)$ suivante :

$$A(\alpha) = -\frac{5}{2}r^2 [5(\sin \alpha - \sin \alpha_{lim}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)] \quad (2.21)$$

- **Calcul de la valeur α_{lim}**

Compte tenu de l'équation (2.16), et en posant $l=0$, on écrit :

$$r * (5 \cos \alpha_{lim} - 3) = 0 \quad (2.22)$$

Ce qui donne :

$$\cos \alpha_{lim} = \frac{3}{5} \quad (2.23)$$

Par ailleurs :

$$\sin \alpha_{lim} = \frac{CB}{R} = \frac{2r}{\frac{5}{2}r} = \frac{4}{5} \quad (2.24)$$

Vérification

L'angle α_{lim} doit vérifier la condition suivante :

$$\sin^2 \alpha_{lim} + \cos^2 \alpha_{lim} = 1 \quad (2.25)$$

Soit : $\left(\frac{4}{5}\right)^2 + \left(\frac{3}{5}\right)^2 = \frac{25}{25} = 1$ « Condition vérifiée »

Enfin : $\alpha_{lim} = \cos^{-1}\left(\frac{3}{5}\right) = 0.927\text{rad}$ (2.26)

La valeur particulière de la section $A(\alpha=0)$ correspondant au plan d'eau confondu avec l'axe AA' :

$$A(\alpha = 0) = -\frac{5}{2}r^2 \left[5 \left(\sin(0) - \frac{4}{5}\right) + 3(\alpha_{lim} - 0)\right] \quad (2.27)$$

$$A(\alpha = 0) = -\frac{5}{2}r^2 (-4 + 3\alpha_{lim}) \quad (2.28)$$

$$A(\alpha = 0) = \frac{5}{2}r^2 (-3\alpha_{lim} + 4) \quad (2.29)$$

Avec α_{lim} en [rad]

A.2- Périmètre mouillé

Soit :

$$dP = -\frac{5}{2}r d\alpha \quad (2.30)$$

Donc :

$$P(\alpha) = -2 \cdot \frac{5}{2}r \int_{\alpha_{lim}}^{\alpha} d\alpha = -5r[\alpha]_{\alpha_{lim}}^{\alpha} \quad (2.31)$$

$$P(\alpha) = 5r (\alpha_{lim} - \alpha) \quad (2.32)$$

Lorsque le plan d'eau est au niveau AA', $\alpha=0$:

$$P(\alpha = 0) = 5 \cdot r \cdot \alpha_{lim} \quad \alpha_{lim} \text{ en [rad]} \quad (2.34)$$

- **Vérification**

$$P(\alpha = \alpha_{lim}) = 0 \text{ (Condition satisfaite)} \quad (2.35)$$

A.3- Rayon hydraulique

Le rayon hydraulique R_h est exprimé par le rapport de la section mouillée sur le périmètre mouillé.

Soit :

$$R_h(\alpha) = \frac{A(\alpha)}{P(\alpha)} = \frac{-\frac{5}{2}r^2[5(\sin \alpha - \sin \alpha_{lim}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]}{5r (\alpha_{lim} - \alpha)} \quad (2.36)$$

D'où :

$$R_h(\alpha) = \frac{-r[5(\sin \alpha - \frac{4}{5}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]}{2 (\alpha_{lim} - \alpha)} \quad (2.37)$$

A.4. Evaluation de la vitesse de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement permanent en régime uniforme est obtenue par la relation de Chezy (Bonnin, 1982). Soient :

$$V(\alpha) = C \cdot \sqrt{R_h(\alpha) \cdot I} = \left(\frac{0.823}{\eta} R_h(\alpha)^{\frac{1}{6}} \right) \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \quad (2.38)$$

$$V(\alpha) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot R_h(\alpha)^{\frac{2}{3}} \quad (2.39)$$

C : coefficient de CHEZY ;

I : pente de la conduite ;

η : désigne le coefficient d'écoulement, dont les valeurs dépendent de la nature des parois.

A.5- Evaluation des débits de l'écoulement

Le débit d'écoulement est donné par l'équation de continuité :

$$Q(\alpha) = V(\alpha) \cdot A(\alpha) \quad (2.40)$$

Compte tenu des équations (2.45) et (2.21), on obtient :

$$Q(\alpha) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \left[\frac{-r[5(\sin \alpha - \frac{4}{5}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]}{2 (\alpha_{lim} - \alpha)} \right]^{\frac{2}{3}} * \left[-\frac{5}{2}r^2[5(\sin \alpha - \sin \alpha_{lim}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)] \right] \quad (2.41)$$

$$\text{Soit : } Q(\alpha) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{5}{2} r \frac{[-5r(\sin \alpha - \frac{4}{5}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]^{\frac{5}{3}}}{[2(\alpha_{lim} - \alpha)]^{\frac{2}{3}}} \quad (2.42)$$

A.6-Evaluation de la hauteur d'eau $h(\alpha)$

$$h(\alpha) = 2r - R \sin \alpha = 2r - \frac{5}{2} r \sin \alpha \quad (2.43)$$

$$h(\alpha) = r \left(2 - \frac{5}{2} \sin \alpha \right) \quad (2.44)$$

- **Vérification**

$$h(\alpha = 0) = 2r \quad (2.45)$$

$$h(\alpha_{lim}) = r \left(2 - \frac{5}{2} \sin \alpha_{lim} \right) = 0 \quad (2.46)$$

Les conditions sont bien vérifiées

B- $H=3r$ ($h/H=1$) - Section pleine

B.1- Section mouillée

Celle-ci est donnée par la section pleine de l'ovoïde. Soit :

$$A_{ps} = A(\alpha = 0) + \frac{1}{2} \pi r^2 \quad (2.47)$$

Compte tenu de l'équation (2.28), il vient :

$$A_{ps} = \frac{5}{2} r^2 (4 - 3\alpha_{lim}) + \frac{1}{2} \pi r^2 \quad (2.48)$$

Donc :

$$A_{ps} = \frac{r^2}{2} (20 - 15\alpha_{lim} + \pi) \quad (2.49)$$

B.2- Périmètre mouillé

Celui-ci est donné par le périmètre à pleine section, soit :

$$P_{ps} = P(\alpha = 0) + \pi r \quad (2.50)$$

Compte tenu de l'équation (2.33), il vient :

$$P_{ps} = 5r \alpha_{lim} + \pi r = r(5 \alpha_{lim} + \pi) \quad (2.51)$$

B.3- Rayon hydraulique à pleine section

$$R_h^{ps} = \frac{A_{ps}}{P_{ps}} = \frac{\frac{r^2}{2}(20-15\alpha_{lim}+\pi)}{r(5\alpha_{lim}+\pi)} \quad (2.52)$$

Soit :

$$R_h^{ps} = \frac{(20-15\alpha_{lim}+\pi)}{2(5\alpha_{lim}+\pi)} \cdot r \quad (2.53)$$

B.4. Vitesses à pleine section

La vitesse à pleine section est donnée par la même relation :

$$V_{ps} = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot [R_{hps}]^{\frac{2}{3}} \quad (2.54)$$

Le rapport des vitesses est exprimé par l'équation suivante :

$$\frac{V(\alpha)}{V_{ps}} = \left[\frac{R_h(\alpha)}{R_{hps}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.55)$$

Compte tenu des relations (2.36) et (2.42), on obtient :

$$\frac{V(\alpha)}{V_{ps}} = \left[\frac{-[5(\sin \alpha - \frac{4}{5}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]}{(\alpha_{lim} - \alpha)} * \frac{(5\alpha_{lim} + \pi)}{(20 - 15\alpha_{lim} + \pi)} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.56)$$

B.5- Débit à pleine section

Le débit d'écoulement à pleine section est donné par la même relation :

$$Q_{ps} = V_{ps} \cdot A_{ps} \quad (2.57)$$

Compte tenu des équations (2.39) et (2.47), on obtient :

$$Q_{ps} = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \left[\frac{r(20-15\alpha_{lim}+\pi)}{2(5\alpha_{lim}+\pi)} \right]^{\frac{2}{3}} * \left[\frac{r^2}{2} (20 - 15\alpha_{lim} + \pi) \right] \quad (2.58)$$

Soit :

$$Q_{ps} = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{r}{2} \frac{[r(20-15\alpha_{lim}+\pi)]^{\frac{5}{3}}}{[2(5\alpha_{lim}+\pi)]^{\frac{2}{3}}} \quad (2.59)$$

Le rapport des débits nous donne :

$$\frac{Q(\alpha)}{Q_{ps}} = \frac{V(\alpha)}{V_{ps}} * \frac{A(\alpha)}{A_{ps}} = \left[\frac{R_h(\alpha)}{R_{hps}} \right]^{\frac{2}{3}} * \frac{A(\alpha)}{A_{ps}} \quad (2.60)$$

Avec :

$$\frac{A(\alpha)}{A_{ps}} = \frac{-5[5(\sin \alpha - \frac{4}{5}) + 3(\alpha_{lim} - \alpha)]}{(20 - 15\alpha_{lim} + \pi)} \quad (2.61)$$

Le rapport des hauteurs donne :

$$\frac{h(\alpha)}{H} = \frac{r(2 - \frac{5}{2} \sin \alpha)}{3r} \quad (2.62)$$

$$\frac{h(\alpha)}{H} = \frac{4 - 5 \sin(\alpha)}{6} \quad (2.63)$$

$$\text{C- } \frac{2}{3}r \leq h \leq 3r \text{ ou } \frac{2}{3} \leq \frac{h}{H} \leq 1$$

Dans ce cas la surface libre du liquide est au-dessus du plan AA' (figure 2.3) et l'angle θ varie de π à 0

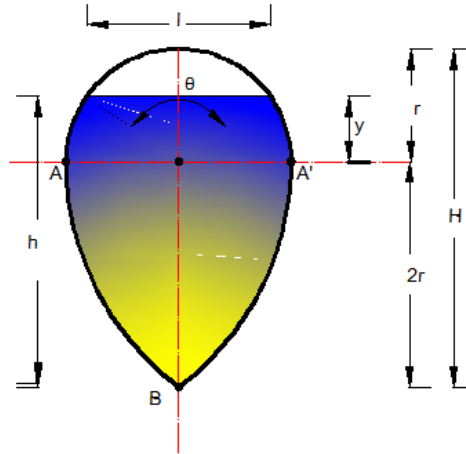


Figure 2.3 : Caractéristiques géométriques de la conduite ($\frac{2}{3}r \leq h \leq 3r$).

A partir de la figure ci-dessus, nous pouvons écrire :

$$l = 2r \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.64)$$

et

$$y = r \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.65)$$

- **Rapport des hauteurs**

Soit :

$$h = 2r + y = r(2 + \cos\frac{\theta}{2}) \quad (2.66)$$

d'où :

$$\frac{h}{H} = \frac{r(2 + \cos\frac{\theta}{2})}{3r} = \frac{1}{3}(2 + \cos\frac{\theta}{2}) \quad (2.67)$$

C.1-Section mouillée

Dans ce cas, la section mouillée est donnée par l'équation (2.69)

$$A(\theta) = \frac{\pi r^2}{2} - \frac{\theta}{2} r^2 + r \sin\frac{\theta}{2} * r \cos\frac{\theta}{2} + A(\alpha = 0) \quad (2.68)$$

Qui s'écrit :

$$A(\theta) = \frac{\pi}{2}r^2 + r^2 \left(\sin \frac{\theta}{2} * \cos \frac{\theta}{2} \right) - \frac{\theta}{2}r^2 + A(\alpha = 0) \quad \theta \text{ en [rad]} \quad (2.69)$$

Or:

$$\cos \frac{\theta}{2} * \sin \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} \sin \theta \quad (2.70)$$

Ce qui donne :

$$A(\theta) = \frac{\pi}{2}r^2 + \frac{r^2}{2} \sin \theta + -\frac{\theta}{2}r^2 + A(\alpha = 0) \quad (2.71)$$

$$A(\theta) = \frac{r^2}{2} (\pi - \theta + \sin \theta) + A(\alpha = 0) \quad (2.72)$$

- **Vérification**

$$A(\theta = 0) = \frac{\pi}{2}r^2 + A(\alpha = 0) \quad (2.73)$$

$$A(\theta = \pi) = A(\alpha = 0) \quad (2.74)$$

C.2- Périmètre mouillé

Dans ce cas, le périmètre mouillé est donné par l'équation (2.76)

$$P(\theta) = \pi r - r\theta + P(\alpha = 0) \quad (2.75)$$

$$P(\theta) = r(\pi - \theta) + P(\alpha = 0) \quad (2.76)$$

- **Vérification**

$$P(\theta = 0) = \pi r + P(\alpha = 0) \quad (2.77)$$

$$P(\theta = \pi) = P(\alpha = 0) \quad (2.78)$$

C.3- Rayon hydraulique

$$R_h(\theta) = \frac{A(\theta)}{P(\theta)} = \frac{\frac{r^2}{2}(\pi - \theta + \sin \theta) + A(\alpha=0)}{r(\pi - \theta) + P(\alpha=0)} \quad (2.79)$$

C.4. Evaluation de la vitesse de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement permanent en régime uniforme est obtenue par la relation de Chezy :

$$V(\theta) = C \cdot \sqrt{R_h(\theta)} \cdot I = \left(\frac{0.823}{\eta} R_h(\theta)^{\frac{1}{6}} \right) \cdot \sqrt{R_h} \cdot I \quad (2.80)$$

$$V(\theta) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot R_h(\theta)^{\frac{2}{3}} \quad (2.81)$$

C.5- Evaluation du débits d'écoulement

Le débit d'écoulement est donné par l'équation de continuité :

$$Q(\theta) = V(\theta).A(\theta) \quad (2.82)$$

Compte tenu des équations (2.81) et (2.74), on obtient :

$$Q(\theta) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \left[\frac{r^2[(\pi-\theta+\sin\theta)+5(-3\alpha_{lim}+4)]}{r(\pi-\theta)+5r(\alpha_{lim})} \right]^{\frac{2}{3}} * \left[\frac{r^2}{2} [(\pi-\theta+\sin\theta)+5(-3\alpha_{lim}+4)] \right] \quad (2.83)$$

Soit :

$$Q(\theta) = \frac{0.823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{\left[\frac{r^2[(\pi-\theta+\sin\theta)+5(-3\alpha_{lim}+4)]}{2} \right]^{\frac{5}{3}}}{[r(\pi-\theta)+5(\alpha_{lim})]^{\frac{2}{3}}} \quad (2.84)$$

2.3. Construction d'un abaque pour un dimensionnement graphique de la conduite

ovoïdale

Les étapes de construction de l'abaque de dimensionnement graphique de l'ovoïde se résume comme suit :

1- Evaluer l'angle α_{Lim}

2- Pour $0 \leq \frac{h}{H} \leq 2/3$:

- calculer l'angle α à partir de l'équation 2.63 ;
- Calculer les rapports : $\frac{Rh(\alpha)}{Rh_{ps}}$, $\frac{A(\alpha)}{A_{ps}}$, $\frac{V(\alpha)}{V_{ps}}$ et $\frac{Q(\alpha)}{Q_{ps}}$

3- Pour $2/3 \leq \frac{h}{H} \leq 1$:

- Calculer l'angle θ à partir de l'équation 2.68
- Calculer les rapports : $\frac{Rh(\theta)}{Rh_{ps}}$, $\frac{A(\theta)}{A_{ps}}$, $\frac{V(\theta)}{V_{ps}}$ et $\frac{Q(\theta)}{Q_{ps}}$

3- Enfin construire l'abaque donnant $\frac{Q}{Q_{ps}}$ et $\frac{V}{V_{ps}}$ en f^{ct} de $\frac{h}{H}$

Un organigramme récapitulant la construction de l'abaque est donné ci-après

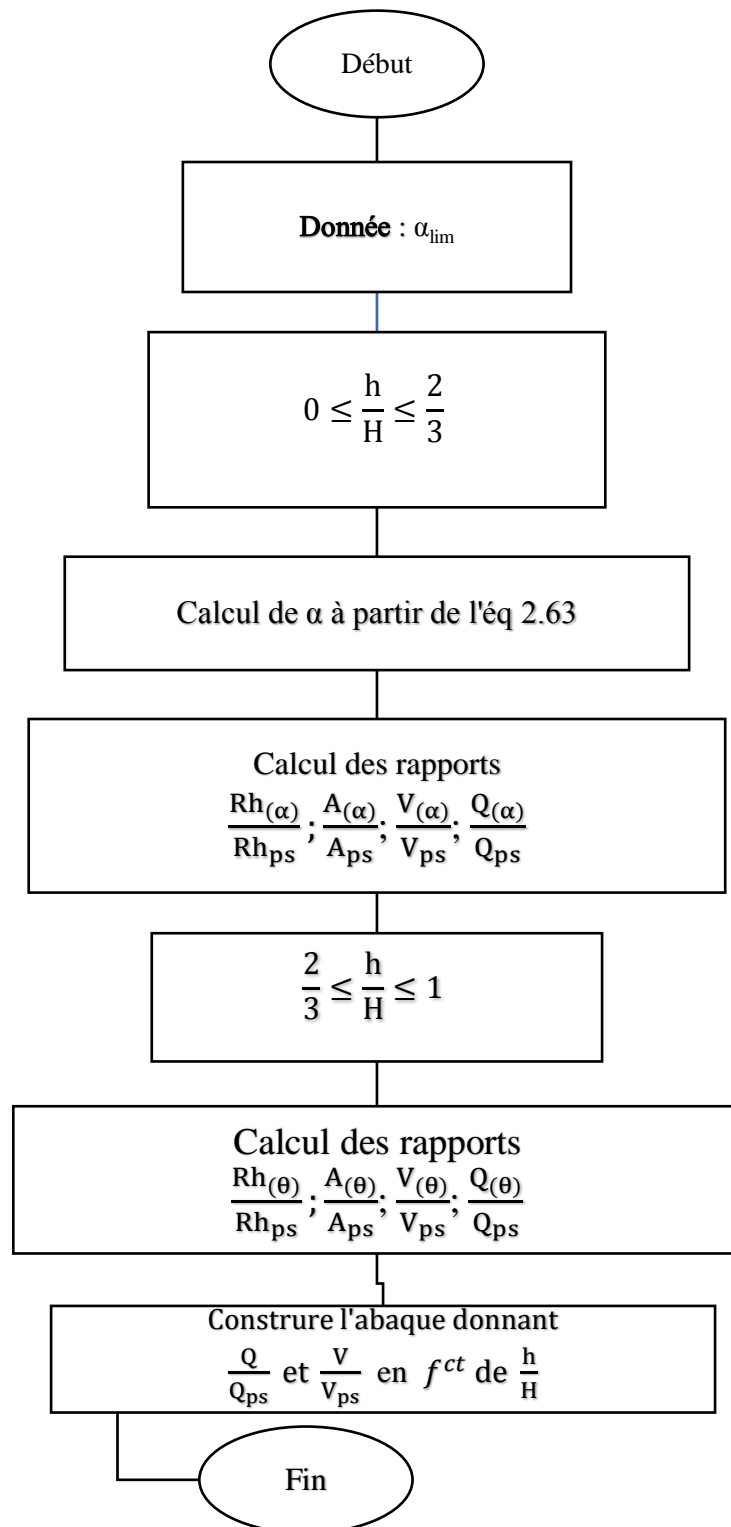


Figure 2.4 : Construction de l'abaque

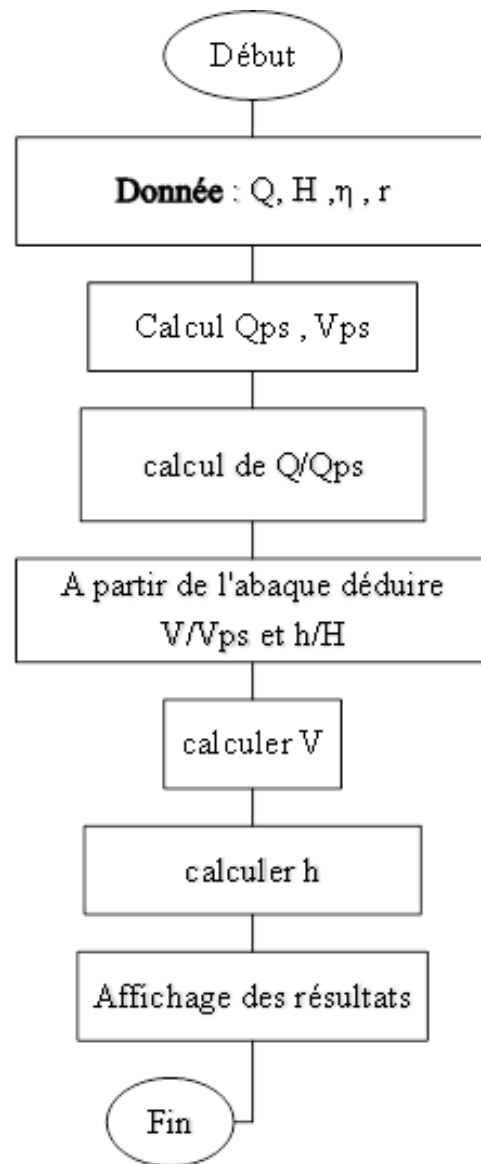


Figure 2.5: Organigramme de la méthode graphique du dimensionnement de conduite de section ovoïdale.

La construction de l'abaque ayant pour abscisses le rapport des débits Q/Q_{ps} , et des vitesses v/v_{ps} et pour ordonnées le rapport (h/H) , est illustrée dans la figure 2.6.

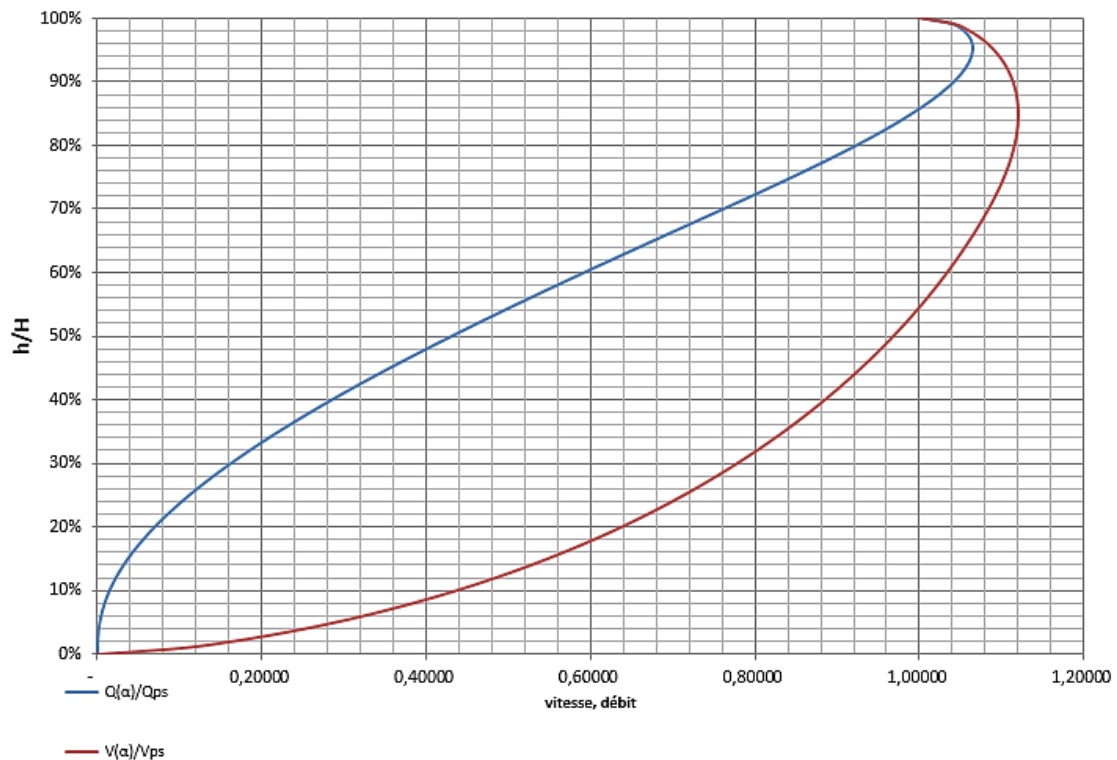


Figure 2.6 : Abaque

2.4. Traiter un cas d'égout

La méthode analytique développée pour dimensionner un cas d'égout de forme ovoïdale étant complexe et laborieuse pour un ingénieur en bureau d'étude, nous proposons un organigramme simplifié pour une résolution analytique (figure 2.6) et un autre organigramme encore plus simplifié (figure 2.7) pour une résolutions graphique rapide et pratique basée l'abaque présentée en figure 2.5 :

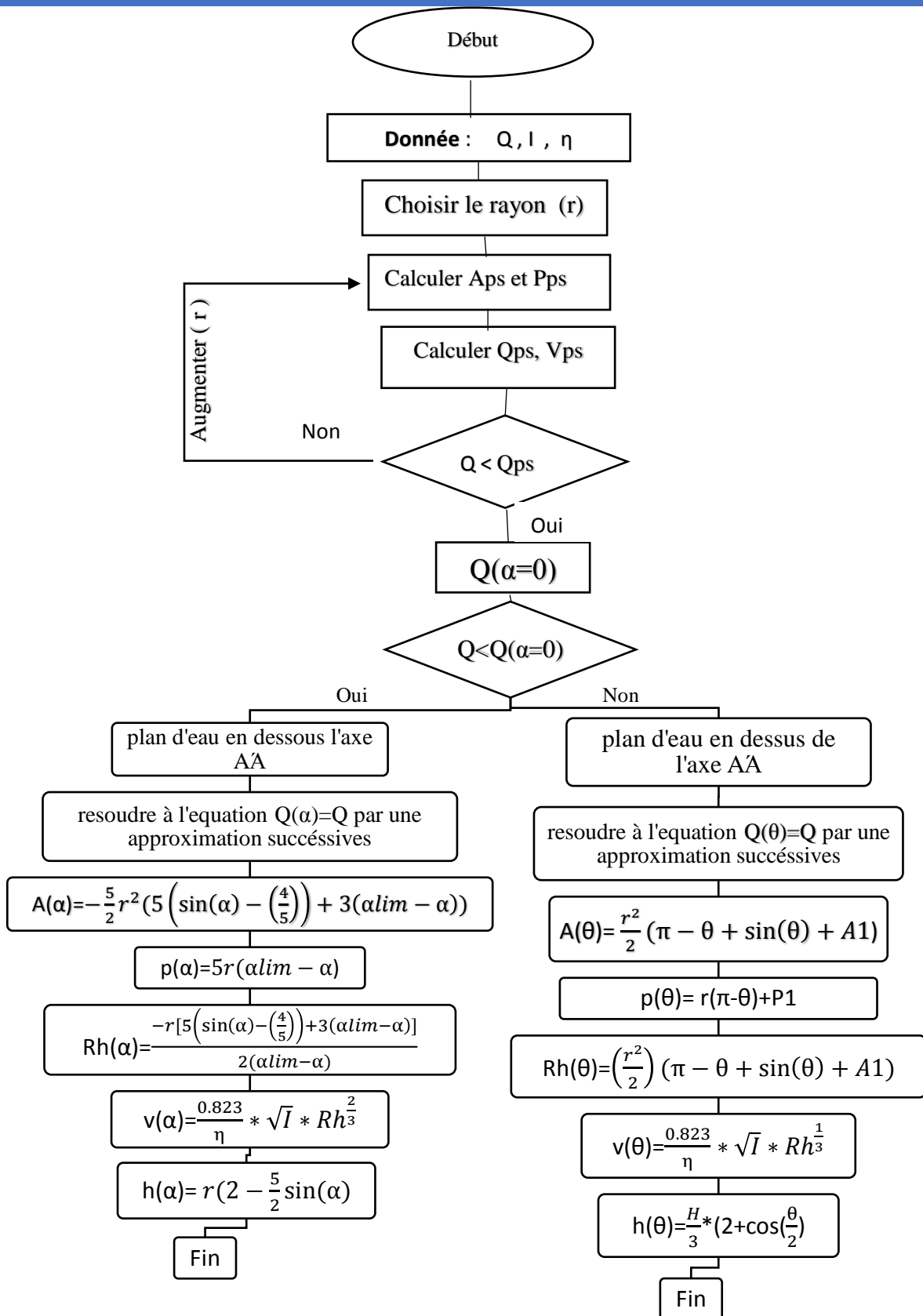


Figure 2.7 : Organigramme de la méthode analytique pour le dimensionnement de conduite de section ovoïdale.

Conclusion

Deux méthodes sont proposées dans ce chapitre pour le de dimensionnement d'une conduite ovoïde formée dans sa partie supérieure par un demi-cercle de rayon r et dans sa partie inférieure par une section formée par deux arcs de cercle symétriques croisés de rayon de $R=5/2r$, la conduite est caractérisée par sa hauteur H à égale trois fois le rayon r .

La méthode analytique est bien élaborée mais elle aboutit à des relations laborieuses. Par contre, la méthode graphique est plus pratique et simple d'utilisation pour un ingénieur ou gestionnaire d'ouvrage. Ainsi, pour illustrer ces deux méthodes, nous les appliquons à un cas d'étude au troisième chapitre.

Chapitre 3 :

Cas d'étude

Introduction

Après avoir développé, au deuxième chapitre, le calcul analytique et graphique permettant le dimensionnement d'une conduite de section ovoïdale, nous l'appliquons dans ce troisième chapitre à un cas d'étude. Les résultats seront comparés au cas d'une conduite circulaire de section pleine équivalente et véhiculant le même débit pour illustrer l'intérêt de la conduite de section ovoïdale.

3.1. Description du projet

Cette étude rentre dans le cadre de la convention du 01/07/2012, établie entre la Direction des Ressources en Eau de wilaya de Mostaganem et le Bureau d'études African Geosystem company pour l'élaboration d'une étude d'aménagement général du système d'assainissement pour l'ensemble de la vallée des jardins (wilaya. de Mostaganem).

Cette étude est issue de l'opération 10, inscrite pour la réalisation des ouvrages de traitement et de relevage à travers les principales agglomérations de la wilaya. Son contenu est structuré selon quatre phases : (AGC, 2012)

- **Phase A**

Une étude préliminaire consistant en une collecte de données, une reconnaissance terrain (géologue, hydrogéologue, topographe, Hydraulicien). Une étude hydrologique afin de faire le diagnostic de l'état des lieux.

- **Phase B**

Une étude d'avant-projet sommaire (APS) avec proposition de variantes d'aménagements.

- **Phase C**

Une étude d'avant-projet détaillé APD.

- **Phase D**

Etude d'exécution et dossier d'appel d'offres.

Ce chapitre va traiter la phase B du projet qui consiste à proposer des variantes de canalisation de forme à définir pour évacuer les eaux pluviales de la région d'étude.

➤ Description de l'aménagement retenu

Plusieurs visites du site, ainsi que des réunions de travail avec les différents services techniques de la wilaya de Mostaganem (DUC, APC, DAIRA, Services des Forêts) ont permis de comprendre et de lever les contraintes liées au terrain et à l'hydraulique et d'arrêter conjointement une variante d'aménagement.

La solution d'aménagement retenue est un tunnel (circulaire) qui démarrera du point bas de la dépression de la vallée des jardins et se dirigera vers l'Est. Son tracé souterrain suivra la majeure partie la Nationale N°23 A, pour se jeter dans le canal existant sur l'Oued Ain-Sefra, à l'aval du pont (figure 3.1). La longueur du tunnel serait de 1830 m et sa pente de 2‰.

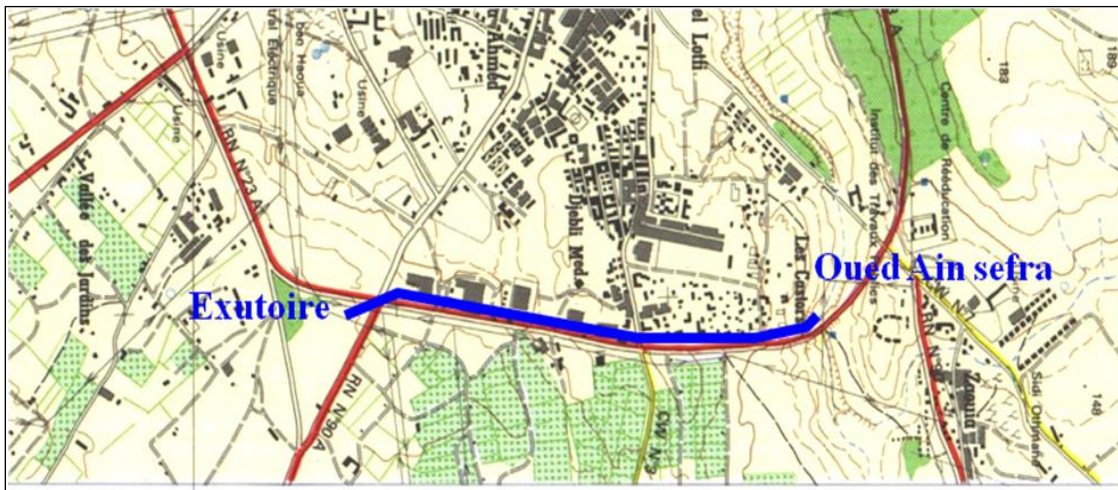


Figure 3.1 : Tracé souterrain du tunnel sous la RN23A.

- **Rappel hydrologique**

Dans la phase A, une étude hydrologique a été élaborée afin d'arrêter une variante d'aménagement. A cet effet quatre bassins versants ont été étudiés et traité séparément. Leurs caractéristiques ont été affinées en phase B pour drainer finalement un débit maximal de 23,5 m³/s engendré par l'ensemble de l'impluvium de la dépression pour une période de retour de 20 ans.

L'hydrogramme de crue servant à dimensionner la variante retenue, à savoir une galerie, devant assainir la totalité de la vallée des jardins se présente comme suit :

Tableau 3.1 valeur de débit en fonction de temps

T, mn	Q max ₁₀
Cumul	m ³ /s
0	0,0000
15	0,0570
30	0,565
45	1,60
60	3,15
75	5,23
90	7,84
105	11,0
120	14,6
135	18,8
150	23,5
165	20,0
180	16,8
195	14,0
210	11,5
225	9,37
240	7,49
255	5,89
270	4,53
285	3,40
300	2,47
315	1,73
330	1,15
345	0,72
360	0,42
375	0,21
390	0,09
405	0,03
420	0,00
426	0,00

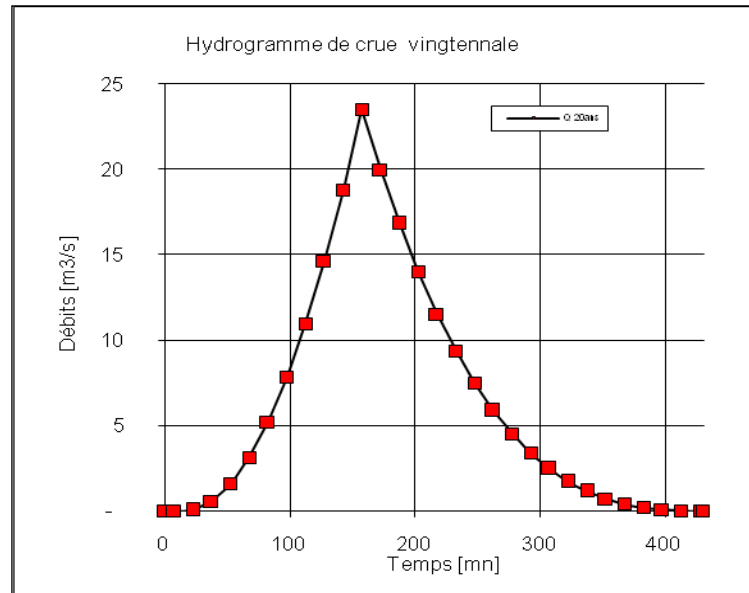


Figure3.2 : Hydrogramme de la crue vingtennale du réseau hydrographique de la vallée des jardins.

3.2. Dimensionnement de la variante ovoïde

Le dimensionnement de la conduite ovoïdale est effectué conformément à l'organigramme donné en figure 2.6. Les données du problème sont le débit $Q=23,5\text{m}^3/\text{s}$, la pente de la conduite $I=2\text{‰}$ et le coefficient de rugosité $\eta=0.012$.

Les résultats de l'analyse numérique sont donnés dans le tableau 3.1. Plusieurs solutions sont proposées en partant de $r=1800\text{mm}$ à $r=3700\text{mm}$ à pas de 100mm .

Tableau 3.2 : Note de calcul du dimensionnement de la conduite de section ovoïde faisant l'objet d'étude.

			Ecoulement à pleine section					Au niveau des naissances AA'					Ecoulement à section partielle					
/	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19
r(mm)	R(mm)	H(mm)	A _{ps} (m ²)	P _{ps} (m)	R _{h ps}	V _{ps} (m/s)	Q _{ps} (m ³ /s)	A1 (m ²)	P1 (m)	R _{h1}	V1 (m/s)	Q1 (m ³ /s)	α	A _m (m ²)	P _m (m)	R _h	V (m/s)	h (mm)
1800	4500	5400	14,96	14,00	1,07	3,09	46,20	9,87	8,35	1,18	3,30	32,61	0,14	7,58	7,07	1,07	3,10	2,96
1900	4750	5700,00	16,66	14,78	1,13	3,20	53,36	10,99	8,81	1,25	3,43	37,66	0,19	7,54	6,96	1,08	3,12	2,88
2000	5000	6000,00	18,46	15,56	1,19	3,31	61,18	12,18	9,27	1,31	3,55	43,18	0,24	7,50	6,88	1,09	3,13	2,81
2100	5250	6300,00	20,36	16,33	1,25	3,42	69,68	13,43	9,74	1,38	3,66	49,19	0,28	7,47	6,80	1,10	3,15	2,75
2200	5500	6600,00	22,34	17,11	1,31	3,53	78,89	14,74	10,20	1,44	3,78	55,68	0,31	7,44	6,74	1,10	3,16	2,70
2300	5750	6900,00	24,42	17,89	1,36	3,64	88,81	16,11	10,66	1,51	3,89	62,69	0,35	7,42	6,69	1,11	3,17	2,65
2400	6000	7200,00	26,59	18,67	1,42	3,74	99,49	17,54	11,13	1,58	4,00	70,22	0,37	7,40	6,64	1,11	3,18	2,61
2500	6250	7500,00	28,85	19,45	1,48	3,84	110,93	19,03	11,59	1,64	4,11	78,30	0,40	7,38	6,60	1,12	3,18	2,57
2600	6500	7800,00	31,20	20,22	1,54	3,95	123,16	20,59	12,05	1,71	4,22	86,93	0,42	7,36	6,57	1,12	3,19	2,54
2700	6750	8100,00	33,65	21,00	1,60	4,05	136,20	22,20	12,52	1,77	4,33	96,14	0,44	7,35	6,53	1,13	3,20	2,50
2800	7000	8400,00	36,19	21,78	1,66	4,15	150,07	23,88	12,98	1,84	4,44	105,93	0,46	7,34	6,50	1,13	3,20	2,48
2900	7250	8700	38,82	22,56	1,72	4,24	164,79	25,61	13,45	1,90	4,54	116,32	0,48	7,32	6,48	1,13	3,21	2,45
3000	7500	9000	41,54	23,33	1,78	4,34	180,38	27,41	13,91	1,97	4,65	127,32	0,50	7,31	6,45	1,13	3,21	2,42
3100	7750	9300	44,36	24,11	1,84	4,44	196,87	29,27	14,37	2,04	4,75	138,96	0,51	7,30	6,43	1,14	3,22	2,40
3200	8000	9600	47,27	24,89	1,90	4,53	214,26	31,18	14,84	2,10	4,85	151,23	0,53	7,30	6,41	1,14	3,22	2,38
3300	8250	9900	50,27	25,67	1,96	4,63	232,58	33,16	15,30	2,17	4,95	164,17	0,54	7,29	6,39	1,14	3,23	2,36
3400	8500	10200	53,36	26,45	2,02	4,72	251,85	35,20	15,76	2,23	5,05	177,77	0,55	7,28	6,38	1,14	3,23	2,34
3500	8750	10500	56,55	27,22	2,08	4,81	272,09	37,30	16,23	2,30	5,15	192,06	0,56	7,27	6,36	1,14	3,23	2,32
3600	9000,00	10800,00	59,82	28,00	2,14	4,90	293,32	39,47	16,69	2,36	5,25	207,04	0,57	7,27	6,35	1,14	3,23	2,31
3700	9250,00	11100,00	63,19	28,78	2,20	4,99	315,56	41,69	17,15	2,43	5,34	222,74	0,59	7,26	6,33	1,15	3,24	2,29

Résultats et interprétations

La figure 3.3 illustre l'évolution de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau dans la conduite de section ovoïde en fonction de la surface à pleine section de la solution adaptée, pour un débit Q égale à $23.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous constatons que la vitesse de l'écoulement est proportionnelle au diamètre de l'ovoïde. Contrairement la hauteur d'eau est inversement proportionnelle au diamètre de l'ovoïde.

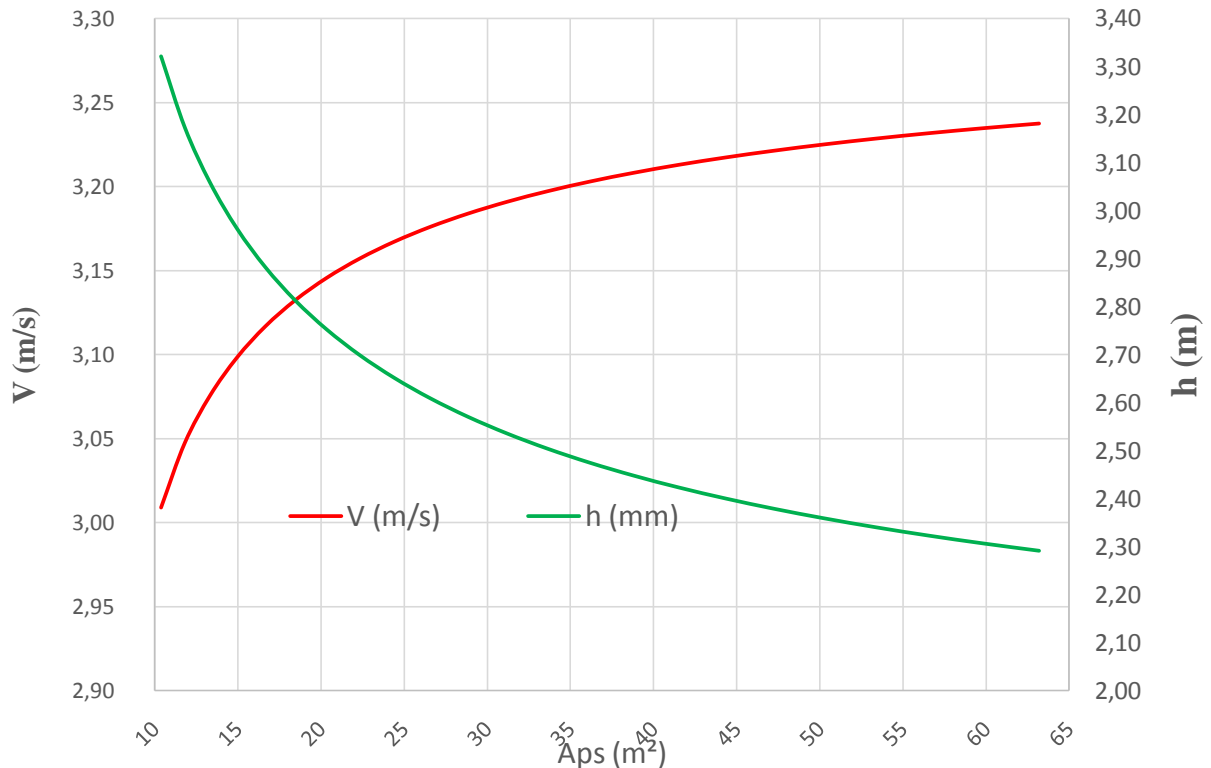


Figure 3.3 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour le débit de dimensionnement avec une vingtaine de solution potentielle.

3.3. Dimensionnement de la variante circulaire

Dans cette section, nous tenterons de réfléchir à une solution circulaire équivalente en remplaçant la solution ovoïde par une conduite de forme circulaire de diamètre D et de même section pleine A_{ps} . Nous obtenons ainsi 23 de solutions circulaires potentielles dont les diamètres sont donnés par la relation qui suit :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ps}}{\pi}} \quad (3.1)$$

Les équations de l'écoulement dans une conduite circulaire sont données en annexe 1.

Tableau 3.3 / Note de calcul du dimensionnement d'une conduite de section circulaire équivalente ;

N°	D (mm)	r (mm)	Aps (m ²)	Pps (m)	Rhps	Vps (m/s)	Qps (m ³ /s)	θ	A(θ) (m ²)	p(θ) (m)	Rh(θ)	V (θ) (m/s)	h (θ)
1	3636,50	1818,25	10,39	11,42	0,909	2,88	29,895	3,823	7,37	6,96	1,059	3,19	2,43
2	3878,93	1939,64	11,82	12,19	0,970	3,00	35,510	3,520	7,32	6,83	1,072	3,21	2,30
3	4121,36	2060,68	13,34	12,95	1,030	3,13	41,741	3,289	7,30	6,78	1,076	3,22	2,21
4	4363,79	2 181,90	14,96	13,71	1,091	3,25	48,613	3,102	7,29	6,77	1,077	3,22	2,14
5	4606,23	2 303,11	16,66	14,47	1,152	3,37	56,153	2,946	7,30	6,79	1,076	3,22	2,08
6	4848,66	2 424,33	18,46	15,23	1,212	3,49	64,384	2,812	7,31	6,82	1,073	3,21	2,03
7	5091,09	2 545,55	20,36	15,99	1,273	3,60	73,330	2,695	7,33	6,86	1,069	3,21	1,98
8	5333,53	2 666,76	22,34	16,76	1,333	3,72	83,015	2,591	7,35	6,91	1,064	3,20	1,94
9	5575,96	2 787,98	24,42	17,52	1,394	3,83	93,462	2,498	7,37	6,96	1,059	3,19	1,91
10	5818,39	2 909,20	26,59	18,28	1,455	3,94	104,695	2,414	7,40	7,02	1,054	3,18	1,87
11	6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,337	7,42	7,08	1,048	3,17	1,84
12	6303,26	3 151,63	31,20	19,80	1,576	4,15	129,606	2,267	7,45	7,15	1,043	3,15	1,82
13	6545,69	3 272,85	33,65	20,56	1,636	4,26	143,328	2,203	7,48	7,21	1,037	3,14	1,79
14	6788,13	3 394,06	36,19	21,33	1,697	4,36	157,925	2,143	7,50	7,27	1,032	3,13	1,77
15	7030,56	3 515,28	38,82	22,09	1,758	4,47	173,416	2,088	7,53	7,34	1,026	3,12	1,75
16	7272,99	3 636,50	41,54	22,85	1,818	4,57	189,824	2,037	7,56	7,41	1,021	3,11	1,73
17	7515,42	3 757,71	44,36	23,61	1,879	4,67	207,170	1,988	7,59	7,47	1,015	3,10	1,71
18	7757,86	3 878,93	47,27	24,37	1,939	4,77	225,473	1,943	7,61	7,54	1,010	3,09	1,69
19	8000,29	4 000,15	50,27	25,13	2,000	4,87	244,755	1,901	7,64	7,60	1,005	3,08	1,67
20	8242,72	4 121,36	53,36	25,90	2,061	4,97	265,036	1,861	7,66	7,67	0,999	3,07	1,66
21	8485,16	4 242,58	56,55	26,66	2,121	5,06	286,336	1,823	7,69	7,73	0,994	3,06	1,64
22	8727,59	4 363,79	59,82	27,42	2,182	5,16	308,675	1,787	7,72	7,80	0,989	3,05	1,63
23	8970,02	4 485,01	63,19	28,18	2,243	5,25	332,073	1,753	7,74	7,86	0,985	3,04	1,62

La figure 3.4 illustre l'évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau dans la conduite de section circulaire en fonction de la surface à pleine section de la solution adoptée, pour un débit Q égale à 23,5 m³/s.

Nous constatons que la hauteur d'eau dans la conduite diminue avec l'augmentation du diamètre de la solution adoptée.

Nous constatons que la vitesse d'écoulement augmente au fur et à mesure que le diamètre équivalent jusqu'à atteindre le diamètre $D= 4606.23$ mm, puis cette vitesse amorce une chute ce qui nous amène à dire que pour ce débit $23,5$ m³/s la solution optimale donnant la vitesse max est la variante correspondant au diamètre $D= 4606.23$ mm

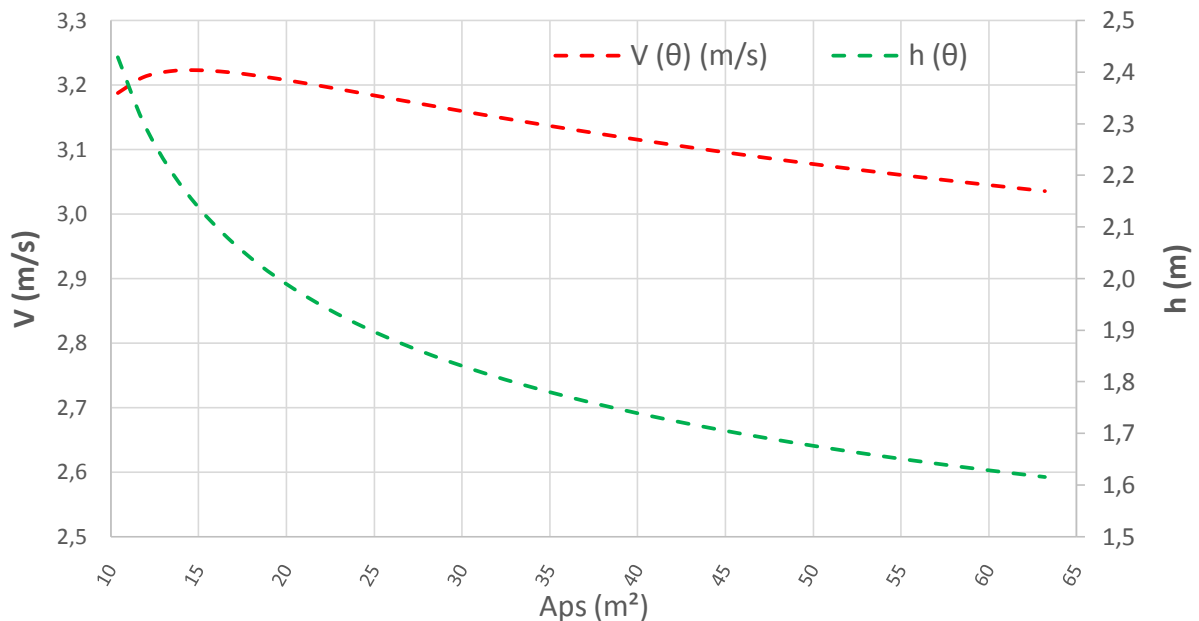


Figure 3. 4 Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour un débit de 23,5m³/s sur plusieurs sections de conduite circulaire

3.4. Comparaison solution ovoïde – solution circulaire

La figure 3.5 représente la comparaison des résultats des vitesses et profondeur d'eau obtenue pour les deux solutions ovoïdes et circulaire

Il y a lieu de constater que pour petites sections et donc petits diamètres, la vitesse de l'écoulement dans la section circulaire est plus élevée par rapport à l'ovoïde. Toutefois, pour de grand diamètres la solution ovoïde est plus intéressante puis qu'elle offre de meilleure vitesse ; ce qui permettra à l'eau de circuler et évite la stagnation.

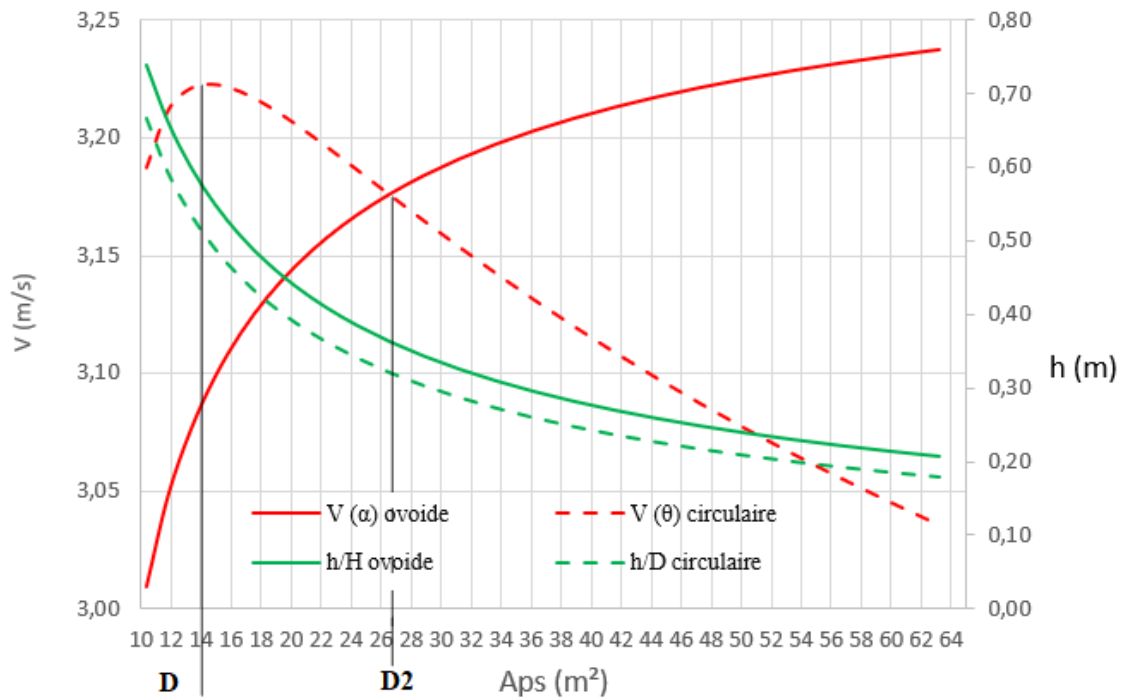


Figure 3.5 : Comparaison entre les vitesses et les hauteurs d'eau de l'ovoïde et du circulaire.

En prenant la solution circulaire d'une manière singulière, parmi les 23 solutions proposées la solution correspondant au diamètre optimum $D_{opt} = 4606,23$ mm est nettement la meilleure, car au-delà les vitesses d'écoulement commencent à chuter.

Par contre si l'on compare les deux variantes circulaire-ovoïde, il apparaît clairement, en termes de vitesse d'écoulement que les solutions circulaires correspondant aux $D < D_2$ sont meilleures que les solutions équivalentes en variantes ovoïdes. Au-delà de $D > D_2$, les solutions circulaires perdent l'avantage devant les solutions ovoïdes où les vitesses d'écoulement ne cessent d'augmenter en fonction de la surface à pleine section (A_{ps}), à l'inverse de la variante circulaire.

Avec $D_2 = 5818.39$ mm qui correspond au croisement des vitesses (vitesse ovoïde, vitesse circulaire).

3.5 Application de la méthode graphique

En utilisant la méthode graphique présentée en chapitre 2 (l'abaque de la figure 2.5) et conformément à l'organigramme (figure 2.7), nous avons calculé la vitesse et la hauteur d'eau par quelques diamètres, en vue de comparer avec la méthode analytique. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.4 :

Tableau 3.4 résultat du calcul graphique (abaque2.5).

r(mm)	H(mm)	Aps (m²)	Vps (m/s)	Qps (m³/s)	Q/Qps	h/H	V/Vps	V (m/s)	h (mm)
1800	5400	14,96	3,09	46,20	0,51	56%	1,01	3,12	3024
2100	6300	20,36	3,42	69,68	0,34	44%	0,92	3,15	2772
2500	7500	28,85	3,84	110,93	0,21	33%	0,82	3,15	2475
2900	8700	38,82	4,24	164,79	0,14	24%	0,7	2,97	2088

Les résultats de comparaisons des vitesses et des hauteurs entre les deux méthodes suscitées sont illustrés dans le tableau 3.5

Tableau 3.5 comparaison entre les deux méthodes (analytique, graphique)

r(mm)	Analytique		Graphique		Erreur relative	
	h (m)	V (m/s)	h (m)	V (m/s)	Δh	ΔV
1800	2,96	3,10	3,02	3,12	0,02	0,01
2100	2,75	3,15	2,77	3,15	0,01	0,00
2500	2,57	3,18	2,48	3,15	0,04	0,01
2900	2,45	3,21	2,44	3,18	0,01	0,01

Notons que l'erreur maximale relative enregistrée est de 4% ; ce qui confirme la validité de notre abaque.

Tableau 3.6 calcul des vitesses et hauteur d'un section ovoïde a débit variable

r (mm)	R (mm)	H (mm)	Ecoulement à pleine section					Au niveau des naissances AA'					α	Ecoulement à section partielle				H ovoïde	$\alpha; \Theta$	H(m)	h/H	V/Vps	Q/Qps	Débit varié
			Aps (m ²)	Pps (m)	Rh ps	Vps (m/s)	Qps (m ³ /s)	A1 (m ²)	P1 (m)	Rh1	V1 (m/s)	Q1 (m ³ /s)		Am (m ²)	Pm (m)	Rh	V (m/s)	H (mm)						
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,78	0,65	1,84	0,35	1,535	0,60	Θ est nul	7,50	0,08	0,385	0,009	1
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,73	1,10	2,41	0,46	1,819	0,81	Θ est nul	7,50	0,11	0,456	0,017	2
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,70	1,49	2,82	0,53	2,008	0,97	Θ est nul	7,50	0,13	0,503	0,026	3
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,67	1,86	3,16	0,59	2,154	1,10	Θ est nul	7,50	0,15	0,540	0,035	4
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,65	2,20	3,45	0,64	2,273	1,21	Θ est nul	7,50	0,16	0,570	0,043	5
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,63	2,53	3,71	0,68	2,375	1,31	Θ est nul	7,50	0,18	0,595	0,052	6
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,61	2,84	3,94	0,72	2,465	1,41	Θ est nul	7,50	0,19	0,618	0,061	7
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,59	3,14	4,16	0,76	2,545	1,50	Θ est nul	7,50	0,20	0,638	0,070	8
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,58	3,44	4,36	0,79	2,617	1,58	Θ est nul	7,50	0,21	0,656	0,078	9
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,56	3,73	4,55	0,82	2,683	1,66	Θ est nul	7,50	0,22	0,673	0,087	10
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,55	4,01	4,73	0,85	2,745	1,74	Θ est nul	7,50	0,23	0,688	0,096	11
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,53	4,28	4,91	0,87	2,802	1,81	Θ est nul	7,50	0,24	0,702	0,104	12
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,52	4,55	5,07	0,90	2,855	1,89	Θ est nul	7,50	0,25	0,716	0,113	13
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,51	4,82	5,23	0,92	2,905	1,95	Θ est nul	7,50	0,26	0,728	0,122	14
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,50	5,08	5,38	0,94	2,95	2,02	Θ est nul	7,50	0,27	0,740	0,130	15
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,49	5,34	5,52	0,97	2,998	2,08	Θ est nul	7,50	0,28	0,751	0,139	16
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,47	5,59	5,67	0,99	3,040	2,15	Θ est nul	7,50	0,29	0,762	0,148	17
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,46	5,84	5,80	1,01	3,081	2,21	Θ est nul	7,50	0,29	0,772	0,156	18
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,45	6,09	5,94	1,03	3,120	2,27	Θ est nul	7,50	0,30	0,782	0,165	19
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,44	6,34	6,07	1,04	3,157	2,33	Θ est nul	7,50	0,31	0,791	0,174	20
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,43	6,58	6,19	1,06	3,193	2,38	Θ est nul	7,50	0,32	0,800	0,182	21
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,42	6,82	6,32	1,08	3,227	2,44	Θ est nul	7,50	0,33	0,809	0,191	22
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,41	7,06	6,44	1,10	3,260	2,50	Θ est nul	7,50	0,33	0,817	0,200	23
2 500	6250	7 500	28,85	19,45	1,48	3,99	115,11	19,03	11,59	1,64	4,27	81,25	0,40	7,29	6,56	1,11	3,292	2,55	Θ est nul	7,50	0,34	0,825	0,208	24

Tableau 3.7 calcul des vitesses et hauteur d'un section circulaire a débit variable

D(mm)	r(mm)	Aps (m ²)	Pps (m)	Rhps	Vps (m/s)	Qps (m ³ /s)	θ	A(θ) (m ²)	p(θ) (m)	Rh(θ)	V (θ) (m/s)	Q(θ) (m ³ /s)	h (θ)	D (m)	h /D	V(θ)/Vps	Q(θ)/Qps	Débit
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,036	0,81	3,14	0,257	1,24	1,00	0,40	6,06	0,07	0,31	0,01	1
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,226	1,31	3,72	0,352	1,53	2,00	0,55	6,06	0,09	0,38	0,02	2
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,355	1,74	4,11	0,423	1,73	3,00	0,67	6,06	0,11	0,43	0,03	3
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,456	2,12	4,41	0,481	1,88	4,00	0,77	6,06	0,13	0,47	0,03	4
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,540	2,48	4,67	0,532	2,01	5,00	0,86	6,06	0,14	0,50	0,04	5
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,614	2,82	4,89	0,577	2,13	6,00	0,93	6,06	0,15	0,53	0,05	6
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,679	3,15	5,09	0,618	2,23	7,00	1,01	6,06	0,17	0,55	0,06	7
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,738	3,46	5,27	0,656	2,32	8,00	1,07	6,06	0,18	0,57	0,07	8
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,793	3,75	5,43	0,691	2,40	9,00	1,14	6,06	0,19	0,59	0,08	9
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,844	4,04	5,59	0,724	2,47	10,00	1,20	6,06	0,20	0,61	0,09	10
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,891	4,33	5,73	0,755	2,54	11,00	1,26	6,06	0,21	0,63	0,09	11
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,936	4,60	5,87	0,784	2,61	12,00	1,31	6,06	0,22	0,64	0,10	12
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	1,978	4,87	6,00	0,812	2,67	13,00	1,37	6,06	0,23	0,66	0,11	13
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,019	5,13	6,12	0,839	2,73	14,00	1,42	6,06	0,23	0,67	0,12	14
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,058	5,39	6,24	0,864	2,78	15,00	1,47	6,06	0,24	0,69	0,13	15
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,095	5,64	6,35	0,889	2,84	16,00	1,52	6,06	0,25	0,70	0,14	16
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,131	5,89	6,46	0,913	2,89	17,00	1,56	6,06	0,26	0,71	0,15	17
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,165	6,14	6,56	0,935	2,93	18,00	1,61	6,06	0,27	0,72	0,15	18
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,198	6,38	6,66	0,957	2,98	19,00	1,65	6,06	0,27	0,74	0,16	19
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,231	6,62	6,76	0,979	3,02	20,00	1,70	6,06	0,28	0,75	0,17	20
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,262	6,85	6,86	0,999	3,07	21,00	1,74	6,06	0,29	0,76	0,18	21
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,293	7,08	6,95	1,019	3,11	22,00	1,78	6,06	0,29	0,77	0,19	22
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,323	7,31	7,04	1,039	3,15	23,00	1,82	6,06	0,30	0,78	0,20	23
6060,83	3 030,41	28,85	19,04	1,515	4,05	116,735	2,352	7,54	7,13	1,058	3,18	24,00	1,86	6,06	0,31	0,79	0,21	24

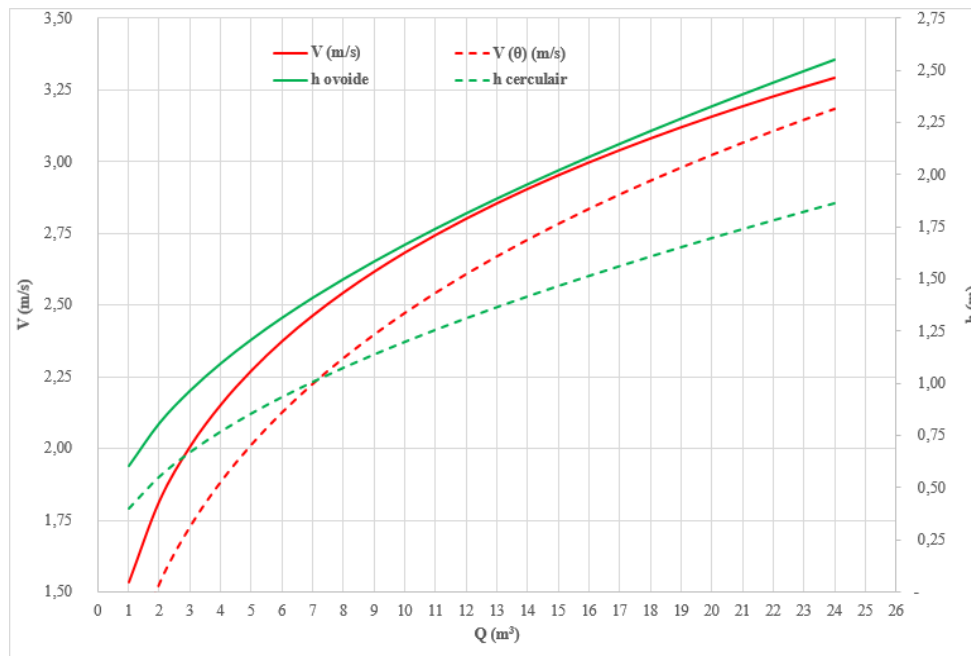


Figure 3.6 évolutions des vitesses et des hauteurs pour un même A_{ps} à débit variable

Le graphe présente les vitesses et les hauteurs en fonction de débit dans les sections circulaire et

ovoïdale.

On voit dans le graphe que la vitesse dans l'ovoïde est toujours importante par rapport au circulaire donc les diamètres qui sont supérieur a D_2 sont la solution adapté.

Conclusion

Deux cas d'étude sont traités dans ce chapitre ; à savoir le dimensionnement d'une conduite de section ovoïde et le dimensionnement d'une conduite de section circulaire pour acheminer un même débit avec une section pleine identique. La comparaison des résultats a révèlé que la solution circulaire présente de meilleures vitesses pour de faible diamètre. Néanmoins, pour de grand diamètres la section ovoïde est plus intéressante puisqu'elle présente des vitesses plus importantes. Les résultats ont montré aussi que quel que soit le diamètre, la hauteur d'eau dans la conduite ovoïde est plus grande, donc moins de risque de stagnation d'eau usées.

Conclusion générale

Au terme de ce mémoire, il ressort une méthodologie d'approche pour poser les équations de base des écoulements à ciel ouvert en régime uniforme dans une section de forme ovoïde.

Ce qui est intéressant dans cette approche, est que la même démarche peut être adoptée pour n'importe quel type de section, pour peu que l'on maîtrise les équations de la géométrie de la section proposée.

Ces équations sont directement utilisées dans une analyse numérique de calcul d'un réseau d'égout. Pour les amateurs de la méthode graphique un abaque est aussi proposé donnant le rapport des vitesses et des hauteurs en fonction du rapport des débits.

Deux méthodes sont proposées dans ce mémoire pour le dimensionnement d'une conduite ovoïde formée dans sa partie supérieure par un demi-cercle de rayon r et caractérisée par sa hauteur H à égale trois fois le rayon r . La méthode analytique développée aboutit à des relations laborieuses. La méthode graphique est plus pratique et simple d'utilisation pour un ingénieur ou gestionnaire d'ouvrage.

L'étude de cas de section ovoïde traité a montré que la vitesse de l'écoulement augmente en continue en fonction du diamètre ; ce qui est favorable pour la circulation d'eau.

Une étude comparative avec une conduite de section circulaire pour un même débit et une section pleine identique a révélé que la solution circulaire présente de meilleures vitesses pour de faible diamètre. Néanmoins, pour de grands diamètres la section ovoïde est plus intéressante puisqu'elle présente des vitesses plus importantes. Les résultats ont montré aussi que quel que soit le diamètre, la hauteur d'eau dans la conduite ovoïde est plus grande, donc moins de risque de stagnation d'eau usées.

Nous retenons enfin que les canalisations de forme ovoïde, de par leurs avantages, présentent des caractéristiques hydrauliques uniques qui les rendent adaptées à certaines situations. Cette canalisation offre une alternative efficace aux canalisations circulaires traditionnelles.

Toutefois, une étude économique serait intéressante pour mieux conclure.

Reference bibliographique

- BELGRAD. E**, Les égouts de Paris : Des origines à l'empire, première édition en 1865.
- BONNEN. J**, Aide-mémoire d'hydraulique urbaine, édition Eyrolles, 1982.
- BONNEN. J**, Hydraulique des réseaux d'assainissement, Tome 1, Conduites, ouvrage et équipements, édition Eyrolles, 1986.
- BOURRIER. R**, Les réseaux d'assainissement calculs applications perspectives édition LAVOISIER-Tec & Doc, 1991
- BUTLER. D, DAVIS. J.D**, Urban Drainage, édition Fourth, spon press (Taylor & Francis group), 2016
- BUTLER. D, DAVIES.J**, hydraulic Design of Ovoid sewers, édition Thomas Telford Publishing, 1996.
- BUTLER. D, DAVIES.J**, Urban Drainage, édition Fourth, spon press (Telford & Francis Group), 2016.
- HALLIDAY.S**, The Great Stink of London: Sir Joseph Bazalgette and the cleansing of the Victorian metropolis, édition the history press, 1999.
- HAMMOUM. H**, Cours d'assainissement, professeur à l'université de Tizi-Ouzou, 2024.
- HERVIEU. J**, Traité pratique de la construction des égouts, édition Librairie polytechnique, BOUDRY et C^{le}, 1987.
- RIABI. M, ACHOUR. B**, Contribution au dimensionnement des conduites de forme ovoïde, Courrier Du Savoir N°11, pp 33-39, mars 2011.
- SATIN. M, SELMI. B**, Guide technique de l'assainissement, édition Le Moniteur, 1995.
- WILLIAMS. A.C.R.G, DICKINSON. R. E**, Design and performance of Ovoide Sewers, édition Thomas Telford Publishing, 1996.

Annexes

1- FORMULES D'ÉCOULEMENT (conduite circulaire) :

Nous utilisons généralement les formules découlant de celle de BAZIN, comme par exemple la formule de CHEZY :

$$V = C \cdot \sqrt{Rh \cdot I} \quad (2.1)$$

Avec : V : vitesse moyenne d'écoulement [m/sec]

Rh : rayon hydraulique [m]

I : pente du collecteur [m/m]

C : coefficient de CHEZY

-Le rayon hydraulique est donné par la relation suivante :

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (2)$$

Avec : Am : section mouillée

Pm : périmètre mouillé

1.1. Formule de Bazin :

$$C = \frac{87 \cdot \sqrt{Rh}}{\sqrt{Rh} \cdot \gamma} \quad (3)$$

Où : γ , désigne le coefficient d'écoulement de BAZIN, dont les valeurs dépendent de la nature des liquides transportés, de la nature des parois et surtout du nombre et de la nature de la confection des joints.

Nous retiendrons pour valeurs :

- $\gamma = 0,46$ pour les ouvrages pluviaux,
- $\gamma = 0,25$ pour les collecteurs des eaux usées,
- $\gamma = 0,06$ lorsque les parois sont lisses.

Ces valeurs peuvent être ramenées à 0,30 et 0,16 respectivement pour les ouvrages pluviaux et collecteurs des eaux usées si la pose et la confection des joints est soignée.

Valeur de γ	Nature de paroi
0.06	parois très unies : ciment lisse, bois raboté
0.16	Parois unies : briques, pierres de tailles, acier usagé
0.46	Canaux revêtus de maçonnerie de moellons
0.85	Canaux en terre à sections très régulières
1.30	Canaux en terre, dans des conditions ordinaires
1.75	Canaux en terre représentant une résistance exceptionnelle : galets et pierres ...

1.2. Formule de Manning

$$C = \frac{0.823}{\eta} \cdot Rh^{1/6} \quad (4)$$

Où : η , désigne le coefficient d'écoulement, dont les valeurs dépendent de la nature des parois

η	Nature de la paroi
0.010	bois raboté ou béton lisse
0.011	bois non raboté
0.012	béton sans enduit
0.013	Briques
0.021	Terre
0.024	Gravier
0.029	terre avec végétation

1.3. Commentaire

On utilise de moins en moins la formule de BAZIN, car elle donne des valeurs erronées dans le cas où le coefficient C est élevé. Celui-ci peut atteindre et même dépasser la valeur de 100. Alors qu'en application de la formule de BAZIN, la limite supérieure de la valeur de C est 87.

2. DIMENSIONNEMENT DES COLLECTEURS :

Les réseaux d'égouts sont généralement de type ramifié, à fonctionnement gravitaire. Afin d'éviter les instabilités, leur dimensionnement impose un écoulement à surface libre, capable de maintenir une circulation d'air sans mise en charge de la conduite.

2.1. Ecoulement à pleine section :

A pleine section l'équation (2) donnant le rayon hydraulique s'écrit :

$$Rh = \frac{D}{4} \quad (5)$$

Où : D : désigne le diamètre de la conduite [m].

Exemple : Pour les collecteurs en buses de béton sans enduit, la relation (4) se réduit comme suit, en prenant $\eta = 0,012$.

$$C = \frac{0.823}{0.012} \cdot Rh^{1/6} \quad (6)$$

2.1.1. Vitesse à pleine section :

$$V_{ps} = \frac{0.823}{\eta} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{1/6} \cdot \sqrt{Rh \cdot I} \quad (7)$$

Avec : V_{ps} : vitesse à pleine section [m/sec].

2.1.2. Débit à pleine section :

Le débit à pleine section est donné par la relation suivante :

$$Q_{ps} = V_{ps} \cdot A_{ps} \quad (8)$$

Avec :

Q_{ps} : débit à pleine section [m³/sec].

A_{ps} : section pleine [m²].

La section pleine est donnée par :

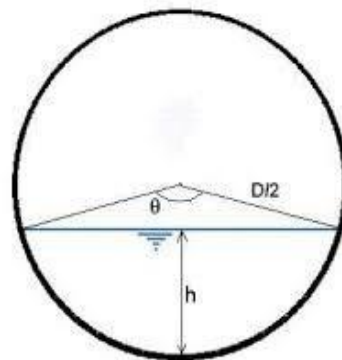
$$A_{ps} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (9)$$

En remplaçant la relation (9) et la relation (7) dans l'équation (8), il vient :

$$Q_{ps} = \frac{\pi}{4^{5/3}} \cdot \frac{0.823}{\eta} \cdot (D)^{8/3} \cdot \sqrt{I} \quad (10)$$

2.2. Ecoulement a section partielle :

2.2.1. Hauteur de remplissage



D'après la figure ci-dessus, nous pouvons écrire :

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{X}{R} \quad (11)$$

Le rayon R de la buse est donné par la relation :

$$R = \frac{D}{2} \quad (12)$$

Il vient que :

$$X = R \cdot \cos \frac{\theta}{2} = \frac{D}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \quad (13)$$

La hauteur de remplissage h [m], s'écrit :

$$h = R - X = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos \frac{\theta}{2}) \quad (14)$$

2.2.2. Rapport des hauteurs :

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \frac{\theta}{2}) \quad (15)$$

2.2.3. Rayon hydraulique :

Il est donné par la relation (2) :

$$A_m = \text{Section totale} - \text{Section des 2 triangles} \quad (16)$$

$$A_m = \theta \cdot \frac{D^2}{8} - \left(\frac{D}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \right) \quad (17)$$

$$A_m = \theta \cdot \frac{D^2}{8} - \frac{D^2}{4} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (18)$$

$$A_m = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \sin \theta) \quad (19)$$

$$P_m = \theta \cdot \frac{D}{2} \quad (20)$$

$$R_h = \frac{\frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \sin \theta)}{\theta \cdot \frac{D}{2}} = \frac{D}{4} \cdot \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right) \quad (21)$$

2.2.4. Rapport des vitesses :

$$R_v = \frac{V}{V_{ps}} = \frac{\frac{0.823}{\eta} \cdot R_h^{1/6} \cdot \sqrt{R_h \cdot I}}{\frac{0.823}{\eta} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{1/6} \cdot \sqrt{\frac{D}{4} \cdot I}} = \frac{R_h^{2/3}}{\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3}} \quad (22)$$

$$Rv = \left[\frac{\frac{D}{4} \cdot \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\theta} \right)}{\frac{D}{4}} \right]^{2/3} = \left[\frac{\theta - \sin\theta}{\theta} \right]^{2/3} \quad (23)$$

2.2.5. Rapport des débits

$$R_Q = \frac{Q}{Q_{ps}} = \frac{V}{V_{ps}} \cdot \frac{A}{A_{ps}} = \left[\frac{\theta - \sin\theta}{\theta} \right]^{2/3} \cdot \frac{\frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \sin\theta)}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad (24)$$

$$R_Q = \frac{(\theta - \sin\theta)^{5/3}}{2 \cdot \pi \cdot \theta^{2/3}} \quad (25)$$

Remarque : Nous posons dans la relation (18)

$$\cos \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} \sin \theta \quad (26)$$