

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)
Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**En vue de l'obtention du diplôme de master
de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

Filière : Génie Civil

Spécialité : Constructions hydrauliques et aménagements (CHA)

Thème

Ecoulement dans une conduite de forme ovoïde

Présenté par

M^r REKKAL JUBA

Devant le jury composé de :

M ^r HAMMOUM HOCINE	Professeur à l'UMMTO - Encadreur.
Mme BOUZELHA KARIMA	Professeur à l'UMMTO - Présidente.
M ^r DEHMOUS HOCINE	Professeur à l'UMMTO - Examineur.
Mme CHERIFI FATIHA	Maitre de conférences classe B à l'UMMTO - Examinatrice.

Promotion 2024 / 2025

Introduction Générale

Chapitre 1 : Etat de l'art

1.1	Contexte général de l'assainissement.....	1
1.2	Les types de réseaux d'assainissement.....	1
1.3	Les formes des conduites en assainissement.....	2
1.4	Définition de la forme ovoïdale.....	2
1.5	Intérêt de la forme ovoïde.....	3
1.6	Avantages de la forme ovoïdale.....	3
1.7	Inconvénients de la forme ovoïdale.....	4
1.8	Fonctionnement hydraulique de l'ovoïde.....	6
1.9	Différents domaines d'utilisation de la forme ovoïdale.....	6
1.10	Les différents modèles d'ovoïdes.....	8
1.11	Cas d'étude dans le monde.....	11
1.11.1	Égouts de Paris.....	11
1.11.2	Égouts de Londres.....	13
1.11.3	Réseau d'assainissement de Tokyo.....	15
1.12	Conclusion.....	19

Chapitre 2 : Dimensionnement hydraulique dans une conduite ovoïdale

2.1	Introduction.....	20
2.2	Caractéristiques géométriques de la conduite.....	20
2.3	Étapes de construction de la section ovoïde.....	20
2.4	Détermination des caractéristiques de l'écoulement.....	21
2.5	Mise en équation des trois parties de la conduite.....	22
2.5.1	Partie inférieure.....	22
2.5.2	Partie intermédiaire.....	25
2.5.3	Partie supérieure.....	29
2.6	Rapports hydrauliques.....	32
A.	Rapport des rayons hydrauliques.....	32
B.	Rapport des vitesses.....	33
C.	Rapport des aires.....	33
D.	Rapport des débits.....	34
2.7	Construction d'un abaque pour un dimensionnement graphique.....	34
2.8	Traitement d'un cas d'égout.....	40

Chapitre 3 : Cas d'étude

3.1 Introduction.....	42
3.2 Description du projet.....	42
3.3 Description de l'aménagement retenu.....	42
3.4 Rappel hydrologique.....	43
3.5 Dimensionnement de la variante ovoïde.....	45
3.6 Résultats et interprétations.....	45
3.7 Étude comparative avec un projet existant (PFE 2024 – UMMTO).....	51
3.8 Comparaison solution ovoïde – solution PFE 2024.....	54

Conclusion Générale

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

1. Figure : Profils des conduites ovoïdales de type 1 et type 2 Hocine (HAMMOUM 2023)
2. Figure 1.1 : Différents modèles de l'ovoïde (Hammoum, 2024).
3. Figure 1.2 : Egouts de paris.
4. Figure 1.3 : Egouts de paris sous la seine
5. Figure 1.4 : Déficit techniques.
6. Figure 1.5 : Égouts de Paris (Souterrain de paris, France)
7. Figure 1.6 : Illustration des égouts de Londres. (Belgrand, 1865).
8. Figure 1.7 : Construction du réseau d'égout (Halliday, 1999).
9. Figure 1.8: illustration des joints flexibles antisismiques dans une conduite
10. Figure 1.9: Vue d'ensemble de la structure G-Cans (Wikipedia)
11. Figure 1.10 : intérieur du Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel (aussi appelé G-Cans)
12. Figure 1.8 : Modèle type d'un Ovoïde.
13. Figure 2.1 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde.
14. Figure 2.2 : schéma de patrie (1)
15. Figure 2.3 : schéma de partie (2)
16. Figure 2.4 : schéma représentant dA dans la partie (2)
17. Figure 2.5 : schéma de la partie (3)
18. Figure 2.6: construction de l'abaque
19. Figure 2.7 : Abaque
20. Figure 2.8 : exemple sur le mode d'emploi de l'abaque
21. Figure 2.9 : Organigramme de la méthode analytique pour le dimensionnement de conduite de section ovoïdale.
22. Figure 3.1 : Tracé souterrain du tunnel sous la RN23A.
23. Figure 3.2 : Hydrogramme de la crue vingtennale du réseauhydrographique de la vallée des jardins.
24. Figure 3.3 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour le débit de dimensionnement avec une vingtaine de solution potentielle.
25. Figure 3.4: illustration les solutions.
26. Figure 3.5 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde PFE 2024.
27. Figure 3.6 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour un débit de 23,5m³/s sur plusieurs sections de conduite ovoïde
28. Figure 3.7 : Comparaison des graphiques de vitesse entre le type 1 et PFE 2024
29. Figure 3.8 : Comparaison des graphiques de hauteur entre le type 1 et PFE 2024

Liste des tableaux

1. Tableau 1.1 : résumé des avantages de l'ovoïde
2. Tableau 1.2 : résumé des inconvénients de l'ovoïde
3. Tableau 1.3 : Recommandation d'usage des modèles ovoïdes
4. Tableau 3.1 : valeur de débit en fonction de temps
5. Tableau 3.2 : Evaluation des débits particuliers Q_1 , Q_2 et Q_{ps}
6. Tableau 3.3: Positionnement du plan d'eau
7. Tableau 3.4 : Dimensionnement des caractéristiques hydrauliques final de l'ovoïde
8. Tableau 3.5 : Note de calcul du dimensionnement de la conduite de section ovoïde
9. Amrouni Abderrahim , Achir Rafik , PFE 2024

Introduction générale

La gestion des eaux usées est une préoccupation ancienne, qui remonte à plusieurs millénaires. Les premiers systèmes d'égouts connus apparaissent autour du III^e millénaire avant J.-C., notamment dans les civilisations de la Mésopotamie et de la vallée de l'Indus. Des villes comme Mohenjo-Daro ou Babylone disposaient déjà de réseaux rudimentaires en briques ou en pierre, acheminant les eaux usées loin des habitations.

Dans l'Égypte antique, des canaux souterrains étaient creusés pour évacuer les eaux stagnantes, tandis que les Grecs et surtout les Romains perfectionnèrent ces systèmes. La célèbre Cloaca Maxima, construite à Rome au VI^e siècle av. J.-C., est l'un des premiers grands égouts voûtés maçonnés, et témoigne de l'ingéniosité hydraulique de l'époque. Néanmoins, pendant tout le Moyen Âge, ces techniques furent largement abandonnées en Europe, et les villes furent à nouveau confrontées à de graves problèmes d'insalubrité.

Ce n'est qu'à partir du XIX^e siècle, avec la croissance rapide des villes industrielles et la multiplication des épidémies (choléra, typhus), que la question de l'assainissement redevint une priorité. En Angleterre, les odeurs insupportables de la Tamise (le « Great Stink » de 1858) poussèrent les autorités à réagir. C'est dans ce contexte qu'un immense programme d'égouts fut lancé à Londres sous la direction de Joseph Bazalgette, ingénieur en chef des travaux publics.

C'est à cette époque qu'apparut une innovation majeure dans la forme des canalisations : le profil ovoïdal. Contrairement aux conduites circulaires classiques, ces profils permettaient un écoulement plus rapide même en faible débit, réduisant les dépôts de matières. Parmi ces profils, le Type 1, connu sous le nom de « Old Form », devint rapidement un standard. Il alliait simplicité de construction et efficacité hydraulique dans les réseaux unitaires.

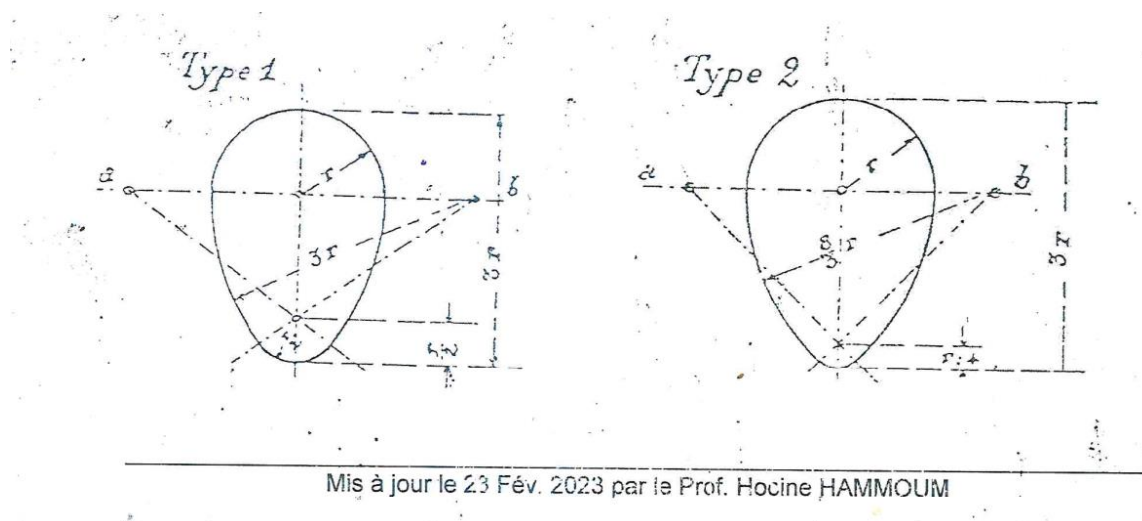


Figure : profils des conduites ovoïdales de type 1 et type 2

Introduction générale

Le Type 1 fut massivement utilisé dans les égouts londoniens, mais son influence dépassa les frontières britanniques. Il fut adopté dans de nombreuses villes européennes en tant que modèle de référence pour les grands collecteurs souterrains. À travers lui, l'histoire de l'assainissement entra dans une nouvelle ère, plus scientifique, rationnelle, et durable.

Ce travail vise à établir les équations hydrauliques décrivant l'écoulement dans ce type de section, dans le but de proposer un outil graphique (abaque) permettant aux ingénieurs de dimensionner facilement les conduites à partir d'une approche visuelle.

Pour mener à bien cette étude, le mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre Présentation des différents types de conduites utilisées dans les réseaux d'assainissement, avec une attention particulière portée aux formes ovoïdales. Les modèles internationaux seront également évoqués.

Deuxième chapitre évoque le Développement d'une méthode de dimensionnement analytique des conduites ovoïdales en régime permanent et uniforme. Des abaques présentant les rapports de vitesses et de débits seront proposés pour faciliter l'analyse graphique.

Troisième chapitre fera l'objet de l'application de la méthode à un cas d'étude concret, avec comparaison des performances entre une conduite ovoïdale type 1 et une autre conduite ovoïdale du PFE 2024 par Amrouni Abderrahim , Achir Rafik , transportant le même débit, afin de mettre en lumière les bénéfices de la section ovoïdale de type .

Chapitre 1

Etat de l'art

1.1 Contexte général de l'assainissement

L'assainissement est un pilier fondamental du développement durable et de la santé publique. Il regroupe l'ensemble des techniques, infrastructures et dispositifs permettant de collecter, transporter, traiter et évacuer les eaux usées et les eaux pluviales issues des zones urbaines, industrielles ou rurales. L'objectif principal est de prévenir les risques sanitaires, d'assurer l'hygiène publique et de préserver les ressources naturelles, en particulier les milieux aquatiques.

Dans un contexte de croissance démographique, d'urbanisation rapide et de changement climatique, la pression sur les réseaux d'assainissement devient de plus en plus forte. L'augmentation des surfaces imperméabilisées engendre une croissance significative du volume des eaux de ruissellement, ce qui peut provoquer la surcharge des réseaux, des inondations urbaines et des rejets non traités dans le milieu naturel.

Les systèmes d'assainissement doivent donc répondre à des exigences techniques de plus en plus complexes, en conciliant efficacité hydraulique, durabilité, adaptabilité et coût économique.

1.2 Les types de réseaux d'assainissement

On distingue généralement trois grands types de réseaux d'assainissement :

Le réseau unitaire : il collecte les eaux usées domestiques, industrielles ainsi que les eaux pluviales dans une même conduite. C'est un système historiquement très répandu dans les anciens centres urbains. Il présente l'avantage d'être moins coûteux en termes de travaux de canalisation, mais il présente de nombreux inconvénients, notamment en période de forte pluie, où les débits importants peuvent dépasser la capacité du réseau et entraîner des déversements dans le milieu naturel, souvent sans traitement préalable.

Le réseau séparatif : il dissocie les eaux usées et les eaux pluviales dans deux réseaux indépendants. Ce système permet un traitement plus efficace des eaux usées tout en réduisant la surcharge des stations d'épuration. Il est aujourd'hui privilégié dans les nouveaux aménagements urbains.

Le réseau pseudo-séparatif : bien qu'ayant été conçu comme un réseau séparatif, il présente en réalité des interconnexions accidentelles ou volontaires entre les deux réseaux, ce qui en réduit l'efficacité. Il nécessite souvent une réhabilitation pour redevenir pleinement fonctionnel.

1.3 Les formes des conduites en assainissement

Le choix de la forme géométrique des conduites est une composante essentielle dans la conception des réseaux d'assainissement, car il influence directement la capacité hydraulique, la vitesse d'écoulement, l'auto nettoyage du réseau, ainsi que le coût et la facilité de mise en œuvre. On distingue plusieurs formes principales :

Les conduites circulaires : elles sont les plus couramment utilisées, notamment dans les réseaux séparatifs. Leur fabrication est standardisée et leur pose est relativement simple. Elles conviennent particulièrement aux faibles débits et aux réseaux sous pression ou à faible pente.

Les conduites ovoïdes : elles sont largement utilisées dans les réseaux unitaires, notamment en milieu urbain ancien. Leur forme particulière, plus étroite à la base, permet de maintenir des vitesses d'écoulement suffisantes en période de faible débit, favorisant ainsi le phénomène d'auto-curage, tout en offrant une grande capacité hydraulique en période de forte pluie.

Les conduites elliptiques, en fer à cheval ou en ogive : elles sont utilisées dans certains contextes spécifiques, notamment pour les grands collecteurs visitables ou en présence de contraintes géotechniques particulières.

Les canaux à section trapézoïdale ou rectangulaire : généralement utilisés pour les ouvrages à ciel ouvert ou pour les grands collecteurs visitables, ils sont plus adaptés aux zones à faible pente.

1.4 Définition de la forme ovoïdale

La forme ovoïdale est une section en forme d'œuf utilisée principalement pour la construction de conduites d'assainissement. Elle a été conçue pour améliorer l'écoulement des eaux, même lorsque le débit est faible. Grâce à sa partie inférieure plus étroite, l'eau circule plus rapidement au fond de la canalisation, ce qui limite le dépôt de boues et de matières solides.

En cas de fortes pluies, la partie supérieure plus large permet d'augmenter la capacité d'évacuation, évitant ainsi les débordements. Cette forme combine donc deux avantages essentiels : elle facilite l'évacuation des faibles comme des forts débits, et elle aide à garder les canalisations propres grâce à l'auto nettoyage naturel par l'eau elle-même.

C'est pour ces raisons que la forme ovoïdale est largement utilisée dans les grands réseaux d'égouts, en particulier dans les villes anciennes.

1.5 Intérêt de la forme ovoïde

La section ovoïde, également appelée section en goutte d'eau inversée, est particulièrement adaptée aux réseaux unitaires, car elle présente une meilleure performance hydraulique dans les conditions de débit variable. À faible débit, la forme resserrée à la base permet de conserver une hauteur d'eau suffisante pour garantir une vitesse minimale, ce qui limite les dépôts solides. En situation de pluie, le grand rayon supérieur offre une capacité de stockage importante, ce qui réduit le risque de surcharge et d'inondation.

Historiquement, les sections ovoïdes ont été développées au XIXe siècle dans les grandes villes européennes, notamment à Paris et Londres, où elles ont démontré leur efficacité sur le long terme. Aujourd'hui, malgré la popularité croissante des sections circulaires dans les réseaux modernes, la section ovoïde reste un choix stratégique dans certaines configurations urbaines à topographie complexe ou à espace réduit.

1.6 Avantages de la forme ovoïdale dans les réseaux d'assainissement

La forme ovoïdale a été adoptée dans de nombreux réseaux d'égouts, notamment au XIXe siècle, car elle présente des avantages techniques par rapport aux conduites circulaires classiques, surtout pour les réseaux unitaires (eaux usées + pluviales).

Voici les principaux avantages :

1.6.1 Meilleur écoulement à faible débit

- Grâce à sa partie inférieure resserrée, même quand le débit est faible (par temps sec), l'eau s'écoule plus rapidement.
- Cela augmente la vitesse de l'eau et évite que des dépôts de matières solides ne stagnent au fond des canalisations.

1.6.2 Auto curage hydraulique

- L'augmentation de la vitesse en pied de conduite assure un auto nettoyage naturel (appelé effet d'auto curage).
- Moins d'accumulation de boues donc moins de besoins d'entretien manuel.

1.6.3 Grande capacité d'évacuation en cas de pluie

- La partie supérieure large permet de recevoir un gros volume d'eau en cas d'orage ou de fortes précipitations.

- Cette forme est idéale pour les réseaux unitaires qui doivent gérer à la fois les eaux usées quotidiennes et les eaux pluviales.

1.6.4 Optimisation économique

- Moins coûteux que de construire deux réseaux séparés (un pour les eaux usées, un autre pour les eaux pluviales).
- Moins de problèmes de colmatage → réduction des coûts d'entretien.

1.6.5 Solidité et stabilité

- La voûte arrondie répartit bien les pressions exercées par les terres et les constructions situées au-dessus.
- Cela permet de réaliser de grandes galeries visitées par l'homme pour inspection et entretien.

1.6.6 Adaptation aux contraintes urbaines

- La forme ovoïdale s'intègre facilement dans les rues étroites ou sous des infrastructures anciennes.
- Elle était idéale lors de la modernisation des grandes villes au XIXe siècle, comme Paris ou Londres.

➤ Résumé des avantages

Avantage	Résultat
Écoulement plus rapide	Limite les dépôts de boues
Auto curage	Moins d'entretien
Grande capacité pluviale	Prévention des inondations
Économie d'espace	Moins large, plus facile à poser
Solidité structurelle	Résiste à la pression du sol

Tableau 1.1 : résumé des avantages de l'ovoïde

1.7 Inconvénients de la forme ovoïdale

Malgré ses nombreux avantages, la forme ovoïdale présente aussi certains inconvénients, qui expliquent pourquoi elle n'est pas toujours utilisée aujourd'hui.

1.7.1 Construction plus complexe

- Réaliser un conduit ovoïdal demande une maçonnerie ou un coffrage plus technique que pour une conduite circulaire classique.
- À l'époque des réseaux anciens (XIXe siècle), ces formes étaient construites en briques, ce qui nécessitait beaucoup de main-d'œuvre qualifiée.

1.7.2 Coût initial plus élevé

Fabrication et pose plus coûteuses que les conduites circulaires standards, surtout avec les technologies modernes de tuyaux préfabriqués en béton.

Utilisation plus fréquente aujourd'hui uniquement pour des grands collecteurs, pas pour les petits réseaux de quartier.

1.7.3 Difficile à standardiser

Contrairement aux conduites circulaires, il est plus difficile de produire des éléments ovoïdaux préfabriqués de façon industrielle, même si cela existe.

1.7.4 Nécessité d'entretien malgré l'auto curage

Même si l'effet d'auto curage est réel, il n'est pas suffisant pour éviter totalement l'entretien : il faut toujours prévoir des visites, des curages mécaniques ou hydrauliques réguliers.

1.7.5 Moins utilisé pour les réseaux séparatifs

Aujourd'hui, les villes neuves sont souvent construites en réseaux séparatifs (eaux usées d'un côté, eaux pluviales de l'autre), ce qui réduit l'intérêt des formes ovoïdales qui avaient été pensées pour le système unitaire.

➤ Résumé des inconvénients

Inconvénient	Conséquence
Construction complexe	Nécessite du savoir-faire spécifique
Coût de réalisation élevé	Réservé aux grands projets
Standardisation difficile	Utilisation réduite dans les projets modernes
Entretien nécessaire malgré auto curage	Besoin de curages réguliers

Tableau 1.2 : résumé des inconvénients de l'ovoïde

1.8 Fonctionnement hydraulique de l'ovoïde

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

1.8.1 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.

1.8.2 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.

1.8.3 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.

1.9 Différents domaines d'utilisation de la forme ovoïdale

1.9.1 Égouts urbains

Les égouts urbains sont les réseaux souterrains destinés à collecter et évacuer les eaux usées domestiques et parfois les eaux pluviales. La forme ovoïdale est ici idéale, car elle permet un écoulement efficace aussi bien en période de forte utilisation (pluies, crues) qu'en période de faible débit (nuit, sécheresse). Grâce à sa forme resserrée à la base, elle maintient une vitesse d'écoulement suffisante même quand le conduit est partiellement rempli, ce qui évite le dépôt de matières solides et facilite l'auto-curage.

1.9.2 Réseaux d'irrigation

Les réseaux d'irrigation servent à transporter l'eau vers les zones agricoles pour l'arrosage des cultures. Même si les conduites circulaires sont souvent privilégiées, l'ovoïde est utilisé dans certaines situations spécifiques, notamment pour minimiser l'accumulation de sédiments dans les réseaux souterrains. Sa forme permet de maintenir un écoulement constant même à faible débit, ce qui est essentiel pour éviter l'obstruction par les dépôts de terre ou de matière organique.

1.9.3 Drainage de routes et d'autoroutes

Les systèmes de drainage sous les routes et les autoroutes ont pour fonction principale d'évacuer rapidement les eaux de pluie afin de garantir la sécurité des usagers. L'utilisation de conduites ovoïdales est pertinente lorsque l'on doit assurer une évacuation rapide sur de faibles pentes, ou dans les zones où la place est limitée. Le profil ovoïde, par sa capacité à canaliser efficacement les faibles débits, est souvent utilisé dans les zones sensibles pour prévenir l'accumulation d'eau et limiter l'entretien nécessaire.

1.9.4 Installations industrielles

Dans le secteur industriel, les réseaux d'assainissement doivent souvent transporter des eaux usées chargées en matières solides ou chimiques. L'ovoïde présente un avantage important ici : il réduit le risque d'accumulation des dépôts en fond de conduite, même lorsque les débits sont irréguliers. C'est aussi un choix adapté lorsque le réseau doit alterner entre faibles et forts débits, par exemple lors de nettoyages industriels ou de rejets ponctuels importants.

1.9.5 Réseaux d'eaux pluviales et bassins de rétention

Dans les systèmes d'évacuation des eaux pluviales, l'objectif est de gérer les fortes quantités d'eau lors des précipitations et d'éviter les inondations. Le profil ovoïdal est utilisé pour sa capacité à s'adapter aux variations brutales de débit : petit débit la majeure partie du temps, mais capable d'absorber des volumes importants en cas d'orage. Dans certains cas, il est combiné à des bassins de rétention souterrains pour stocker temporairement l'eau avant rejet dans le réseau.

1.9.6 Réhabilitation de réseaux anciens

Les anciens réseaux d'assainissement, souvent construits en ovoïde, nécessitent des travaux de rénovation pour rester fonctionnels face à l'usure du temps. L'ovoïde continue d'être utilisé lors de ces travaux car il reste très performant, même comparé aux profils modernes. Les techniques de réhabilitation visent à renforcer l'intérieur de la conduite existante tout en conservant sa forme originale pour préserver ses qualités hydrauliques.

Conclusion

La forme ovoïdale n'est pas utilisée partout par hasard : elle répond à un besoin d'efficacité hydraulique, surtout lorsque le débit varie fortement. Elle permet l'auto-curage, l'économie d'espace et l'optimisation de la vitesse d'écoulement. Que ce soit pour les eaux usées, pluviales, industrielles ou agricoles, elle reste une référence dans les réseaux modernes et anciens.

1.10 Les différents modèles d'ovoïdes

Les réseaux d'assainissement emploient souvent des canalisations de section ovoïde (ou en forme d'œuf), particulièrement adaptées aux flux variables (eaux claires usuelles et fortes pluies). Contrairement aux sections circulaires, elles maintiennent une vitesse d'écoulement suffisante même à faible débit, ce qui limite les dépôts et favorise l'auto curage.

1.10.1 Modèles principaux d'ovoïdes

a. Ovoïde à fond plat

Description : l'axe inférieur est plat, ce qui permet une base stable et une installation facilitée, notamment en terrains sensibles

- **Avantages :**

- Meilleure assise au sol.
- Facilité de mise en œuvre.
- Capacité tampon accrue.

Usage typique : zones urbaines, terrains meubles.

b. Ovoïde coniques (ou standard / métropolitain)

Description : profil effilé, petit diamètre en bas, gangue plus large en haut. Cela favorise une vitesse accrue à faible débit.

- **Avantages :**

- Auto curage optimal.
- Réduction des dépôts.
- Adapté aux réseaux unitaires.

- **Inconvénients :**

- Fabrication complexe.
- Moins stable sans calage ou renforts.

c. Ovoïde à plusieurs compartiments

Description : séparation interne en plusieurs compartiments (cunicules), permettant de diriger les eaux en fonction de leur volume et nature.

- Avantages :
Séparation des flux (pluie vs eaux usées).
Optimisation de l'auto curage sur certains tronçons.
Maintien de grandes capacités de transit.

Usage typique : grands collecteurs, stations de pompage, réseaux unitaires critiques.

➤ Recommandations d'usage

Contexte	Modèle conseillé
Canalisations urbaines	Ovoïdes à fond plat
Réseaux unitaires anciens	Ovoïdes coniques pour auto curage
Grands collecteurs/pluie	Ovoïdes multi-compartiments pour gestion différenciée

Tableau 1.3 : Recommandation d'usage des modèles ovoïdes

Les modèles ovoïdes offrent un équilibre ingénieux entre performance hydraulique et contraintes pratiques. Le choix se porte vers :

- Fond plat : stabilité et facilité.
- Conique : efficacité de l'auto curage.
- Compartiments : gestion des flux en cas de pluies abondantes.

Conclusion

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

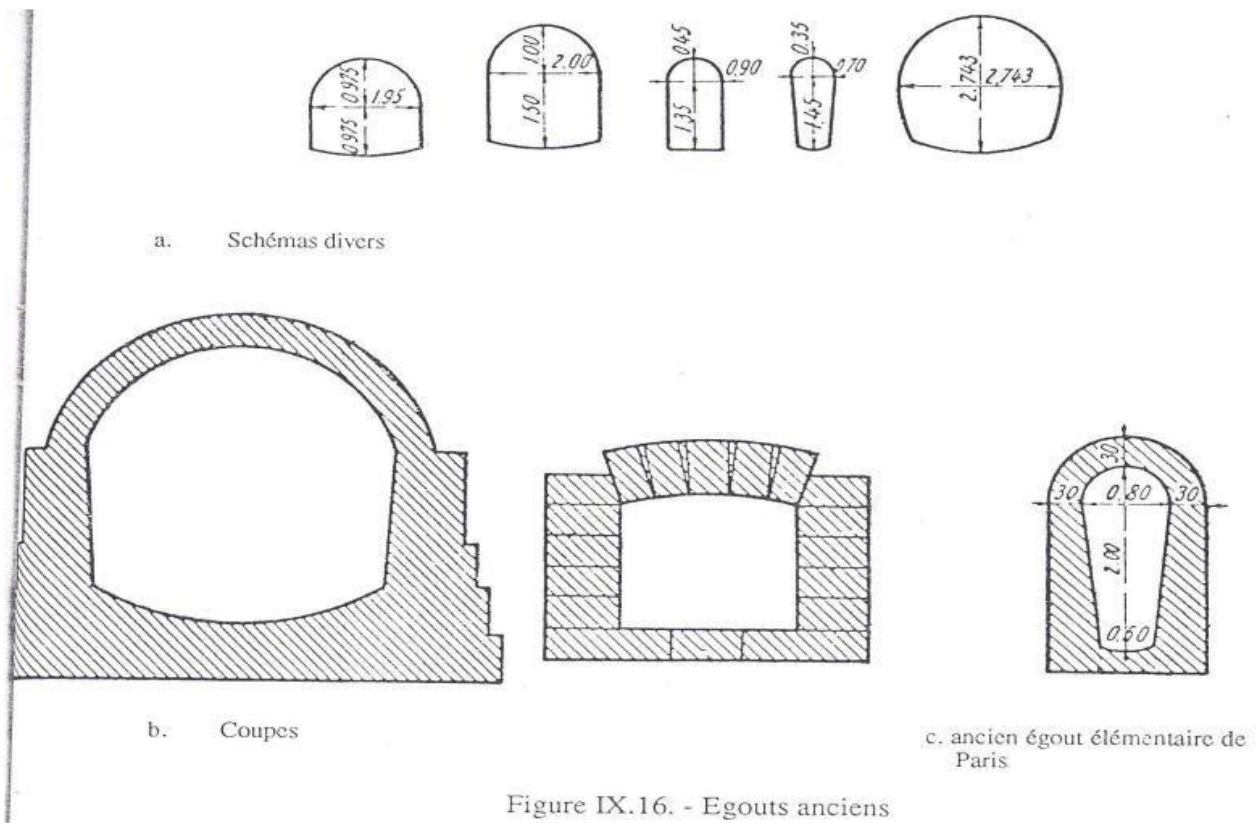


Figure IX.16. - Egouts anciens

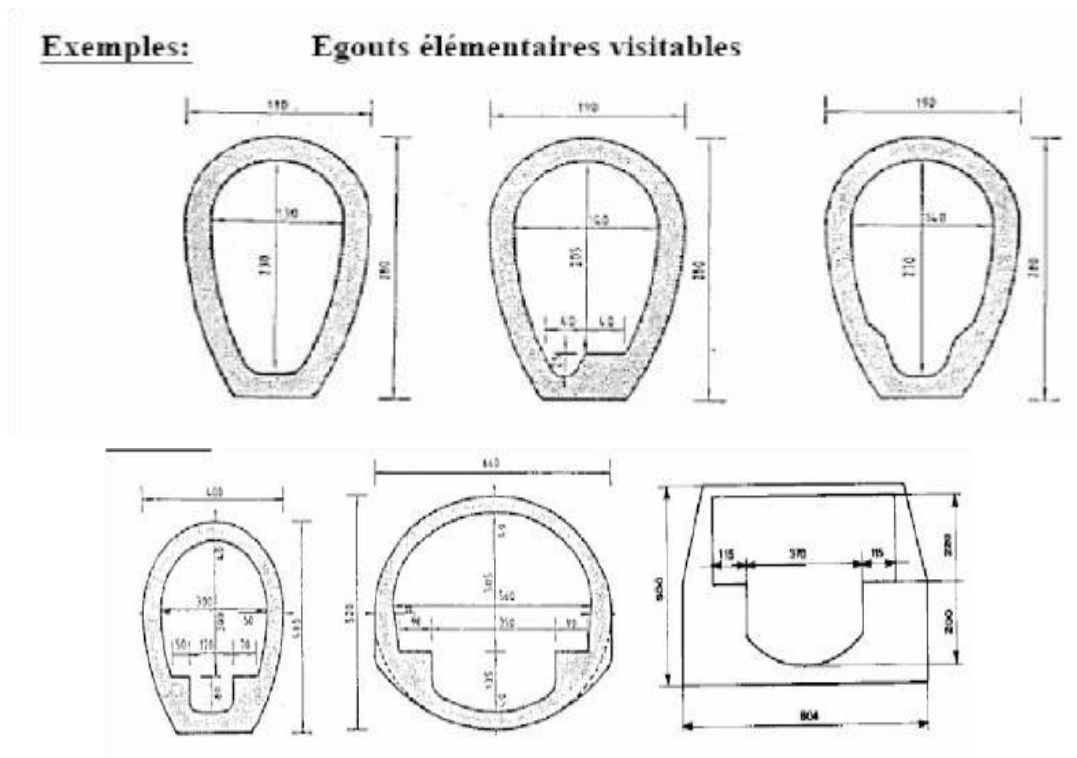


Figure 1.1 : Différents modèles de l'ovoïde (Hammoum, 2024).

1.11 Cas d'étude dans monde

1.11.1 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 labyrinthique de plus de 2600 kilomètres de galeries collecte les eaux usées et pluviales de la ville pour acheminer vers la Seine (figure 1.3)

- **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.

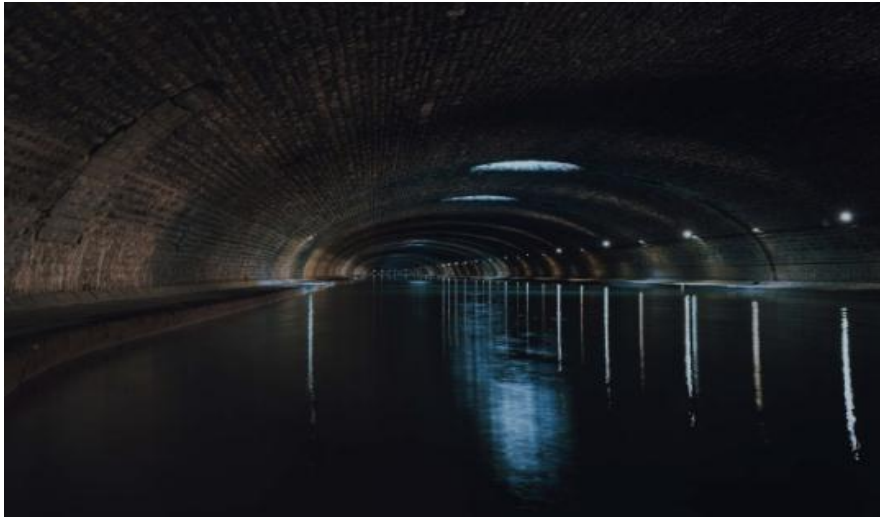


Figure 1.3 : Egouts de paris sous la seine



Figure 1.4 : Défit 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).

1.11.2 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

- **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.

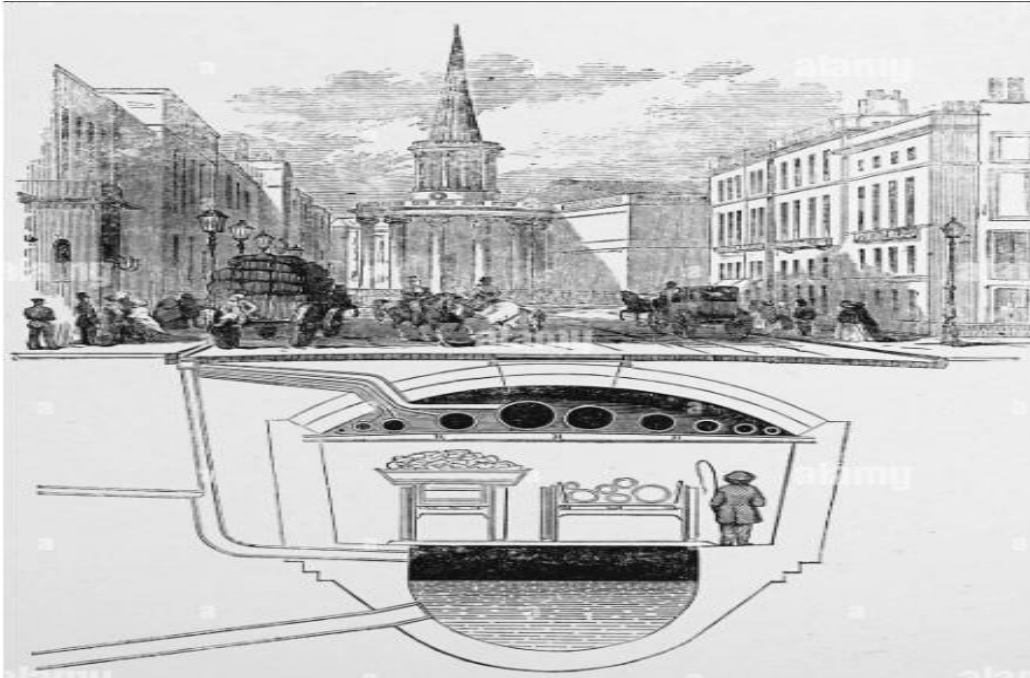


Figure 1.6 : Illustration des égouts de Londres.



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

1.11.3 Réseau d'assainissement de Tokyo

Dans la métropole tentaculaire de Tokyo, où vivent plus de 37 millions d'habitants dans l'aire urbaine, la gestion des eaux usées et pluviales représente un défi colossal. Face aux risques accrus d'inondations liés aux typhons, aux fortes précipitations et à la densité urbaine extrême, les autorités japonaises ont mis en place l'un des systèmes d'assainissement les plus avancés au monde. Une partie de ce système repose sur l'utilisation de conduites ovoïdes, particulièrement dans les réseaux unitaires des zones centrales de Tokyo, où l'espace est limité et les exigences hydrauliques élevées.

L'adoption de la forme ovoïde dans le réseau tokyoïte s'inscrit dans une stratégie d'optimisation des performances hydrauliques à toutes les échelles. Dans les quartiers anciens comme Chiyoda, Minato ou Shinjuku, des conduites ovoïdes en béton armé ou en PRV ont été déployées pour permettre une évacuation efficace des eaux usées tout en minimisant les volumes résiduels et l'encrassement. Le profil resserré à la base favorise l'auto-curage des conduites, indispensable dans un environnement soumis à des débits fluctuants entre saison sèche et saison des pluies.

De plus, la forme ovoïde joue un rôle clé dans l'adaptation aux crues soudaines. Lors de précipitations intenses, fréquentes au Japon, la partie supérieure élargie permet de contenir un surcroît de volume temporairement, sans saturation du réseau. Ce rôle tampon est essentiel pour limiter les rejets non traités dans les milieux naturels et pour préserver les stations d'épuration de surcharge.

- **Défis techniques**

Les défis rencontrés lors de l'implantation des conduites ovoïdes à Tokyo sont multiples et reflètent la complexité du tissu urbain japonais. Le premier obstacle majeur réside dans la cohabitation dense des infrastructures souterraines, avec la superposition de réseaux d'eau, d'électricité, de télécommunications, de métro et de tunnels routiers. Pour installer ou réhabiliter un conduit ovoïde, les ingénieurs doivent s'appuyer sur un système de cartographie 3D ultra-précis, combiné à des techniques de forage guidé à haute précision.

La forte sismicité de la région tokyoïte constitue également un enjeu critique. Les conduites ovoïdes doivent être dimensionnées pour résister aux déformations du sol lors des séismes. Pour cela, des joints flexibles antisismiques et des structures renforcées ont été intégrés dans les nouvelles poses. La section ovoïde, bien que plus complexe à modéliser que la section circulaire, a été ajustée par des simulations numériques afin d'anticiper les contraintes dynamiques et les transferts de charges verticaux et latéraux.



Figure 1.8: illustration des joints flexibles antisismiques dans une conduite

Dans les zones à nappe phréatique élevée, en particulier dans la plaine du Kantō, l'étanchéité a représenté un défi central. La forme haute et étroite de l'ovoïde a toutefois permis de réduire la surface exposée aux infiltrations, simplifiant les solutions d'imperméabilisation tout en assurant la stabilité structurelle.

Enfin, en raison des contraintes d'espace en surface, la grande majorité des interventions s'est déroulée sans tranchée ouverte, à l'aide de microtunneliers robotisés opérant à plus de 10 mètres de profondeur, réduisant ainsi les perturbations urbaines.

- **Forme et architecture**

Bien qu'essentiellement techniques, les réseaux d'égouts de Tokyo incarnent une forme d'esthétique fonctionnelle, où la rigueur géométrique des conduites ovoïdes rencontre l'innovation japonaise en matière de génie civil. Chaque élément est conçu dans une logique de durabilité et de performance : le rayon de courbure, les pentes d'écoulement, les matériaux composites utilisés dans les revêtements internes, tout est optimisé pour maximiser la longévité du réseau et minimiser les coûts de maintenance.

Dans certaines zones, les conduites ovoïdes sont intégrées à de véritables galeries d'accès, avec capteurs embarqués, éclairage de sécurité et plateformes pour l'entretien. Cela reflète une conception globale du réseau non comme un simple système de drainage, mais comme une infrastructure vitale de la ville, pensée pour durer plusieurs générations.

Voici plusieurs photographies réelles de l'intérieur du Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel (aussi appelé G-Cans), situé dans la région de Tokyo (Saitama). Ces galeries ovoïdes massives illustrent parfaitement la section ovoïde utilisée pour la gestion des eaux pluviales et d'eaux usées :

- Des conduits ovoïdes géants, soutenus par d'impressionnants piliers et offrant une architecture fonctionnelle rappelant des cathédrales souterraines, avec une section ovale élargie en partie haute
- Une structure conçue pour stocker d'énormes volumes d'eau en cas de typhon ou de fortes pluies, sans perturber la surface urbaine.



Figure 1.9: Vue d'ensemble de la structure G-Cans (Wikipedia)



Figure 1.10 : intérieur du Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel (aussi appelé G-Cans)

Ces visuels permettent de bien saisir la forme ovoïde tridimensionnelle du réseau, avec :

- **Base resserrée** : canalisant efficacement les faibles débits et favorisant l'auto-curage.
- **Voûte élargie** : capacité hydraulique augmentée pour gérer les crues.
- **Architecture structurée** : piliers et voûtes supportant des structures de 50 m sous terre.

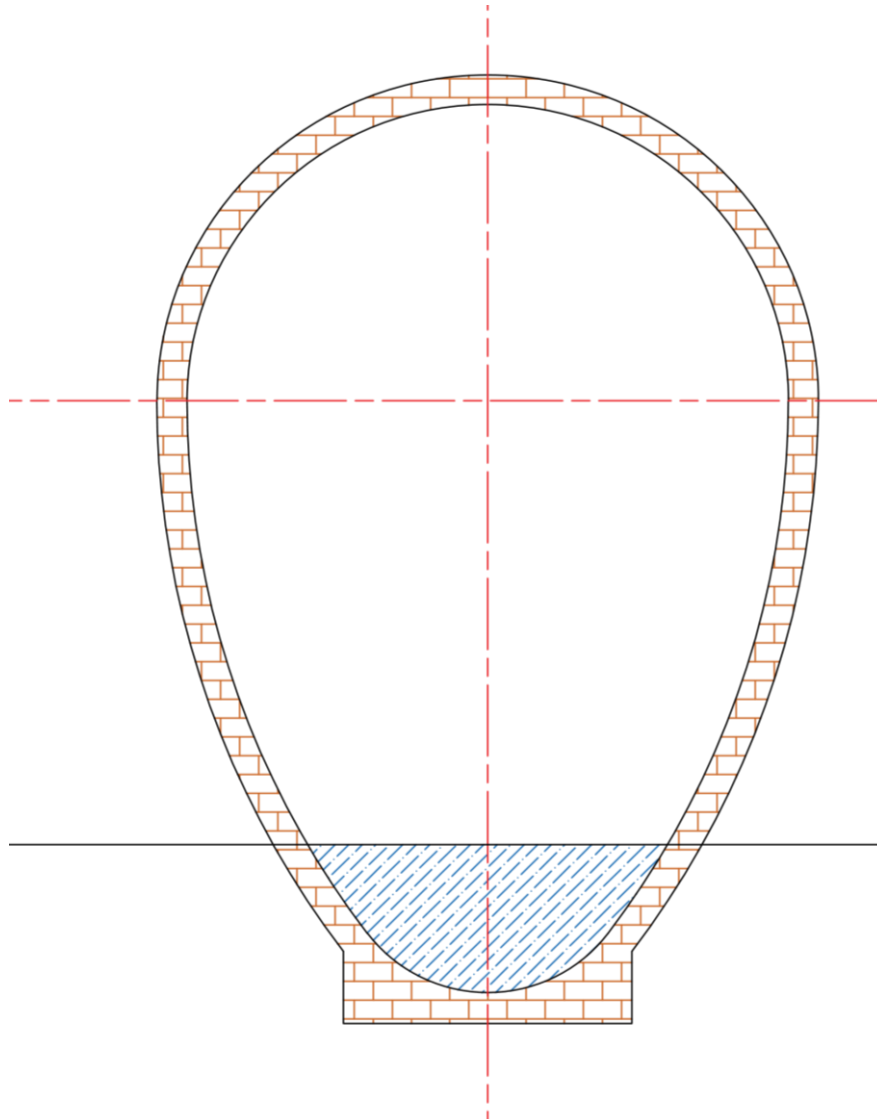


Figure 1.8 : Modèle type d'un Ovoïde.

Dans le cadre de notre projet, un cas particulier mérite d'être étudié : celui où le débit est faible, mais où l'on souhaite maintenir un écoulement par gravitation. Pour répondre à cette contrainte hydraulique, il est judicieux d'adapter la géométrie de la conduite ovoïde.

Afin de favoriser l'écoulement en période de faible débit, le rayon du radier est volontairement réduit, ce qui permet de concentrer l'écoulement dans une zone plus étroite et ainsi éviter les vitesses trop faibles et les dépôts. On s'approche ainsi de la section limite de l'ovoïde, dont le tracé dans la partie inférieure est modifié en arc brisé (comme représenté dans la figure 1.8). Cette disposition améliore la vitesse d'écoulement et permet de minimiser les zones mortes.

1.12 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
hydraulique dans une
conduite ovoïdale**

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour but de dimensionner les conduites de section ovoïdale. L'écoulement y est supposé permanent et uniforme. Les principaux paramètres à prendre en compte sont le débit Q [m^3/s], la pente I de la conduite, ainsi que la rugosité de la paroi interne de la section ovoïdale.

Une approche mathématique est développée afin de déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement, notamment la section mouillée, le périmètre mouillé et le rayon hydraulique.

La formule de Chezy est utilisée pour évaluer la vitesse de l'écoulement, que ce soit à section pleine ou partielle. Pour les utilisateurs préférant une méthode graphique, un abaque illustrant les rapports de vitesses et de débits est également proposé.

2.2 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 trois parties séparées par deux axes horizontaux AA' et BB' .

La conduite est formée dans sa partie supérieure par un demi-cercle (C1) de rayon r et dans sa partie intermédiaire par une section formée par deux arcs de cercle (C2 et C2') symétriques croisés de rayon de R , et de sa partie inférieure par un demi-cercle (C3) de rayon égale à $r/2$

2.3 Etapes de construction de la section Ovoïde

Les étapes de construction de la section droite de l'ovoïde sont définies comme suit :

- a. Tracer le demi-cercle (C1) de rayon r et de centre (O_1)
- b. Positionner les points O_2 et O_2' sur la droite horizontale passant par le centre (O_1) du demi-cercle (C1) tel que les distances O_2A' et $O_2'A$ soit égales à $3.r$
- c. Positionner le centre O_3 à une distance verticale descendante de $3r/2$
- d. Tracer deux droites allant de O_2 et O_2' passant par O_3
- e. Tracer l'arc du cercle (AB) ou (C2') de centre O_2' et de rayon R
- f. Tracer l'arc de cercle (A'B') ou (C2) de centre O_2 et de rayon R
- g. Tracer l'arc de cercle (BB') ou (C3) de centre O_3 et de rayon $r/2$

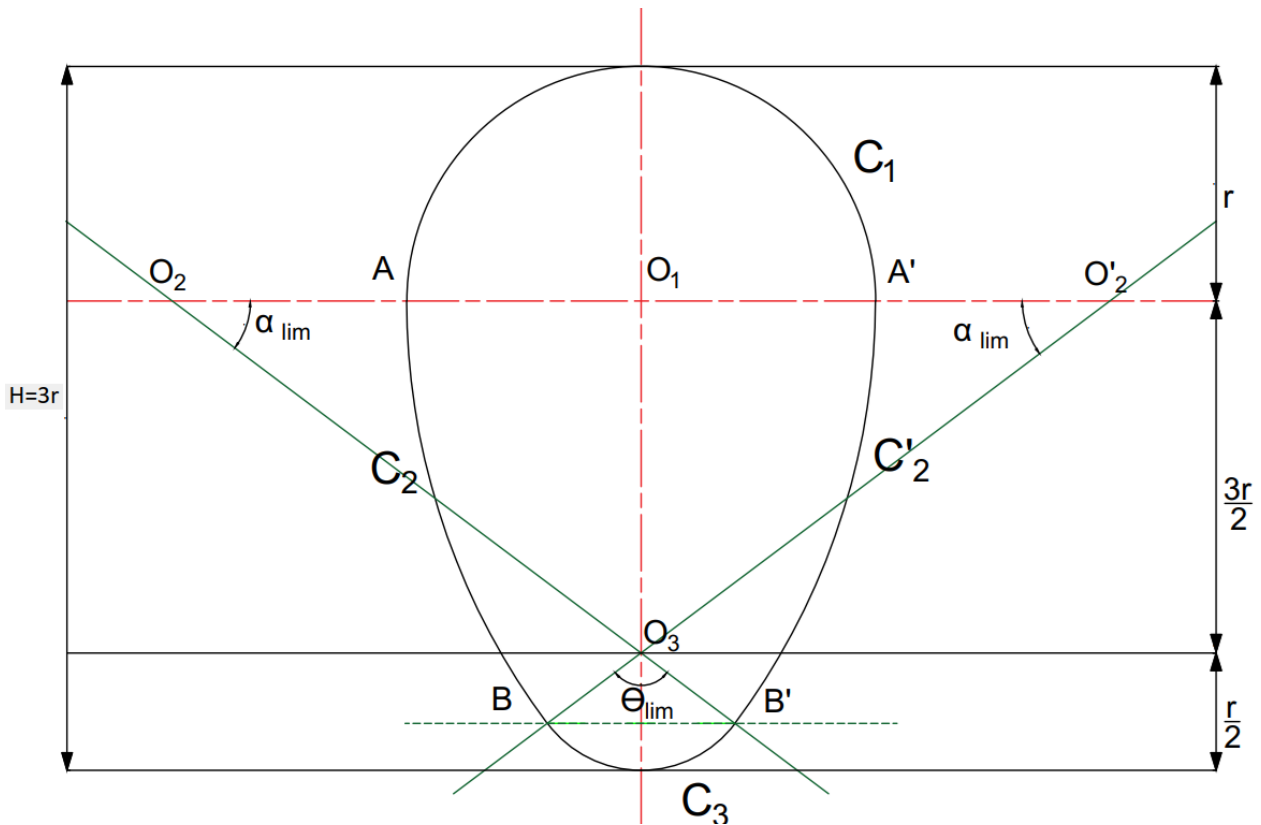


Figure 2.1 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde.

2.4 Détermination des caractéristiques de l'écoulement

Les caractéristiques de l'écoulement, telles que l'aire de la section mouillée A , le périmètre mouillé P 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

2.5 Mise en équation

2.5.1 Partie inferieure

Schéma de la partie (1) :

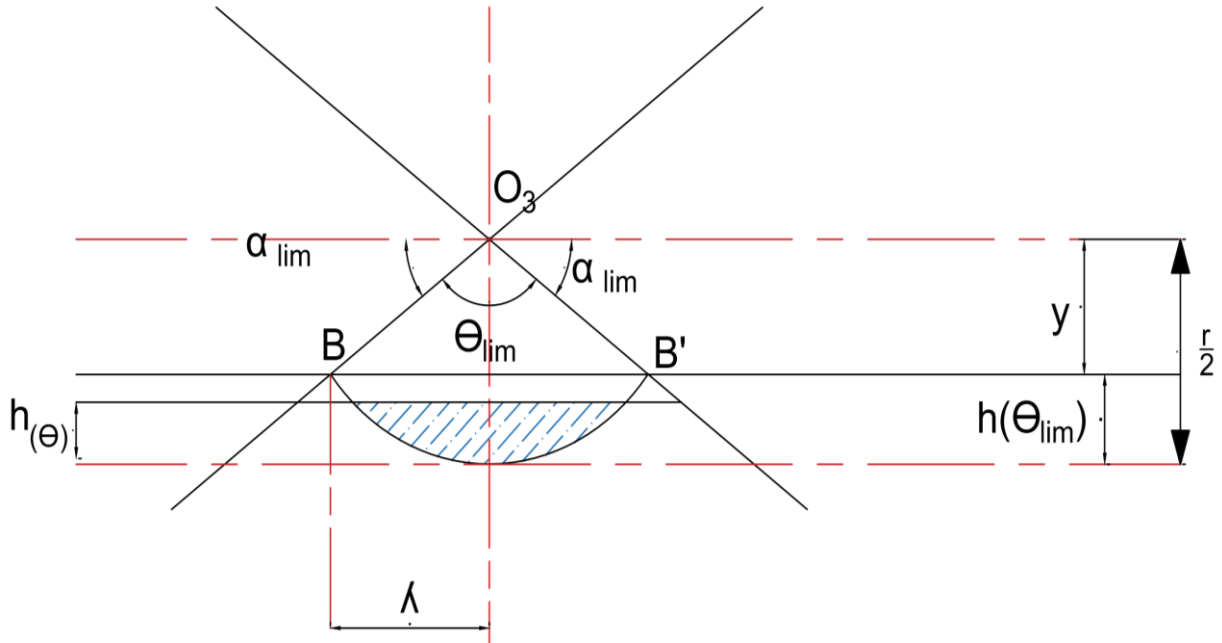


Figure 2.2 : schéma de partie (1)

Cette première partie est caractérisée par :

$$0 \leq h(\theta) \leq h(\theta_{lim}) \tag{2.1}$$

Avec : $0 \leq \theta \leq \theta_{lim}$ (2.2)

Et : $\theta_{lim} = \pi - 2 \cdot \alpha_{lim}$ (2.3)

Selon la figure (2.2) :

θ_{lim} et α_{lim} sont donne en [rad] : (2.5)
 $\alpha_{lim} = 0,6435 \text{ rad}$

$$\tan(\alpha_{lim}) = \frac{3 \cdot r/2}{2 \cdot r} = \frac{3}{4} \tag{2.4}$$

On trouve :

D'où la valeur de θ_{lim} : $\theta_{lim} = \pi - 2 \cdot \alpha_{lim}$ (2.6)

(2.6)

Alors :

(2.7)

$$\theta_{\text{lim}} = 1.8545 \text{ rad}$$

D'après la figure (2.2) on peut écrire :

$$y = \frac{r}{2} \times \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.8)$$

La hauteur $h(\theta)$ est donné par comme suit :

$$h(\theta) = \frac{r}{2} - y \quad (2.9)$$

$$h(\theta) = \frac{r}{2} \times \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right] \quad (2.10)$$

La hauteur d'eau max dans la partie 1 s'écrit comme suit

$$h_1 = h(\theta_{\text{lim}}) = \frac{r}{2} \times \left[1 - \cos\left(\frac{\theta_{\text{lim}}}{2}\right)\right] \quad (2.11)$$

Le rapport des hauteurs est exprimé par

$$\frac{h(\theta)}{H} = \frac{\frac{r}{2} \times \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]}{3 \cdot r} = \frac{1}{6} \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right] \quad (2.12)$$

Le rayon hydraulique est donné par la relation suivante

$$R_h(\theta) = \frac{A(\theta)}{P(\theta)} \quad (2.13)$$

La section mouillée dans la partie 1 est donnée par l'équation qui suit

$$A(\theta) = \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot \left(\frac{r}{2}\right)^2 - (\lambda \cdot y) \quad (2.14)$$

D'après la figure (2.2)

$$\lambda = r/2 \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.15)$$

Il vient alors que

$$A(\theta) = \left[\frac{1}{2} \cdot \theta \cdot \left(\frac{r}{2}\right)^2\right] - \left[\frac{r^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right] \quad (2.16)$$

Puisque

$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \sin(\theta) \quad (2.17)$$

Nous obtenons

$$A(\theta) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta - \sin(\theta)] \quad (2.18)$$

	D'où	$A_1 = A(\theta_{\text{lim}}) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{\text{lim}} - \sin(\theta_{\text{lim}})]$	(2.19)
--	------	--	--------

Le périmètre mouillé est donné par

$$P(\theta) = \theta \cdot (r/2) \quad (2.20)$$

D'où $P_1 = P(\theta_{\text{lim}}) = \theta_{\text{lim}} \cdot (r/2) \quad (2.21)$

Le rayon hydraulique s'écrit alors :

$$R_h(\theta) = \frac{A(\theta)}{P(\theta)} = \frac{\frac{r^2}{8} \cdot [\theta - \sin(\theta)]}{\theta \cdot (r/2)} \quad (2.22)$$

D'où $R_h(\theta) = \frac{r \cdot [\theta - \sin(\theta)]}{4 \cdot \theta} \quad (2.23)$

La vitesse d'écoulement est donnée par :

$$V(\theta) = C \cdot \sqrt{R_h(\theta) \cdot I} \quad (2.24)$$

Où C désigne le coefficient de Chezy donné par

$$C = \frac{0,823}{\eta} \cdot R_h^{1/6} \quad (2.25)$$

D'où $V(\theta) = \left(\frac{0,823}{\eta} \times R_h(\theta)^{1/6} \right) \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \quad (2.26)$

$$V(\theta) = \frac{0,823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot [R_h(\theta)]^{2/3} \quad (2.27)$$

Le débit dans la partie 1 sera donné par

$$Q(\theta) = V(\theta) \cdot A(\theta) \quad (2.28)$$

2.5.2 Partie intermédiaire

Schéma de la partie (2) :

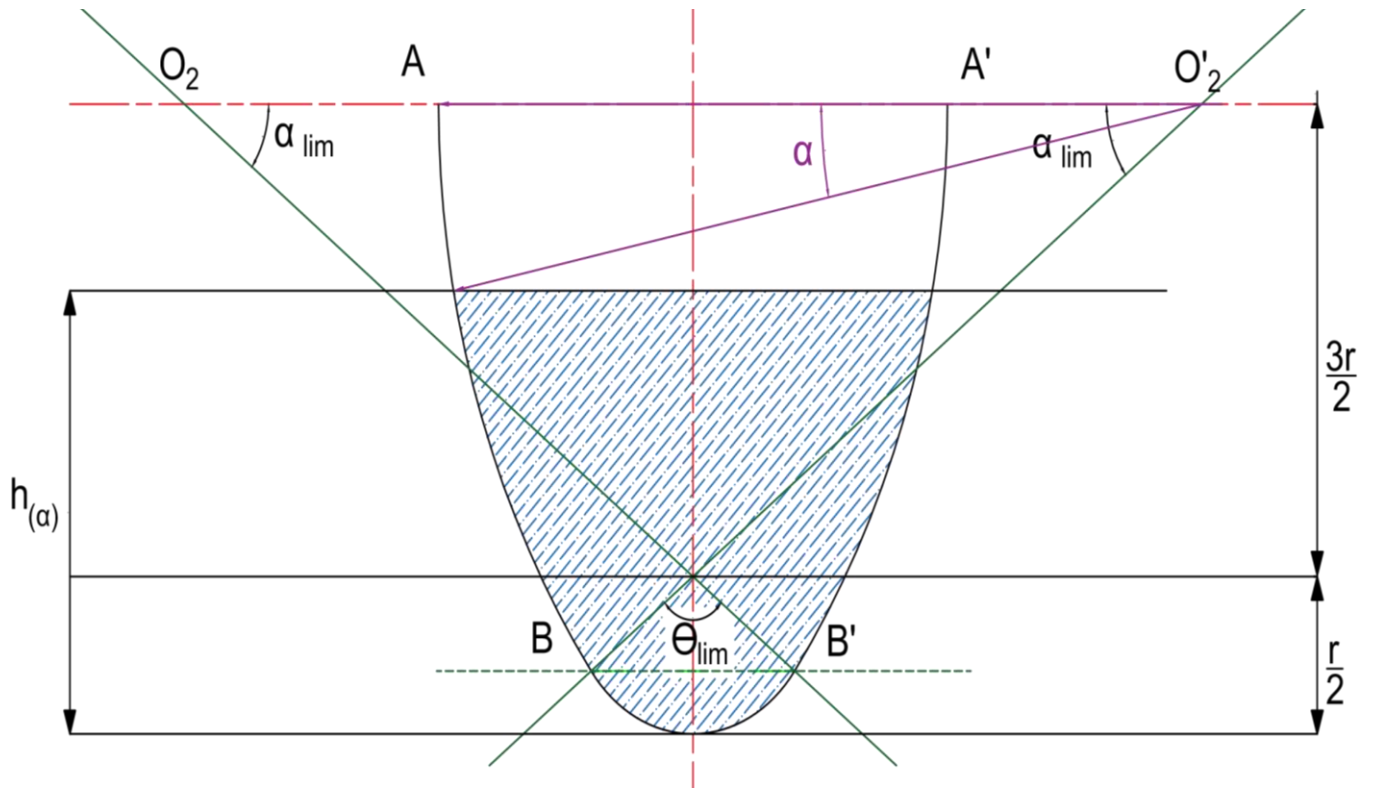


Figure 2.3 : schéma de partie

Cette partie est caractérisée par :

$$h_1 \leq h(\alpha) \leq 2 \cdot r \tag{2.29}$$

$$\text{Et : } 0 \leq \alpha \leq \alpha_{lim} \tag{2.30}$$

D'après la figure (2.3) nous pouvons écrire :

$$L = 2 \cdot r - 2x \tag{2.31}$$

Où (x) est donné par :

$$x = 3 \cdot r - 3 \cdot r \cdot \cos(\alpha) \tag{2.32}$$

L dépend de α , il s'écrit alors :

$$L(\alpha) = 2 \cdot r \cdot [3 \cdot \cos(\alpha) - 2] \tag{2.33}$$

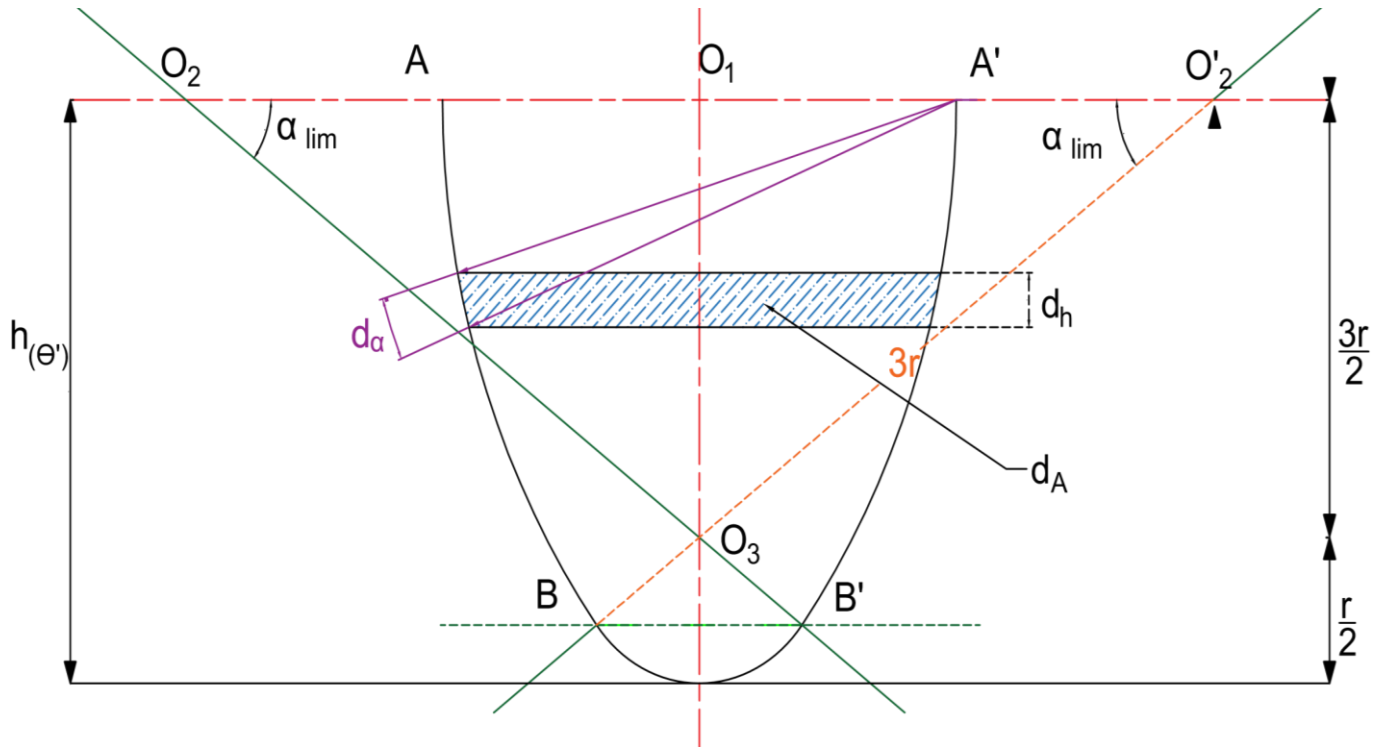


Figure 2.4 : schéma représentant dA dans la partie (2)

L'élément de l'air dA est donné selon la figure (2.4) par

$$dA = L(\alpha) \cdot dh \quad (2.34)$$

De la figure on peut déduire que

$$h(\alpha) = h_1 + 3 \cdot r \cdot \sin(\alpha_{lim}) - 3 \cdot r \cdot \sin(\alpha) \quad (2.35)$$

D'où :

$$h(\alpha) = h_1 + 3 \cdot r \cdot [\sin(\alpha_{lim}) - \sin(\alpha)] \quad (2.36)$$

Le rapport des hauteurs est déduit comme suit

$$\frac{h(\alpha)}{H} = \frac{h_1}{3 \cdot r} + [\sin(\alpha_{lim}) - \sin(\alpha)] \quad (2.37)$$

La dérivée nous donne

$$\frac{dh(\alpha)}{d\alpha} = -(3 \cdot r) \cdot \cos(\alpha) \quad (2.38)$$

L'élément d'aire dA s'écrit

$$dA = [2 \cdot r \cdot (3 \cdot \cos(\alpha) - 2)] \cdot [-(3 \cdot r) \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha] \quad (2.39)$$

D'où
$$dA = -6 \cdot r^2 \cdot [3 \cdot \cos(\alpha) - 2] \cdot \cos(\alpha) \quad (2.40)$$

On aura

$$A(\alpha) = -6 \cdot r^2 \cdot \int [3 \cdot \cos^2(\alpha) - 2 \cdot \cos(\alpha)] \cdot d\alpha \quad (2.41)$$

Comme

$$\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} + \frac{\cos(2 \cdot \alpha)}{2} \quad (2.42)$$

D'où donc

$$A(\alpha) = -6 \cdot r^2 \cdot \int \left[\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \cdot \cos(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \cos(\alpha) \right] \cdot d\alpha \quad (2.43)$$

$$A(\alpha) = -6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha) \right] + C^{te} \quad (2.44)$$

Pour déterminer la C^{te} , on utilise la condition initiale

$$A(\alpha_{lim}) = A_1 = A(\theta_{lim}) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] \quad (2.45)$$

$$C^{te} = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] \quad (2.46)$$

Au final

$$A(\alpha) = -6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha) \right] + C^{te} \quad (2.47)$$

$$A(\alpha) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] - 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha) \right] \quad (2.48)$$

Au niveau de l'axe B-B' on exprime l'aire de la partie 2

$$A_2 = A(\alpha = 0) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] \quad (2.49)$$

Vérification

$$A_1 = A(\alpha_{lim}) = A(\theta_{lim}) = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] \quad (2.50)$$

Le périmètre mouillé sera donné par la relation suivante

$$P(\alpha) = P_1 + 2 \cdot [3 \cdot r \cdot (\alpha_{lim} - \alpha)] \quad (2.51)$$

$$P(\alpha) = P_1 + 6 \cdot r \cdot (\alpha_{\text{lim}} - \alpha) \quad (32)$$

D'où
$$P(\alpha) = 6 \cdot r \cdot (\alpha_{\text{lim}} - \alpha) + \theta_{\text{lim}} \cdot (r/2) \quad (2.53)$$

Finalement
$$P_2 = P(\alpha = 0) = 6 \cdot r \cdot \alpha_{\text{lim}} + \theta_{\text{lim}} \cdot (r/2) \quad (2.54)$$

Vérification

$$P(\alpha_{\text{lim}}) = P_1 = \theta_{\text{lim}} \cdot (r/2) \quad (2.55)$$

Le rayon hydraulique est exprimé comme suit

$$R_h(\alpha) = \frac{\frac{r^2}{8} [\theta_{\text{lim}} - \sin(\theta_{\text{lim}})] + 6 \cdot r^2 \cdot [\frac{3}{2} \alpha_{\text{lim}} + \frac{3}{4} \sin(2 \cdot \alpha_{\text{lim}}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{\text{lim}})] - 6 \cdot r^2 \cdot [\frac{3}{2} \alpha + \frac{3}{4} \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha)]}{6 \cdot r \cdot (\alpha_{\text{lim}} - \alpha) + \theta_{\text{lim}} \cdot (r/2)} \quad (2.56)$$

La vitesse d'écoulement sera donnée par

$$V(\alpha) = C \cdot \sqrt{R_h(\alpha) \cdot I} \quad (2.57)$$

$$V(\alpha) = \frac{0,823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot [R_h(\alpha)]^{2/3} \quad (2.58)$$

Le débit sera donné par l'expression suivante

$$Q(\alpha) = V(\alpha) \cdot A(\alpha) \quad (2.59)$$

2.5.3 Partie supérieure

Schéma de la partie 3 :

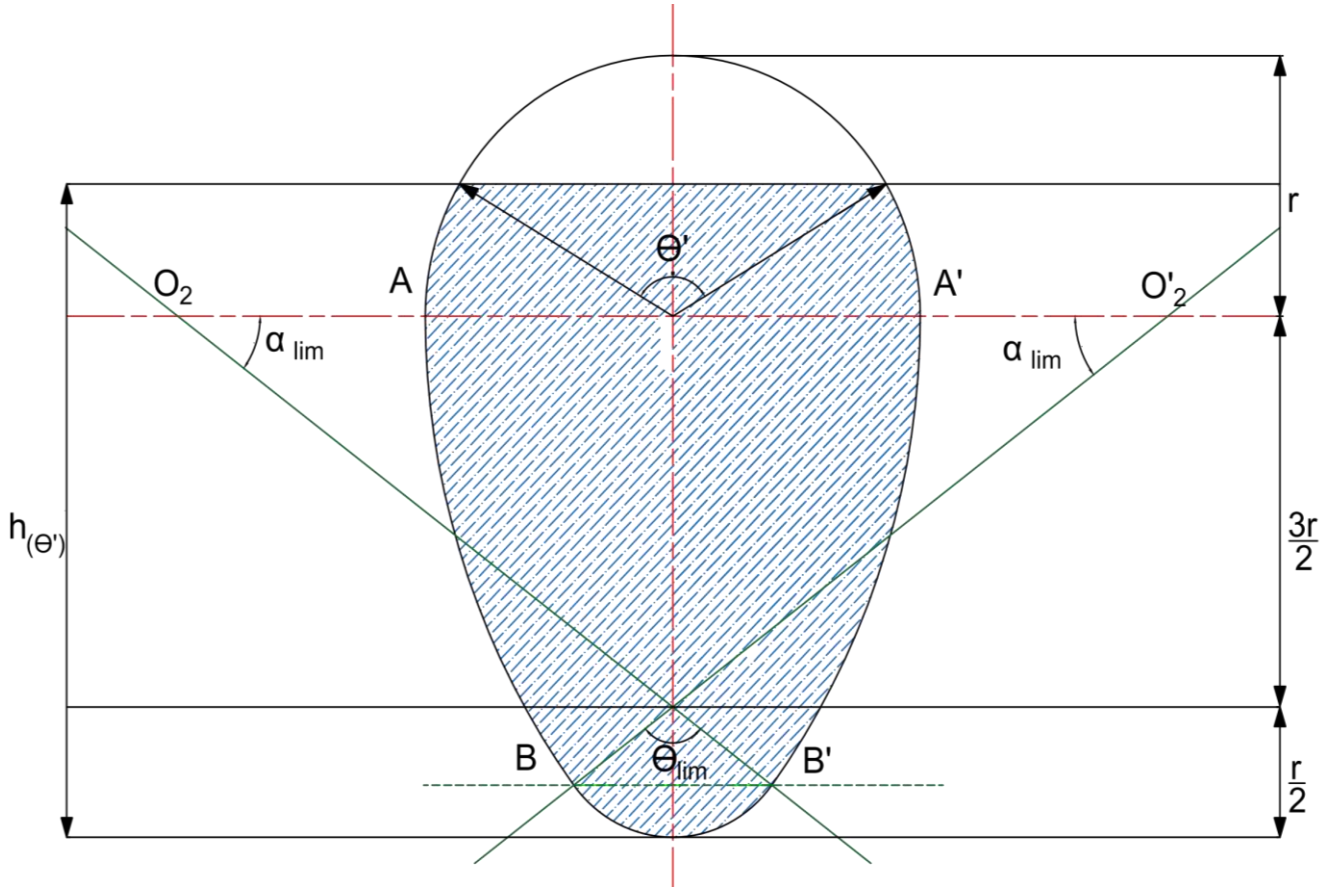


Figure 2.5 : schéma de la partie (3)

Cette partie est caractérisée par

$$2 \cdot r \leq h(\theta') \leq 3 \cdot r \tag{2.60}$$

Et : $0 \leq \theta' \leq \pi$ (2.61)

D'après la figure (2.5) :

$$L(\theta') = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \tag{2.62}$$

La hauteur d'eau dans la partie 3 est donné par :

$$h(\theta') = 2 \cdot r + r \cdot \cos\left(\frac{\theta'}{2}\right) \tag{2.63}$$

Vérification

$$h_2 = h(\theta' = \pi) = 2 \cdot r \quad (2.64)$$

$$h_3 = h(\theta' = 0) = 3 \cdot r \quad (2.65)$$

Le rapport des hauteurs est donné par :

$$\frac{h(\theta')}{H} = \frac{1}{3} \cdot \left[2 + \cos\left(\frac{\theta'}{2}\right) \right] \quad (2.66)$$

L'élément d'aire dA est donné par

$$dA = L(\theta') \cdot dh \quad (2.67)$$

La dérivée $h(\theta')$ de nous donne

$$\frac{dh}{d\theta'} = -\frac{r}{2} \cdot \sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \cdot d\theta' \quad (2.68)$$

Il vient que

$$dA = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \cdot -\frac{r}{2} \cdot \sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \cdot d\theta' \quad (2.69)$$

$$dA = -r^2 \cdot \left[\sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \right]^2 \quad (2.70)$$

Comme

$$\left[\sin\left(\frac{\theta'}{2}\right) \right]^2 = \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos(\theta')] \quad (2.71)$$

D'où $A = \int dA = -\frac{r^2}{2} \cdot \int [1 - \cos(\theta')] \cdot d\theta' \quad (2.72)$

$$A(\theta') = -\frac{r^2}{2} \cdot [\theta' - \sin(\theta')] + C^{te} \quad (2.73)$$

Pour déterminer la C^{te} on pose

$$A(\theta' = \pi) = A_2 = A(\alpha = 0) \quad (2.74)$$

$$C^{te} = \frac{r^2}{2} \cdot \pi + \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] \quad (2.75)$$

D'où :

$$A(\theta') = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{r^2}{2} \cdot \pi - \frac{r^2}{2} \cdot [\theta' - \sin(\theta')] \quad (2.76)$$

La section pleine de l'ovoïde est donnée par

$$A_{ps} = A_3 = A(\theta' = 0) = A_2 + \frac{r^2}{2} \cdot \pi \quad (2.77)$$

$$A_{ps} = \frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{r^2}{2} \cdot \pi \quad (2.78)$$

Le périmètre mouillé est donné par

$$P(\theta') = P_2 + \pi \cdot r - r \cdot \theta' \quad (2.79)$$

$$P(\theta') = 6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2) + r \cdot (\pi - \theta') \quad (2.80)$$

Le périmètre total a section pleine de l'ovoïde est donne comme suit

$$P_3 = P(\theta' = 0) = \pi \cdot r + 6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2) \quad (2.81)$$

Le rayon hydraulique est donné par

$$Rh(\theta') = \frac{A(\theta')}{P(\theta')} \quad (2.82)$$

$$Rh(\theta') = \frac{\frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{r^2}{2} \cdot \pi - \frac{r^2}{2} \cdot \left[\theta' - \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta') \right]}{6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2) + r \cdot (\pi - \theta')} \quad (2.83)$$

Le rayon hydraulique total a section pleine de l'ovoïde est donne comme suit

$$R_h(\theta' = 0) = \frac{A_2 + \frac{\pi}{2} \cdot r^2}{P_2 + \pi \cdot r} \quad (2.84)$$

$$R_h^{ps} = R_h(\theta' = 0) = \frac{\frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{r^2}{2} \cdot \pi}{\pi \cdot r + 6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2)} \quad (2.85)$$

La vitesse d'écoulement de l'eau dans la partie 3 est donné par

$$V(\theta') = C \cdot \sqrt{R_h(\theta') \cdot I} \quad (2.86)$$

$$V(\theta') = \frac{0,823}{\eta} \cdot \sqrt{I} \cdot R_h(\theta')^{2/3} \quad (2.87)$$

Le débit d'écoulement dans la partie 3 est donné comme suit

$$Q(\theta') = V(\theta') \cdot A(\theta') \quad (2.88)$$

2.6 Rapports hydrauliques

2.6.1 Rapport des rayons hydrauliques :

Rapport du rayon hydraulique de la partie 1

$$\frac{Rh(\theta)}{Rh_{ps}} = \frac{\frac{r \cdot [\theta - \sin(\theta)]}{4 \cdot \theta}}{r^2 \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{\pi}{2} \right)}{r \cdot \left[6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + \pi \right]}$$

Après simplification

$$\frac{Rh(\theta)}{Rh_{ps}} = \frac{\frac{[\theta - \sin(\theta)]}{4 \cdot \theta}}{\frac{\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{\pi}{2}}{6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + \pi}}$$

Rapport du rayon hydraulique de la partie 2

$$\frac{Rh(\alpha)}{Rh_{ps}} = \frac{\frac{\frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] - 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha) \right]}{6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2)}}{r^2 \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{\pi}{2} \right)}{r \cdot \left[6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + \pi \right]}$$

Après simplification

$$\frac{Rh(\alpha)}{Rh_{ps}} = \frac{\frac{\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] - 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha) \right]}{6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2}}}{\frac{\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] + \frac{\pi}{2}}{6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + \pi}}$$

Rapport du rayon hydraulique de la partie 3 :

$$\frac{Rh(\theta')}{Rh_{ps}} = \frac{\frac{\left(\frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] \right) + \left(\frac{r^2}{2} \cdot \pi - \frac{r^2}{2} \cdot \left[\theta' - \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta') \right] \right)}{\left[6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2) \right] + r \cdot (\pi - \theta')}}{\frac{\left(\frac{r^2}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim}) \right] \right) + \left(\frac{r^2}{2} \cdot \pi \right)}{\pi \cdot r + \left[6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \theta_{lim} \cdot (r/2) \right]}}$$

Après simplification

$$\frac{Rh(\theta')}{Rh_{ps}} = \frac{\left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right]\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \cdot \left[\theta' - \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta')\right]\right)}{\left[\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right] + \frac{\pi}{2}\right]} \cdot \frac{\left[6 \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + (\pi - \theta')\right]}{\left[6 \cdot r \cdot \alpha_{lim} + \frac{\theta_{lim}}{2} + \pi\right]}$$

2.6.2 Rapport des vitesses :

Rapport de vitesse dans la partie 1

$$\frac{V(\theta)}{V_{ps}} = \left[\frac{Rh(\theta)}{Rh_{ps}} \right]^{2/3}$$

Rapport de vitesse dans la partie 2

$$\frac{V(\alpha)}{V_{ps}} = \left[\frac{Rh(\alpha)}{Rh_{ps}} \right]^{2/3}$$

Rapport de vitesse dans la partie 3

$$\frac{V(\theta')}{V_{ps}} = \left[\frac{Rh(\theta')}{Rh_{ps}} \right]^{2/3}$$

A. Rapport des aires :

Rapport des aires dans la partie 1

$$\frac{A(\theta)}{A_{ps}} = \frac{\frac{1}{8} \cdot [\theta - \sin(\theta)]}{\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right] + \left(\frac{\pi}{2}\right)}$$

Rapport des aires dans la partie 2

$$\frac{A(\alpha)}{A_{ps}} = \frac{\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right] - 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) - 2 \cdot \sin(\alpha)\right]}{\left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right]\right) + \left(\frac{\pi}{2}\right)}$$

Rapport des aires dans la partie 3

$$\frac{A(\theta')}{A_{ps}} = \frac{\left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right]\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \cdot \left[\theta' - \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta')\right]\right)}{\left(\frac{1}{8} \cdot [\theta_{lim} - \sin(\theta_{lim})] + 6 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \alpha_{lim} + \frac{3}{4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_{lim}) - 2 \cdot \sin(\alpha_{lim})\right]\right) + \left(\frac{\pi}{2}\right)}$$

Nous donnons le tableau suivant :

h/H	Angles	Rh/Rhps	A/Aps	V/Vps	Q/Qps
-	0,0000	0,0000	-	-	-
0,01	0,6963	0,0340	0,001	0,105	0,000
0,02	0,9899	0,0671	0,004	0,165	0,001
0,03	1,2188	0,0992	0,008	0,214	0,002
0,04	1,4150	0,1302	0,012	0,257	0,003
0,05	1,5908	0,1603	0,016	0,295	0,005
0,06	1,7526	0,1894	0,021	0,330	0,007
0,0667	1,8546	0,2081	0,024	0,351	0,009
0,07	0,6393	0,2173	0,026	0,361	0,009
0,08	0,6269	0,2438	0,032	0,390	0,012
0,09	0,6146	0,2689	0,037	0,417	0,016
0,10	0,6024	0,2929	0,043	0,441	0,019
0,11	0,5904	0,3159	0,050	0,464	0,023
0,12	0,5784	0,3381	0,056	0,485	0,027
0,13	0,5665	0,3596	0,063	0,506	0,032
0,14	0,5547	0,3805	0,070	0,525	0,037
0,15	0,5429	0,4009	0,077	0,544	0,042
0,16	0,5313	0,4208	0,085	0,562	0,048
0,17	0,5197	0,4402	0,093	0,579	0,054
0,18	0,5083	0,4592	0,101	0,595	0,060
0,19	0,4969	0,4779	0,109	0,611	0,067
0,20	0,4855	0,4962	0,117	0,627	0,074
0,21	0,4742	0,5142	0,126	0,642	0,081
0,22	0,4630	0,5318	0,135	0,656	0,088
0,23	0,4519	0,5492	0,144	0,671	0,096
0,24	0,4408	0,5663	0,153	0,684	0,105
0,25	0,4298	0,5831	0,162	0,698	0,113
0,26	0,4188	0,5996	0,172	0,711	0,122
0,27	0,4079	0,6159	0,182	0,724	0,132
0,28	0,3970	0,6319	0,192	0,736	0,141
0,29	0,3862	0,6477	0,202	0,749	0,151
0,30	0,3754	0,6633	0,212	0,761	0,161
0,31	0,3647	0,6786	0,222	0,772	0,172
0,32	0,3540	0,6937	0,233	0,784	0,183
0,33	0,3434	0,7086	0,244	0,795	0,194
0,34	0,3328	0,7232	0,255	0,806	0,205
0,35	0,3222	0,7377	0,266	0,816	0,217
0,36	0,3117	0,7519	0,277	0,827	0,229
0,37	0,3012	0,7659	0,288	0,837	0,241
0,38	0,2907	0,7797	0,299	0,847	0,254
0,39	0,2803	0,7933	0,311	0,857	0,266
0,40	0,2699	0,8067	0,322	0,867	0,279
0,41	0,2596	0,8199	0,334	0,876	0,293

h/H	Angles	Rh/Rhps	A/Aps	V/Vps	Q/Qps
0,42	0,2492	0,8328	0,346	0,885	0,306
0,43	0,2389	0,8456	0,358	0,894	0,320
0,44	0,2286	0,8582	0,370	0,903	0,334
0,45	0,2184	0,8706	0,382	0,912	0,348
0,46	0,2082	0,8827	0,394	0,920	0,363
0,47	0,1979	0,8947	0,406	0,929	0,377
0,48	0,1878	0,9065	0,419	0,937	0,392
0,49	0,1776	0,9180	0,431	0,945	0,407
0,50	0,1674	0,9294	0,443	0,952	0,422
0,51	0,1573	0,9406	0,456	0,960	0,438
0,52	0,1472	0,9516	0,469	0,967	0,453
0,53	0,1371	0,9624	0,481	0,975	0,469
0,54	0,1270	0,9729	0,494	0,982	0,485
0,55	0,1169	0,9833	0,507	0,989	0,501
0,56	0,1069	0,9935	0,520	0,996	0,517
0,57	0,0968	1,0035	0,532	1,002	0,534
0,58	0,0868	1,0133	0,545	1,009	0,550
0,59	0,0767	1,0229	0,558	1,015	0,567
0,60	0,0667	1,0323	0,571	1,021	0,583
0,61	0,0567	1,0415	0,584	1,027	0,600
0,62	0,0467	1,0505	0,597	1,033	0,617
0,63	0,0367	1,0593	0,610	1,039	0,634
0,64	0,0267	1,0679	0,623	1,045	0,651
0,65	0,0167	1,0763	0,636	1,050	0,668
0,66	0,0067	1,0845	0,649	1,056	0,685
0,667	0,0000	1,0899	0,658	1,059	0,697
0,67	3,1216	1,0925	0,662	1,061	0,703
0,68	3,0616	1,1003	0,675	1,066	0,720
0,69	3,0015	1,1079	0,689	1,071	0,737
0,70	2,9413	1,1152	0,702	1,075	0,754
0,71	2,8809	1,1222	0,715	1,080	0,772
0,72	2,8202	1,1289	0,727	1,084	0,789
0,73	2,7593	1,1354	0,740	1,088	0,806
0,74	2,6980	1,1414	0,753	1,092	0,823
0,75	2,6362	1,1471	0,766	1,096	0,839
0,76	2,5740	1,1525	0,778	1,099	0,856
0,77	2,5112	1,1574	0,791	1,102	0,872
0,78	2,4478	1,1618	0,803	1,105	0,888
0,79	2,3836	1,1658	0,815	1,108	0,903
0,80	2,3186	1,1694	0,827	1,110	0,918
0,81	2,2526	1,1724	0,839	1,112	0,933
0,82	2,1856	1,1748	0,851	1,113	0,948
0,83	2,1174	1,1767	0,863	1,115	0,961
0,84	2,0479	1,1780	0,874	1,115	0,975

h/H	Angles	Rh/Rhps	A/Aps	V/Vps	Q/Qps
0,85	1,9769	1,1787	0,885	1,116	0,987
0,86	1,9041	1,1786	0,896	1,116	0,999
0,87	1,8295	1,1778	0,906	1,115	1,011
0,88	1,7526	1,1763	0,916	1,114	1,021
0,89	1,6732	1,1738	0,926	1,113	1,031
0,90	1,5908	1,1705	0,936	1,111	1,039
0,91	1,5049	1,1661	0,945	1,108	1,047
0,92	1,4150	1,1606	0,954	1,104	1,053
0,93	1,3200	1,1538	0,962	1,100	1,058
0,94	1,2188	1,1456	0,970	1,095	1,061
0,95	1,1096	1,1356	0,977	1,088	1,063
0,96	0,9899	1,1235	0,983	1,081	1,063
0,97	0,8550	1,1086	0,989	1,071	1,059
0,98	0,6963	1,0897	0,994	1,059	1,053
0,99	0,4911	1,0638	0,998	1,042	1,040
1,00	0,0000	1,0000	1,000	1,000	1,000

Tableau 2.1: Application du calcul de l'abaque

Remarque

Les trois lignes colorées reviennent à des points de repères et de vérification en même temps car :

a) Au niveau de la première ligne :

- On a $\frac{h_1}{H} = 0,066$ qui donne après résolution de l'équation $\frac{h(\theta)}{H} = \frac{1}{6} \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$ un angle de valeur égale à $\theta_{lim}=1,8546$ rad
- Qui renvoie aussi à dire qu'on passe de la partie inférieure à la partie intermédiaire et de l'angle θ à l'angle α

b) Au niveau de la deuxième ligne :

- $\frac{h_2}{H} = \frac{2}{3} = 0.666$ d'où après résolution de l'équation $\frac{h(\alpha)}{H} = \frac{h_1}{3.r} + [\sin(\alpha_{lim}) - \sin(\alpha)]$ donne un angle de valeur égale à zéro ou $\alpha = 0$ rad
- Sachant que $0 \leq \alpha \leq \alpha_{lim}$ et que les caractéristiques de l'écoulement sont égaux pour α_{lim} et θ_{lim} , donc l'angle α diminue au fur et à mesure que $\frac{h(\alpha)}{H}$ augmente
- Ceci dit qu'on passe de la partie intermédiaire à la partie supérieure et de l'angle α à l'angle θ'

c) Au niveau de la troisième ligne :

- $\frac{h(\theta')}{H} = 1$ autrement dit $H=3.r$ le niveau de la hauteur d'eau atteint sont niveau max en d'autres termes la section ovoïdale est quasi pleine
- Logiquement on se retrouve dans la partie supérieure ou $0 \leq \theta' \leq \pi$ et l'on remarque que θ' s'annule bel et bien a hauteur de $\frac{h(\theta')}{H} = 1$

La construction de l'abaque ayant pour abscisses le rapport (h/H) et pour ordonnées le rapport des débits Q/Q_{ps} , et des vitesses v/v_{ps} est illustrée dans la figure 2.9

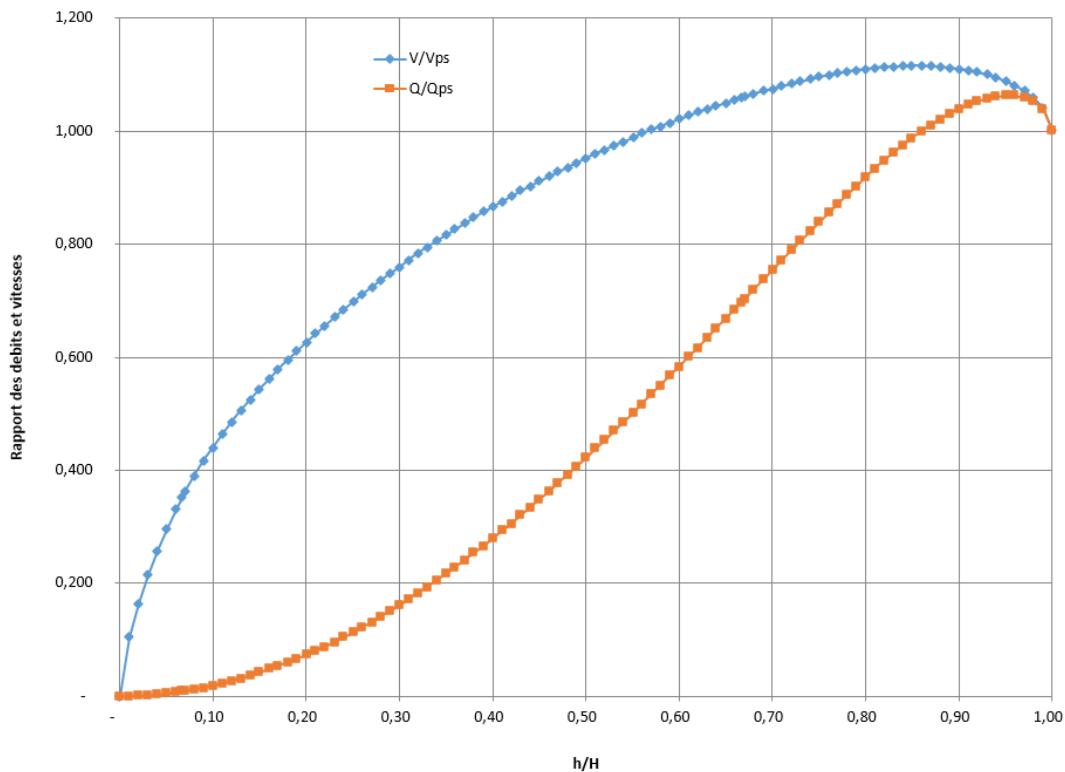


Figure 2.7 : Abaque

Mode d'emploi

Exemple :

- On suppose un rapport de débits donne $Q/Q_{ps} = 0.4$
- On projette la valeur $Q/Q_{ps} = 0,4$ sur la courbe Q/Q_{ps} puis projeter verticalement sur l'axe des abscisses $\frac{h}{H}$ d'où on déduit la valeur $\frac{h}{H} = 0,486$
- On projette de la même manière verticalement sur l'axe des ordonnées a partie de la valeur $\frac{h}{H} = 0,486$ sur la courbe V/V_{ps} puis déduire en projection horizontale la valeur du rapport des vitesses $V/V_{ps} = 0,877$

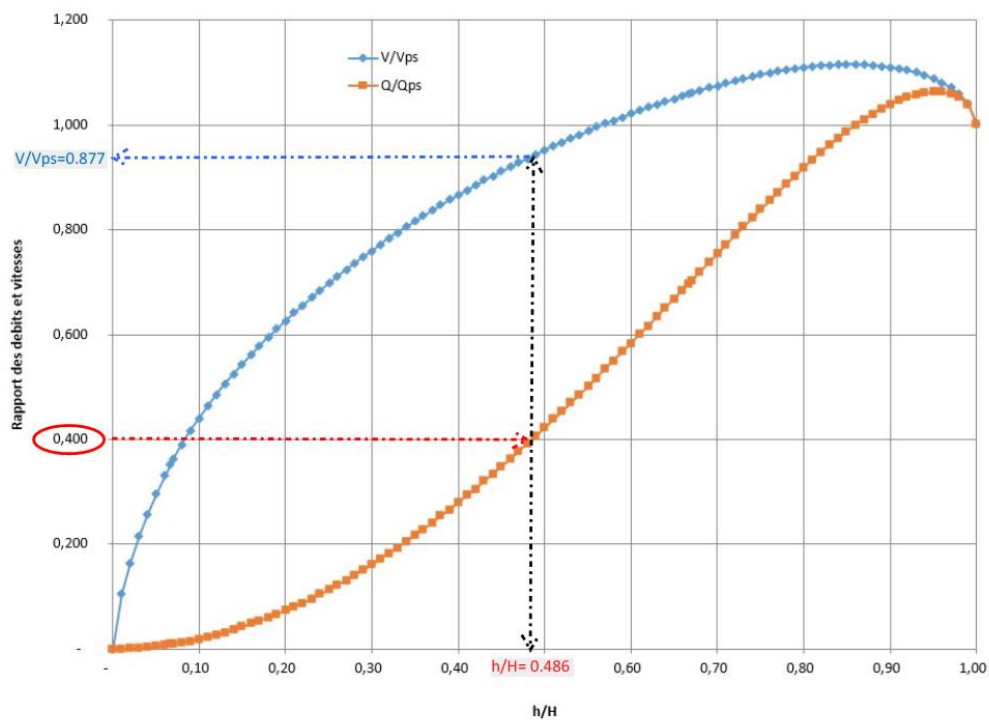


Figure 2.8 : exemple sur le mode d'emploi de l'abaque

2.8 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 2.9) et un autre organigramme encore plus simplifié (figure 2.8) pour une résolutions graphique rapide et pratique basée l'abaque présentée en (figure 2.7)

Chapitre 3

Cas d'étude

3.1 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.

3.2 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.

3.3 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‰.

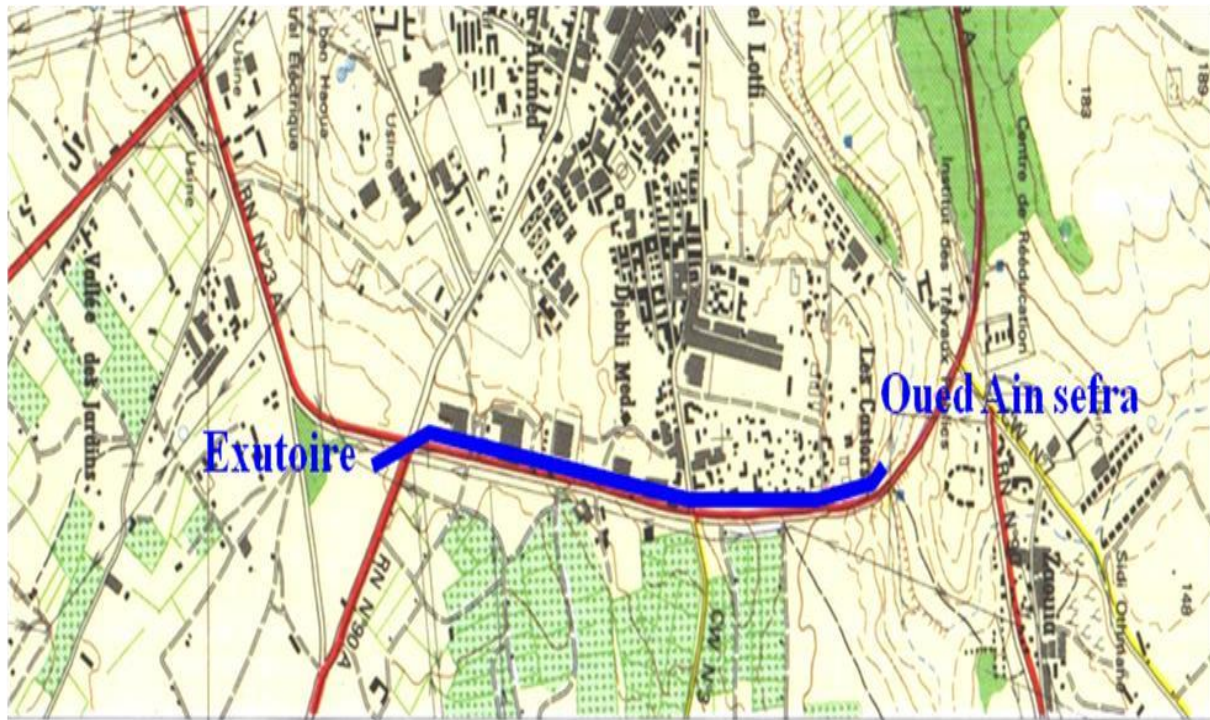


Figure 3.1 : Tracé souterrain du tunnel sous la RN23A.

3.4 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 :

T, mn Cumul	Q max ₁₀ (m3/s)
0	0
15	0,057
30	0,565
45	1,6
60	3,15
75	5,23
90	7,84
105	11
120	14,6
135	18,8
150	23,5
165	20
180	16,8
195	14
210	11,5
225	9,37
240	7,49
255	5,89
270	4,53
285	3,4
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
426	0

Tableau 3.1 : valeur de débit en fonction de temps

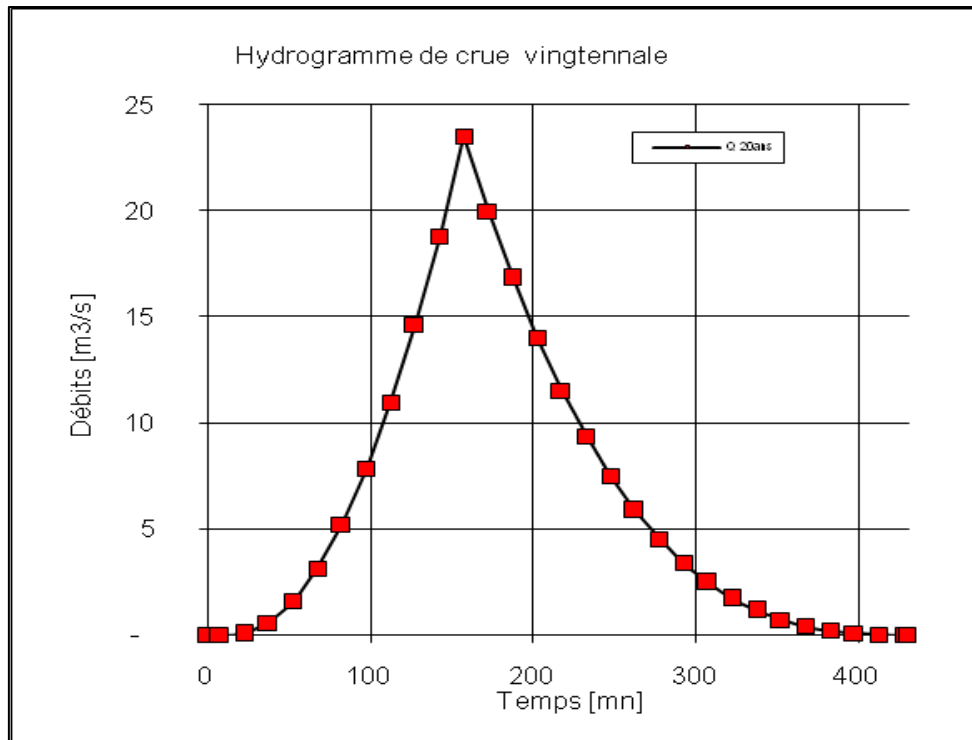


Figure 3.2 : Hydrogramme de la crue vingtennale du réseau hydrographique de la vallée des jardins.

3.5 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 .

		Ecoulement à pleine section						Au niveau des naissances 1-1'						Au niveau des naissances de 2-2'					
r (mm)	H (mm)	Aps (m²)	Pps (m)	Rhps	Vps (m/s)	Qps (m³/s)	A1 (m²)	P1 (m)	Rh1	V1 (m/s)	Q1 (m³/s)	A2 (m²)	P2 (m)	Rh2	V2 (m/s)	Q2 (m³/s)			
1800	5400	14,88	14,27	1,04	3,15	46,95	0,36	1,67	0,22	1,11	0,40	9,80	8,62	1,14	3,34	32,72			
1900	5700	16,58	15,07	1,10	3,27	54,23	0,40	1,76	0,23	1,15	0,46	10,91	9,10	1,20	3,46	37,79			
2000	6000	18,38	15,86	1,16	3,38	62,18	0,45	1,85	0,24	1,19	0,53	12,09	9,58	1,26	3,58	43,33			
2100	6300	20,26	16,65	1,22	3,50	70,82	0,49	1,95	0,25	1,23	0,61	13,33	10,06	1,33	3,70	49,36			
2200	6600	22,24	17,45	1,27	3,61	80,17	0,54	2,04	0,27	1,27	0,69	14,63	10,53	1,39	3,82	55,87			
2300	6900	24,30	18,24	1,33	3,71	90,26	0,59	2,13	0,28	1,30	0,77	15,99	11,01	1,45	3,93	62,91			
2400	7200	26,46	19,03	1,39	3,82	101,11	0,64	2,23	0,29	1,34	0,86	17,41	11,49	1,52	4,05	70,47			
2500	7500	28,71	19,82	1,45	3,93	112,74	0,70	2,32	0,30	1,38	0,96	18,90	11,97	1,58	4,16	78,57			
2600	7800	31,06	20,62	1,51	4,03	125,17	0,76	2,41	0,31	1,42	1,07	20,44	12,45	1,64	4,27	87,23			
2700	8100	33,49	21,41	1,56	4,13	138,42	0,82	2,50	0,33	1,45	1,18	22,04	12,93	1,70	4,38	96,47			
2800	8400	36,02	22,20	1,62	4,23	152,52	0,88	2,60	0,34	1,49	1,30	23,70	13,41	1,77	4,48	106,29			
2900	8700	38,64	23,00	1,68	4,33	167,48	0,94	2,69	0,35	1,52	1,43	25,43	13,89	1,83	4,59	116,72			
3000	9000	41,35	23,79	1,74	4,43	183,32	1,01	2,78	0,36	1,56	1,57	27,21	14,36	1,89	4,70	127,77			
3100	9300	44,15	24,58	1,80	4,53	200,07	1,07	2,87	0,37	1,59	1,71	29,05	14,84	1,96	4,80	139,44			
3200	9600	47,04	25,38	1,85	4,63	217,75	1,14	2,97	0,39	1,63	1,86	30,96	15,32	2,02	4,90	151,76			
3300	9900	50,03	26,17	1,91	4,72	236,37	1,22	3,06	0,40	1,66	2,02	32,92	15,80	2,08	5,00	164,74			
3400	10200	53,11	26,96	1,97	4,82	255,96	1,29	3,15	0,41	1,69	2,19	34,95	16,28	2,15	5,10	178,39			
3500	10500	56,28	27,75	2,03	4,91	276,53	1,37	3,25	0,42	1,73	2,36	37,04	16,76	2,21	5,20	192,72			
3600	10800	59,54	28,55	2,09	5,01	298,10	1,45	3,34	0,43	1,76	2,55	39,18	17,24	2,27	5,30	207,76			
3700	11100	62,89	29,34	2,14	5,10	320,70	1,53	3,43	0,45	1,79	2,74	41,39	17,72	2,34	5,40	223,51			
3800	11400	66,34	30,13	2,20	5,19	344,34	1,61	3,52	0,46	1,82	2,94	43,66	18,20	2,40	5,50	239,98			
3900	11700	69,88	30,93	2,26	5,28	369,03	1,70	3,62	0,47	1,85	3,15	45,98	18,67	2,46	5,59	257,19			
4000	12000	73,51	31,72	2,32	5,37	394,81	1,79	3,71	0,48	1,89	3,37	48,37	19,15	2,53	5,69	275,16			

Tableau 3.2 : Evaluation des débits particuliers Q_1 , Q_2 et Q_{ps}

r (mm)	H (mm)	Ecoulement à pleine section					β	k	Q(θ)	Q(α)	Q(θ')	Q	Q-q
		Aps (m ²)	Pps (m)	Rhps	Vps (m/s)	Qps (m ³ /s)							
1800	5400	14,88	14,27	1,04	3,15	46,95	0,12	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
1900	5700	16,58	15,07	1,10	3,27	54,23	0,16	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2000	6000	18,38	15,86	1,16	3,38	62,18	0,20	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2100	6300	20,26	16,65	1,22	3,50	70,82	0,23	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2200	6600	22,24	17,45	1,27	3,61	80,17	0,26	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2300	6900	24,30	18,24	1,33	3,71	90,26	0,29	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2400	7200	26,46	19,03	1,39	3,82	101,11	0,31	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2500	7500	28,71	19,82	1,45	3,93	112,74	0,33	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2600	7800	31,06	20,62	1,51	4,03	125,17	0,35	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2700	8100	33,49	21,41	1,56	4,13	138,42	0,37	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2800	8400	36,02	22,20	1,62	4,23	152,52	0,38	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
2900	8700	38,64	23,00	1,68	4,33	167,48	0,40	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3000	9000	41,35	23,79	1,74	4,43	183,32	0,41	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3100	9300	44,15	24,58	1,80	4,53	200,07	0,42	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3200	9600	47,04	25,38	1,85	4,63	217,75	0,44	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3300	9900	50,03	26,17	1,91	4,72	236,37	0,45	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3400	10200	53,11	26,96	1,97	4,82	255,96	0,46	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3500	10500	56,28	27,75	2,03	4,91	276,53	0,47	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3600	10800	59,54	28,55	2,09	5,01	298,10	0,48	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3700	11100	62,89	29,34	2,14	5,10	320,70	0,49	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3800	11400	66,34	30,13	2,20	5,19	344,34	0,49	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
3900	11700	69,88	30,93	2,26	5,28	369,03	0,50	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00
4000	12000	73,51	31,72	2,32	5,37	394,81	0,51	2	0,00	23,50	0,00	23,50	0,00

Tableau 3.3: Positionnement du plan d'eau

r (mm)	H (mm)	A _{ps} (m ²)	k	β	Ecoulement a section partielle						
					Am (m ²)	P _m (m)	R _h	V (m/s)	Q (m ³ /s)	h	h/H (%)
1800	5400	14,8849	2	0,12	7,54	7,35	1,03	3,12	23,50	2,97	55%
1900	5700	16,5847	2	0,16	7,50	7,27	1,03	3,13	23,50	2,89	51%
2000	6000	18,3765	2	0,20	7,48	7,21	1,04	3,14	23,50	2,82	47%
2100	6300	20,2600	2	0,23	7,46	7,16	1,04	3,15	23,50	2,76	44%
2200	6600	22,2355	2	0,26	7,44	7,11	1,05	3,16	23,50	2,71	41%
2300	6900	24,3029	2	0,29	7,42	7,08	1,05	3,17	23,50	2,66	39%
2400	7200	26,4621	2	0,31	7,41	7,05	1,05	3,17	23,50	2,61	36%
2500	7500	28,7132	2	0,33	7,40	7,02	1,05	3,18	23,50	2,57	34%
2600	7800	31,0562	2	0,35	7,39	7,00	1,06	3,18	23,50	2,53	32%
2700	8100	33,4911	2	0,37	7,38	6,99	1,06	3,18	23,50	2,50	31%
2800	8400	36,0178	2	0,38	7,38	6,97	1,06	3,18	23,50	2,46	29%
2900	8700	38,6365	2	0,40	7,37	6,96	1,06	3,19	23,50	2,43	28%
3000	9000	41,3470	2	0,41	7,37	6,95	1,06	3,19	23,50	2,40	27%
3100	9300	44,1494	2	0,42	7,37	6,94	1,06	3,19	23,50	2,37	25%
3200	9600	47,0437	2	0,44	7,36	6,94	1,06	3,19	23,50	2,34	24%
3300	9900	50,0299	2	0,45	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,31	23%
3400	10200	53,1080	2	0,46	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,29	22%
3500	10500	56,2779	2	0,47	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,26	22%
3600	10800	59,5397	2	0,48	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,24	21%
3700	11100	62,8934	2	0,49	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,22	20%
3800	11400	66,3390	2	0,49	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,19	19%
3900	11700	69,8765	2	0,50	7,36	6,93	1,06	3,19	23,50	2,17	19%
4000	12000	73,5058	2	0,51	7,36	6,94	1,06	3,19	23,50	2,15	18%

Tableau 3.4 : Dimensionnement des caractéristiques hydrauliques final de l'ovoïde

3.6 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 m³/s.

Nous constatons que la vitesse de l'écoulement est proportionnelle au rayon de l'ovoïde, contrairement la hauteur d'eau est inversement proportionnelle au rayon de l'ovoïde.

➤ Remarques

- Les solutions adoptées pour $1800 \leq r \leq 4000$ nous donne des vitesses sur une intervalle de $3,12 \leq V \leq 3,19$ et un rapport de hauteur de $55\% \leq \frac{h}{H} \leq 18\%$
- A partir de $A_{ps} = 44 \text{ m}^2$ et de $V = 3,19 \text{ m}^3/\text{s}$, on exclut cette tranche de solutions car on a pas de gains intéressants sur chaque r augmenté
- Les deux paramètres de vitesse et de hauteur se stabilise et restent presque constant à partir de cette tranche de solution choisi

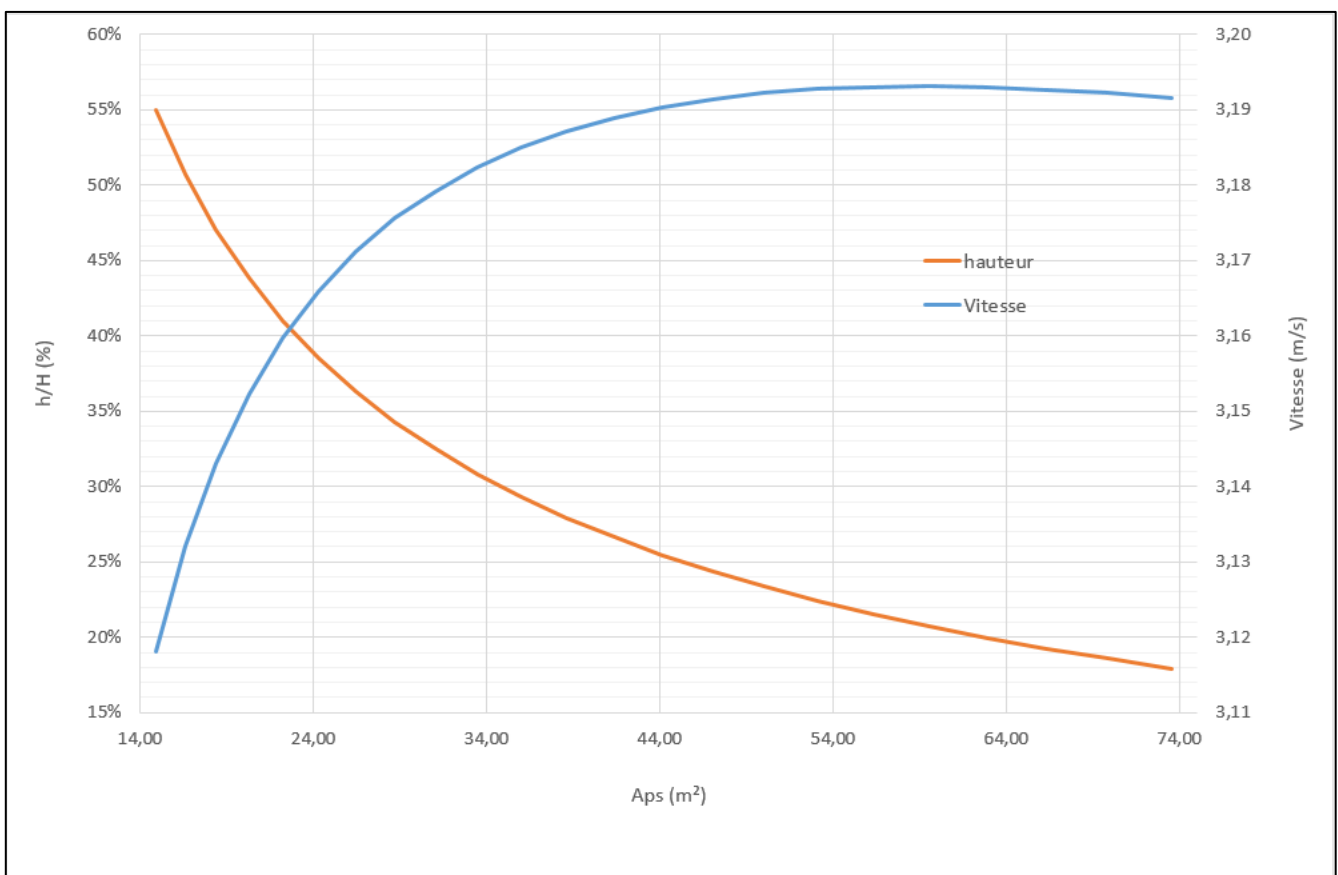


Figure 3.3 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour le débit de dimensionnement avec une vingtaine de solution potentielle.

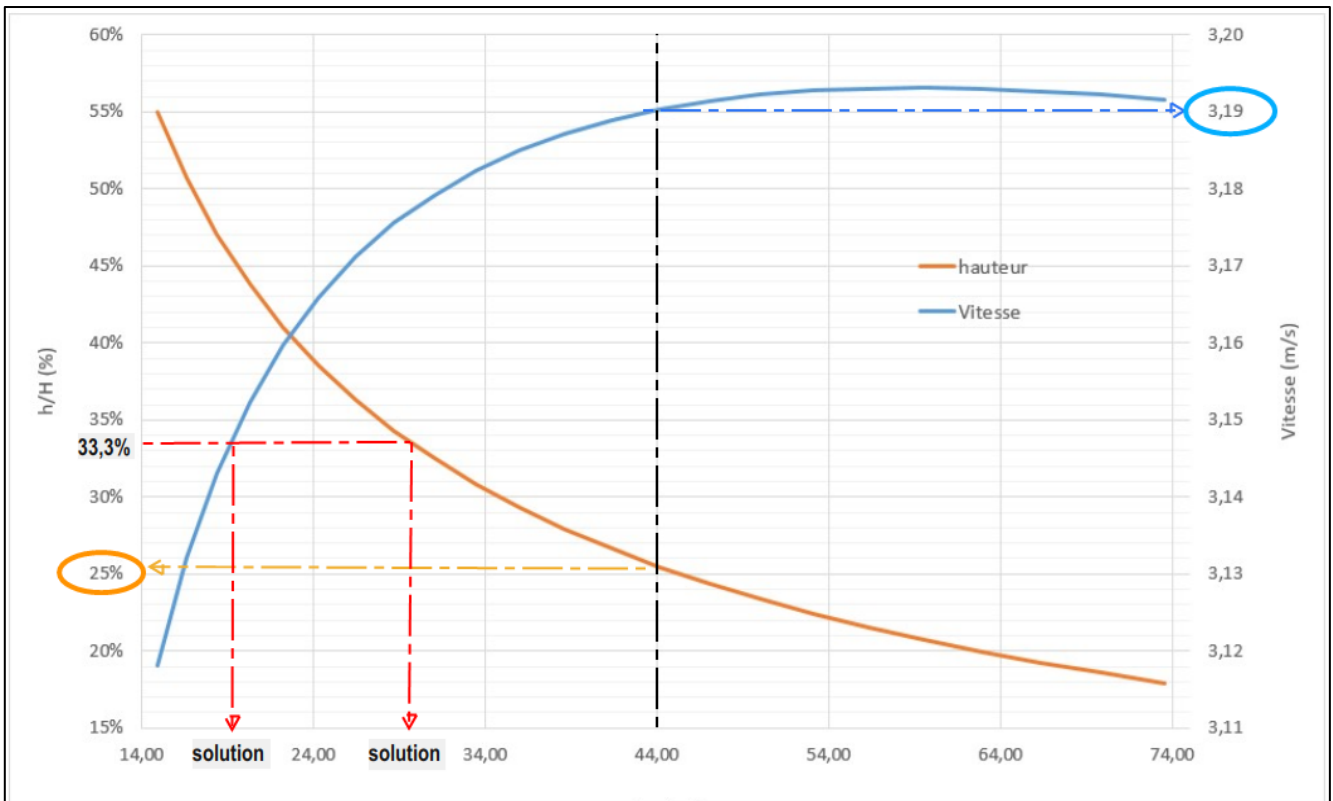


Figure 3.4: illustration les solutions

➤ **Solution**

- La solution optimale serait de prendre $\frac{h}{H} \approx \frac{1}{3}$ pour avoir une marge pour des crues exceptionnelles au vue des incertitudes
- $\frac{h}{H} \approx \frac{1}{3}$ d'où $\frac{h}{H} = 33,3\%$ qui correspond aux sections de $A_{ps} = 19 m^2$, $A_{ps} = 30m^2$ qui est une vitesse largement suffisante et adoptée pour l'écoulement

3.7 Etude comparative avec un projet existant (PFE 2024 – UMMTO)

Nous comparons notre solution avec celles de Amrouni Abderrahim , Achir Rafik , CHA PFE 2024 UMMTO , nous donnons les résultats essentielles de leur étude :

- Équation de la section mouillée :

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

- Équation du périmètre mouillé :

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

- Equation du rayon hydraulique :

$$R_h(\alpha) = \frac{A(\alpha)}{P(\alpha)}$$

- Équation de la vitesse :

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

- Équation du débit :

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

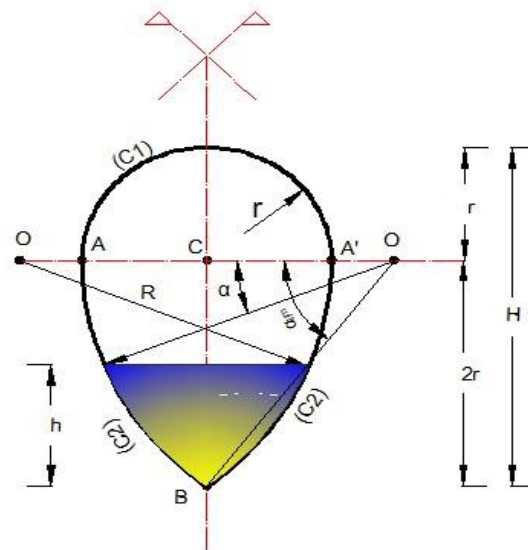


Figure 3.5 : Caractéristiques géométriques de l'ovoïde PFE 2024

r (mm)	H (mm)	Ecoulement à pleine section					α	Ecoulement à section partielle					
		Aps (m ²)	Pps (m)	Rh ps	Vps (m/s)	Qps (m ³ /s)		Am (m ²)	Pm (m)	Rh	V (m/s)	h (mm)	h/H (%)
1800	5400	14,96	14,00	1,07	3,09	46,20	0,14	7,58	7,07	1,07	3,10	2,96	55%
1900	5700	16,66	14,78	1,13	3,20	53,36	0,19	7,54	6,96	1,08	3,12	2,88	51%
2000	6000	18,46	15,56	1,19	3,31	61,18	0,24	7,50	6,88	1,09	3,13	2,81	47%
2100	6300	20,36	16,33	1,25	3,42	69,68	0,28	7,47	6,80	1,10	3,15	2,75	44%
2200	6600	22,34	17,11	1,31	3,53	78,89	0,31	7,44	6,74	1,10	3,16	2,70	41%
2300	6900	24,42	17,89	1,36	3,64	88,81	0,35	7,42	6,69	1,11	3,17	2,65	38%
2400	7200	26,59	18,67	1,42	3,74	99,49	0,37	7,40	6,64	1,11	3,18	2,61	36%
2500	7500	28,85	19,45	1,48	3,84	110,93	0,40	7,38	6,60	1,12	3,18	2,57	34%
2600	7800	31,20	20,22	1,54	3,95	123,16	0,42	7,36	6,57	1,12	3,19	2,54	33%
2700	8100	33,65	21,00	1,60	4,05	136,20	0,44	7,35	6,53	1,13	3,20	2,50	31%
2800	8400	36,19	21,78	1,66	4,15	150,07	0,46	7,34	6,50	1,13	3,20	2,48	30%
2900	8700	38,82	22,56	1,72	4,24	164,79	0,48	7,32	6,48	1,13	3,21	2,45	28%
3000	9000	41,54	23,33	1,78	4,34	180,38	0,50	7,31	6,45	1,13	3,21	2,42	27%
3100	9300	44,36	24,11	1,84	4,44	196,87	0,51	7,30	6,43	1,14	3,22	2,40	26%
3200	9600	47,27	24,89	1,90	4,53	214,26	0,53	7,30	6,41	1,14	3,22	2,38	25%
3300	9900	50,27	25,67	1,96	4,63	232,58	0,54	7,29	6,39	1,14	3,23	2,36	24%
3400	10200	53,36	26,45	2,02	4,72	251,85	0,55	7,28	6,38	1,14	3,23	2,34	23%
3500	10500	56,55	27,22	2,08	4,81	272,09	0,56	7,27	6,36	1,14	3,23	2,32	22%
3600	10800	59,82	28,00	2,14	4,90	293,32	0,57	7,27	6,35	1,14	3,23	2,31	21%
3700	11100	63,19	28,78	2,20	4,99	315,56	0,59	7,26	6,33	1,15	3,24	2,29	21%

Tableau 3.5 : Note de calcul du dimensionnement de la conduite de section ovoïde

Amrouni Abderrahim , Achir Rafik , PFE 2024

La figure 3.6 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 $23,5 \text{ m}^3/\text{s}$ du PFE 2024 par Amrouni Abderrahim , Achir Rafik

A.N : la figure 3.6 est donnée avec des résultats en utilisant des courbes de tendances

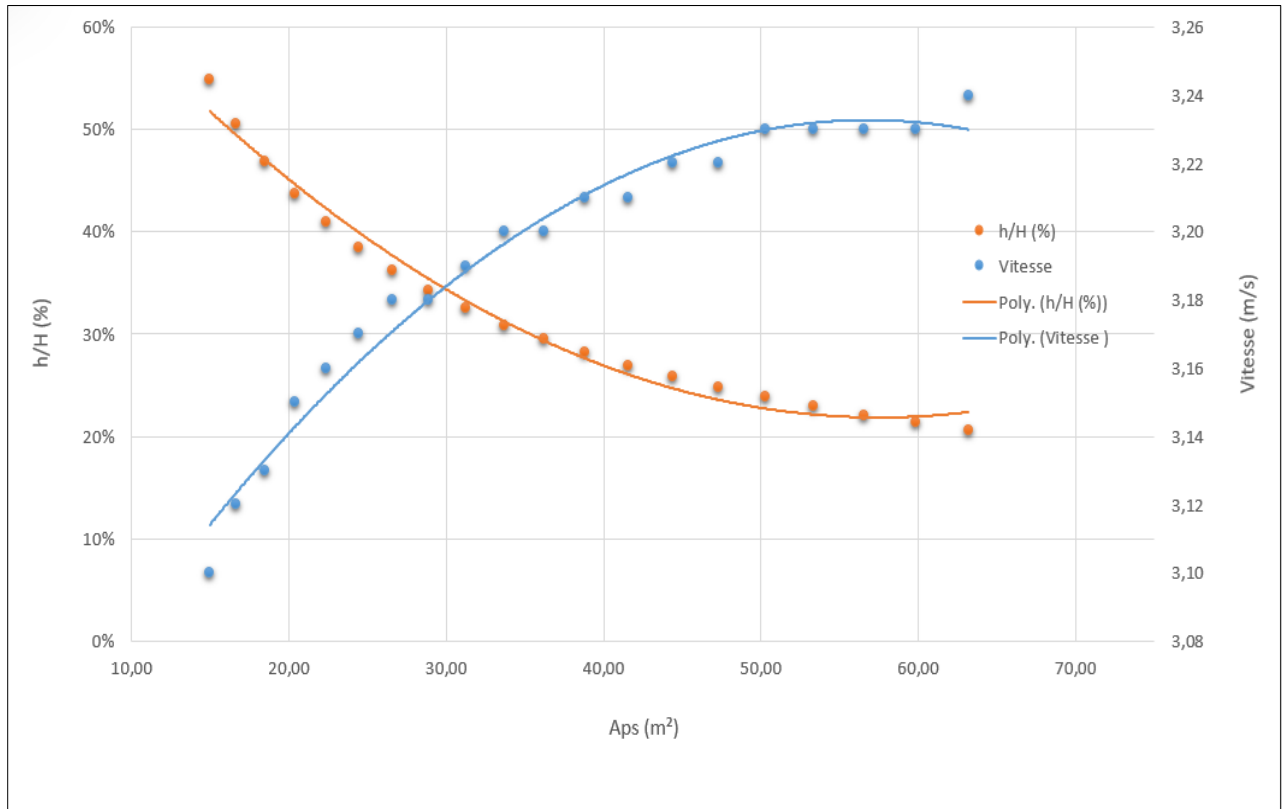


Figure 3.6 : Évolution de la vitesse et de la hauteur d'eau pour un débit de $23,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur plusieurs sections de conduite ovoïde

3.8 Comparaison solution ovoïde – solution PFE 2024

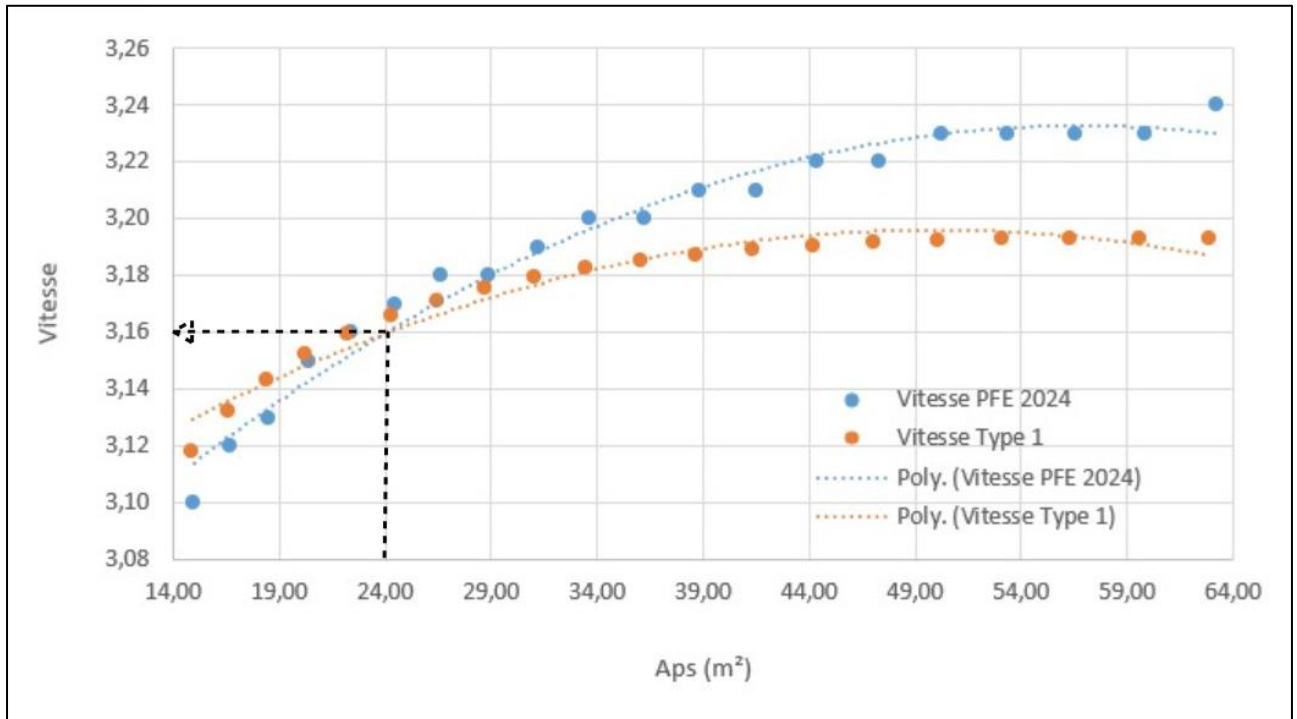


Figure 3.7 : Comparaison des graphiques de vitesse entre le type 1 et PFE

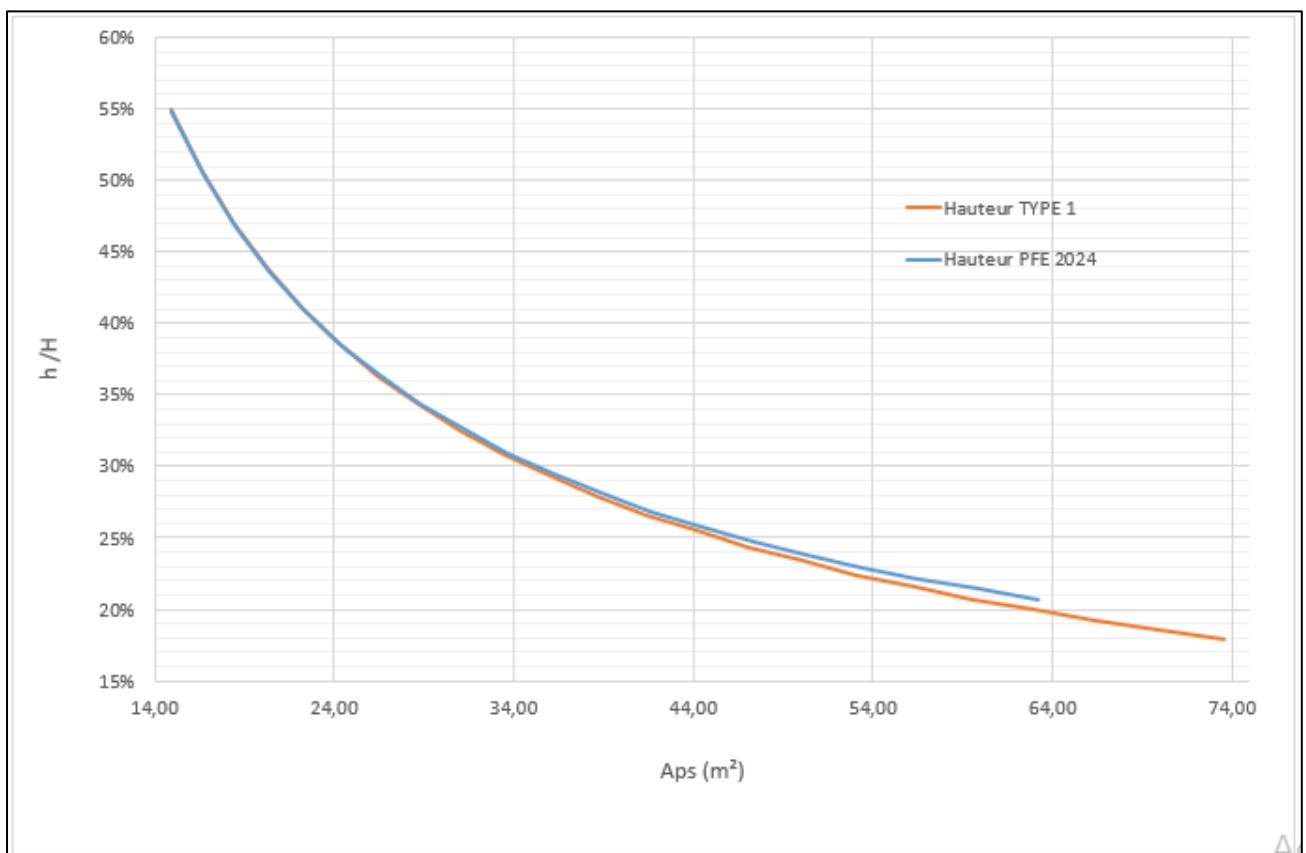


Figure 3.8 : Comparaison des graphiques de hauteur entre le type 1 et PFE 2024

Interprétation hydraulique

Dans les deux cas, on observe un comportement typique des sections ovoïdes :

- Quand la surface mouillée augmente, la hauteur diminue.
- En même temps, la vitesse augmente, car la pente hydraulique et la section favorisent un meilleur écoulement.

Le deuxième graphique montre une courbe de vitesse qui atteint un maximum, ce qui est typique lorsque la conduite atteint un remplissage optimal, après quoi l'écoulement devient moins performant (pertes de charge, turbulence, etc.).

Le premier graphique donne une croissance de la vitesse plus progressive et linéaire, ce qui pourrait indiquer une forme plus régulière ou un écoulement plus stabilisé.

Conclusion comparative

- Le graphe PFE 2024 semble représenter un profil ovoïdal avec un comportement plus stable, sans maximum de vitesse marqué.
- Le graphe, avec un pic de vitesse, est typique des ovoïdes où la partie inférieure est plus pincée (comme le Type 1 – Old Form). Il illustre bien l'efficacité à faible remplissage, puis une saturation hydraulique à haut débit.

En résumé

- Ovoïde PFE 2024 : écoulement plus progressif, vitesse toujours croissante.
- Ovoïde type 1 : vitesse optimale à mi-remplissage.

Conclusion générale

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'optimisation des systèmes d'assainissement urbain à travers l'étude approfondie des conduites de forme ovoïdale, dont l'intérêt hydraulique est historiquement et techniquement avéré. L'objectif principal de ce travail a été de proposer une méthodologie rigoureuse, à la fois analytique et graphique, pour le dimensionnement de ces conduites, tout en évaluant leur pertinence à travers une application concrète sur le site de la Vallée des Jardins (Mostaganem).

Dans un premier temps, un cadre théorique détaillé a été établi afin de contextualiser l'usage des conduites ovoïdales dans les réseaux d'assainissement, en insistant sur leurs avantages fonctionnels, notamment en régime unitaire, et leur supériorité en matière d'auto-curage hydraulique. L'analyse historique et comparative de projets emblématiques à l'échelle internationale a permis de mettre en évidence la robustesse et la pérennité de cette typologie de section.

Le second chapitre a été consacré à l'élaboration d'un modèle de calcul précis, reposant sur la modélisation des trois composantes géométriques de la section ovoïdale. L'approche mathématique, bien que complexe, a permis de dégager des relations fondamentales entre les paramètres hydrauliques (rayon hydraulique, section mouillée, vitesse, débit) et le taux de remplissage de la conduite. En parallèle, une méthode graphique via un abaque a été développée afin de faciliter le dimensionnement en pratique, en réduisant le temps de calcul tout en maintenant une bonne précision.

Enfin, l'application de cette démarche à un cas réel – l'aménagement de la Vallée des Jardins – a permis de valider la méthodologie proposée et de démontrer, chiffres à l'appui, la performance de la conduite ovoïdale de type 1 par rapport à une section ovoïdale standard utilisée dans un projet précédent. Les résultats ont mis en évidence une amélioration significative des vitesses d'écoulement, une meilleure adaptation aux débits de crue, ainsi qu'une hauteur d'eau optimisée, garantissant ainsi un fonctionnement plus stable et plus sûr du réseau.

Ainsi, ce travail confirme que la conduite ovoïdale, bien que plus complexe à concevoir que les conduites circulaires, constitue une solution particulièrement adaptée aux contextes urbains soumis à des variations importantes de débit. Elle répond efficacement aux exigences modernes en matière de performance hydraulique, d'économie d'entretien et d'intégration dans des environnements contraints.

Reference bibliographique

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, edition 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, edition Thomas Telford Publishing, 1996.

Amrouni Abderrahim , Achir Rafik , Contribution au dimensionnement d'une conduite d'égouts en forme d'ovoïde , PFE 2024

MLIT Japan (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) – Données sur les infrastructures hydrauliques japonaises.

G-Cans Project Official Website – Présentation technique du Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel.

Wikipedia / G-Cans (pour la vulgarisation des images et caractéristiques générales).