



N° Ref :.....

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'ECOULEMENT A SURFACE LIBRE
DANS UN CANAL
A DIFFERENTES SECTIONS

Préparé par :

NOUICHI SALAH EDDINE
BOUGUEBINA NADJIB
OMAROUAYACHE ABDERRAHMANE
BENCHIKH LEHOCINE ABDENNACER

Dirigé par :

DR M.BENSOUICI

Année universitaire : 2013/2014

Remerciements

*Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances et nos sincères remerciements à notre encadreur **Mr M.BENSOUICI** pour l'intérêt porté à notre travail, sa disponibilité, ses conseils précieux et surtout sa grande patience.*

Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, nous lui disons merci

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande reconnaissance pour ce que vous avez entrepris à mon égard, est un fruit de toutes vos prières et vos efforts.

A mes chers frères et sœurs.

A tous mes collègues.

A toute ma famille.

ABDERRAHMANE

Je dédie ce travail

A celle qui a inséré le gout de la vie et le sens de la

*Responsabilitémerci **MERE***

A celui qui a été toujours la source d'inscription

*et de couragemerci **PERE***

A mon frère : SAAD

A toute ma famille.

ABD ENNACER

Je dédie ce modeste travail

Accompagné d'un profond amour à celle qui m'a arrosé

*De tendresse et d'espoirs, à la source d'amour incessible, à la mère
des sentiments fragile qui m'a bénie par ces prières.....ma **Mère***

*A mon support dans ma vie, qui m'a appris m'a supporté et m'a dirigé
vers la gloire mon **Père***

A mes chères frères et sœurs

A toutes les personnes de ma grande famille

A ma meilleures amies : Omar-Houssem-Mourad-Bader-Islem-

Khayrou-Mouad-Ilyas

A tous les amis de groupe 02 hydraulique.

SALAH EDDINE

SOMMAIRE

Introduction générale et objectif du travail

<i>1- variabilité dans le temps</i>	2
a- <i>L'écoulement permanent</i>	2
b- <i>L'écoulement non permanent</i>	2
<i>2-variabilité dans l'espace</i>	3
a- <i>L'écoulement uniforme</i>	3
b- <i>L'écoulement non uniforme</i>	3
<i>3-les régimes d'écoulement</i>	4
a- <i>L'écoulement laminaire</i>	4
b- <i>L'écoulement turbulent</i>	5
<i>4- Les canaux</i>	5
4-1- <i>Les types des canaux</i>	5
4-2- <i>Géométrie des canaux</i>	6
4-3- <i>l'importance des canaux</i>	8

Chapitre I : Hydraulique et ses applications

<i>I.1. Définition</i>	10
<i>I.2. Les applications de l'hydraulique</i>	12
* <i>Les aménagements hydroélectriques</i>	12
* <i>L'hydraulique fluviale</i>	13
* <i>L'hydraulique maritime</i>	15

* <i>L'hydraulique urbaine</i>	16
* <i>L'hydraulique agricole</i>	17
* <i>L'hydraulique souterraine</i>	18

Chapitre II: Etude Bibliographique

- <i>Conclusion générale</i>	28
- <i>Références</i>	29

Introduction générale et objectif du travail

L'hydraulique est un élément indispensable à la vie. Les observations effectuées sur les écoulements ont produit une somme considérable d'appréciations qualitatives et quantitatives que les progrès de l'informatique ont pu, ces dernières décennies, mettre sous forme numérique. L'hydraulique traite entre autre des écoulements dans les canaux artificiels et naturels ayant une surface libre soumise à la pression atmosphérique. Nous posons dans ce chapitre les différents types de canaux et les régimes d'écoulement qui y sont associés.

L'hydraulique à surface libre se distingue de l'hydraulique en charge par l'existence d'une surface libre, c'est-à-dire d'une surface où l'écoulement est en contact direct avec l'air : le gradient de pression ne peut plus être le moteur de l'écoulement, c'est la gravité qui joue plutôt ce rôle par exemple, l'hydraulique fluviale qui s'intéresse surtout aux écoulements dans les cours d'eau : rivières, fleuves, etc. les systèmes d'évacuation: réseaux d'assainissement pluvial, ainsi qu'aux différents aménagements retenus d'eau, usines de production d'électricité, etc. Ces écoulements se caractérisent par une hauteur d'écoulement petite par rapport à la longueur d'écoulement.

L'écoulement à surface libre fait partie de l'écoulement gazeux-liquides ou liquide-liquide la modélisation de ce type d'écoulement nécessite un découpage du Domaine global de calcul en deux sous domaines non miscibles séparés par une Interface bien définie qui présente la surface libre. Le premier est constitué d'un volume d'eau et le deuxième, situé dans la partie supérieure du domaine d'étude, est rempli d'air.

On peut définir les écoulements à surface libre dans les canaux suivants la variabilité des caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et de l'espace, voir schémas :

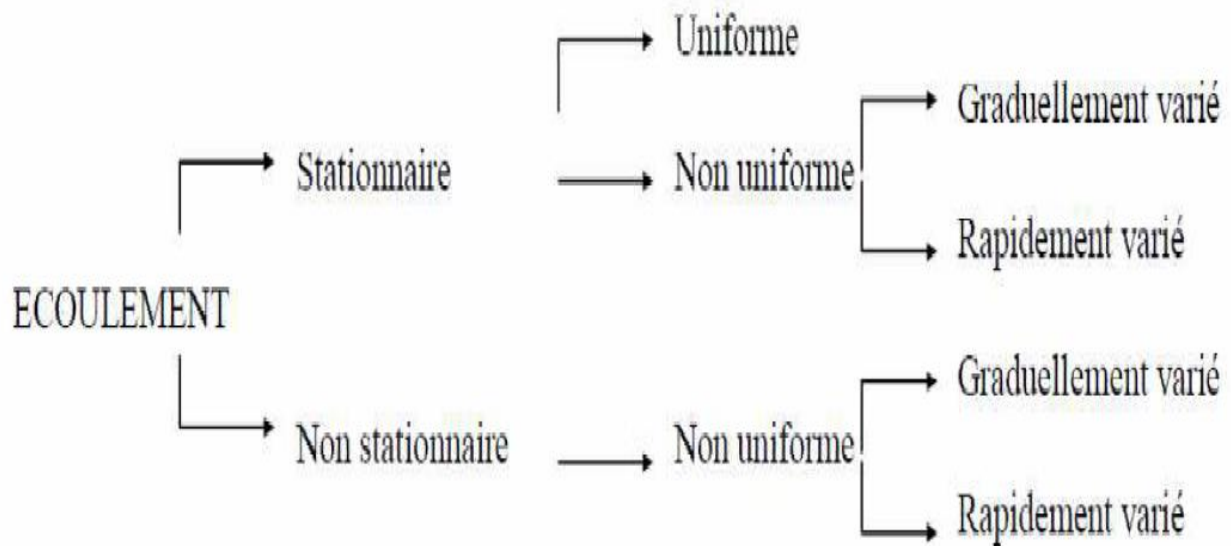


Schéma synthèse des différents régimes d'écoulement a surface libre

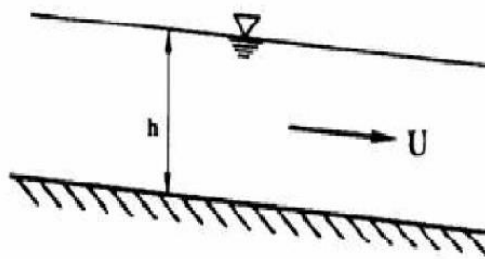
1-Variabilité dans le temps :

a -L'écoulement permanent (stationnaire) :

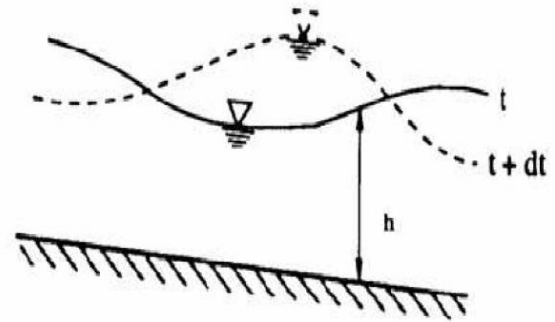
Le mouvement est permanent (ou stationnaire) si les vitesses U et la profondeur h restent invariables dans le temps en grandeur et en direction.

b- L'écoulement non permanent (non stationnaire) :

Le mouvement est dit non permanent quand les conditions en un point quelconque du varient avec le temps.



Ecoulement permanent



Ecoulement non-permanent

Au sens strict, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins les variations temporelles sont, dans certains cas, suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme une succession de régime permanent. On peut alors définir ainsi le régime quasi-permanent.

2 - Variabilité dans l'espace :

a- L'écoulement uniforme :

Le mouvement est uniforme si les paramètres caractérisant l'écoulement restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente du fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre.

b -L'écoulement non uniforme :

Le mouvement est non-uniforme ou varié si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre. La pente de la surface libre diffère de celle du fond.

Un écoulement non-uniforme peut être accéléré ou décéléré suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens du mouvement.

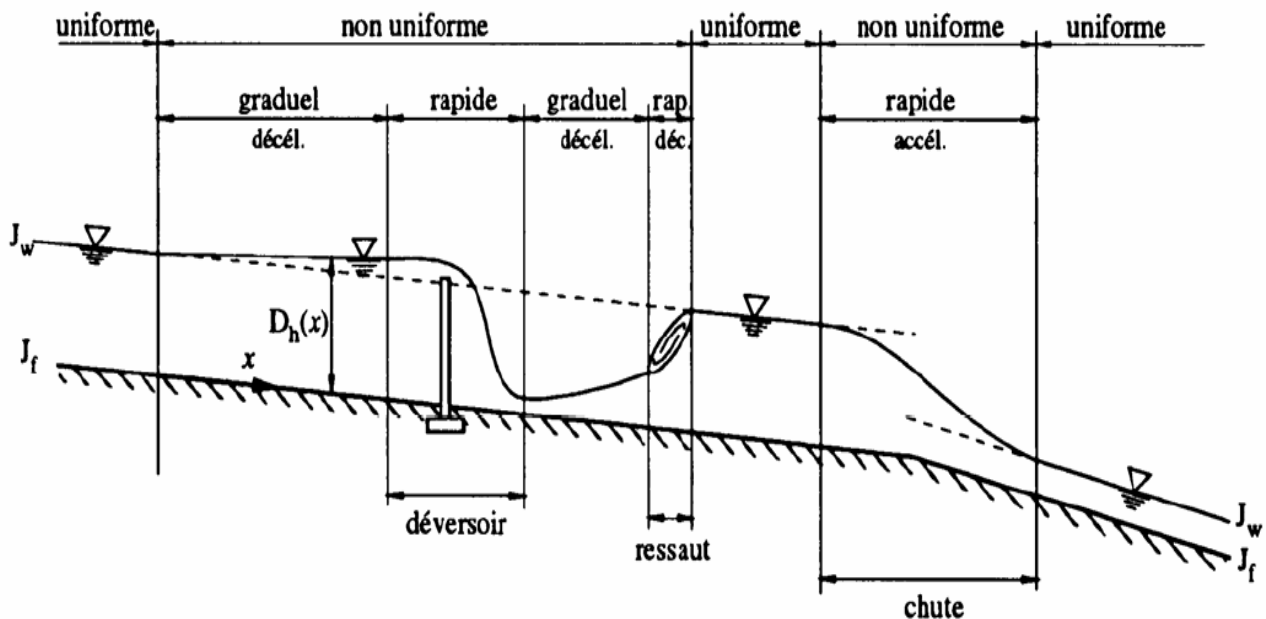


Schéma des différents régimes d'écoulement à surface libre

3-Les régimes d'écoulement : il y a deux types d'écoulement, permanent pour des fluides réels et on doit envisager chacun d'eux. On les appelle écoulement laminaire et écoulement turbulent.

a -l'écoulement laminaire :

Dans l'écoulement laminaire, les particules du fluide se déplacent en lignes droites parallèles disposées en couches, ou lamelles.

Les grandeurs des vitesses de lamelles adjacentes ne sont pas les mêmes. L'écoulement laminaire obéit la loi reliant la contrainte tangentielle visqueuse au taux de déformation angulaire.

b- l'écoulement turbulent :

Dans l'écoulement turbulent, les particules de fluide se déplacent dans toutes les directions au hasard. Il est impossible de décrire le mouvement d'une particule.

4- Les Canaux : On appelle canal un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. L'étude hydraulique d'un canal se pose souvent aux ingénieurs sous la forme suivante : Pour une pente longitudinale de fond, il faut évacuer un certain débit; la forme et les dimensions du canal sont à déterminer.

4-1-Les différents types des Canaux :

-les canaux naturels : Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre; tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires, voir figure



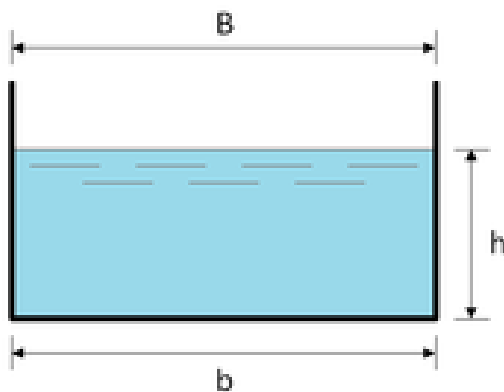
Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières.

- Les canaux artificiels: Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tels que: les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts),(voir figure)

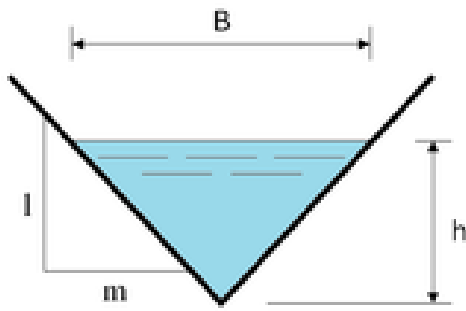


4-2- Géométrie des Canaux :

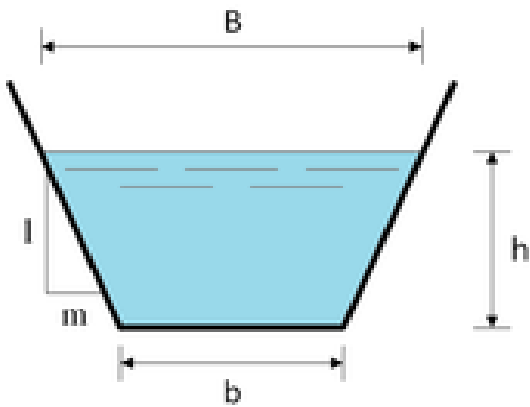
La section transversale d'un canal est une section plane normale à la direction de l'écoulement il existe plusieurs formes de section du canal sont :



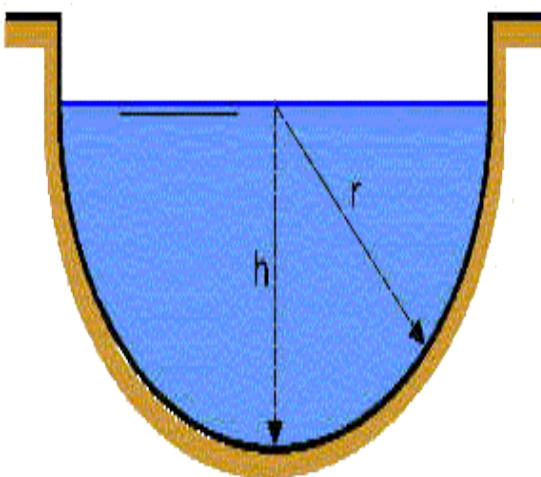
Forme rectangulaire



Forme triangulaire



Forme trapézoïdal



Forme demi-circulaire

4-3-L'importance des canaux : il ya quatre principaux types des canaux :

- **Canaux d'alimentation** : pour amener l'eau depuis la prise d'eau principale jusqu'aux étangs ; une forme importante qui possède plusieurs groupes d'étangs en dérivation a habituellement un canal d'alimentation principal, qui se divise en canaux secondaires et même tertiaires ;
- **Canaux de drainage** : pour évacuer l'eau des étangs, par exemple vers une vallée ;
- **Canaux de dérivation** : pour détourner des étangs de barrage les débits d'eau excédentaire ;
- **Canaux de protection** : pour détourner des étangs d'élevage les eaux ruissellement.

Notre objectif du travail est l'étude d'écoulement a surface libre dans un canal a déférentes section

Ce mémoire comporte deux chapitres :

Chapitre I : Hydraulique et ses applications ;

Chapitre II: Etude bibliographique.



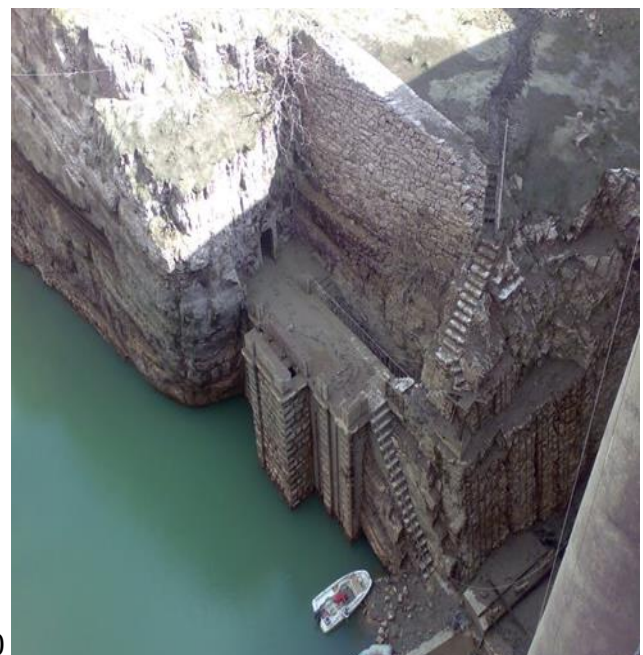
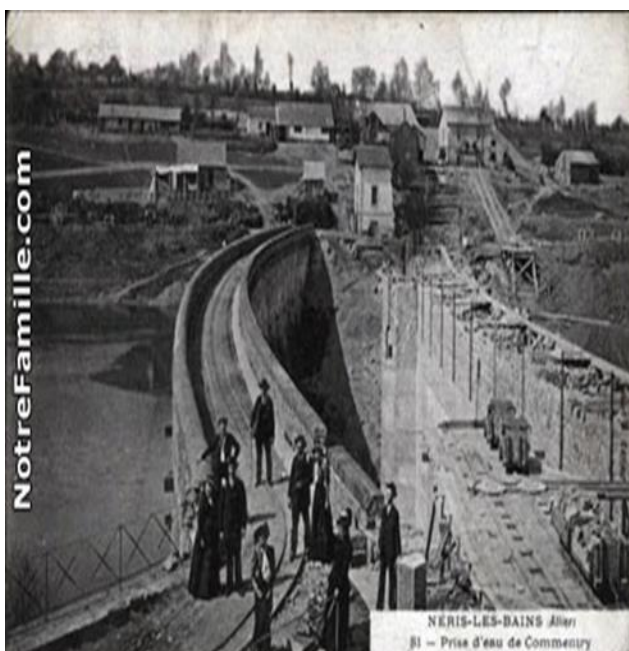
CHAPITRE I : HYDRAULIQUE ET SES APPLICATIONS

Chapitre I : HYDRAULIQUE 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.

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, (**voir figure**).



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 Hydrodynamique, 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 Buât (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.), **(Voir figure)**, 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).

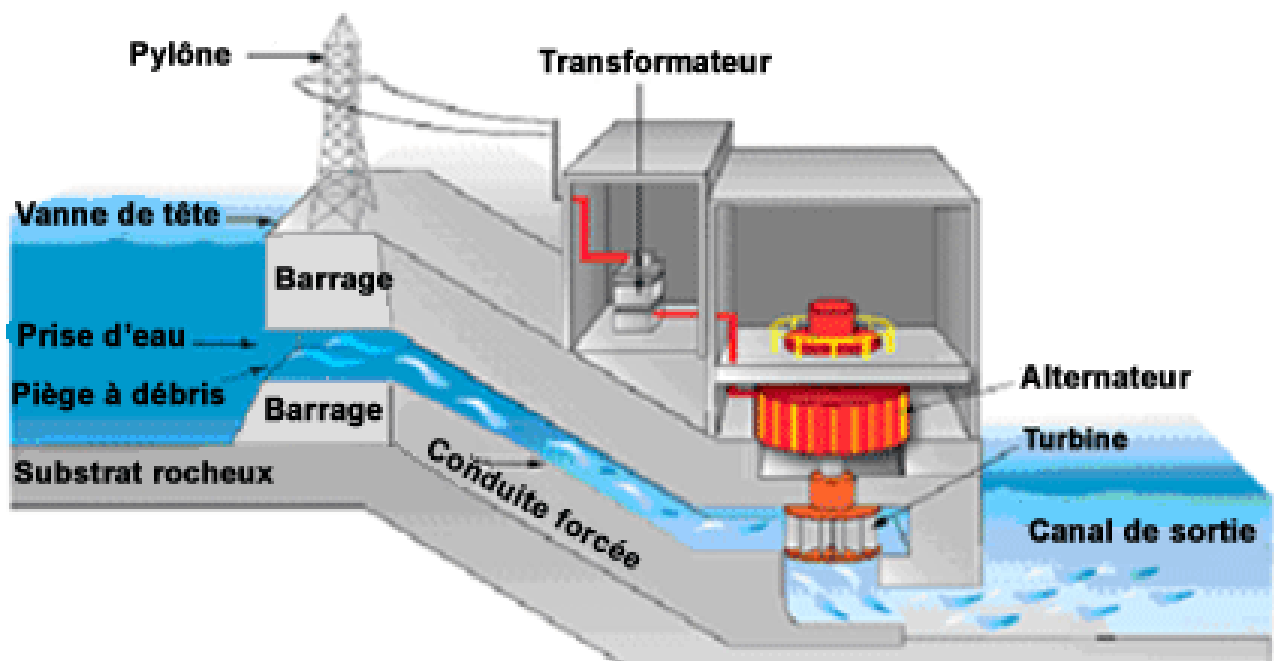
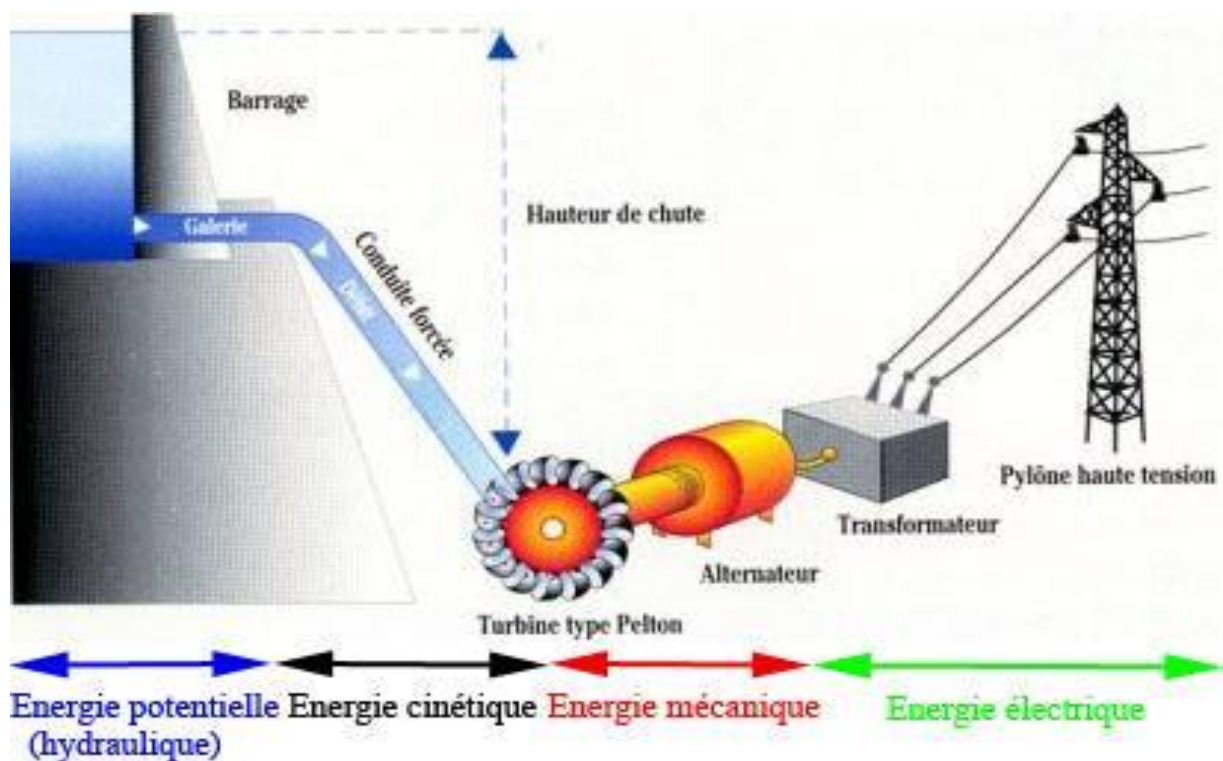


I.2. Les applications de l'hydraulique :

Les domaines ou les applications de L'hydraulique sont :

*** Les aménagements hydroélectriques:** Un aménagement hydraulique comporte différents ouvrages unitaires de nature diverse (barrages, ouvrages de dérivation, ouvrages répartiteurs de débit, pertuis de contrôle, des sableurs, etc.) interconnectés entre eux par d'autres ouvrages linéaires de liaison (canaux à ciel ouvert, collecteurs enterrés, etc.).

L'énergie hydroélectrique, ou hydroélectricité, est une énergie électrique renouvelable obtenue par conversion de l'énergie hydraulique, des différents flux d'eau naturels¹, en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur, **(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 :** vise 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).**



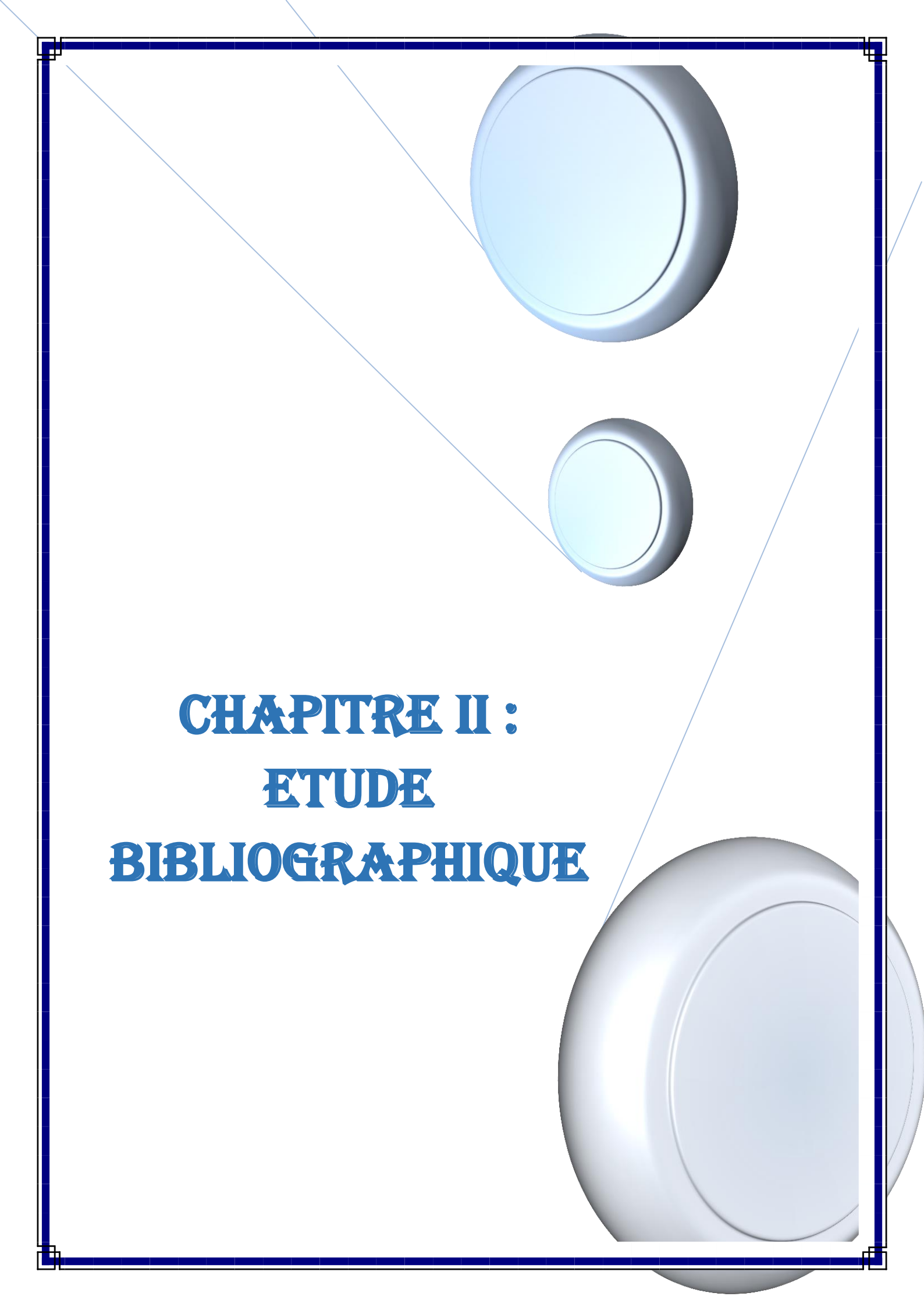
***L'hydraulique agricole** consiste à fournir de l'eau pour les cultures et suppose la recherche et la captation de l'eau (cf. supra), son stockage (barrages pour l'irrigation), sa distribution (canaux, pompage, comptage), son utilisation (ruissellement, aspersion, submersion...) et le réglage du niveau 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)**.





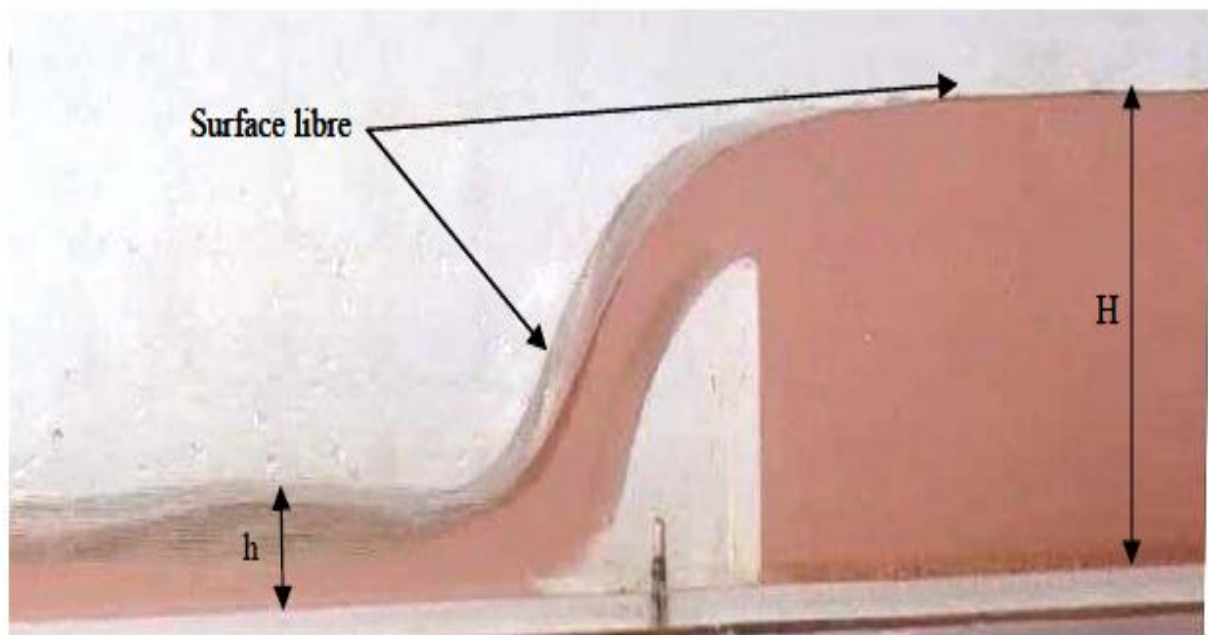
CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

[1] K.BENOUMESSAD a fait une étude sur la vitesse dans un écoulement non permanent à surface libre dans un canal non prismatique et non linéaire et a utilisé le logiciel « FLUENT » ses calculs.

1- un canal de section rectangulaire qui diverge progressivement

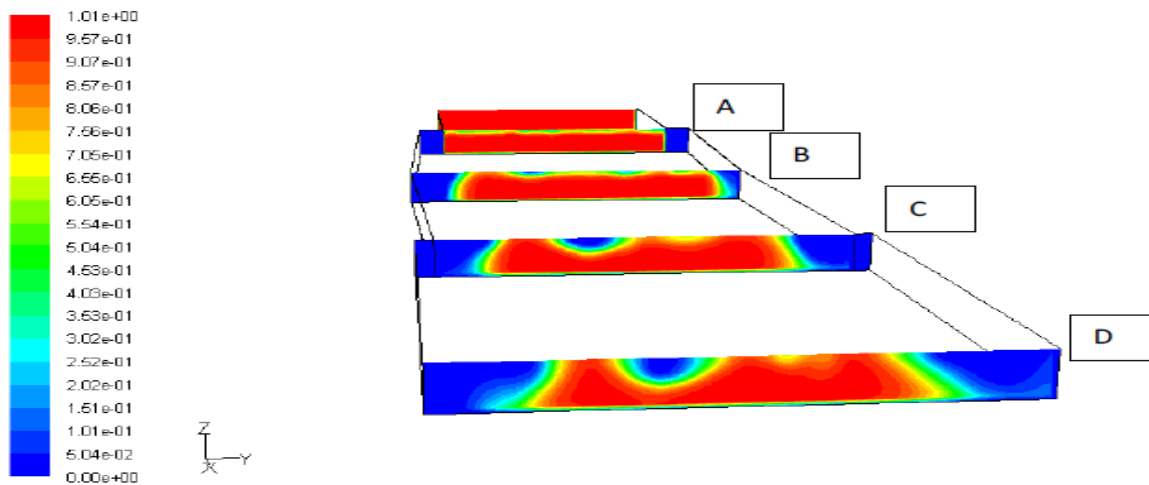
2- un canal de section rectangulaire avec un rétrécissement et un élargissement.



Surface libre et la variation du tirant d'eau

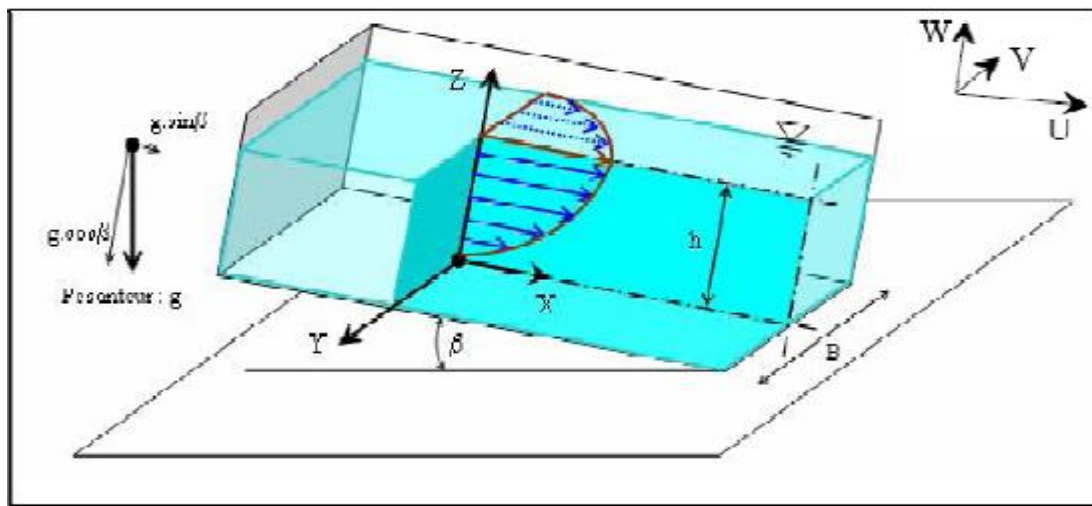
L'intérêt de l'étude est d'exploiter les résultats de la simulation numérique concernant les différentes caractéristiques influençant l'écoulement étudié en se concentrant sur les profils des vitesses d'écoulement dans le canal étudié, (**voir figure**).

Cette étude donne une image très claire sur les phénomènes hydrauliques qui apparaissent dans le canal.



Profile des vitesses longitudinales en m/s

[2] A.Diaf a présenté dans ce travail une étude sur les changements de la vitesse d'écoulement tridimensionnel d'un fluide newtonien homogène incompressible. et sa répartition dans le canal en fonction de la pente, la rugosité et la lame d'eau (voir figure).

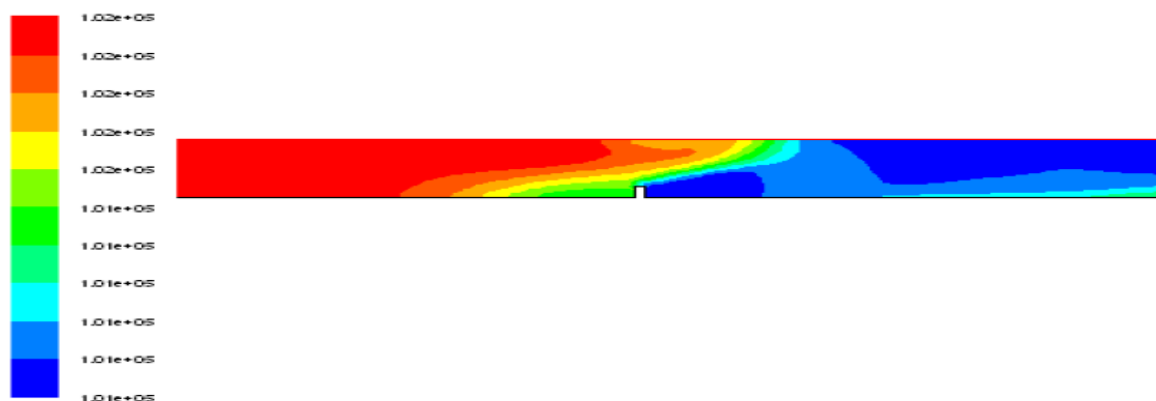


Ecoulement à surface libre en canal

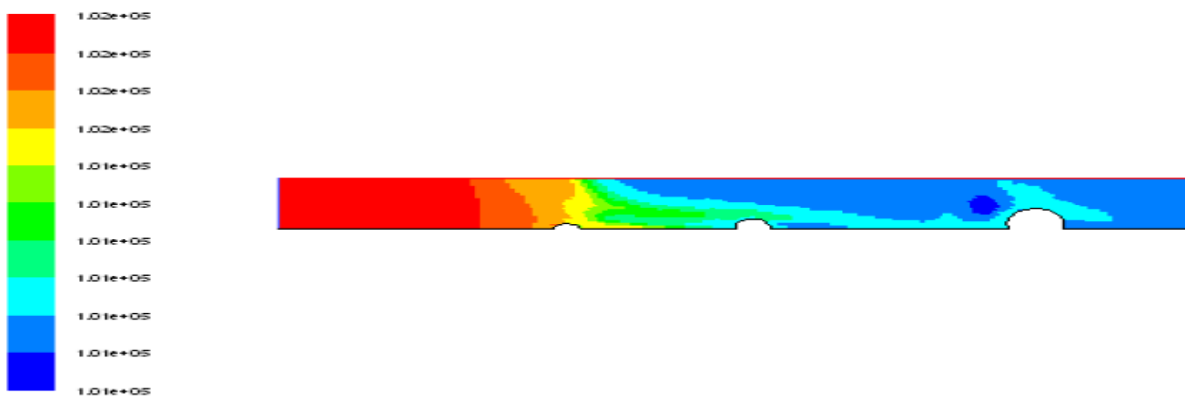
Il a utilisé le modèle RSM en vue de la modélisation 3D des écoulements turbulents en canal rectangulaire à surface libre et la méthode des volumes finis

pour résoudre les équations et a employé aussi le code FLUENT 6.3 pour ses calculs il a comparé les résultats des simulations obtenus aux résultats expérimentaux.

[3] Cette étude est présente par S.FILLALI qui s'est basée sur la simulation d'un écoulement instationnaire à surface libre dans un canal à fond mobile bidimensionnel son expérience s'est porté sur plusieurs cas en variant la rugosité du fond par l'utilisation des différentes formes et nombre d'obstacles, (**voir figure**).



Cas avec un seul obstacle



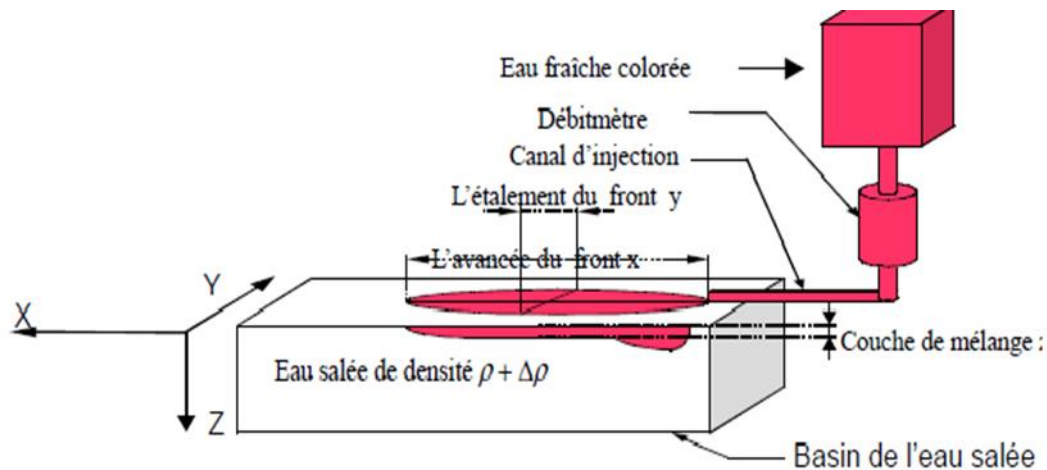
Cas avec plusieurs obstacles

La méthode employée est La méthode des volumes finis et pour les calculs elle a utilisé le code FLUENT pour les quatre cas proposés.

Les résultats obtenus, les interactions des mouvements respectifs entre le fond et le fluide provoque une augmentation de la vitesse longitudinale avec le temps, par contre, la vitesse verticale augmente dans le cas où il y'a pas d'obstacle donc

l'influence de la rugosité et la mobilité du fond sur la charge hydraulique est très importante.

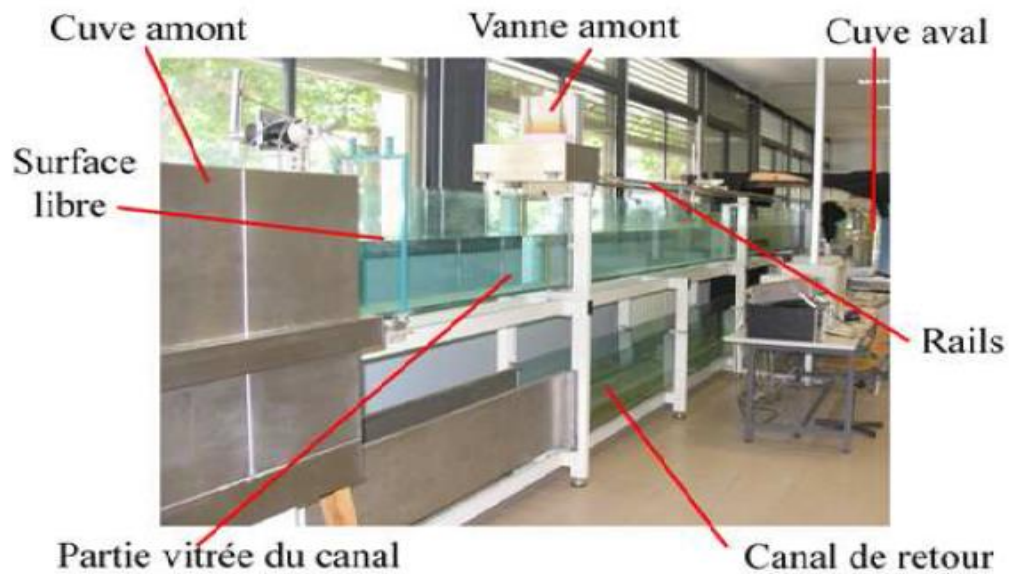
[4] A. Ahmad, et al ont mis en œuvre des écoulements de courants gravitaires et après avoir mesuré l'évolution temporelle de l'avancée "x" de l'étalement "y" et de la couche de mélange "z" du liquide léger dans le liquide dense a l'aide de la technique des diagrammes spatiotemporels, **(voir figure)**.



Dispositif expérimental de l'expérience du courant gravitaire

[5] F. VIGIE, a étudié un écoulement à surface libre en présence d'un obstacle unique bidimensionnel placé sur le fond d'un canal, **(voir figure)**. Leur objectif est de déterminer le rôle de l'obstacle et son influence sur la dynamique de l'écoulement.

Deux obstacles sont utilisés ; un demi-cylindre et l'autre de forme gaussienne. Pour ces deux obstacles, des mesures expérimentales d'hauteurs d'eau au centre du canal permettent d'obtenir différents profils de surface libre.



Canal à surface libre utilisé pour cette étude

[6] B. ACHOUR et al, ont présenté une approche théorique au calcul de la dimension linéaire d'un profil liquide quelconque en écoulement uniforme, (**voir figure**).

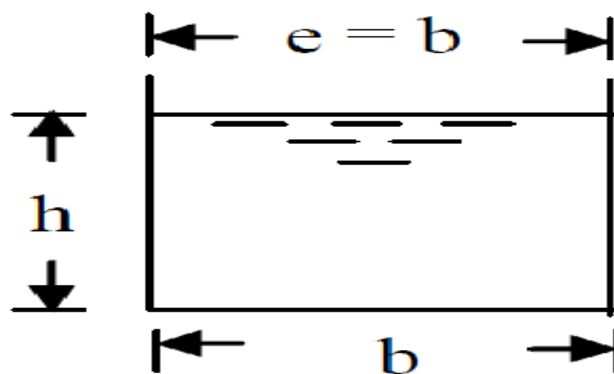
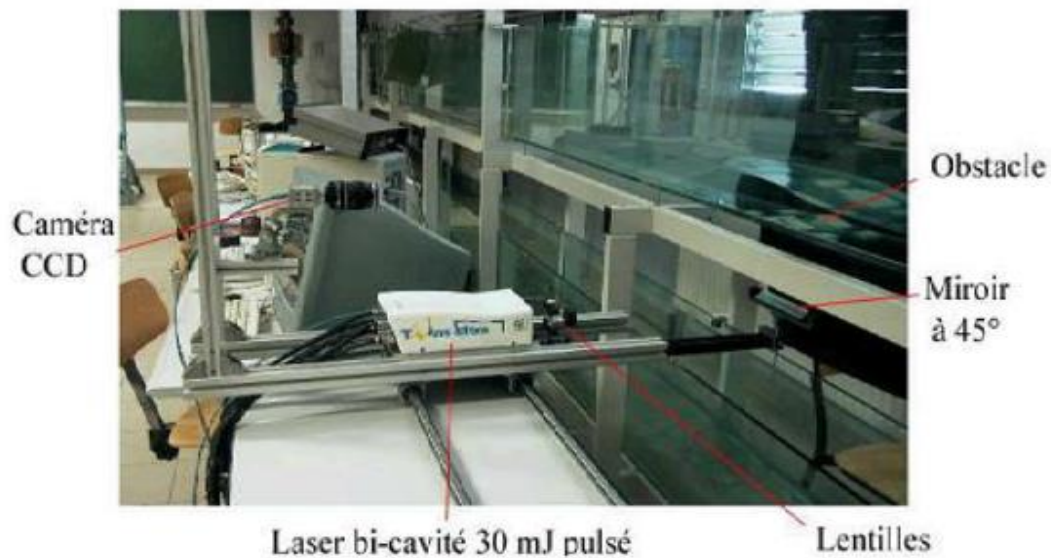


Schéma de définition du profil rectangulaire

[7] A.nehari a présenté une analyse sur l'influence de la forme d'un obstacle placé dans le fond d'un canal à ciel ouvert sur le profil de la surface libre. Les formes d'obstacles utilisés dans cette étude sont demi-cylindre, rectangle, trapèze et triangle, (**voir figure**).

L'analyse de la topologie d'écoulement local pour chaque type d'obstacle nous a permis de comprendre la variation de la surface libre en fonction de la forme des obstacles.



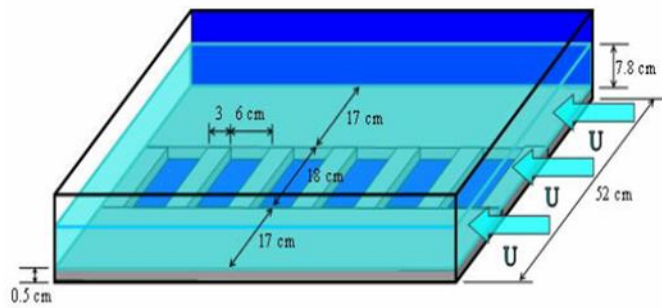
Dispositif de mesure par PIV

La simulation numérique est réalisée à l'aide du code de calcul Fluent 6.2, utilisant le modèle turbulent RNG et le modèle multiphasique de capture de la surface libre VOF.

Les profils de la surface libre changent en fonction des paramètres de base de l'écoulement et de la forme des obstacles ainsi que la présence de zone de recirculation en amont, au-dessus et en aval des obstacles influent sur l'Etat de la surface libre.

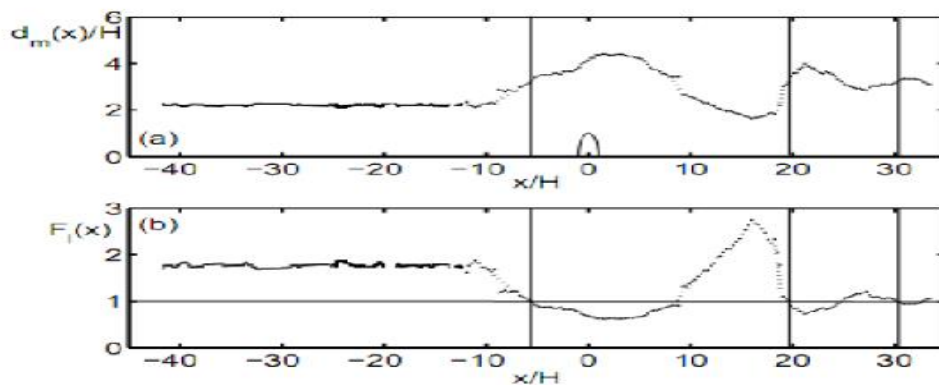
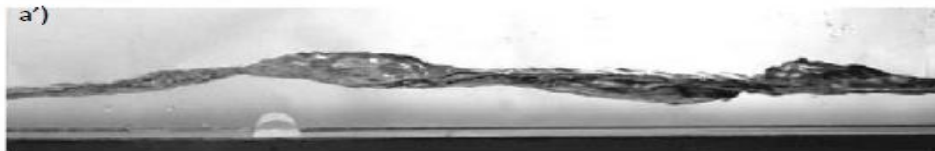
[8] L.duchemin a défini une méthode intégrale de résoudre des écoulements potentiels à surface libre cette formulation s'applique à des surfaces fermées.

[9] Z .sahbi a fait une analyse expérimentale et numérique de la structure d'un écoulement turbulent dans un canal rectangulaire à ciel ouvert, (**voir figure**).



Configuration inhomogène de la rugosité utilisée

[10] B. ABDERRAHMANE a présenté étude concernant les écoulement graduellement variés (voir figure).



Profil de la surface libre

L'écoulement graduellement varié se produit nécessairement dans un canal uniforme prismatique rectangulaire ou cylindrique, à axe rectiligne avec une pente, une rugosité et une section transversale constante.

On distingue deux types de mouvement variés :

- le mouvement est graduellement varié.
- le mouvement est brusquement varié.

La maîtrise et la classification des courbes de remous revêtent une grande importance dans le calcul des profondeurs de l'écoulement graduellement varié. Le principe de ce calcul entre deux sections données du canal est simple, Il suffit de connaître une condition aux limites entre les deux, Ce point appelé section de contrôle. La classification des courbes de remous est définie par deux paramètres: la pente I et la profondeur h .

CONCLUSION GENERALE

Les écoulements dans un canal à surface libre sont l'un des phénomènes les plus compliqués de l'hydraulique.

Dans cette étude nous avons présenté premièrement une Introduction générale sur les différents types d'écoulements à surface libre, les différents paramètres hydrauliques qui caractérisent chaque régime d'écoulement ainsi nous avons donné une idée générale sur les types et la géométrie des canaux et leur importance dans la vie courante exemple : les rivières, les fleuves,

Ce mémoire se compose de deux chapitres

Le premier chapitre, on a fait une étude sur l'hydraulique et ses applications.

Le deuxième chapitre basé sur l'étude bibliographique. Dans cette partie nous avons résumé dix thèses et mémoires.

REFERENCES

- [1] K.BENOUMESSAD «Simulation des structures de vitesses dans un écoulement non permanent dans un canal non prismatique et non linéaire »
Mémoire de magister en hydraulique. (2012)
- [2] A.Diaf «Contribution à l'étude des écoulements de surface par méthodes numériques», mémoire de magister en hydraulique. (2012)
- [2] S.FILLALI «Etude d'un écoulement instationnaire dans un canal de couvert à fond mobile et à charge variable», mémoire de magistère en hydraulique. (2006)
- [4] A. Ahmad, N. Latrache et B. Nsom «Etude expérimentale de l'écoulement d'un liquide à la surface libre d'un autre liquide plus dense au repos », université européenne de Bretagne.
- [5] F. Vigie « Etude expérimentale d'un écoulement à surface libre au-dessus d'un obstacle » Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de TOULOUSE, (2005)
- [6] B. ACHOUR, A. BEDJAOU, M. KHATTAOUI, M. DEBABECHE «Contribution au calcul des écoulements uniformes à surface libre et en charge », LARHYSS Journal, (2002)
- [7] A.nehari « Etude des écoulements a surface libre en présence des obstacles dans le fond », MEMOIRE de magister en hydraulique, (2012)
- [8] L.duchemin « Quelques problèmes fortement non-linéaires de surface libre Et leur résolution numérique », Thèse de doctorat de l'université d'AIX-MARSEILLE II, (2001)

[9] Z .sahbi « Structure et modélisation d'écoulements a surface libre dans des canaux de rugosité in homogène », Thèse de doctorat de l'université national polytechnique de Toulouse, (2008)

[10] B. ABDERRAHMANE « Contribution à l'étude des écoulements permanents graduellement variés en canal prismatique », Mémoire de magister, (2009)