

Chapitre II :

CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS

L'hydraulique est l'étude des écoulements.

On distingue deux types d'écoulements :

- les écoulements en charge, dans lesquels l'eau remplit complètement la canalisation, c'est le cas notamment des réseaux d'eau potable,
- les écoulements à surface libre (interface entre l'eau et l'air), c'est le cas des rivières et des réseaux d'assainissement.

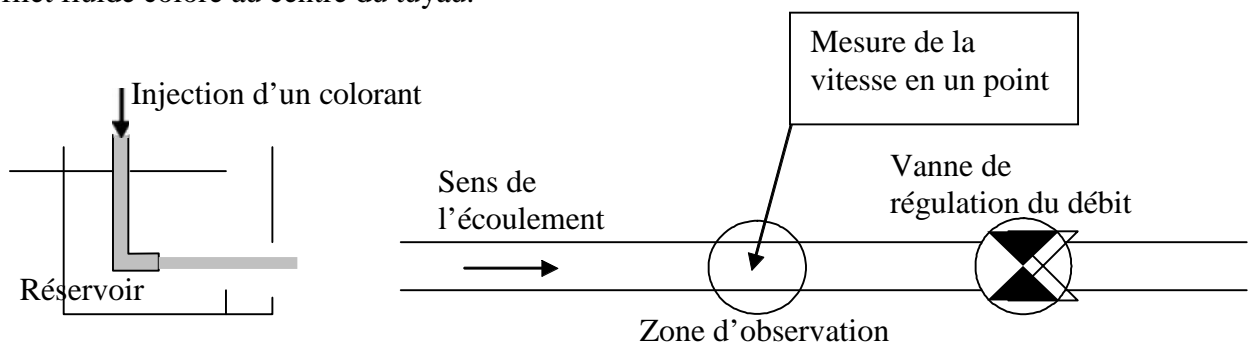
1. - ECOULEMENTS EN CHARGE

- Régimes d'écoulements

Le régime d'un écoulement se caractérise par la fluctuation temporelle des vitesses et des pressions au sein de la veine liquide.

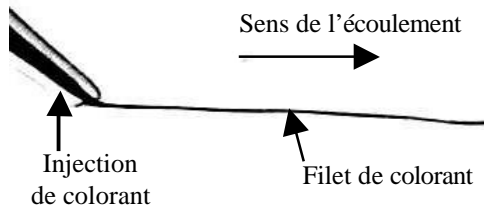
Expérience :

Un premier réservoir d'eau de niveau constant est vidangé par un tuyau. Une vanne placée à l'extrémité du tuyau permet de faire varier le débit Q (m^3/s). Un deuxième tuyau est placé à l'intérieur du réservoir. Il contient un colorant et permet d'obtenir un mince filet fluide coloré au centre du tuyau.

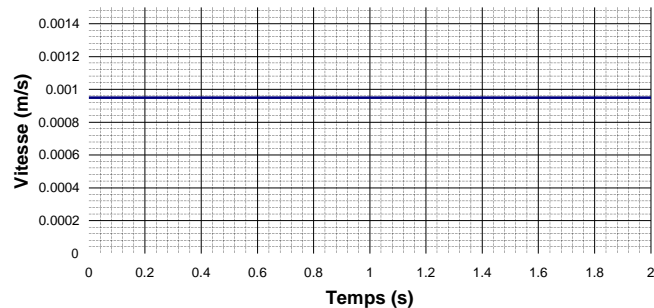


Quand la vitesse est très faible (quelques millimètres par seconde) le filet coloré reste bien défini, rectiligne et parallèle à l'axe du tuyau. Le régime est dit laminaire. L'écoulement laminaire est rare dans le domaine de l'hydraulique de l'eau potable et de l'assainissement, toutefois il n'est pas inexistant.

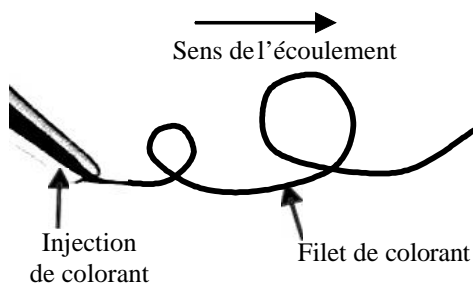
Les figures suivantes montrent un écoulement laminaire dans une veine liquide et l'évolution de la vitesse en un point (vitesse ponctuelle) en fonction du temps.



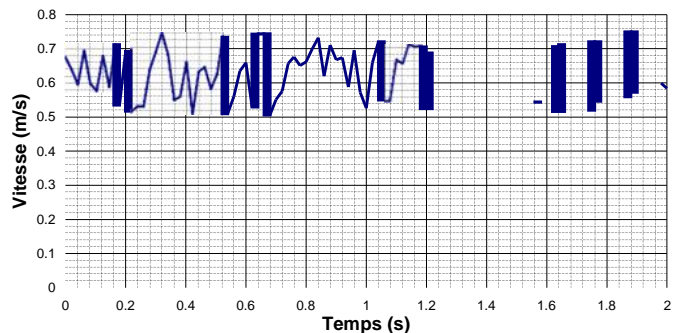
Evolution de la vitesse ponctuelle en fonction du temps en régime laminaire



Quand la vitesse est plus élevée, le filet devient ondulé et très instable. Il se mélange rapidement au fluide ambiant. Des tourbillons de différentes tailles apparaissent. Le régime est dit turbulent.



Evolution de la vitesse ponctuelle en fonction du temps en régime turbulent



La turbulence se caractérise donc par la création de tourbillons. Ils mélangent les matières dissoutes dans l'eau, comme par exemple le chlore dans un réseau d'eau potable ou le rejet d'une station de traitement des eaux usées dans une rivière. La mise en place d'un agitateur dans un bassin crée de la turbulence et ainsi il tend à homogénéiser les matières dissoutes.

- Distribution des vitesses dans un tuyau rectiligne

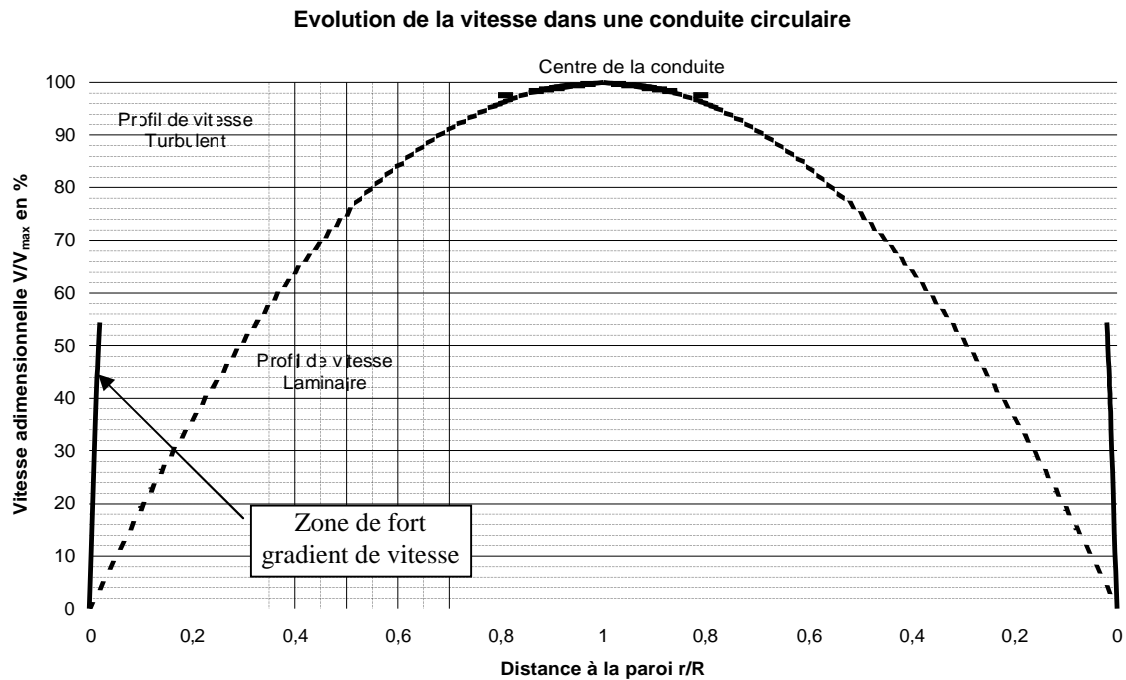
En fonction du régime d'écoulement (laminaire ou turbulent) les forces dans l'écoulement (elles seront détaillées dans un prochain chapitre) sont différentes. Cela a pour effet une distribution de la vitesse ponctuelle moyennée dans le temps (que l'on appelle vitesse moyenne temporelle) à l'intérieur du tuyau qui est différente suivant le régime d'écoulement.

La connaissance du profil de vitesse dans une conduite permet de calculer le débit. La plupart des capteurs en réseau mesurent la vitesse moyenne temporelle en quelques points et reconstituent le profil complet de la vitesse pour en déduire le débit.

Le graphique suivant compare la forme du profil de la vitesse en régimes laminaire et turbulent dans une conduite circulaire. En abscisse est représenté le rapport entre la distance à la paroi (r) et le rayon de la conduite (R). L'ordonnée représente le

pourcentage du rapport entre la vitesse maximale du profil et la vitesse ponctuelle $V\left(\frac{r}{R}\right)$

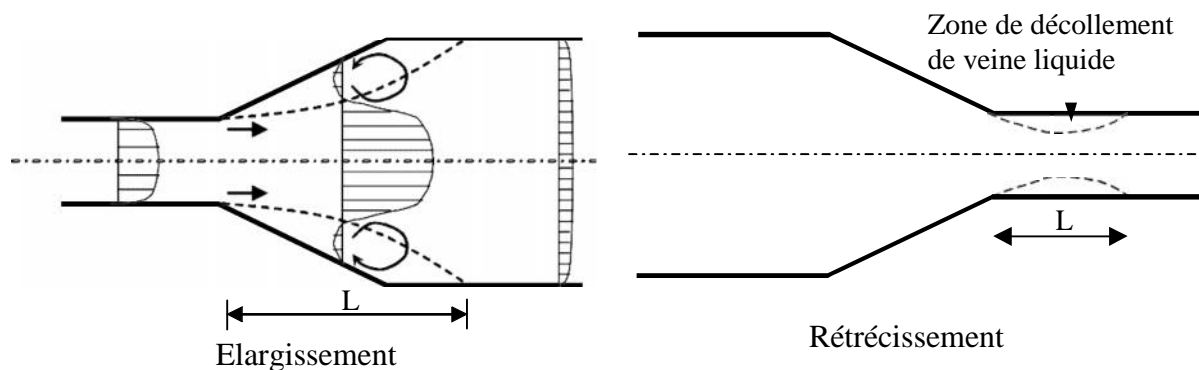
On constate que la vitesse maximale est au centre de la canalisation. Par contre, le profil de vitesse turbulent varie beaucoup plus qu'en laminaire au voisinage de la paroi. Cette zone de fort gradient de vitesse est appelée couche limite.



- Elargissement et rétrécissement dans une conduite

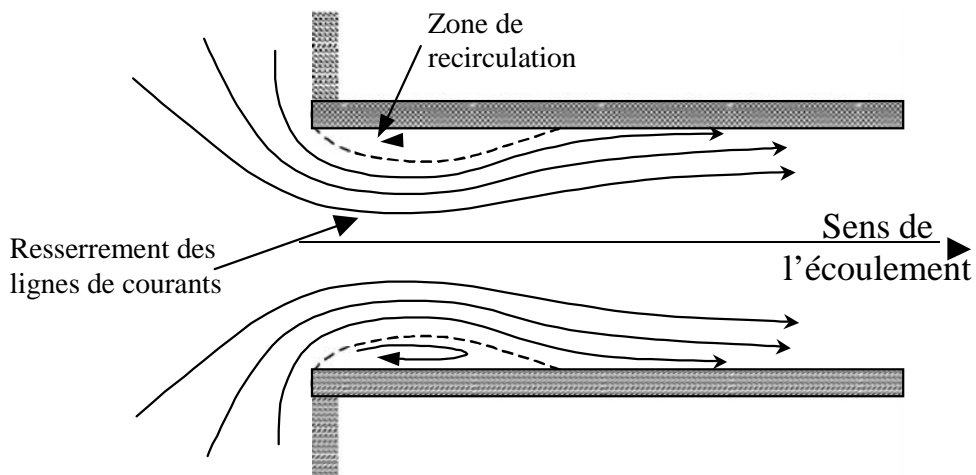
La transition entre deux conduites de diamètre différent pour un écoulement en charge provoque une répartition transversale des vitesses longitudinales totalement différentes de celles vues précédemment.

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.



- Sortie d'un réservoir

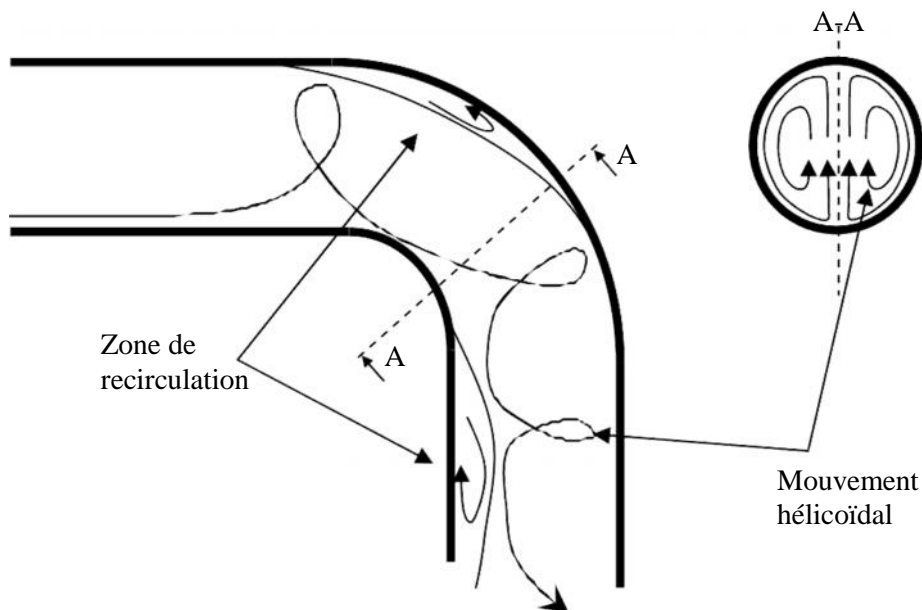
La sortie d'un réservoir provoque également une modification de la répartition de la vitesse et une zone de décollement de la veine liquide. On remarque que les lignes de courant (ligne enveloppe du champ de vitesse) se resserrent au passage de la zone de recirculation. La présence de cette zone a pour effet de diminuer légèrement la section de passage de l'écoulement.



- Coude

En raison de la courbure de la conduite, un mouvement hélicoïdal des lignes de courant peut s'établir. La présence de ce mouvement de rotation persiste sur une longueur en aval du coude (à peu près 50 fois le diamètre de la conduíte). Lorsque la courbure est importante, des zones de recirculation peuvent apparaître.

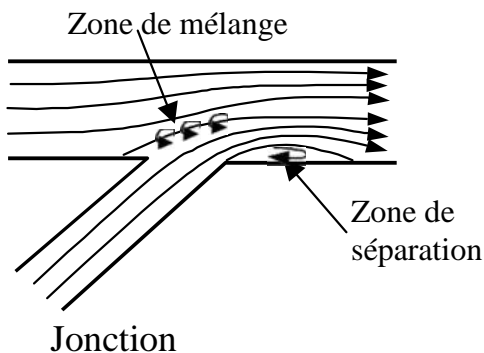
Le mécanisme interne de l'écoulement au travers d'un coude n'est pas encore bien connu, malgré le grand nombre de chercheurs qui ont analysé cet élément important.



Evolution des lignes de courant dans un coude circulaire

- Jonction et bifurcation


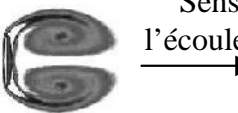

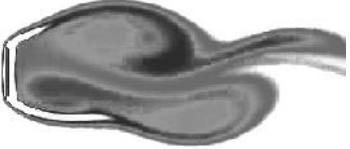


L'écoulement dans une jonction provoque une zone de séparation et une zone de mélange. L'écoulement de la branche dans laquelle la vitesse est la plus faible est entraîné par l'eau provenant de la branche ayant une vitesse plus élevée. Ce phénomène est à l'origine de décélérations et d'accélération de l'écoulement dans les deux branches.



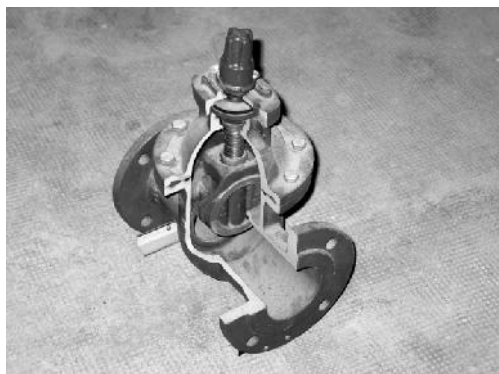
L'écoulement dans une bifurcation se comporte de manière légèrement différente du fait de la dérivation latérale. Une zone de séparation apparaît également dans la branche latérale.

- Obstacles dans un écoulement en charge

Les figures suivantes montrent l'évolution des tourbillons à l'aval d'un obstacle dans un écoulement en fonction de l'intensité de la vitesse.

 <p>Obstacle dans un écoulement.</p>	 <p>Sens de l'écoulement →</p> <p>L'écoulement est à faible vitesse. On observe l'apparition de deux tourbillons symétriques attachés à l'obstacle. C'est le début de la turbulence.</p>	 <p>L'augmentation légère de la vitesse entraîne un allongement des deux tourbillons.</p>
 <p>A vitesse plus importante les tourbillons commencent à osciller, puis se détachent.</p>	 <p>L'augmentation de la vitesse a pour effet d'accroître la fréquence des oscillations.</p>	

Les vannes à opercule ou les vannes papillons créent un obstacle dans les conduites. Ce sont des organes de contrôle du débit.



Vanne à opercule

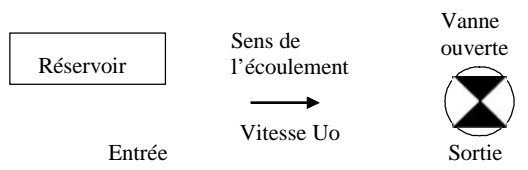


Vanne papillon

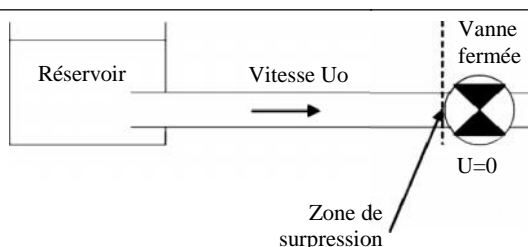
- Le coup de bélier

Le coup de bélier est un ensemble de phénomènes hydrauliques complexes provenant de la modification brutale du champ de vitesse et de pression dans une conduite. L'importance technique des coups de bélier est extrêmement grande. En effet, l'amplitude et la soudaineté des surpressions et dépressions qui sont mises en jeu peuvent détériorer la conduite ou les organes qui y sont branchés. Il est nécessaire par conséquent d'empêcher la production de telles perturbations ou du moins de les atténuer.

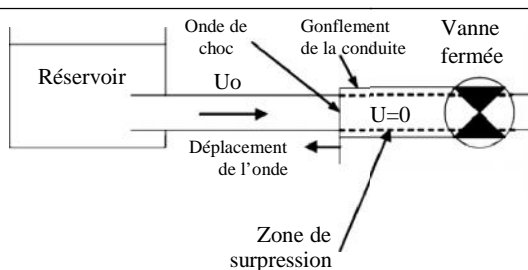
Le coup de bélier peut se produire, par exemple, dans le cas de la fermeture brutale d'une vanne.



Considérons, dans un premier temps, un réservoir se vidangeant par une vanne en position ouverte. La vitesse dans la canalisation est U_0 .

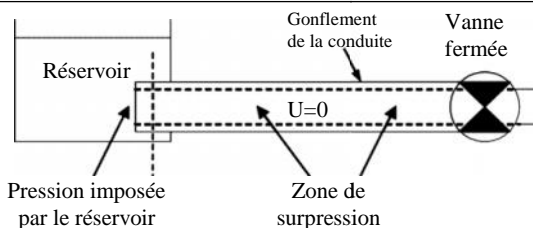


A un instant donné, la fermeture brutale de la vanne stoppe instantanément le fluide au voisinage de celle-ci. Compte tenu de son inertie, l'eau pousse fortement sur la vanne. Une surpression importante se crée dans la zone où la vitesse s'annule.

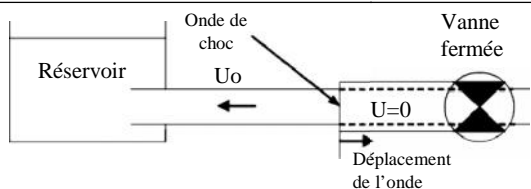


A l'amont de la vanne, l'eau se comprime faiblement et la canalisation gonfle. Tranche par tranche les particules liquides transforment la vitesse en surpression. On observe ainsi la formation et la progression d'une onde de choc. Celle-ci remonte de la vanne où elle a pris naissance vers le réservoir.

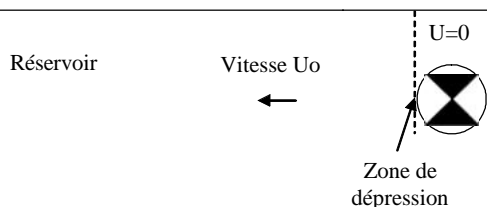
La vitesse de l'onde peut avoisiner les 1000 m/s en fonction du type de matériau de la conduite.



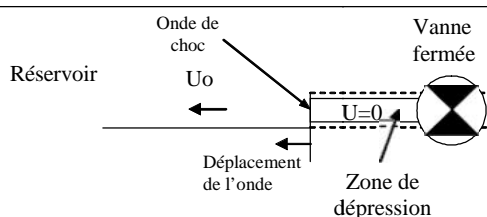
L'onde de choc atteint le réservoir. La conduite entière est en surpression et la vitesse de l'eau est nulle. Le réservoir est à niveau d'eau constant. Sa pression ne pouvant quasiment pas varier, le réservoir impose donc la pression à l'entrée de la conduite.



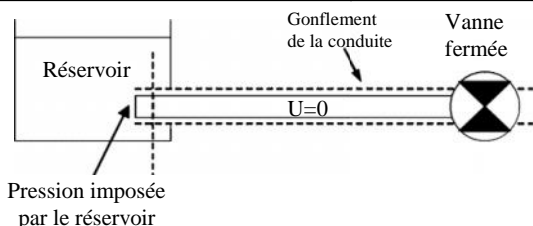
La pression dans le réservoir étant beaucoup plus faible que la surpression dans la conduite, la canalisation, au voisinage du réservoir, va retrouver sa forme initiale. La diminution du diamètre de la conduite va chasser l'eau vers le réservoir à la vitesse U_0 . De proche en proche se produit ce phénomène et crée ainsi une onde de choc se déplaçant cette fois-ci vers la vanne.



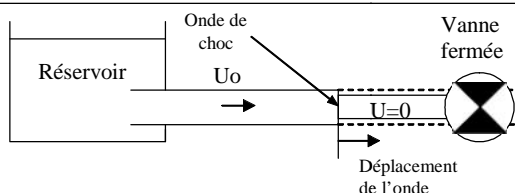
Dès que l'onde atteint la vanne, la conduite entière retrouve quasiment sa pression d'origine et sa vitesse initiale inversée. La vanne étant toujours fermée, la vitesse de l'eau à son voisinage est nulle.



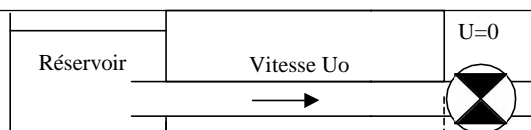
Compte tenu de son inertie, l'eau au voisinage de la vanne entre en dépression et la conduite diminue son diamètre. Une onde de choc en dépression se crée et se déplace vers le réservoir.



Comme précédemment, le réservoir impose la pression au niveau de l'entrée de la conduite.



La conduite retrouve alors sa forme initiale. Le volume d'eau manquant est pris dans le réservoir et la conduite retrouve sa vitesse initiale U_0 .



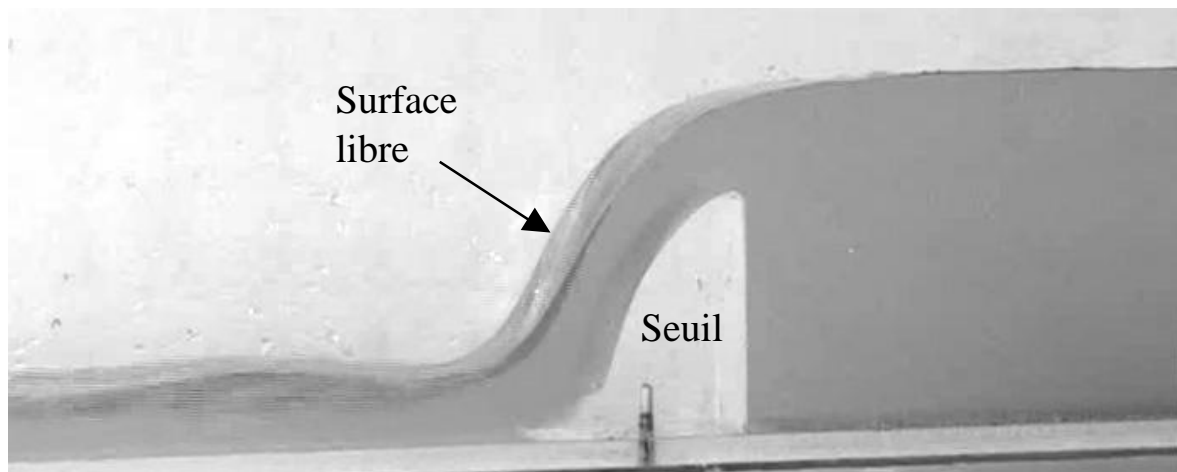
L'onde arrive au niveau de la vanne et on retrouve la configuration initiale.

2. - ECOULEMENTS A SURFACE LIBRE

- La surface libre

La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique.

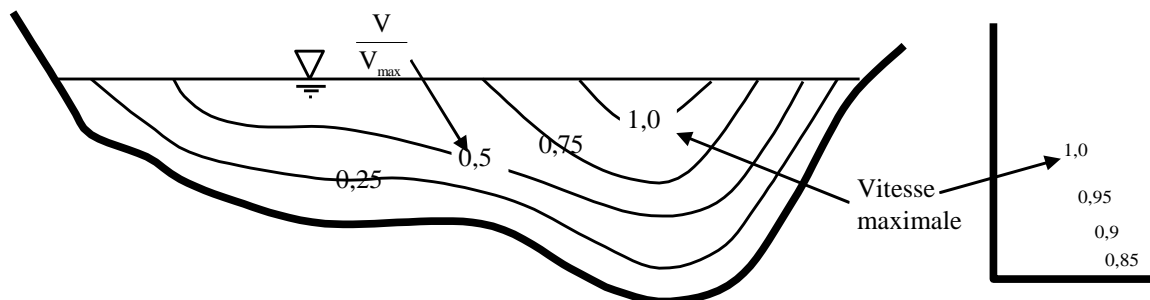
Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre.



- Distribution des vitesses dans un canal

La distribution des vitesses dans une section transversale varie en fonction de la forme de la section et de la rugosité des parois.

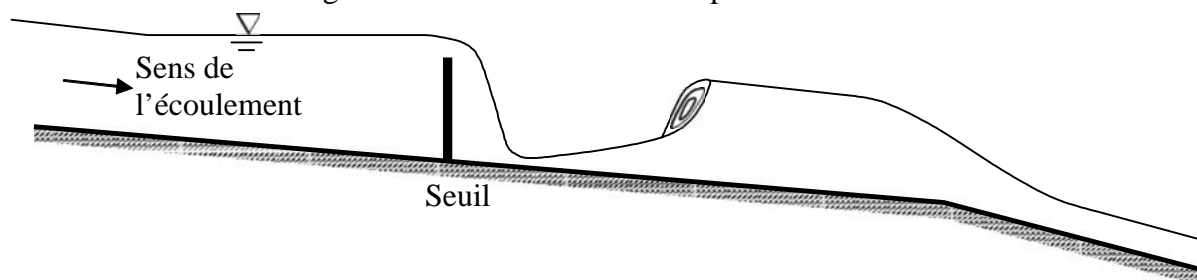
Les figures suivantes montrent la répartition des iso-vitesses dans le cas d'un régime turbulent. Dans certains cas, la vitesse peut-être maximale un peu au-dessous de la surface libre.



Comme pour les écoulements en charge, nous avons également un régime d'écoulement laminaire et turbulent. (L'écoulement laminaire est rare en hydraulique).

- Courbes de remous

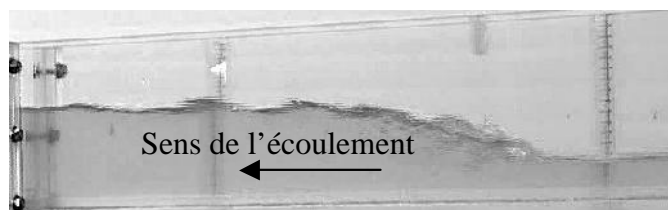
Par rapport à l'écoulement en charge, un écoulement à surface libre a une difficulté supplémentaire qui est la détermination de la position de la surface libre par rapport au fond du canal (tirant d'eau). Celle-ci est variable en fonction des caractéristiques du fluide et de l'écoulement. La figure suivante montre un exemple de forme de surface libre.



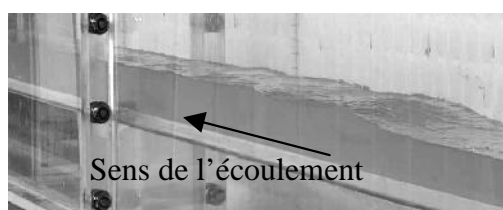
- Le ressaut

Le ressaut hydraulique se caractérise par une variation importante et croissante de la hauteur d'eau de l'amont vers l'aval du phénomène sur une courte distance. Dans la plupart des cas, une agitation importante de la surface libre permet rapidement de localiser le phénomène, comme par exemple dans le cas d'un ressaut fort.

Le ressaut hydraulique est l'un des phénomènes les plus complexes en hydraulique à surface libre. Les connaissances actuelles sur le ressaut hydraulique ne sont pas encore suffisamment étendues pour que l'écoulement interne soit parfaitement compris.



Ressaut fort



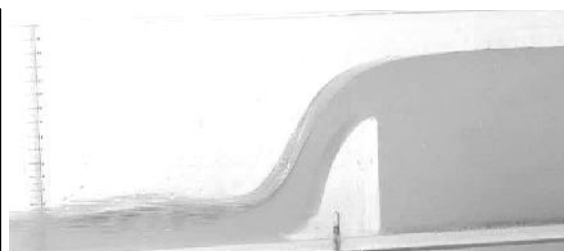
Ressaut ondulé

- Les seuils et déversoirs

Le seuil crée un obstacle dans un canal, qui oblige le tirant d'eau à augmenter et donc l'eau à passer par dessus.

Dans le cas d'un seuil dénoyé, l'eau chute à l'aval du seuil.

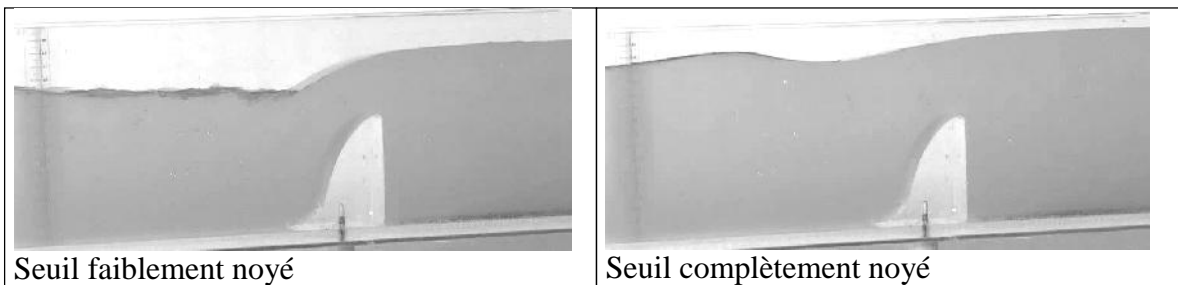
Dans le cas où le tirant d'eau à l'aval de l'ouvrage est important, la chute d'eau ne peut plus avoir lieu. Dans ces circonstances, le seuil est dit noyé.



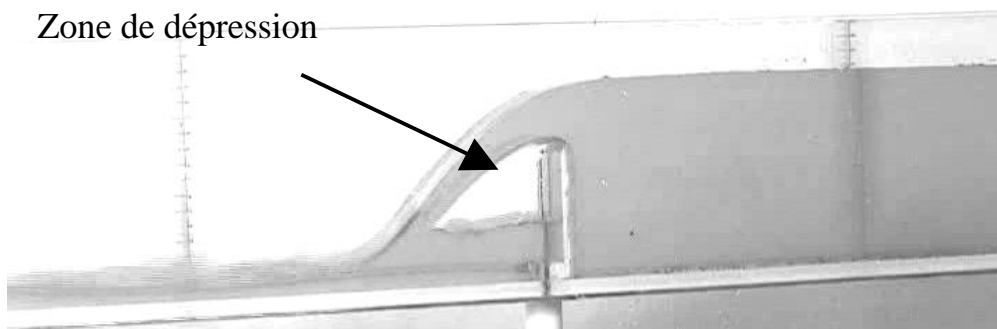
Seuil dénoyé



Seuil très faiblement noyé



En fonction de la forme du seuil et de la vitesse de l'écoulement, il peut apparaître une zone de dépression à l'aval du seuil.



Le déversoir est un ouvrage de bifurcation qui permet un partage des débits dans deux canaux. Par rapport à une simple bifurcation, où les débits sont partagés quelle que soit la hauteur d'eau, dans un déversoir, le déversement n'a lieu que si la hauteur du fluide atteint la hauteur de la crête déversante.

