

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

## Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Techniques

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme  
LICENCE ACADEMIQUE  
en Hydraulique  
Spécialité : Sciences Hydrauliques**

### Thème

**Etude de l'hydrodynamique à travers un  
élargissement ou un rétrécissement de la section  
d'écoulement**

Préparé par :

Zeghmar Amira  
Kadri Khawla  
Laouici Sabah  
Kihal Fahima

Dirigé par :

Dr M. BENSOUICI

Année universitaire : 2013/2014

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qui nous a  
Guidé tout au long de notre vie, qui nous a donné courage  
Et patience pour passer tous les moments difficiles, qui nous a  
Permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre*

*Entre vos mains aujourd'hui.*

*Nous remercions mon encadreur*

*DOCTEUR **M. BEN SOVICI***

*Pour avoir dirigé nos travaux, pour leurs Précieux conseils,*

*Et surtout leurs remarques.*

*Nous remercions également tous les enseignants*

*Qui ont contribué efficacement à notre formation.*

*Nous remercions notre famille*

*qui n'a jamais cessé de nous aider et de nous encourager*

*Et surtout deux chers parents qui grâce à eux*

*Nous avons réussi à atteindre*

*Ce niveau de formation*

***Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire***

***" Ya Kayoum "***

*Je dédie ce mémoire qui est le fruit de mes année d'étude qui sont pleines de réussit, a ce quim'a donnée l'amoure, la joie et le bonheur qui m'a aide dans toutes les phases de ma vie moralement et matériellement, a qui je suis très reconnaissante et qui je dois toute le respect du monde et qui j'aime le plus au monde « « mes parents » »*

*Mouloude et nekhla*

*A mes frères :samir et sa femme najla, sa enfant Ahmed*

*Rida et sa fammesaliha, sa fille nada*

*Abdalhaket sa femme bouchra*

*A yaakoub*

*A mes sœurs : lamiaet sont marieali ,ses enfants abdalah et youcef*

*Rafika et sont mariehichemet, ses enfant smanel wassim*

*Ikramet sont marieammam ,ses enfantssondous,mariam rimas*

*A ma très chère sœur wafa*

*Toute ma famille et spécialement monVierge :*

*ChlighemIbrahim*

*A mon encadreur DR M. BEN SOUCI pour leursattention s,encouragements, leurs précieux conseils.*

*Atoute me professeures qui ont accepté de me faire partager leur expérience pour ce travail.*


*A mes chère amie ' Amira ,Besma , Meriam ,Fatima'*

*A Abdraouf, Asma ,Ibrahim*

*Toute mes compagnons de promotion*

*A tous les personnes de prés ou de loin qui me reconnaisse-je dédie ce travail.*

***KHAWLA***



*Merci à Dieu qui grâce à lui les travaux s'achèvent,  
Merci à dieu pour m'avoir aidé et réussi dans la réalisation  
De cette mémoire*

*Merci à ma mère et à mon père, que dieu les récompense et les satisfait  
Pour avoir bien s'occuper de moi et de ma meilleure éducation*

*Je dédicace ce travail à mes frères Yacine et Mouloud, à ma sœur Fatiha,*

*Son époux et ses enfants Asma Naima Hussam et Kamel*

*A ma sœurs Rachida son époux et ses enfants Alameddine :*

*Hinde Hadil et la petite Salsabil*

*Ainsi qu'à mes deux autres sœurs Nawal et Amel*

*Et a toute ma grande famille*

*Je remercie et je salue spécialement mes chères amies Rafika, Sabah,*

*Noura, Hasna, Amira, et Warda*


*Enfin tous mes sincères remerciements et mes reconnaissance*

*à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation éducative durant*

*Toute ma vie scolaire et universitaire*

*À mon époux et mon partenaire Moustafa.*

***FAHIMA***



*Je dédie ce travail :*

*A mes parents : Ahmed et Naima,*

*À qui je dois énormément de choses.*

*Qu'ils trouvent à travers ce mémoire un  
humble témoignage de reconnaissance pour*

*Leurs encouragements, leurs compréhensions et*

*Profondes préoccupations.*

*A mon fiancé : Zakaria,*

*En reconnaissance de son soutien et*

*Surtout de sa patience et immense compréhension.*

*A mon frère et mes sœur : Mohamed, Imen, Karima,*

*Nadjet et la petite Sirine*

*A tous mes amis et collègues :*

*Notamment Fahima, Sabah et Khawla.*

*Pour leurs sincères amitiés.*

**AMIRA**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Au terme de cette je remercié avant tout  
<<ALLAH >> de nous avoir accordé  
La sante et les Moyennes de réaliser  
Ce modeste travail.*

*Je dédié ce modeste travail à :*

*Mes parents : Yousef et Rachida*

*Mes frères : Amel, Hicham, Mohamed et Halima*

*Tous mes amis : Basma, Rima, Amira, Hasna*

*Et tous mes proches*

*Toute personne ayant contribué de près*

*Ou de loin à l'accomplissement de ce travail.*

**SABAH**



# Sommaire

INTRODUCTION ET OBGECTIF DU TRAVAIL .....	1
---	---

## **Chapitre I :**

### **Hydraulique et ses applications**

DEFINITION D'HYDRAULIQUE.....	4
LES DOMAINES ET LES APPLICATIONS DE L'HYDRAULIQUE.....	6
Les aménagements hydroélectrique .....	6
L'hydraulique fluviale.....	7
L'hydraulique maritime .....	8
L'hydraulique urbaine .....	9
L'hydraulique agricole.....	10
L'hydraulique souterraine .....	11
Les commandes hydrauliques.....	12

## **Chapitre II :**

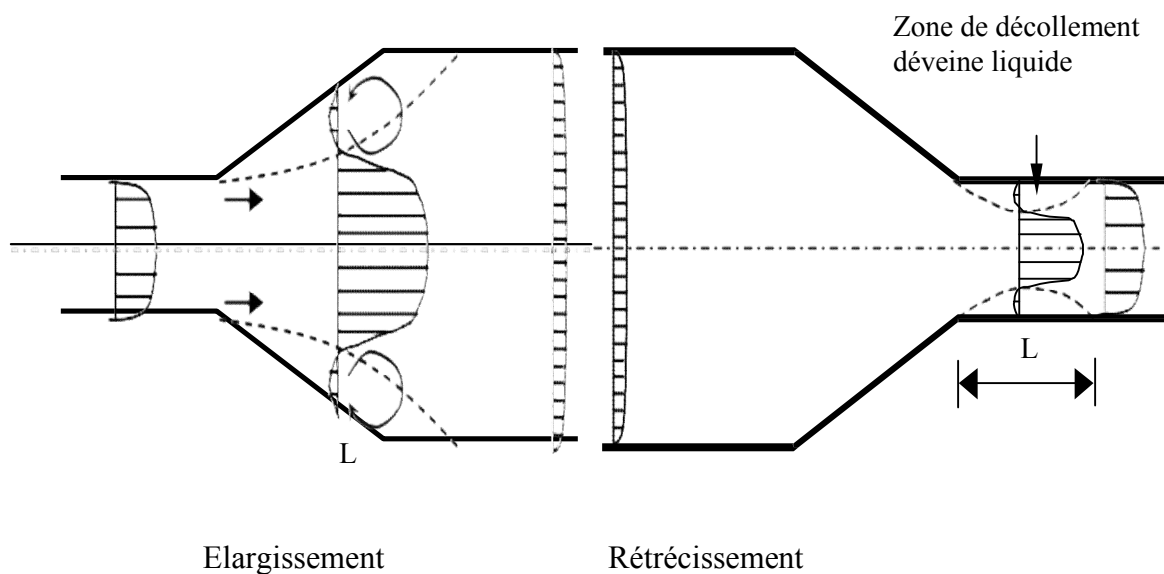
### **Etude bibliographique**

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	14
CONCLUSION GENERALE .....	23
REFIRENCES.....	24

## Introduction générale et objectif du travail

Les écoulements dans les conduites présentant des singularités ont depuis longtemps constitué une source de problèmes lors de la conception et du dimensionnement des installations industrielles (génie nucléaire, pétrolier ou chimique). Parmi ces singularités, l'élargissement brusque correspond à une situation courante ; son influence peut engendrer d'importantes modifications de l'écoulement telles que la séparation et la redistribution des phases, les instabilités et le changement du régime de l'écoulement. La transition entre deux conduites de diamètre différent pour un écoulement en charge provoque une répartition transversale des vitesses longitudinales totalement différentes de celles vues précédemment.

On constate une zone où les veines liquides proches de la paroi se décollent sur une longueur  $L$ . Dans cette zone, on observe des recirculations à l'origine de perturbations importantes dans l'écoulement, (**Voire figure**).



La complexité de l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts est d'autant plus importante si ces canaux ont une géométrie variable. On trouve aussi le changement de section dans le canal, tel qu'un rétrécissement ou un élargissement, ceci provoque une surface d'écoulement irrégulière et ondulée. Les élargissements de canaux à ciel ouvert, appelés souvent transitions, sont fréquemment utilisés dans plusieurs applications hydrauliques, notamment dans les coursiers d'évacuateurs de crue. Ces modifications peuvent causer de

grandes pertes d'énergie et aussi l'usure mécanique de la structure. Ainsi, cette étude se veut une contribution à l'étude du comportement de l'écoulement à la traversée d'une singularité, Pour mieux appréhender ce type d'écoulement, la connaissance de certains phénomènes tels que (la chute de pression, le transfert de chaleur et de masse, le taux du vide, la coalescence, etc.....) est primordial.

**Notre objectif du travail est l'étude de l'hydrodynamique à travers un élargissement ou un rétrécissement de la section d'écoulement.**

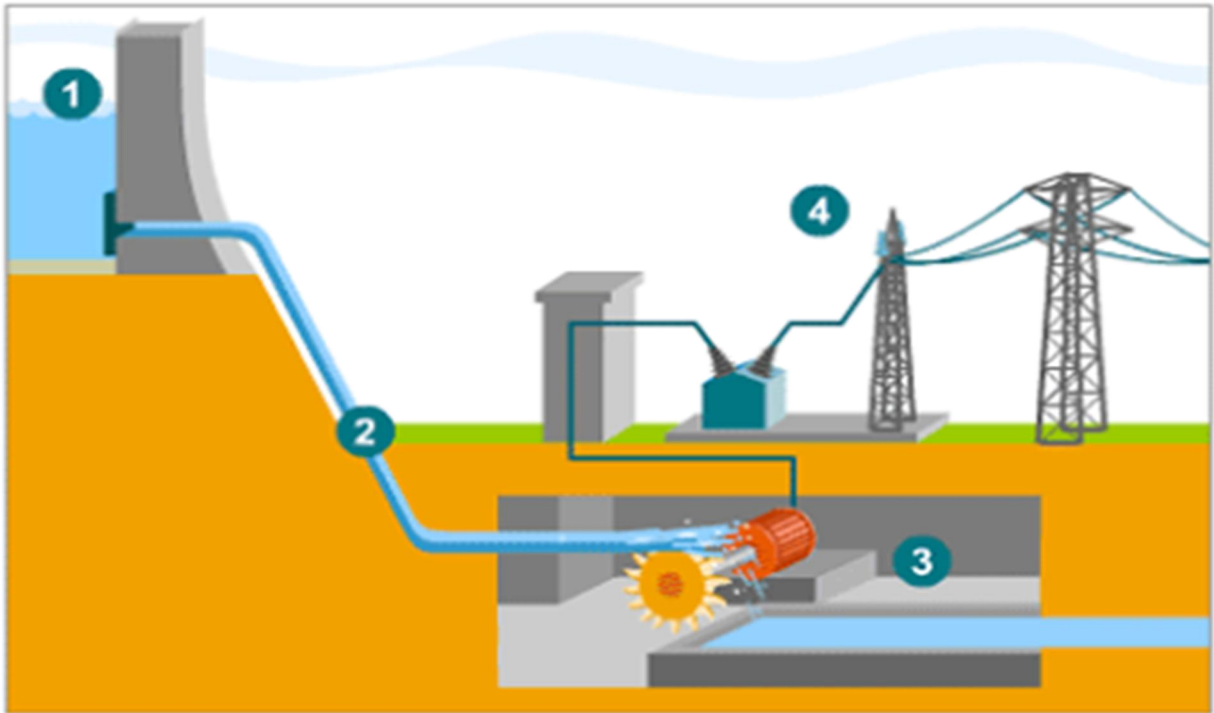
**Ce mémoire comporte deux chapitres :**

- Chapitre I : Hydraulique et ses applications
- Chapitre II : Etude bibliographique



**CHPITRE I :**  
**HYDRAULIQUE ET SES**  
**APPLICATIONS**

# Chapitre I : Hydrauliques et ses applications



## I.1. Définition :

*L'hydraulique* est incontournable dans le domaine de l'environnement. En effet, elle a une place déterminante dans la compréhension, l'analyse et le diagnostic des réseaux d'adduction d'eau potable, des stations de traitement, des réseaux d'assainissement et des rivières. De plus, le contrôle de ces systèmes nécessite une instrumentation qui oblige le concepteur et l'exploitant à une connaissance poussée du fonctionnement hydraulique de ces ouvrages.

*Elle* est basée sur les principes de la mécanique des fluides, bien que beaucoup de relations empiriques soient utilisées dans la pratique. A ce jour, il n'existe pas de la méthodologie générale pour l'analyse mathématique du mouvement des fluides. Si on se base sur la longue expérience accumulée, il existe certainement des solutions particulières à des problèmes spécifiques. L'expérience hydraulique remonte à 2500 ans lorsqu'un système d'irrigation important, qui est toujours en fonctionnement, fut construit à Sichuan, en Chine, et aux constructeurs d'aqueducs de l'Empire romain.

Une de ses activités les plus anciennes de la civilisation humaine, puisqu'elle commande toutes les utilisations de l'eau. Dès l'Antiquité, on retrouve les traces d'ouvrages hydrauliques (canaux d'assainissement de la vallée du Nil, 4 000 ans avant l'ère chrétienne). Mais jusqu'à la Renaissance et la clarification des principes élémentaires de la mécanique, cette activité est demeurée un art sans bases scientifiques. Cela n'a pas empêché les anciens constructeurs d'édifier des ouvrages admirables tels que les aqueducs romains ou, sous l'impulsion de Louis XIV à Versailles, la célèbre machine de Marly.

Le développement ultérieur de l'hydraulique repose essentiellement sur l'amélioration des outils mathématiques et sur les notions de mécanique qui prirent un large essor au XVIIe siècle. Pascal (1623-1662) apporta ainsi une très importante contribution à l'hydraulique en donnant sa forme définitive à la théorie de l'hydrostatique. Daniel Bernoulli (1700-1782), dans son ouvrage *Hydrodynamica*, passe en revue la plupart des problèmes hydrauliques de l'époque. On lui doit le célèbre «théorème de Bernoulli» qui est constamment utilisé dans cette science. Du XVIIe au XXe siècle, le développement de l'hydraulique accompagne alors le progrès général des sciences et des techniques, avec les contributions magistrales de Leonhard Euler (1707-1783), Louis de Lagrange (1736-1813), Pierre du Buat (1734-1809), Jean-Louis Marie Poiseuille (1799-1869), Adhémar Barré de Saint-Venant (1797-1886), William Froude (1818-1879), Henri Navier (1785-1836), Joseph Bousines (1842-1929), Osborne Reynolds (1842-1912), pour ne citer que quelques-uns des principaux fondateurs de l'hydraulique moderne.

Cette science maintenant étend ses frontières au-delà de son domaine traditionnel. La recherche hydraulique se développe très largement dans des laboratoires industriels ou universitaires. Aux outils traditionnels tels que les essais sur modèles réduits, sont venues s'ajouter les techniques de simulation numérique sur ordinateur, et aussi toutes les possibilités de l'électronique et de la microélectronique qui permettent d'acquérir et de traiter des quantités sans cesse croissantes de données expérimentales.

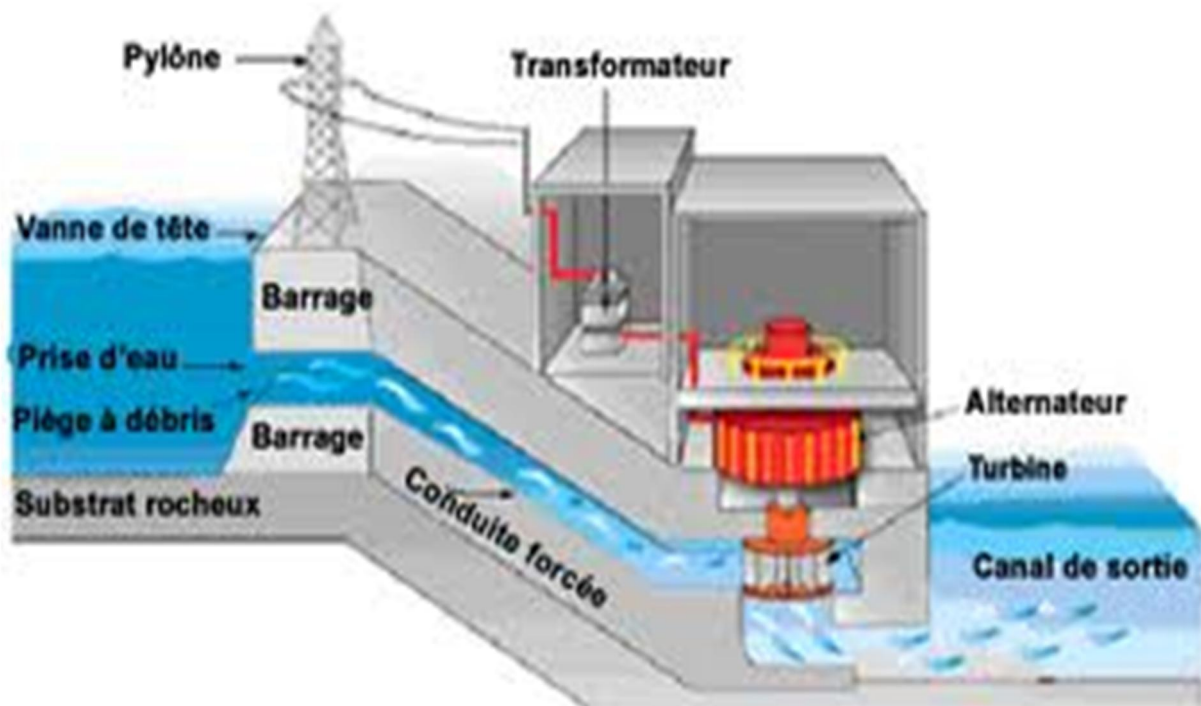
L'hydraulique aborde dès lors des domaines de plus en plus complexes, parmi lesquels on peut citer l'étude approfondie des ondes de surface (marées, déferlement des vagues, etc.), la détermination des champs tridimensionnels de vitesses (écoulements dans les cuves de réacteurs nucléaires), la turbulence en écoulements diphasiques (transport et dépôt des particules solides en suspension).

## I.2 Les domaines et les applications de l'hydraulique

Les domaines de l'hydraulique sont :

- *Les aménagements hydroélectriques :*

Avec le charbon, la houille blanche a joué un rôle essentiel dans la révolution industrielle de la fin du XIXe siècle. La crise énergétique n'a pu être surmontée qu'en développant à la fois les trois ressources naturelles essentielles: le charbon, le nucléaire et l'hydraulique. Cette dernière présente l'avantage d'être une énergie parfaitement renouvelable. On estime que sa contribution au bilan énergétique mondial s'élèvera à 3 000 milliards de kWh en l'an 2000, cet accroissement se réalisant, pour la plus grande part, dans les pays d'Afrique et d'Amérique du Sud. Les aménagements hydroélectriques posent des problèmes hydrauliques divers. Ils concernent les prises d'eau, les barrages, les vannes, les conduites et galeries d'amenée ou de fuite, les cheminées d'équilibre, les évacuateurs de crues, etc., (**Voir figure**).



- *L'hydraulique fluviale :*

A pour objet l'étude de l'écoulement des crues et la protection contre les inondations (certains fleuves comme le Gange, l'Amazone, échappent encore totalement à la maîtrise de l'homme et continuent à défier la technique). Elle intervient dans l'étude des canaux de navigation, le calibrage des rivières pour la protection des berges et le maintien d'un chenal navigable, l'étude des ouvrages de navigation intérieure (barrages, écluses), (**Voir figure**).



- *L'hydraulique maritime :*

doit envisager la protection des ports contre la houle, l'étude de la stabilité des digues et des jetées, la lutte contre l'érosion des plages, l'ensablement des entrées de ports, l'envasement des bassins et l'étude des courants de marée, **(Voir figure)**.



- *L'hydraulique urbaine :*

visée à fournir de l'eau aux villes et à évacuer les eaux usées, elle exige de résoudre de nombreux problèmes d'hydraulique qui vont de la recherche de l'eau (puits, captages, prises en rivière, etc.), à l'adduction d'eau (conduites, aqueducs, canaux), à l'épuration et au traitement des eaux, à la distribution d'eau (stations de pompage, comptage), à l'évacuation (réseaux d'égouts) et au traitement des eaux usées, **(Voir figure)**.



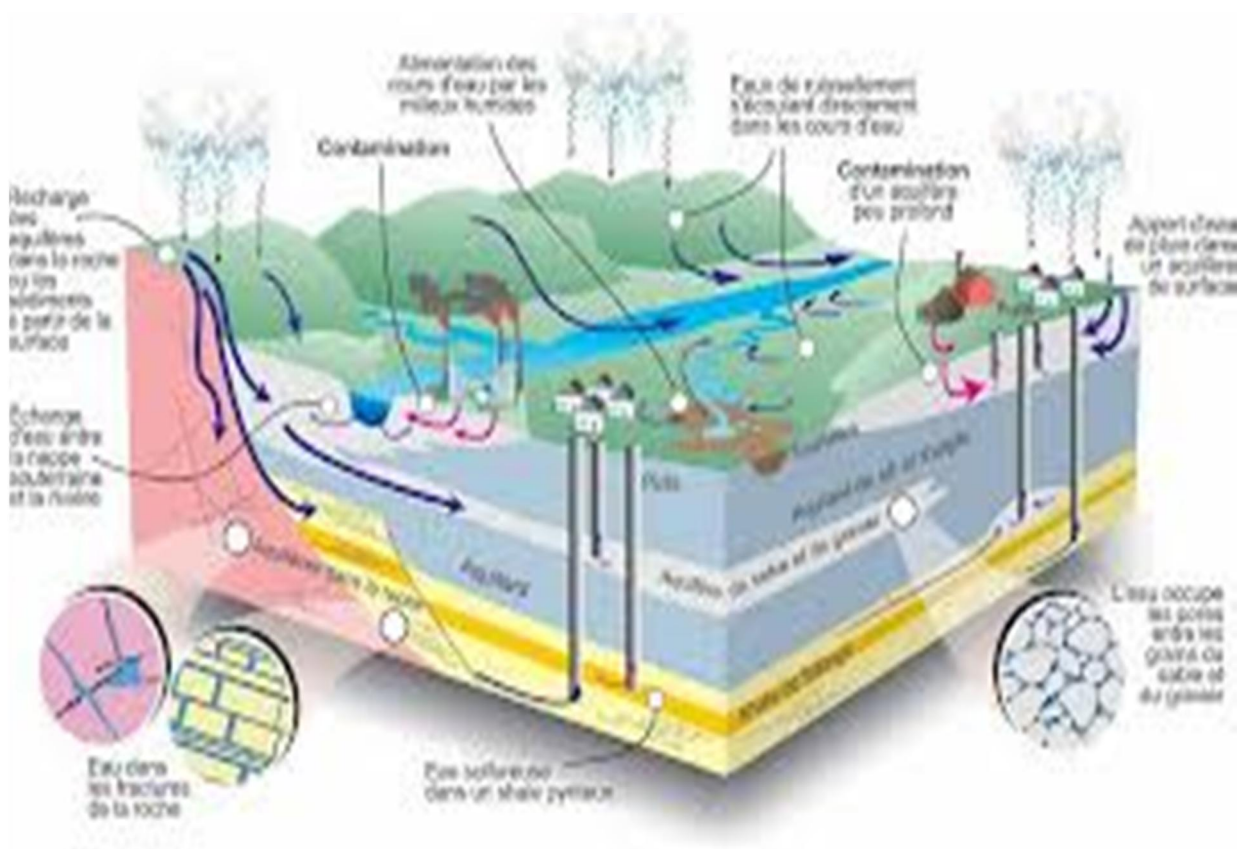
• *L'hydraulique agricole :*

Consiste à fournir de l'eau pour les cultures et suppose la recherche et la captation de l'eau (cf. supra), son stockage (barrages pour l'irrigation), sa distribution (canaux, pompage, comptage), son utilisation (ruissellement, aspersion, submersion...) et le réglage du niveau de la nappe phréatique (drainage, recharges), (**Voir figure**).



• *L'hydraulique souterraine :*

Fait partie d'un domaine plus vaste, constitué par l'étude générale des fluides dans les milieux poreux. Les applications sont très nombreuses. Citons entre autres: les écoulements de nappes souterraines, les bilans hydrologiques, l'étude des puits et des forages, l'infiltration sous les ouvrages, la stabilité des digues en terre, l'irrigation et le drainage, la diffusion de la pollution dans les nappes souterraines, (**Voir figure**).



- *Les commandes hydrauliques :*

Il s'agit là d'une technique qui concerne la transmission d'énergie par le moyen de liquides appelés «liquides hydrauliques» (freins hydrauliques, servocommandes hydrauliques, etc.). L'hydraulique y intervient pour le calcul des pertes de charge dans les canalisations, mais les problèmes y sont surtout de nature technologique (dispositifs de distribution, pompes à huile, etc.),(Voir figure).





**CHAPITRE II :**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

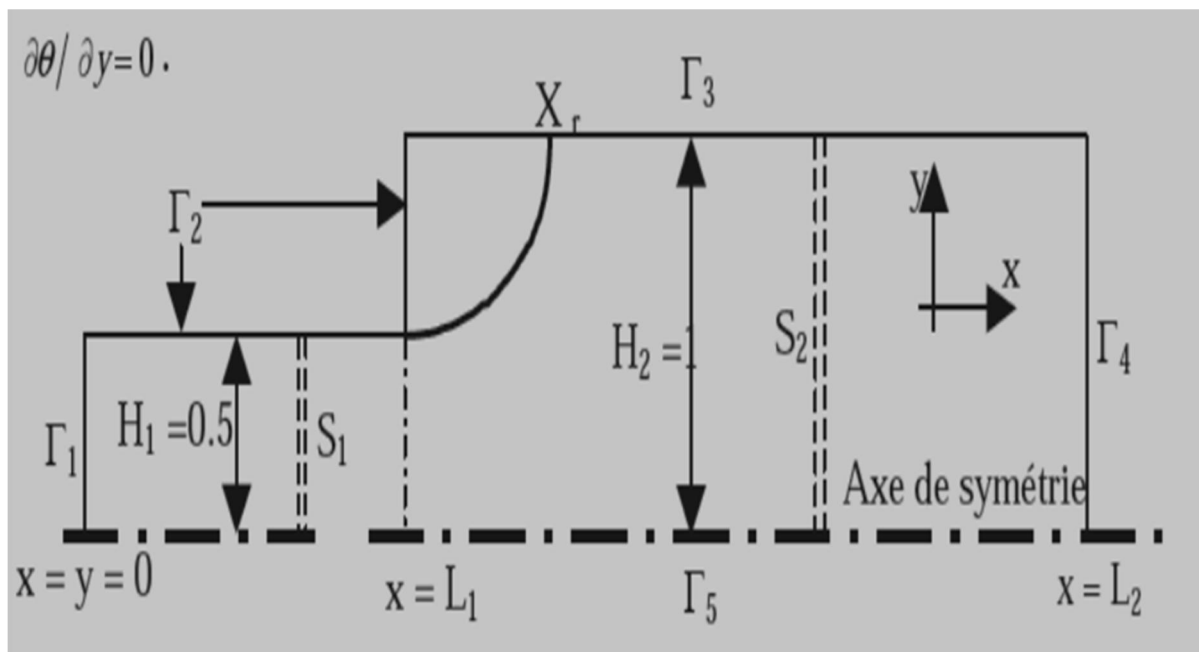
## Chapitre II : Etude bibliographique

Les différents travaux ont été réalisés dont :

[1] **L.SERIR et al** ont fait une étude écoulement laminaire non-isotherme d'un fluide viscoplastique à seuil de contrainte à travers un élargissement brusque.

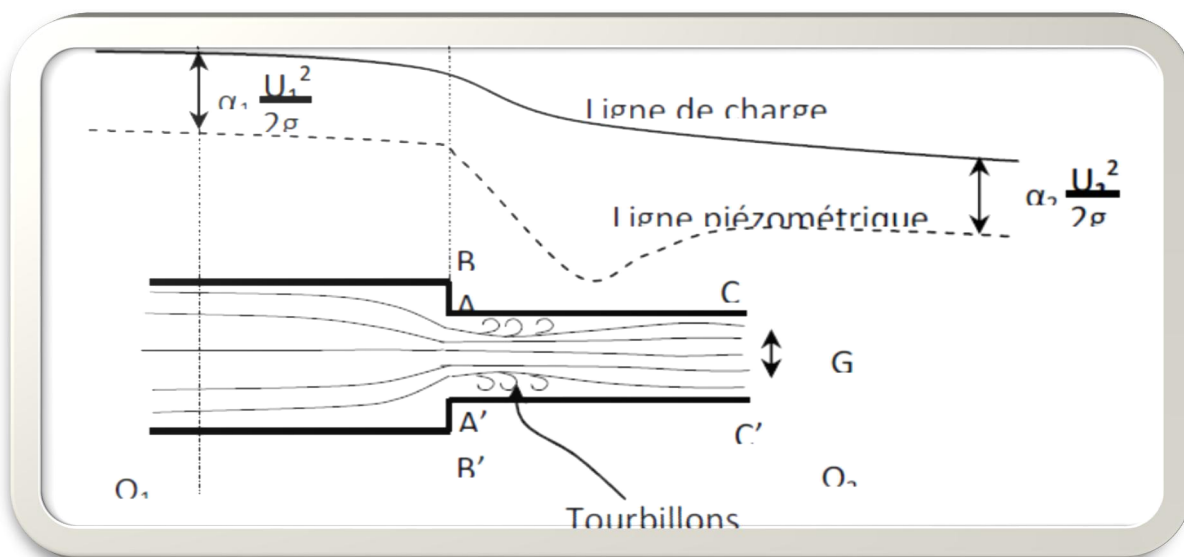
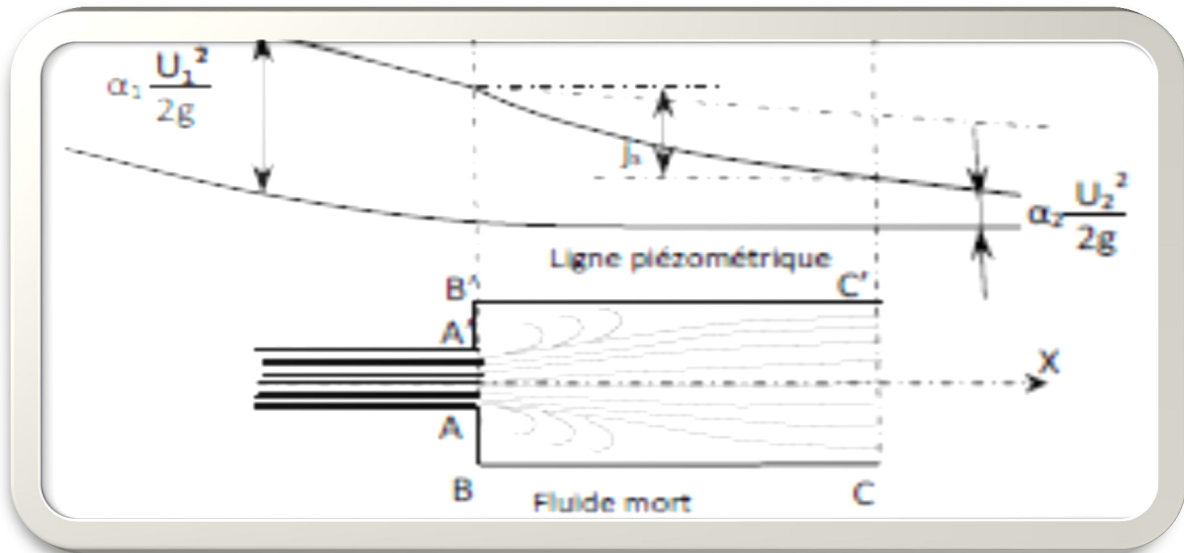
L'analyse numérique de l'établissement hydrodynamique et thermique de l'écoulement d'un fluide semi solide de Bingham à travers un élargissement brusque de rapport  $1/2$  été réalisée.

Cette étude a permis d'analyser l'influence exercée par les caractéristiques rhéologiques du fluide sur la structure tourbillonnaire de l'écoulement, l'évolution du champ thermique en tenant compte de l'effet de la dissipation visqueuse, ainsi que l'évolution du coefficient de perte de charge locale ,(Voir figure).

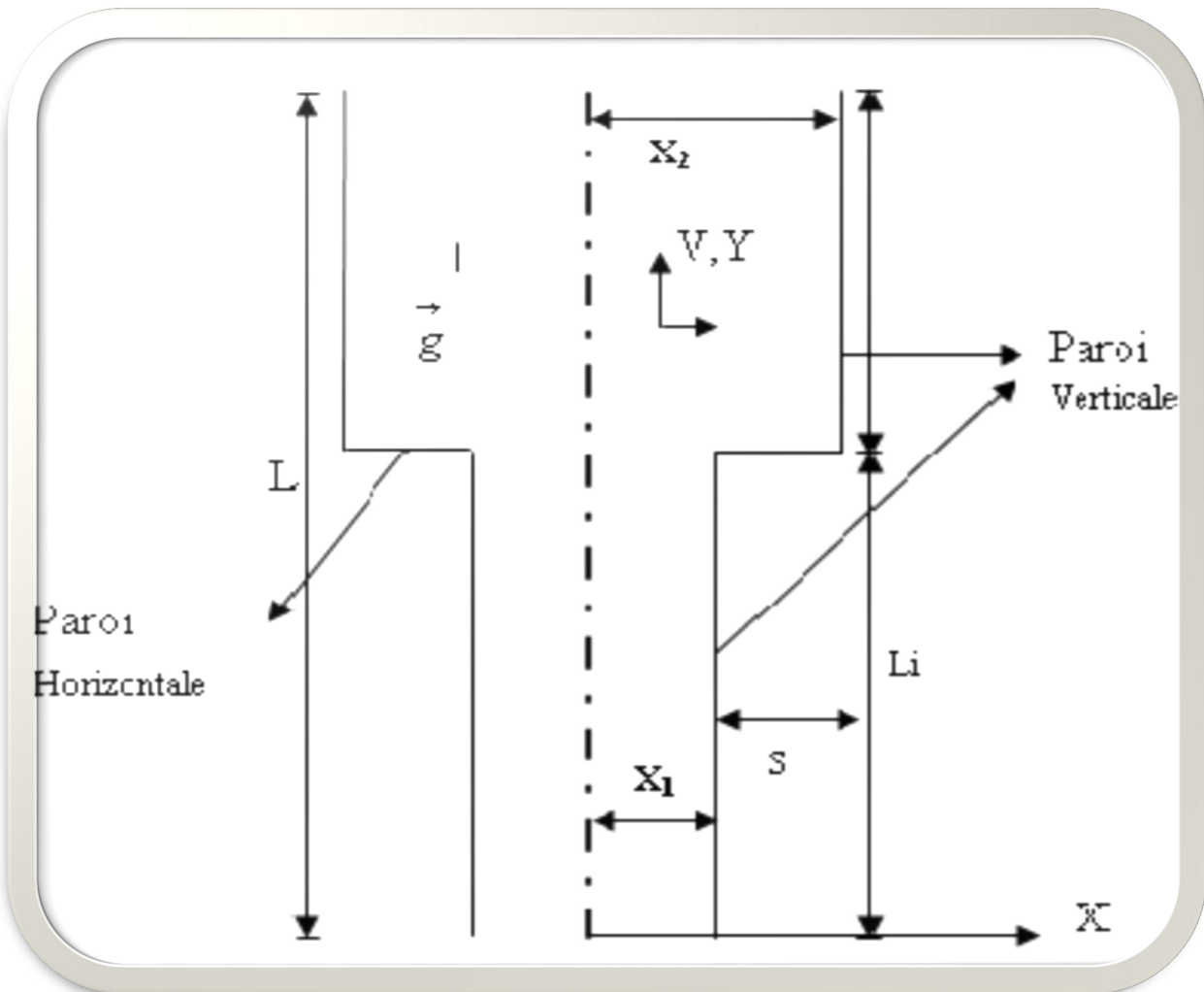


**[2] SI BACHIR.S** a fait une étude simulation numérique des écoulements transitoires dans les conduites en charge

Grâce aux simulations numériques ainsi que les résultats graphiques obtenus, des explications et des interprétations très intéressantes et significatives en ce qui concerne l'écoulement transitoire dans les conduites en charge à caractéristiques variables, ont été réalisés ce phénomène très complexe qui cause un problème majeur dans le domaine de l'hydraulique et qui est de plus en plus d'actualité, (**Voir figure**).



[3]N. BOULKROUNE et al ont fait une étude numérique de la convection naturelle laminaire dans un canal vertical comportant un élargissement brusque dont les parois latérales sont soumises à une température constante, tandis que la paroi constituant l'élargissement brusque est considérée comme adiabatique, (Voir figure).



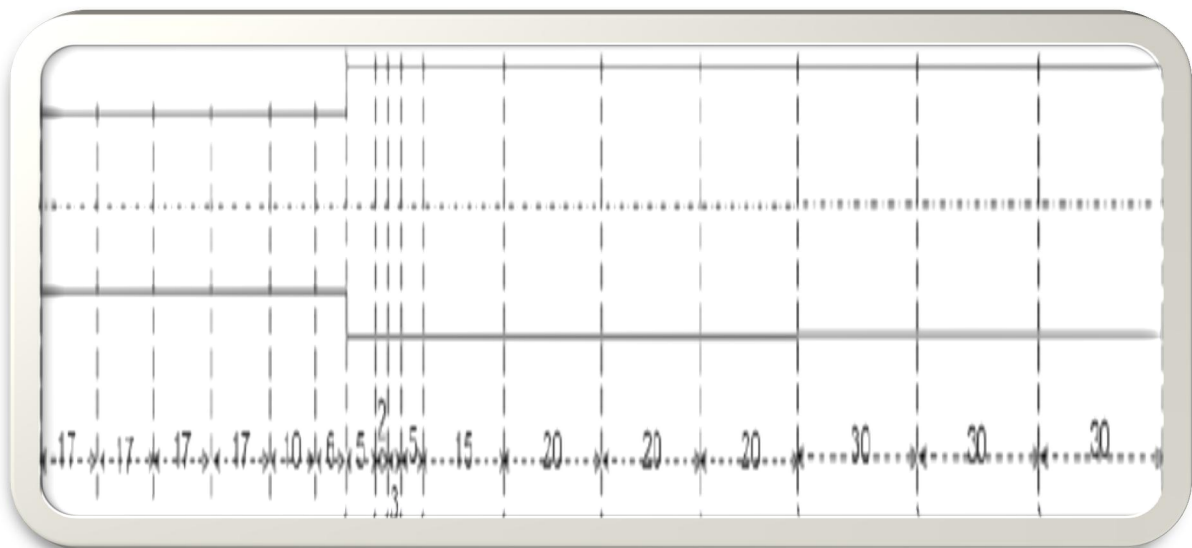
[4]ALOUI et al ont fait une étude théorique et expérimentale des effets de frottement pariétal et de distribution de vitesse moyenne et fluctuante sur le coefficient de chute de pression singulière dans un élargissement brusque en écoulement monophasique turbulent .

Les résultats expérimentaux ont permis de mieux préciser l'organisation de l'écoulement pariétal au voisinage de l'élargissement.

[5]Y. SALHI et al ont fait une Etude expérimentale de l'influence d'une singularité sur le régime d'écoulement diphasique gaz-liquide en conduite horizontale : cas de l'élargissement brusque, (Voir figure).

Il a été constaté que le taux de vide augmente juste à l'aval de l'élargissement brusque pour atteindre un pic puis décroît pour redevenir quasi constant. Ce phénomène est d'autant plus remarquable que les débits du gaz sont importants. De plus, pour les faibles débits de gaz, le taux de vide varie peu le long de la singularité.

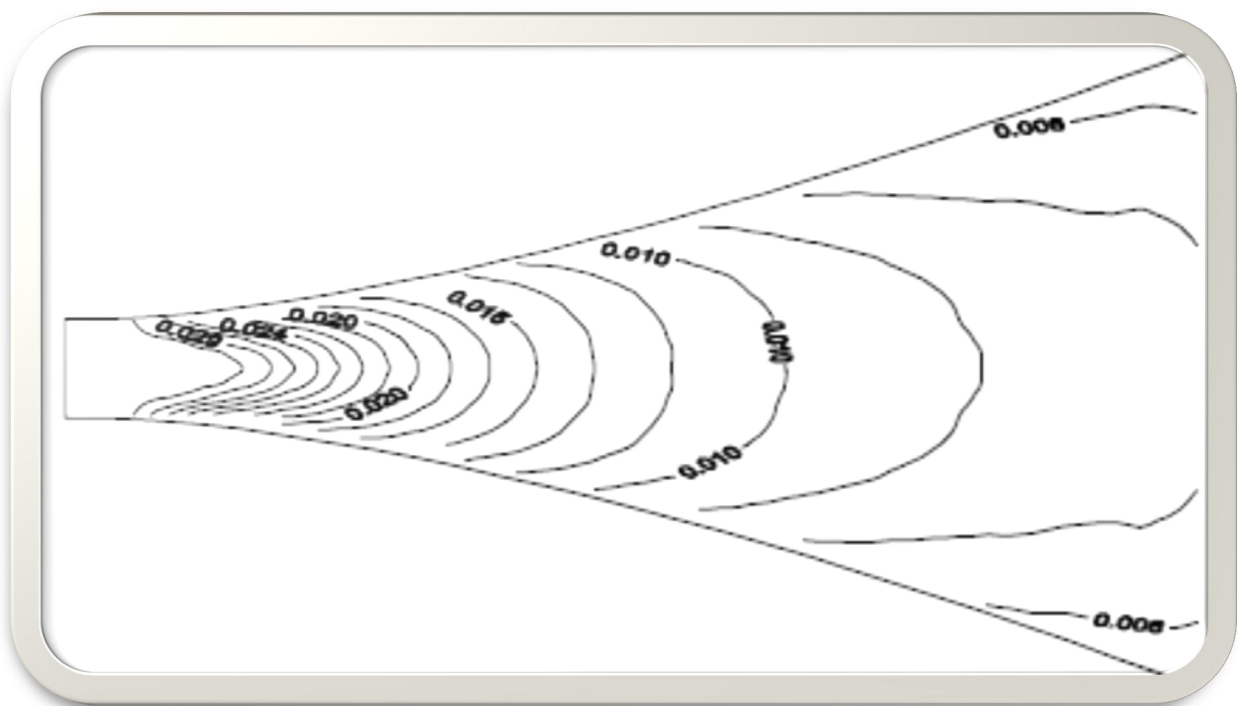
En écoulements diphasiques, la pression à l'amont de l'élargissement brusque diminue avec une augmentation conséquente des pertes de charge due aux frottements. La pression continue à diminuer sur une courte distance à l'aval de la singularité. Après quoi, elle subit une élévation provoquée par le changement de sections ayant pour conséquence la décélération des deux phases. La chute de pression singulière  $\Delta P_s$  croît linéairement en fonction de la vitesse superficielle du liquide. Comme cela a été prévu par différents auteurs,  $\Delta P_s$  est d'autant plus importante que la vitesse du liquide l'est. Pour les valeurs élevées de cette dernière grandeur, une augmentation de la vitesse du gaz entraînerait une augmentation de la chute de pression singulière. Par contre, la chute de pression singulière varie peu en fonction de la vitesse du gaz.



[6]A. BERREKSI et al ont fait une étude écoulement supercritique à travers un élargissement progressif de canal, (Voire figure).

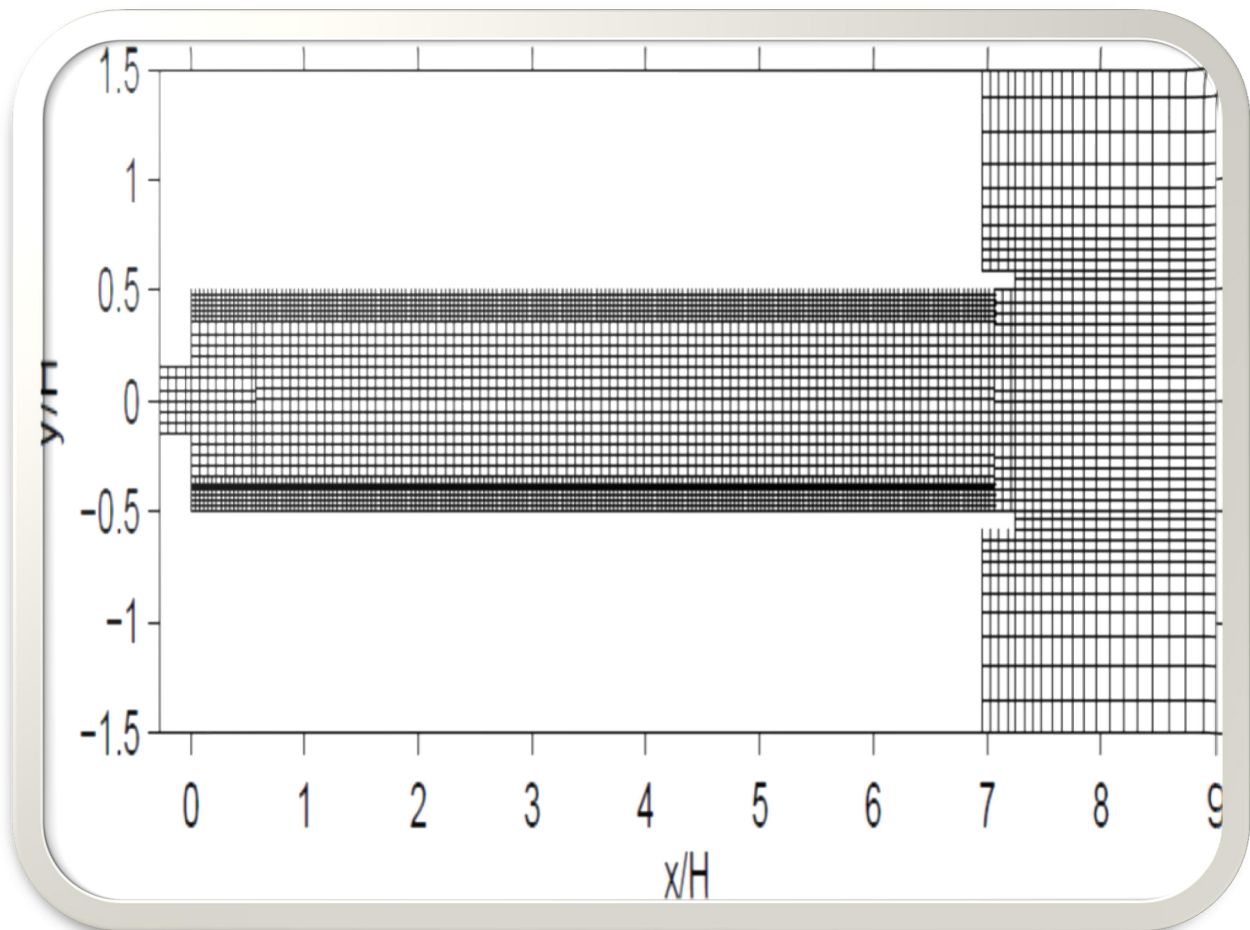
L'étude des écoulements supercritiques dans des canaux découverts représente une importance considérable dans le domaine de l'hydraulique. Leur complexité est d'autant plus importante si la section transversale du canal présente une géométrie irrégulière telle que celle des rétrécissements ou des élargissements, appelés souvent transitions.

L'analyse d'un écoulement supercritique dans un élargissement progressif appelé souvent élargissement de Roués a été faite. Ceci est dû essentiellement au fait que le début de la transition en question est tellement progressif que la distribution des pressions est hydrostatique ou pouvant être considérée comme telle. Par conséquent, on peut dire d'une part que ce type d'élargissement réduit sensiblement l'effet d'une distribution non hydrostatique des pressions, contrairement à une structure convergente, et que d'autre part l'augmentation de l'angle de déviation de la paroi est suffisamment graduelle pour éviter la naissance des perturbations (formation des ondes transversales) et n'entraîner aucun changement brusque du tirant d'eau dans toute section du canal.

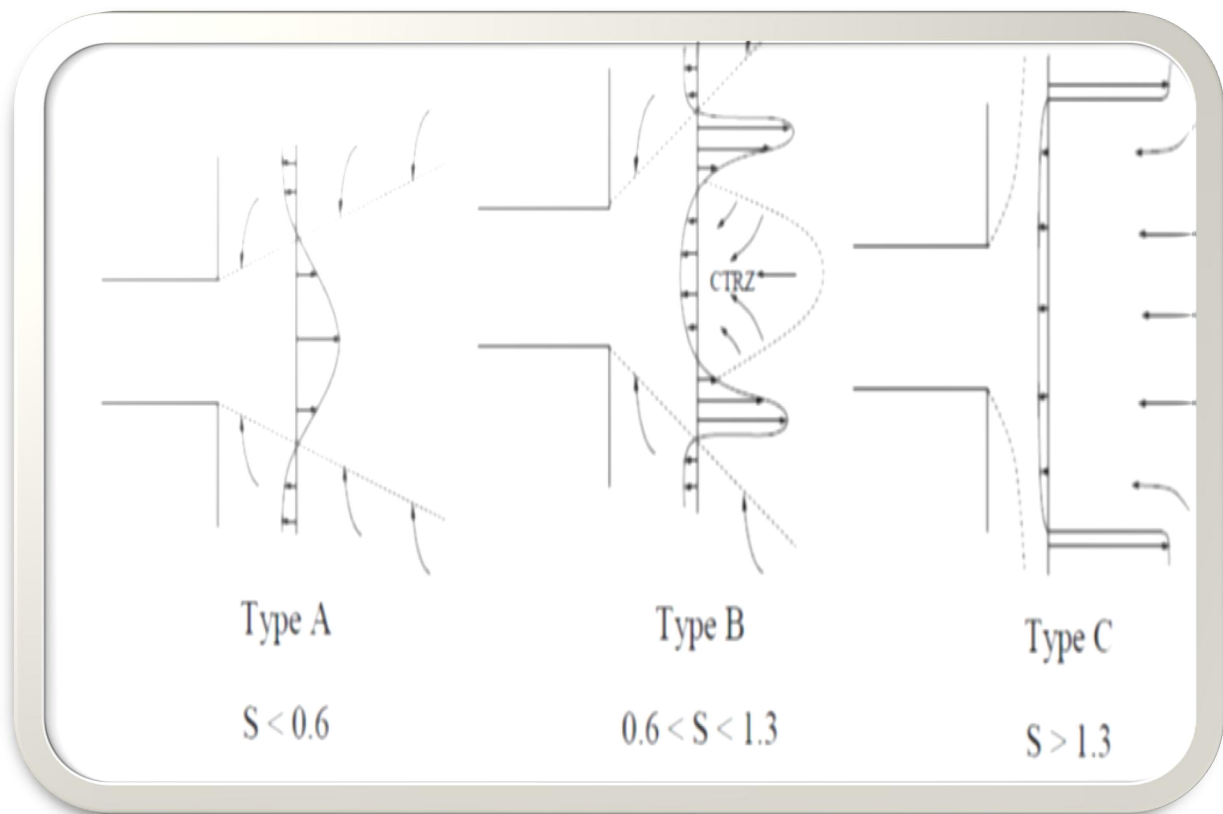


[7] **THOMAS EMMERT et al** ont fait une Simulation d'un écoulement transsonique dans un élargissement brusque, (**Voire figure**).

Deux simulations d'un écoulement transsonique au travers d'un élargissement brusque dans un conduit rectangulaire sont présentées. Deux taux de pression sont choisis. Pour un taux de pression très bas, l'écoulement est entièrement supersonique et stationnaire. Pour un taux de pression élevé, l'écoulement devient partiellement subsonique. Des oscillations des chocs apparaissent et un couplage aéroacoustique s'établit.



**[8]ABDELKADER FILALI** a fait une étude de l'aérodynamique sans et avec réaction chimique dans une chambre de combustion comportant un élargissement et un rétrécissement brusque. La compréhension de la combustion turbulente représente un intérêt capital dans le domaine des écoulements réactifs, (**Voir figure**).

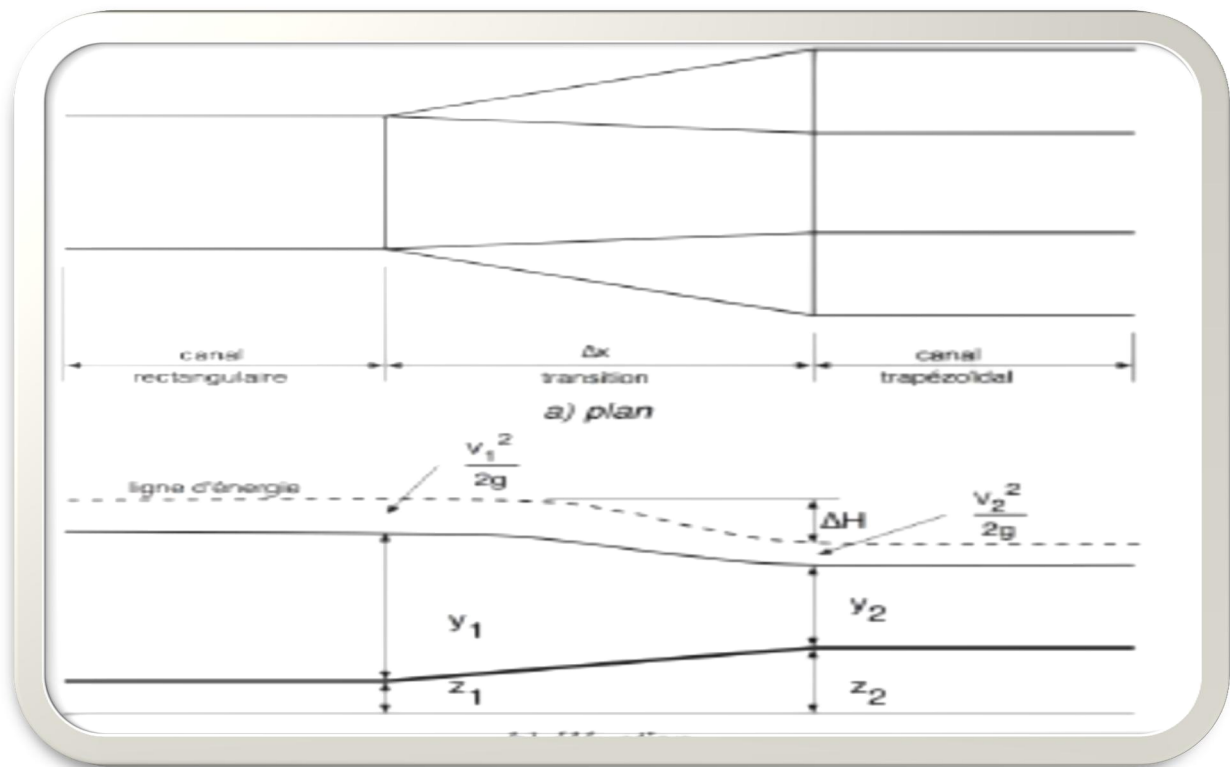


[9]Kamel BENOUMESSAD a fait étude Simulation des structures de vitesses dans un écoulement non permanent dans un canal non prismatique et non linéaire, (Voir figure).

Deux modèles sont choisis pour être objet d'étude, le premier est formé d'un canal de section rectangulaire qui diverge progressivement, le deuxième est constitué d'un canal à section rectangulaire avec un rétrécissement et un élargissement. Les deux modèles sont non linéaire avec une pente variable Le code numérique utilisé est « FLUENT ».

Le processus de simulation impose une discrétisation des équations de Barré de Saint-Venant avec des conditions aux limites.

Les structures des vitesses de l'écoulement dans le canal étudié donnent une image très claire sur les phénomènes hydrauliques qui apparaissent dans le canal, notamment dans les singularités.



# Conclusion générale

Le travail entrepris dans ce projet de la licence est étude de l'hydrodynamique à travers un élargissement ou un rétrécissement de la section d'écoulement.

Etudient l'écoulement du fluide entre deux sections ; La perte de charge singulier d'un élargissement brusque est due à la transformation d'une partie de l'énergie par les chocs et les tourbillons que sont produits par clament de l'œuvre fluide à l'aval.

L'expérience montre que, au passage d'un rétrécissement brusque, un fluide accuse une certaine perte de charge, une visualisation de l'écoulement montre que la veine fluide se contracte après son passage au droit même du rétrécissement, A l'aval de ce col on rencontre des zones tourbillonnaires analogues à celles rencontrées dans le cas des élargissements brusques.

## **Dans le chapitre I : on a conclu que :**

Hydraulique à un rôle essentiel dans notre environnement, d'abord elle a une place déterminante dans la compréhension, l'angle et le diagnostic des réseaux d'adduction d'eau potable .elle sont basée sur les principes de la mécanique des fluides.

L'expérience hydraulique remonte 2500 ans en chine et aux constructeurs d'aqueducs de l'empire romaine, L'hydraulique a plusieurs domaines et applications tel que : les aménagements hydraulique, les commandes hydraulique, l'hydraulique urbaine....etc.

**Dans le chapitre II :** plusieurs chercheurs ont fait des différentes étude à propres d'élargissement et rétrécissement brusque dans les canaux et conduites on peut citer un ou deux études exemple : l'étude de **L.SERIR ET AL** : qui ont fait une étude d'écoulement laminaire non isotherme d'un fluide viscoplastique a seuil de contrainte à traverse un élargissement brusque .on suite pour **SALHI ET AL** : ont fait une Etude expérimentale de l'influence d'une singularité sur le régime d'écoulement diphasique gaz-liquide en conduite horizontale .Dernièrement l'étude la très importante celle de **SI BACHIRE S** qui était basée sur la simulation numérique des écoulement transitoire dans les conduite en charge, ont été réalisés ce phénomène très complexe qui cause un problème majeur dans le domaine de l'hydraulique et qui est de plus en plus d'actualité.

# Références

[1] **L.SERIR ET H.BOUALIT ET N.ZERAIBI** : écoulement laminaire non-isotherme d'un fluide viscoplastique a seuil de contrainte à travers un élargissement brusque; 13èmes journées internationales de thermique ; manuscrit auteur, publié dans "jith 2007, Albi : France (2007).

[2] **SI BACHIR.S (2012)** : simulation numérique des écoulements transitoires dans les conduites en charge .Mémoire de Magister en Hydraulique.

[3] **N. BOULKROUNE ET S.BOUDEBOUS ET S.ZERMANE** : étude numérique de la convection naturelle laminaire dans un canal vertical comportant un élargissement brusque, *Sciences et Technologie B-N°24*, décembre(2005), pp.37-46.

[4] **ALLOUI ET M. SOUHAR** : étude théorique et expérimentale des effets de frottement pariétal et de distribution de vitesse moyenne et fluctuante sur le coefficient de chute de pression singulière dans un élargissement brusque en écoulement monophasique turbulent, *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik ZAMP*, May 1994, Volume 45, Issue 3, pp 371-386.

[5] **Y. SALHI ET E.K. SI-AHMED ET J. LEGRAND ET J.M ROSANT** : Etude expérimentale de l'influence d'une singularité sur le régime d'écoulement diphasique gaz-liquide en conduite horizontale : cas de l'élargissement brusque.

[6] **A. BERREKSI ET A. KETTAB ET B. REMINI** : écoulement supercritique à travers un élargissement progressif de canal ; *larhyss journal*, Issn 1112-3680, n° 05, juin 2006, pp.105-112 ; 2006 laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface.

[7] **THOMAS EMMERTET ET PHILIPPE LAFON** : Simulation aéroacoustique d'un écoulement transsonique dans un élargissement brusque ; 18ème Congrès Français de Mécanique ; Grenoble, 27-31 août 2007.

[8] **ABDELKADER FILALI** : étude de l'aérodynamique sans et avec réaction chimique dans une chambre de combustion comportant un élargissement et un rétrécissement brusque ; 2010.

[9] **KAMEL BENOUMESSAD** : simulation des structures de vitesses dans un écoulement non permanent dans un canal non prismatique et non linéaire ; mémoire soutenu le 31 janvier 2012.