



Équipements
pour l'enseignement
technique

Hydraulique
pour les
ingénieurs en
génie civil

4b

Table des matières

Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

Hydraulique pour les ingénieurs en génie civil

	Introduction	004
1	Principes de base de la mécanique des fluides	008
2	Génie hydraulique	066
	Index connaissances de base écoulement dans des canaux	196
	Index	199
	Aperçu de produits	203

Mentions légales

© 2018 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La réutilisation, le stockage, la reproduction et la réimpression – même partielle – du contenu sont interdits sans autorisation écrite préalable. GUNT est une marque déposée. Les produits GUNT sont donc protégés et relèvent du code de la propriété intellectuelle.

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression.
Sous réserve de modifications.

Un immense merci au Professeur Dr.-Ing. Bernhard Haber de l'université des sciences appliquées de Bochum, département de génie civil, institut pour l'eau et l'environnement, département de génie hydraulique et d'hydromécanique, pour son aide aimable et compétente sur la thématique de "l'écoulement dans des canaux".

Révision technique et termes en français: Professeur SAKO A., Université de Cocody, UFR-SSMT, Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de Mécanique des Fluides, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Crédits photo: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock, 123RF.
Conception graphique & mise en page: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hambourg.
Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

Mécanique des fluides chez GUNT

La mécanique des fluides occupe une place centrale et essentielle dans la formation des ingénieurs. Les cours magistraux et TP sur la mécanique des fluides font partie intégrante de nombreuses disciplines de l'ingénieur, telles que la construction de machines et d'installations, le génie énergétique et le génie des procédés, le génie environnemental, le génie naval, le génie civil, l'agriculture, l'agroalimentaire etc. Les bases de la mécanique des fluides constituent également un élément incontournable

du programme de formation et de qualification professionnelle de nombreux métiers techniques.

Le graphique ci-dessous explicite la manière dont est construit le programme GUNT pour la gamme de produits 4. On retrouve la mécanique générale des fluides dans le catalogue 4. La thématique du génie hydraulique est traitée dans le catalogue 4b, tandis que le catalogue 4a couvre celle des machines à fluide.



- génie mécanique
- construction d'installations
- aéronautique et spatiale
- construction automobile
- technique d'entraînement
- génie énergétique



- génie mécanique
- aéronautique et spatiale
- sciences naturelles appliquées
- construction navale et maritime
- génie énergétique
- génie des procédés



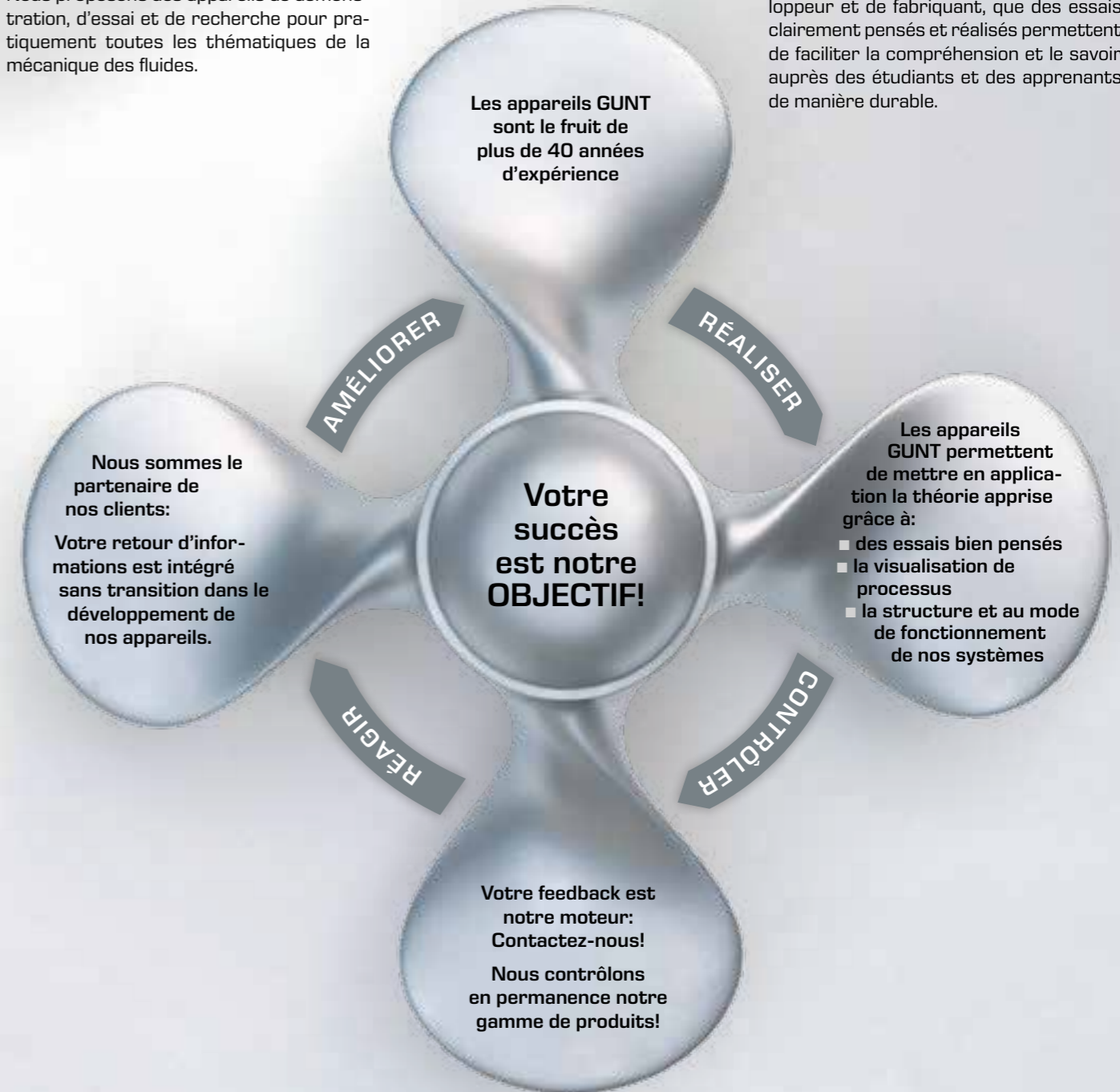
- génie hydraulique
- génie des procédés
- construction navale et maritime
- techniques maritimes
- ingénierie de l'environnement
- sciences de la terre

Qu'est-ce que GUNT peut faire pour vous...

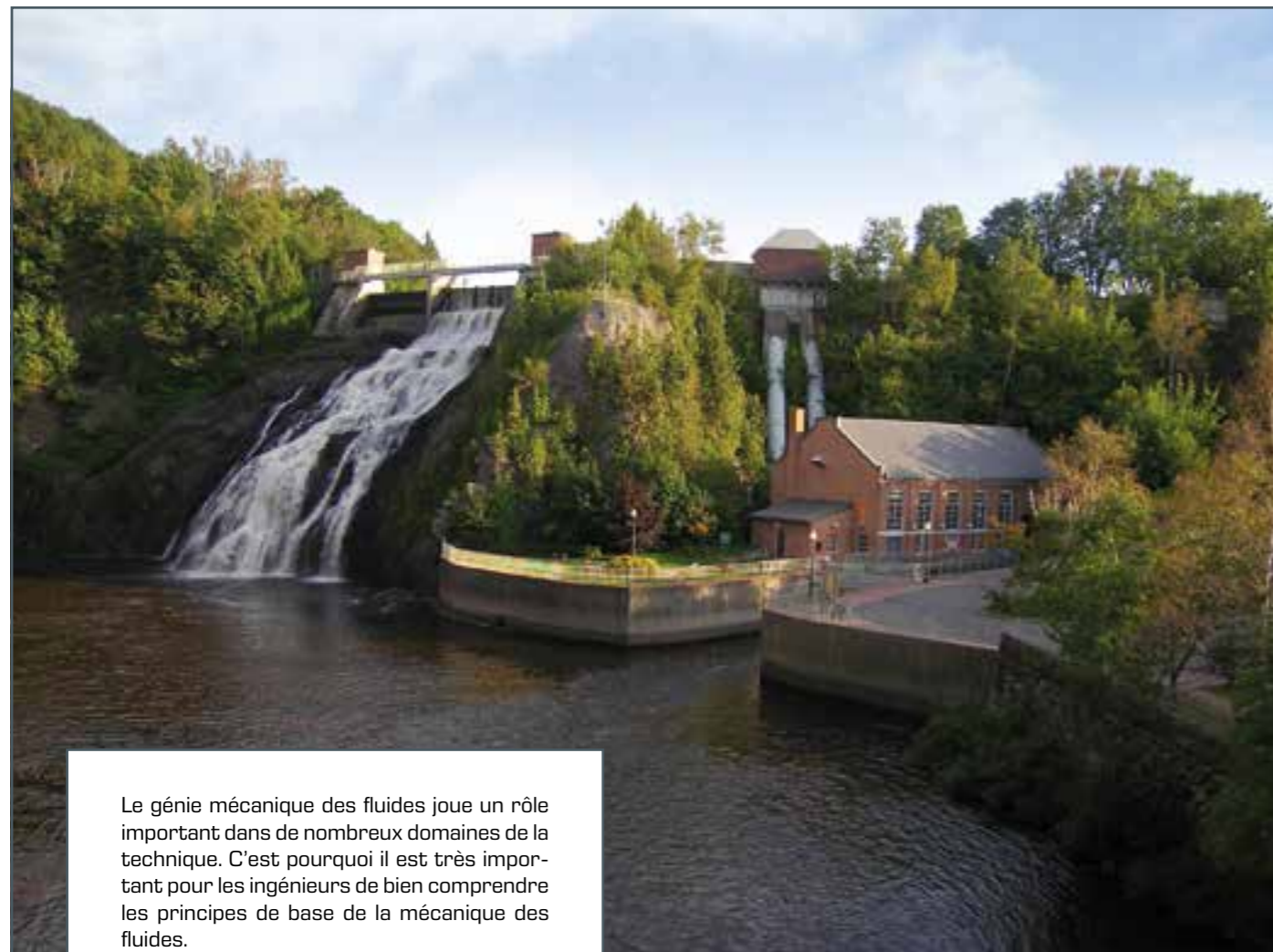
...pour vous assister et enrichir les contenus de vos cours ?

Nous proposons des appareils de démonstration, d'essai et de recherche pour pratiquement toutes les thématiques de la mécanique des fluides.

Nous savons tous deux, **vous** en tant que professeur d'Université ou en école d'ingénieur, et **nous** en qualité de développeur et de fabricant, que des essais clairement pensés et réalisés permettent de faciliter la compréhension et le savoir auprès des étudiants et des apprenants de manière durable.



Systemes didactiques et d'apprentissage en hydraulique pour les ingénieurs en génie civil



Le génie mécanique des fluides joue un rôle important dans de nombreux domaines de la technique. C'est pourquoi il est très important pour les ingénieurs de bien comprendre les principes de base de la mécanique des fluides.

Les ouvrages d'alimentation en eau, de drainage et de protection contre les eaux font partie des domaines d'activités des ingénieurs en génie civil. Certains domaines de la mécanique des fluides générale, tels que les principes de base de l'écoulement compressible, ont une importance secondaire dans le programme pédagogique des ingénieurs en génie civil. Afin de tenir compte de cette situation, nous avons, en plus du **catalogue 4 "Génie mécanique des fluides"**, rédigé un **catalogue 4b intitulé "Hydraulique pour les ingénieurs en génie civil"**. Les systèmes didactiques et d'essai prennent en compte de manière ciblée les exigences de formation du génie civil.

Le catalogue 4b se compose de deux chapitres. Dans le premier chapitre, vous trouverez des principes de base d'ordre général sur le génie mécanique des fluides, tels que les équations de base (comme les équations de continuité ou de Bernoulli), l'écoulement tubulaire et les turbomachines. Le second chapitre traite de thématiques spécifiques à l'attention des ingénieurs en génie civil se spécialisant en génie hydraulique. On y traite de l'écoulement dans des canaux, du transport des sédiments dans des canaux ouverts et de l'écoulement à travers des milieux poreux.

Les sous-chapitres sont précédés de pages d'information contenant des connaissances de base qui exposent de manière compréhensible le contexte technique et physique. Ce qui facilite l'entrée en matière pour chaque thème abordé. Les appareils GUNT correspondants permettent ensuite de réaliser une démonstration pratique et d'étudier ces phénomènes.

Contenus didactiques "hydraulique pour les ingénieurs en génie civil"	Produits GUNT
Hydrostatique <ul style="list-style-type: none"> vases communicants, pression sur des surfaces planes, poussée, paradoxe hydraulique flottabilité 	HM 115, HM 150.06
Hydrodynamique <ul style="list-style-type: none"> équation de continuité, analyse énergétique (Bernoulli) principe de conservation de l'impulsion écoulement laminaire / écoulement turbulent, nombre de Reynolds écoulement potentiel, lignes de courant 	HM 150.07, HM 150.08, HM 150.18, HM 150.10, HM 150.21
Vidange d'un réservoir, décharge <ul style="list-style-type: none"> vidange horizontale vidange verticale écoulement en dessous d'une vanne 	HM 150.09, HM 150.12, HM 160 – HM 163 et accessoires
Turbomachines <ul style="list-style-type: none"> pompes centrifuges turbines 	HM 150.04, HM 150.16, HM 150.19, HM 150.20
Écoulement avec niveau d'eau libre <ul style="list-style-type: none"> formules de débit relation entre la charge et la profondeur de l'écoulement changement d'écoulement écoulement uniforme et écoulement non uniforme modification de la coupe transversale ouvrages de contrôle (nappe dénoyée et nappe noyée) 	HM 160 – HM 163 et accessoires
Détermination du débit dans un canal ouvert <ul style="list-style-type: none"> déversoirs de mesure mesure de la vitesse méthode par traçage 	HM 156, HM 143, HM 160 – HM 163 et accessoires
Mouvement non stationnaire de l'eau <ul style="list-style-type: none"> dans des conduites fermées (vibration de masse) avec surface libre: rétention de stockage avec surface libre: montée et abaissement du niveau, écoulement non stationnaire soumis à des frottements dans des canaux avec surface libre: remplissage et vidange d'écluse, courant de marée 	HM 156, HM 143, HM 160 – HM 163 et accessoires
Vagues <ul style="list-style-type: none"> vagues en eaux profondes et en eaux peu profondes transformation de vagues 	HM 160 – HM 163 et accessoires
Transport de matières solides <ul style="list-style-type: none"> types de transport de matières solides formules d'évaluation des masses transportées 	HM 166, HM 140, HM 168, HM 142
Écoulement à travers des milieux poreux, écoulement souterrain <ul style="list-style-type: none"> écoulement souterrain, nappe aquifère niveaux des eaux souterraines loi de Darcy (filtration), coefficient de perméabilité abaissement des eaux souterraines filtres (filtres de gravier, filtres géotextiles) infiltration des ouvrages infiltration des digues 	HM 152, HM 165, HM 167, HM 169, HM 145, HM 141, CE 116

1 Principes de base de la mécanique des fluides

Hydrostatique

Connaissances de base Principes de base de l'hydrostatique	010
HM 115 Banc d'essai d'hydrostatique	012
HM 150.06 Stabilité des corps flottants	014
HM 150.39 Corps flottants pour HM 150.06	016

Hydrodynamique

Connaissances de base Principes de base de l'hydrodynamique	018
Aperçu Appareils d'essai sur les principes de base de l'hydrodynamique	020
HM 150.18 Essai d'Osborne Reynolds	022
HM 150.07 Théorème de Bernoulli	024
HM 150.08 Mesure des forces de jet	026
HM 150.21 Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert	028
HM 150.10 Visualisation de lignes de courant	030

Décharge

HM 150.09 Vidange horizontale d'un réservoir	032
HM 150.12 Vidange verticale d'un réservoir	034

Écoulement dans des conduites

Aperçu Écoulement stationnaire des fluides incompressibles	036
HM 150.01 Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire/turbulent	038
HM 150.11 Pertes de charge dans un système de conduites	040
HM 164 Écoulement dans un canal ouvert et dans un canal fermé	042
HM 111 Réseaux de tuyauteries	044

Turbomachines

Aperçu Appareils d'essai du domaine des turbomachines	046
HM 150.19 Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton	048
HM 150.20 Principe de fonctionnement d'une turbine Francis	050
HM 150.04 Pompe centrifuge	052
HM 150.16 Montage en série et en parallèle de pompes	054

Accessoire

Aperçu Série HM 150 Initiation aux bases de la mécanique des fluides	056
HM 150 Module de base pour essais de mécanique des fluides	058

Écoulement non stationnaire

Aperçu Écoulement non stationnaire dans les tuyauteries et les cheminées d'équilibre	060
HM 156 Coups de bélier et cheminée d'équilibre	062
HM 143 Processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs	064

Connaissances de base

Principes de base de l'hydrostatique

Les fluides au repos sont l'objet d'étude de l'hydrostatique.

Les appareils d'essai de GUNT traitent les principes de base des thématiques d'hydrostatique suivantes: pression hydrostatique, poussée, tension de surface, capillarité/adhésion.

Principes physiques de base et propriétés des fluides

- mesure de la pression avec des manomètres et des capteurs de pression
- mesure de la température
- courbe de pression de vapeur
- changement d'état des gaz

Forces

- force de Coriolis
- tension et forces de surface
- poussée d'Archimède
- pression hydrostatique et forces résultantes

Pression hydrostatique

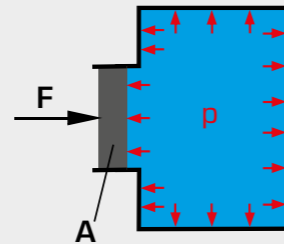
Dans les fluides au repos, la pression est indépendante de la direction. Elle dépend de manière linéaire de la hauteur du fluide au-dessus de l'élément observé ou de la profondeur d'immersion.

Pour les fluides incompressibles non soumis à la force de gravité, la pression hydrostatique est calculée selon la loi de Pascal.

Loi de Pascal

L'exercice d'une force F sur un liquide au repos produit une pression p à l'intérieur du liquide qui se propage de manière homogène dans toutes les directions. La pression s'exerce toujours verticalement sur la surface limite A du liquide.

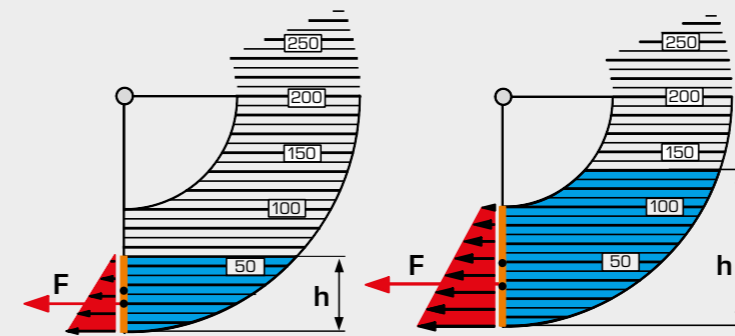
Tous les processus de force et de pression dans des liquides reposent sur cette loi.



$$p = F / A$$

Pression hydrostatique sur des parois

Il est souvent important de connaître, outre la pression au sol d'un fluide, sa pression hydrostatique sur les surfaces limites, afin de pouvoir calculer par exemple les forces qui s'exercent sur les parois latérales (d'un canal, d'un aquarium etc.) ou sur un déversoir.

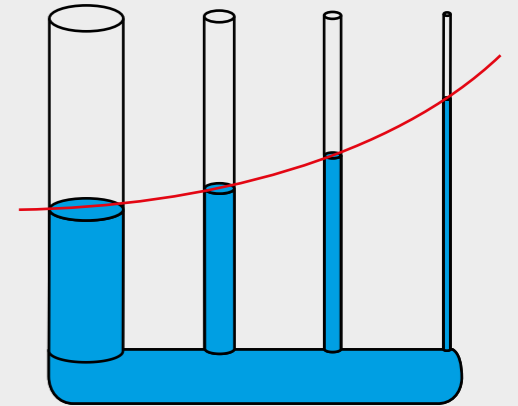


h niveau, F force résultante, A surface active,
■ profil de pression, ■ niveau d'eau

Capillarité

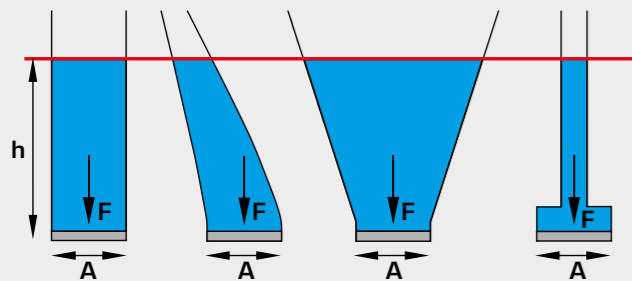
Les liquides montent ou descendent dans des capillaires sous l'effet de forces moléculaires entre le liquide et la paroi ou entre le liquide et l'air. La hauteur d'ascension dans le capillaire dépend de la tension de surface et du diamètre des capillaires.

Pour les liquides mouillants (tels que l'eau), le niveau monte, tandis que pour les liquides non mouillants (tels que le mercure), le niveau descend dans le capillaire.



Paradoxe hydrostatique

La pression hydrostatique produit une force F sur la surface A . Avec une surface identique, cette force dépend uniquement du niveau h . La forme du réservoir n'a ici aucune influence.

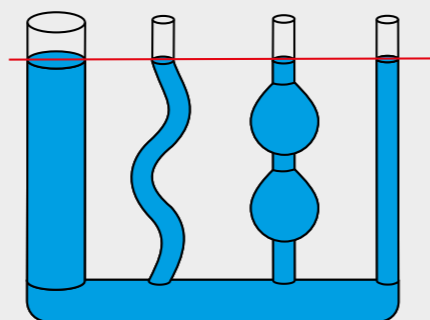


h niveau, F force, A surface, ligne rouge niveau

Vases communicants

Les vases communicants sont des tuyaux ouverts par le haut et reliés entre eux par le bas. Le niveau du fluide dans ces vases est le même, quelles que soient la forme et la taille des tuyaux.

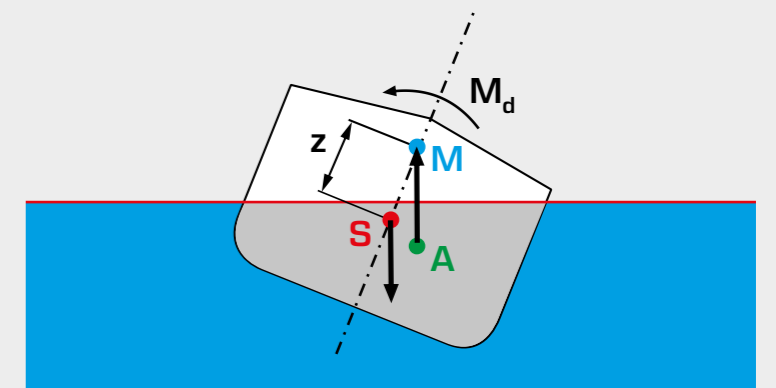
Utilisation: entre autres dans les niveaux à eau, écluses et siphons des conduites d'égout.



Stabilité des corps flottants

Afin de pouvoir évaluer si un corps flotte de manière stable ou s'il est susceptible de chavirer, on détermine son métacentre M . La position du métacentre dépend du centre de gravité de l'eau refoulée A et de l'angle de gîte. Le corps flotte de manière stable lorsque le métacentre M est au-dessus du centre de gravité S . Le moment de redressement M_d produit alors un effet de redressement.

La distance qui sépare le centre de gravité du métacentre est appelée hauteur métacentrique z .



M métacentre, S centre de gravité,
 A centre de poussée, z hauteur métacentrique,
 M_d moment de redressement qui redresse le corps flottant,
ligne rouge niveau de l'eau

HM 115

Banc d'essai d'hydrostatique



L'illustration montre un appareil similaire.

Description

- **essais hydrostatiques de base**
- **grande variété d'essais**
- **circuit d'eau fermé avec réservoir et pompe**

En hydrostatique, on observe l'état des fluides au repos. Les phénomènes qui se produisent suite à la pression hydrostatique sont analysés, et l'effet de force est calculé. L'hydrostatique joue un rôle important dans différents domaines de la technique, comme par ex. la plomberie, la construction de pompes et la construction aéronautique et spatiale ainsi que navale (poussée, sollicitation des parois latérales), les observations hydrostatiques ont une grande importance.

Avec le HM 115, on peut réaliser des expériences du domaine de l'hydrostatique, telles que la mesure de la pression au sol, ou la démonstration de la loi de Boyle-Mariotte. Le calcul du centre de poussée vient compléter l'ensemble des essais. En outre, il comprend des appareils d'essai permettant l'étude de l'action capillaire et de la poussée. La pression hydrostatique et la tension de surface sont mesurées. En plus, on étudie dans un essai les profils de pression à l'aide d'un tube de Pitot et une sonde pour pression statique dans un fluide en écoulement.

Afin de rendre visibles les fonctions et leur déroulement, les réservoirs et appareils d'essai sont transparents. Les réservoirs et conduites sont entièrement en plastique.

Différents appareils de mesure de la pression sont disponibles pour mesurer la pression et la pression différentielle du liquide: tube de Pitot, sonde pour pression statique, capteur de pression avec affichage numérique, manomètre à double tubes ou manomètre de pression différentielle. Un manomètre à diaphragme ondulé et un manomètre à tube de Bourdon affichent la pression du fluide à l'état gazeux.

Le banc d'essai est équipé de sa propre alimentation en air et en eau. Le circuit d'eau fermé comprend un réservoir de stockage avec pompe submersible. La livraison comprend un compresseur pour la production de surpressions et de sous-pressions lors des essais avec de l'air.

Contenu didactique/essais

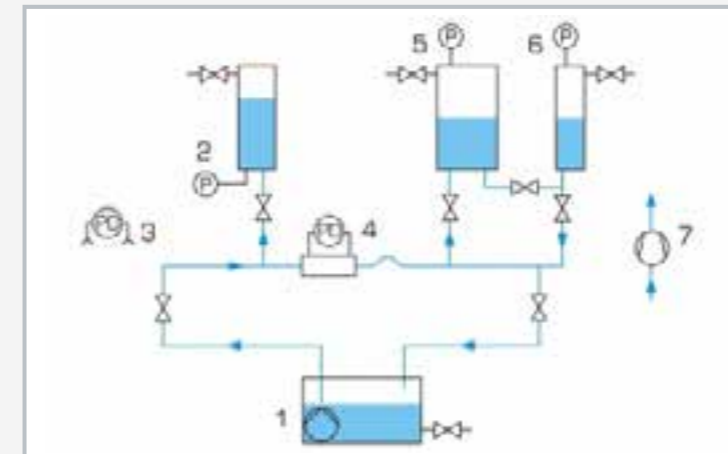
- étude de la poussée de différents corps
- étude de la densité de liquides
- pression hydrostatique, loi de Pascal
- vases communicants
- calcul du centre de poussée
- étude de tensions de surface
- démonstration des actions capillaires
- loi de Boyle-Mariotte
- étude de la pression statique et dynamique dans le fluide en écoulement
- familiarisation avec les différentes méthodes de mesure de la pression

HM 115

Banc d'essai d'hydrostatique



1 manomètre à double tubes, 2 réservoir, 3 affichage numérique de la pression, 4 capteur de pression, 5 réservoir de stockage avec pompe submersible, 6 tube de Pitot et une sonde pour pression statique, 7 capteur de pression différentielle, 8 section de tuyau, 9 pression hydrostatique dans des liquides, 10 réservoir sous pression, 11 réservoir sous pression, 12 manomètre à tube de Bourdon, 13 manomètre à diaphragme ondulé



1 réservoir de stockage avec pompe submersible, 2 réservoir avec capteur de pression, 3 manomètre à double tubes, 4 tube de Pitot + sonde pour pression statique avec capteur de pression différentielle, 5 réservoir sous pression avec manomètre à tube de Bourdon, 6 réservoir sous pression avec manomètre à diaphragme ondulé, 7 compresseur; P pression, PD pression différentielle



Accessoires pour une grande variété d'essais

Spécification

- [1] introduction expérimentale très complète à l'hydrostatique
- [2] réservoirs transparents d'observation des processus
- [3] nombreux accessoires compris: compresseur pour la production de surpressions et de sous-pressions, appareil de mesure de la pression au sol, deux aréomètres
- [4] des appareils d'essai pour: la mesure de la force ascensionnelle, l'étude de la pression hydrostatique dans des liquides, la mesure de la tension de surface, les vases communicants, l'action capillaire
- [5] tube de Pitot pour déterminer la pression totale et une sonde pour pression statique
- [6] instrumentation: capteur de pression avec affichage numérique, capteur de pression différentielle, manomètre à double tubes, manomètre à diaphragme ondulé, manomètre à tube de Bourdon

Caractéristiques techniques

Pompe

- puissance absorbée: 250W
- débit de refoulement max.: 9m³/h
- hauteur de refoulement max.: 7,6m

Compresseur

- puissance: 65W
- pression à l'entrée: 240mbar
- pression à la sortie: 2bar

3 réservoirs

- hauteur: 500mm
 - Ø 100mm, Ø 133mm, Ø 200mm
- Réservoir de stockage d'eau: env. 50L
2 aréomètres avec différentes plages de mesure

Plages de mesure

- pression: 2x -1...1,5bar
- pression différentielle: 0...500mmCA
- pression différentielle: 0...0,4bar
- densité: 1x 0,8...1g/cm³, 1x 1...1,2g/cm³

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1760x820x1940mm

Poids: env. 270kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 compresseur
- 1 appareil de mesure de la pression au sol
- 2 aréomètres
- 1 réservoir cunéiforme des appareils d'essai pour: tension de surface, pression hydrostatique dans des liquides, force ascensionnelle, action capillaire, vases communicants
- 1 documentation didactique

HM 150.06

Stabilité des corps flottants



Contenu didactique/essais

- étude et détermination
 - ▶ de la poussée et du centre de poussée
 - ▶ du centre de gravité, du métacentre et de la stabilité
 - ▶ du gîte

Description

- stabilité d'un corps flottant
- détermination du métacentre
- autres corps flottants avec différentes formes de membrures disponibles en option, HM 150.39

En hydrostatique, le métacentre est un point d'observation important pour évaluer la stabilité des corps flottants. La stabilité décrit la capacité d'un bateau à se redresser depuis une position gîtée. Le métacentre est le point d'intersection entre le vecteur de poussée et l'axe de symétrie du bateau pour un gîte donné.

Le HM 150.06 permet d'étudier la stabilité d'un corps flottant et de déterminer graphiquement le métacentre. Il est également possible de déterminer la poussée du corps flottant. L'essai est conçu de manière simple et est parfaitement adapté à la mise en pratique en petits groupes.

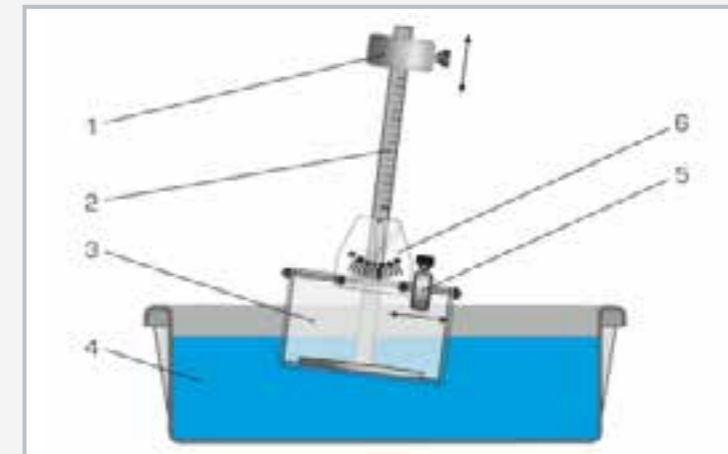
L'essai est réalisé avec un réservoir rempli d'eau. Comme corps flottant, on utilise un corps transparent avec une section de membrure rectangulaire. Des poids de charge déplaçables à l'horizontale et à la verticale permettent de décaler le centre de gravité et le gîte.

La position des poids de charge peut être lue sur des échelles graduées. Un inclinomètre indique le gîte.

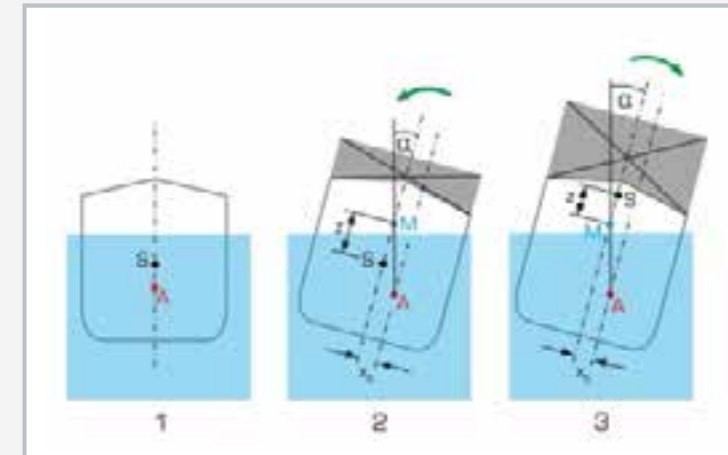
L'accessoire HM 150.39 est disponible en option pour la réalisation d'autres essais avec différentes formes de membrures.

HM 150.06

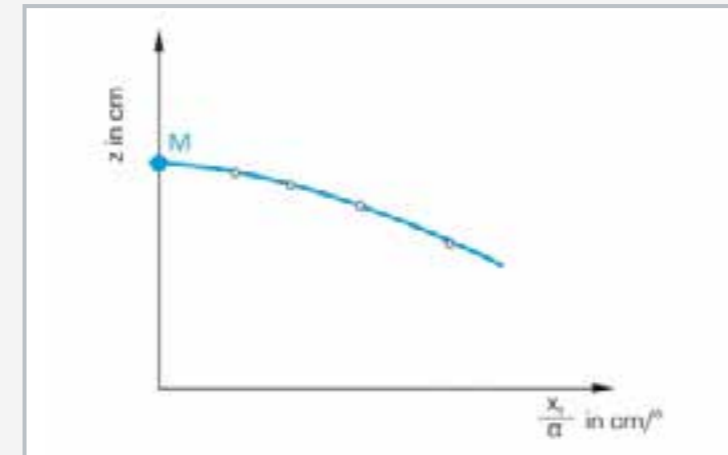
Stabilité des corps flottants



1 décalage du centre de gravité, 2 échelle graduée, 3 corps flottant, 4 réservoir avec eau, 5 décalage du gîte, 6 inclinomètre avec échelle graduée



1 position stable, 2 position stable malgré la charge, métacentre au-dessus du centre de gravité, 3 position instable du fait de la charge, métacentre en dessous du centre de gravité; flèche verte: moment de redressement, M métacentre, S centre de gravité, A centre de poussée, z hauteur métacentrique, α angle de gîte



Détermination graphique du métacentre: x_c / α coefficient de stabilité, M métacentre, z position verticale du centre de gravité

Spécification

- [1] étude de la stabilité d'un corps flottant et détermination du métacentre
- [2] corps flottant transparent avec une section de membrure rectangulaire
- [3] 1 poids de charge déplaçable horizontalement pour le décalage du gîte
- [4] 1 poids de charge déplaçable verticalement pour le décalage du centre de gravité
- [5] inclinomètre avec échelle graduée pour l'indication du gîte
- [6] autres corps flottants avec formes de membrure différentes disponibles en option, HM 150.39

Caractéristiques techniques

Corps flottant

- Lxlxh: 300x130x190mm
- hauteur de mât: 400mm

Échelle horizontale: 180mm

Échelle verticale: 400mm

Échelle de hauteur du corps flottant: 120mm

Échelle de l'inclinomètre: $\pm 30^\circ$

Poids

- corps flottant sans poids de charge: env. 2,7kg
- poids de charge vertical: 575g
- poids de charge horizontal: 196g

Réservoir d'eau: 50L

Lxlxh: 660x450x220mm (réservoir)

Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

HM 150.39
Corps flottants pour HM 150.06**Contenu didactique/essais**

- comparaison de deux formes de membrure différentes: bouchain vif et bouchain adouci

Spécification

- [1] détermination du métacentre de 2 corps flottants ayant des formes de membrure différentes: bouchain vif et bouchain adouci
- [2] chaque corps flottant avec poids de charge déplaçable horizontalement pour le décalage du gîte
- [3] chaque corps flottant avec poids de charge déplaçable verticalement pour le décalage du centre de gravité
- [4] chaque corps flottant avec inclinomètre avec échelle graduée pour l'indication du gîte
- [5] pour utilisation avec HM 150.06

Caractéristiques techniques

- Forme de membrure bouchain vif
- Lxlxh: 300x200x140mm
 - hauteur de mât: 240mm
- Forme de membrure bouchain adouci
- Lxlxh 300x200x100mm
 - hauteur de mât: 240mm

Échelle horizontale: 180mm
Échelle verticale: 240mm
Échelle de hauteur du corps flottant: 120mm
Échelle de l'inclinomètre: $\pm 30^\circ$

Poids

- corps flottant sans poids de charge:
 - ▶ bouchain vif: env. 2,9kg
 - ▶ bouchain en forme: env. 2,4kg
- poids de charge vertical: 575g
- poids de charge horizontal: 196g

Lxlxh: 330x220x290mm (bouchain vif)
Lxlxh: 330x220x280mm (bouchain adouci)

Poids total: env. 7kg

Liste de livraison

- 2 corps flottants
- 1 notice

Description
■ stabilité de corps flottants avec formes de membrure différentes

L'accessoire HM 150.39 comprend deux corps flottants transparents avec des formes de membrure différentes (bouchain vif et bouchain adouci). Les corps flottants sont utilisés avec le HM 150.06 et permettent d'étendre ses possibilités d'essais.

La conception des corps flottants et les possibilités d'essais correspondent à ceux de HM 150.06.



Visitez notre site internet

Sur notre site, vous trouverez toutes les informations autour de notre programme.

Connaissances de base

Principes de base de l'hydrodynamique

L'hydrodynamique étudie et décrit les fluides en mouvement. L'étude des principes de conservation de la masse, de l'énergie et de l'impulsion y est au premier plan.

Les fluides en écoulement possèdent une énergie cinétique. Cette énergie peut être transformée en énergie potentielle (pression, hauteur) et vice versa.

Quelques thèmes comme: l'équation de Bernoulli, l'équation de continuité et la conservation de l'impulsion y sont abordés. Afin de faciliter la compréhension des phénomènes, on observe souvent des états stationnaires de fluides incompressibles.

Autres thématiques de l'hydrodynamique

- l'écoulement tubulaire (laminaire / turbulent)
- les méthodes de mesure du débit
- l'écoulement dans des canaux ouverts
- l'écoulement autour de corps
- les turbomachines
- l'écoulement des fluides compressibles

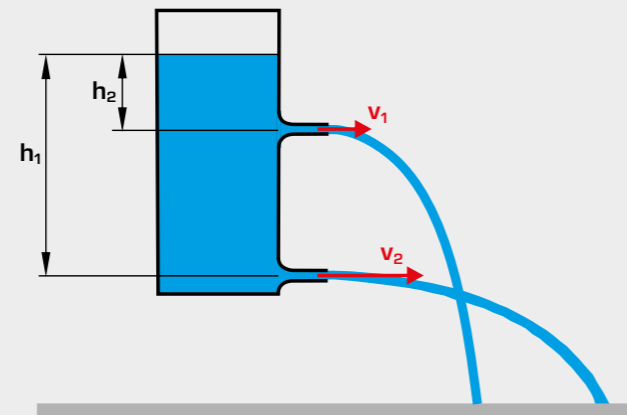
Vidange d'un réservoir

La vidange d'un réservoir peut être aussi bien stationnaire que non stationnaire. Dans le cas stationnaire, la hauteur de remplissage et donc la portée du jet restent constantes (par ex. en cas d'écoulement sous un déversoir). La vitesse de vidange v dépend uniquement de la hauteur de chute h et se calcule au moyen de la formule de Torricelli.

$$v = \sqrt{2gh}$$

v vitesse, g accélération de la pesanteur,
 h distance entre le point de vidange et la surface libre de l'eau

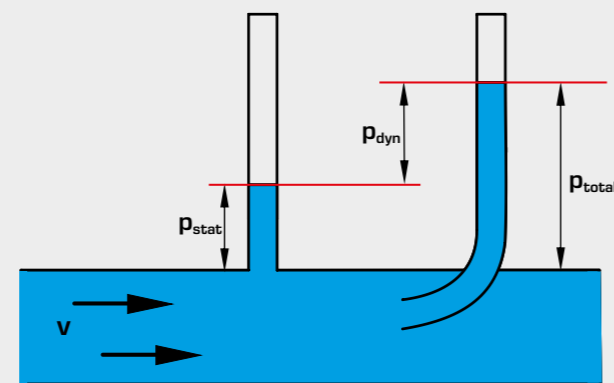
On parle d'état non stationnaire dès lors que le réservoir se vide durant le processus de vidange.



h hauteur de chute, distance entre le point de vidange et la surface libre de l'eau, v vitesse

Pression dans un fluide en écoulement

L'énergie d'un fluide en écoulement est déterminée à partir de la pression, la vitesse et la densité. La pression totale est constituée d'une composante statique et d'une composante dynamique. La composante dynamique augmente de manière quadratique avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement. Un fluide en écoulement peut contenir de l'énergie potentielle, cinétique et de pression. Dans l'idéal, l'énergie totale reste constante. Les composantes peuvent varier, c'est-à-dire par exemple que de l'énergie de pression peut être transformée en énergie cinétique.

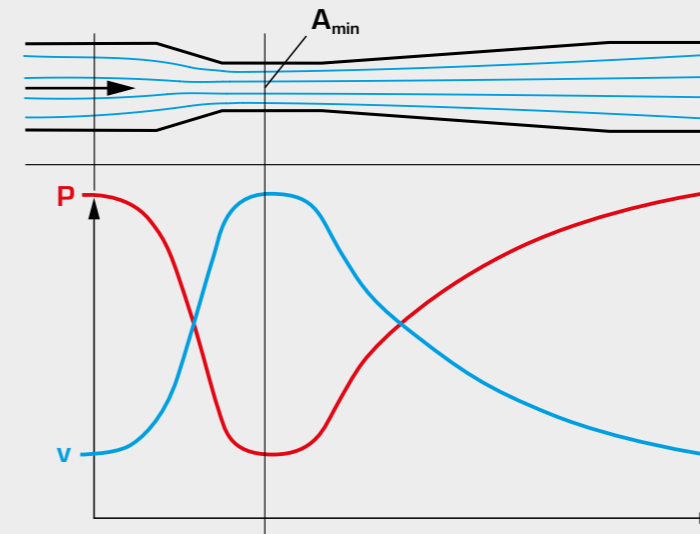


v velocity, p_{stat} static pressure, p_{dyn} dynamic pressure, p_{total} total pressure

Tube de Venturi

La vitesse du fluide est la plus élevée là où la section est la plus étroite (**équation de continuité** $A \cdot v = \text{const}$). Bernoulli a découvert qu'une partie de l'énergie de pression est transformée en énergie cinétique. Ainsi, lorsque la vitesse augmente, la pression baisse, et la pression la plus basse se forme dans la section la plus étroite. Selon l'**équation de Bernoulli**, on peut dire que l'énergie d'un fluide non compressible en écoulement non soumis à des frottements est constante.

Utilisation: pompe à jet d'eau, carburateur, mesure du débit

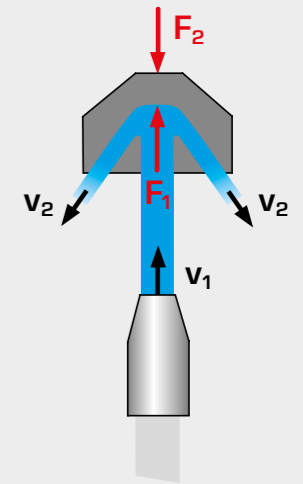


■ vitesse, ■ évolution de la pression statique

Forces de jet

La valeur ou la direction de l'impulsion d'un fluide change après une modification de la vitesse d'écoulement. Des forces apparaissent alors, elles peuvent par exemple entraîner une turbine à jet libre ou un bateau.

Ces forces peuvent être facilement démontrées et mesurées en projetant le jet sur un mur où il est dévié.



F_1 force de jet, F_2 force de réaction,
 v_1 vitesse de jet, v_2 vitesse après un changement de direction



Formation de tourbillons

Des tourbillons se forment lorsqu'au sein d'un fluide, une partie de ce fluide s'écoule plus rapidement que le reste du fluide. Un gradient de vitesse est alors présent dans le fluide. De l'énergie est dissipée dans les tourbillons.

Des tourbillons libres (vortex potentiel, par ex. remous) se forment par exemple au moment de la vidange d'un réservoir. Dans les tourbillons libres, toutes les particules de fluide se déplacent sur des cercles concentriques sans tourner autour de leur propre axe. Les tourbillons libres se forment uniquement à partir de forces hydrodynamiques.

Les tourbillons forcés sont rotationnels et se forment à partir de forces externes, par exemple celles d'un agitateur.

Appareils d'essai sur les principes
de base de l'hydrodynamique

Équation de continuité, Bernoulli

HM 150.07
Théorème de Bernoulli

- étude et vérification du principe de Bernoulli
- enregistrement de la distribution de la pression dans le tube de Venturi
- manomètre à six tubes pour l'affichage de la pression statique et manomètre à tube pour l'affichage de la pression totale

Écoulement laminaire et écoulement turbulent

HM 150.18
Essai d'Osborne
Reynolds

- représentation d'un écoulement laminaire et d'un écoulement turbulent, visualisation de la zone de transition
- détermination du nombre de Reynolds critique
- visualisation des conditions d'écoulement avec de l'encre utilisée comme produit de contraste

Visualisation de lignes de courant

HM 150.10
Visualisation de lignes de courant

- visualisation des lignes de courant avec de l'encre utilisée comme produit de contraste
- différents modèles sont compris dans la liste de livraison: corps de résistance et modifications de section
- influence des sources et des puits

HM 150.21
Visualisation de lignes de courant dans
un canal ouvert

- démonstration des phénomènes d'écoulement dans des canaux ouverts
- écoulement incident et écoulement autour de différents types de déversoirs et corps de résistance
- visualisation des lignes de courant avec de l'encre utilisée comme produit de contraste

Vidange d'un réservoir

HM 150.09
Vidange horizontale
d'un réservoir**HM 150.12**
Vidange
verticale d'un
réservoir

- visualisation de la trajectoire d'un jet d'eau avec HM 150.09
- études sur le jet de sortie (diamètre, vitesse) avec HM 150.12
- détermination des coefficients de contraction pour les deux appareils d'essai

Force de jet

HM 150.08
Mesure des
forces de jet

- étude de forces de jet et démonstration du principe de conservation de l'impulsion
- quatre déflecteurs de formes différentes: surface plane, surface oblique, surface semi-arrondie et surface conique
- influence du débit massique et de la déviation

HM 150.18

Essai d'Osborne Reynolds



Contenu didactique/essais

- visualisation de l'écoulement laminaire
- visualisation de la zone de transition
- visualisation de l'écoulement turbulent
- détermination du nombre de Reynolds critique

Description

- visualisation d'un écoulement laminaire et d'un écoulement turbulent
- détermination du nombre de Reynolds critique
- essai classique selon le modèle du physicien britannique Osborne Reynolds

Un écoulement laminaire et un écoulement turbulent sont représentés durant l'essai d'Osborne Reynolds. On peut alors observer, à partir d'une vitesse seuil, la transition entre écoulement laminaire et écoulement turbulent. Pour déterminer si un écoulement est laminaire ou turbulent, on utilise le nombre de Reynolds.

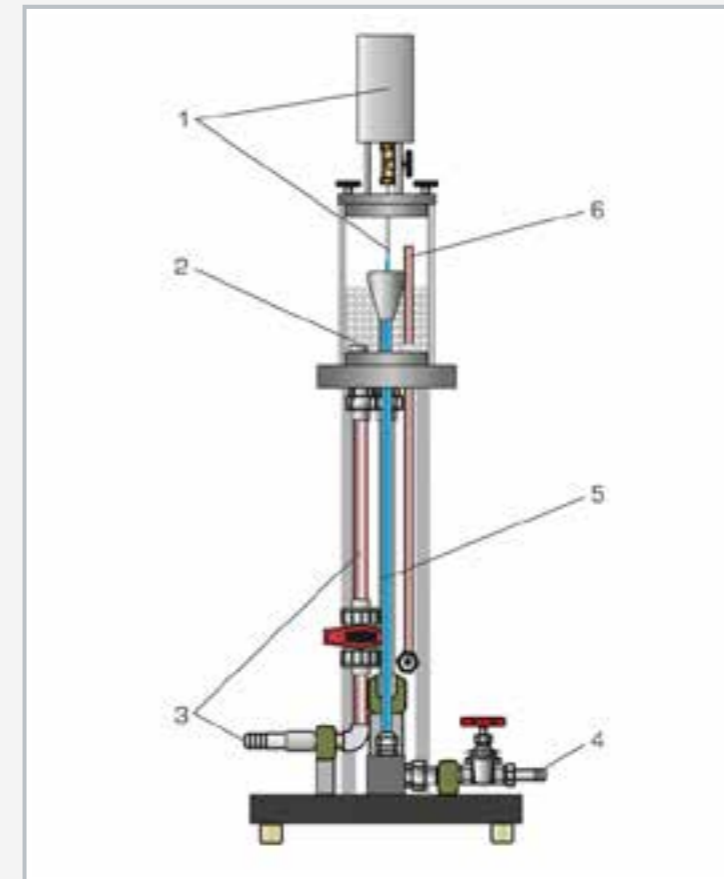
Avec le HM 150.18, les lignes de courant des écoulements laminaire et turbulent sont représentées en couleur grâce à l'injection d'un produit de contraste (encre). Les résultats de l'essai permettent de déterminer le nombre de Reynolds critique.

L'appareil d'essai est composé d'une section de tuyau transparente où s'écoule de l'eau avec une arrivée optimisée. Une soupape permet d'ajuster le débit dans la section de tuyau. On injecte de l'encre dans l'eau qui circule. Une couche de billes de verre à l'intérieur du réservoir d'arrivée assure l'homogénéité de l'écoulement et limite la formation de tourbillons.

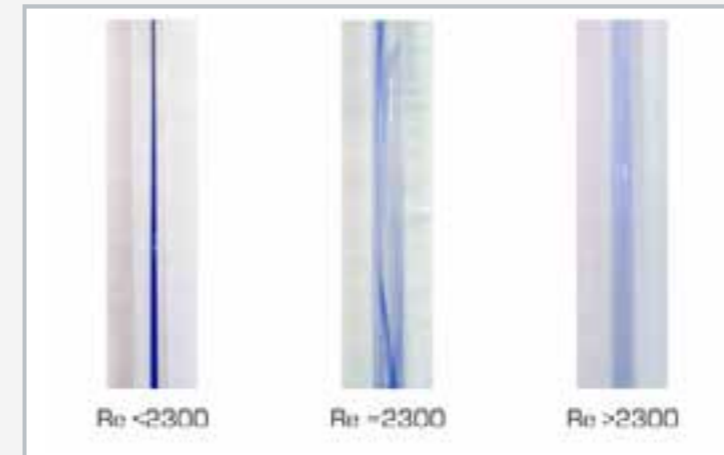
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

HM 150.18

Essai d'Osborne Reynolds



1 réservoir d'encre avec tuyau d'arrivée, 2 réservoir d'arrivée avec billes de verre, 3 alimentation en eau, 4 évacuation d'eau avec vanne de régulation, 5 section de tuyau en verre, 6 trop-plein



Régimes d'écoulement de gauche à droite : écoulement laminaire, transition de l'écoulement laminaire à l'écoulement turbulent, écoulement turbulent

Spécification

- [1] visualisation d'un écoulement laminaire et d'un écoulement turbulent au cours de l'essai d'Osborne Reynolds
- [2] eau comme fluide en mouvement et encre comme produit de contraste
- [3] section de tuyau verticale en verre
- [4] réservoir d'eau avec billes de verre pour tranquilliser l'écoulement
- [5] débit dans la section de tuyau ajustable au moyen d'une soupape
- [6] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [7] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Réservoir d'arrivée
■ volume: 2200mL

Section de tuyau
■ longueur: 675mm
■ Ø intérieur: 10mm

Réservoir d'encre
■ volume: env. 250mL

Lxlxh: 400x400x1140mm
Poids: env. 16kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 sac de billes en verre
- 1 encre (1L)
- 1 documentation didactique

HM 150.07

Théorème de Bernoulli



Description

- étude et vérification du théorème de Bernoulli
- pressions statiques et répartition de la pression totale le long du tube de Venturi
- détermination du coefficient de débit à différents débits

Le théorème de Bernoulli décrit le rapport existant entre la vitesse d'écoulement d'un fluide et sa pression. Ainsi, une augmentation de la vitesse du fluide circulant entraîne une chute de pression et inversement. La pression totale du fluide reste elle constante. L'équation de Bernoulli est aussi désignée sous le terme de principe de la conservation de l'énergie de l'écoulement.

L'appareil d'essai HM 150.07 permet de démontrer le théorème de Bernoulli en déterminant les pressions présentes dans un tube de Venturi.

L'appareil d'essai comprend une section de tuyau avec un tube de Venturi transparent et un tube de Pitot mobile pour la mesure de la pression totale. Le tube de Pitot se trouve à l'intérieur du tube de Venturi où il subit un déplacement axial. La position du tube de Pitot peut être observée à l'aide du panneau transparent du tube de Venturi.

Le tube de Venturi est équipé de points de mesure de la pression pour la détermination des pressions statiques. Les pressions sont affichées sur le manomètre à six tubes. La pression totale est mesurée au moyen d'un tube de Pitot et affichée sur un autre manomètre à tube.

L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

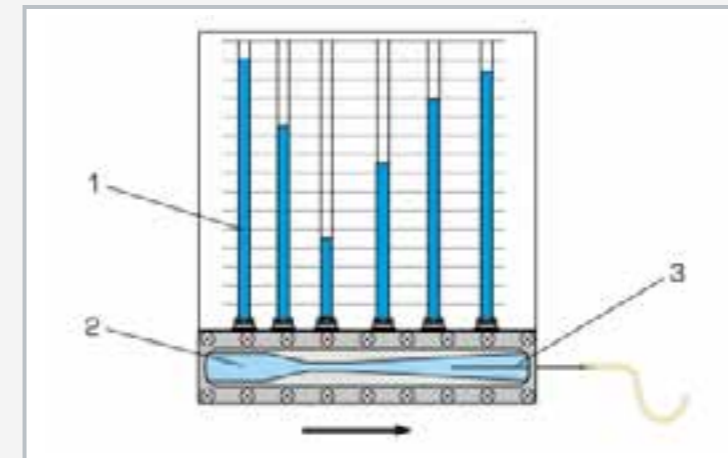
- transformation d'énergie lors d'un écoulement tubulaire divergent / convergent
- enregistrement de l'évolution de la pression dans le tube de Venturi
- détermination de l'évolution de la vitesse dans le tube de Venturi
- détermination du coefficient de débit
- reconnaissance des effets de frottement

HM 150.07

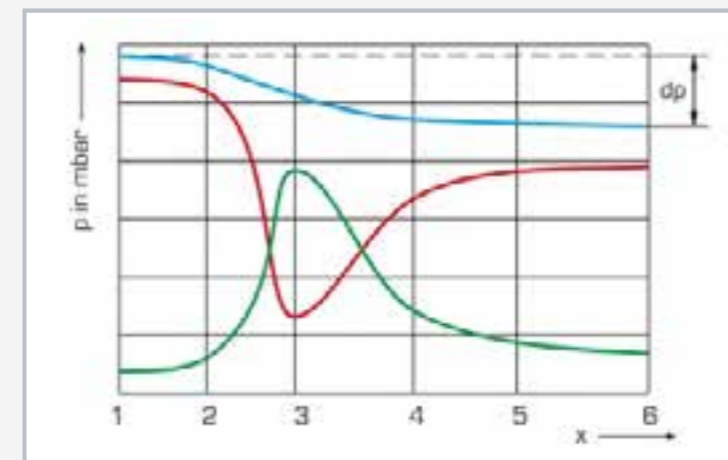
Théorème de Bernoulli



1 schéma, 2 manomètre à tubes (pressions statiques), 3 alimentation en eau, 4 soupape d'alimentation en eau, 5 tube de Venturi, 6 évacuation d'eau, 7 soupape d'évacuation d'eau, 8 tube de Pitot, 9 manomètre à tube (pression totale)



1 manomètre à tubes pour l'affichage des pressions statiques, 2 tube de Venturi avec points de mesure, 3 tube de Pitot pour la mesure de la pression totale, déplaçable axialement



Évolution de la pression dans le tube de Venturi: bleu: pression totale, rouge: pression statique, vert: pression dynamique; x points de mesure de la pression, p pression, dp perte de charge liée aux frottements

Spécification

- [1] familiarisation avec le théorème de Bernoulli
- [2] tube de Venturi avec panneau avant transparent et points de mesure pour la mesure des pressions statiques
- [3] tube de Pitot déplaçable axialement pour la détermination de la pression totale à différents points du tube de Venturi
- [4] manomètre à 6 tubes pour l'affichage des pressions statiques
- [5] manomètre à tube pour l'affichage de la pression totale
- [6] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [7] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Tube de Venturi

- A: 84...338mm²
- angle d'arrivée: 10,5°
- angle de sortie: 4°

Tube de Pitot

- plage de déplacement: 0...200mm
- Ø 4mm

Conduits et raccords: PVC

Plages de mesure

- pression:
 - ▶ 0...290mmCA (pression statique)
 - ▶ 0...370mmCA (pression totale)

Lxlh: 1100x680x900mm

Poids: env. 28kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

HM 150.08

Mesure des forces de jet



Contenu didactique/essais

- démonstration du principe de conservation de l'impulsion
- étude des forces de jet
- influence du débit et de la vitesse d'écoulement
- influence de la variation des angles de déflexion

Description

- étude des forces de jet sur des déflecteurs
- démonstration du principe de conservation de l'impulsion
- quatre déflecteurs interchangeables avec différents angles de déflexion

Le fait de ralentir, accélérer ou changer la direction d'un fluide en écoulement modifie sa vitesse, ce qui entraîne une modification de l'impulsion. Les modifications de l'impulsion produisent des forces.

Dans la pratique, on utilise les forces d'impulsion pour transformer l'énergie d'écoulement en travail technique, comme par exemple dans les turbines Pelton.

Avec le HM 150.08, on produit et on étudie les forces d'un jet à l'aide d'un jet d'eau projeté sur un déflecteur interchangeable dont la direction est alors modifiée.

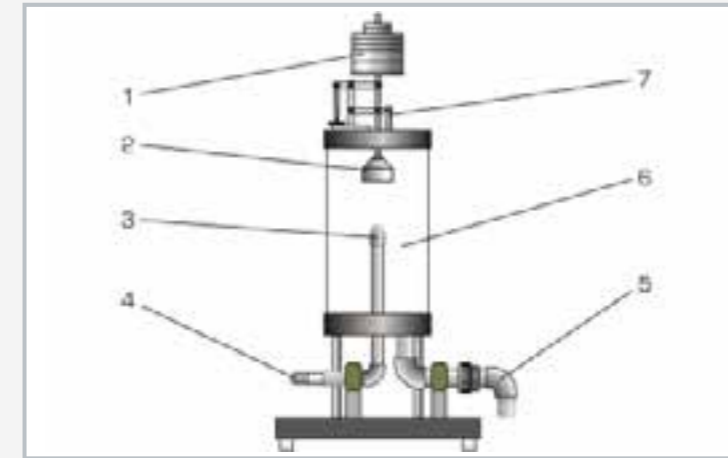
L'appareil d'essai comprend un réservoir transparent, une buse, quatre déflecteurs interchangeables avec différents angles de déflexion et une balance chargée de poids. La force du jet d'eau est ajustée par le débit.

On étudie au cours des essais l'impact de la vitesse d'écoulement et du débit ainsi que des différents angles de déflexion. Les intensités des forces du jet produites sont déterminées sur la balance chargée de poids. En se servant du principe de conservation de l'impulsion, on calcule les intensités des forces et on les compare aux mesures.

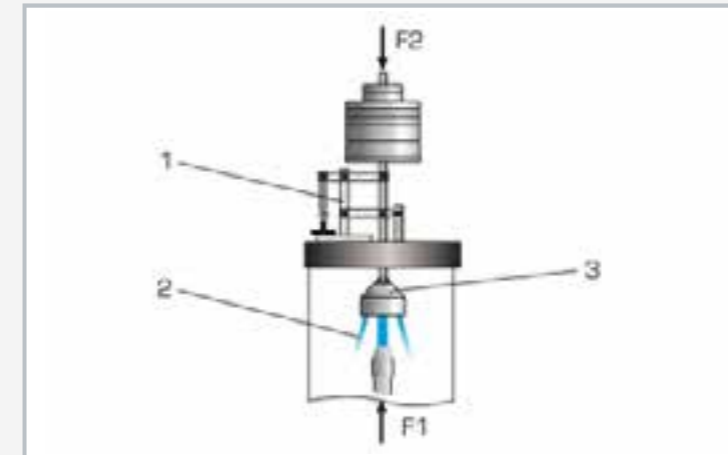
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

HM 150.08

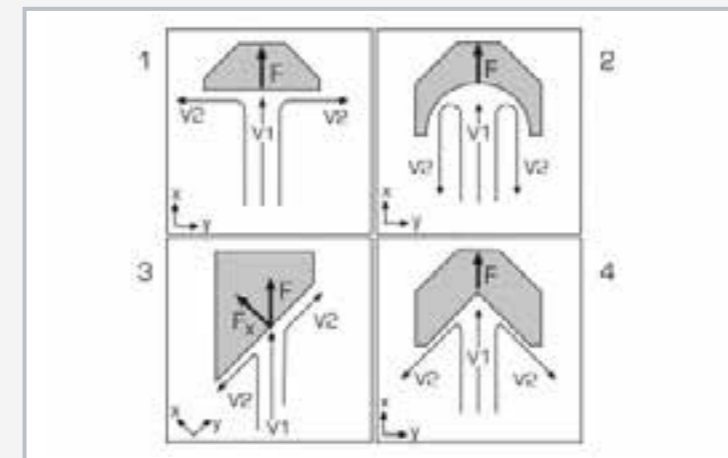
Mesure des forces de jet



1 poids, 2 déflecteur, 3 buse, 4 alimentation en eau, 5 drain d'eau, 6 réservoir, 7 système de levier



Mesure des forces de jet au moyen d'une balance chargée de poids
1 système de levier, 2 jet d'eau dévié, 3 déflecteurs à surface conique; F1 force de jet, F2 force de pesanteur



Répartition des vitesses v et des forces F sur des déflecteurs
1 déflecteur à surface plane, 2 déflecteur à surface semi-arrondie, 3 déflecteur à surface oblique, 4 déflecteur à surface conique

Spécification

- [1] études de forces de jet et démonstration du principe de conservation de l'impulsion
- [2] réservoir transparent pour l'observation des essais
- [3] buse servant à la production du jet d'eau
- [4] force de jet ajustable par l'intermédiaire du débit
- [5] 4 déflecteurs de formes différentes: surface plane, surface oblique, surface semi-arrondie et surface conique
- [6] mesure des forces de jet au moyen d'une balance chargée de poids
- [7] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [8] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le biais du réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Réservoir

- Ø intérieur: 200mm
- hauteur: 340mm

Buse

- Ø 10mm

Déflecteur

- surface plane: 90°
- surface oblique: 45°/135°
- surface semi-arrondie: 180°
- surface conique: 135°

Poids

- 4x 0,2N
- 3x 0,3N
- 2x 1N
- 2x 2N
- 2x 5N

Lxlh: 400x400x880mm

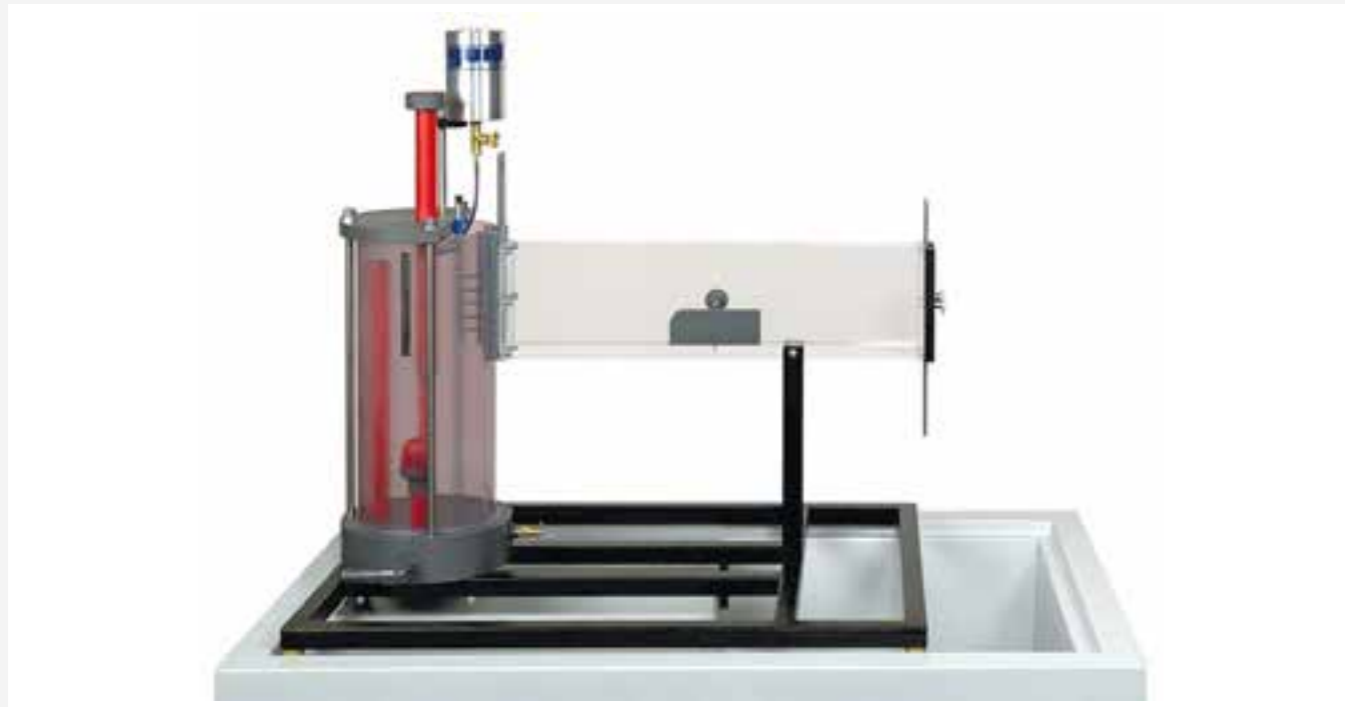
Poids: env. 23kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 4 déflecteurs
- 1 documentation didactique

HM 150.21**Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert****Description**

- écoulement autour de différents corps de résistance
- écoulement incident appliqué sur différents déversoirs
- encre utilisée comme produit de contraste pour la visualisation des lignes de courant

Le banc d'essai HM 150.21 permet de visualiser les écoulements autour de corps de résistance et les phénomènes d'écoulement dans des canaux ouverts.

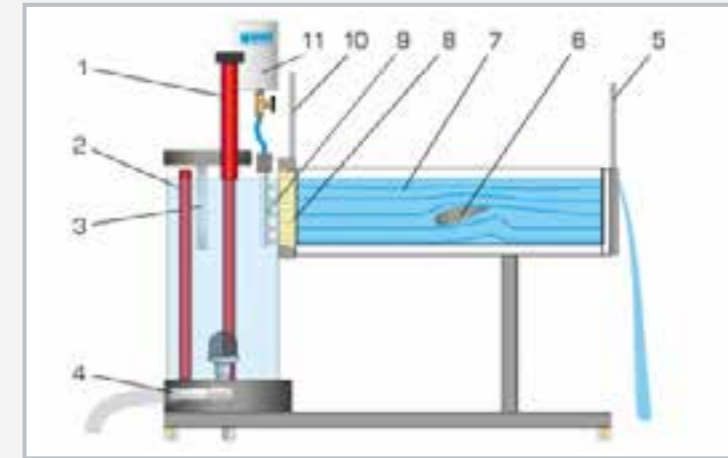
On fixe soit un corps de résistance, soit un déversoir dans le canal d'essai. Les lignes de courant sont visibles grâce à l'injection préalable du produit de contraste (encre). Le canal d'essai est transparent de manière à permettre une bonne observation des lignes de courant et de la formation des tourbillons. Le niveau d'eau dans le canal d'essai est ajustable par l'intermédiaire d'une vanne plane à l'entrée et d'un déversoir à la sortie.

Deux déversoirs et quatre corps de résistance différents sont disponibles pour réaliser les différents types d'essais. Un redresseur d'écoulement assure l'homogénéité de l'écoulement et empêche la formation de tourbillons dans l'eau.

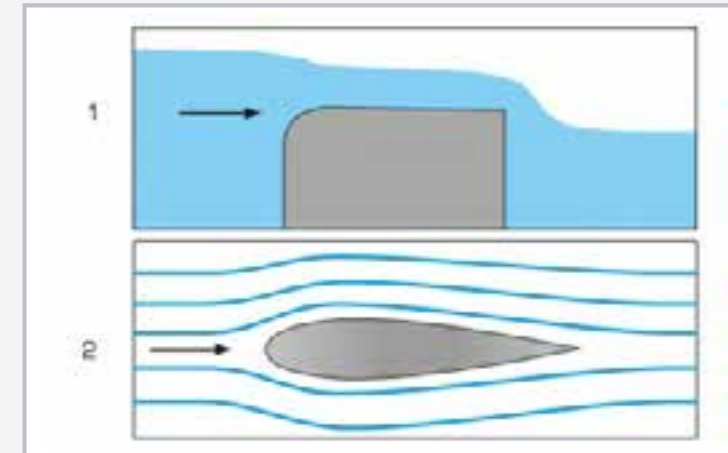
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau se fait au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

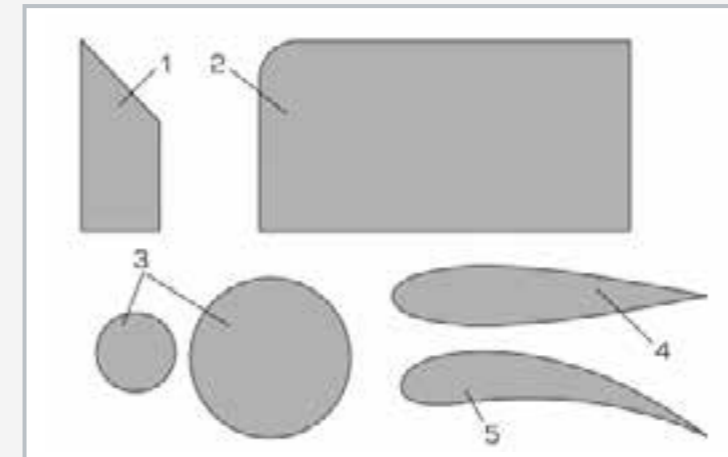
- influence sur l'écoulement des différentes formes de déversoirs
- visualisation des lignes de courant lors de l'application d'un écoulement incident sur des déversoirs
- visualisation des lignes de courant lors de l'écoulement autour de différents corps de résistance

HM 150.21**Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert**

1 trop-plein ajustable, 2 réservoir, 3 échelle graduée, 4 alimentation en eau de HM 150, 5 déversoir sur l'évacuation d'eau, 6 corps de résistance, 7 canal d'essai, 8 redresseur d'écoulement, 9 distributeur de produit de contraste, 10 vanne plane au niveau de l'entrée d'eau en direction du canal d'essai, 11 réservoir de produit de contraste



1 écoulement incident au niveau du déversoir à seuil épais, 2 écoulement autour d'un corps profilé



Corps de résistance et déversoirs fournis

1 déversoir à paroi mince, 2 déversoir à seuil épais, 3 cylindre, 4 corps profilé, 5 profil d'aube directrice

Spécification

- [1] visualisation des lignes de courant lors de l'écoulement incident et de l'écoulement autour de différents déversoirs et corps de résistance
- [2] canal d'essai transparent
- [3] écoulement incident démontré sur 2 déversoirs
- [4] écoulement autour de corps démontré sur corps de résistance différents
- [5] produit de contraste: encre
- [6] distributeur de produit de contraste avec 7 buses
- [7] niveau d'eau dans le canal d'essai ajustable au moyen d'une vanne plane à l'entrée d'eau et d'un déversoir à la sortie d'eau
- [8] redresseur d'écoulement assurant une entrée d'eau homogène exempte de tourbillons
- [9] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le biais du réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Canal d'essai

- Lxlxh: 625x20x150mm

Produit de contraste: encre

Injection du produit de contraste

- 7 buses

Réservoir d'eau: 12,5L

Réservoir d'encre: 200mL

Corps de résistance

- petit cylindre: Ø 35mm
- grand cylindre: Ø 60mm
- corps profilé
- profil d'aube directrice

Déversoirs

- déversoir à seuil épais
- déversoir à paroi mince

Lxlxh: 895x640x890mm

Poids: env. 24kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 1 jeu de corps de résistance et déversoirs
- 1 encre (1L)
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

HM 150.10

Visualisation de lignes de courant



Description

- visualisation de lignes de courant
- encre utilisée comme produit de contraste
- différents modèles sont compris dans la liste de livraison: corps de résistance et modifications de section
- sources et puits seuls ou en association

L'écoulement laminaire bidimensionnel de HM 150.10 donne une bonne approche de l'écoulement de fluides idéaux ou écoulement potentiel.

Avec le HM 150.10, on visualise les champs de lignes de courant au niveau de l'écoulement autour de corps de résistance. On visualise aussi l'écoulement traversant des modifications de section. Les lignes de courant apparaissent en couleur grâce à l'injection préalable d'un produit de contraste (encre). Les sources et les puits sont créés par l'intermédiaire de quatre raccords d'eau se trouvant dans la plaque inférieure. Les lignes de courant au niveau de l'écoulement autour ou de l'écoulement traversant sont bien visibles au travers de la plaque en verre.

Le débit d'eau et la quantité de produit de contraste injectée sont ajustés à l'aide de soupapes. Les raccords d'eau sont également activés par des soupapes et peuvent être associés de la manière souhaitée. Il est possible de découper ses propres modèles dans une plaque de caoutchouc comprise dans la liste de livraison.

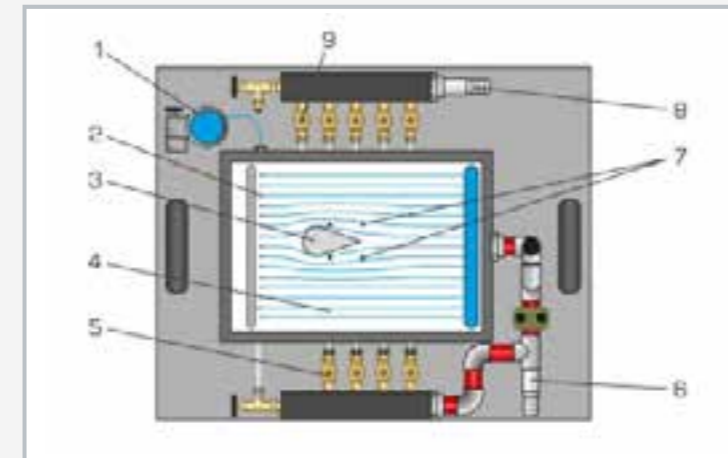
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau se fait au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

- visualisation des lignes de courant dans différents cas:
 - ▶ écoulement autour de corps de résistance
 - ▶ écoulement traversant des modifications de section
- influence des sources et des puits

HM 150.10

Visualisation de lignes de courant



1 réservoir de produit de contraste, 2 orifices d'injection du produit de contraste, 3 corps de résistance, 4 zone d'essai, 5 soupapes pour sources, 6 évacuation d'eau, 7 orifices pour sources et puits, 8 alimentation en eau, 9 soupapes pour sources



Modèles fournis: auto, triangle, carré, 2 triangles pour modification de section, 2 demi-cercles, goutte, corps profilé, profil d'aube directrice

Spécification

- [1] visualisation de lignes de courant
- [2] eau utilisée comme milieu d'écoulement et encre utilisée comme produit de contraste
- [3] plaque en verre supérieure rabattable permettant de changer les modèles
- [4] plaque inférieure avec raccords d'eau, pour la création de sources et de puits
- [5] possibilités d'associations des sources et puits au choix
- [6] différents corps de résistance et de modifications de section
- [7] plaque de caoutchouc pour la fabrication de modèles pour réaliser des études souhaitées
- [8] ajustage par soupapes de la vitesse d'écoulement, de l'alimentation en eau et de l'évacuation d'eau dans les sources et puits et du dosage du produit de contraste
- [9] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le biais du réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

La chambre d'écoulement comprend 2 plaques

- écart entre les plaques: 2mm
- plaque en verre supérieure
- plaque inférieure avec 4 raccords d'eau pour les sources/puits
- taille de la zone d'essai Lx: 400x280mm

10 corps de résistance et modifications de section

Plaque de caoutchouc pour fabriquer ses modèles

- Lxh 300x400mm
- épaisseur: 2mm

Injection du produit de contraste (encre)

- 15 orifices

Réservoir pour produit de contraste: 500mL

Lxhx: 640x520x520mm
Poids: env. 24kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de modèles
- 1 plaque de caoutchouc
- 1 encre (2x 30mL)
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

HM 150.09

Vidange horizontale d'un réservoir



Description

- visualisation de la trajectoire d'un jet de sortie
- étude d'orifices avec différents diamètres et contours
- détermination des coefficients de contraction

En hydrodynamique, dans le cas d'une vidange horizontale par des orifices, on observe le rapport entre la parabole de la trajectoire, le contour de sortie et la vitesse de sortie. Ces observations trouvent des applications pratiques par exemple en génie hydraulique ou pour le dimensionnement des vidanges de fond des barrages.

Le HM 150.09 permet d'étudier et de visualiser l'évolution d'un jet d'eau. En outre, il est possible de déterminer le coefficient de contraction en tant que trait caractéristique de différents contours.

L'appareil d'essai comprend un réservoir transparent, un dispositif palpeur ainsi qu'un panneau de visualisation des évolutions des jets. Un insert interchangeable est intégré à la sortie d'eau du réservoir afin de pouvoir étudier différents orifices. Quatre inserts avec des diamètres et contours différents sont intégrés à la liste de livraison.

Lors de la visualisation, la trajectoire du jet d'eau de sortie est enregistrée au moyen d'un dispositif palpeur constitué de barres mobiles. Les barres sont positionnées en fonction de l'évolution du jet d'eau. Ce qui permet d'obtenir une trajectoire qui est rapportée sur le panneau.

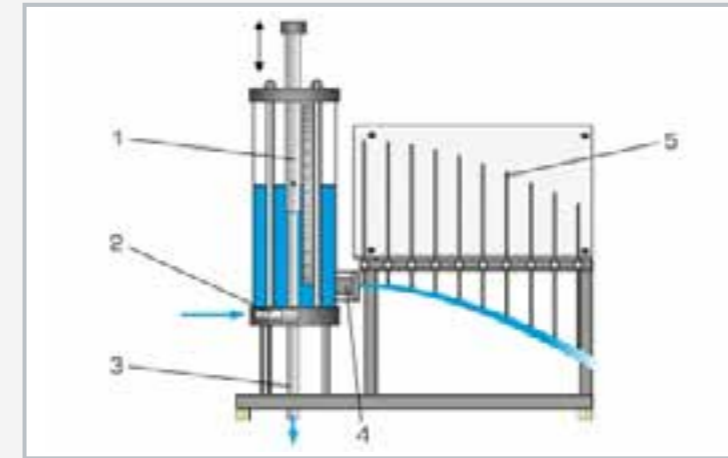
Le réservoir contient un trop-plein ajustable et une échelle graduée. Ce qui rend possibles l'ajustage et le relevé précis du niveau. L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

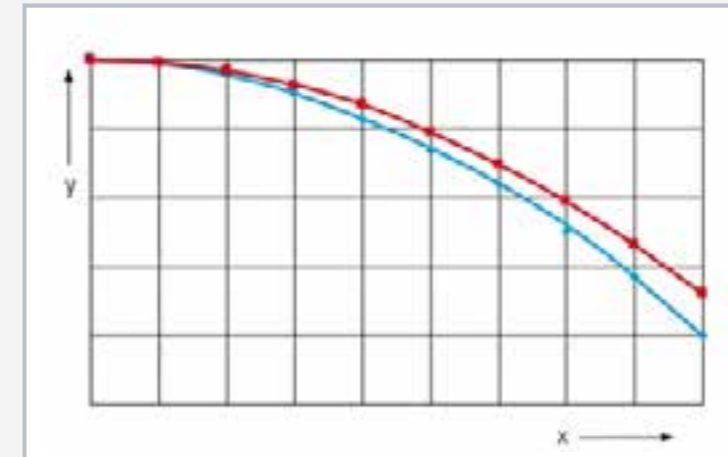
- tracé de la trajectoire d'un jet d'eau avec différentes vitesses de sortie
- étude de l'influence du niveau du réservoir sur la vitesse de sortie
- détermination du coefficient de contraction pour différents diamètres et contours
- comparaison de la vitesse de vidange réelle et théorique

HM 150.09

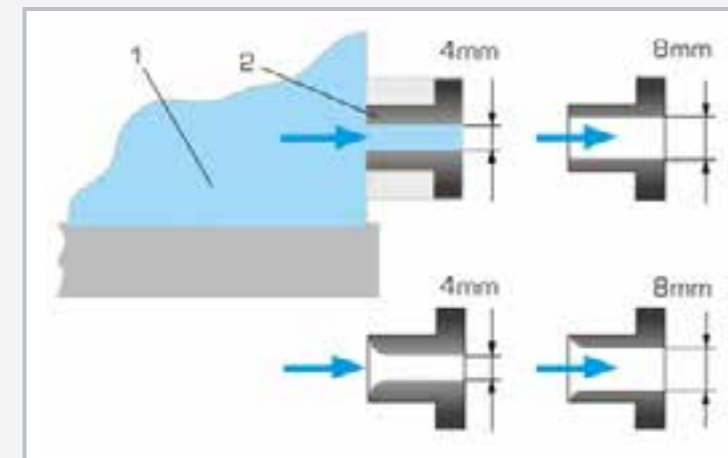
Vidange horizontale d'un réservoir



1 réservoir avec trop-plein ajustable, 2 alimentation en eau, 3 trop-plein d'eau, 4 sortie d'eau, 5 dispositif palpeur pour le jet d'eau



Trajet du jet de sortie mesuré (en bleu) et théorique calculé (en rouge)



Éléments interchangeables pour l'étude de différents orifices
1 réservoir, 2 insert; en haut: sortie du réservoir par un contour angulaire, en bas: sortie du réservoir par un contour arrondi

Spécification

- [1] étude de vidanges horizontales par des orifices
- [2] détermination du coefficient de contraction pour différents diamètres et contours
- [3] réservoir avec trop-plein ajustable et échelle graduée
- [4] 4 inserts interchangeables avec diamètres et contours différents
- [5] dispositif palpeur avec 8 barres mobiles pour la visualisation de la trajectoire du jet
- [6] panneau blanc pour l'enregistrement de la trajectoire
- [7] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [8] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le biais du réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Réservoir

- hauteur: 510mm
- Ø 190mm
- contenu: env. 13,5L

Éléments avec contour arrondi

- 1x Ø 4mm
- 1x Ø 8mm

Éléments avec contour angulaire

- 1x Ø 4mm
- 1x Ø 8mm

Dispositif palpeur, 8 barres mobiles

- longueur: 350mm

LxHx: 865x640x590mm

Poids: env. 27kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 inserts
- 1 documentation didactique

HM 150.12

Vidange verticale d'un réservoir



Contenu didactique/essais

- études au niveau du jet de sortie (diamètre, vitesse)
- détermination des pertes de charge et du coefficient de contraction pour différents profils de sortie
- détermination du débit à différentes hauteurs de contraction

Description

- détermination du diamètre et de la vitesse du jet de sortie
- étude d'orifices avec différents profils d'entrée et de sortie
- détermination du coefficient de contraction

Les pertes de charge lors de la vidange sont liées principalement à deux processus: la déviation du jet à l'entrée dans l'orifice et le frottement des parois dans l'orifice. Les pertes de charge font que le débit volumétrique sortant est inférieur à ce qu'il pourrait être en théorie.

Avec le HM 150.12, on calcule ces pertes à différents débits. On peut étudier différents diamètres et différents profils d'entrée et de sortie des orifices. En outre, il est possible de déterminer le coefficient de contraction comme caractéristique des profils différents.

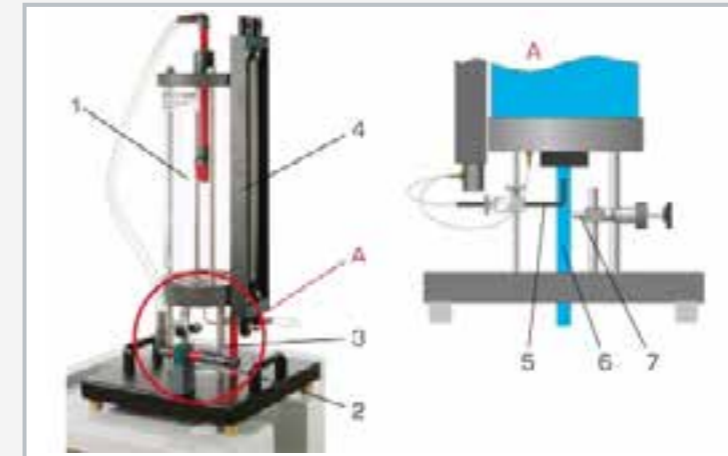
L'appareil d'essai comprend un réservoir transparent, un dispositif de mesure ainsi qu'un tube de Pitot et un manomètre à deux tubes. Pour l'étude de différents orifices, on fixe un insert interchangeable dans la sortie d'eau du réservoir. Cinq inserts ayant des diamètres et des profils d'entrée et de sortie différents sont inclus dans la liste de livraison.

Un dispositif de mesure permet d'effectuer les relevés relatifs au jet de sortie. Un tube de Pitot enregistre la pression totale de l'écoulement. Le différentiel de pression relevé par le manomètre sert à déterminer la vitesse.

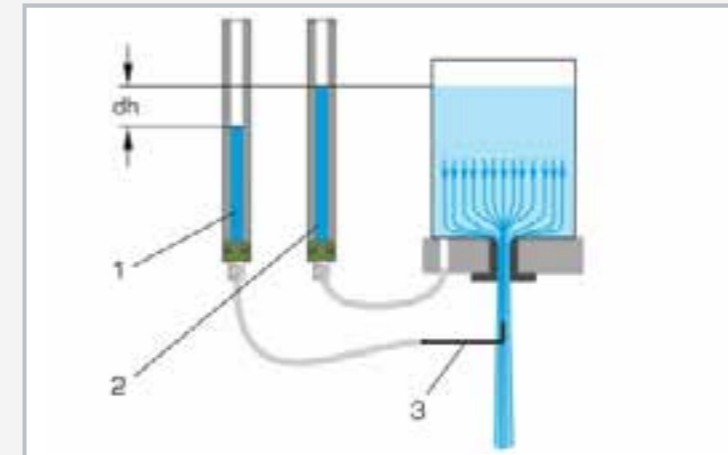
Le réservoir est équipé d'un trop-plein ajustable et d'un point de mesure de la pression statique. Ainsi, le niveau peut être ajusté de manière précise et être relevé sur le manomètre. L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

HM 150.12

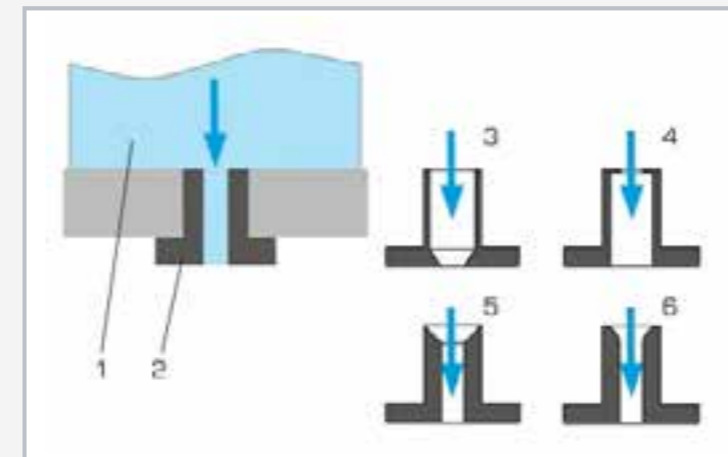
Vidange verticale d'un réservoir



1 tamis d'alimentation, 2 raccord d'eau, 3 trop-plein, 4 manomètre à double tubes, 5 tube de Pitot, 6 jet d'eau, 7 dispositif de mesure du diamètre du jet



Mesure des pressions: 1 pression totale en jet libre, 2 pression statique dans le réservoir, 3 tube de Pitot, dh perte lors de la transformation de la pression en vitesse



Inserts interchangeables pour l'étude de différents profils d'entrée et de sortie
1 réservoir, 2 insert avec alésage cylindrique, 3 insert avec sortie en forme de cône, 4 insert avec bandeau à l'entrée, 5 insert avec entrée en forme de cône, 6 insert avec entrée arrondie

Spécification

- [1] étude des pertes de charge lors des vidanges verticales des réservoirs
- [2] détermination du coefficient de contraction pour différents profils et diamètres
- [3] réservoir avec trop-plein ajustable
- [4] 5 inserts interchangeables avec différents profils
- [5] dispositif de mesure pour le calcul du diamètre du jet
- [6] tube de Pitot pour déterminer la pression totale
- [7] affichage de la pression sur le manomètre à double tubes
- [8] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [9] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Réservoir

- contenu: env. 13L
- hauteur du trop-plein: max. 400mm
- débit max.: 14L/min

Inserts

Diamètre intérieur: d_1 =entrée, d_2 =sortie

- 1x alésage cylindrique, $d_1 = d_2 = 12\text{mm}$
- 1x sortie de l'insert: cône
 $d_1 = 24\text{mm}$, $d_2 = 12\text{mm}$
- 1x entrée dans l'insert: bandeau
 $d_1 = 24\text{mm}$, $d_2 = 12\text{mm}$
- 1x entrée dans l'insert: cône
 $d_1 = 30\text{mm}$, $d_2 = 12\text{mm}$
- 1x entrée dans l'insert: arrondie
 $d_1 = d_2 = 12\text{mm}$

Plages de mesure

- pression: 500mmCA
- rayon du jet: 0...10mm

Lxlxh: 400x400x830mm

Poids: env. 18kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 5 inserts
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

Écoulement stationnaire des fluides incompressibles

Fluide

L'objet de la mécanique des fluides est l'étude des forces et mouvements des liquides et des gaz. Ces deux états de la matière sont des continus dont les éléments peuvent se déplacer légèrement les uns contre les autres. Ils sont tous deux regroupés sous la dénomination de fluides.

Écoulement incompressible

Les liquides sont **incompressibles**. Dans le cadre des applications techniques de mécanique des fluides, on considère les gaz comme étant également incompressibles, tant que la vitesse d'écoulement est inférieure à Mach 0,3. Avec une température de l'air à 20°C, cette valeur limite correspond à une vitesse de 100m/s environ et la modification de la densité d'environ 4%. En mécanique des fluides, les principes de base des écoulements de liquides et des écoulements de gaz peuvent donc dans une large mesure faire l'objet d'un enseignement commun.

Écoulement stationnaire et non stationnaire

Écoulement stationnaire: la vitesse d'une particule de fluide change en fonction de sa position et non du temps: $v=f(s)$.

Écoulement non stationnaire: la vitesse d'une particule de fluide change en fonction du temps et de sa position: $v=f(s,t)$

Des écoulements non stationnaires se forment lors de processus de vidange, de processus de démarrage et de mise à l'arrêt des turbomachines ou en cas de vibrations de liquide et de phénomènes du coup de bélier.

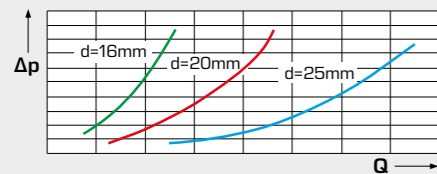
Contenus didactiques

Écoulement dans des systèmes de tuyauterie



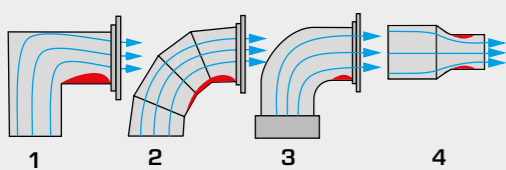
Profil de vitesse avec un écoulement entièrement formé

- laminaire (à gauche)
- turbulent (à droite)



Δp pression différentielle,
 Q débit volumétrique

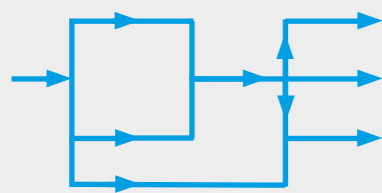
Pertes de charge dans des tuyaux droits



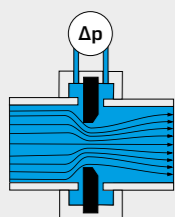
1 angle de tuyau,
2 coude à segments,
3 coude de tuyau,
4 rétrécissement

Pertes de charge dans des raccords de tuyauterie

- élargissement, rétrécissement, changement de direction
- coudes de tuyau
- coude à segments, angle de tuyau



Pertes dans des systèmes de tuyauterie à une ou plusieurs branches

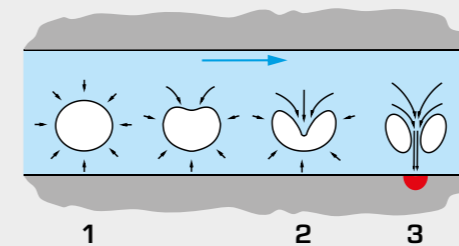


Δp pression différentielle

Techniques de mesure du débit: présentation des procédures techniques de mesure usuelles

Contenus didactiques

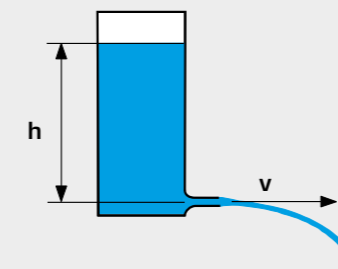
Cavitation



- 1 la bulle de vapeur se forme,
- 2 la bulle de vapeur s'affaïsse,
- 3 le jet d'eau touche la surface et entraîne la destruction des matériaux

Phénomènes de cavitation dans les systèmes techniques de tuyauterie: formation et conséquences

Processus de vidange

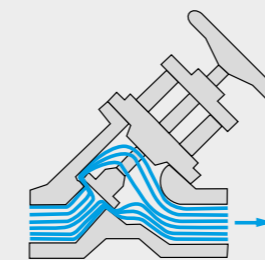


h hauteur de chute,
 v vitesse

Vidange de réservoirs

- influence de la section et de la forme de la vidange sur la section de jet
- vidange verticale, vidange horizontale

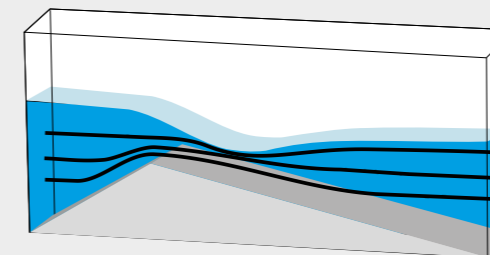
Écoulement dans des soupapes



Importance particulière accordée aux questions techniques

- types
- caractéristiques de vannes
- valeurs K_{VS}

Écoulement dans des canaux ouverts



- écoulement sous-critique et écoulement supercritique
- ouvrages de contrôle
- mesure de débit

Les contenus didactiques de la section **Écoulement stationnaire des fluides incompressibles** sont identiques à ceux que l'on trouve dans les ouvrages spécialisés presque partout dans le monde. On peut donc parler de contenus didactiques standards. Bien entendu, il est possible que des sous-sections soient traitées de manière légèrement différente. Ainsi, on peut se

demander par exemple si l'on souhaite ici traiter des **techniques de mesure du débit**.

GUNT offre un programme vous permettant de visualiser les contenus didactiques au travers d'essais en laboratoire.

HM 150.01**Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire / turbulent****Contenu didactique/essais**

- mesures de la perte de charge pour l'écoulement laminaire
- mesures de la perte de charge pour l'écoulement turbulent
- détermination du nombre de Reynolds critique
- détermination du coefficient de frottement du tuyau
- comparaison du coefficient de frottement expérimental du tuyau avec le coefficient de frottement théorique

Description

- pertes de charge linéaires lors d'un écoulement laminaire et d'un écoulement turbulent
- détermination du nombre de Reynolds critique

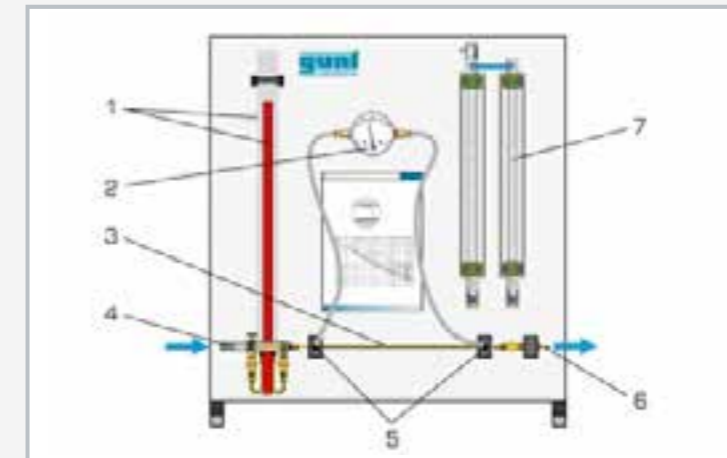
Lors de l'écoulement dans des tuyauteries, le frottement interne et le frottement entre le fluide et les parois entraînent des pertes de charge. Pour le calcul des pertes de charge, on a besoin du coefficient de frottement du tuyau, nombre caractéristique sans dimension. La détermination du coefficient de frottement du tuyau s'effectue à l'aide du nombre de Reynolds, qui décrit le rapport entre les forces d'inertie et les forces de frottement.

Le HM 150.01 permet d'étudier la relation qui existe entre la perte de charge suite au frottement du fluide et la vitesse d'écoulement dans le tuyau. Et l'on détermine en plus le coefficient de frottement du tuyau.

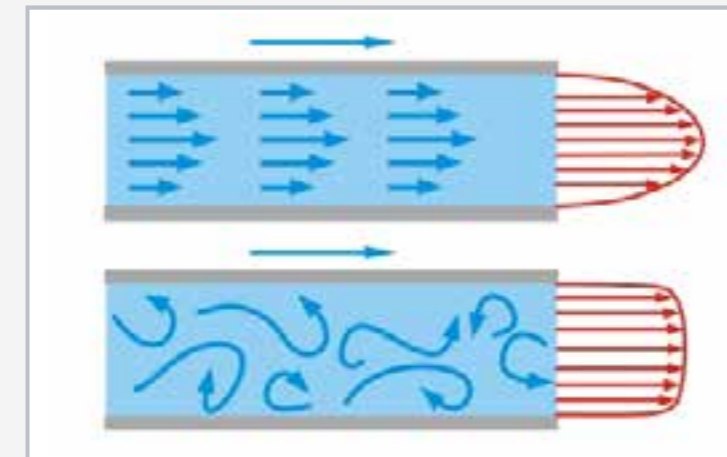
L'appareil d'essai comprend une section de tuyau de faible diamètre dans laquelle on produit un écoulement laminaire ou turbulent. Le nombre de Reynolds et le coefficient de frottement du tuyau sont déterminés à partir du débit et de la perte de charge. Tandis que dans le cas d'un écoulement turbulent la tuyauterie est alimentée directement en eau, c'est un tuyau fixé sur le trop-plein qui fournit la prépression constante requise pour l'écoulement laminaire. Le débit peut être ajusté au moyen de soupapes.

Dans le cas de l'écoulement laminaire, les pressions sont enregistrées par un manomètre à double tubes. Pour l'écoulement turbulent, la pression est relevée sur un manomètre à aiguille.

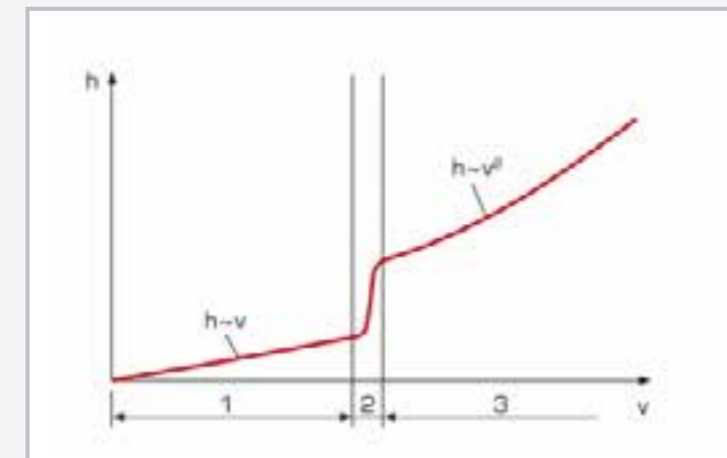
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

HM 150.01**Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire / turbulent**

1 réservoir avec trop-plein, 2 manomètre à aiguille, 3 section de tuyau, 4 alimentation en eau, 5 points de mesure de la pression, 6 évacuation d'eau, 7 manomètre à double tubes



Représentation de l'écoulement laminaire et de l'écoulement turbulent dans le tuyau en haut: écoulement laminaire, en bas: écoulement turbulent; bleu: écoulement, rouge: profil de vitesse



Pertes de charge en fonction de la vitesse dans un écoulement tubulaire
1 écoulement laminaire, 2 transition de laminaire à turbulent, 3 écoulement turbulent;
h perte de charge, v vitesse

Spécification

- [1] étude des pertes de charge linéaires lors d'un écoulement laminaire ou d'un écoulement turbulent
- [2] un réservoir transparent avec trop-plein assure une pression constante en entrée de la section de tuyau pour les essais en écoulement laminaire
- [3] ajustage du débit à l'aide de soupapes
- [4] manomètre à double tubes pour les mesures en écoulement laminaire
- [5] manomètre à aiguille pour les mesures en écoulement turbulent
- [6] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [7] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Section de tuyau
■ longueur: 400mm
■ Ø intérieur: 3mm

Réservoir: env. 2L

Plages de mesure
■ pression différentielle:
▶ 2x 370mmCA
▶ 1x 0...0,4bar

LxIxh: 850x680x930mm
Poids: env. 23kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

HM 150.11**Pertes de charge dans un système de conduites****Description**

- pertes de charge dans un système de conduites
- mesure précise de la pression par des chambres annulaires
- organes déprimogènes transparents pour la détermination du débit

Lors de l'écoulement de fluides réels, des pertes de charge se produisent en raison de frottements et de turbulences (tourbillons). Les pertes de charge dans les conduites, éléments de tuyauterie, robinetteries et organes déprimogènes (p.ex. débitmètre, tachymètre) entraînent des pertes de charge et doivent donc être prises en compte lors du dimensionnement des systèmes de tuyauterie.

Avec le HM 150.11, on étudie les pertes de charge dans les conduites, dans les éléments de tuyauterie et dans les éléments d'obturation. En outre, la méthode de la pression différentielle servant à mesurer le débit est présentée.

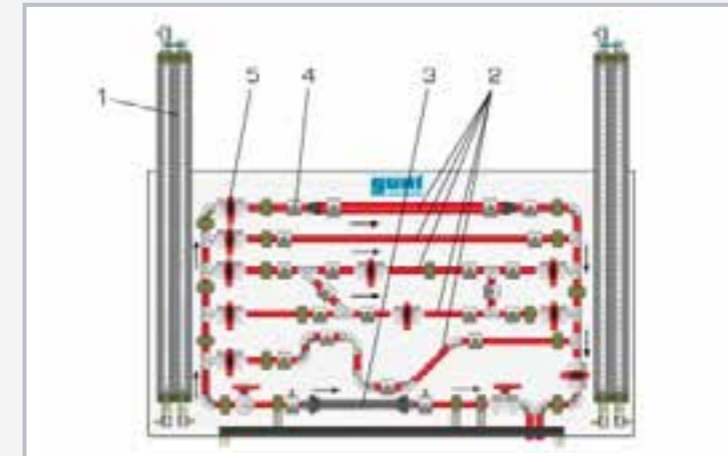
L'appareil d'essai comprend six sections de tuyau différentes, que l'on peut obtenir de manière individuelle. Les sections de tuyau sont équipées d'éléments de tuyauterie tels que des coudes, équerres ou jonctions. Dans une section de tuyau, il est possible de placer plusieurs robinetteries et organes déprimogènes pour la détermination du débit. Les organes déprimogènes sont transparents, afin d'offrir une bonne visibilité sur la construction intérieure. Les points de mesure de la pression dans le système de tuyauterie ont la forme de chambres annulaires. Cela permet une mesure précise de la pression.

Au cours d'essais, on mesure les pertes de charge dans les conduites et éléments de tuyauterie, par ex. les jonctions et coudes. Pour les éléments d'obturation, on enregistre en plus les courbes caractéristiques d'ouverture. Les pressions sont enregistrées par des manomètres à double tubes.

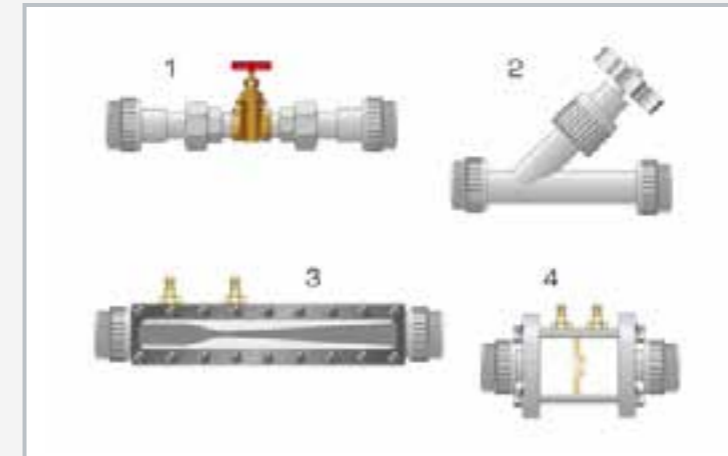
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

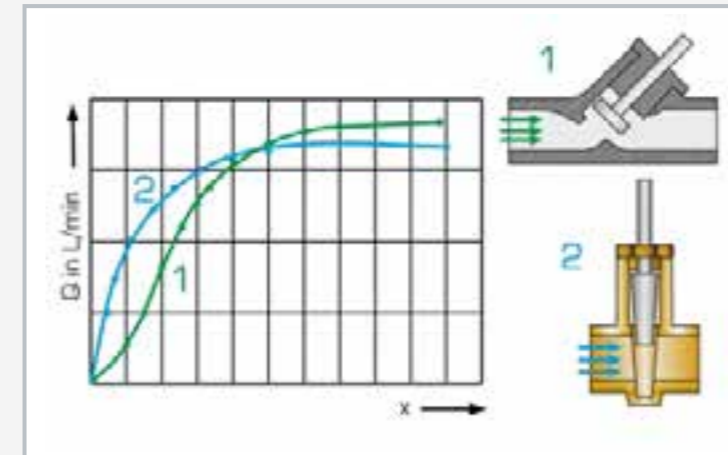
- études des pertes de charge au niveau des conduites, pièces de tuyauterie et robinetteries
- influence de la vitesse d'écoulement sur les pertes de charge
- calcul des coefficients de résistance
- courbes caractéristiques d'ouverture de la soupape à tête inclinée et du robinet-vanne
- familiarisation avec différents organes déprimogènes pour la détermination du débit:
 - ▶ tube de Venturi
 - ▶ orifice de mesure, tuyère de mesure

HM 150.11**Pertes de charge dans un système de conduites**

1 manomètre à double tubes, 2 différents sections de tuyau, 3 section de tuyau pour robinetteries/organes déprimogènes interchangeables, 4 chambre annulaire, 5 robinet à tournant sphérique pour l'obturation de la section du tuyau



Robinettes d'obturation et organes déprimogènes pour la détermination du débit
1 robinet-vanne, 2 soupape à tête inclinée, 3 tube de Venturi, 4 orifice de mesure ou tuyère de mesure



Courbes d'ouverture de robinetteries d'obturation: Q débit, x ouverture, bleu: soupape à tête inclinée, vert: robinet-vanne; 1 soupape à tête inclinée, 2 robinet-vanne

Spécification

- [1] étude des pertes de charge au niveau des pièces de tuyauterie et robinetteries
- [2] différents organes déprimogènes pour la détermination du débit selon le principe de la pression effective
- [3] 6 sections de tuyau qui peuvent être obturées de manière individuelle, avec différents éléments de tuyauterie: diminution brusque, augmentation brusque, pièces en Y, pièces en T, équerres et coudes
- [4] une section de tuyau pour l'installation de robinetteries interchangeables / organes déprimogènes
- [5] objets de mesure fabriqués dans un matériau transparent: tube de Venturi, orifice de mesure et buse de mesure
- [6] robinetteries: soupape à tête inclinée, robinet-vanne
- [7] des chambres annulaires permettent une mesure précise de la pression avec une justesse de mesure élevée
- [8] deux manomètres à double tubes pour la mesure du différentiel de pression
- [9] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [10] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Section de tuyau pour l'installation de robinetteries ou d'objets de mesure

- 20x1,5mm, PVC
- Sections de tuyau, PVC
Diamètre intérieur: d
- droit: d=20x1,5mm, longueur: 800mm
 - avec diminution brusque: d=32x1,8-20x1,5mm
 - avec augmentation brusque: d=20x1,5-32x1,8mm
 - avec 2x pièces en Y à 45° et 2x pièces en T
 - avec 2x équerres/coudes à 90°: d=20x1,5mm et 2x équerres à 45°: d=20x1,5mm
- 2x manomètres à double tubes: 0...1000mmCE

Plages de mesure
■ pression: 0...0,1bar

Lxlxh: 1550x640x1300mm
Poids: env. 58kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 robinetteries d'obturation (soupape à tête inclinée, robinet-vanne)
- 1 tube de Venturi
- 1 orifice de mesure ou tuyère de mesure
- 1 jeu de flexibles
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

HM 164

Écoulement dans un canal ouvert et dans un canal fermé

**Description**

- processus d'écoulement dans un canal ouvert: vanne, seuil et différents déversoirs
- processus d'écoulement dans un canal fermé: écoulement tubulaire
- circuit d'eau fermé avec réservoir et pompe

Avec HM 164, on démontre dans un canal ouvert différents processus d'écoulement sur divers ouvrages de contrôle. Dans le canal fermé, on détermine les pressions dans une conduite.

Le banc d'essai comprend un canal d'essai transparent avec limite supérieure, un seuil ajustable en hauteur et un circuit d'eau fermé. Le niveau de l'eau dans la section d'essai est ajusté au moyen d'un déversoir à paroi mince ajustable au niveau de la sortie d'eau. Une modification facile du montage permet d'utiliser le canal d'essai soit comme canal ouvert soit comme canal fermé.

Lors de l'étude de l'écoulement dans le canal ouvert, le niveau d'eau doit être bas. Pour la réalisation de l'essai, on fixe un déversoir au fond du canal et on utilise le seuil ajustable en hauteur. Il est également possible de démontrer l'écoulement en dessous d'une vanne. Différents déversoirs faciles à échanger sont à disposition pour tenir lieu d'ouvrages de contrôle.

Dans le cas de l'étude du canal fermé, le niveau d'eau est tel qu'il permet une traversée de l'ensemble de la section d'essai. Le seuil est ici utilisé pour modifier la section traversée.

Les pressions statiques et les pressions totales au passage de la section sont enregistrées par des tubes de mesure. La vitesse d'écoulement est calculée à partir du différentiel de pression.

Contenu didactique/essais

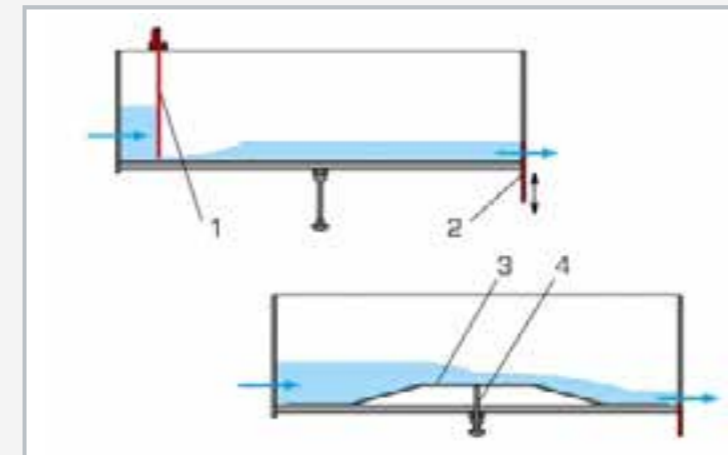
- canal ouvert
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: déversoir à seuil épais, déversoir à paroi mince, déversoir à crête arrondie avec évacuateur en forme de saut de ski, seuil
 - ▶ écoulement en dessous d'une vanne
 - ▶ ressaut
- canal fermé
 - ▶ écoulement tubulaire avec section d'écoulement constante et variable
 - ▶ mesure de la pression statique et de la pression totale
 - ▶ calcul de la vitesse d'écoulement

HM 164

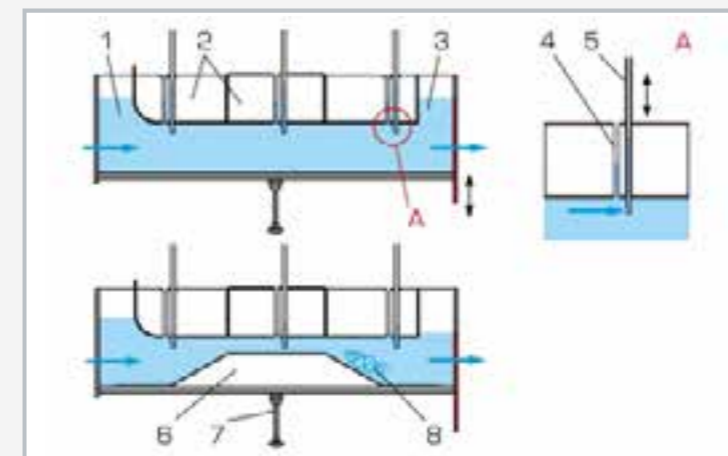
Écoulement dans un canal ouvert et dans un canal fermé



1 vanne plane, 2 alimentation en eau, 3 ajustage en hauteur du seuil, 4 réservoir de stockage, 5 déversoir à crête arrondie positionné dans le canal d'essai, 6 limite supérieure, 7 évacuation d'eau avec déversoir à paroi mince au niveau de la sortie d'eau, 8 tube de mesure



Processus d'écoulement dans un canal ouvert; 1 écoulement sous une vanne, 2 déversoir à paroi mince au niveau de la sortie d'eau, 3 écoulement au-dessus d'un seuil, 4 ajustage en hauteur du seuil



Processus d'écoulement dans un canal fermé; 1 entrée, 2 limite supérieure, 3 sortie, 4 mesure de la pression statique, 5 mesure de la pression totale, 6 seuil, 7 ajustage en hauteur du seuil, 8 turbulences

Spécification

- [1] étude des processus d'écoulement dans un canal ouvert et dans un canal fermé
- [2] canal d'essai avec limite supérieure transparente
- [3] ajustage en hauteur du seuil du canal d'essai
- [4] niveau de l'eau ajustable au moyen du déversoir à paroi mince positionné à la sortie
- [5] modification facile du montage du canal ouvert au canal fermé
- [6] ouvrages de contrôle pour les essais dans le canal ouvert: déversoir à seuil épais, déversoir à paroi mince, déversoir à crête arrondie avec évacuateur en forme de saut de ski, seuil, vanne
- [7] section d'essai entièrement traversée et modification de section au moyen d'un seuil pour les essais dans le canal ouvert
- [8] circuit d'eau fermé avec réservoir de stockage et pompe
- [9] tubes de mesure transparents pour la mesure de la pression statique et de la pression totale

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur: 1,1m
- section lxh: 40x300mm

Réservoir de stockage: 70L

Pompe

- puissance absorbée: 250W
- débit de refoulement max.: 150L/min
- hauteur de refoulement max.: 7,6m

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1900x800x1350mm
Poids à vide: env. 150kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'ouvrages de contrôle
- 1 déversoir à paroi mince
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

HM 111

Réseaux de tuyauteries



Description

- construction de différents réseaux de tuyauteries
- pertes de charge dans différents éléments de tuyauterie et réseaux de tuyauteries
- circuit d'eau fermé avec réservoir et pompe

L'une des tâches importantes de la construction de conduites consiste à déterminer la pression et le débit dans des systèmes de conduites complexes. Dans la pratique, on se sert du calcul des pertes totales de pression comme base pour le dimensionnement de groupes d'entraînement d'installations de chauffage ou de climatisation, d'installations d'alimentation en eau potable ainsi que de parties d'installations de traitement des eaux usées. La connaissance des pertes de charge est en plus utilisée pour optimiser leur fonctionnement.

Le HM 111 permet la construction et l'étude de différents réseaux de tuyauteries tels que les montages de tuyaux en parallèle et en série, leur ramification et leur réunion, ainsi que l'étude de tuyaux seuls. Par analogie avec les lois de Kirchhoff sur l'électricité, il est possible de réaliser des analyses au niveau des nœuds.

Les cinq sections de tuyau prémontées sur la partie supérieure du banc d'essai sont reliées entre elles à l'aide d'éléments de tuyauterie pour former des réseaux de tuyauteries. Les réservoirs, tuyaux, éléments de tuyauterie et robinetteries sont entièrement en plastique. Les différentes sections de tuyau sont bloquées par des robinets à tournant sphérique. Dans le cadre d'essais, on enregistre et on évalue les pertes de charge dans différentes configurations de réseaux de tuyauteries.

Deux manomètres pour différentes plages de mesure sont fournis pour les mesures de pression différentielle. La mesure du débit se fait de manière volumétrique.

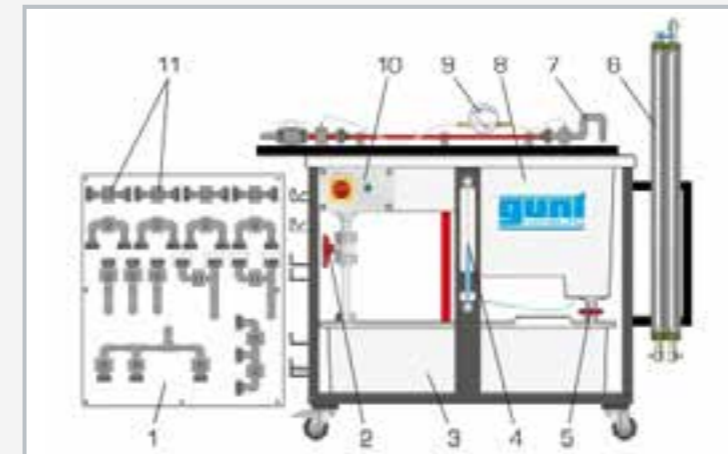
Le banc d'essai est équipé de sa propre alimentation en eau. Le circuit d'eau fermé comprend un réservoir de stockage avec pompe submersible.

Contenu didactique/essais

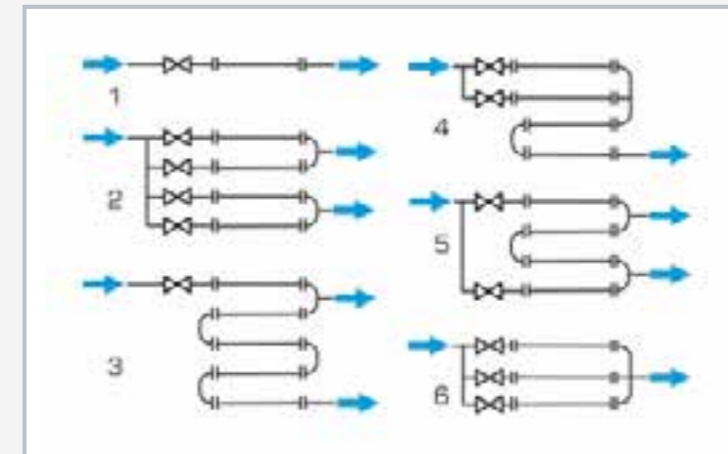
- enregistrement de la courbe d'étalonnage de différentes sections de tuyau: perte de pression en fonction du débit
- montages de sections de tuyau en parallèle
- montages de sections de tuyau en série
- montage combiné en série et en parallèle
- étude d'une conduite circulaire
- mesure de pression différentielle
- pertes de charge dans différents éléments de tuyauterie

HM 111

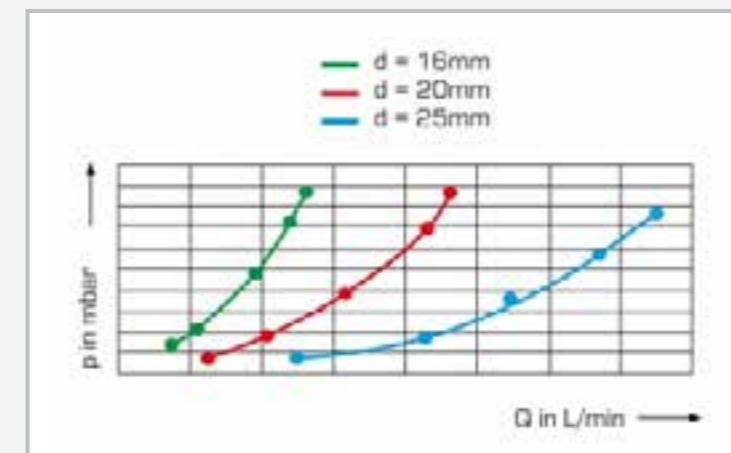
Réseaux de tuyauteries



1 panneau avec éléments de tuyauterie, 2 soupape pour l'ajustage du débit, 3 réservoir de stockage avec pompe submersible, 4 affichage du remplissage avec réservoir de mesure, 5 robinet-vanne pour la purge du réservoir de mesure, 6 manomètre à double tubes, 7 sections de tuyau, 8 réservoir de mesure, 9 manomètre de pression différentielle, 10 coffret de distribution, 11 point de mesure de la pression



Différentes configurations de réseaux de tuyauteries: 1 étalonnage de sections de tuyau, 2 doublage, 3 montage en série, 4 montages en parallèle et en série, 5 conduite circulaire, 6 montage en parallèle



Le diagramme montre la perte de pression par le débit pour différents diamètres de tuyau: p pression, Q débit, d diamètre intérieur

Spécification

- [1] étude de différents réseaux de tuyauteries
- [2] 5 sections de tuyau prémontées avec différents diamètres
- [3] panneau pour éléments de tuyauterie
- [4] construction de réseaux de tuyauteries avec des sections de tuyau et différents éléments de tuyauterie
- [5] étalonnage de sections de tuyau
- [6] montages en parallèle et montage en série de sections de tuyau
- [7] construction d'une conduite circulaire
- [8] mesure de la pression différentielle avec manomètre à double tubes et manomètre de pression différentielle
- [9] mesure du débit avec réservoir de mesure verrouillable, chronomètre et affichage du remplissage

Caractéristiques techniques

Pompe

- puissance absorbée: 250W
- débit de refoulement max.: $9\text{m}^3/\text{h}$
- hauteur de refoulement max.: 7,6m

Réseau de tuyauterie, débit de refoulement max.: $4,8\text{m}^3/\text{h}$

Sections de tuyau, longueur respective de 700mm

- 1x $\text{Ø} 25 \times 1,9\text{mm}$
- 2x $\text{Ø} 20 \times 1,5\text{mm}$
- 2x $\text{Ø} 16 \times 1,2\text{mm}$

Réservoir d'eau: 180L

Réservoir pour mesure du débit:

- petite plage de mesure: 10L
- grande plage de mesure: 40L

Chronomètre: 1/100s

Plages de mesure

- pression différentielle:
 - ▶ 1x 0...1bar
 - ▶ 1x 0...100mbar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1550x800x1600mm
Poids: env. 117kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 chronomètre
- 1 documentation didactique

Appareils d'essai du domaine des turbomachines

Les turbomachines représentent un domaine important de la mécanique des fluides. Parmi elles, on distingue les machines motrices et les machines réceptrices. Les turbines font partie des machines motrices tandis que les pompes sont des machines réceptrices classiques.

Tous les appareils d'essai présentés ici fonctionnent avec de l'eau. Ils sont utilisés comme introduction à la thématique des turbomachines.

Les appareils d'essai font partie de la série HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font par l'intermédiaire du module de base HM 150.

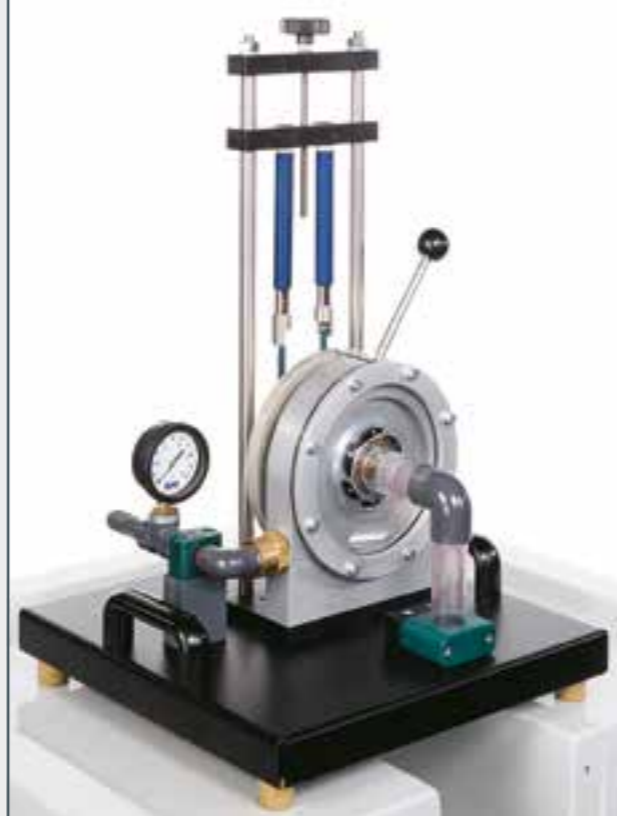
Machines motrices

HM 150.19
Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton



- modèle de turbine à jet libre et de turbine à pression constante
- face avant transparente pour permettre l'observation de la zone de travail
- pointeau ajustable pour l'ajustage de différentes sections de buse

HM 150.20
Principe de fonctionnement d'une turbine Francis



- modèle de turbine Francis et de turbine à réaction
- face avant transparente pour permettre l'observation de la zone de travail
- aubes directrices ajustables pour l'ajustage de différents angles d'incidence

Machines réceptrices

HM 150.04
Pompe centrifuge



- étude d'une pompe centrifuge et d'une courbe caractéristique typique de pompe
- détermination du rendement de la pompe
- étude de l'influence de la vitesse de rotation sur la puissance et la pression de refoulement

HM 150.16
Montage en série et en parallèle de pompes



- étude de pompes individuelles, en montage en série et en montage en parallèle
- enregistrement de courbes caractéristiques de pompes et détermination du point de fonctionnement
- détermination de la puissance hydraulique de pompes

HM 150.19

Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton



Contenu didactique/essais

- la structure et le fonctionnement d'une turbine Pelton
- détermination du couple de rotation, de la puissance et du rendement
- représentation graphique des courbes caractéristiques pour le couple de rotation, la puissance et le rendement

2E

Description

- modèle d'une turbine à jet libre Pelton
- zone de travail visible
- tuyère avec section transversale ajustable
- sollicitation par frein à bande

Les turbines à eau sont des turbomachines qui servent à utiliser l'énergie hydraulique. La turbine Pelton fait partie des turbines à jet libre qui transforment l'énergie de pression de l'eau, entièrement en énergie cinétique au sein du distributeur. Pendant ce processus, le jet d'eau est accéléré dans une tuyère et est dirigé sur les aubes de la roue Pelton d'une manière tangentielle. Dans les aubes, le jet d'eau est dévié à presque 180°. L'impulsion du jet d'eau est transmise à la roue Pelton.

Le HM 150.19 est le modèle d'une turbine Pelton qui sert à présenter le fonctionnement d'une turbine à action.

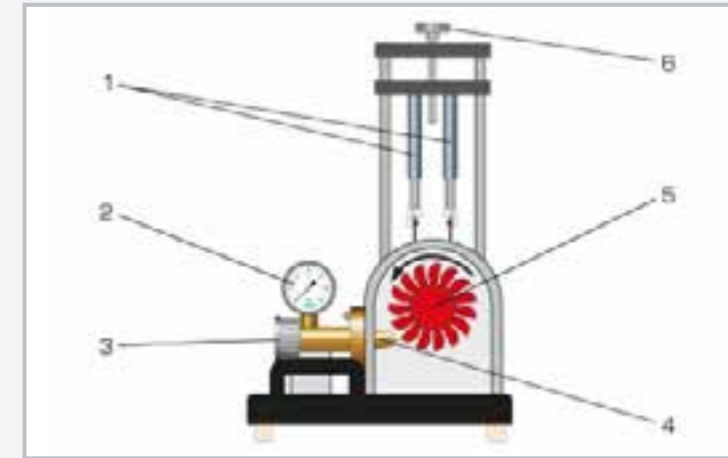
L'appareil d'essai se compose de la roue Pelton, de la tuyère à aiguille utilisée comme distributeur, d'un frein à bande pour solliciter la turbine et d'un carter avec paroi frontale transparente. Ainsi, on peut observer l'écoulement de l'eau, la roue Pelton et la tuyère pendant l'opération. En ajustant l'aiguille de la tuyère, on modifie la section transversale de la tuyère et donc le débit.

Le couple de rotation de la turbine est déterminé à partir de la mesure de force au frein à bande. Pour mesurer la vitesse de rotation, il faut un capteur de vitesse de rotation sans contact, p. ex. HM 082. Un manomètre affiche la pression de l'eau à l'entrée de la turbine.

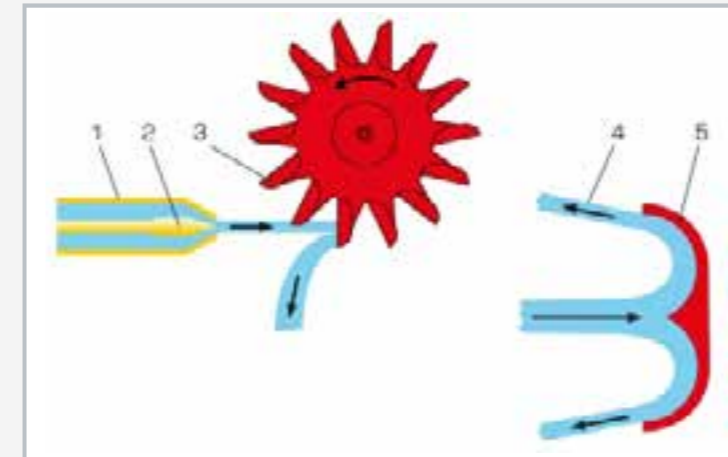
L'appareil d'essai est positionné sur le plan de travail du module de base HM 150 d'une manière simple et conforme à la sécurité. L'alimentation en eau et détermination du débit sont également réalisées par HM 150. Alternativement, l'appareil d'essai peut aussi être opéré par le réseau du laboratoire.

HM 150.19

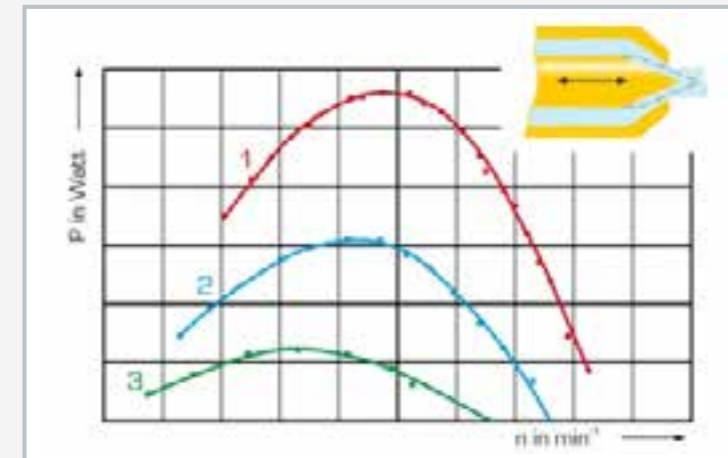
Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton



1 balance à ressort, 2 manomètre, 3 ajustage de la section transversale de la tuyère, 4 tuyère à aiguille, 5 roue Pelton, 6 ajustage du frein à bande



Principe de fonctionnement de la turbine Pelton; 1 tuyère à aiguille, 2 aiguille de tuyère ajustable, 3 aube sur la roue Pelton, 4 jet d'eau après changement de direction, 5 coupe transversale de l'aube



Courbes de puissance à différentes positions de l'aiguille de la tuyère; 1: Q=31,6L/min, 2: Q=18,8L/min, 3: Q=11,5L/min; n vitesse de rotation, P puissance de la turbine

Spécification

- [1] fonctionnement d'une turbine Pelton
- [2] paroi frontale transparente pour observer la zone de travail
- [3] sollicitation de la turbine par frein à bande
- [4] aiguille de tuyère ajustable pour ajuster les sections transversales différentes de la tuyère
- [5] repère sur le tambour de frein pour mesurer la vitesse de rotation sans contact physique
- [6] instrumentation: balances à ressort pour déterminer le couple de rotation, un manomètre affiche la pression à l'entrée de la turbine
- [7] détermination du débit dans la module de base HM 150
- [8] alimentation en eau réalisée à l'aide du module de base HM 150 ou sur le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Turbine Pelton

- puissance: 5W à 500min⁻¹, env. 30L/min, H=2m
- roue Pelton
 - ▶ 14 aubes
 - ▶ largeur de l'aube: 33,5mm
 - ▶ Ø extérieur: 132mm

Tuyère à aiguille

- diamètre du jet: 10mm

Plages de mesure

- force: 2x 0...10N
- pression: 0...1bar

Lxlh: 400x400x620mm

Poids: env. 15kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

HM 150.20

Principe de fonctionnement d'une turbine Francis



Contenu didactique/essais

- la structure et le fonctionnement d'une turbine Francis
- détermination du couple de rotation, de la puissance et du rendement
- représentation graphique des courbes caractéristiques pour le couple de rotation, la puissance et le rendement

2E

Description

- modèle d'une turbine à réaction
- zone de travail transparente
- turbine avec des aubes directrices réglables
- sollicitation par frein à bande

Les turbines à eau sont des turbomachines qui servent à utiliser l'énergie hydraulique. La turbine Francis fait partie des turbines à réaction qui transforment l'énergie de pression de l'eau en énergie cinétique dans le distributeur et dans le rotor. Le distributeur est alimenté en eau par un carter en spirale. L'eau en écoulement est accélérée dans le distributeur par les aubes directrices réglables et dirigée sur les aubes mobiles. Le changement de direction et l'accélération continue de l'eau dans le rotor génèrent une impulsion qui est transmise au rotor.

Le HM 150.20 est le modèle de la turbine Francis qui sert à présenter le fonctionnement d'une turbine à réaction.

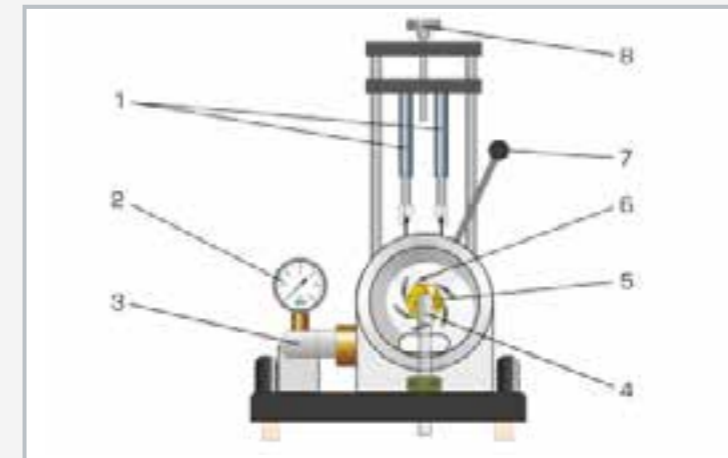
L'appareil d'essai se compose du rotor, du distributeur aux aubes directrices, d'un frein à bande pour solliciter la turbine et d'un carter avec paroi frontale transparente. Ainsi, on peut observer l'écoulement d'eau, le rotor et les aubes directrices pendant le fonctionnement. En ajustant les aubes directrices, on modifie l'angle d'écoulement et donc la puissance du rotor.

Le couple de rotation de la turbine est déterminé partir de la mesure de force au frein à bande. Pour mesurer la vitesse de rotation, il faut un capteur de vitesse de rotation sans contact, p. ex. HM 082. Un manomètre affiche la pression de l'eau à l'entrée de la turbine.

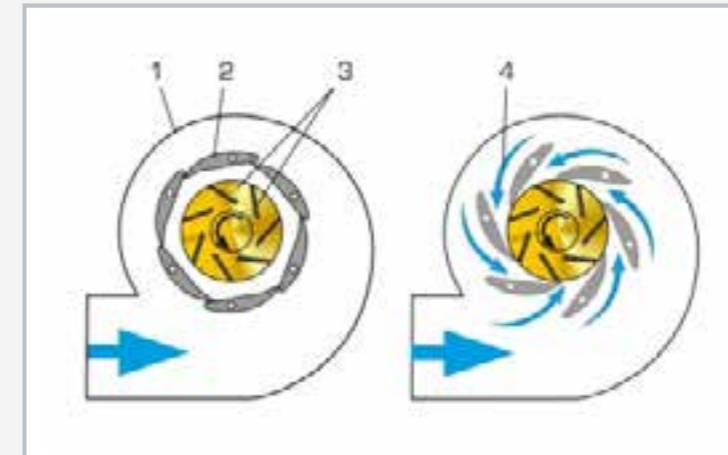
L'appareil d'essai est positionné sur le plan de travail du module de base HM 150 d'une manière simple et conforme à la sécurité. L'alimentation en eau et détermination du débit sont également réalisées par HM 150. Alternativement, l'appareil d'essai peut aussi être opéré par le réseau du laboratoire.

HM 150.20

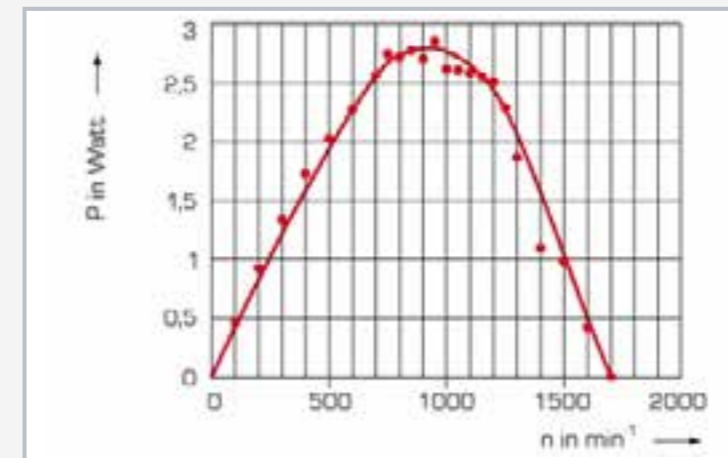
Principe de fonctionnement d'une turbine Francis



1 balance à ressort, 2 manomètre, 3 arrivée d'eau, 4 écoulement de l'eau, 5 rotor, 6 aubes directrices, 7 ajustage des aubes directrices, 8 ajustage du frein à bande



Principe de fonctionnement de la turbine Francis; 1 carter en spirale, 2 aube directrice, 3 rotor avec aubes mobiles, 4 écoulement; à gauche: position d'aube directrice fermée, Q=0, P=0; à droite: position d'aube directrice ouverte, Q=max., P=max.



Courbe caractéristique pour la puissance à l'arbre de turbine; P puissance de la turbine, n vitesse de rotation

Spécification

- [1] fonctionnement de la turbine Francis
- [2] paroi frontale transparente pour observer la zone de travail
- [3] sollicitation de la turbine par frein à bande
- [4] aubes directrices réglables pour fixer les différents angles d'écoulement
- [5] repère sur le tambour de frein pour mesurer la vitesse de rotation sans contact physique
- [6] instrumentation: balances à ressort pour déterminer le couple de rotation, un manomètre affiche la pression à l'entrée de la turbine
- [7] détermination du débit dans la module de base HM 150
- [8] alimentation en eau réalisée à l'aide du module de base HM 150 ou sur le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

Turbine

- puissance: 12W à $n=1100\text{min}^{-1}$, env. 40L/min, H=8m
- rotor
 - ▶ 7 aubes
 - ▶ largeur de l'aube: 5mm
 - ▶ Ø extérieur: 50mm
- aubes directrices
 - ▶ 6 aubes réglables (20 étages)

Plages de mesure

- force: 2x 0...10N
- pression: 0...1,0bar

Lxlh: 400x400x630mm

Poids: env. 17kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

HM 150.04

Pompe centrifuge



L'illustration montre HM 150.04 avec HM 150.

Description

- caractéristique d'une pompe centrifuge
- vitesse de rotation variable avec convertisseur de fréquence

Les pompes centrifuges sont des turbomachines qui sont utilisées pour l'acheminement de fluides. Le HM 150.04 permet d'étudier le fonctionnement d'une pompe centrifuge et d'enregistrer une caractéristique typique de pompe.

L'appareil d'essai comprend une pompe centrifuge auto-amorçante, un robinet à tournant sphérique du côté sortie et des manomètres du côté d'entrée et du côté sortie. L'entraînement est effectué au moyen d'un moteur asynchrone. La vitesse de rotation est ajustable en continu par un convertisseur de fréquence. La hauteur de refoulement est ajustée à l'aide d'un robinet à tournant sphérique.

Au cours des essais, le comportement en service de la pompe en fonction du débit de refoulement est étudié et représenté sur des caractéristiques. La vitesse de rotation et la puissance électrique du moteur sont affichées numériquement. Les pressions à l'entrée et à la sortie sont affichées sur deux manomètres.

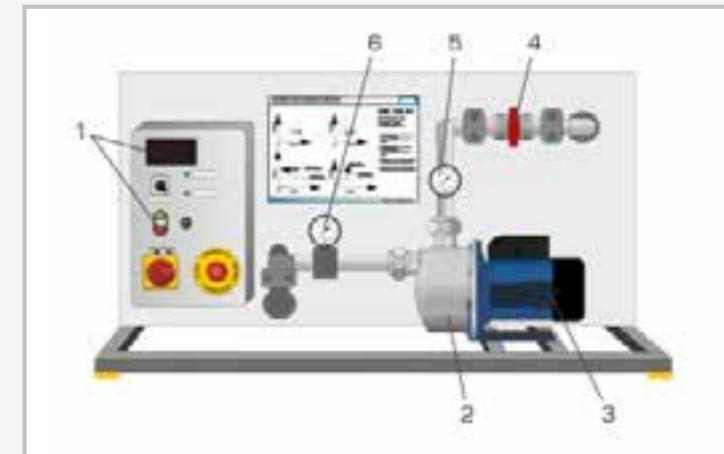
L'appareil d'essai se place facilement et en toute sécurité sur le plan de travail du module de base HM 150. La pompe aspire l'eau du réservoir du module de base HM 150. Le retour de l'eau dans le réservoir de mesure de HM 150 permet de déterminer le débit volumétrique.

Contenu didactique/essais

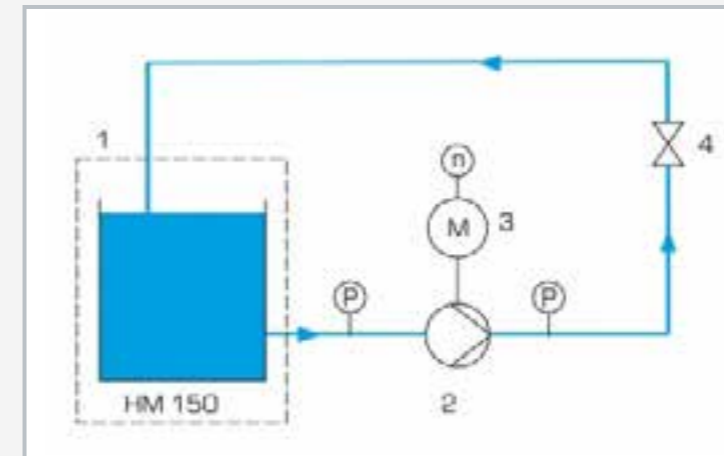
- familiarisation avec le comportement en service et avec les données caractéristiques d'une pompe centrifuge
- enregistrement de la caractéristique d'une pompe à vitesse de rotation constante de la pompe
 - ▶ mesure des pressions d'entrée et de sortie
 - ▶ détermination du débit de refoulement
- enregistrement des caractéristiques de la pompe pour différentes vitesses de rotation
- détermination des évolutions de performance et de rendement
 - ▶ mesure de la puissance d'entraînement électrique
 - ▶ détermination de la puissance hydraulique
 - ▶ calcul du rendement

HM 150.04

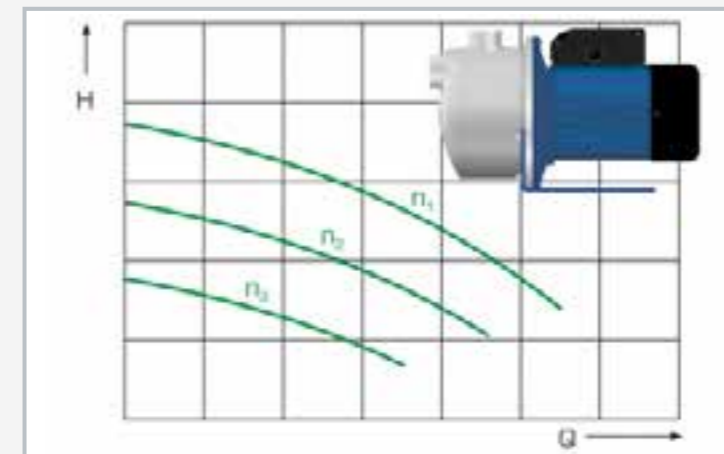
Pompe centrifuge



1 éléments d'affichage et de commande, 2 pompe centrifuge, 3 moteur, 4 robinet à tournant sphérique pour l'ajustage de la hauteur de refoulement, 5 manomètre à l'entrée, 6 manomètre à la sortie



1 alimentation en eau par HM 150, 2 pompe centrifuge, 3 moteur, 4 robinet à tournant sphérique pour l'ajustage de la hauteur de refoulement; P pression, n vitesse de rotation



Caractéristiques pour des vitesses de rotation différentes
H hauteur de refoulement, Q débit, n vitesse de rotation

Spécification

- [1] étude d'une pompe centrifuge
- [2] entraînement avec vitesse de rotation variable, ajustable en continu par un convertisseur de fréquence
- [3] robinet à tournant sphérique pour l'ajustage de la hauteur de refoulement
- [4] manomètres à l'entrée et à la sortie dans la pompe
- [5] affichage numérique de la vitesse de rotation et de la puissance
- [6] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [7] alimentation en eau à l'aide du module de base HM 150

Caractéristiques techniques

Pompe centrifuge, auto-amorçante
 ■ débit de refoulement max.: 3000L/h
 ■ hauteur de refoulement max.: 36,9m

Moteur asynchrone
 ■ puissance nominale: 370W

Plages de mesure
 ■ pression (sortie): -1...5bar
 ■ pression (entrée): -1...1,5bar
 ■ vitesse: 0...3000min⁻¹
 ■ puissance: 0...1000W

Plages de mesure
 ■ pression (sortie): -1...5bar
 ■ pression (entrée): -1...1,5bar
 ■ vitesse de rotation: 0...3000min⁻¹
 ■ puissance: 0...1000W

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 Lxlxh: 1100x640x600mm
 Poids: env. 46kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

HM 150.16**Montage en série et en parallèle de pompes****Description**

- montage en série et en parallèle de pompes
- détermination des caractéristiques des pompes

Dans des installations complexes, il est possible d'utiliser des pompes montées en série ou en parallèle. Dans ces cas, les hauteurs de refoulement s'ajoutent lorsqu'il s'agit de montage en série, alors que ce sont les débits de refoulement s'ajoutent lorsqu'il s'agit de montage en parallèle. La montage en série et en parallèle de pompes se conduit comme la montages en série et en parallèle de résistivités en circuits. La pompe est équivalent avec la résistivité, l'écoulement avec le courant de conduction et la hauteur de refoulement avec la tension.

Avec le HM 150.16, les pompes sont étudiées individuellement, dans des montages en série et dans des montages en parallèle

L'appareil d'essai comprend deux pompes centrifuges de même type et un réservoir d'aspiration avec trop-plein. Le trop-plein assure une hauteur d'aspiration constante dans le réservoir indépendamment de l'alimentation en eau. Les robinets à tournant sphérique situés dans les conduites permettent de passer facilement du montage en parallèle au montage en série et vice et versa.

Les pressions à l'entrée et à la sortie des deux pompes sont affichées sur manomètres.

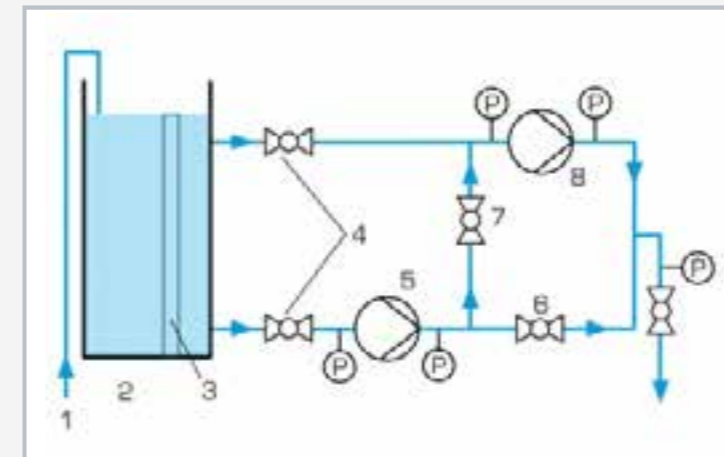
L'appareil d'essai est positionné aisément et en toute sécurité, sur le plan de travail du module de base HM 150. L'alimentation en eau et la mesure du débit se font au moyen du HM 150. L'appareil d'essai peut être également utilisé sur le réseau du laboratoire.

Contenu didactique/essais

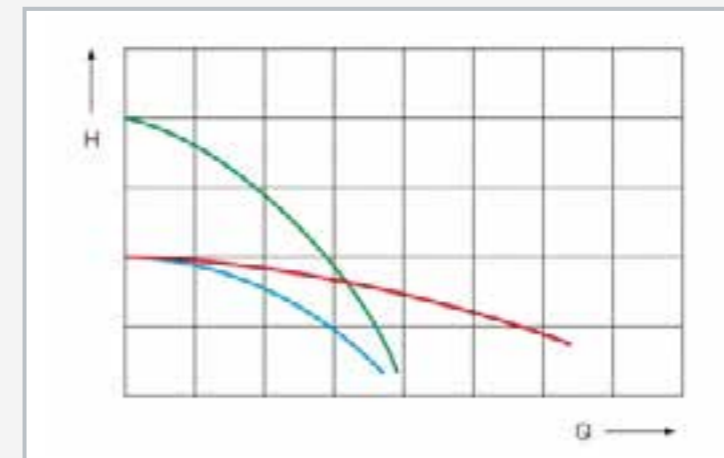
- étude de pompes montées en série et en parallèle
 - ▶ détermination de la hauteur de refoulement
 - ▶ enregistrement de la caractéristique de la pompe
 - ▶ détermination de la puissance hydraulique
 - ▶ détermination du point de fonctionnement

HM 150.16**Montage en série et en parallèle de pompes**

1 réservoir, 2 trop-plein, 3 raccord d'eau, 4 robinet à tournant sphérique, 5 pompe, 6 disjoints des pompes, 7 drain, 8 manomètre



1 raccord d'eau, 2 réservoir, 3 trop-plein, 4 robinet à tournant sphérique, 5 pompe 1, 6 et 7 robinets à tournant sphérique pour le passage du montage en série au montage en parallèle et vice versa, 8 pompe 2; P pression



Caractéristiques, en bleu: une pompe seule en fonctionnement, en rouge: montage de pompes en parallèle, en vert: montage de pompes en série; H hauteur de refoulement, Q débit

Spécification

- [1] étude du montage en série et en parallèle de pompes
- [2] 2 pompes centrifuges de même type
- [3] réservoir transparent utilisé comme réservoir d'aspiration
- [4] trop-plein situé dans le réservoir, assure une hauteur d'aspiration constante
- [5] passage du montage en série au montage en parallèle et vice versa par des robinets à tournant sphérique
- [6] manomètres à l'entrée et à la sortie de chaque pompe
- [7] détermination du débit au moyen du module de base HM 150
- [8] alimentation en eau par HM 150 ou par le réseau du laboratoire

Caractéristiques techniques

- 2x pompes centrifuges
- puissance absorbée: 370W
- débit de refoulement max.: 21L/min
- hauteur de refoulement max.: 12m

Réservoir: 13L
Conduits et raccords de conduits: PVC

- Plages de mesure
- pression (entrée): 2x -1...1,5bar
 - pression (sortie): 3x 0...2,5bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxIxh: 1110x650x500mm
Poids: env. 62kg

Nécessaire pour le fonctionnement

HM 150 (circuit d'eau fermé) ou raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

Série HM 150

Initiation aux bases de la mécanique des fluides

Écoulement stationnaire dans des tuyauteries

HM 150.11

Pertes de charge dans un système de conduites



HM 150.11
Pertes de charge dans un système de conduites

HM 150.01
Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire / turbulent

HM 150.29
Perte d'énergie dans des éléments de tuyauterie

Écoulement laminaire / turbulent, nombre de Reynolds

HM 150.18

Essai d'Osborne Reynolds



HM 150.18
Essai d'Osborne Reynolds

HM 150.01
Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire / turbulent

Détermination du metacentre

HM 150.06

Stabilité des corps flottants



HM 150.06
Stabilité des corps flottants

Écoulement stationnaire dans un canal ouvert

HM 150.21

Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert



HM 150.21
Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert

HM 150.03
Déversoirs à paroi mince pour HM 150

Théorème de Bernoulli / mesure du débit

HM 150.13

Principes de base de la mesure de débit



HM 150.13
Principes de base de la mesure de débit

HM 150.11
Pertes de charge dans un système de conduites

HM 150.07
Théorème de Bernoulli

Écoulement non stationnaire

HM 150.15

Bélier hydraulique – refoulement réalisé à l'aide de coups de bélier



HM 150.15
Bélier hydraulique – refoulement réalisé à l'aide de coups de bélier

Écoulement autour de corps

HM 150.10

Visualisation de lignes de courant



HM 150.10
Visualisation de lignes de courant

HM 150.21
Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert

Vidange de réservoirs

HM 150.09

Vidange horizontale d'un réservoir



HM 150.09
Vidange horizontale d'un réservoir

HM 150.12
Vidange verticale d'un réservoir

Turbomachines

HM 150.04

Pompe centrifuge



HM 150.04
Pompe centrifuge

HM 150.16
Montage en série et en parallèle de pompes

HM 150.19
Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton

HM 150.20
Principe de fonctionnement d'une turbine Francis

Forces de jet

HM 150.08

Mesure des forces de jet



HM 150.08
Mesure des forces de jet

Formation de tourbillon libre / forcée

HM 150.14

Formation de tourbillons



HM 150.14
Formation de tourbillons

Les appareils GUNT de la série HM 150 démontrent des phénomènes et permettent de réaliser des essais simples sur les thèmes de la mécanique des fluides suivantes:

- écoulement stationnaire dans des tuyauteries
- écoulement laminaire et turbulent, nombre de Reynolds
- équation de continuité, théorème de Bernoulli
- méthodes de mesure du débit
- vidange de réservoirs
- formation de tourbillon libre et forcé
- écoulement dans un canal ouvert
- écoulement autour de corps
- écoulement non stationnaire sur un bélier hydraulique
- turbomachines
- forces de jet

Le module de base HM 150 offre un circuit d'eau fermé pour l'alimentation des différents appareils d'essai. L'appareil d'essai et le module de base d'alimentation en eau sont raccordés entre eux par un flexible. La mesure du débit est volumétrique.

Tous les appareils sont construits de telle manière à pouvoir être placés en toute sécurité et de façon stable sur le module de base.



HM 150**Module de base pour essais de mécanique des fluides****Description**

- **alimentation en eau des appareils d'essai utilisés en mécanique des fluides**
- **mesure du débit volumétrique pour de grands et petits débits**
- **les nombreux accessoires permettent de réaliser un cours de formation élémentaire complet en mécanique des fluides**

La série d'appareils HM 150 délivre un grand aperçu des essais expérimentaux élémentaires pouvant être réalisés en mécanique des fluides. Pour les besoins individuels, le module de base HM 150 fournit l'essentiel: l'alimentation en eau dans un circuit fermé; la détermination du débit volumétrique, ainsi que le positionnement de l'appareil sur le plan de travail du module de base et la collecte de l'eau d'égouttement.

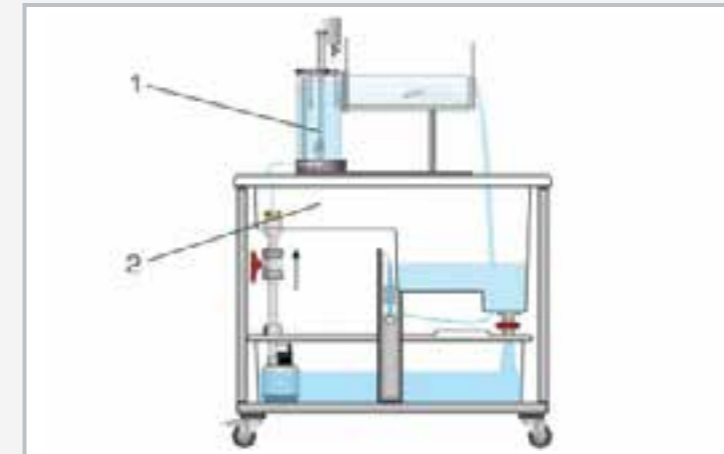
Le circuit d'eau fermé est constitué d'un réservoir de stockage sous-jacent équipé d'une pompe submersible puissante et d'un réservoir de mesure placé au-dessus et destiné à collecter l'eau en sortie.

Le réservoir de mesure a plusieurs niveaux, adaptés aux petits et grands débits volumétriques. Pour les très petits débits volumétriques, on utilise un béccher de mesure. Les débits volumétriques sont déterminés à l'aide d'un chronographe.

Le plan de travail placé en haut permet de bien positionner les différents appareils. Un canal d'essais est intégré au plan de travail. Il est prévu pour les essais réalisés avec des déversoirs (HM 150.03).

HM 150**Module de base pour essais de mécanique des fluides**

1 soupape d'étranglement, 2 trop-plein, 3 réservoir de stockage avec pompe submersible, 4 robinet-vanne pour vider le réservoir de mesure, 5 indicateur de niveau, 6 réservoir de mesure



HM 150.21 (1) mis en place sur le module de base HM 150 (2)



Module de base pour les essais réalisés en mécanique des fluides avec déversoir à paroi mince HM 150.03

Spécification

- [1] module de base servant à alimenter les appareils utilisés en mécanique des fluides
- [2] circuit d'eau fermé avec pompe submersible, réservoir de stockage et réservoir de mesure
- [3] réservoir de mesure à deux composants, pour les mesures volumétriques
- [4] béccher de mesure gradué pour les très petits débits volumétriques
- [5] mesure des débits volumétriques réalisée à l'aide d'un chronographe
- [6] plan de travail avec canal d'essais intégré pour les essais réalisés avec des déversoirs
- [7] plan de travail avec arête intérieure pour la mise en place des accessoires et la collecte de l'eau d'égouttement
- [8] réservoir de stockage, réservoir de mesure et plan de travail en matière plastique renforcée de fibres de verre

Caractéristiques techniques**Pompe**

- puissance absorbée: 250W
- débit de refoulement max.: 150L/min
- hauteur de refoulement max.: 7,6m

Réservoir de stockage, contenu: 180L

Réservoir de mesure

- pour grands débits volumétriques: 40L
- pour petits débits volumétriques: 10L

Canal

- Lxlxh: 530x150x180mm

Béccher de mesure gradué pour les très petits débits volumétriques

- contenu: 2L

Chronographe

- plage de mesure: 0...9h 59min 59sec

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1230x770x1070mm

Poids: env. 85kg

Liste de livraison

- 1 module de base
- 1 chronomètre
- 1 gobelet gradué
- 1 jeu d'accessoires
- 1 notice

Écoulement non stationnaire dans les tuyauteries et les cheminées d'équilibre

Écoulement non stationnaire

Les écoulements caractérisés par une variation temporelle de l'état en un point défini sont désignés comme étant non stationnaires. Seules les variations causées par des turbulences font exception à la règle. Sur les écoulements à surface libre, l'écoulement non stationnaire se présente sous la forme de variation temporelle du niveau d'eau.

Les écoulements non stationnaires apparaissent sur tous les processus de démarrage et d'arrêt des turbomachines, dans les appareils et les tuyauteries, ainsi que dans les processus d'écoulement hors de réservoirs caractérisés par un niveau de liquide variable, sans oublier les vibrations du liquide (cheminées d'équilibre), les coups de bélier observés dans les tuyauteries et les canaux ouverts (houle et onde négative).

En pratique, la compréhension des écoulements non stationnaires est nécessaire à la conception économique des tuyauteries (réserve en cas de risque de coup de bélier) dans les systèmes de distribution de l'eau, les installations technologiques et les centrales hydro-électriques.

GUNT vous propose des appareils d'essai bien conçus pour examiner les écoulements non stationnaires des tuyauteries, représenter les coups de bélier et le principe du fonctionnement des cheminées d'équilibre, utilisées comme éléments de sécurité dans les centrales hydro-électriques.

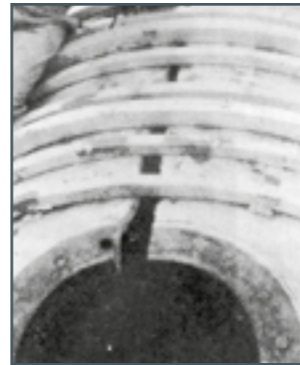
Nous présentons l'effet profitable du coup de bélier dans le refoulement de l'eau en expliquant le principe du bélier hydraulique.



Écroulement du réservoir suite à un coup de bélier



Tuyauterie et fixations détruites après un coup de bélier



Destruction d'une tuyauterie causée par un coup de bélier

Coups de bélier dans les tuyauteries

L'apparition de coups de bélier dans les tuyauteries est un phénomène fréquent observé sur les écoulements non stationnaires. Les variations de la pression et du débit peuvent entraîner une nette augmentation ou diminution de la pression définie dans des tuyaux donnés.

Les coups de bélier sont causés par la:

- fermeture ou ouverture d'organes d'obturation dans un tuyau
- mise en marche et arrêt de pompes ou de turbines
- remise en marche d'installations
- modification du niveau d'arrivée d'eau

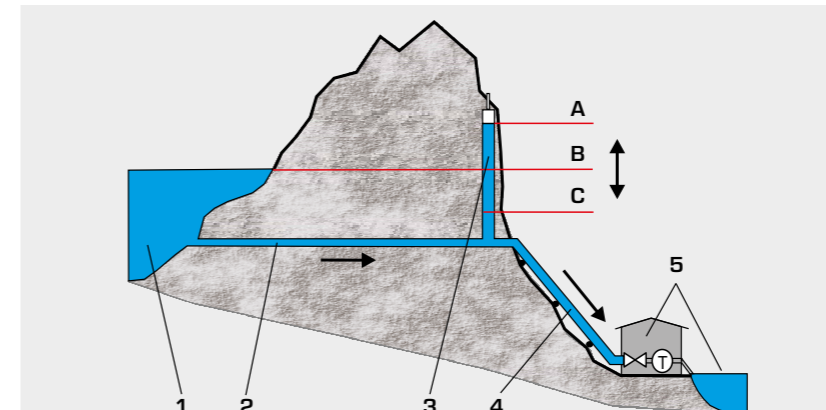
Effet des coups de bélier

Les coups de bélier causent des dommages sur l'installation concernée. Les tuyaux peuvent éclater, les fixations risquent d'être endommagées. Par ailleurs, les robinetteries, les pompes, les fondations ou tout autre élément des tuyauteries (par ex. échangeurs thermiques) sont également en danger. Dans les conduites d'eau potable, un coup de bélier peut entraîner l'aspiration d'eau sale en provenance de l'extérieur. Comme un endommagement des tuyauteries n'est pas toujours immédiatement décelé (par ex. détérioration de la bride), il est nécessaire de calculer l'apparition éventuelle des coups de bélier dès la conception des tuyauteries.

Réduction des coups de bélier

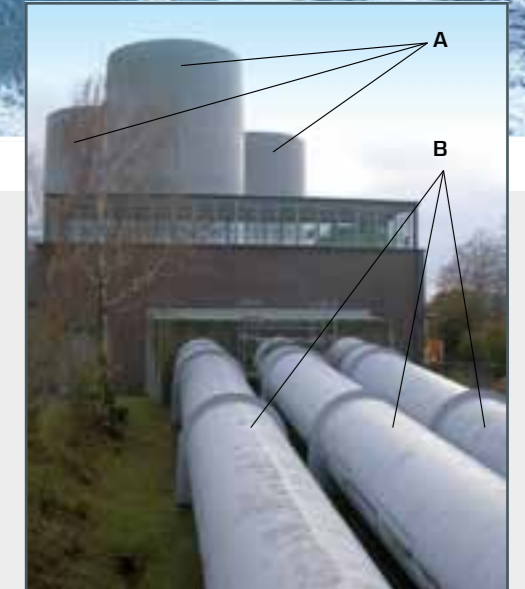
Sur les petites sections nominales, la mise en place d'un réservoir compensateur ou le choix de la robinetterie peut influencer l'apparition des coups de bélier. En raison des temps de fermeture plus longs, les vannes et les vannes à obturateur sont moins concernées que les vannes ou les robinets d'arrêt. Il est possible de protéger les tuyauteries des coups de bélier en montant des soupapes de sûreté.

Dans les tuyauteries à grande section ou à grande hauteur de refoulement, l'effet des coups de bélier peut être réduit ou éliminé en commandant lentement la vanne à obturateur ou en installant des cheminées d'équilibre à l'entrée des conduites forcées (comparable aux bassins de compensation).



Centrale hydro-électrique avec cheminée d'équilibre, exploitante les conditions géologiques naturelles

1 retenue d'eau, 2 conduites forcées, 3 cheminée d'équilibre avec niveau d'eau variable, 4 conduite forcée, 5 bâtiment à turbine avec écoulement d'eau; A arrêt de la turbine, B position immobile, C démarrage de la turbine



Aménagement hydraulique à accumulation par pompage Nieder-wartha, Dresde (Allemagne). À l'entrée des trois conduites forcées, on a trois cheminées d'équilibre qui se présentent sous forme de réservoirs ouverts. A cheminées d'équilibre, B conduites forcées

Principe de la cheminée d'équilibre

Pour réduire les variations de la pression dans les centrales hydro-hydrauliques, on recourt à des cheminées d'équilibre. L'eau qui circule dans la conduite forcée, est déviée dans la cheminée d'équilibre à la fermeture des robinetteries. Le niveau d'eau peut augmenter ou diminuer jusqu'à ce qu'il se stabilise

à nouveau. L'énergie cinétique de l'eau en circulation dans la conduite forcée est ainsi transformée en énergie potentielle du niveau d'eau supérieur dans la cheminées d'équilibre et non en énergie de pression destructive.

Le tableau montre un extrait du programme pédagogique classique en école d'ingénieur. Les appareils GUNT couvrent dans une très large mesure ces contenus didactiques.

Contenus didactiques de l'écoulement non stationnaire	Produits GUNT
Écoulement des réservoirs à niveau d'eau variable: vitesse d'écoulement	HM 150.09, HM 150.12
Coups de pression: étude des coups de bélier et des ondes de pression dans les tuyauteries, représentation des variations du coup de bélier, détermination de la vitesse du son dans l'eau, détermination du temps de réflexion, détermination du coup de bélier (le coup de bélier de Joukowski), influence du débit / la vitesse de fermeture des robinetteries sur le coup de bélier	HM 155, HM 156, HM 143
Bélier hydraulique: exploitation des coups de bélier pour le refoulement de l'eau	HM 150.15
Vibration d'une cheminée d'équilibre: principe du fonctionnement d'une cheminée d'équilibre, Fréquence propre des vibrations	HM 143, HM 156
Houle et onde négative: écoulement non stationnaire, par ex. dans les canaux ouverts	HM 160 à HM 163
Processus d'écoulement non stationnaires: écoulement, processus d'écoulement différés (rétention)	HM 143
Onde de crue	
Processus d'écoulements non stationnaires dans les turbomachines hydrauliques: cavitation	HM 380, ST 250

HM 156

Coups de bélier et cheminée d'équilibre



L'illustration montre un appareil similaire.

Description

- visualisation des coups de bélier
- fonction d'une cheminée d'équilibre
- détermination de la vitesse du son dans l'eau
- logiciel GUNT de représentation des coups de bélier et des oscillations

Dans les installations industrielles de type centrales hydro-électriques ou dans les systèmes d'alimentation en eau, les variations du débit entraînent des variations de la pression. On remarque ce phénomène par exemple à la mise en marche et à l'arrêt des machines hydrauliques, ou à l'ouverture et à la fermeture des éléments de barrage. On fait la différence entre les variations rapides de la pression qui se propagent à la vitesse du son (coups de bélier) et les variations lentes de la pression causées par des oscillations de masse. Pour amortir les coups de bélier et les oscillations de masse, des amortisseurs à air ou des cheminées d'équilibre sont mis en place dans les tuyauteries.

HM 156 permet de générer et de visualiser les coups de bélier dans les tuyauteries et d'expliquer le fonctionnement d'une cheminée d'équilibre. Le banc d'essai est équipé d'une section de tuyau munie d'un robinet à tournant

sphérique et d'une cheminée d'équilibre, et d'une deuxième section de tuyau avec électrovanne.

Le premier essai est consacré à la génération d'un coup de bélier en fermant rapidement le robinet à tournant sphérique. Lors du freinage brusque de la masse d'eau, l'énergie cinétique est libérée et transformée dans la cheminée d'équilibre en énergie potentielle. Les oscillations dues à pression qui apparaissent, sont enregistrées par un capteur de pression placé derrière la cheminée d'équilibre, puis représentées par le logiciel comme évolution de pression. Le mouvement du niveau de l'eau se présente sous la forme d'un mouvement oscillatoire dans la cheminée d'équilibre.

Dans le deuxième essai, la fermeture rapide de l'électrovanne génère un coup de bélier élevé dans la deuxième section de tuyau. L'énergie cinétique de l'eau est transformée en énergie de pression. Le coup de bélier et les variations qui s'en suivent, sont enregistrés par deux capteurs de pression placés dans la section de tuyau et représentés dans le logiciel sous forme de évolution de pression.

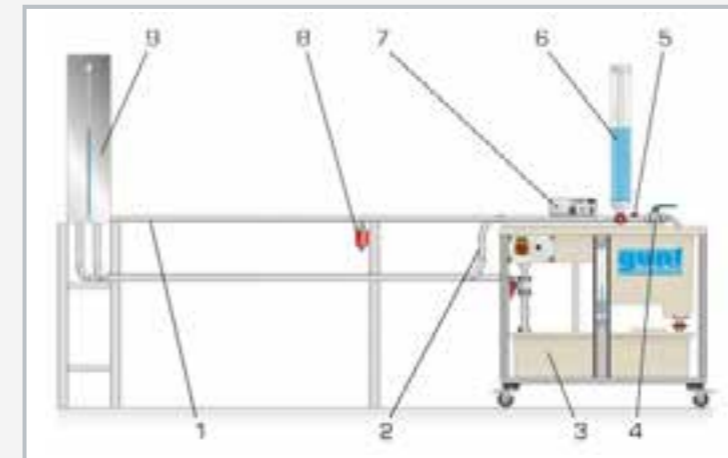
L'alimentation en eau et la mesure du débit sont réalisées par le module d'alimentation.

Contenu didactique/essais

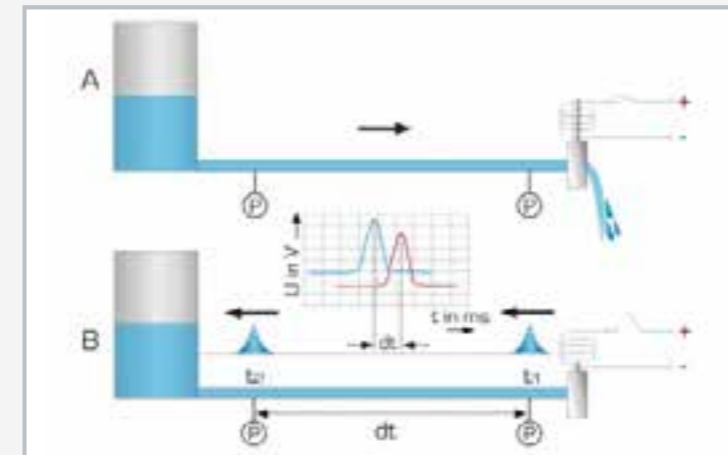
- compréhension des processus d'écoulement non stationnaires dans les tuyauteries par les essais
 - ▶ présentation des coups de bélier dans les tuyauteries
 - ▶ détermination de la vitesse du son dans l'eau
 - ▶ compréhension du fonctionnement d'une cheminée d'équilibre
 - ▶ fréquence propre de la cheminée d'équilibre

HM 156

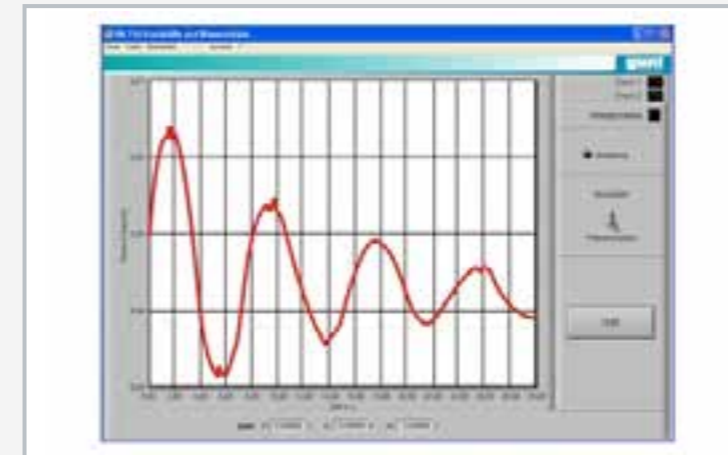
Coups de bélier et cheminée d'équilibre



1 deux sections de tuyau parallèles, 2 alimentation en eau, 3 écoulement de l'eau, 4 robinet à tournant sphérique et électrovanne, 5 capteur de pression cheminée d'équilibre, 6 cheminée d'équilibre, 7 appareil de commande, 8 capteur de pression section de mesure pour coup de bélier, 9 réservoir



Génération d'un coup de bélier; A: électrovanne ouverte, B: électrovanne fermée; P pression, t temps, U tension



Capture d'écran du logiciel

Spécification

- [1] fonctionnement d'une cheminée d'équilibre
- [2] section de tuyau avec robinet à tournant sphérique et cheminée d'équilibre
- [3] cheminée d'équilibre sous forme de réservoir PMMA transparent
- [4] capteur de pression placé derrière la cheminée d'équilibre, destiné à la mesure de l'onde de pression
- [5] section de tuyau avec électrovanne et 2 capteurs de pression, destinés à mesurer les coups de bélier
- [6] mesure du débit volumétrique à l'aide du module d'alimentation
- [7] représentation des évolutions de pression avec le logiciel GUNT
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Section de tuyau pour oscillations de la pression

- cuivre
- longueur: 5875mm, Ø intérieur: 26mm
- robinet à tournant sphérique
- cheminée d'équilibre, PMMA
 - ▶ hauteur: 825mm
 - ▶ Ø intérieur: 50mm

Section de tuyau pour coups de bélier

- cuivre
- longueur: 5875mm, Ø intérieur: 26mm
- écart entre les capteurs: 3000mm
- électrovanne, temps de fermeture: 20...30ms

Réservoir: 50L

Module d'alimentation

- pompe
 - ▶ puissance absorbée: 250W
 - ▶ débit de refoulement max.: 150L/min
 - ▶ hauteur de refoulement max.: 7,6m
- réservoir: 1x 180L, 1x 40L

Plages de mesure

- pression: 2x 0...16bar abs. (section de tuyau)
- pression: 0...0,3bar (cheminée d'équilibre)

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxIxh: 6800x820x2000mm (total)

Poids: env.155kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai avec module d'alimentation
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

HM 143

Processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs



Contenu didactique/essais

- présentation de processus d'écoulement non stationnaires dans deux bassins de retenue des eaux de pluie placés l'un derrière l'autre
- présentation des processus d'écoulement non stationnaires sur deux réservoirs placés l'un derrière l'autre
- enregistrement des oscillations du niveau de l'eau dans la cheminée d'équilibre après un coup de bélier
- enregistrement et représentation des variations de les niveaux d'eau

Description

- étude des processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs
- simulation des bassins de retenue des eaux de pluie et des lacs artificiels
- cheminée d'équilibre transparente en vue de l'observation des oscillations après un coup de bélier
- logiciel GUNT de représentation des niveaux d'eau

Les processus d'écoulement non stationnaires sont pris en compte lors du dimensionnement des réservoirs d'eau. Ces processus apparaissent par exemple dans les bassins de retenue des eaux de pluie et dans les lacs artificiels.

Le principal objectif du bassin de retenue des eaux de pluie est de différer le processus d'écoulement en procédant à un stockage intermédiaire temporaire. Les lacs artificiels servent de réservoir permanent

pour l'alimentation en eau et le transfert énergétique ou dans le cadre de la protection contre les inondations. Le niveau d'eau monte avant d'être dirigé via un trop-plein.

Les processus d'écoulement des réservoirs s'effectuent par des tuyauteries ou des galeries. Une cheminée d'équilibre doit empêcher les coups de bélier dans les tuyauteries et les robinetteries causés par les variations du débit rapides.

Le HM 143 permet de présenter les processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs, ainsi que le fonctionnement d'une cheminée d'équilibre. Le banc d'essai contient un bassin avec déversoir ajustable et un deuxième bassin, plus profond avec trop-plein et conduite d'écoulement. La conduite d'écoulement est munie d'une cheminée d'équilibre.

L'essai "bassin de retenue des eaux de pluie", le bassin A et le bassin B simulent

un bassin de retenue. L'écoulement est ajusté par des soupapes placées dans la conduite d'écoulement. Ceci permet de présenter les processus d'écoulement différenciés type.

Dans l'essai "lacs artificiels" est consacré aux processus d'écoulement non stationnaires avec deux réservoirs à long terme. Dans cet essai, le déversoir est utilisé comme déversoir dénoyé.

Dans l'essai "cheminée d'équilibre", un coup de bélier est généré par la fermeture rapide d'un robinet-vanne placé dans la conduite d'écoulement. L'oscillation se présente sous forme d'un mouvement oscillatoire du niveau d'eau dans la cheminée d'équilibre.

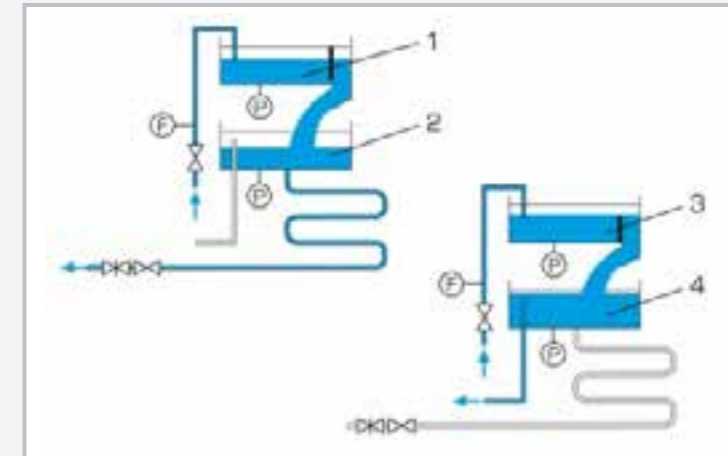
Les niveaux d'eau dans le bassin et la cheminée d'équilibre sont enregistrées par des capteurs de pression et représentées à l'aide du logiciel GUNT.

HM 143

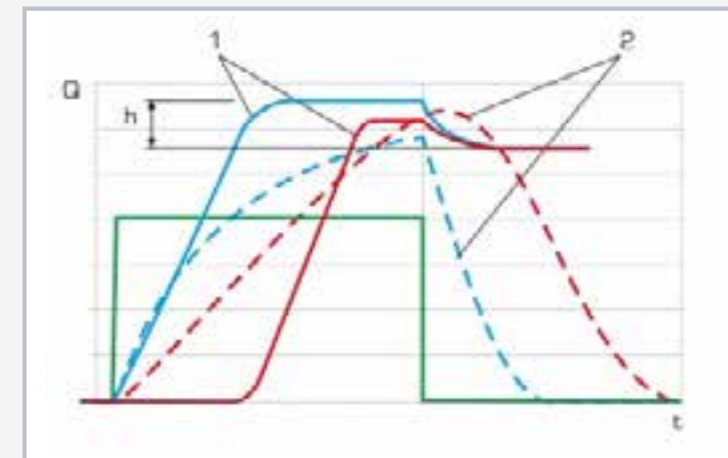
Processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs



1 bassin A avec déversoir ajustable, 2 cheminée d'équilibre, 3 soupape dans la conduite d'écoulement, 4 robinet-vanne pour générer des coups de bélier, 5 raccord d'eau, 6 conduite de débordement, 7 bassin B avec trop-plein, 8 débitmètre



En haut: "bassin de retenue des eaux de pluie": 1 bassin A comme canal d'écoulement avec vanne, 2 bassin B comme bassin de retenue des eaux de pluie; en bas: "lacs artificiels": 3 bassin A comme réservoir avec déversoir dénoyé, 4 bassin B comme réservoir avec trop-plein; F débit, P pression



Processus d'écoulement non stationnaires, en bleu: bassin A, en rouge: bassin B, en vert: arrivée d'eau; Q écoulement, t temps, h charge sur le déversoir; 1 "lacs artificiels", 2 "bassin de retenue des eaux de pluie" avec processus d'écoulement différé

Spécification

- [1] processus d'écoulement non stationnaires observés dans les réservoirs
- [2] fonctionnement d'une cheminée d'équilibre
- [3] essai "bassin de retenue des eaux de pluie": les bassins A et B servent comme réservoirs à court terme. Le déversoir rectangulaire sert de vanne.
- [4] essai "lacs artificiels": les bassins A et B servent comme réservoirs à long terme. Le déversoir rectangulaire joue le rôle de déversoir dénoyé.
- [5] essai "cheminée d'équilibre": le tuyau transparent est la cheminée d'équilibre de la conduite d'écoulement reliée au bassin B
- [6] robinet-vanne placé dans la conduite d'écoulement et destiné à générer des coups de bélier
- [7] les capteurs de pression placés sur les deux bassins et la cheminée d'équilibre enregistrent les variations du niveau d'eau
- [8] représentation des évolutions des niveaux d'eau par logiciel GUNT
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Bassin A: Lxlxh: 900x900x300mm

- matériau: acier inoxydable
- déversoir rectangulaire de type Rehbock, ajustable
 - ▶ servant de vanne, ouverture de vanne: 0...200mm
 - ▶ servant de déversoir dénoyé, hauteur: 0...200mm
 - ▶ largeur dénoyée: 60mm

Bassin B: Lxlxh: 900x900x300mm

- matériau: acier inoxydable
- trop-plein: 200mm

Cheminée d'équilibre

- matériau: PMMA
- Ø intérieur: 62mm
- hauteur: 1800mm

Plages de mesure

- pression: 2x 0...100mbar, 1x 0...200mbar
- débit: 300...3300L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1040x1220x2100mm
Poids: env. 165kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain: 3000L/h
PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Introduction

Aperçu Génie hydraulique	068
------------------------------------	-----

Écoulement dans des canaux

Connaissances de base Écoulement dans des canaux	070
Aperçu Aperçu des canaux d'essai GUNT	102
Aperçu Détails techniques des canaux d'essai de GUNT Le circuit d'eau fermé	104
Aperçu Détails techniques des canaux d'essai de GUNT Caractéristiques structurelles	106
Aperçu Canaux d'essai GUNT Planification du laboratoire	108
Aperçu Montage des canaux d'essai GUNT à partir de l'exemple du HM 162	110
Aperçu Les canaux d'essai GUNT utilisés dans le monde entier	112
Aperçu HM 160 Canal d'essai 86x300mm	114
HM 160 Canal d'essai 86 x 300 mm	116
Aperçu HM 162 / HM 163 Canal d'essai 309 x 450mm / 409 x 500mm	118
HM 162 Canal d'essai 309 x 450 mm	120
HM 163 Canal d'essai 409 x 500 mm	122
Aperçu Canal d'essai HM 162 / HM 163 Impressions	126
Aperçu HM 161 Canal d'essai 600 x 800 mm	128
Aperçu Canal d'essai HM 161 Impressions	130
HM 161 Canal d'essai 600 x 800 mm	132
Aperçu L'essai d'écoulement dans des canaux	134
Aperçu Canaux d'essai GUNT Instruments	136
Aperçu Canaux d'essai GUNT Générateur de vagues	138
Aperçu Canaux d'essai GUNT Transport des sédiments	140
Aperçu Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163	142

Transport des sédiments

Connaissances de base Principes de base du transport des sédiments	156
Aperçu Transport des sédiments dans des eaux courantes	164
HM 166 Principes de base du transport des sédiments	166
HM 140 Transport des sédiments dans un canal ouvert	168
HM 168 Transport des sédiments dans les cours de rivière	170
HM 142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation	172

Écoulement d'infiltration

Connaissances de base Écoulement d'infiltration	174
Aperçu Appareils d'essai Écoulement d'infiltration, souterrain et de filtration	178
HM 152 Écoulement potentiel	180
HM 165 Études hydrologiques	182
HM 167 Écoulements souterrains	184
HM 169 Visualisation d'écoulements d'infiltration	186
HM 145 Études hydrologiques avancées	188
HM 141 Hydrographe après des précipitations	190
CE 116 Filtration sur gâteau et en profondeur	192



Génie hydraulique

Les mesures, interventions ou constructions dans les zones d'eaux souterraines, eaux superficielles et les zones côtières sont regroupées sous la dénomination de **génie hydraulique**. Les principes de base du génie hydraulique sont donnés par l'hydromécanique et l'hydrologie.

L'hydromécanique se compose de l'hydrostatique, de l'écoulement dans des conduites, de l'écoulement dans des canaux ouverts et de l'écoulement dans les eaux souterraines. L'hydrostatique et l'écoulement tubulaire sont traités dans ce catalogue dans le chapitre sur les **principes de base de la mécanique des fluides**.

L'hydrologie observe la distribution naturelle de l'eau au-dessus et en dessous de la surface terrestre. Certains processus de

l'hydrologie sont montrés dans les sous-chapitres **transport des sédiments** et **écoulement d'infiltration**.

Les forces et phénomènes se produisant dans les eaux courantes sont traités en détails dans le sous-chapitre **écoulement dans des canaux**. Que se passe-t-il lorsque, en plus de l'eau, des sédiments ou des matières solides sont également transportés dans les eaux courantes, comme c'est le cas normalement dans la nature? Tel est le type de questions traitées dans le sous-chapitre **transport des sédiments**.

Le sous-chapitre **écoulement d'infiltration** traite de la manière dont l'eau est transportée dans le sol.

Écoulement dans des canaux



L'écoulement dans des canaux traite entre autres de la régulation des rivières à des fins de navigabilité, de la retenue des eaux de rivière à des fins énergétiques et / ou du stockage d'eau potable et de la protection contre les inondations.

Pour la formation et la recherche, on utilise des canaux d'essai pour montrer et étudier, à l'échelle du laboratoire, les principaux phénomènes de l'écoulement dans des canaux. Les canaux d'essai GUNT démontrent les rapports d'écoulement dans des canaux ouverts avec section rectangulaire. Il existe un grand nombre de modèles qui peuvent être utilisés dans les canaux d'essai, permettant de traiter des sujets tels que les ouvrages de contrôle, la modification de section, la mesure de l'écoulement ou les vagues.

Transport des sédiments

L'objet de ce sous-chapitre est l'étude du transport de matières solides et du transport des sédiments dans des eaux courantes. Le transport des sédiments fait la distinction entre le transport de matières en suspension et le transport d'alluvions.

Dans les rivières, on observe avant tout le transport d'alluvions. Lorsque du sédiment est dégradé, on parle d'érosion ou de phénomène d'affouillement. Des atterrissements se forment lorsque du sédiment se dépose. Le transport des sédiments peut être influencé par des mesures de génie hydraulique.

Le transport de matières en suspension est un sujet à aborder lorsque l'on s'intéresse aux stations d'épuration et à l'avant des étages de retenue et des barrages. Dans les stations d'épuration, la sédimentation des matières en suspension est souhaitée, tandis qu'elle pose des problèmes dans le cas des barrages.

Les appareils GUNT de transport d'alluvions étudient par exemple la transformation de la surface du lit d'une rivière et la formation de corps de transport. Il est possible d'observer l'apparition et le déplacement de dunes. En outre, on observe entre autres l'érosion et l'atterrissement sur des piles de pont.



Écoulement d'infiltration



Les écoulements avec des matières perméables et les écoulements souterrains sont des mouvements de l'eau dans un sous-sol perméable (sable, gravier, etc.). L'infiltration et le stockage des précipitations en font partie. En génie hydraulique, l'infiltration des digues en terre ou l'infiltration des ouvrages de retenue ont une importance particulière.

Les appareils GUNT démontrent et étudient la relation entre précipitations, infiltration et écoulement souterrain. Ils permettent également d'observer l'influence exercée par les puits sur le tracé des eaux souterraines et la capacité de stockage des sols.

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Content

S'appuyant sur de nombreux manuels, les canaux d'essai de GUNT transmettent les principes de base de l'écoulement dans des canaux en se basant sur l'exemple d'un canal d'essai à section rectangulaire.

La première partie de ce chapitre présente les principes de base de l'écoulement dans des canaux. En parallèle, nous vous montrons comment mettre en pratique de manière expérimentale des thématiques et phénomènes particuliers. Ces représentations sont valables en principe pour tous les canaux d'essai GUNT et leurs accessoires.

Principes de base de l'écoulement dans des canaux rayon hydraulique périmètre mouillé profils de canaux typiques	072
Écoulement uniforme dans un canal rectangulaire formules de débit	074
Écoulement stationnaire équation de continuité équation de Bernoulli charge spécifique	075
Écoulement non uniforme dans un canal rectangulaire changement d'écoulement courbe de charge spécifique courbe de force spécifique	076
Détermination de la perte de charge lors d'un ressaut	078
Nombre de Froude et écoulement critique perturbation momentanée et perturbation permanente ressaut avec différents nombres de Froude	079 081
Montée et abaissement du niveau dans un canal ouvert	082
Dissipation d'énergie bassin d'amortissement	084
Ouvrages de contrôle écoulement par des déversoirs ■ condition de nappe au niveau du déversoir ■ écoulement par des déversoirs fixes ■ types de chutes ■ calcul du débit selon Poleni déversoirs à crête arrondie déversoirs à paroi mince déversoirs à seuil épais déversoir à siphon vannes	086 086 087 088 088 089 090 091 092 093
Passage	094
Pertes locales dans des canaux ouverts piles	095
Procédés de mesure du débit canal jaugeur déversoirs de mesure	096
Écoulement non stationnaire: vibrations induites par l'écoulement pilots vibrants	098
Transport des sédiments transport par charriage	099
Écoulement non stationnaire: vagues	100



Les eaux courantes naturelles représentent des "écoulements dans des canaux ouverts". Depuis des siècles, on y entreprend des constructions: canaux d'irrigation, protection contre les inondations et aménagement des rivières pour la navigation et l'exploitation d'énergie.



On peut notamment citer les systèmes de distribution d'eau datant de l'Antiquité (aqueducs) ou les canaux d'irrigation agricoles qui s'étendent sur de très grandes distances: les "Levadas" au Portugal (en bas).

Symboles de grandeur fréquemment utilisés

E	charge spécifique
ΔE	perte de charge
h	profondeur de l'écoulement
h_c	profondeur critique
h_d	profondeur d'écoulement de l'eau en aval ("downstream")
h_o	hauteur ("weir head")
h_u	profondeur de l'eau en amont ("upstream")
J	pente de la ligne de charge
Q	débit
v	vitesse d'écoulement
W	hauteur du déversoir



Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

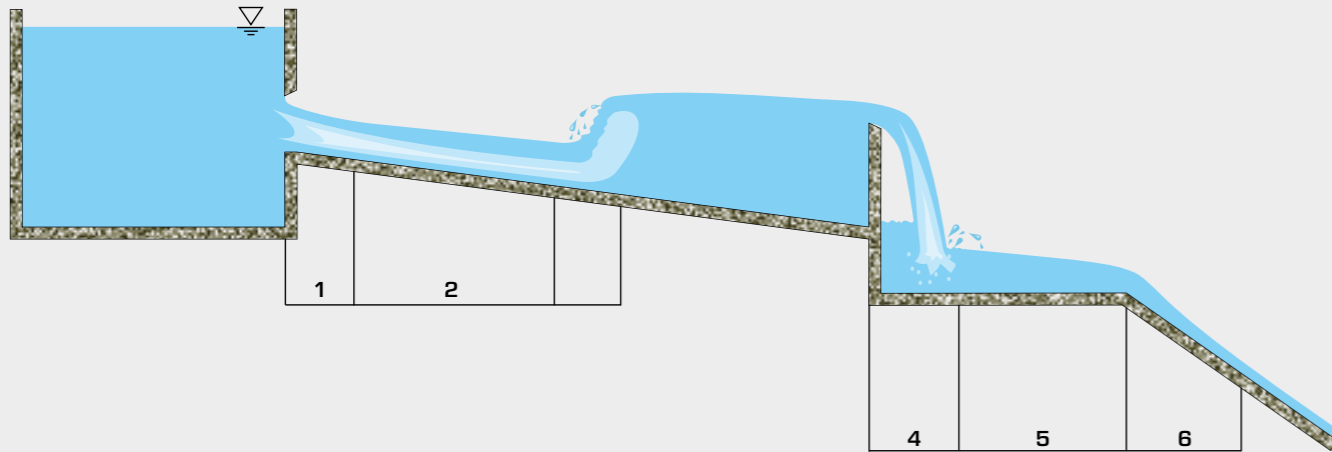
Principes de base de l'écoulement dans des canaux

Les écoulements dans des canaux sont très répandus. On peut citer notamment les rivières ou les canaux, les tranchées de drainage, les rigoles, les attractions aquatiques des parcs de loisirs ou la canalisation. La force motrice de ces écoulements généralement turbulents est la gravitation. Ce qui caractérise les écoulements dans des canaux est leur surface libre. Comparé aux écoulements tubulaires, les écoulements dans des canaux disposent, de par leur surface libre, d'un degré de liberté supérieur.

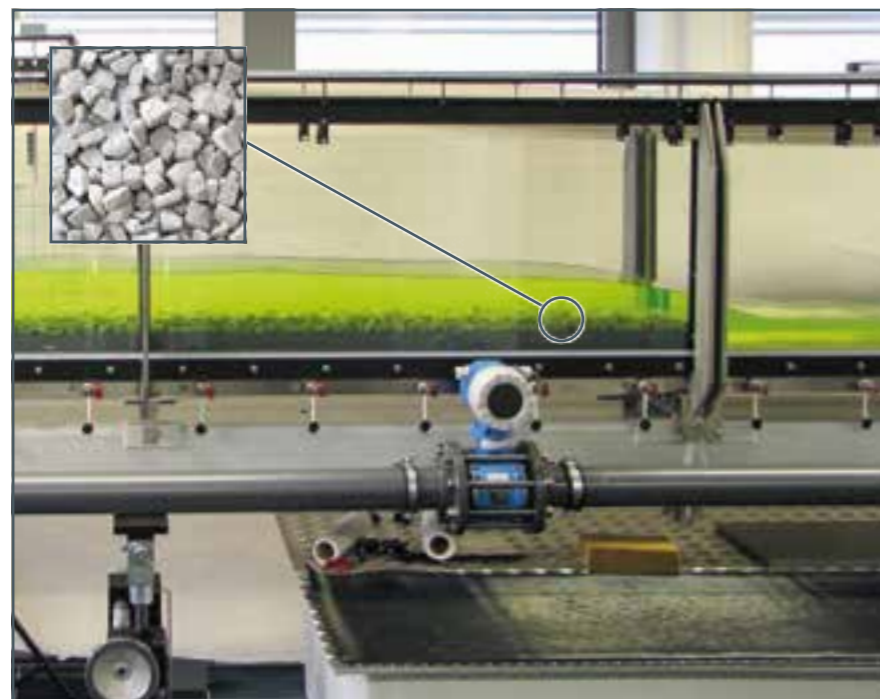
On distingue principalement deux types d'écoulements dans des canaux:

- l'écoulement uniforme (la profondeur de l'écoulement (profondeur d'eau) reste constante; accélération = décélération)
- l'écoulement non uniforme (la profondeur de l'écoulement change en fonction de l'accélération ou de la décélération)

Le débit peut être soit **sous-critique** (ou "fluvial"), **critique** ou **supercritique** (ou "torrentiel").



1 écoulement brusquement varié sous une vanne, 2 écoulement graduellement varié, 3 ressaut (brusquement varié), 4 chute de déversoir (brusquement varié), 5 écoulement graduellement varié, 6 écoulement non uniforme au niveau d'un changement de pente



HM 162.77
Fond du canal
avec galets

Profils de canaux typiques

Dans la plupart des cas, on peut reproduire de manière approximative la coupe transversale respective d'un écoulement dans des canaux avec quelques profils géométriques. Cercle, demi-cercle, rectangle, trapèze et associations de profils sont des outils parfaitement adaptés lorsqu'il s'agit de faciliter les calculs mathématiques, et le cas échéant de modéliser le canal. Il est souvent important de déterminer le débit Q et la profondeur de l'écoulement h à des positions définies. Les grandeurs typiques pour le calcul sont la surface traversée A , le périmètre mouillé P et le rayon hydraulique R .

Avec une **section rectangulaire**, les grandeurs sont définies de la manière suivante:

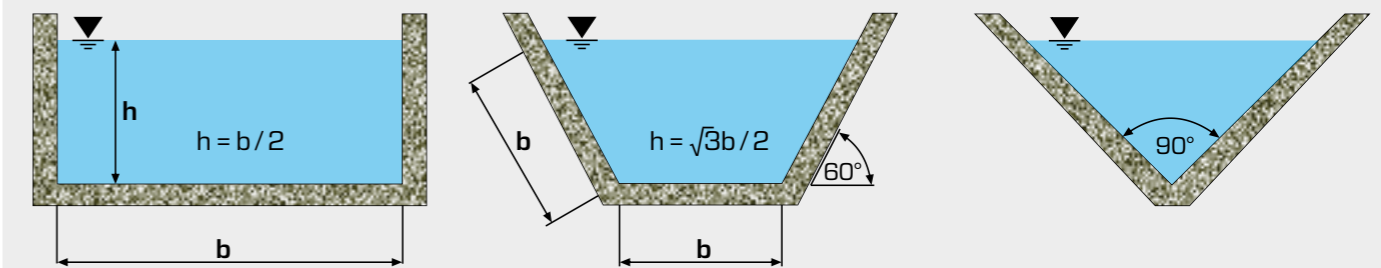
- surface traversée $A = bh$
- périmètre mouillé $P = b + 2h$
- rayon hydraulique $R = A / P = bh / (b + 2h)$
Avec des canaux larges et plats, le rayon hydraulique R correspond donc à la profondeur de l'écoulement h .

Pour les canaux artificiels, ce qu'on appelle le profil favorable à l'hydraulique est également une grandeur importante – un dimensionnement optimal du profil permet de réaliser des économies de matériel et de coûts:

- débit Q + pente de la ligne de charge J donnés: détermination de la surface traversée minimale A
- débit Q + surface traversée A donnés: détermination de la pente de la ligne de charge minimale J .

Coupes transversales hydrauliques optimales

En cas de périmètre mouillé minimum, par rapport à la surface donnée, on parle de coupe transversale hydraulique optimale.



Rectangle, trapèze avec angles à 60°, triangle; h profondeur de l'écoulement, b largeur de canal

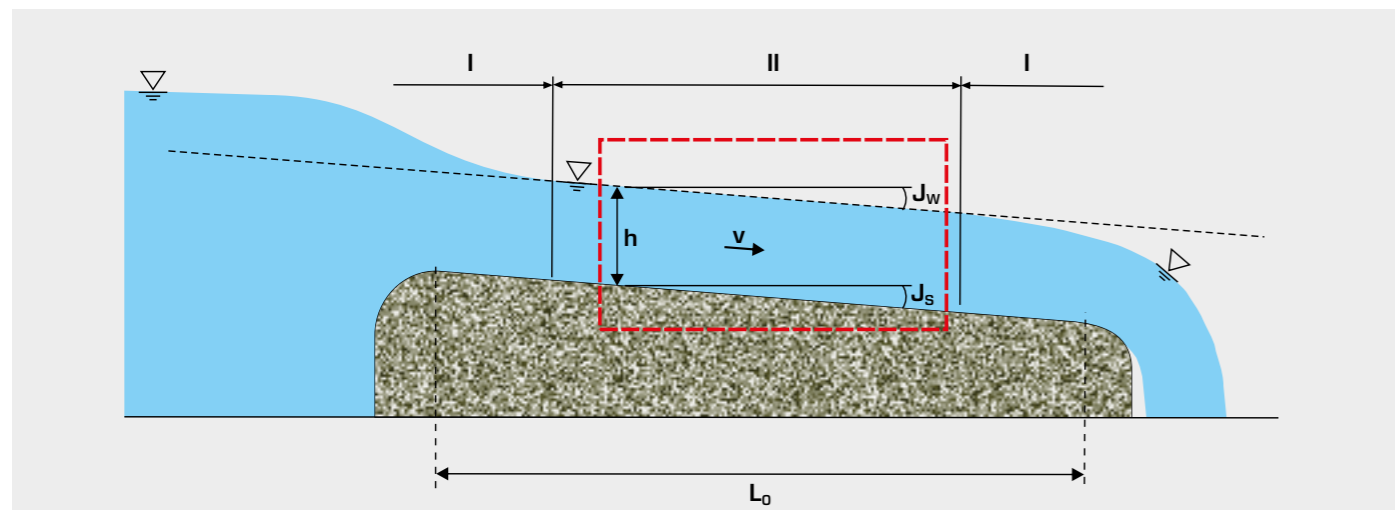
Les canaux d'essai de GUNT ont une section rectangulaire. Ils offrent la possibilité – outre le montage de différents modèles – de modifier la pente, de jouer sur la nature de la surface du fond du canal, et donc sur la rugosité. Il est possible de réaliser un grand nombre d'essais sur l'écoulement uniforme et

non uniforme dans des canaux avec les instruments permettant d'enregistrer la vitesse d'écoulement v et la profondeur de l'écoulement h .

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Écoulement uniforme dans un canal rectangulaire

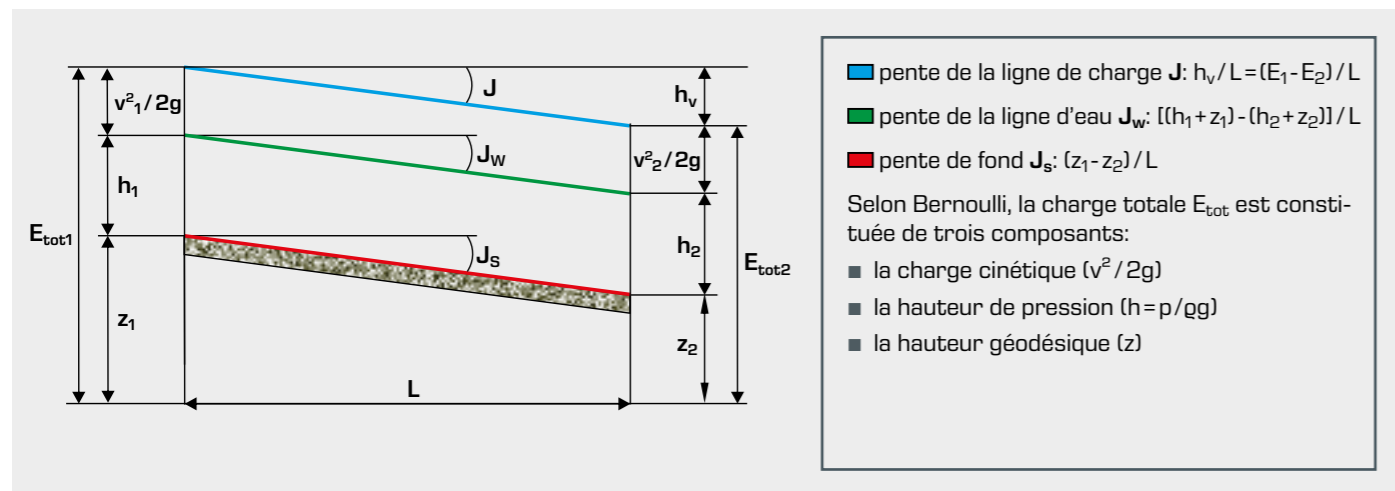


I écoulement non uniforme, II écoulement uniforme;
h profondeur de l'écoulement, J_s pente de fond uniforme, J_w pente de la ligne d'eau, L_0 longueur du canal avec pente de fond, J_s et largeur constante, v vitesse d'écoulement, cadre rouge volume de contrôle

Lorsque l'écoulement dans des canaux est uniforme, la profondeur de l'écoulement h reste identique, et donc parallèle au fond. Ce qui signifie par ailleurs que la vitesse d'écoulement v reste constante.

La profondeur de l'écoulement h correspond à la hauteur de pression (une composante de la charge spécifique). Ces charges spécifiques sont souvent tracées sous la forme de ce que l'on appelle des pentes de ligne. Dans la pente de la ligne de charge J ,

la composante de référence est très souvent la profondeur de l'écoulement h . Lorsque l'écoulement dans des canaux est uniforme, la pente de la ligne de charge J est égale à la pente de fond J_s et la profondeur de l'écoulement h est donc identique. Avec un écoulement uniforme dans des canaux, on a ce que l'on appelle un **écoulement normal**, en d'autres termes, la pente de fond J_s compense les pertes par frottement du débit Q . La pente de la ligne de charge, la ligne d'eau et la pente de fond sont parallèles.



Formules de débit

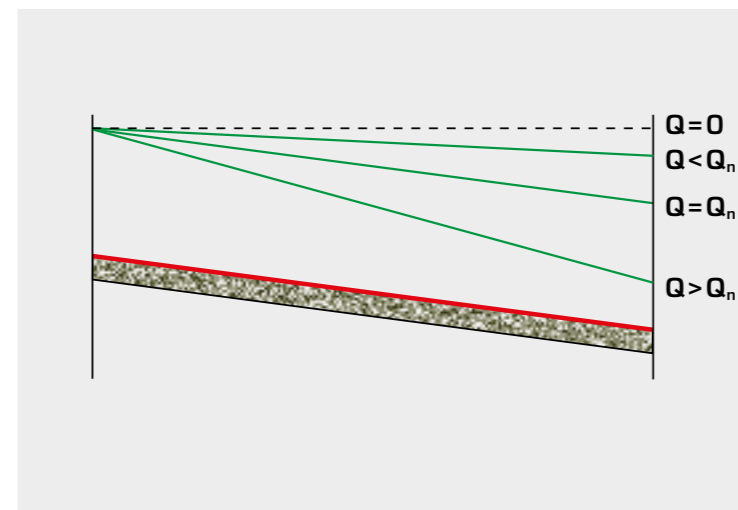
Les formules de débit décrivent la relation entre le débit Q et la profondeur de l'écoulement h avec une forme de coupe transversale et une caractéristique de rugosité données. La forme de la coupe transversale est prise en compte dans le rayon hydraulique, la profondeur de l'écoulement h intervient via la profondeur de l'écoulement J .

Les formules de débit couramment utilisées pour les canaux généraux sont les formules de

- Darcy-Weisbach
- Manning-Strickler (ou Gauckler-Manning-Strickler).

Les formules de débit sont basées sur des valeurs empiriques.

Écoulement stationnaire



Tracé de la ligne d'eau dans le volume de contrôle pour différents débits stationnaires:

- $Q=0$: pas d'écoulement
- $Q < Q_n$: écoulement décéléré
- $Q = Q_n$: écoulement uniforme, également appelé écoulement normal
- $Q > Q_n$: écoulement accéléré

Lorsque l'on considère la charge sur le volume de contrôle, on utilise l'équation de Bernoulli et l'équation de continuité.

Équation de continuité:

$$Q = \text{const} = AV = bhv \quad \text{ou} \quad bh_1v_1 = bh_2v_2$$

Équation de Bernoulli (conservation générale de l'énergie):

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{const}$$

Exprimée avec les charges, cela donne:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + h_v \quad \text{avec perte par frottement } h_v$$

Avec $v = \frac{Q}{bh}$ de l'équation de continuité, cela donne:

$$\frac{1}{2} \frac{Q^2}{gb^2h_1^3} + h_1 + (z_1 - z_2) = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{gb^2h_2^3} + h_2 + h_v$$

Pour un écoulement normal, cela donne:

$$h_1 = h_2, \text{ on a donc } h_v = z_1 - z_2$$

La charge spécifique est définie comme suit

$$E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gh^2}$$

Elle se compose de la charge cinétique et de la hauteur de pression.

On peut aussi écrire:

$$h^3 - Eh^2 + \frac{Q^2}{2g} = 0$$

On obtient comme résultat une équation du 3^{ème} degré pour la profondeur de l'écoulement h . La profondeur de l'écoulement h dépend de la charge spécifique E et du débit Q ou de la pente et de la rugosité.

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Écoulement non uniforme dans un canal rectangulaire

Dans de nombreux cas, le débit Q dans un canal n'est pas uniforme. On fait la distinction entre écoulement **graduellement varié** et écoulement **brusquement varié**.

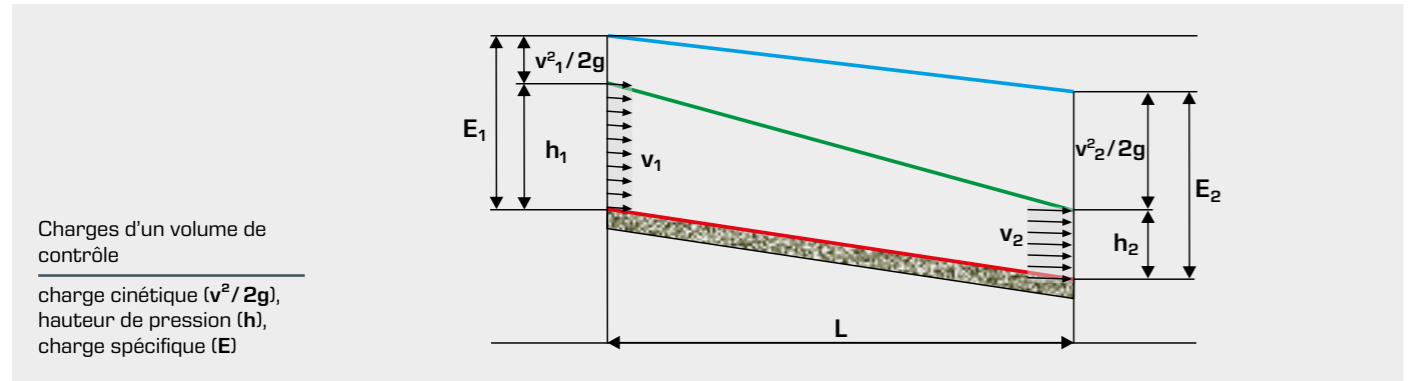
- écoulement graduellement varié: la profondeur de l'écoulement h change, le débit Q ou le régime lui-même est (en premier lieu) **sous-critique**. L'écoulement graduellement varié apparaît par exemple dans un canal ayant une faible pente ou une forte rugosité.
- l'écoulement brusquement varié se forme lui par exemple en cas d'écoulement dans des déversoirs. L'écoulement est alors souvent **supercritique**.

Dans le cas de l'écoulement supercritique, c'est le contraire: faible profondeur de l'écoulement h et vitesse d'écoulement v élevée.

Le **changement d'écoulement** de sous-critique à supercritique se fait avec une modification continue de la profondeur de l'écoulement h , de la vitesse d'écoulement v et de la charge spécifique E , par ex. en cas d'augmentation de la pente.

Le changement d'écoulement de supercritique à sous-critique a lieu à l'inverse toujours avec un changement brusque de la profondeur de l'écoulement h et une perte de charge ΔE , par ex. dans le **ressaut**.

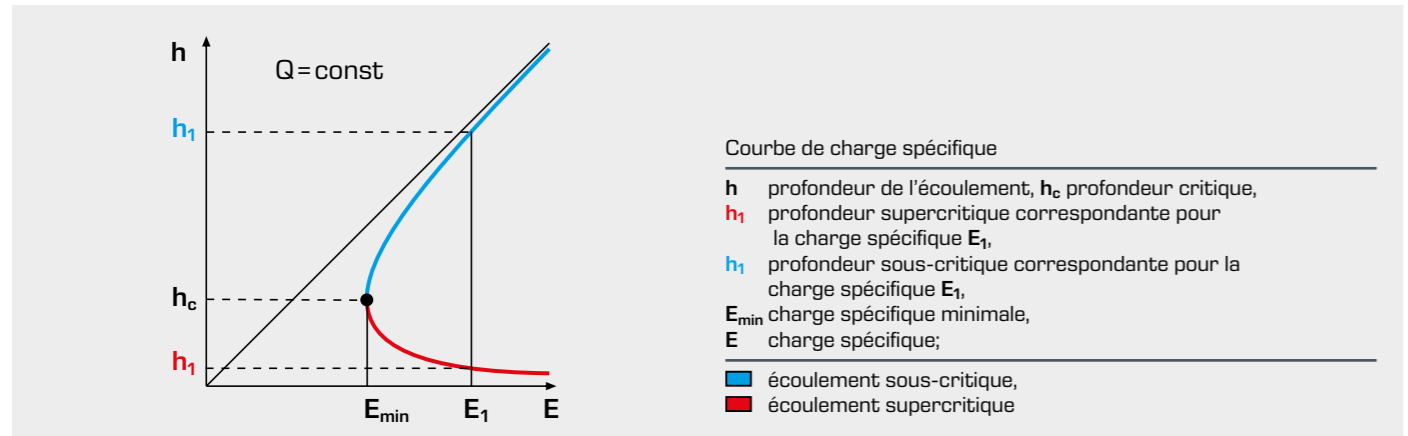
Rapport entre le débit Q , la charge spécifique E et la profondeur de l'écoulement h



Les considérations de l'énergie sur le volume de contrôle conduisent à une équation du 3^{ème} degré pour la profondeur de l'écoulement h . La profondeur de l'écoulement h dépend de la charge spécifique E et du débit Q . La profondeur de l'écoulement h est représentée graphiquement comme fonction de la charge spécifique E à un débit Q constant dans ce que l'on appelle une **courbe de charge spécifique**. La charge spécifique minimale E_{min} a une seule profondeur d'écoulement possible, aussi appelée profondeur critique h_c . À la profondeur critique h_c , on a un écoulement critique. Pour toutes les autres charges

spécifiques, on a ce qu'on appelle deux profondeurs correspondantes pertinentes d'un point de vue physique (cf graphique avec ressaut). Pour déterminer laquelle des deux profondeurs de l'écoulement est correcte, il faut effectuer chaque fois un calcul (pour voir si l'écoulement est sous-critique ou supercritique).

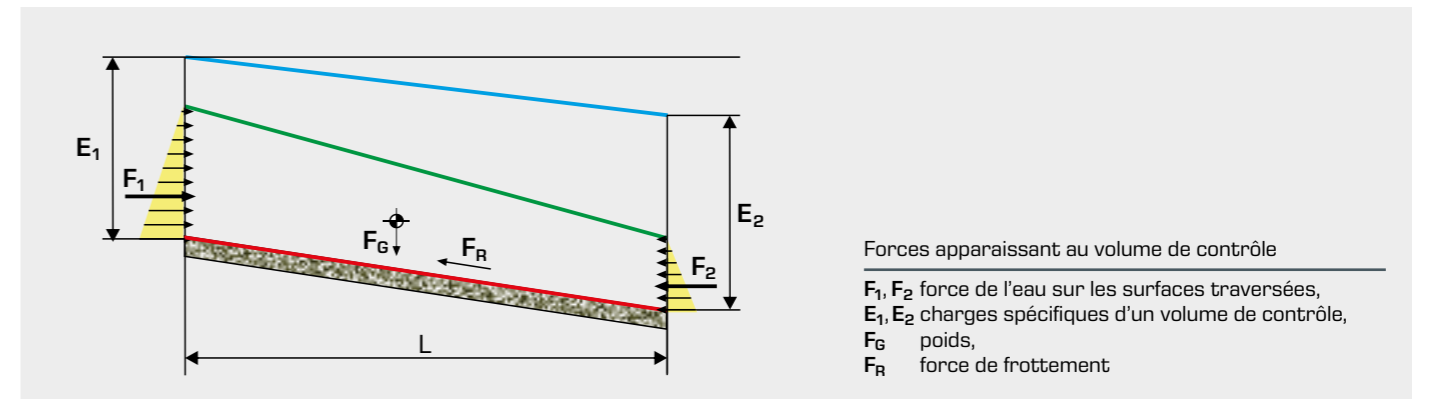
Le débit maximum Q à une charge spécifique E donnée peut également être déterminé.



Rapport entre principe de conservation de l'impulsion, force spécifique F et profondeur de l'écoulement h

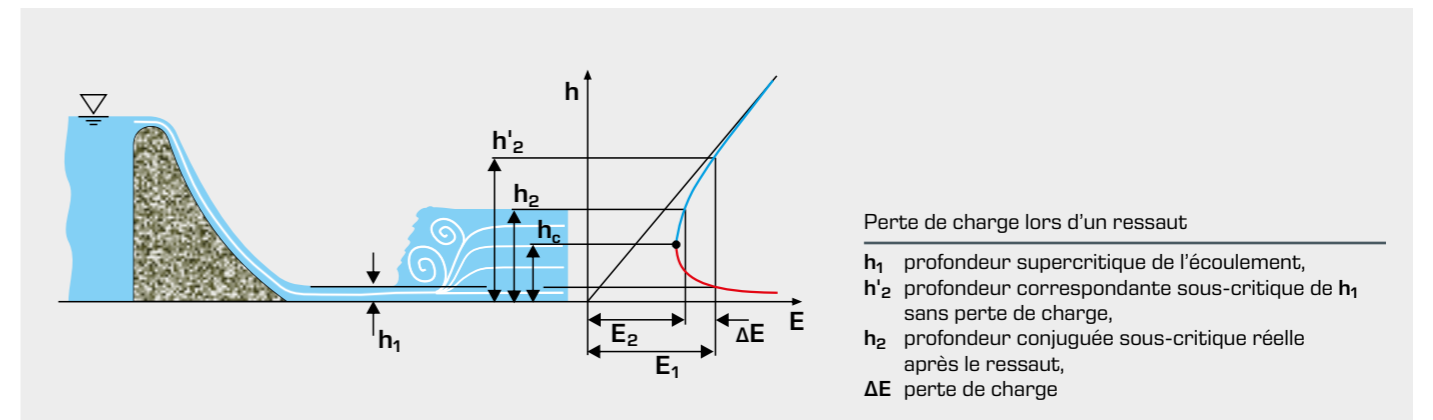
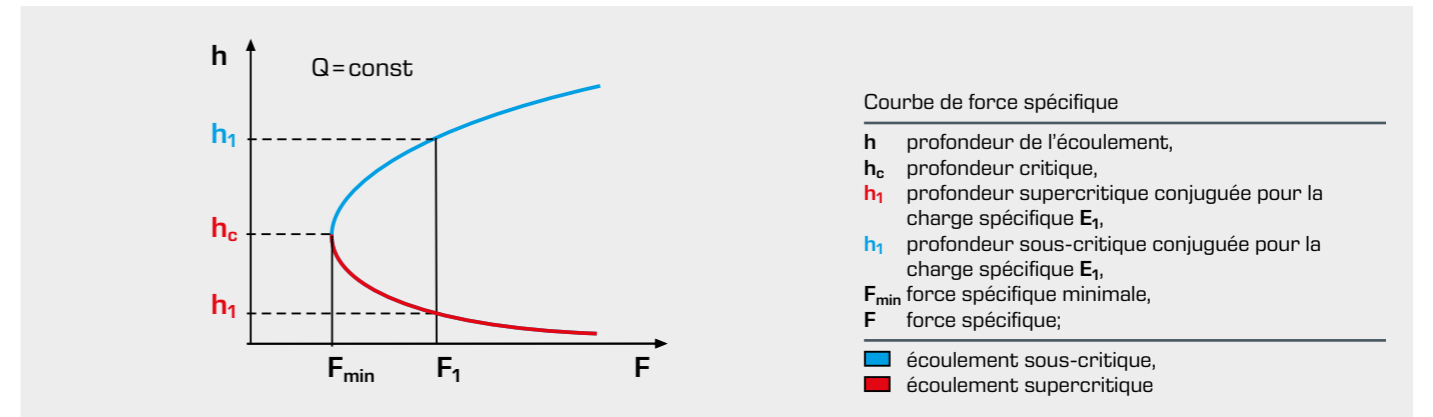
Le **principe de conservation de l'impulsion** constitue la 3^{ème} équation importante après celles de **Bernoulli** et de la **conservation de la masse**. L'équilibre des forces est établi au volume de contrôle. Dans de nombreux cas, on peut négliger l'influence du poids et de la force de frottement. Seules les forces intervenant

sur les surfaces traversées jouent alors un rôle: la force de compression statique et la force d'impulsion dynamique. Ce qu'on appelle la force spécifique F est la somme de ces deux forces; elle est déterminée au moyen du principe de conservation de l'impulsion.



La force spécifique peut également être représentée dans un graphique. Sur la **courbe de force spécifique**, on a tracé la profondeur de l'écoulement h en fonction de la force spécifique F à un débit constant Q . Comme sur la courbe de charge spécifique,

on obtient la force spécifique minimale F_{min} à la profondeur critique h_c . Pour toutes les autres forces spécifiques, il y a deux profondeurs conjuguées.



Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

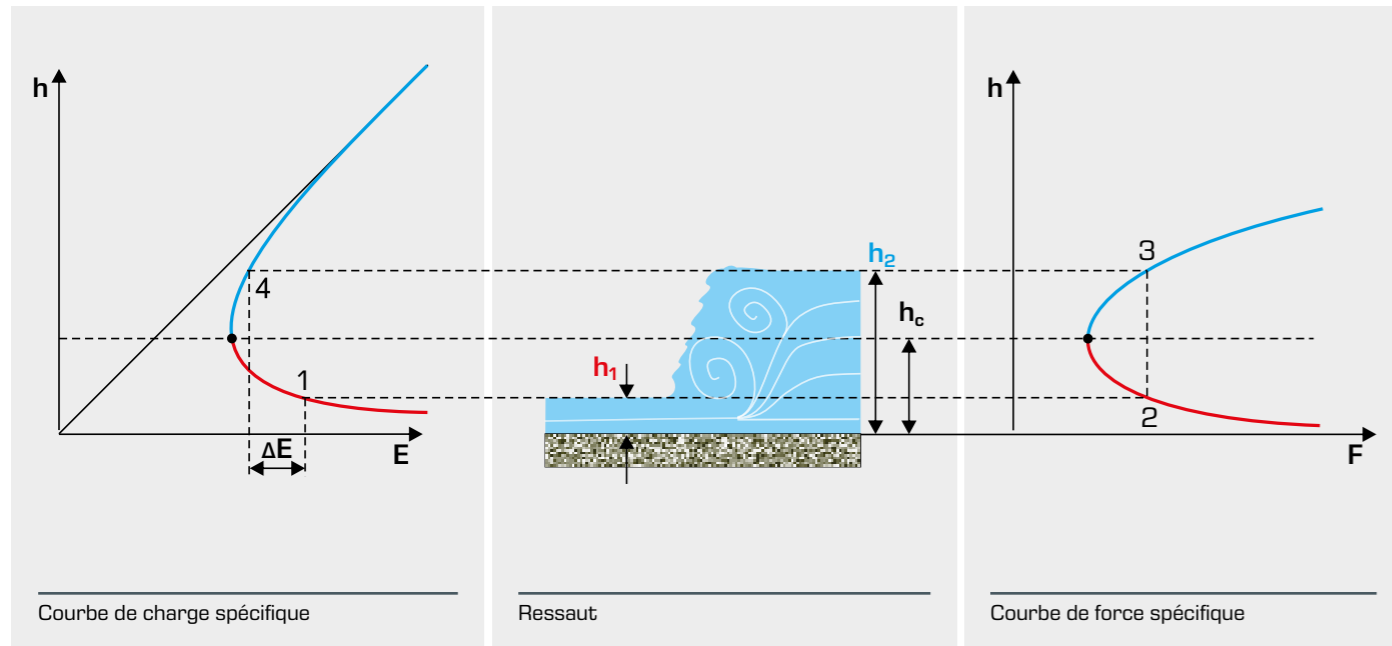
Détermination de la perte de charge lors d'un ressaut

Lors d'un ressaut, un débit d'écoulement supercritique Q redevient sous-critique. La profondeur de l'écoulement h change brusquement et est plus importante après le ressaut. De l'énergie se dissipe lors du ressaut sous l'effet des turbulences qui

se forment. L'impulsion est toutefois conservée, ce qui signifie que pour la même force spécifique F , il existe deux profondeurs conjuguées h distinctes. Le rapport entre les profondeurs conjuguées h_1 et h_2 est décrit par la formule suivante:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{8Fr_1^2 + 1} + 1 \right) \quad \text{or} \quad h_2 = \frac{-h_1}{2} + \sqrt{\frac{h_1^2}{4} + 4h_1 \frac{v_1^2}{2g}}$$

À l'aide de la courbe de charge spécifique donnée et d'une courbe de force analogique spécifique, on peut déterminer facilement la perte de charge ΔE graphiquement:



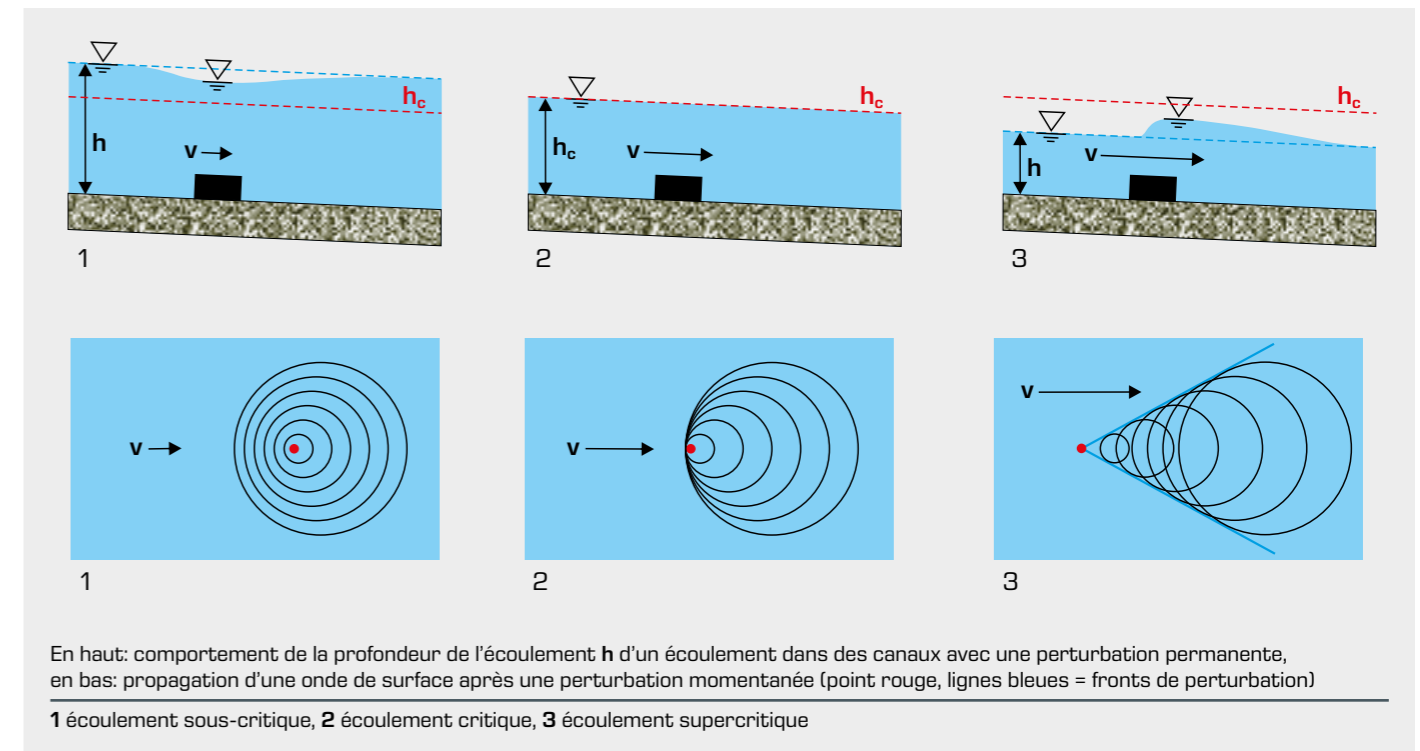
La profondeur de l'écoulement h_1 est reportée dans la courbe de charge spécifique et dans la courbe de force spécifique (points 1 et 2). Pour déterminer la profondeur de l'écoulement h_2 après le ressaut, on détermine graphiquement sur la courbe de force spécifique la profondeur conjuguée par rapport à h_1 (point 3). Les forces spécifiques F_1 au point 2 et F_2 au point 3 sont identiques

(conservation de l'impulsion). On reporte ensuite la profondeur de l'écoulement h_2 sur la courbe de charge spécifique (point 4). Les charges spécifiques E_1 et E_2 sont relevées sur le graphique. La perte de charge ΔE qui a lieu dans le ressaut correspond à la différence entre les charges spécifiques..

La perte de charge ΔE qui a lieu peut également calculée au moyen de la formule suivante:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Nombre de Froude et écoulement critique



En haut: comportement de la profondeur de l'écoulement h d'un écoulement dans des canaux avec une perturbation permanente, en bas: propagation d'une onde de surface après une perturbation momentanée (point rouge, lignes bleues = fronts de perturbation)
1 écoulement sous-critique, 2 écoulement critique, 3 écoulement supercritique

Écoulement sous-critique

On observe des perturbations du comportement d'écoulement en amont. La vitesse d'écoulement v est inférieure à la vitesse de propagation c d'une onde de surface. Un écoulement sous-critique a normalement une profondeur de l'écoulement h élevée à une vitesse d'écoulement v faible.

Écoulement critique

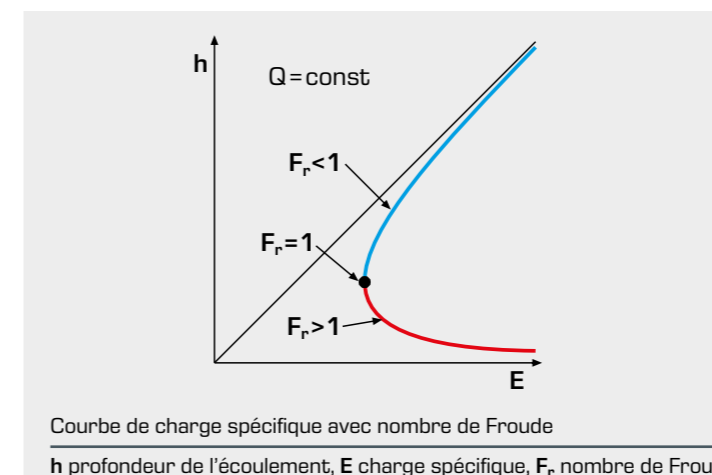
On n'observe aucune perturbation du comportement d'écoulement en amont. La vitesse d'écoulement v est égale à la vitesse de propagation c d'une onde de surface.

Écoulement supercritique

On n'observe aucune perturbation du comportement d'écoulement en amont. La vitesse d'écoulement v est supérieure à la vitesse de propagation c d'une onde de surface.

Le **nombre de Froude** décrit le rapport qui existe entre la vitesse d'écoulement v et la vitesse de propagation c d'une onde de surface et sert donc à déterminer le type d'écoulement (écoulement sous-critique ou écoulement supercritique). Un nombre de Froude identique correspond à une dynamique similaire de l'écoulement dans des canaux.

$Fr < 1$: sous-critique, $Fr = 1$: critique, $Fr > 1$: supercritique



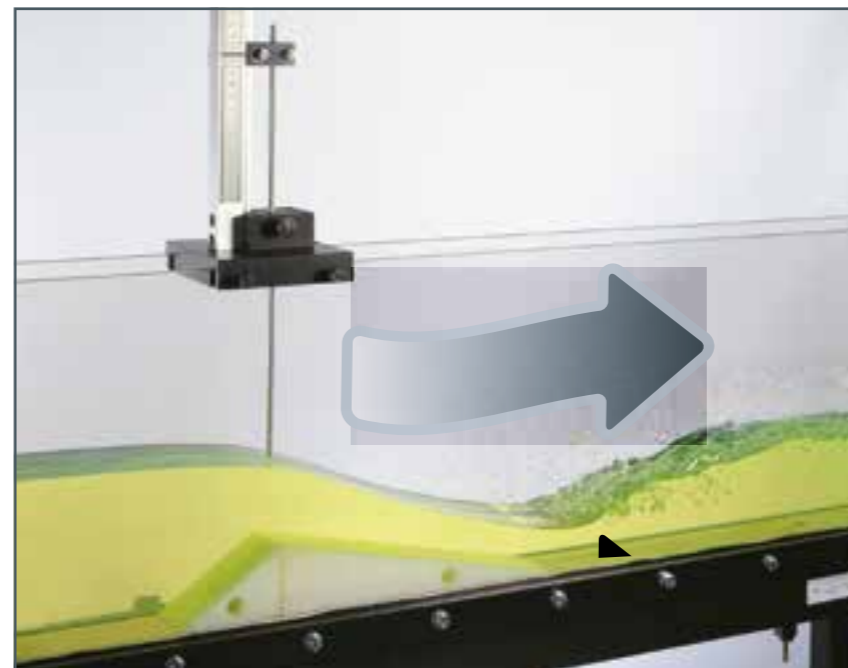
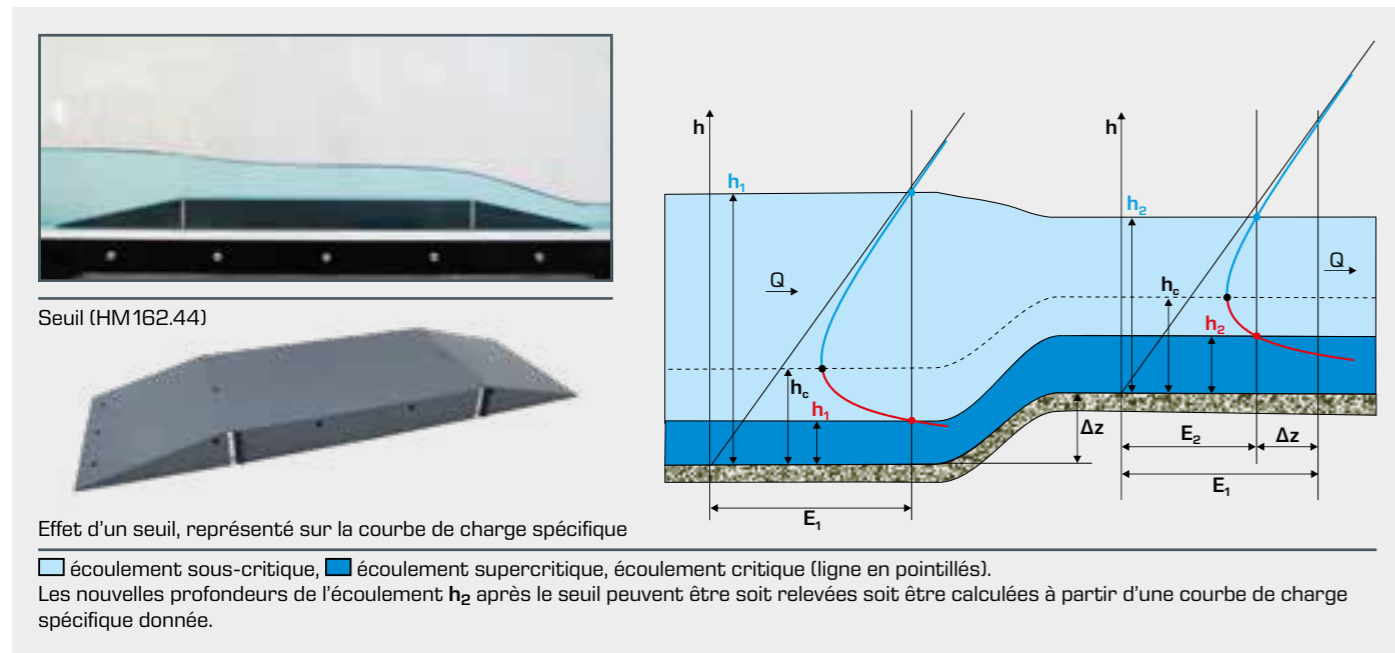
Courbe de charge spécifique avec nombre de Froude
 h profondeur de l'écoulement, E charge spécifique, F_r nombre de Froude

L'écoulement dans des canaux a de nombreuses similitudes avec l'écoulement compressible. Dans les deux cas, il existe un nombre caractéristique sans dimension (Froude ou Mach) qui caractérise l'écoulement. De nombreuses différences entre l'écoulement sous-critique et l'écoulement supercritique ont des analogies dans l'écoulement subsonique et l'écoulement supersonique.

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Nombre de Froude et écoulement critique



Ressaut sur un déversoir

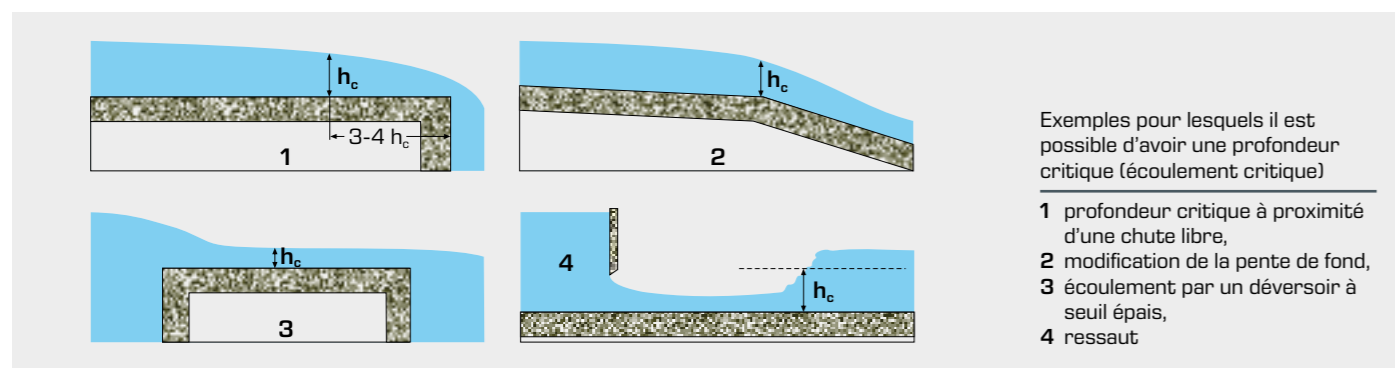


Ressaut dans un égout

Écoulement critique (nombre de Froude = 1)

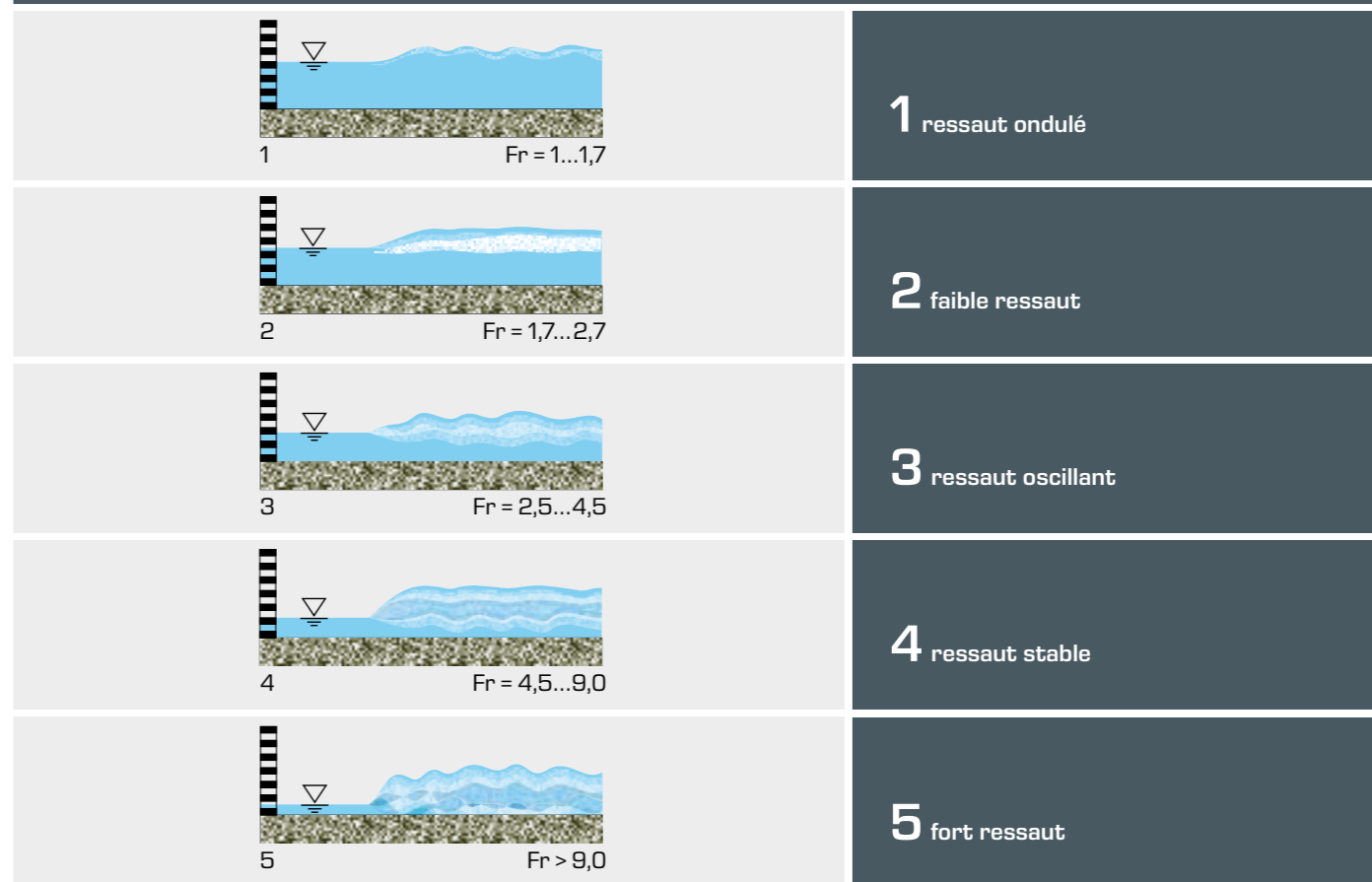
À la charge spécifique minimale E_{min} , la profondeur de l'écoulement h correspond à la profondeur critique h_c . Au niveau de ce point, le nombre de Froude est $Fr=1$, l'écoulement est critique et

la vitesse de propagation c est égale à la vitesse d'écoulement v . Au niveau de ce point, la force spécifique F dans le canal est également minimale.



Écoulement	Profondeur de l'écoulement	Vitesse d'écoulement	Pente	Nombre de Froude
Écoulement sous-critique	$h > h_c$	$v < v_c$	$J < J_{KRIT}$	$Fr < 1$
Écoulement critique	$h = h_c$	$v = v_c$	$J = J_{KRIT}$	$Fr = 1$
Écoulement supercritique	$h < h_c$	$v > v_c$	$J > J_{KRIT}$	$Fr > 1$
Pour canal rectangulaire	$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$	$v_c = \sqrt{gh_c}$		$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$

Formation du ressaut avec différents nombres de Froude



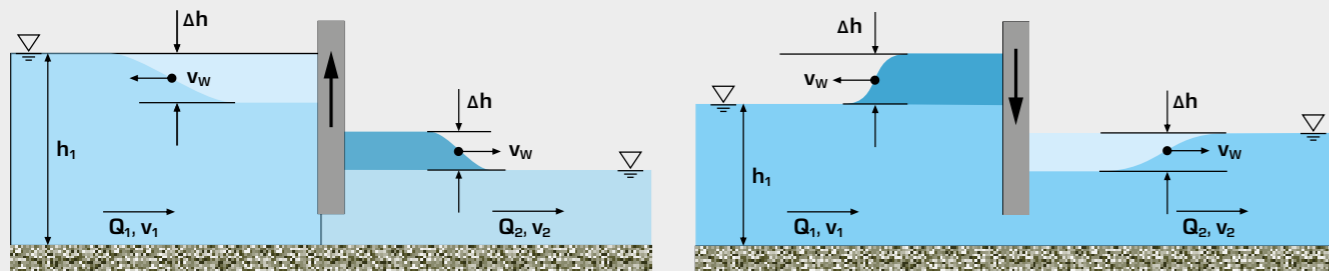
Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Montée et abaissement du niveau dans un canal ouvert

Les phénomènes de "montée du niveau" et d' "abaissement du niveau" dans un canal ouvert désignent des vagues qui se forment sous l'effet d'une modification soudaine du débit. Dans les conduites, un phénomène similaire est celui des coups de bélier. La modification soudaine du débit peut avoir lieu par exemple au moment de l'ouverture ou de la fermeture d'une vanne ou lors de la mise à l'arrêt de turbines. L'onde de choc se forme de manière abrupte (la vitesse de propagation de l'onde augmente avec l'augmentation de la profondeur de l'eau). L'onde négative est au contraire plutôt plate.

En première approche, la hauteur de la montée et de l'abaissement du niveau sont à peu près les mêmes et peuvent être calculées avec l'équation de continuité. En cas d'ouverture brusque (illustration de gauche) on parle d'abaissement du niveau dû au soutirage en aval et de montée du niveau d'eau, en cas de fermeture (illustration de droite), on parle d'onde positive de retenue et d'onde négative en aval.



Ondes de choc et ondes négatives en cas d'actionnement soudain d'une vanne

à gauche ouverture de la vanne, à droite fermeture de la vanne;
 Q débit, h profondeur de l'écoulement, Δh hauteur d'onde positive ou hauteur d'onde négative,
 v vitesse d'écoulement, v_w vitesse de propagation de l'onde;
 Index 1 grandeurs avant la perturbation, Index 2 grandeurs après la perturbation,
 ■ onde de choc, □ onde négative



Onde de choc

Essai d'écoulement dans des canaux



Aalto University
Finland



Federal Waterways Engineering
and Research Institute
Germany



University of Southampton
United Kingdom

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

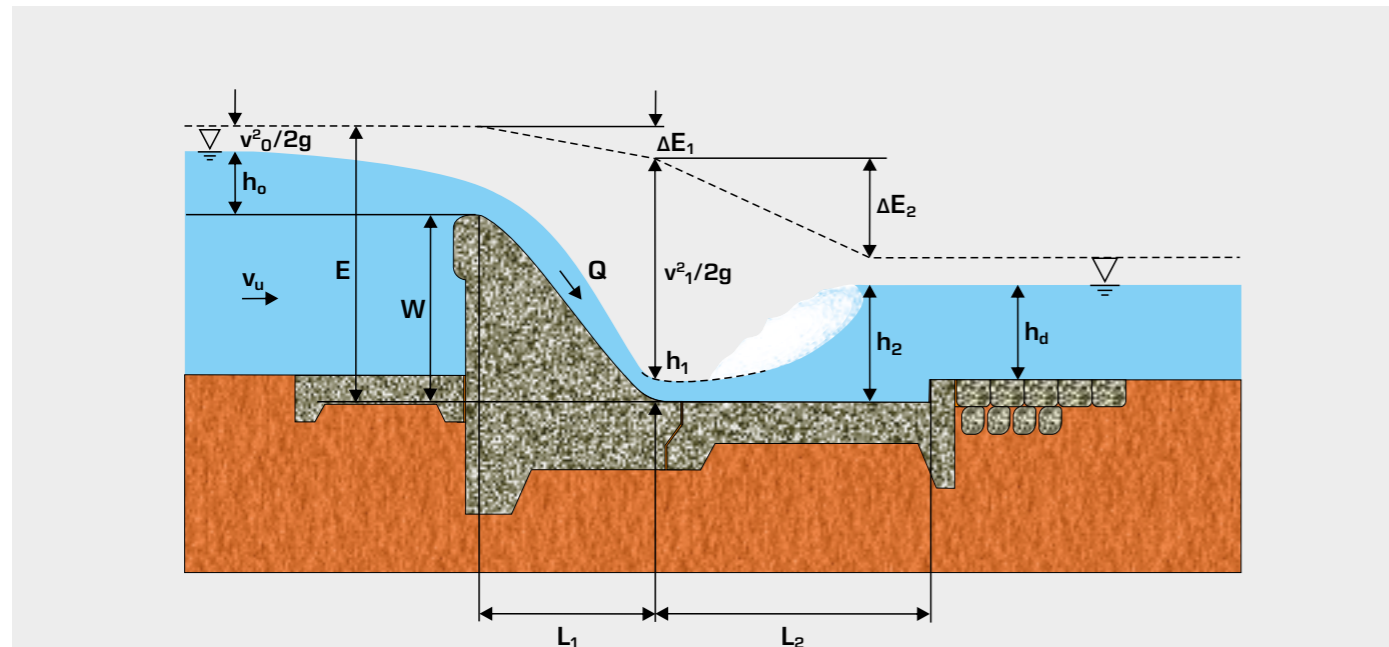
Dissipation d'énergie

L'écoulement supercritique en particulier a souvent une énergie d'écoulement élevée, qui se compose de l'énergie cinétique requise pour la poursuite de l'écoulement et de l'énergie en excédent. L'énergie en excédent peut entraîner entre autres une érosion des fonds. C'est pourquoi il est important de dissiper cette énergie en excédent. Ce qui peut être réalisé dans le ressaut mentionné précédemment (formé librement ou intentionnellement dans le bassin d'amortissement) ou dans des chutes spécialement conçues à cet effet (en forme d'escalier ou de saut de ski). Un jet libre se forme sur un dos de déversoir

avec obstacle en forme de saut de ski, qui jaillit dans l'air et dissipe son énergie après avoir percuté le fond (voir photo en bas à gauche).

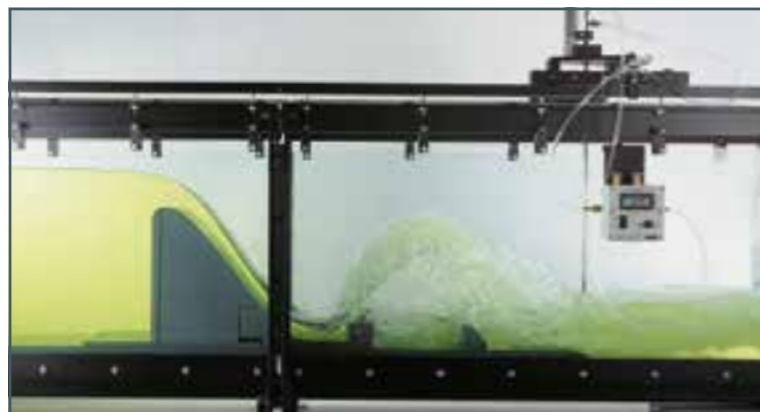
On trouve de l'énergie en excédent aux endroits suivants:

- au niveau d'étranglements de la coupe transversale, par exemple déversoirs, vannes
- dans des canaux à forte pente ou des pentes abruptes
- en cas de modification de la profondeur de l'écoulement du fait d'obstacles



Écoulement supercritique sur le déversoir dénudé avec dissipation d'énergie consécutive dans le bassin d'amortissement

h_0 hauteur, v_0 vitesse d'écoulement de l'eau en amont, W hauteur du déversoir, E charge spécifique, Q débit, h_1 profondeur de l'écoulement minimum, h_2 profondeur de l'écoulement après le ressaut, h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval, L_1 longueur du corps de déversoir, L_2 longueur du bassin d'amortissement, ΔE dissipation d'énergie (perte de charge); **ligne en pointillés** ligne de charge



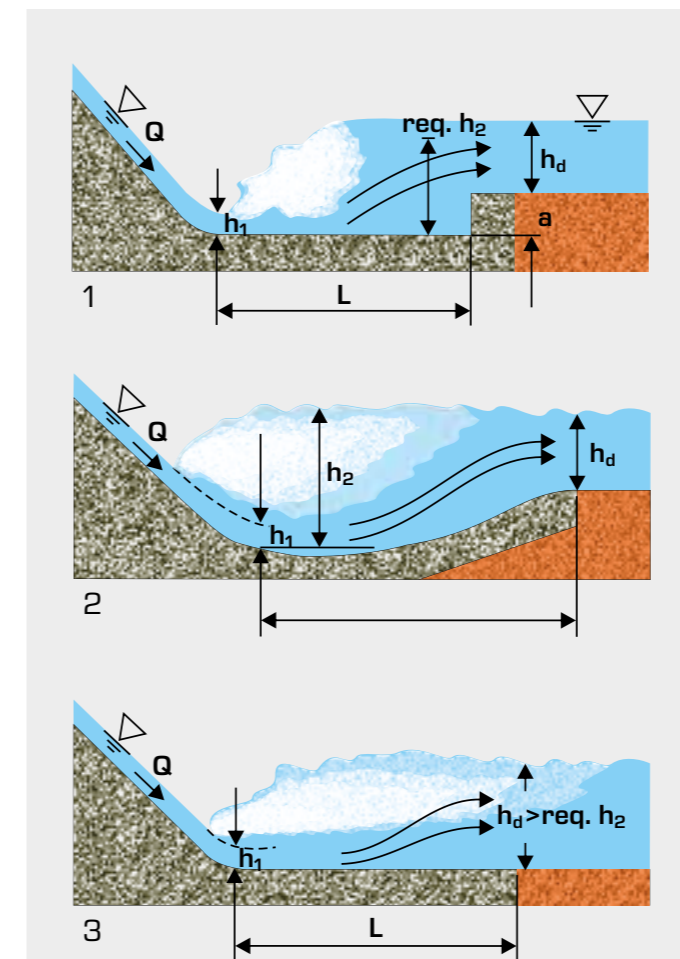
HM162 avec déversoir à crête arrondie HM162.32 et seuils de HM162.35



Déversoir à crête arrondie HM162.32

Les bassins d'amortissement ont les fonctions suivantes:

- stabilisation du ressaut à un endroit défini (la position du ressaut peut sinon varier en fonction de la profondeur de l'écoulement h ou les conditions de retenue dans l'eau en aval)
- en plus du ressaut, dissipation supplémentaire d'énergie par des éléments de construction tels que blocs de dissipation d'énergie ou seuils
- protection du fond du canal contre l'érosion et la formation d'affouillement (dépression en forme d'entonnoir ou de cuvette au fond du canal)
- transformation de l'énergie (cinétique, potentielle) en excédent d'eau en énergie thermique et en énergie sonore; une bonne transformation de l'énergie a lieu avec des nombres de Froude compris entre 4 et 8.



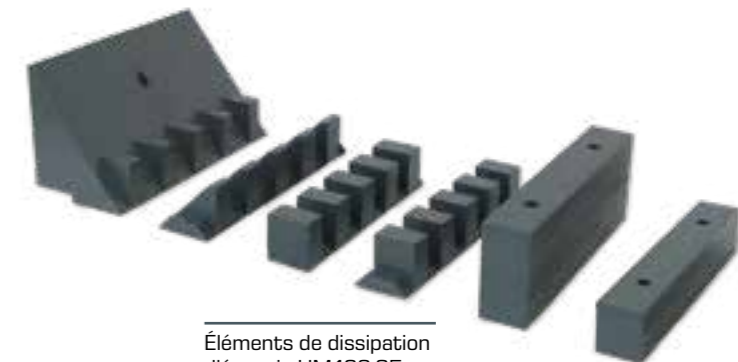
Formes de construction des bassins d'amortissement

- 1 avec dépression, 2 avec dépression en forme d'auge, 3 sans dépression;
a étage positif, Q débit, L longueur du bassin d'amortissement, h_1 profondeur de l'écoulement au début du bassin d'amortissement, h_2 profondeur conjuguée dans le ressaut, h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval, $req. h_2$ profondeur d'écoulement requise en théorie

Il est important que le ressaut ne se déplace pas du bassin d'amortissement en direction de l'eau en aval et y provoque un affouillement. A cet effet, il est conseillé d'avoir une retenue légère. On utilise un ratio spécifique pour calculer la retenue du bassin d'amortissement. Il s'agit du rapport entre la profondeur de l'écoulement réelle h et la profondeur de l'écoulement requise en théorie $req. h$ ("required").

Le bassin d'amortissement peut être rendu plus efficace par le biais d'actions diverses. Il est possible d'élargir la section d'écoulement ou d'ajouter ce que l'on appelle des blocs de chute.

Il est possible aussi d'intégrer des blocs de chute et des seuils au fond du bassin d'amortissement des canaux d'essai de GUNT. Ces éléments destinés à la dissipation d'énergie facilitent la transformation de l'énergie, accélérant ainsi sa dissipation.



Éléments de dissipation d'énergie HM162.35

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Ouvrages de contrôle

Les ouvrages de contrôle sont des éléments courants des canaux; ils ont les fonctions suivantes:

- hausse du niveau d'eau, pour obtenir par exemple une profondeur suffisante d'un chenal pour faciliter la navigation des bateaux, pour une exploitation de l'énergie hydraulique, pour une protection contre l'érosion par une réduction de la vitesse d'écoulement
- régulation du débit
- mesure du débit

Les **déversoirs** et **vannes** sont des ouvrages de contrôle typiques. Ce qui les distingue l'un de l'autre est le fait que l'écoulement se fasse par dessus (**pour le déversoir**) ou par dessous (**pour la vanne**). Les ouvrages de contrôle sont soit **fixes**, soit **mobiles**. Les **vannes** sont le plus souvent mobiles, elles peuvent réguler le niveau de l'eau et le débit. Les mouvements peuvent être: levables, abaissables, elles peuvent aussi être tournants, rotatifs, roulants ou être commandés par des associations des mouvements mentionnés. Les **déversoirs** peuvent être fixes ou mobiles. Les déversoirs fixes ne peuvent pas réguler le niveau de l'eau, mais offrent l'avantage de ne pas comporter de pièces mobiles sujettes à des dysfonctionnements et nécessitant une maintenance intensive. Une forme spéciale de déversoir fixe est le déversoir à siphon (voir page 92).

Dans la zone de l'ouvrage de contrôle, l'écoulement passe de sous-critique à supercritique.

Les ouvrages de contrôle réels sont constitués par les éléments suivants:

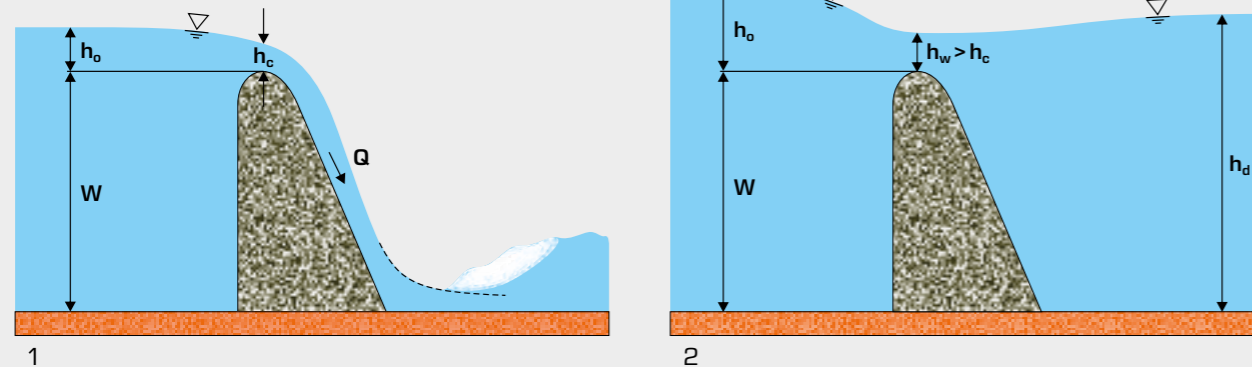
- corps de barrage (produit une hausse du niveau d'eau); peut être fixe, mobile ou les deux à la fois
- bassin d'amortissement: dissipation d'énergie de l'écoulement
- fixation du radier dans l'eau en amont et l'eau en aval, ouvrages de raccordement (bajoyers)
- constructions de continuité écologique

Conditions de nappe au niveau du déversoir

On peut trouver deux **conditions de nappe** au niveau du déversoir. Dans le cas de la **nappe dénoyée**, l'eau en amont n'est pas influencée par l'eau en aval. L'écoulement est critique au niveau de la crête de déversoir. La crête de déversoir se situe au-dessus du niveau aval. Le déversoir est qualifié de **déversoir dénoyé**.

Dans le cas de la **nappe noyée**, l'eau en amont est influencée par l'eau en aval. Le déversoir agit comme ce que l'on appelle un **déversoir noyé** et est très souvent entièrement immergé.

Lorsque la **nappe est dénoyée**, les déversoirs découplent le niveau de l'eau en amont de celui de l'eau en aval. Dès lors que l'eau en aval submerge les crêtes de déversoir au point qu'au-dessus d'elle la profondeur critique est dépassée, on a une **nappe noyée**.



1 nappe dénoyée, 2 nappe noyée;
W hauteur du déversoir, h_0 hauteur, h_c profondeur critique, Q débit, h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval,
 h_w profondeur de l'écoulement sur la crête de déversoir

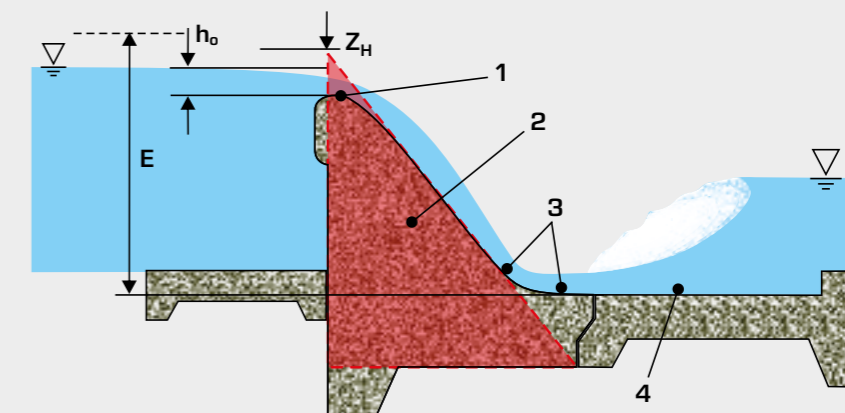
On distingue principalement trois **types de déversoirs**:

- à **paroi mince**
- à **crête arrondie** / arrondi (déversoir dénoyé)
- à **seuil épais**

Les déversoirs à paroi mince sont utilisés de préférence comme déversoir de mesure; on trouve souvent les déversoirs à crête arrondie comme déversoir de retenue et évacuateur de crue et les déversoirs à seuil épais servent souvent de seuil et d'ouvrage submergé.

Les trois types de déversoirs sont étudiés dans les canaux d'essai de GUNT.

Ouvrages de contrôle: écoulement par des déversoirs fixes



Ouvrage de contrôle simplifié:
déversoir à crête arrondie avec bassin d'amortissement

1 crête de déversoir, 2 corps de déversoir, 3 doucine, 4 bassin d'amortissement; Z_H niveau maximal de la retenue le plus élevé, h_0 hauteur, E charge spécifique;
■ triangle de base du déversoir utilisé comme aide au dimensionnement

Les déversoirs fixes sont souvent utilisés pour retenir les eaux d'une rivière. Le déversoir lui-même est constitué d'un corps de barrage massif. Le moment appliqué par la pression de l'eau est compensé par le poids du barrage. C'est la raison pour laquelle les déversoirs sont normalement construits de telle manière à ce que leurs contours externes correspondent à peu près à un triangle. Le dos de déversoir peut être conçu de manière à favoriser l'écoulement, afin d'atteindre un débit Q maximum. Le **profil WES** est un profil d'écoulement favorable à l'hydraulique qui a été développé par l'armée américaine à la **Waterways Experi-**

mental Station de Vicksburg, MS, aux États-Unis. La conception du profil WES ne suppose pas la présence de ce que l'on appelle le débit de dimensionnement. En général, des débits inférieurs au débit de dimensionnement sont évacués par le déversoir. Le déversoir est donc optimisé pour un débit un peu inférieur. Pour les débits inférieurs ou égaux au "débit de projection", le profil d'écoulement reste stable, les décollements de la lame sont évités. Dans le cas où on a le débit de dimensionnement, de faibles sous-pressions se forment sur le dos de déversoir. Ceux-ci ne présentent néanmoins aucun danger pour le déversoir.

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Ouvrages de contrôle:
types de chutes sur le déversoir

Il existe deux types de chute: ce qu'on appelle le **déversoir à chute libre** et le **déversoir à profil hydrodynamique**. Pour les deux types de chute, la condition de nappe peut être noyée ou dénoyée.

Pour le cas du **déversoir à chute libre**, il est important que la lame déversante soit aérée afin qu'elle tombe librement. Sans aération, des dysfonctionnements peuvent se produire et entraîner une baisse de débit.

Dans le cas du **déversoir à profil hydrodynamique** sur un déversoir fixe, il est important d'éviter tout décollement de la lame (débit réduit) ainsi que des dépressions trop élevées (risque de cavitation).



Déversoir à chute libre au niveau du déversoir de mesure

Ouvrages de contrôle: calcul du débit sur le déversoir

Le calcul du débit joue un rôle important dans le cadre de l'écoulement à travers des ouvrages de contrôle. Pour calculer le débit, on utilise la **formule de Poleni**. Pour un déversoir avec nappe dénoyée, on applique la relation:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h_0 \sqrt{2gh_0}$$

μ est un facteur qui tient compte de la géométrie du déversoir (voir Tableau), b est la largeur de crête du déversoir, h_0 est la hauteur.

Dans le cas de la nappe noyée, l'équation est complétée par un facteur de réduction relevé sur les graphiques correspondants.

En se servant de l'équation de Bernoulli, on peut calculer la charge spécifique E à partir de l'énergie cinétique (vitesse d'approche v_0) et de la profondeur h_0 de l'eau en amont. v_0 a souvent une valeur relativement faible et est donc ignorée.

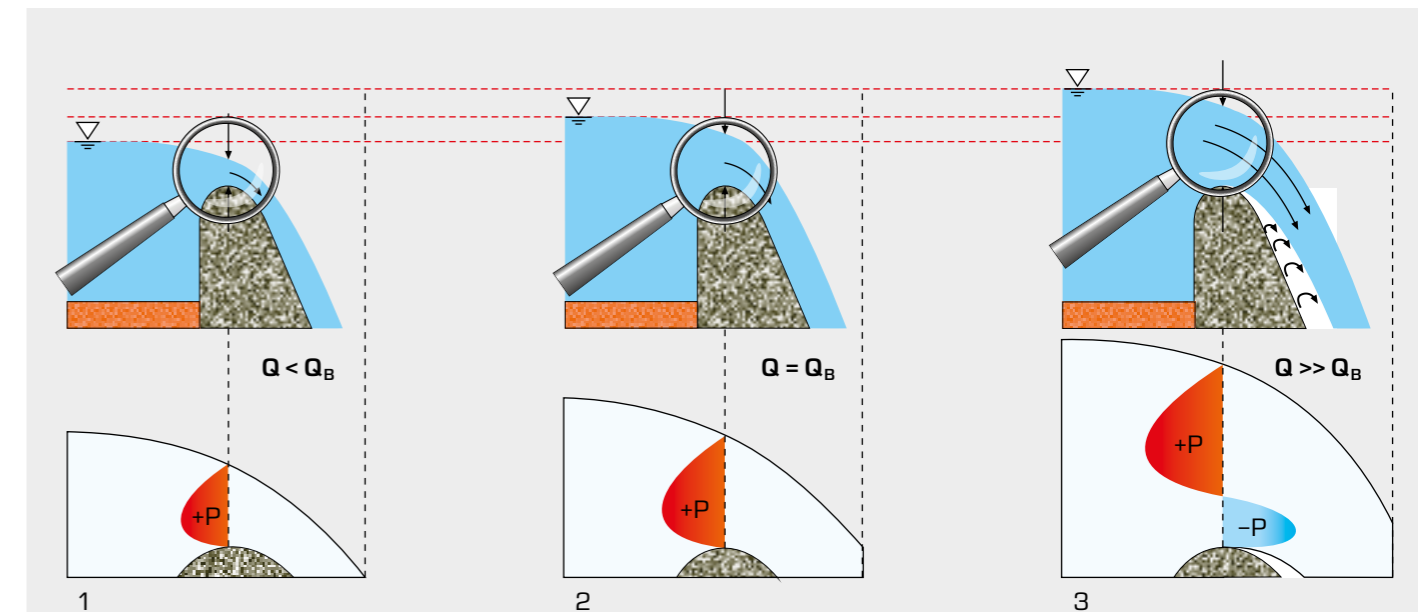
L'écoulement appliqué aux modèles étudiés avec les canaux d'essai GUNT est normal, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction de l'écoulement. Les déversoirs considérés font donc partie du groupe des déversoirs fixes.

Dans la pratique, il existe aussi ce qu'on appelle des déversoirs latéraux utilisés pour l'évacuation de crues. Les déversoirs latéraux sont montés en parallèle à la direction de l'écoulement. Les déversoirs latéraux sont également des déversoirs fixes.

Ouvrages de contrôle: déversoirs à crête arrondie

Les déversoirs à crête arrondie fixes (en anglais, „Ogee weir”) sont utilisés avant tout comme évacuateur de crue. Ils ont habituellement un dos de déversoir favorable à l'écoulement, par exemple avec le profil WES.

Sur le déversoir à crête arrondie HM162.34 de GUNT, la distribution de la pression est mesurée le long du dos de déversoir et s'affiche directement sur un manomètre à huit tubes.

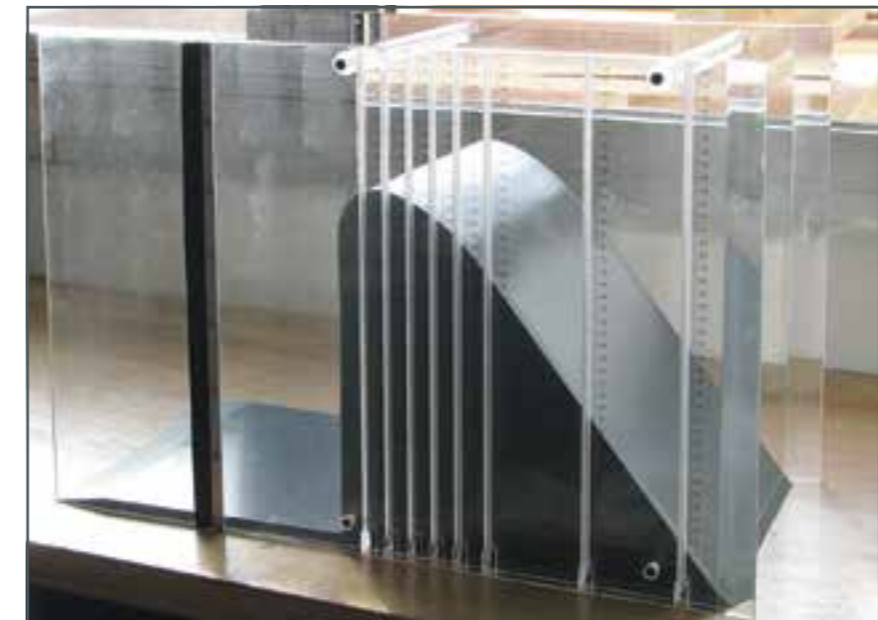


Déversoir à profil hydrodynamique sur le déversoir à crête arrondie, distribution de la pression sur la crête de déversoir avec différents débits

1 lame déversante sur la crête, 2 le dos de déversoir correspond à peu près au contour de la lame déversante libre, 3 lame déversante se décollant quand le débit est très élevé; Q débit, Q_B débit de dimensionnement

Coefficients de débit μ pour des déversoirs avec différentes formes de crête

	Formation des crêtes de déversoir	μ
	large, en à paroi mince, horizontal	0,49...0,51
	large, bords bien arrondis, horizontal	0,50...0,55
	large, crête de déversoir entièrement arrondie, réalisée par une vanne de retenue rabattue	0,65...0,73
	à paroi mince, lame déversante aérée	$\approx 0,64$
	à crête arrondie, côté de l'eau en amont vertical et côté de l'eau en aval incliné	0,73...0,75
	en forme de toit, crête de déversoir arrondie	0,75...0,79



Distribution de la pression sur le déversoir à crête arrondie HM162.34

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

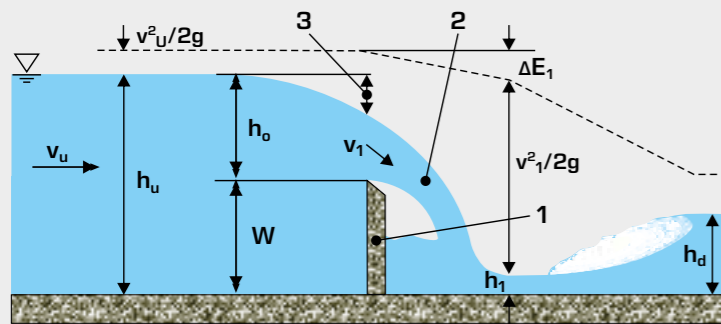
Ouvrages de contrôle: déversoirs à paroi mince

Sur le déversoir à paroi mince, on a également la nappe dénoyée et la nappe noyée. Pour obtenir un débit optimal sur le déversoir à paroi mince, il est important que la lame déversante soit aérée. La pression qui règne sur les parties supérieure et inférieure de la lame déversante aérée est la pression ambiante.

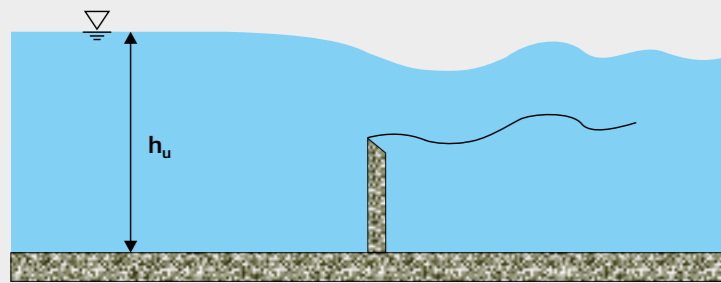
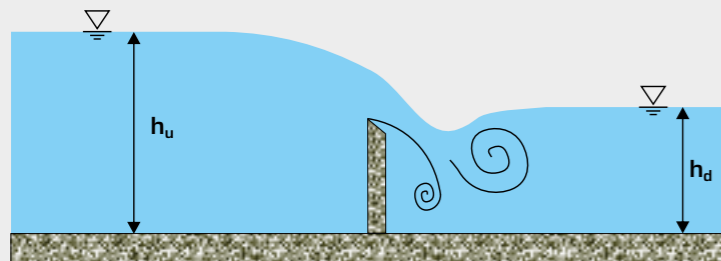
Les grandeurs typiques sont la hauteur du déversoir W , la hauteur h_o au-dessus de la crête de déversoir de l'eau en amont et la profondeur d'écoulement de l'eau en aval h_d . Avec la largeur du déversoir b , ces grandeurs sont intégrées à la formule de Poleni (p. 88) pour le calcul du débit. Certaines grandeurs sont intégrées indirectement dans des coefficients ou des facteurs de réduction.



HM162.30
Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types



Nappe dénoyée aérée au niveau du déversoir à paroi mince
1 déversoir, 2 lame déversante, 3 abaissement;
 v_u vitesse dans l'eau en amont,
 v_1 vitesse dans la lame déversante,
 h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval,
 h_o hauteur,
 h_u profondeur de l'eau en amont,
 W hauteur du déversoir



Nappe noyée
1 sur le déversoir à paroi mince partiellement immergé,
2 sur le déversoir à paroi mince entièrement immergé (débit ondulé)

Ouvrages de contrôle: déversoirs à seuil épais

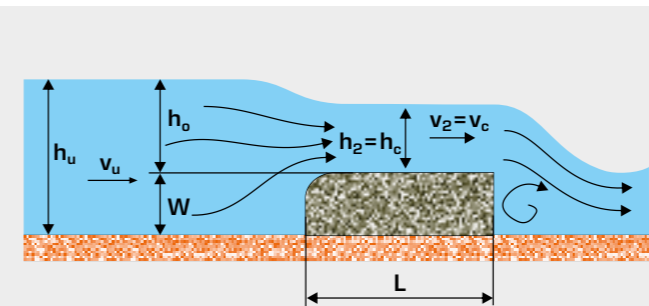
Les déversoirs à seuil épais sont des ouvrages submergés utilisés dans les eaux courantes dans lesquelles le débit varie peu et pour lesquelles on souhaite obtenir un niveau maximal de retenue relativement faible. Ils peuvent en outre constituer la partie inférieure d'un ouvrage de contrôle mobile.

Les déversoirs à seuil épais sont caractérisés par le fait qu'une courte section d'écoulement pratiquement uniforme avec profondeur critique se produit sur la crête de déversoir (voir illustration). On a sur cette section une répartition de la pression hydrostatique, et les lignes de courant sont pratiquement horizontales. Ces conditions sont valables tant que le ratio hauteur sur longueur du déversoir h_o/L est compris entre 0,08 et 0,5. Les déversoirs à seuil épais ayant ces dimensions peuvent être également utilisés comme **déversoir de mesure**.

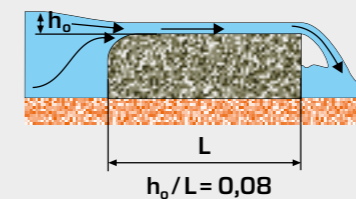
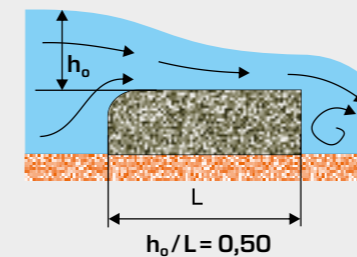
Dès lors que $h_o/L < 0,08$, les pertes par frottement ne peuvent plus être négligées, le corps de déversoir est trop long pour pouvoir servir de déversoir de mesure. Lorsque $h_o/L > 0,5$, c'est-à-dire avec des corps de déversoir courts, les lignes de courant ne sont pas horizontales, la distribution de la pression n'est pas hydrostatique, et on ne peut donc pas utiliser les méthodes de calcul présentées dans cette brochure.

Pour des raisons écologiques on utilise aujourd'hui rarement un déversoir à seuil épais comme seuil dans les rivières. On lui préfère la construction d'une rampe afin que les poissons et autres créatures aquatiques puissent nager en amont.

Les canaux d'essai GUNT permettent d'étudier différents déversoirs à seuil épais et les débits respectifs Q .



Déversoir à seuil épais
 v_u vitesse d'écoulement de l'eau en amont,
 h_u profondeur de l'eau en amont,
 W hauteur du déversoir,
 h_c profondeur critique,
 L longueur du déversoir;
Les flèches montrent les lignes de courant



Seuil HM162.44



Déversoir cunéiforme HM162.33



Déversoir à seuil épais HM162.31

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

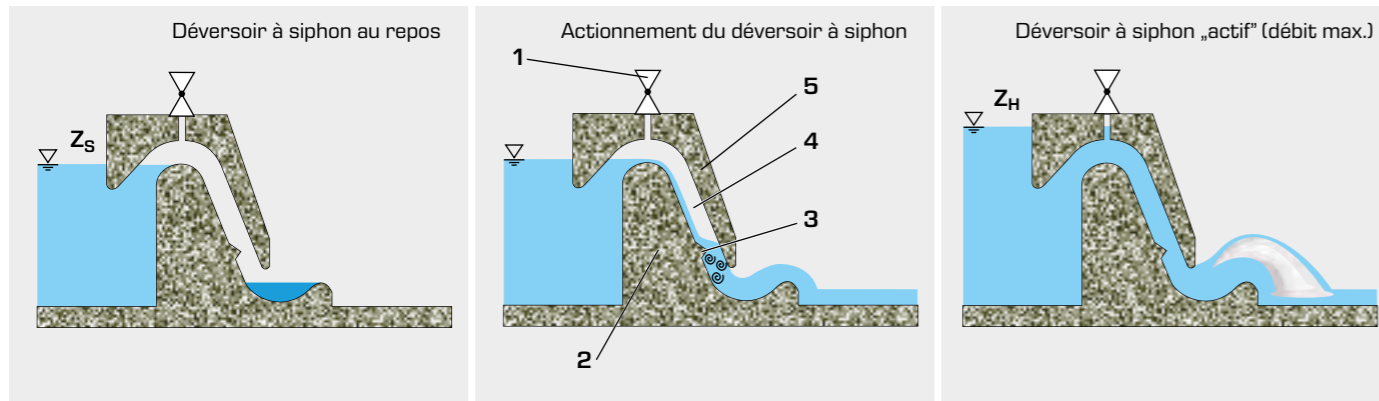
Ouvrages de contrôle: déversoir à siphon

Le déversoir à siphon compte parmi les déversoirs fixes. Le principe hydraulique du siphon est représenté dans les illustrations, le montrant par exemple dans le cas de son utilisation comme évacuateur de crue.

Dès que le niveau de l'eau du lac artificiel monte juste au-dessus de la crête de déversoir du corps de barrage, le siphon se déclenche, ce qui entraîne une brève chute libre. En cas de légère augmentation du niveau de l'eau, et donc de légère hausse du débit, le jet d'eau est conduit par le nez d'amorçage en direction du recouvrement de siphon. Cela entraîne une évacuation par le tuyau de siphon, et donc un écoulement en charge dans le conduit entièrement traversé. Cet écoulement en charge a une capacité d'évacuation élevée qui augmente à peine lorsque le niveau de l'eau continue d'augmenter.

Lorsque le niveau de l'eau du lac artificiel redescend au point qu'il passe en dessous du bord de la lèvres d'entrée, de l'air est aspiré dans le siphon et le siphon est aéré. Ce qui interrompt brusquement l'écoulement d'eau.

Un dispositif d'aération complémentaire permet d'interrompre le débit à tout moment. Les déversoirs à siphon de GUNT disposent d'une aération permettant de comparer le fonctionnement ou la capacité d'évacuation du déversoir à siphon avec et sans aération. Les possibilités d'ajustage des déversoirs à siphon sont limitées et ils ne peuvent pas être surchargés. Du fait de leur capacité d'évacuation élevée, ils étaient autrefois souvent utilisés dans les barrages pour l'évacuation de crues.

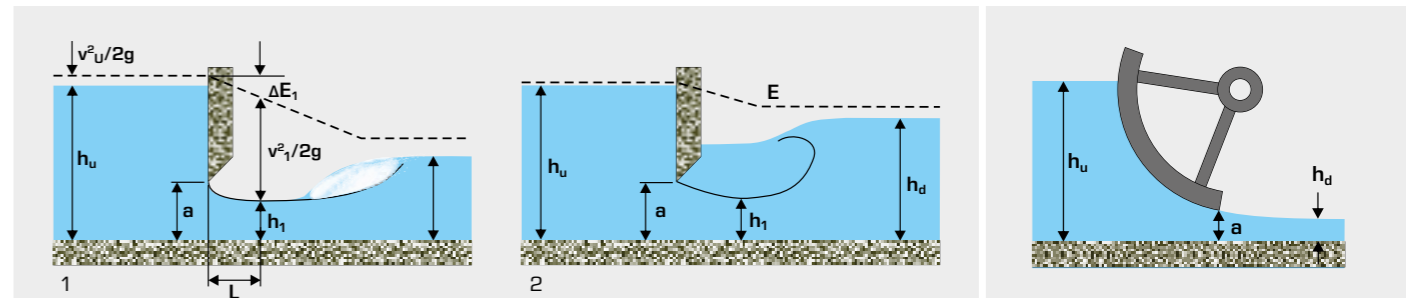


Principe d'un déversoir à siphon

1 aération maniable, 2 corps de déversoir, 3 nez d'amorçage, 4 tuyau de siphon, 5 recouvrement de siphon;
Z_s niveau maximal de la retenue, Z_H niveau maximal de la retenue le plus élevé

Déversoir à siphon
HM162.36

Ouvrages de contrôle: écoulement sous des vannes



Écoulement en dessous d'une vanne plane

1 écoulement dénoyé, 2 écoulement noyé;
h_u profondeur de l'eau en amont, a hauteur de l'ouverture de vanne,
h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval, h₁ profondeur minimale de l'écoulement,
L position de la profondeur minimale de l'écoulement, E charge spécifique, ΔE perte de charge

Écoulement en dessous d'une vanne radiale

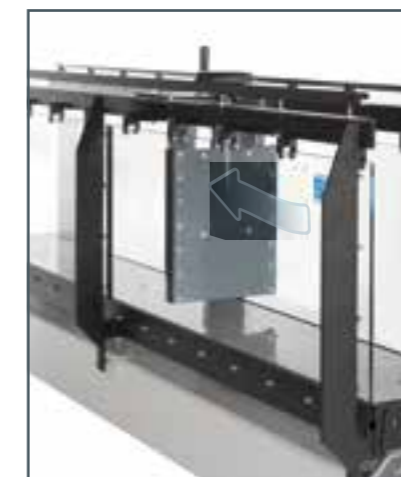
h_u profondeur de l'eau en amont,
a hauteur de l'ouverture de vanne,
h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval

Pour les vannes il y a, comme pour les déversoirs submergés, un **écoulement dénoyé** et un **écoulement noyé**. Une contraction de jet a lieu lors de l'écoulement, que l'on appelle "vena contracta" (profondeur minimale de l'écoulement h₁). On a un **écoulement dénoyé** tant que l'écoulement s'écoule sans perturbation en dessous de la vanne et qu'il n'y a pas de retenue de l'eau en aval au niveau de la vanne. Dans le cas de l'écoulement dénoyé, on a un écoulement supercritique juste après la vanne.

Par analogie avec l'écoulement par des déversoirs, on calcule le débit d'écoulement dénoyé Q à partir de l'équation de Bernoulli, du principe de conservation de l'impulsion et de l'équation de continuité

$$Q = \mu b a \sqrt{2gh_u}$$

avec μ = coefficient de débit, b = largeur de vanne, a = hauteur de l'ouverture de vanne.



Vanne plane HM162.29



Vanne radiale HM162.40

Les vannes sont des ouvrages de contrôle mobiles, ce qui signifie que l'hauteur de l'ouverture de vanne a et donc le débit Q est modifié et ajusté aux besoins réels. Il existe dans la pratique des diagrammes caractéristiques sur lesquels on peut lire le débit Q (à des profondeurs de l'eau en amont et de l'eau en aval h_u et h_d et pour une hauteur de l'ouverture de vanne a donnés).

La vanne radiale circulaire est une vanne très couramment utilisée pour contrôler le débit. La vanne radiale est souvent placée sur la crête de déversoir d'un ouvrage de contrôle. L'écoulement ne passe pas seulement en dessous de la vanne radiale, il peut aussi passer par-dessus lorsque la vanne radiale est positionnée à l'intérieur d'un canal (déversoir radial).

Les canaux d'essai de GUNT permettent l'installation et l'étude d'une vanne plane plate et d'une vanne radiale.

Connaissances de base Écoulement dans des canaux

Passage

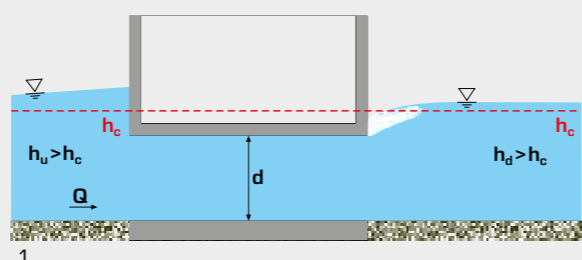
Les passages font partie des ouvrages de croisement dans les eaux courantes et permettent le passage de l'eau. Il peut s'agir d'un tuyau qui passe en dessous d'une route, permettant ainsi à l'eau de la traverser.

Le passage peut être, selon le débit rencontré, partiellement rempli ou entièrement traversé. Le passage partiellement rempli avec surface libre est traité comme un canal. Le passage entièrement traversé et le passage sur lequel l'entrée est complètement submergée font eux partie des ouvrages de contrôle. On a ici une limitation du débit. On peut aussi avoir une association des deux états, si bien que le passage est en partie entièrement traversé, et en partie partiellement rempli.

Les passages ne sont pas favorables à l'hydraulique pour différentes raisons: ils entraînent des pertes d'écoulement, sont sujets aux "engorgements" (poubelle, sédiments) peuvent entraîner un affouillement à l'entrée et à la sortie et ont souvent des dimensions insuffisantes en cas de crues. Ils sont en plus difficiles à franchir pour les créatures aquatiques. Les ponts sont une meilleure alternative sur le plan hydraulique, mais sont beaucoup plus onéreux.

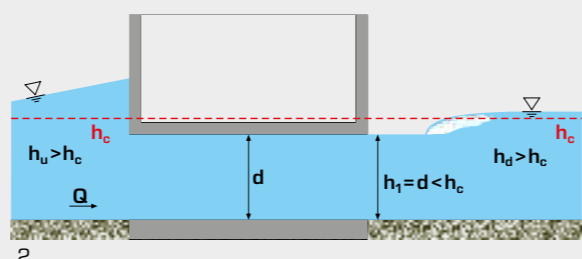
Type de débit 1

passage entièrement traversé, avant et après le passage $Fr < 1$; h_u profondeur de l'eau en amont, h_c profondeur critique, Q débit, d diamètre du passage, h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval



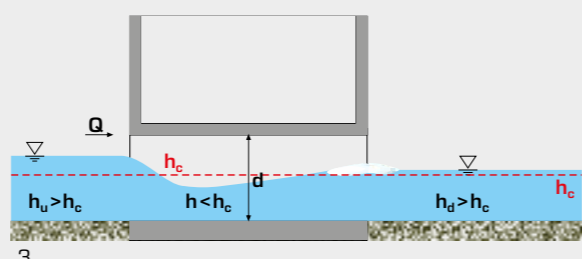
Type de débit 2

passage entièrement traversé, avant le passage $Fr < 1$; juste après le passage $Fr > 1$



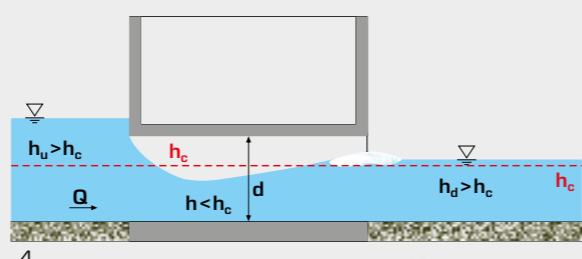
Type de débit 3

passage partiellement rempli, ici avec changement d'écoulement à l'entrée et après le passage; également possible: débit continu avec $Fr < 1$ ou $Fr > 1$



Type de débit 4

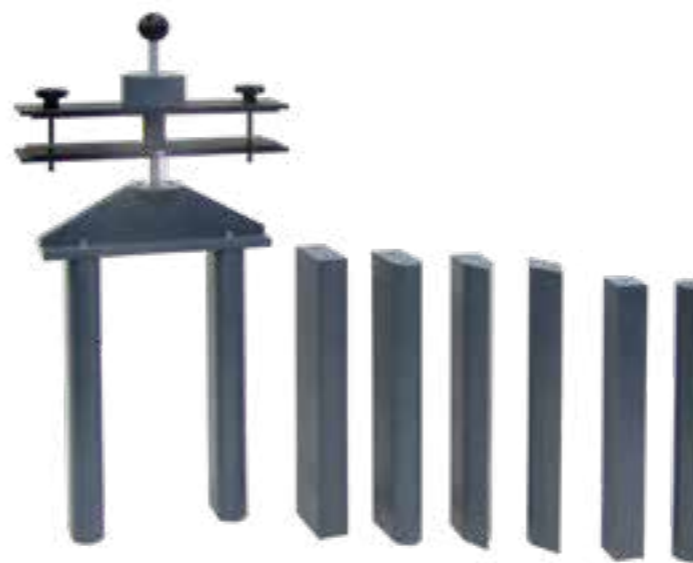
passage enterré épanché avec contrôle de l'écoulement; changement d'écoulement possible même dans le passage, de manière à ce que le passage soit en partie entièrement traversé



Passage HM162.45

Pertes locales dans des canaux ouverts

Des pertes locales apparaissent au niveau de modifications de la coupe transversale (étranglement, seuils, canaux jaugeurs), modifications de direction et obstacles. Les piles pour les ponts ou les déversoirs constituent un exemple d'obstacles dans les canaux. Les piles rétrécissent la section d'écoulement. Ce qui peut entraîner une retenue.



Jeu de piles HM162.46

D'un point de vue hydraulique, on compte quatre cas généraux de piles pour lesquels on considère à des fins d'évaluation le comportement d'écoulement sans obstacles, autrement dit l'écoulement normal. Les quatre cas généraux sont les suivants:

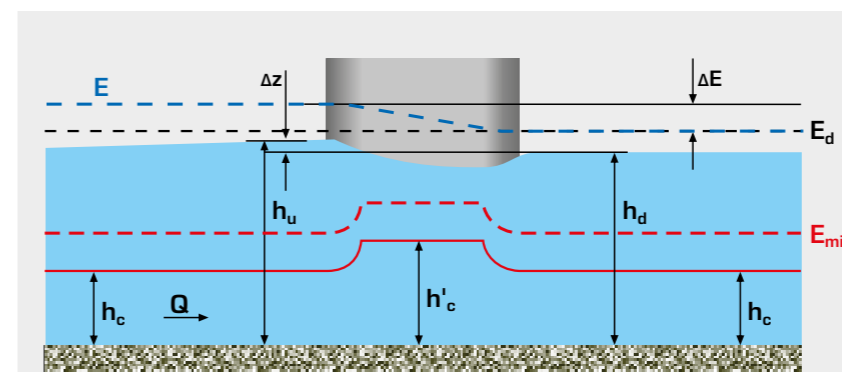
- écoulement sous-critique avec étranglement de section faible ou important
- écoulement supercritique avec étranglement de section faible ou important

Une retenue non négligeable et donc un éventuel changement d'écoulement avant la pile apparaît lorsque la charge spécifique E du débit sans perturbations Q est inférieure à la charge spécifique minimum nécessaire E_{min} pour assurer le débit complet Q . Lorsque la largeur d'écoulement b_{rest} du canal diminue du fait d'obstacles, E_{min} augmente (voir Illustrations).

Pour le canal rectangulaire avec coupe transversale large, on applique la relation:

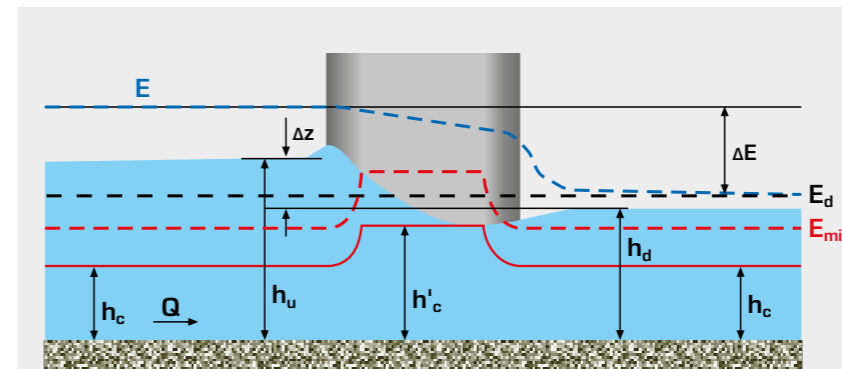
$$E_{min} = 1,5^3 \sqrt{\frac{Q^2}{gb^2_{rest}}}$$

Les piles avec profil rectangulaire, avec profil arrondi et avec profil pointu sont étudiées dans les canaux d'essai de GUNT.



Écoulement sur piles arrondies sans changement d'écoulement

- E charge spécifique avec piles,
- Q débit,
- E_d charge spécifique sans perturbations,
- E_{min} charge spécifique minimale requise,
- h_d profondeur d'écoulement de l'eau en aval (écoulement normal),
- h_u profondeur de l'eau en amont avec piles,
- h_c profondeur critique sans perturbations,
- h'_c profondeur critique avec piles,
- Δz retenue à piles,
- ΔE perte de charge



Écoulement sur piles arrondies avec changement d'écoulement

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Procédés de mesure du débit

Les procédés les plus couramment utilisés pour déterminer le débit dans un canal ouvert sont les **canaux jaugeurs** et les **déversoirs de mesure**. Pour les deux procédés, il existe une dépendance fixe entre la profondeur de l'écoulement h et le débit Q .

Canaux jaugeurs

Les **canaux Venturi** de mesure sont des canaux de forme spéciale présentant un rétrécissement latéral défini, et un fond partiellement profilé. Le rétrécissement retient le débit Q . La retenue assure la formation d'un écoulement sous-critique dans le canal. L'accélération et le changement d'écoulement de sous-critique à supercritique ont lieu dans le rétrécissement. Dans la section la plus étroite, on a un écoulement critique. Un ressaut se produit dans l'élargissement du canal Venturi. Le débit Q est calculé à partir de la profondeur de l'eau en amont h_u .

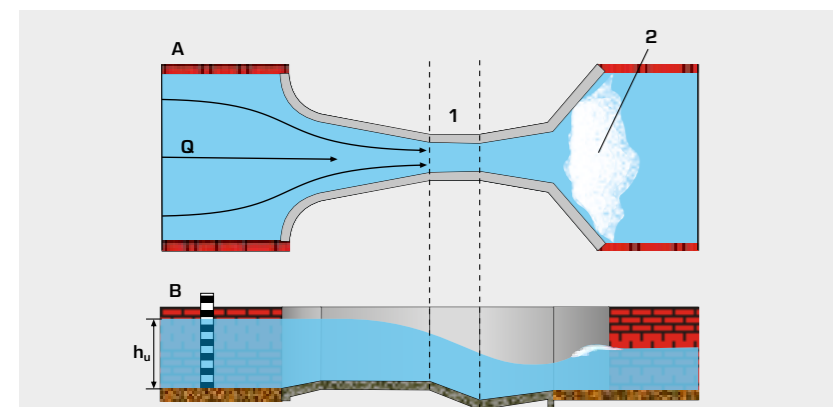
Les canaux Venturi de GUNT ont un fond plat.

Afin que la mesure dans le canal Venturi ne soit pas faussée, il faut avoir un écoulement dénoyé et la profondeur de l'eau en amont h_u ne doit pas être influencée par l'eau en aval.



Canal Parshall
HM162.55

Les **canaux Parshall** sont des canaux Venturi ayant un fond profilé. Les rapports entre rétrécissement et élargissement sont définis. Les canaux Parshall sont disponibles dans le commerce accompagnés d'une courbe de débit (débit Q en fonction de la profondeur de l'eau en amont h_u). Ils sont très répandus en Amérique du Nord.



A vue de haut du canal Venturi ou du canal Parshall,
B vue latérale du canal Parshall;
1 section la plus étroite, **2** ressaut; h_u profondeur de l'eau en amont, Q débit



Canal Venturi
HM162.51



Canal trapézoïdal HM162.63

Les **canaux trapézoïdaux** font également partie des canaux jaugeurs. La section d'écoulement est triangulaire ou trapézoïdale avec des parois lisses. Comparé aux canaux Parshall, ils présentent souvent une perte de hauteur de pression inférieure pour un débit identique et sont mieux adaptés aux faibles débits.

Les canaux jaugeurs sont principalement utilisés dans les stations d'épuration, car ils sont bien adaptés aux eaux polluées. Leur maintenance ne pose aucun problème.

Déversoirs de mesure

Les déversoirs de mesure sont habituellement des déversoirs à paroi mince. Leur conception est simple, ils prennent peu de place et sont faciles à assembler.

Les déversoirs de mesure sont utilisés pour déterminer le débit Q . Le débit est mesuré en enregistrant la hauteur h_o avant le déversoir. Une distance minimale de $3h_o$ est requise entre le point de mesure et le déversoir. Pour la conversion de la hauteur h_o en débit Q , on utilise des formules d'approximation qui prennent en compte la géométrie du déversoir de mesure et le coefficient de débit selon Poleni.

Sur les déversoirs de mesure, on a toujours une nappe dénoyée.

Les déversoirs à paroi mince sont disponibles avec différentes géométries. On a par exemple le:

- **déversoir rectangulaire selon Rehbock**
Utilisation avec des débits relativement uniformes dépassant $50\text{m}^3/\text{h}$, mais précision limitée dans la partie inférieure de la plage de mesure. Le déversoir rectangulaire nécessite une aération.
- **déversoir triangulaire selon Thomson**
Utilisation avec des débits variables ($0,75\text{...}240\text{m}^3/\text{h}$); bonne précision de mesure pour les faibles débits.
- **déversoir en trapèze selon Cipoletti**
Utilisation avec des débits relativement élevés supérieurs à $125\text{m}^3/\text{h}$.

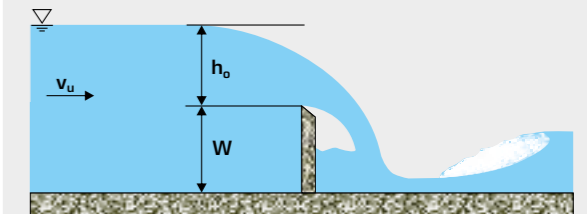


Déversoir
triangu-
laire selon
Thomson

Déversoir en
trapèze selon
Cipoletti

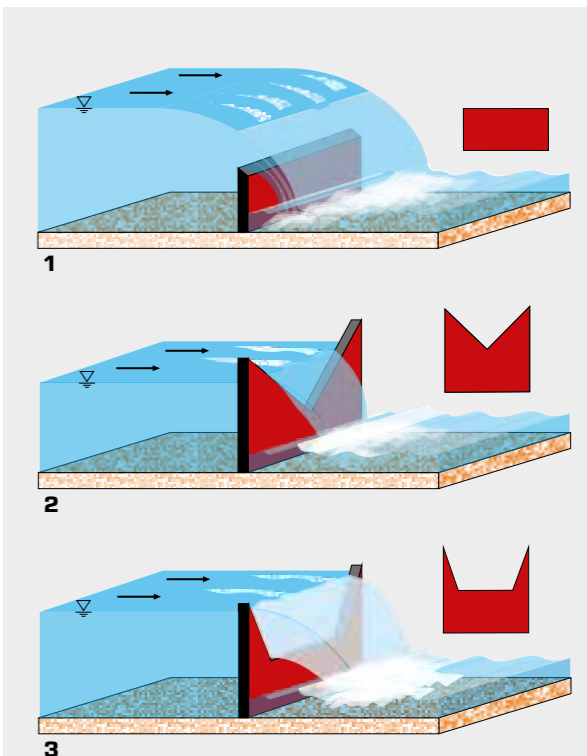
Déversoir
rectangulaire

Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types HM162.30



Nappe dénoyée aérée au niveau du déversoir à paroi mince

v_u vitesse dans l'eau en amont,
 h_o hauteur,
 W hauteur du déversoir



Débordement de déversoirs de mesure typiques en vue latérale

- 1** déversoir rectangulaire sans contraction,
- 2** déversoir triangulaire selon Thomson,
- 3** déversoir en trapèze selon Cipoletti

Connaissances de base

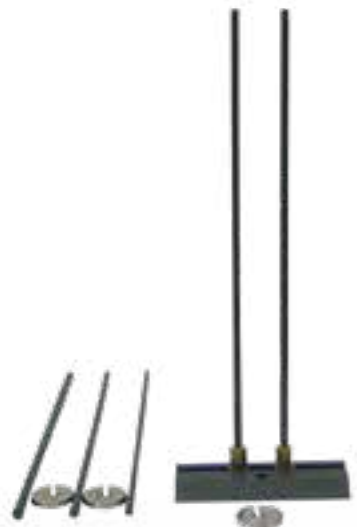
Écoulement dans des canaux

Écoulement non stationnaire: vibrations induites par l'écoulement

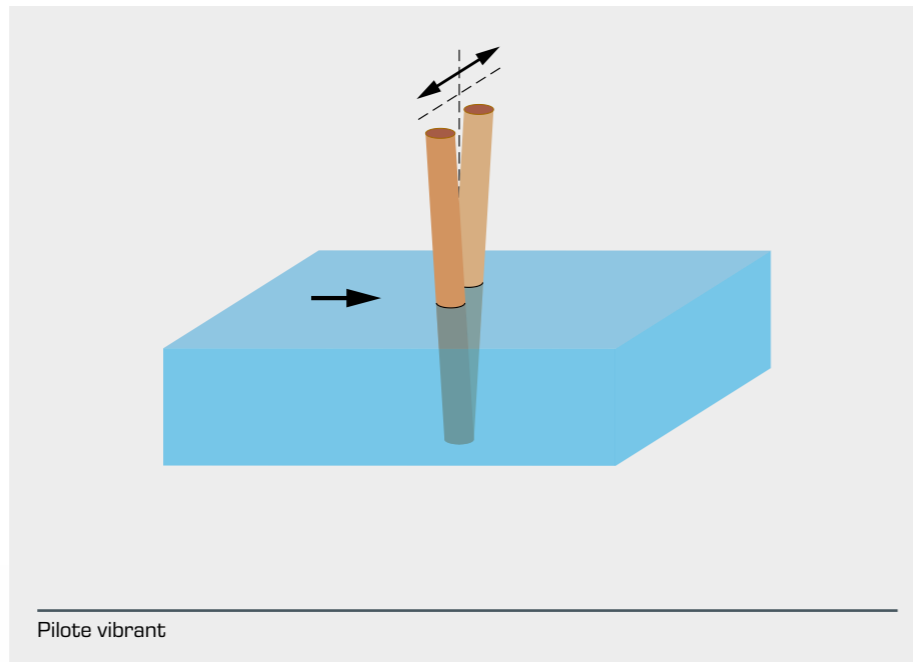
Les jetées ou les plateformes de forage sont en général construites sur des pilotes situés dans l'eau. L'eau en écoulement exerce des forces sur la partie des pilotes se trouvant sous la surface de l'eau, ce qui peut provoquer des oscillations. On fait la distinction entre les **vibrations induites par les tourbillons** et les **vibrations induites par l'écoulement**. Il est important de s'intéresser à ces forces et aux contraintes qu'elles produisent étant donné qu'elles peuvent entraîner une défaillance du composant.

Les vibrations sont le résultat de l'interaction entre le fluide en mouvement et le pilote. Il est possible par exemple que se forme une allée de tourbillons de Karman lors de l'écoulement autour du pilote. Le détachement de ces tourbillons entraîne une modification de la direction de l'écoulement. Dans le pire des cas, la fréquence de détachement des tourbillons correspond à la fréquence propre du pilote.

Le modèle de GUNT "Pilotes vibrants" HM162.61 permet d'observer les vibrations d'un pilote individuel. Il comporte en outre deux piliers parallèles positionnés à la perpendiculaire de l'écoulement et qui se mettent à vibrer sous l'effet de l'écoulement. La distance entre les pilotes est modifiable. Lorsque la distance est insuffisante, on assiste à des vibrations couplées des deux pilotes.



Pilotes vibrants HM 162.61



Pilote vibrant



Transport des sédiments

En plus de l'eau qui s'écoule, on assiste dans pratiquement tous les canaux ouverts à un **transport des sédiments** qui influence le comportement de l'écoulement. Le transport des sédiments est composé du **transport des sédiments en suspension** et du **transport par charriage**. Les matières en suspension sont des matières solides qui sont en suspension dans l'eau et n'ont aucun contact avec le fond. Le charriage est lui un proces-

sus de déplacement des matières solides durant lequel elles restent en contact avec le fond. Le transport par charriage constitue la composante de référence du comportement d'écoulement dans des canaux ouverts. Des sédiments qui se déposent ("atterrissement") ou sont transportés (érosion ou formation d'affouillement) peuvent par exemple modifier la section d'écoulement ou les lignes d'eau. Le transport des sédiments

entraîne également une modification de la structure du lit (formation de rides ou de dunes, modification de la rugosité).

En cas d'écoulement normal, il faut, outre les équations déjà mentionnées, considérer aussi l'équilibre de transport au volume de contrôle - la quantité de sédiments qui quitte le volume de contrôle est-elle la même que celle qui revient à l'aval?

Dans les canaux d'essai de GUNT, le transport des sédiments est démontré avec du sable. En plus de l'alimentateur en sédiments situé à l'entrée du canal d'essai, un piège à sédiments est installé au bout du canal d'essai. Selon la vitesse d'écoulement, on observe la formation de rides ou d'une dune mobile. Avec d'autres modèles, il est possible d'observer l'atterrissement contre un déversoir ou la formation d'affouillement sur le bassin d'amortissement.

De manière générale, la thématique du transport des sédiments est toutefois étudiée de manière approfondie dans différents bancs d'essai tels que le HM140 ou le HM168.



Alimentateur en sédiments HM162.73



Piège à sédiments HM162.72 au niveau de l'évacuation du HM162



Dépôt de sédiments sur des épis de rivière



Atterrissements dans le Rhin

Connaissances de base

Écoulement dans des canaux

Écoulement non stationnaire: vagues

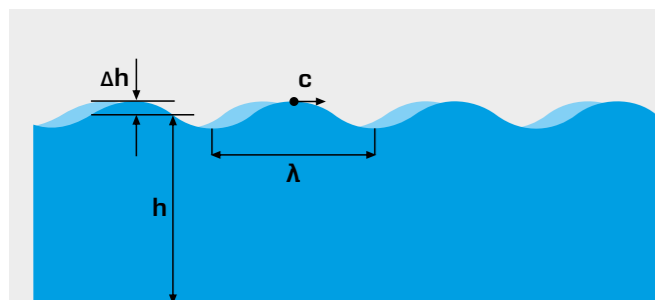
La surface libre de l'eau est "déformée" par le vent (vagues). Il existe une grande diversité de vagues dans la nature (longues ou courtes, brisantes ou lisses, etc.). Les vagues naturelles sont irrégulières, par exemple une vague plate fait suite à une vague élevée (amplitude). À part les vagues produites par le vent, il existe par exemple des ondes de surface dues à une perturbation, des ondes positives ou négatives, et des vagues de Tsunami qui se forment suite à une élévation de l'eau sous l'effet d'un tremblement de terre, d'un glissement de terrain par exemple.

Les vagues transportent de l'énergie, mais pas de masse. Lorsqu'une vague arrive dans de l'eau peu profonde, par exemple à proximité d'une plage, elle est freinée. Le creux d'une vague est freiné plus fortement que la crête d'une lame. C'est pourquoi la crête d'une lame dépasse le creux d'une vague, et la vague se brise.

L'étude de la formation et des effets des vagues joue un rôle important pour la navigation, la protection du littoral et pour le dimensionnement des installations offshore (parcs éoliens, plateformes de forage). Dans le cas particulier de la protection du littoral, il s'agit de minimiser la force de destruction des vagues et de diminuer le déplacement de sédiments.

Le générateur de vagues de GUNT produit des vagues harmoniques et périodiques dans les canaux d'essai de GUNT. On peut par exemple observer la réflexion des vagues à l'extrémité du canal. Associé aux simulations de plage, il est possible d'observer et de comparer le comportement de vagues identiques sur des sols différents.

L'accessoire piles HM162.46 permet d'observer l'accumulation autour de piles se trouvant dans le bassin de port ou appartenant à une installation offshore.



Vague périodique

Δh amplitude, h profondeur moyenne, c vitesse de propagation de la vague, λ longueur de vague

$$\text{Période de vague } T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{c}$$

	Eaux peu profondes	Eaux profondes
Longueur de vague	$\lambda/h > 20$	$\lambda/h < 2$
Vitesse de vague	$c = \sqrt{gh}$	$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$
Chemin des particules	linéaire	circulaire

Générateur de vagues
HM162.41Jeu de plages HM162.80
(plage lisse, plage perméable et plage rugueuse)Nous prenons
la qualité au
sérieux

Notre système de gestion de la qualité est certifié depuis 1998.



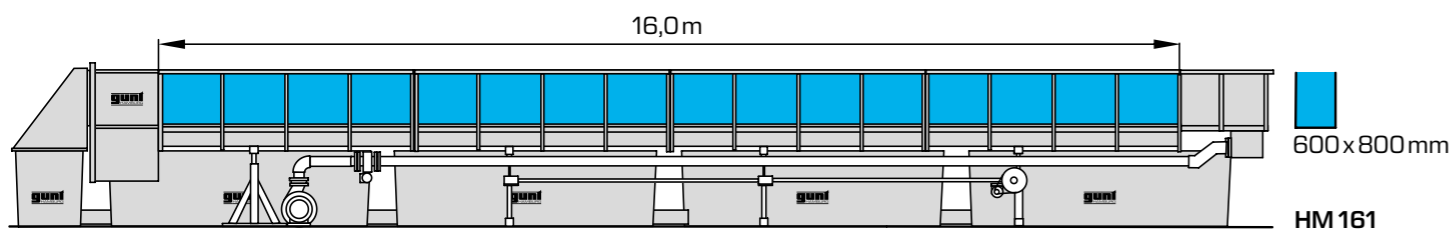
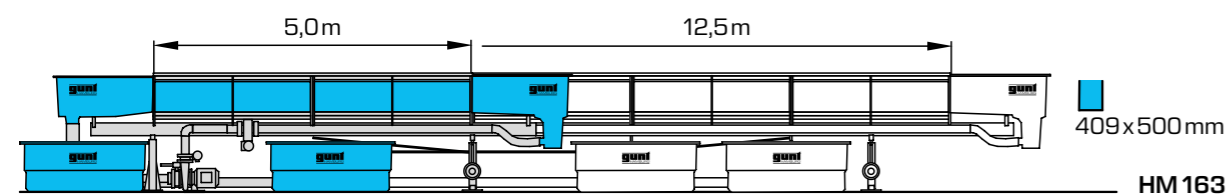
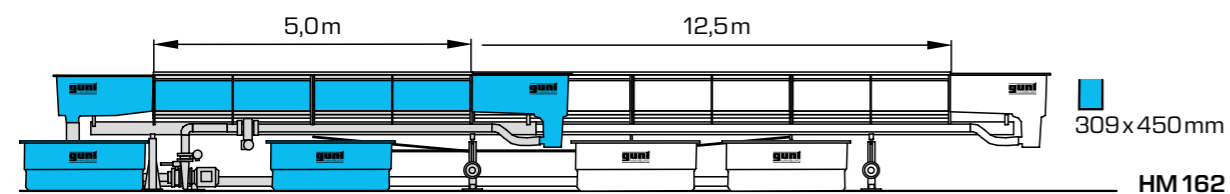
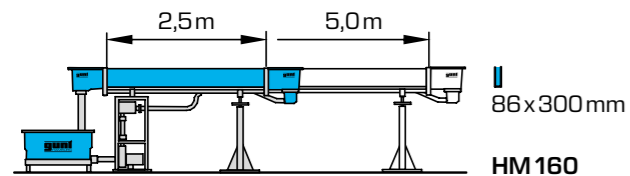
TESTEN

Aperçu des canaux d'essai GUNT

Avec leurs nombreux accessoires, les canaux d'essai de GUNT donnent la possibilité de réaliser une grande variété d'essais et de démonstrations sur les thématiques des canaux ouverts, des eaux courantes, du génie hydraulique et de la protection du littoral. Ils constituent une base aménageable pour les études et travaux de recherche spécifiques des clients. Les canaux d'essai de GUNT sont utilisés avec succès dans le monde entier depuis des années.

Pour chaque canal d'essai, un grand nombre de modèles permettant de contrôler l'écoulement sont disponibles: déversoirs, seuils, bassins d'amortissement mais aussi générateurs de vagues, éléments de plage ou piles de pont. Des solutions techniques permettant l'alimentation et l'évacuation de sédiments sont également proposées.

En plus, des appareils de mesure tels que jauge à eau, tube de Prandtl, manomètre à tubes et instrument de mesure de la vitesse sont disponibles.



GUNT propose quatre canaux d'essai de coupe transversale différente en fonction des tâches à accomplir et des données locales:

- HM 160 (86x300 mm)
- HM 162 (309x450 mm)
- HM 163 (409x500 mm)
- HM 161 (600x800 mm)

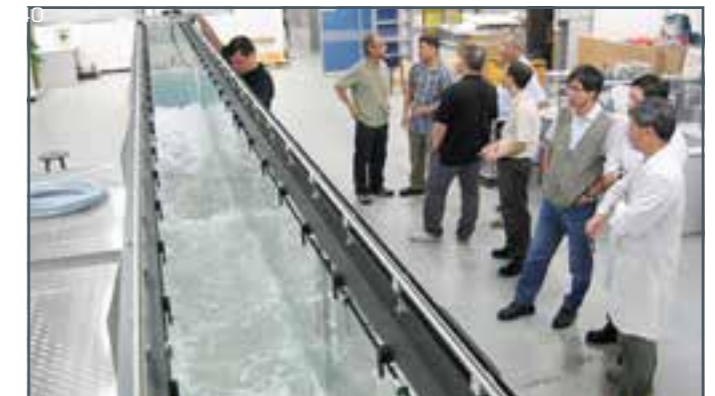
Pour les canaux d'essai, on a le choix entre différentes longueurs:

- HM 160 avec des sections d'essai de 2,5m ou 5m
- HM 162 et HM 163 avec des sections d'essai de 5m, 7,5m, 10m ou 12,5m
- HM 161 avec une section d'essai de 16m

Ce qui permet d'ajuster dans de nombreux domaines la longueur de la section d'essai aux besoins et possibilités du laboratoire.



HM 160 est idéal pour l'introduction à la thématique de "l'écoulement dans des canaux ouverts" et la démonstration de nombreux principes de base. Ce canal est compact et prend peu de place.



Les canaux d'essai HM 162 et HM 163 peuvent être fournis avec quatre longueurs différentes. Le canal d'essai "court" ayant une section d'essai de 5 m peut être installé très facilement dans des salles de laboratoire même petites. Avec des longueurs supérieures de section d'essai, la section d'observation en amont et en aval d'obstacles augmente.



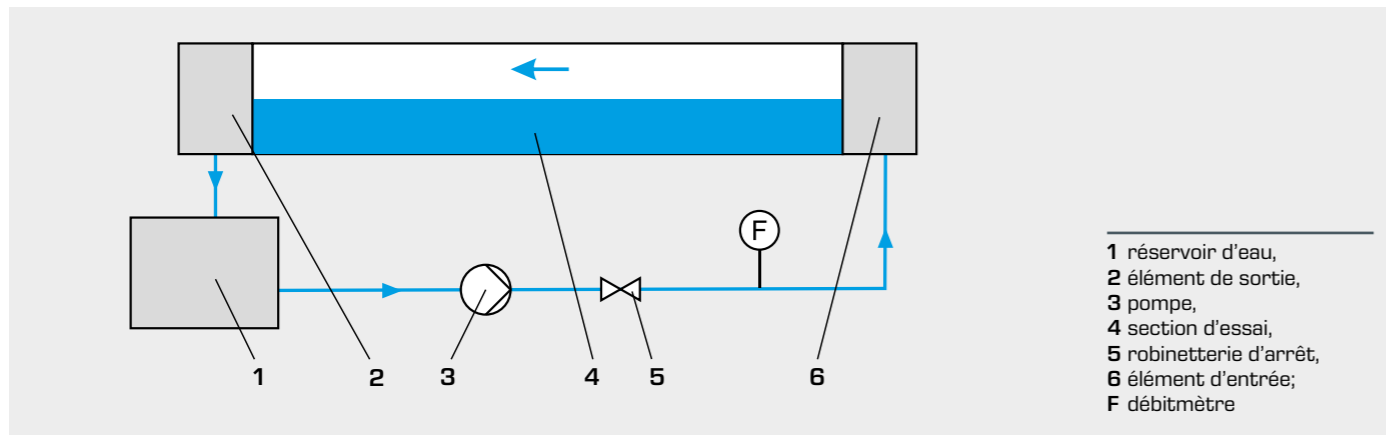
De par ses grandes dimensions (coupe transversale de 600x800 mm et section d'essai d'une longueur de 16 m), le canal d'essai HM 161 GUNT le plus long offre de nombreuses possibilités pour la réalisation de vos propres projets de recherche.



Détails techniques des canaux d'essai de GUNT

Le circuit d'eau fermé

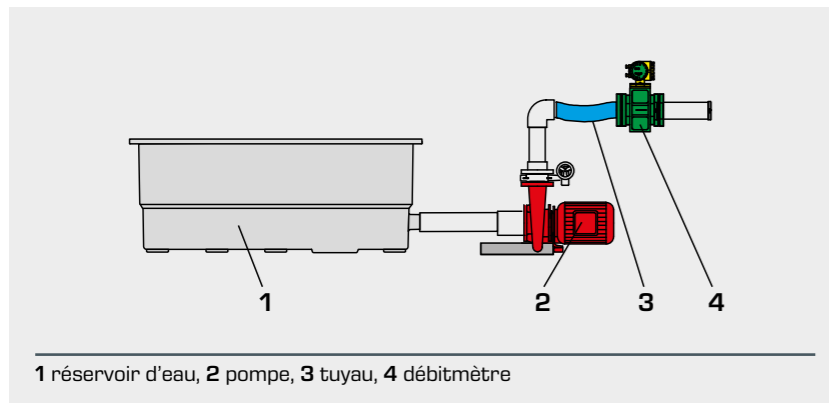
Le circuit d'eau



Tous les canaux d'essai fonctionnent indépendamment de l'alimentation en eau du laboratoire et disposent d'un circuit d'eau fermé avec réservoir d'eau, pompe et débitmètre. Afin de protéger la section d'essai du sur-remplissage, des interrupteurs

de niveau éteignent la pompe en cas de dépassement du niveau de remplissage maximum de l'élément d'entrée ou l'élément de sortie.

La pompe



Sur les canaux d'essai HM 162, HM 163 et HM 161, la pompe centrifuge est montée sur sa propre fondation, indépendamment de la section d'essai. La connexion à la tuyauterie de l'élément d'entrée se fait par le biais d'un flexible. Cela permet d'éviter toute transmission des vibrations entre la section d'essai et la pompe. Sur le petit canal d'essai HM 160, les vibrations qui se forment sont négligeables, et la pompe est donc intégrée dans un support du canal d'essai.



Pompe (HM 162) avec robinetterie d'arrêt à commande manuelle du côté de refoulement pour l'ajustage du débit (au-dessus de la pompe). Dans la conduite de refoulement de la pompe, on voit également le flexible et le débitmètre électromagnétique. La robinetterie d'arrêt est seulement nécessaire pour des essais avec des vagues.

Méthodes d'ajustage du débit dans la conduite d'entrée de la section d'essai

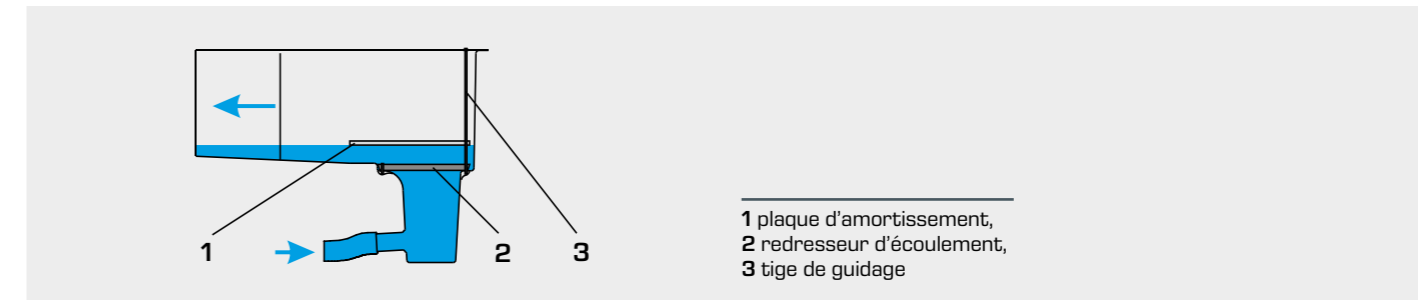
Sur tous les canaux d'essai, il est possible d'ajuster le débit. La vitesse de rotation de la pompe de HM 161, HM 162 et HM 163 est ajustable en continu par un convertisseur de fréquence jusqu'à obtention du débit souhaité. Le débit de HM 160 est

ajusté avec une vanne. Sur HM 160, le débit est mesuré avec un rotamètre, tandis que HM 161, HM 162 et HM 163 sont eux équipés d'un débitmètre électromagnétique.

L'élément d'entrée

Sur tous les canaux d'essai, l'élément d'entrée est optimisé pour l'écoulement afin de minimiser les turbulences à l'entrée dans la section d'essai.

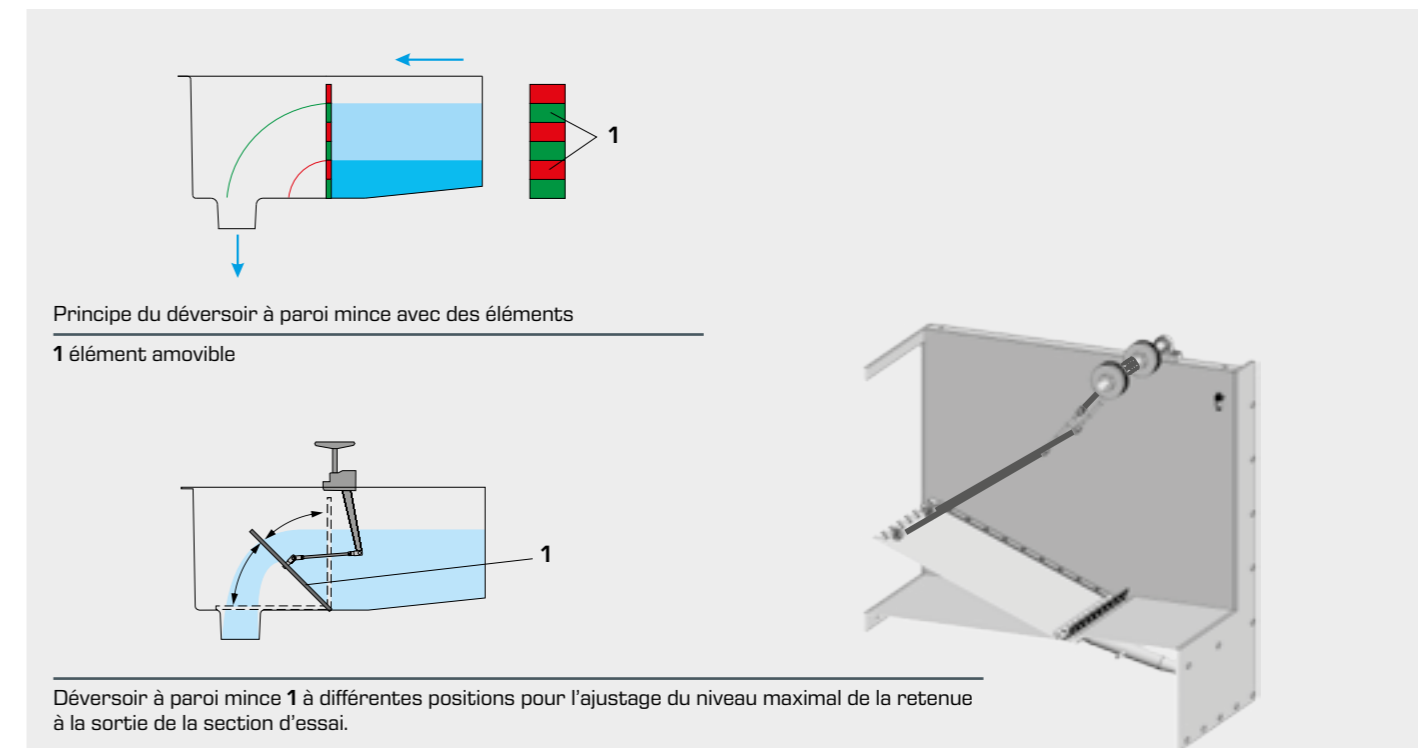
L'eau pénètre par le bas au travers d'un redresseur d'écoulement. Une plaque d'amortissement stabilise l'eau au-delà. La plaque d'amortissement flotte sur l'eau et est fixée à une tige de guidage.



L'élément de sortie

L'élément de sortie de tous les canaux d'essai comprend un déversoir à paroi mince. Le déversoir à paroi mince de HM 160 est fait de six éléments qu'on peut retirer, ce qui permet d'avoir six hauteurs de retenue au choix. Lorsque tous les éléments sont retirés, cela correspond au débit libre sans déversoir.

Le déversoir à paroi mince de HM 161, HM 162 et HM 163 tourne autour d'un axe fixe et peut ainsi être abaissé complètement. Ce qui permet d'ajuster chaque niveau maximal de la retenue (voir illustrations).



Détails techniques des canaux d'essai de GUNT

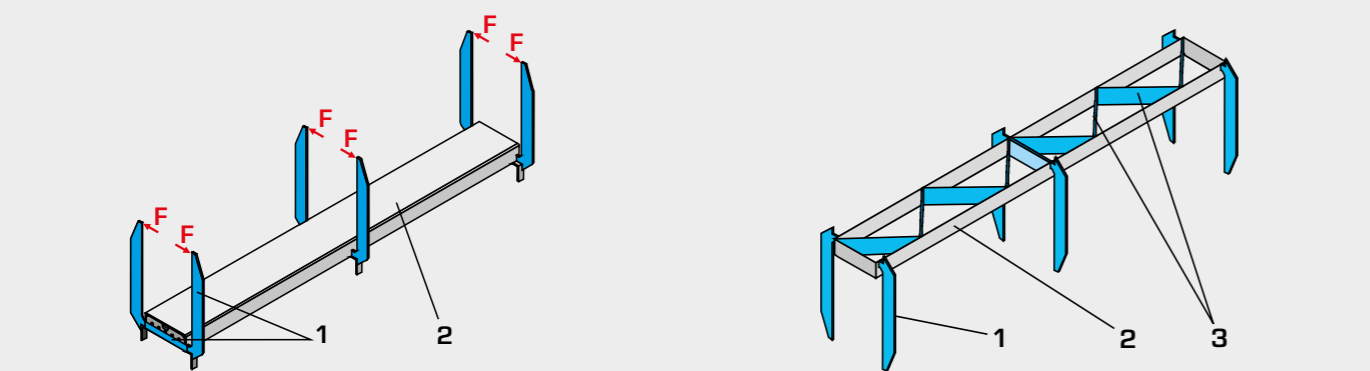
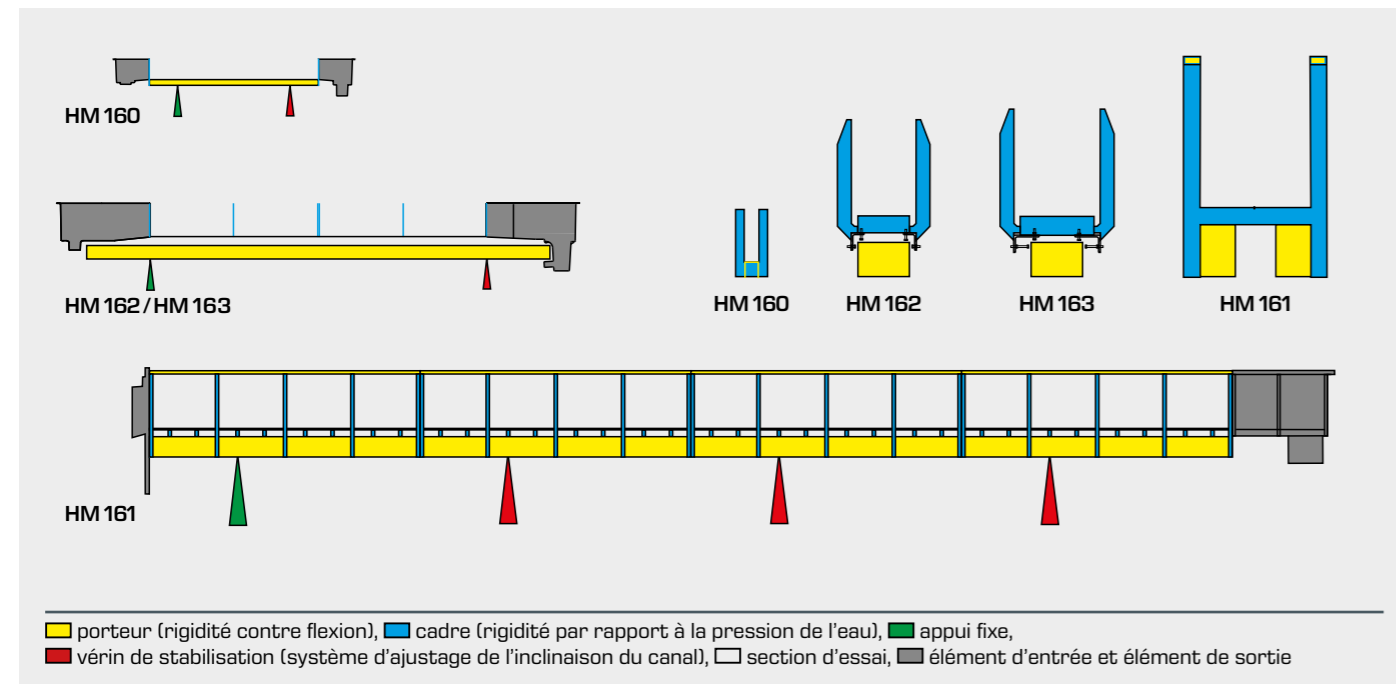
Caractéristiques structurelles

Rigidité contre les déformations

La section d'essai de HM 162 et HM 163 est proposée en plusieurs longueurs. Les composants utilisés sont pour l'essentiel identiques (conception modulaire). Afin d'obtenir plusieurs longueurs grâce à la conception modulaire tout en assurant un système d'ajustage de l'inclinaison, le canal d'essai est supporté par un support auxiliaire avec deux appuis. Sur la version avec longue section d'essai, les inévitables déformations sont absorbées par les auxiliaires. L'ajustage individuel des éléments permet d'orienter avec précision la section d'essai.

Les éléments de la section d'essai autoporteur dans HM 161 sont montés sur quatre appuis, ce qui permet ici aussi de minimiser les déformations.

Les contraintes qui s'exercent sur HM 160 sont faibles comparées à celles du HM 162, si bien que le fait de doubler la longueur de la section d'essai ne nuit pas à la rigidité du canal d'essai autoporteur avec deux appuis.



La rigidité des éléments de la section d'essai face à la pression de l'eau est assurée par le bâti soudé. Les bâtis soutiennent les parois latérales en verre.

Élément de fond d'un élément de la section d'essai de HM 162 / HM 163 renforcé par des renforts diagonaux pour augmenter la rigidité contre la flexion et la torsion.

1 bâti soudé, 2 élément de fond d'un élément de la section d'essai, 3 renfort diagonal, F force de la pression de l'eau

Système d'ajustage de l'inclinaison

Tous les canaux d'essai sont inclinables, ce qui permet un ajustement continu de la pente. La pente présente peut être lue sur une échelle (HM 160, HM 162, HM 163) ou sur un affichage numérique (HM 161).

Le système d'ajustage de l'inclinaison se fait manuellement sur HM 160 et électriquement sur HM 161.

Sur HM 162 et HM 163, l'inclinaison peut être au choix manuelle ou électrique. À partir d'une longueur de section d'essai de 7,5m, un système d'ajustage électrique de l'inclinaison HM 162.57 / HM 163.57 est recommandé.



Système d'ajustage de l'inclinaison sur HM 162 et HM 163:
à gauche système d'ajustage manuel de l'inclinaison,
à droite système d'ajustage électrique de l'inclinaison HM 162.57 / HM 163.57



Système d'ajustage électrique de l'inclinaison sur HM 161

Système d'ajustage manuel de l'inclinaison sur HM 160

Matériaux utilisés

Sur tous les canaux d'essai, le fond de la section d'essai est en acier inoxydable. Les parois latérales de la section d'essai sont constituées de verre trempé. Il est résistant aux éraflures, il ne vieillit pas et ne se déforme pas. Les réservoirs d'eau et les éléments d'entrée et de sortie sont en matière plastique ren-

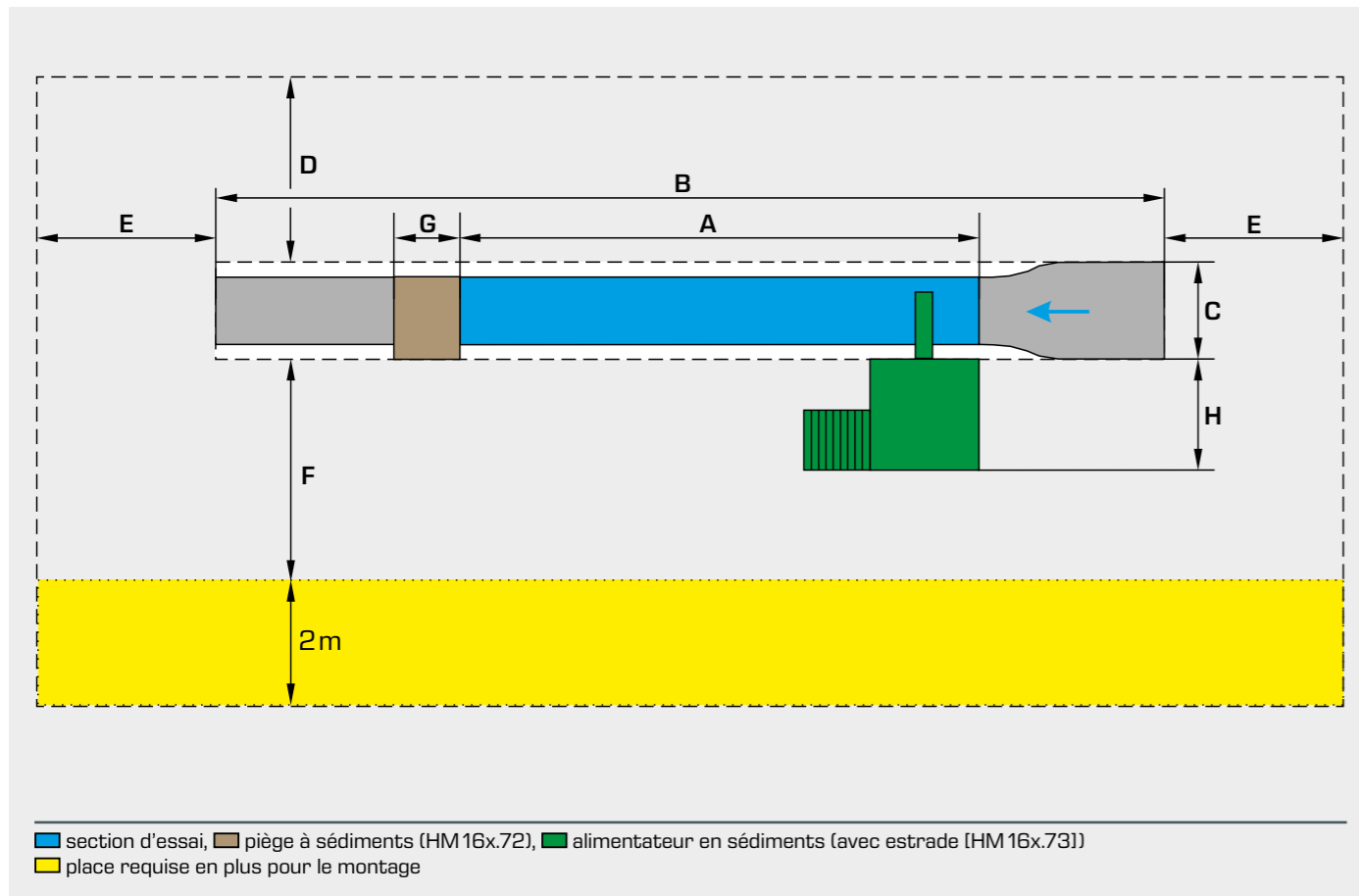
forcée de fibres de verre résistante à la corrosion ou en acier inoxydable, la tuyauterie est elle en PVC. Les modèles installés dans les canaux d'essai sont en aluminium, en acier inoxydable, en PVC ou en plexiglas.

Canaux d'essai GUNT Planification du laboratoire

Le tableau suivant indique le besoin de place pour tous les canaux d'essai de GUNT, réservoirs d'eau compris.

GUNT prend volontiers en charge la planification de l'agencement des canaux d'essai au sein de votre laboratoire.

Il est recommandé d'utiliser le dispositif de levage pour la mise en place de modèles de grande taille dans la section d'essai HM 161.



	A	B (sans G)	C	C (avec G)	D	E	F	G	H	Hauteur B (sans H)	Hauteur B (avec H)	Hauteur sous plafond requis
HM 160	2,5m 5,0m	4,3m 6,9m	0,7m		1,0m	1,5m (>1m)	2,0m			1,35m	1,80m	2,3m
HM 162/ HM 163	5,0m 7,5m 10,0m 12,5m	9,2m 11,7m 13,6m 16,0m	1,0m 1,0m 2,2m 2,2m	2,2m 2,2m 2,2m 2,2m	1,0m	1,5m (>1m)	2,5m	1,0m	1,7m	2,20m	2,90m	avec ali- mentateur en sédi- ments: min. 4,5m
HM 161	16,0m	22,0m	4,0m	4,0m	2,0m	1,5m (>1m)	1,0m	1,0m	incl. en C	2,70m	3,70m	avec ali- mentateur en sédi- ments: min. 5m

Conditions d'installation

Voici quelques conseils pour la planification d'un laboratoire dans lequel il est prévu de placer un canal d'essai :

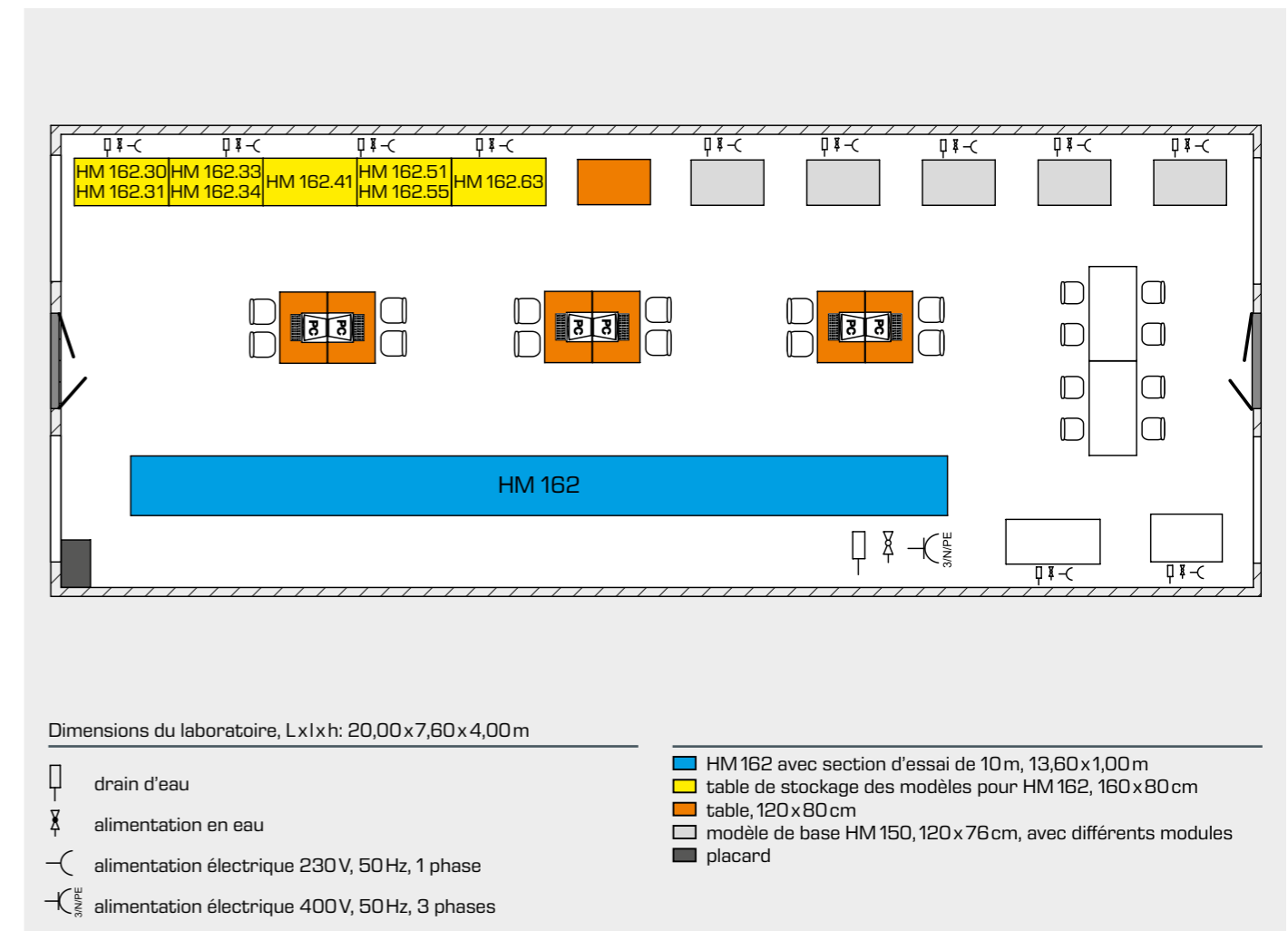
- le laboratoire doit être de préférence situé au RDC
- le sol doit avoir une capacité de charge suffisante
- le sol et le socle des murs doivent être de préférence étanches
- les voies de transport en direction du laboratoire et à l'intérieur de ce dernier doivent avoir une largeur suffisante
- l'alimentation en eau et l'évacuation doivent être dimensionnés pour de grands volumes d'eau.
- les deux canaux d'essai HM 162, HM 163 et HM 161 les plus grands requièrent du courant triphasé.

Un exemple de planification du laboratoire

Le dessin du bas représente la planification d'un laboratoire comprenant le canal d'essai HM 162 (avec section d'essai de 10 m), quelques autres appareils GUNT de mécanique des fluides et des postes de travail pour les étudiants.

Dans ce cas, les modèles pour HM 162 sont stockés sur des tables.

Un petit placard dans le coin sert à ranger les outils et peut également accueillir les notices.



Montage des canaux d'essai GUNT à partir de l'exemple du HM162



Élément d'entrée, élément de sortie et appuis pour canal



Éléments de la section d'essai



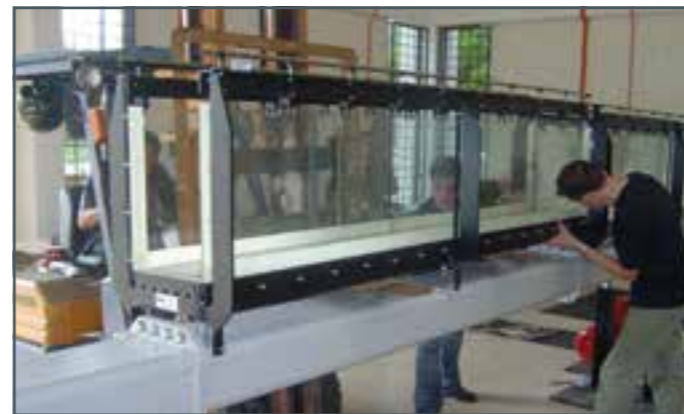
Réservoir d'eau et tuyauterie



Le support auxiliaire (en bas à gauche) est construit à partir de différents éléments (à gauche) et est aligné et monté à l'aide d'un chariot élévateur à fourche sur les appuis du canal (à droite). Les appuis du canal sont vissés au sol (au centre).



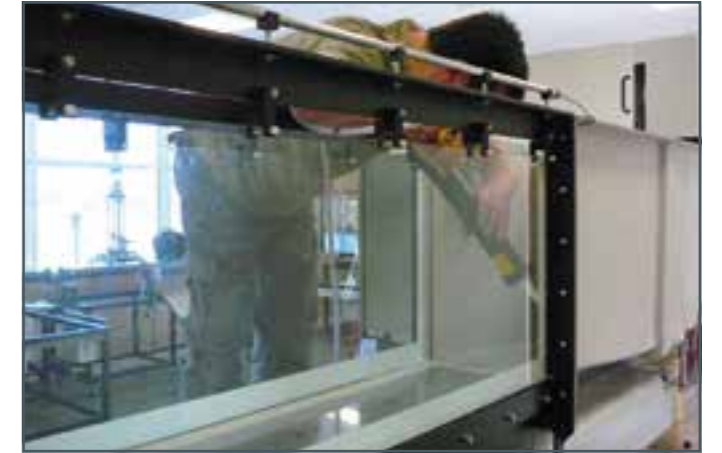
Vérin de stabilisation pour le système d'ajustage de l'inclinaison



L'élément de la section d'essai est placé sur le support auxiliaire à l'aide d'un chariot élévateur à fourche, aligné puis monté.



L'élément d'entrée est levé sur le support auxiliaire, aligné et relié à la section d'essai.



Le canal d'essai est ensuite étanchéifié.



Derniers travaux sur l'installation électrique (à gauche). Le réservoir d'eau est ensuite aligné et relié au système de tuyauterie (à droite).



Une fois le montage terminé, la mise en service a lieu, ici avec un déversoir à seuil épais.



Ce canal d'essai entièrement monté se trouve à l'Universiti Teknologi PETRONAS (UTP) à Ipoh, Malaisie.

Le montage des canaux d'essai GUNT et la mise en service sont réalisés sur place par des employés expérimentés de GUNT. Ce qui permet de s'assurer que vous puissiez dès le départ vous concentrer pleinement sur vos essais.

Les canaux d'essai GUNT utilisés dans le monde entier

Vous trouverez ici une sélection de clients finaux ayant reçu un canal d'essai GUNT. Au moins un canal d'essai se trouve dans chaque pays cité, et l'on trouve souvent d'autres canaux d'essai GUNT dans les écoles d'ingénieur et universités du pays.

Des clients satisfaits...



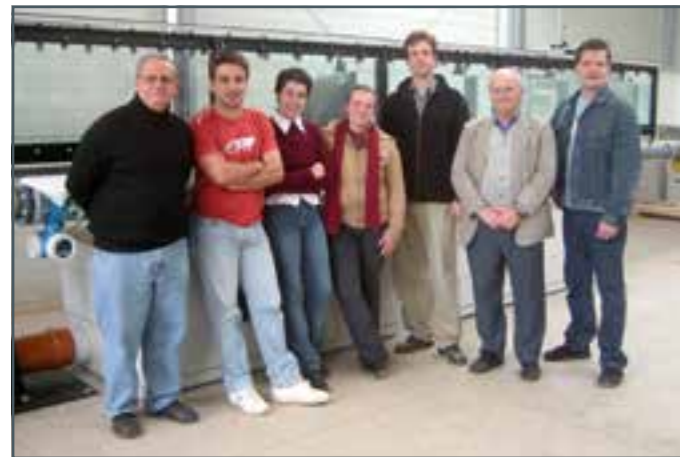
...en Malaisie avec HM162



...en Espagne avec HM160



...en Indonésie avec HM162



...en Espagne avec HM162



...en Bangladesh avec HM161



Afrique

École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH; HM 162), Algérie
 Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC; HM 163), Angola
 TU Berlin Campus El Gouna (HM 162), Égypte
 University of Asmara (HM 160), Érythrée
 Haramaya University (HM 162), Éthiopie
 École Nationale d'Ingénieurs (HM 160), Mali
 Rivers State University of Science and Technology (HM 160), Niger

Amérique

Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA; HM 160), Brésil
 Concordia University (HM 162), Canada
 Universidad Central de Chile (HM 162), Chili
 UCR Universidad de Costa Rica (HM 162), Costa Rica
 Escuela Superior Politecnica del Litoral (ESPOL; HM 162), Équateur
 Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10 de Torreón (008.161BL), Mexico
 Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (HM 162), Pérou
 Burlington County College (HM 160), États-Unis
 Universidad Católica Andres Bello (UCAB) (HM 160), Vénézuéla

Asie

Herat University (HM 162), Afghanistan
 Military Institute of Science & Technology (MIST; HM 161), Bangladesh
 Institute Technology Brunei (ITB; HM 162), Brunei
 City University of Hong Kong (HM 162), Chine
 Indian Institute of Technology of Roorkee (ITT) (HM 162), Inde
 Universitas Bandar Lampung (HM 162), Indonésie
 Qom University (HM 162), Iran
 University of Technology (HM 160), Iraq
 University Teknologi PETRONAS (HM 162), Malaisie
 Far Eastern University (HM 160), Philippines
 Taif University (HM 162), Arabie Saoudite
 Institute of Technology University of Moratuwa (ITUM; HM 160), Sri Lanka
 Burapha University, Faculty of Engineering (HM 161), Thaïlande
 American University of Sharjah (HM 160), Émirats Arabes Unis

Flinders University (HM 160), Australie

Europe

University of Cyprus (HM 162), Chypre
 Aalto University (HM 161), Finlande
 Centre de Formation Hydraulique d'EDF (HM 163), France
 Bundesanstalt für Wasserbau (HM 163), Allemagne
 Rezekne Higher Education Institution (HM 160), Lettonie
 Warsaw Agricultural University (HM 162), Pologne
 Politécnico de Viseu (HM 162), Portugal
 Moscow State Construction University (MGSU; HM 162), Russie
 Slovak University of Technology (STU; HM 163), Slovaquie
 Universidad de la Laguna (ULL; HM 162), Espagne
 Okan University (HM 160), Turquie
 University of Southampton (HM 161), Grande-Bretagne

...et bien d'autres encore

HM 160 Canal d'essai 86 x 300 mm

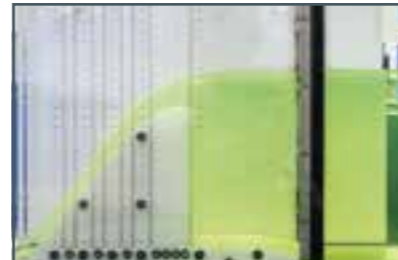


HM160 est le plus petit canal d'essai de GUNT permettant de démontrer de manière remarquable l'ensemble des phénomènes d'écoulement dans des canaux. Ses petites dimensions et son circuit d'eau fermé facilitent le positionnement et l'utilisation de HM160 dans les salles de classe.

Si on ajoute à cela le large choix d'accessoires disponibles, il est possible de démontrer et étudier un grand nombre de thèmes sur l'écoulement dans des canaux. Parmi ceux-ci, on peut citer par exemple les ouvrages de contrôle, la mesure du débit, les pertes dues à des modifications de la coupe transversale, les vagues et le transport sédimentaire. D'autres accessoires

permettent de mesurer la profondeur de l'écoulement et la vitesse d'écoulement.

Le canal d'essai HM160 est disponible avec deux longueurs de section d'essai différentes: 2,5 m ou 5 m avec une rallonge supplémentaire HM160.10 – voir dessin.



Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression HM160.34



Déversoir à crête arrondie HM160.32 et éléments de dissipation d'énergie HM160.35



Déversoir à siphon HM160.36



Canal Venturi HM160.51



Vagues dans un canal d'essai



HM160.73
Alimentateur en sédiments



Générateur de vagues HM160.41



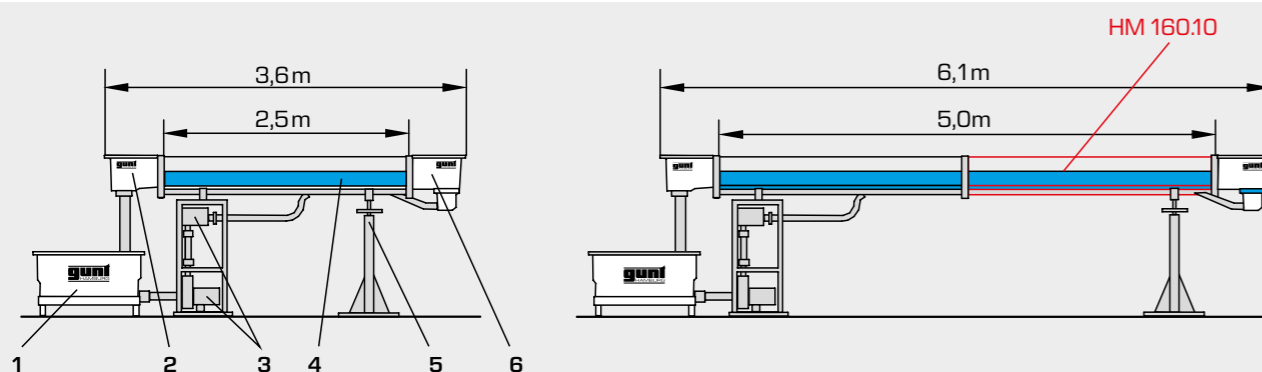
Simulation de plage HM160.42

Modèles disponibles comme accessoires

Ouvrages de contrôle	HM160.29 Vanne plane
	HM160.40 Vanne radiale
	HM160.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types
	HM160.31 Déversoir à seuil épais
	HM160.33 Déversoir cunéiforme
	HM160.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression
Mesure du débit	HM160.51 Canal Venturi
	HM160.36 Déversoir à siphon
Modification de section	HM160.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs (peut être complété avec HM160.35 Éléments de dissipation d'énergie)
	HM160.77 Fond du canal avec galets
	HM160.44 Seuil
	HM160.45 Passage
Divers	HM160.46 Jeu de piles, sept profils
	HM160.41 Générateur de vagues
	HM160.42 Plage lisse
	HM160.72 Piège à sédiments
	HM160.73 Alimentateur en sédiments
	HM160.61 Pilotes vibrants

Instruments de mesure disponibles comme accessoires

HM160.52 Jauge à eau / HM160.91 Jauge à eau numérique
HM160.53 Manomètre à dix tubes
HM160.50 Tube de Prandtl
HM160.64 Appareil de mesure de vitesse



1 réservoir d'eau, 2 élément de sortie, 3 pompe avec coffret de distribution, 4 section d'essai, 5 vérin de stabilisation avec système d'ajustage de l'inclinaison du canal, 6 élément d'entrée



Formation en Algérie



Formation en Malaisie

HM 160

Canal d'essai 86x300mm



L'illustration montre HM 160 avec le déversoir à crête arrondie HM 160.32 et la jauge à eau HM 160.52.

Description

- principes de base de l'écoulement dans les canaux
- section d'essai avec parois latérales transparentes, disponible avec une longueur de 2,5m ou 5m
- écoulement homogène grâce à un élément d'entrée très bien conçu
- modèles dans tous les domaines du génie hydraulique sont disponibles comme accessoires

Les voies navigables, la régulation des fleuves et les ouvrages de retenue font partie des sujets traités par le génie hydraulique. Des canaux d'essai installés dans le laboratoire aident à en assimiler les principes de base.

Le canal d'essai HM 160 dispose d'un circuit d'eau fermé. La coupe transversale de la section d'essai est de 86x300mm. La section d'essai a une longueur de 2,5m, ou de 5m en y ajoutant la rallonge HM 160.10. Les parois latérales de la section d'essai sont en verre renforcé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre). L'élément d'entrée est conçu de façon à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai.

Afin de permettre la simulation de chutes et l'ajustement d'un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, il est possible contrôler en continu l'inclinaison du canal d'essai.

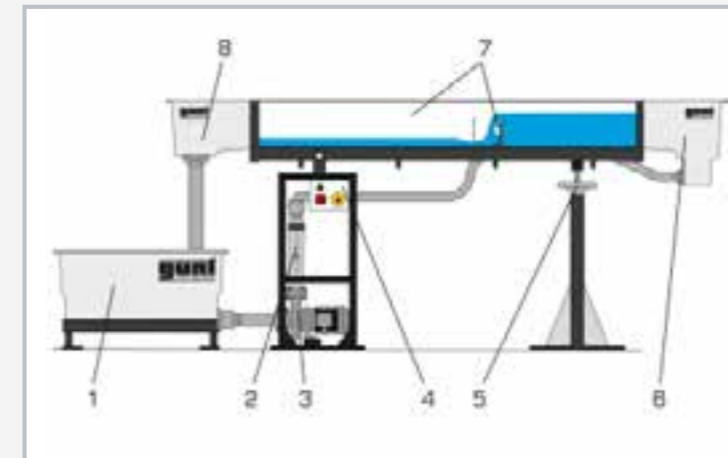
De nombreux modèles sont disponibles comme accessoires. Il s'agit par exemple: des déversoirs, piles, canaux de mesure ou un générateur de vagues. Ce qui permet de réaliser un ensemble d'essais complet. La plupart des modèles se vissent rapidement et de manière sécurisée au fond de la section d'essai.

Contenu didactique/essais

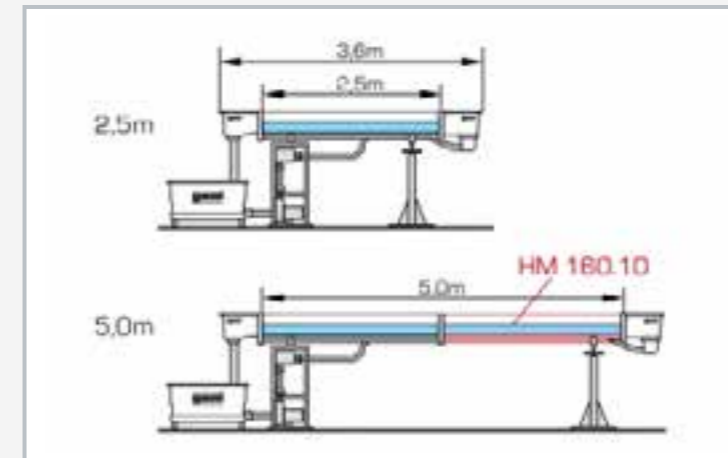
- avec les modèles disponibles comme accessoires, on étudie les phénomènes suivants
 - ▶ écoulement uniforme et écoulement non uniforme
 - ▶ formules de débits
 - ▶ changement d'écoulement (ressaut)
 - ▶ dissipation d'énergie (ressaut, bassin d'amortissement)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle:
 - déversoirs (à paroi mince, à crête déversante, à crête arrondie),
 - écoulement en dessous de vannes
 - ▶ canal jaugeur
 - ▶ pertes locales dues à des obstacles
 - ▶ écoulement non stationnaire: vagues
 - ▶ pilots vibrants
 - ▶ transport des sédiments

HM 160

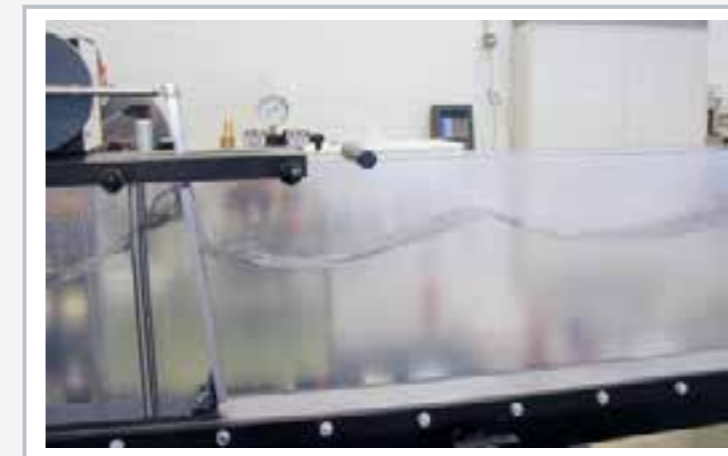
Canal d'essai 86x300mm



1 réservoir d'eau, 2 débitmètre, 3 pompe, 4 coffret de distribution, 5 système d'ajustage de l'inclinaison, 6 élément d'entrée, 7 section d'essai avec déversoir à plaques HM 160.30, 8 élément de sortie



HM 160 avec les deux sections d'essai de longueurs différentes (2,5m ou 5m). Pour la version de 5m, une rallonge HM 160.10 est requise.



Le générateur de vagues HM 160.41 produit des vagues dans le canal d'essai.

Spécification

- [1] principes de base de l'écoulement dans des canaux ouverts
- [2] canal d'essai avec section d'essai, élément d'entrée, élément de sortie et circuit d'eau fermé
- [3] longueur de la section d'essai de 2,5m ou 5m (avec rallonge HM 160.10)
- [4] section d'essai inclinable en continu
- [5] section d'essai avec 10 trous taraudés répartis de manière homogène au fond pour le montage de modèles ou la mesure du niveau d'eau par la pression
- [6] parois latérales de la section d'essai en verre renforcé pour une observation optimale des essais
- [7] toutes les surfaces en contact avec l'eau sont fabriquées dans des matériaux résistants à la corrosion
- [8] élément d'entrée optimisé pour minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai
- [9] circuit d'eau fermé avec réservoir d'eau, pompe, rotamètre et ajustage manuel du débit
- [10] modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur: 2,5m ou 5m (avec 1x HM 160.10)
- section d'écoulement Lxh: 86x300mm
- système d'ajustage de l'inclinaison: -0,5...+3%

Réservoir: 280L

Pompe

- puissance absorbée: 1,02kW
- débit de refoulement max.: 22,5m³/h
- hauteur de refoulement max.: 13,7m

Plages de mesure

- débit: 0...10m³/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 4300x660x1350mm (section d'essai 2,5m)
Poids: env. 244kg

Liste de livraison

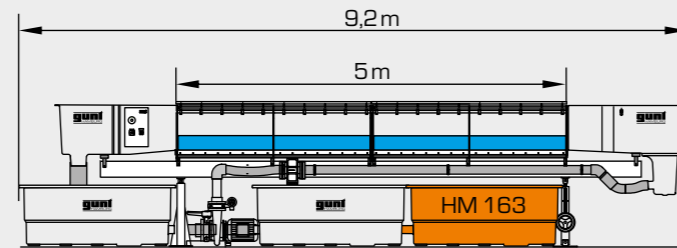
- 1 canal d'essai
- 1 documentation didactique

HM 162 / HM 163

Canal d'essai 309 x 450 mm / 409 x 500 mm

HM 162 et HM 163: utilisé partout dans le monde par des clients satisfaits

La longueur de la section d'essai est comprise entre 5 m et 12,5 m au maximum, en ajoutant des éléments intermédiaires HM 16x10. Le circuit d'eau fermé comprend deux réservoirs d'eau et une pompe de forte puissance. Selon la longueur souhaitée, des réservoirs d'eau HM 16x20 complémentaires sont également requis (voir des- sins).



Canal d'essai, longueur de la section d'essai 5 m

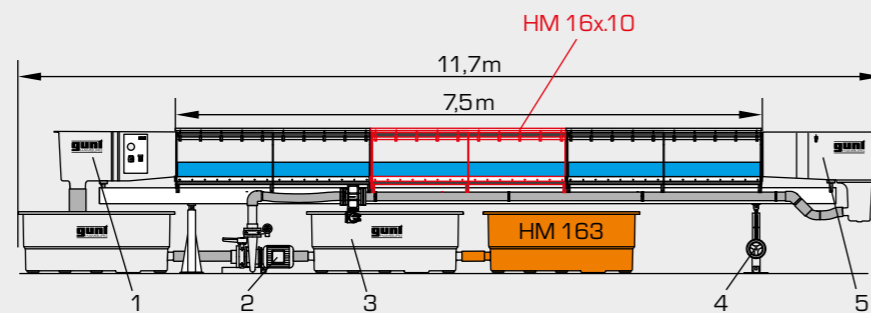
HM 162 / HM 163



HM 162 avec une de une section d'essai 5 m

Si on ajoute à cela le large choix d'accessoires disponibles, il est possible de démontrer et étudier un grand nombre de thèmes sur l'écoulement dans des canaux. Parmi celles-ci, on peut citer par exemple les ouvrages de contrôle, la mesure du débit, les pertes dues à des modifications de la coupe transversale, les vagues et le transport des sédiments.

- 1 élément de sortie avec coffret de commande,
- 2 pompe,
- 3 réservoir d'eau,
- 4 vérin de stabilisation avec système d'ajustage de l'inclinaison du canal,
- 5 élément d'entrée



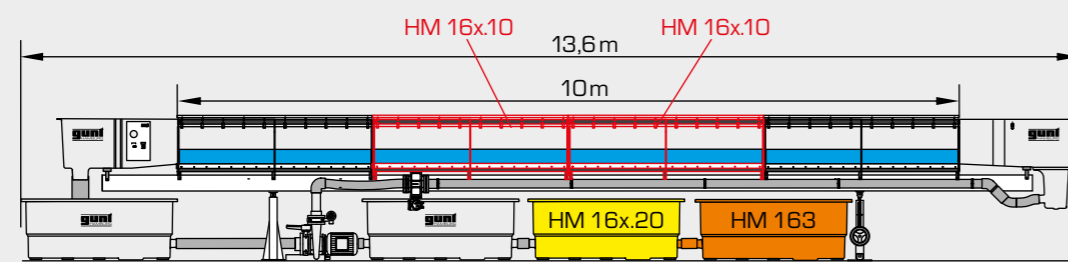
Canal d'essai, longueur de la section d'essai 7,5 m

HM 162 + 1x HM 162.10

HM 163 + 1x HM 163.10



HM 163 avec une de une section d'essai 7,5 m



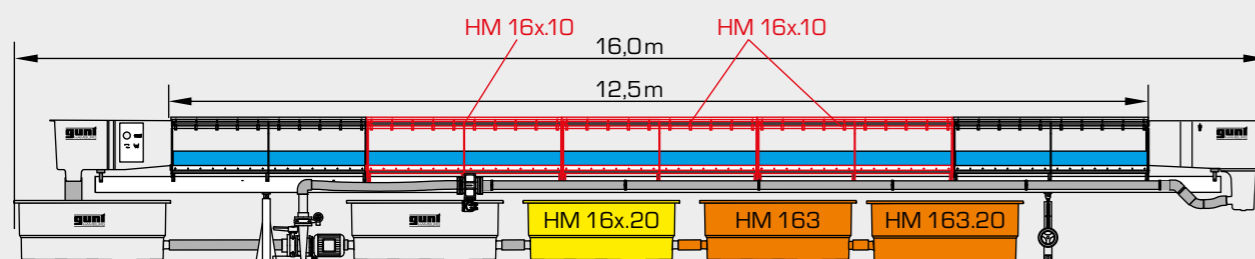
Canal d'essai, longueur de la section d'essai 10 m

HM 162 + 2x HM 162.10 + 1x HM 162.20

HM 163 + 2x HM 163.10 + 1x HM 163.20



HM 162 avec une de une section d'essai 10 m



Canal d'essai, longueur de la section d'essai 12,5 m

HM 162 + 3x HM 162.10 + 1x HM 162.20

HM 163 + 3x HM 163.10 + 2x HM 163.20



HM 163 avec une de une section d'essai 12,5 m

HM 162

Canal d'essai 309x450mm



L'illustration montre HM 162 (section d'essai de 7,5m) avec le générateur de vagues HM 162.41 et la jauge à eau HM 162.52.

Description

- **essais des principes de base aux projets de recherche**
- **section d'essai avec parois latérales transparentes, longueurs disponibles de 5m à 12,5m**
- **écoulement homogène grâce à un élément d'entrée très bien conçu**
- **modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires**

Le génie hydraulique joue un rôle important dans la technique. Comment obtient-on la profondeur requise dans les rivières pour les bateaux? De quelle manière évoluent les écoulements dans des canaux en cas de crues? À quelle distance en amont se ressentent les effets de constructions telles que les ouvrages de contrôle? Comment peut-on calculer le débit sur des barrages? Les canaux d'essai dans les laboratoires permettent de transmettre les connaissances de base requises pour comprendre les réponses à ces questions et développer des solutions adaptées.

Le canal d'essai HM 162 avec circuit d'eau fermé a une coupe transversale de 309x450mm.

La longueur de la section d'essai est comprise entre 5m et 12,5m au maximum, en ajoutant des éléments de rallonge HM 162.10. Les parois latérales de la section d'essai sont en verre trempé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre). L'élément d'entrée est conçu de telle manière à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai.

Afin de permettre la simulation de chutes et l'ajustage d'un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, il est possible d'ajuster en continu l'inclinaison du canal d'essai.

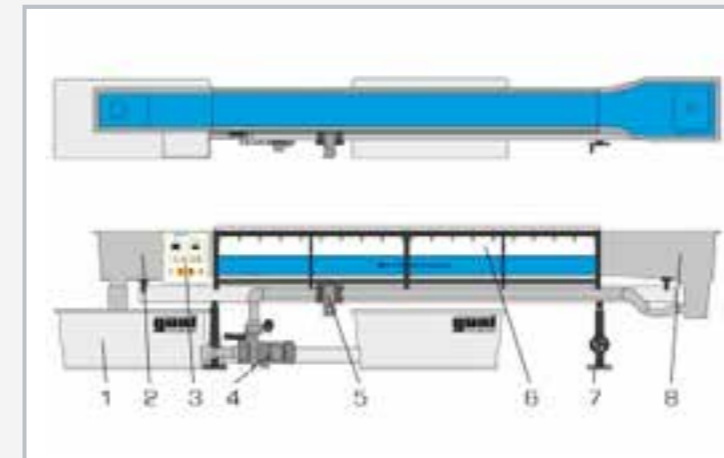
De nombreux modèles sont disponibles en tant qu'accessoires, tels que des déversoirs, piles, canaux de mesure ou un générateur de vagues. Ce qui permet de réaliser un ensemble d'essais très complet. La plupart des modèles se vissent rapidement et de manière sécurisée au fond de la section d'essai.

Contenu didactique/essais

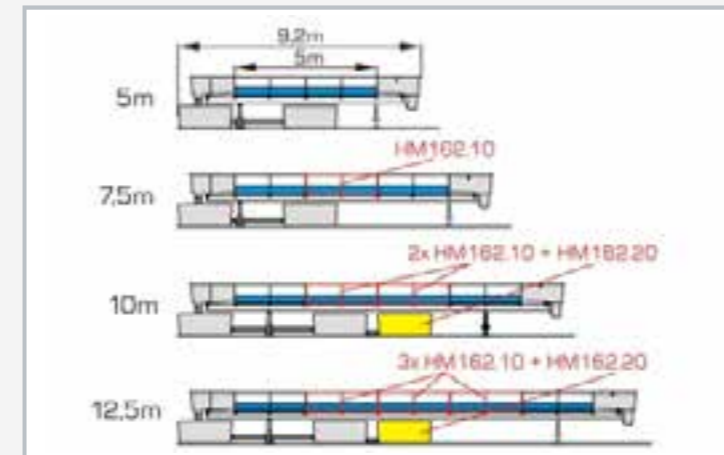
- avec les modèles disponibles comme accessoires, on étudie les phénomènes suivants
 - ▶ écoulement uniforme et écoulement non uniforme
 - ▶ formules de débit
 - ▶ changement d'écoulement (ressaut)
 - ▶ dissipation d'énergie (ressaut, bassin d'amortissement)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: déversoirs (à paroi mince, à crête déversante, à crête arrondie)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: écoulement en dessous de vannes
 - ▶ canal jaugeur
 - ▶ pertes locales dues à des obstacles
 - ▶ écoulement non stationnaire: vagues
 - ▶ pilots vibrants
 - ▶ transport des sédiments

HM 162

Canal d'essai 309x450mm



1 réservoir d'eau, 2 élément de sortie, 3 coffret de commande, 4 pompe, 5 capteur de débit, 6 section d'essai, 7 système d'ajustage de l'inclinaison, 8 élément d'entrée



HM 162 avec des sections d'essai de différentes longueurs (5...12,5m). En fonction de la longueur souhaitée, on a besoin en complément d'éléments de rallonge du canal d'essai HM 162.10 et de réservoirs d'eau HM 162.20.



Chute sur le déversoir à crête arrondie avec l'évacuateur en forme de saut de ski HM 162.32.

Spécification

- [1] principes de base de l'écoulement dans des canaux ouverts
- [2] canal d'essai avec section d'essai, élément d'entrée et élément de sortie et circuit d'eau fermé
- [3] section d'essai d'une longueur de 5m, avec possibilité d'ajouter des éléments de rallonge HM 162.10 jusqu'à une longueur max. de 12,5m
- [4] section d'essai inclinable en continu
- [5] section d'essai avec 20 trous taraudés répartis de manière homogène au fond pour le montage de modèles ou la mesure du niveau d'eau par la pression
- [6] parois latérales de la section d'essai en verre trempé pour une observation optimale des essais
- [7] section d'essai avec rails de guidage pour support pour instruments HM 162.59 disponible en option
- [8] toutes les surfaces en contact avec l'eau sont fabriquées dans des matériaux résistants à la corrosion
- [9] élément d'entrée optimisé pour minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai
- [10] circuit d'eau fermé avec 2 réservoirs d'eau, pompe, capteur de débit électromagnétique et régulation de débit
- [11] modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur possible: 5m-7,5m-10m-12,5m
- section d'écoulement l_x: 309x450mm
- système d'ajustage de l'inclinaison: -0,5...+2,5%
- 2 réservoirs
- en matière plastique renforcée de fibres de verre
- 1100L chacun

Pompe

- puissance absorbée: 4kW
- débit de refoulement max.: 132m³/h
- hauteur de refoulement max.: 16,1m
- vitesse de rotation: 1450min⁻¹

Plages de mesure

- débit: 5,4...130m³/h

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 9170x1000x2200mm (section d'essai de 5m)
Poids à vide: env. 1500kg

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

HM 163

Canal d'essai 409x500mm



L'illustration montre HM 163 (section d'essai de 7,5m) avec le générateur de vagues HM 163.41 et la jauge à eau HM 163.52.

Description

- **essais des principes de base aux projets de recherche**
- **section d'essai avec parois latérales transparentes, longueurs disponibles de 5m à 12,5m**
- **écoulement homogène grâce à un élément d'entrée très bien conçu**
- **modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires**

Le génie hydraulique joue un rôle important dans la technique. Comment obtient-on la profondeur requise dans les rivières pour les bateaux? De quelle manière évoluent les écoulements dans des canaux en cas de crues? À quelle distance en amont se ressentent les effets de constructions telles que les ouvrages de contrôle? Comment peut-on calculer le débit sur des barrages? Les canaux d'essai dans les laboratoires permettent de transmettre les connaissances de base requises pour comprendre les réponses à ces questions et développer des solutions adaptées.

Le canal d'essai HM 163 avec circuit d'eau fermé a une coupe transversale de 409x500mm. La longueur de la section d'essai est comprise entre 5m et 12,5m au maximum, en ajoutant des éléments de rallonge HM 163.10.

Les parois latérales de la section d'essai sont en verre trempé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre). L'élément d'entrée est conçu de telle manière à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai.

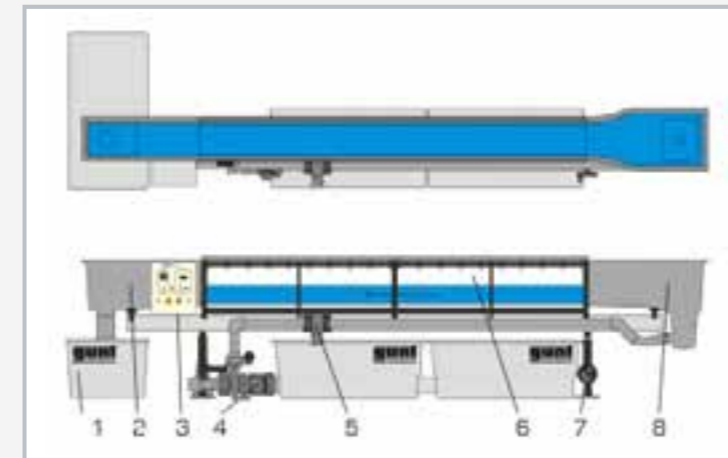
Afin de permettre la simulation de chutes et l'ajustage d'un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, il est possible d'ajuster en continu l'inclinaison du canal d'essai. De nombreux modèles sont disponibles en tant qu'accessoires, tels que des déversoirs, piles, canaux de mesure ou un générateur de vagues. Ce qui permet de réaliser un ensemble d'essais très complet. La plupart des modèles se vissent rapidement et de manière sécurisée au fond de la section d'essai.

Contenu didactique/essais

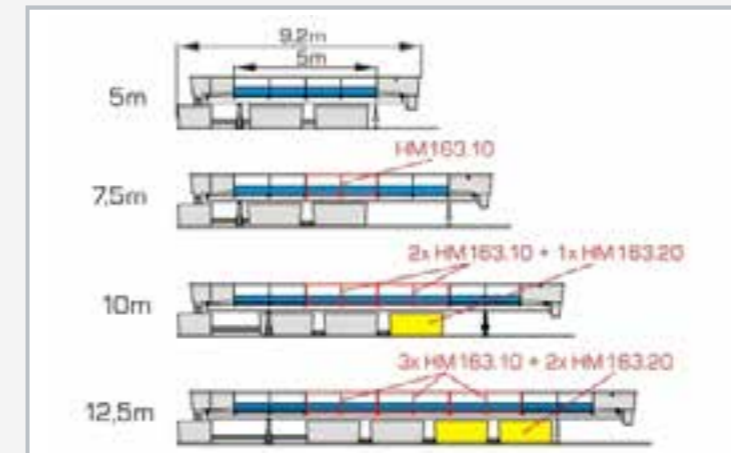
- avec les modèles disponibles comme accessoires, on étudie les phénomènes suivants
 - ▶ écoulement uniforme et écoulement non uniforme
 - ▶ formules de débit
 - ▶ changement d'écoulement (ressaut)
 - ▶ dissipation d'énergie (ressaut, bassin d'amortissement)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: déversoirs (à paroi mince, à crête déversante, à crête arrondie)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: écoulement en dessous de vannes
 - ▶ canal jaugeur
 - ▶ pertes locales dues à des obstacles
 - ▶ écoulement non stationnaire: vagues
 - ▶ pilots vibrants
 - ▶ transport des sédiments

HM 163

Canal d'essai 409x500mm



1 réservoir d'eau, 2 élément de sortie, 3 coffret de commande, 4 pompe, 5 capteur de débit, 6 section d'essai, 7 système d'ajustage de l'inclinaison, 8 élément d'entrée



HM 163 avec des sections d'essai de différentes longueurs (5...12,5m). En fonction de la longueur souhaitée, on a besoin en complément d'éléments de rallonge du canal d'essai HM 163.10 et de réservoirs d'eau HM 163.20.



Chute sur le déversoir à crête arrondie avec l'évacuateur en forme de saut de ski HM 163.32.

Spécification

- [1] principes de base de l'écoulement dans des canaux ouverts
- [2] canal d'essai avec section d'essai, élément d'entrée et élément de sortie et circuit d'eau fermé
- [3] section d'essai d'une longueur de 5m, avec possibilité d'ajouter des éléments de rallonge HM 163.10 jusqu'à une longueur max. de 12,5m
- [4] section d'essai inclinable en continu
- [5] section d'essai avec 20 trous taraudés répartis de manière homogène au fond pour le montage de modèles ou la mesure du niveau d'eau par la pression
- [6] parois latérales de la section d'essai en verre trempé pour une observation optimale des essais
- [7] section d'essai avec rails de guidage pour support pour instruments HM 163.59 disponible en option
- [8] toutes les surfaces en contact avec l'eau sont fabriquées dans des matériaux résistants à la corrosion
- [9] élément d'entrée optimisé pour minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai
- [10] circuit d'eau fermé avec 3 réservoirs d'eau, pompe, capteur de débit électromagnétique et régulation de débit
- [11] modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur possible: 5m-7,5m-10m-12,5m
- section d'écoulement Lxh: 409x500mm
- système d'ajustage de l'inclinaison: -0,5...+2,5%

3 réservoirs

- en matière plastique renforcée de fibres de verre
- 1100L chacun

Pompe

- puissance absorbée: 7,5kW
- débit de refoulement max.: 130m³/h
- hauteur de refoulement max.: 30m
- vitesse de rotation: 2800min⁻¹

Plages de mesure

- débit: 5,4...130m³/h

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option

Lxlh: 8570x2000x2200mm (section d'essai 5m)
Poids à vide: env. 1700kg

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

HM 163

Canal d'essai 409x500mm

Accessoires en option

Ouvrages de contrôle

070.16329	HM 163.29
070.16340	HM 163.40
070.16330	HM 163.30
070.16331	HM 163.31
070.16333	HM 163.33
070.16336	HM 163.36
070.16338	HM 163.38
070.16334	HM 163.34
070.16332	HM 163.32
070.16335	HM 163.35

Modification de la coupe transversale

070.16344	HM 163.44
070.16345	HM 163.45
070.16346	HM 163.46
070.16377	HM 163.77

Canaux jaugeurs

070.16351	HM 163.51
070.16355	HM 163.55
070.16363	HM 163.63

Autres essais

070.16361	HM 163.61
070.16371	HM 163.71
070.16372	HM 163.72
070.16373	HM 163.73
070.16341	HM 163.41
070.16380	HM 163.80

Instruments de mesure

070.16352	HM 163.52
070.16391	HM 163.91
070.16364	HM 163.64
070.16350	HM 163.50
070.16353	HM 163.53
070.16213	HM 162.13
070.16359	HM 163.59

Autres accessoires

070.16212	HM 162.12
070.16357	HM 163.57
070.16310	HM 163.10
070.16320	HM 163.20
070.16314	HM 163.14
070.16315	HM 163.15

Vanne plane
Vanne radiale
Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types
Déversoir à seuil épais
Déversoir cunéiforme
Déversoir à siphon
Dégrilleur
Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression
Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs
Éléments de dissipation d'énergie

Seuil
Passage
Jeu de piles, sept profils
Fond du canal avec galets

Canal Venturi
Canal Parshall
Canal trapézoïdal

Pilots vibrants
Circuit de sédiments fermé
Piège à sédiments
Alimentateur en sédiments
Générateur de vagues
Jeu de plages

Jauge à eau
Jauge à eau numérique
Appareil de mesure de vitesse
Tube de Prandtl
Manomètre à dix tubes
Mesure électronique de la pression, 10x 0...50mbar
Support pour instruments

Système d'acquisition de données et d'automatisation
Système d'ajustage électrique de l'inclinaison
Élément de rallonge du canal d'essai
Réservoir d'eau
Galerie
Élément de rallonge de la galerie

Une installation et une mise en service



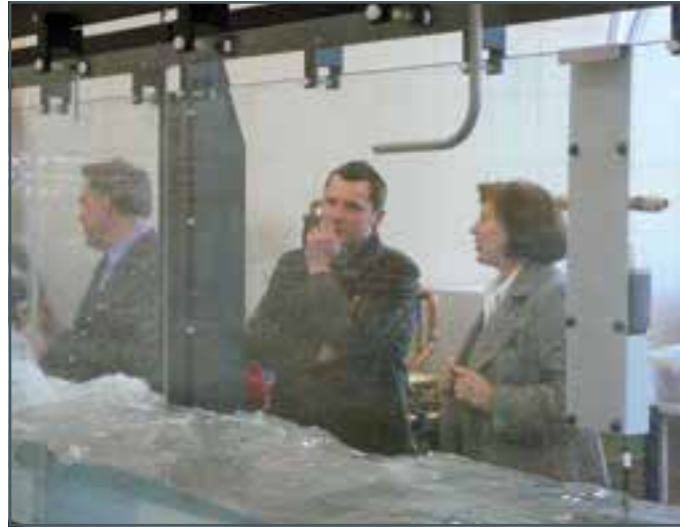
Sans faille vous sont garanties par l'expertise des collaborateurs de GUNT

Assurez-vous qu'un personnel compétent se charge de la mise en service de vos nouveaux équipements. Nos collaborateurs mettent volontiers leurs expertises à votre service.

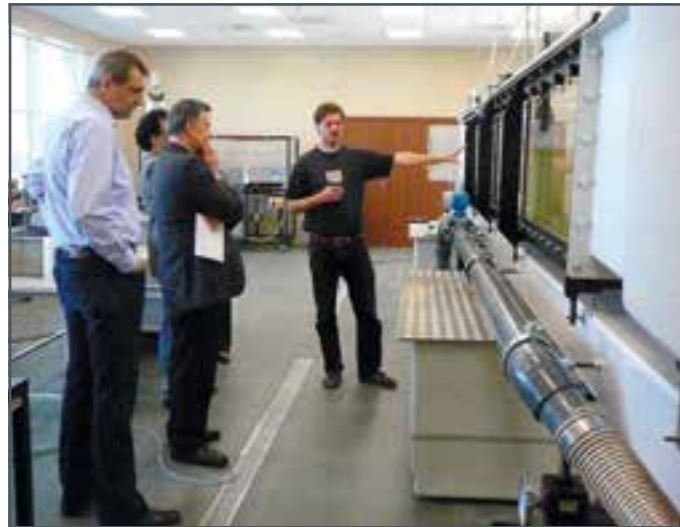
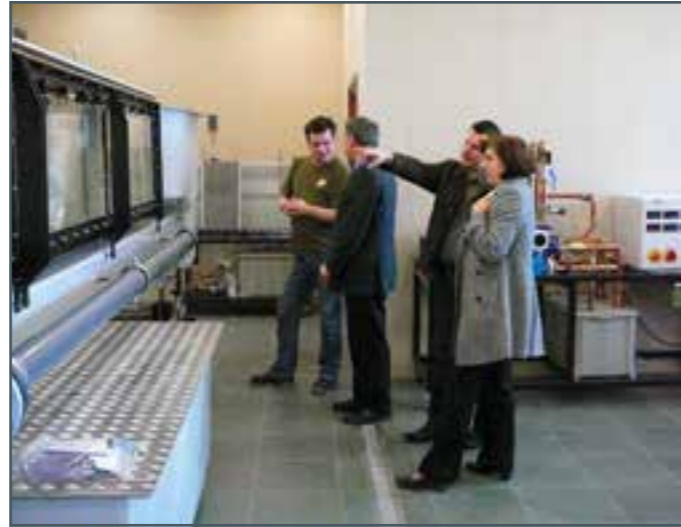
La mise en service des équipements inclut les prestations suivantes:

- montage des équipements dans le laboratoire
- raccord aux systèmes d'alimentation du laboratoire
- mise en service des appareils
- marche d'essai des appareils

Canal d'essai HM 162/HM 163 Impressions



Présentation chez le client



Manipulation de la vanne plane



Vue dans le réservoir d'eau



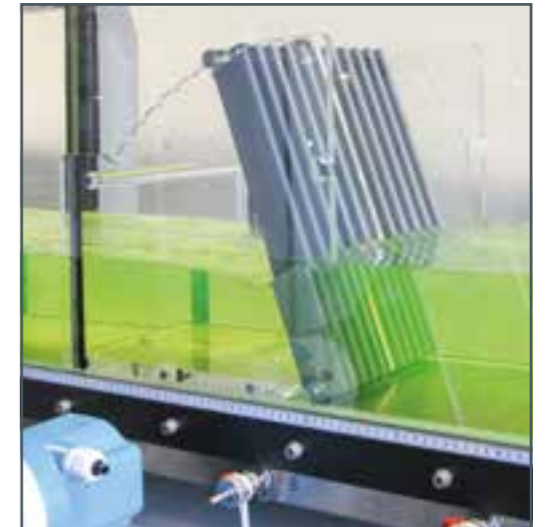
Déversoir à siphon en action



Passage



Déversoir à crête arrondie avec un seuil



Dégrilleur



Déversoir à paroi mince aéré (vue latérale)



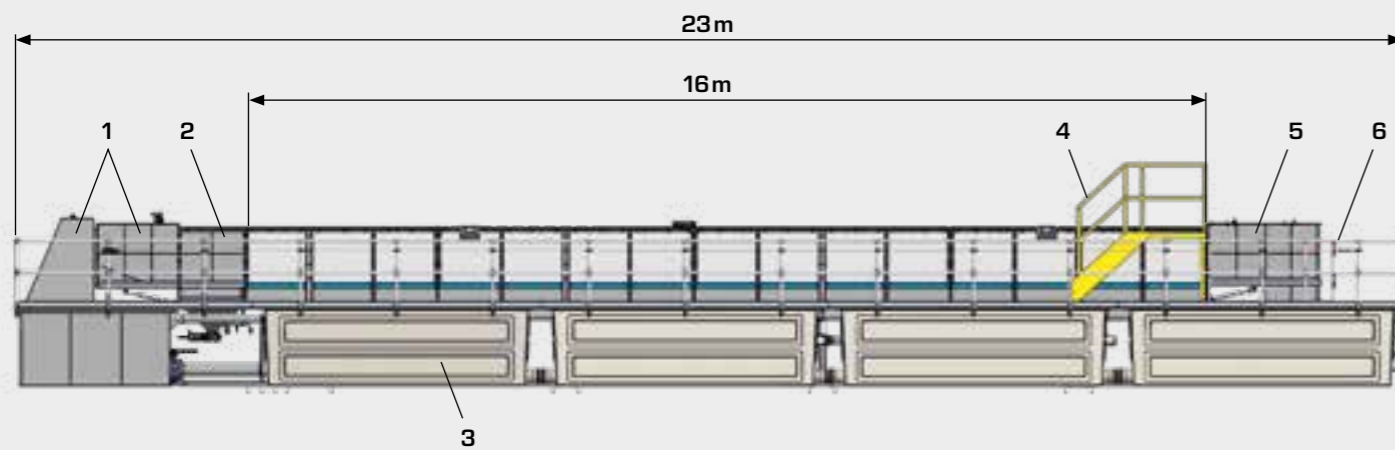
Vanne radiale

HM 161 Canal d'essai 600x800 mm

Avec sa section d'essai de 16m et sa coupe transversale de 600x800 mm, HM 161 est le canal d'essai le plus grand du catalogue GUNT. Grâce à ses grandes dimensions, HM 161 est adapté à vos projets de recherche. Les résultats des essais sont très proches de la réalité. Les forces hydrauliques obtenues dans ce canal d'essai sont impressionnantes.

Si on ajoute à cela le large choix d'accessoires disponibles, il est possible de démontrer et étudier un grand nombre de thèmes

sur l'écoulement dans des canaux. Parmi celles-ci, on peut citer par exemple les ouvrages de contrôle, la mesure du débit, les pertes dues à des modifications de la coupe transversale, les vagues et le transport des sédiments. D'autres accessoires permettent de mesurer la profondeur de l'écoulement et la vitesse d'écoulement.



Vue avant

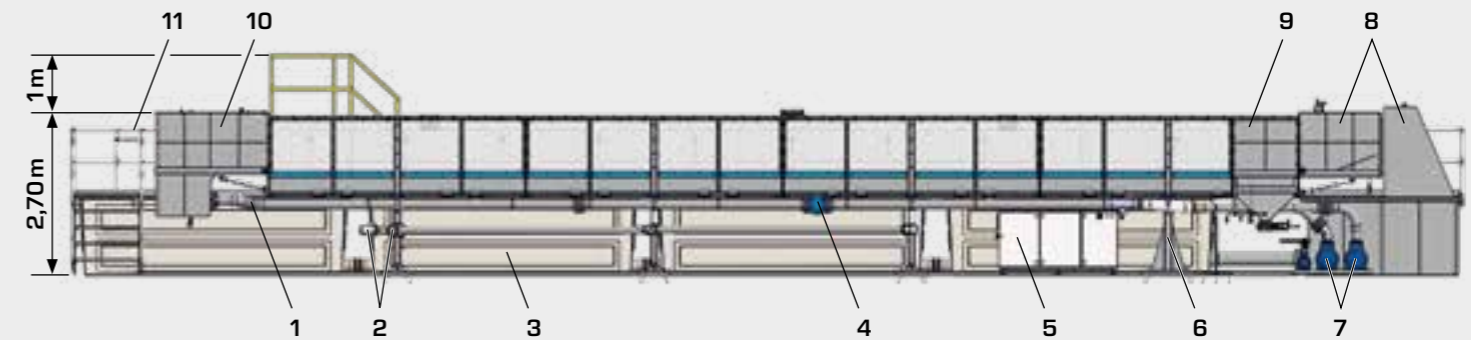
1 élément de sortie, 2 piège à sédiments HM 161.72, 3 réservoir d'eau, 4 plateforme pour alimentateur en sédiments (HM 161.73), 5 élément d'entrée, 6 galerie



Vue avant avec galerie

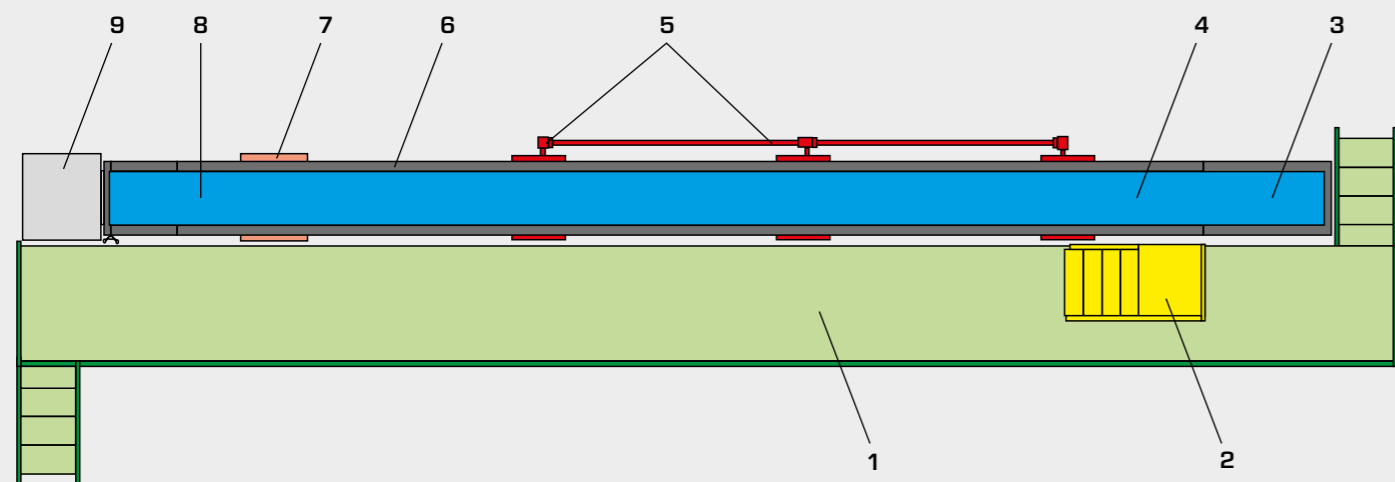


Vue arrière avec vérins de stabilisation



Vue arrière

1 tuyauterie, 2 vérin de stabilisation motorisé (système d'ajustage de l'inclinaison du canal), 3 réservoir d'eau, 4 débitmètre, 5 coffret de commande, 6 appui fixe, 7 pompe, 8 élément de sortie, 9 piège à sédiments (HM 161.72), 10 élément d'entrée, 11 galerie



Vue du dessus

1 galerie, 2 plateforme pour alimentateur en sédiments (HM 161.73), 3 élément d'entrée, 4 section d'essai, 5 vérins de stabilisation, 6 rails pour support pour instruments, 7 appui fixe, 8 piège à sédiments HM 161.72, 9 élément de sortie



Élément de la section d'essai lors du montage sur place. Les éléments sont livrés prêts à être installés. Le bâti et le support sont soudés et vernis, le verre trempé est déjà en place.



Galerie

Canal d'essai HM 161 Impressions



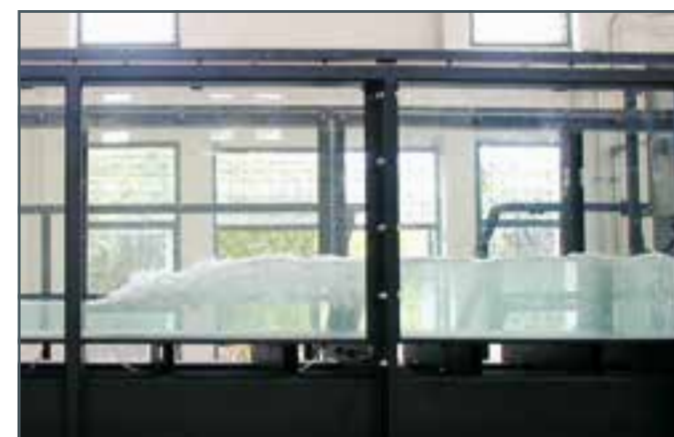
Canal d'essai HM 161 avec transport des sédiments.
L'alimentateur en sédiments HM 161.73 est sur l'élément d'entrée.
Le piège à sédiments HM 161.72 situé à l'extrémité de la section d'essai permet de séparer les sédiments.



Vue en direction de l'élément d'entrée



Vue latérale avec débit au-dessus du déversoir à crête arrondie HM 161.34



Ressaut



Onde de choc



Vue du dessus avec débit au-dessus du déversoir à crête arrondie HM 161.34



Débit dans le déversoir à siphon HM 161.36 actif

HM 161

Canal d'essai 600x800mm



L'illustration montre HM 161 avec l'alimentateur en sédiments HM 161.73.

Description

- section d'essai avec parois latérales transparentes, longueur de 16m
- écoulement homogène grâce à un élément d'entrée très bien conçu
- commande par API avec deux écrans tactiles
- modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires

Le canal d'essai HM 161 est le plus grand dans cette catégorie de produits GUNT. Les vitesses d'écoulement pouvant être atteintes dans le canal d'essai ainsi que la longueur importante de la section d'essai sont des conditions optimales pour la conception de projets individuels. Ces projets peuvent en effet se rapprocher au plus près de la réalité.

La section d'essai a une longueur de 16m et une coupe transversale de 600x800mm. Les parois latérales de la section d'essai sont en verre trempé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre). L'élément d'entrée est conçu de telle manière à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai. Le circuit d'eau fermé est constitué d'une série de réservoirs d'eau et de deux pompes de forte puissance. Les réservoirs

sont intégrés à l'installation de telle manière qu'ils peuvent aussi servir de galerie dans laquelle il est possible de se tenir. L'utilisateur peut ainsi accéder facilement à n'importe quel endroit de la section d'essai.

Afin de permettre la simulation de chutes et l'ajustage d'un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, le canal d'essai est équipé d'un système d'ajustage de l'inclinaison motorisé.

Le canal d'essai dispose de fonctions très complètes de mesure, de réglage et de commande qui sont pilotées par un API. Deux écrans tactiles librement positionnables affichent les valeurs de mesure et les états de fonctionnement et permettent de commander l'installation. Les valeurs de mesure sont transmises simultanément à un écran de 32" pour l'affichage à distance et via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

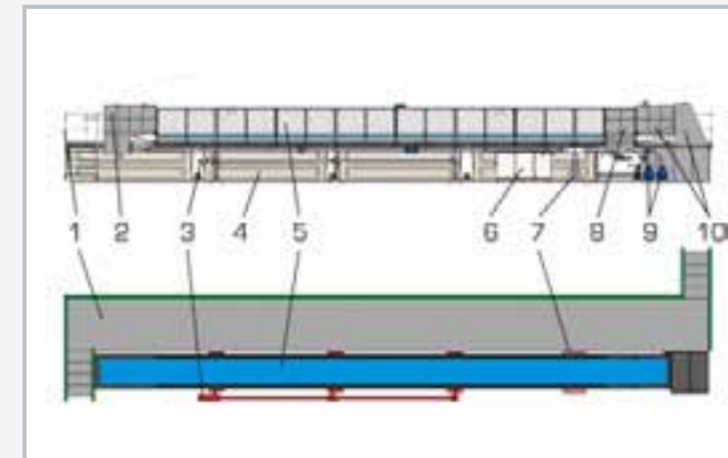
De nombreux modèles sont disponibles en tant qu'accessoires, tels que des déversoirs, piles, canaux de mesure ou un générateur de vagues. Ce qui permet de réaliser un ensemble d'essais très complet. La plupart des modèles se vissent rapidement et de manière sécurisée au fond de la section d'essai.

Contenu didactique/essais

- avec les modèles disponibles comme accessoires, on étudie les phénomènes suivants
 - ▶ écoulement uniforme et écoulement non uniforme
 - ▶ formules de débit
 - ▶ changement d'écoulement (ressaut)
 - ▶ dissipation d'énergie (ressaut, bassin d'amortissement)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: déversoirs (à paroi mince, à crête déversante, à crête arrondie)
 - ▶ écoulement par des ouvrages de contrôle: écoulement en dessous de vannes
 - ▶ canal jaugeur
 - ▶ pertes locales dues à des obstacles
 - ▶ lignes d'eau
 - ▶ écoulement non stationnaire: vagues
 - ▶ pilotes vibrants
 - ▶ transport des sédiments

HM 161

Canal d'essai 600x800mm



1 galerie, 2 élément d'entrée, 3 vérin de stabilisation avec système d'ajustage motorisé de l'inclinaison, 4 réservoir d'eau, 5 section d'essai, 6 coffret de commande, 7 appui fixe, 8 piège à sédiments HM 161.72, 9 pompe, 10 élément de sortie



Ressaut



Écran avec affichage des valeurs de mesure et des états de fonctionnement, écran tactile librement positionnable (à gauche) et captures d'écran de l'API (à droite)

Spécification

- [1] principes de base de l'écoulement dans des canaux ouverts
- [2] canal d'essai avec section d'essai, élément d'entrée et élément de sortie et circuit d'eau fermé
- [3] section d'essai inclinable en continu
- [4] section d'essai avec trous taraudés répartis de manière homogène au fond pour le montage de modèles ou la mesure du niveau d'eau
- [5] parois latérales de la section d'essai en verre trempé pour une observation optimale des essais
- [6] section d'essai avec rails de guidage pour support pour instruments HM 161.59 disponible en option
- [7] toutes les surfaces en contact avec l'eau sont fabriquées dans des matériaux résistants à la corrosion
- [8] élément d'entrée optimisé pour minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai
- [9] circuit d'eau fermé avec réservoirs d'eau, pompes, capteur de débit électromagnétique et régulation de débit
- [10] galerie accessible
- [11] API avec 2 écrans tactiles librement positionnables et écran de 32" pour la commande de l'installation
- [12] modèles de tous les domaines du génie hydraulique disponibles comme accessoires
- [13] logiciel via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur: 16m
- section d'écoulement l x h: 600x800mm
- 3 vérins de levage à vis

Réservoirs

- 1x 3600L
 - 4x 4300L
- 2 pompes
- puissance absorbée: 18,5kW
 - débit de refoulement max.: 228m³/h
 - hauteur de refoulement max.: 35m

Plages de mesure

- débit: 0...440m³/h
- inclinaison: -0,75...2,1%

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
L x l x h: 22000x4000x2700mm
Poids: env. 4000kg

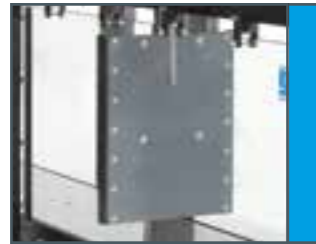
Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 2 écrans tactiles, 1 écran de 32"
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

L'essai d'écoulement dans des canaux



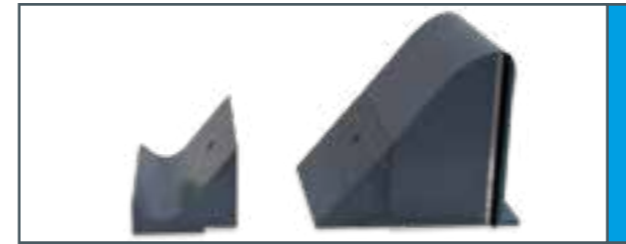
HM 162.29 Vanne plane



HM 162.40 Vanne radiale



HM 162.36 Déversoir à siphon



HM 162.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs



HM 162.35 Éléments de dissipation d'énergie



HM 162.38 Dégrilleur



HM 162.31 Déversoir à seuil épais



HM 162.33 Déversoir cunéiforme



HM 162.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression



HM 162.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types



HM 162.63 Canal trapézoïdal



HM 162.44 Seuil



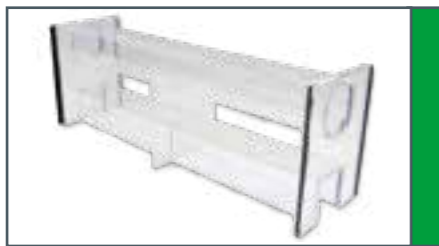
HM 162.46 Jeu de piles, sept profils

HM 162 avec
une section
d'essai de 7,5m

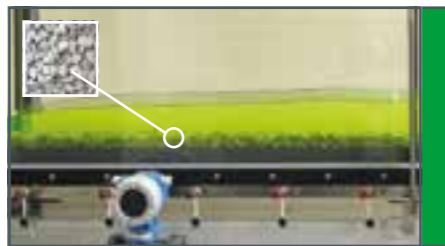
HM 162.55 Canal Parshall



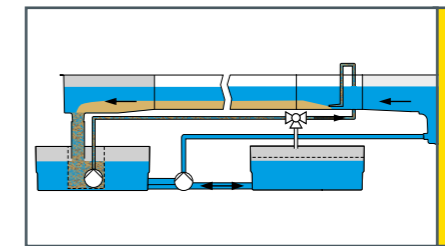
HM 162.51 Canal Venturi



HM 162.45 Passage



HM 162.77 Fond du canal avec galets



HM 162.71 Circuit de sédiments fermé



HM 162.61 Pilotes vibrants



HM 162.80 Jeu de pages



HM 162.41 Générateur de vagues



HM 162.72 Piège à sédiments



HM 162.73 Alimentateur en sédiments

Un grand choix de modèles caractéristiques permet de réaliser une large gamme d'essais individualisés avec un canal d'essai GUNT. L'ensemble des essais présentés avec HM 162 sur cette page est en principe applicable à tous les canaux d'essais de GUNT.

Les modèles des autres canaux d'essai sont à peu près similaires.

■ Ouvrages de contrôle

■ Modifications de la coupe transversale (pertes, formules de débit)

■ Mesure du débit

■ Autres essais: par exemple: étude des vagues, transport des sédiments

Les instruments adaptés à la mesure de la profondeur de l'écoulement et de la vitesse d'écoulement sont disponibles en tant qu'accessoires.

Canaux d'essai GUNT Instruments

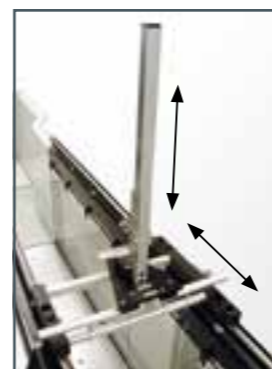
Support pour instruments pour HM 162, HM 163 et HM 161

Sur les canaux d'essai HM 162, HM 163 et HM 161, des rails de guidage passent au-dessus des parois latérales. Un support pour instruments peut y être fixé et déplacé. Les différents instruments tels que jauge à eau ou tube de Prandtl sont montés sur ce support pour instruments. Ce support permet de déplacer les instruments à pratiquement n'importe quel endroit de l'écoulement. Le support peut être arrêté pendant les mesures au moyen de dispositifs de fixation. La position du porteur le long de la section d'essai peut être lue sur une échelle (cf photo). Une seconde échelle est intégrée au support. Elle permet de déterminer la position à la perpendiculaire de la direction de l'écoulement.

Aucun support pour instruments n'est requis sur le petit HM 160: les instruments sont placés et fixés directement sur le bord supérieur de la section d'essai.



Échelle le long de la section d'essai



Support pour instruments avec jauge à eau



Montage du support pour instruments



Tube de Prandtl HM 162.50 avec support pour instruments



Jauge à eau HM 162.52 avec support pour instruments



Manomètre à tubes HM 162.53

Vitesse d'écoulement

GUNT propose deux procédés de mesure de la vitesse d'écoulement dans l'ensemble des canaux d'essai: le tube de Prandtl classique ou un dispositif de mesure numérique de la vitesse. Le tube de Prandtl HM 16x.50 mesure la pression statique et la pression totale au point souhaité de l'écoulement. Un appareil numérique de mesure de la pression affiche le différentiel des deux pressions. Le différentiel de pression correspond à la pression dynamique à partir de laquelle la vitesse d'écoulement peut être calculée.

L'élément principal du tachymètre HM 16x.64 est une roue à ailettes qui tourne sous l'effet de l'écoulement. La vitesse de rotation de la roue à ailettes est proportionnelle à la vitesse d'écoulement. La vitesse d'écoulement est relevée directement numériquement.

Profondeur de l'écoulement

Pour mesurer la profondeur de l'écoulement, on utilise la jauge à eau HM 16x.52 ou HM 16x.91 avec affichage numérique. La pointe de la sonde est guidée depuis le haut en direction de la surface de l'eau.

Mesure de pression

Tous les canaux d'essai sont équipés de points de mesure de la pression situés dans le fond du canal. Les points de mesure de la pression sont répartis de manière uniforme sur toute la longueur de la section d'essai. Les points de mesure de la pression sont reliés par des flexibles au tableau de manomètre HM 16x.53 disponible en option afin de permettre le relevé des pressions. Ce qui permet de lire sur le tableau du manomètre un profil de profondeur sur toute la longueur de la section d'essai.

Procédés de mesure propres au laboratoire

Il est bien sûr possible à tout moment d'utiliser les procédés de mesure propres à votre laboratoire tels que le PIV (Particle Image Velocimetry) ou la LDA (Laser Doppler Anemometry) pour

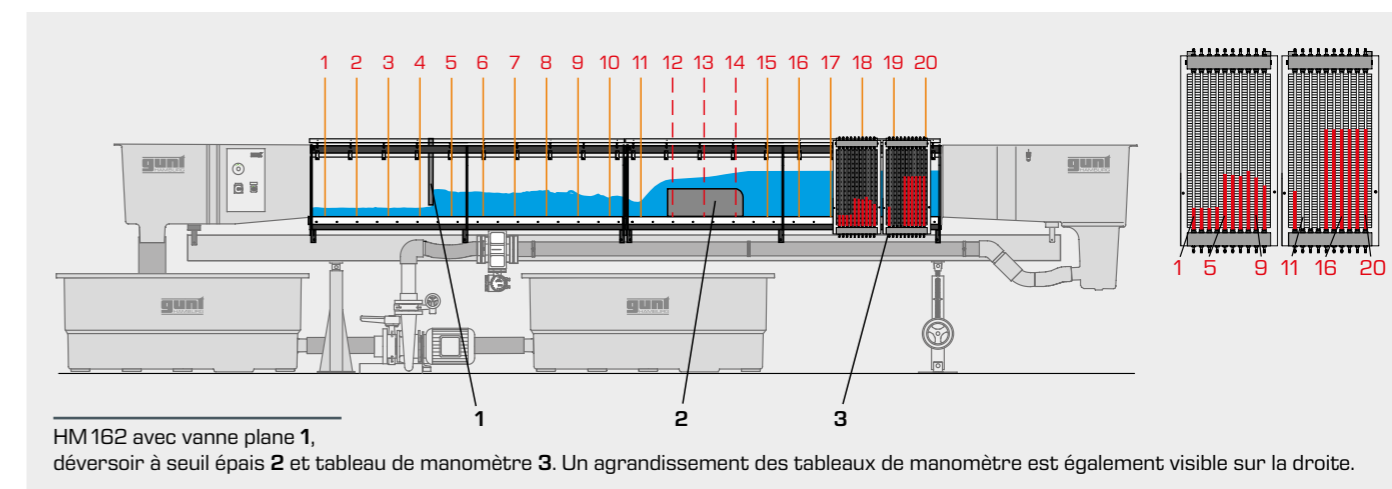
Exemple d'une mesure de pression le long de la section d'essai

On a placé un déversoir à seuil épais (HM 162.31) et une vanne plane (HM 162.29) dans la section d'essai HM 162 d'une longueur de 5 m. Les éléments de la section d'essai de HM 162 comprennent chacun dix points de mesure répartis de manière régulière sur toute la longueur de 2,5 m de l'élément. La pression à ces points de mesure est appelée hauteur de pression et correspond la profondeur de l'écoulement. Les hauteurs de pression sont affichées sur le tableau de manomètre HM 162.53. En cas de section d'essai inclinée, et donc d'écoulement avec pente

déterminer la vitesse d'écoulement, ainsi que les ultrasons pour déterminer la profondeur de l'écoulement.

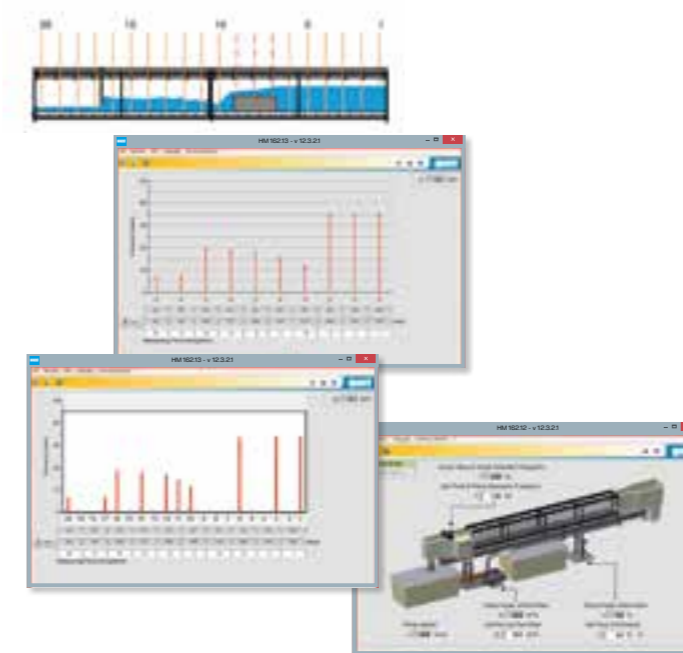
dans le canal, la profondeur de l'écoulement peut être mesurée plus précisément par l'intermédiaire de la hauteur de pression plutôt qu'avec la jauge à eau.

Le tableau de manomètre HM 162.53 comprend dix tubes. Selon la longueur de la section d'essai, on peut soit représenter des points sélectionnés sur un tableau, soit utiliser plusieurs tableaux pour afficher toutes les pressions.



HM 162 avec vanne plane 1, déversoir à seuil épais 2 et tableau de manomètre 3. Un agrandissement des tableaux de manomètre est également visible sur la droite.

Les éléments de la section d'essai du canal d'essai HM 160 comprennent dix points de mesure de la pression sur une longueur de 2,5 m. Le tableau de manomètre HM 160.53 comprend dix tubes.



Dans le canal d'essai HM 161, 48 points de mesure de la pression sont répartis de manière uniforme sur une longueur de 16 m. Le tableau de manomètre HM 161.53 comprend 20 tubes.

Commande automatisée et acquisition de données pour HM 162 / HM 163 et HM 161

À l'aide du HM 162.13 / HM 161.13, la profondeur de l'écoulement le long de la section d'essai peut être enregistrée à l'aide de capteurs de pression et être affichée sous la forme de la hauteur de pression sur le logiciel GUNT.

Avec le HM 162.12, il est possible de commander le canal d'essai HM 162 ou HM 163 à partir d'un PC. Le débit, l'ajustage de l'inclinaison et la fréquence du générateur de vagues HM 162.41 / HM 163.41 sont donnés par le logiciel GUNT. Les valeurs de mesure sont saisies et sauvegardées. Le logiciel reconnaît automatiquement si la mesure de pression électronique HM 162.13 est utilisée en plus du HM 162.12. Il est possible dans ce cas de commander les deux solutions logicielles au moyen du HM 162.12 et de sélectionner les fenêtres respectives.

HM 161 contient une commande par API avec deux écrans tactiles et un logiciel Gunt pour l'acquisition des valeurs de mesure.

Canaux d'essai GUNT Générateur de vagues

Le générateur de vagues HM16x.41 disponible comme accessoire pour tous les canaux d'essai permet de générer des vagues harmoniques, périodiques de longueurs et hauteurs différentes.

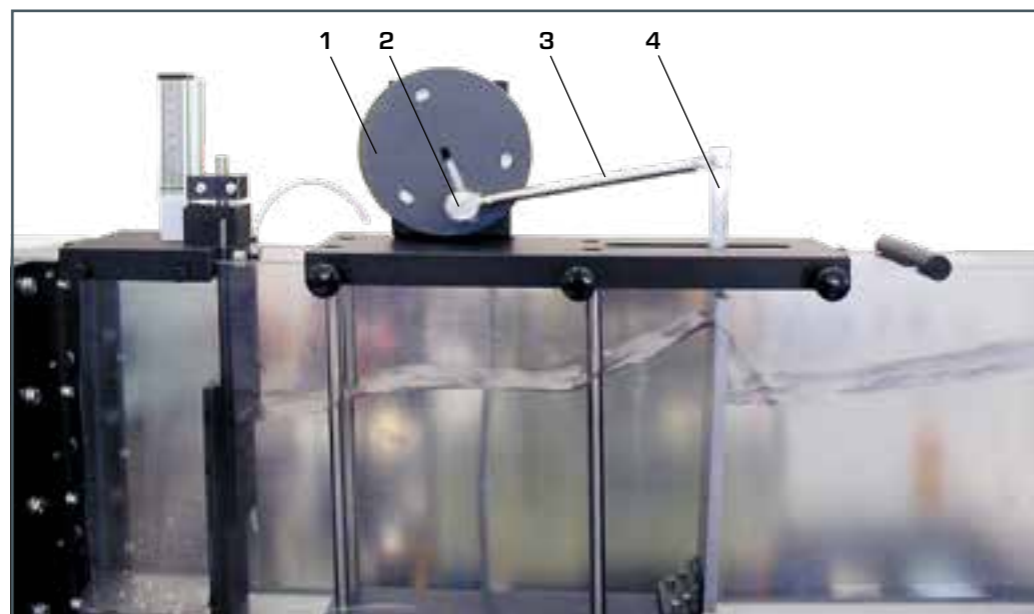
Un moteur électrique entraîne une flasque de manivelle reliée à une plaque au moyen d'une tige de poussée. La plaque effectue un mouvement de course harmonique. Il est possible d'ajuster la vitesse de rotation de la flasque de manivelle, c'est-à-dire la fréquence du mouvement de va-et-vient de la plaque. Ce qui a un

impact sur la longueur des vagues générées. La course est aussi ajustable en continu, ce qui permet de faire varier la hauteur des vagues (amplitude).

On règle la vitesse de rotation de la flasque de manivelle soit sur le coffret de commande (HM162, HM163, HM161) soit sur un appareil de commande qui fait partie du générateur de vagues (HM160).



Générateur de vagues
HM162.41



Générateur de vagues HM160.41
1 flasque de manivelle,
2 course ajustable,
3 tige de poussée, 4 plaque

Des manuels de haute qualité



La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués. La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin – sur place.

Canaux d'essai GUNT Transport des sédiments

Les écoulements dans les rivières, canaux et zones côtières sont souvent accompagnés d'un transport de sédiments. Le transport d'alluvions joue à cet effet un rôle important. Lors du transport d'alluvions, des matières solides se déplacent sur le lit du milieu aquatique.

L'accessoire pour canaux d'essai GUNT décrit ici se limite à l'observation du transport d'alluvions. On utilise ici comme sédiments du sable ayant une taille de grain 1...2mm. L'alimentation en sédiments se fait à l'entrée du tronçon expérimental. Un piège à sédiments situé à l'extrémité de la section d'essai permet de séparer les sédiments.



Migration des dunes



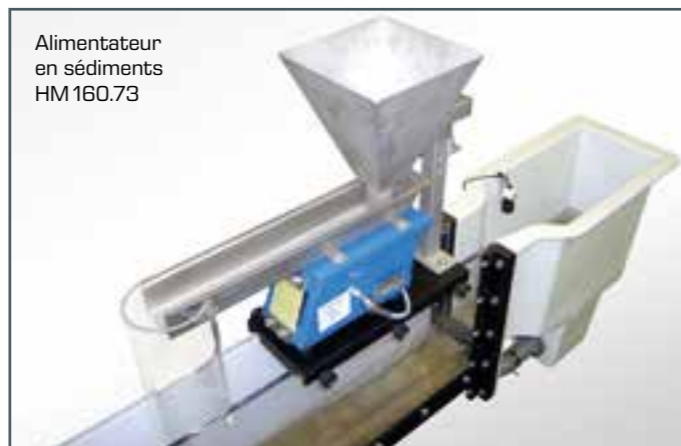
Transport des sédiments dans les eaux courantes

Alimentation en sédiments

L'alimentation en sédiments se fait manuellement à l'aide d'une pelle ou d'un seau fourni avec le piège à sédiments HM 16x.72.

Il est également possible d'utiliser l'alimentateur en sédiments HM 16x.73. Cet alimentateur est constitué principalement d'une goulotte d'alimentation vibrante qui dépose les sédiments dans la section d'essai. L'alimentateur HM 16x.73 est monté au-dessus de l'entrée de la section d'essai.

Alimentateur en sédiments HM 160.73



Piège à sédiments

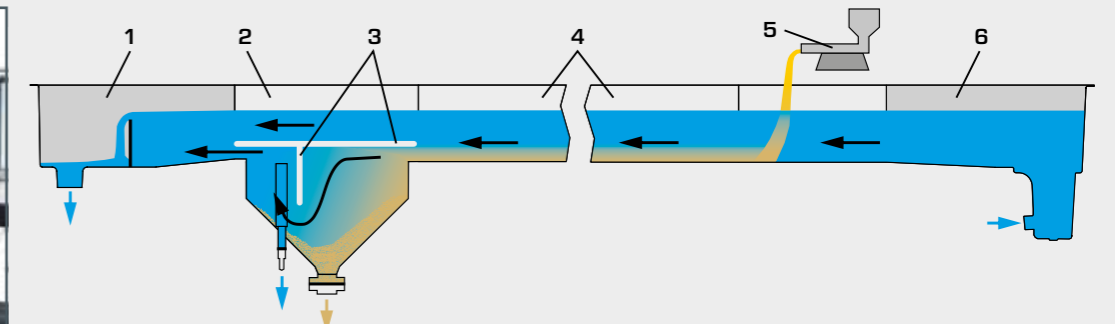
Le piège à sédiments sert à séparer les sédiments de l'écoulement afin que ces derniers ne pénètrent pas à l'intérieur de la pompe et du débitmètre. L'écoulement proche du lit contient les sédiments.

Le piège à sédiments HM 160.72 est constitué d'un tamis à mailles fines installé dans le réservoir d'eau après l'élément de sortie, qui sert à collecter les sédiments.

Sur les canaux de plus grande taille HM 162, HM 163 et HM 161, le piège à sédiments HM 162.72 / HM 163.72 / HM 161.72 est monté de manière fixe entre la section d'essai et l'élément de sortie. Dans ce piège à sédiments, l'écoulement proche du lit est guidé vers le piège. Dans le piège, les sédiments coulent au fond où ils s'accumulent. L'eau libérée des sédiments continue alors de couler dans l'élément de sortie. Les sédiments sont retirés manuellement du piège et rapportés au niveau de l'alimentateur.



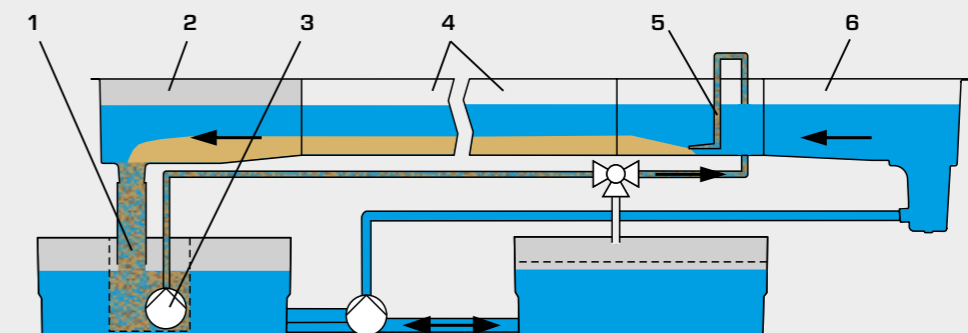
Piège à sédiments HM 160.72 dans le réservoir d'eau du HM 160 pour la collecte des sédiments



Piège à sédiments HM 162.72 / HM 163.72 / HM 161.72

1 élément de sortie, 2 piège à sédiments, 3 séparateur, 4 section d'essai avec sédiments, 5 alimentation en sédiments (soit manuellement avec le seau, soit avec l'alimentateur en sédiments HM 16x.73), 6 élément d'entrée; orange sédiments, bleu eau

Pour HM 162/HM 163/HM 161, il existe une alternative au piège à sédiments HM 16x.72: le circuit de sédiments fermé HM 16x.71.



Circuit de sédiments fermé HM 162.71 / HM 163.71

1 crépine, 2 élément de sortie, 3 pompe, 4 section d'essai avec sédiments, 5 alimentation en sédiments, 6 élément d'entrée; orange sédiments, bleu eau

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Dans les pages suivantes, nous vous présentons l'ensemble des accessoires pour canaux d'essai GUNT en prenant l'exemple du HM162. Les accessoires des autres canaux d'essai sont similaires.

Ouvrages de contrôle



Vanne plane

HM 160.29
Vanne plane

HM 161.29
Vanne plane

HM 162.29
Vanne plane

HM 163.29
Vanne plane



Vanne radiale

HM 160.40
Vanne radiale

HM 161.40
Vanne radiale

HM 162.40
Vanne radiale

HM 163.40
Vanne radiale



Déversoirs à paroi mince

(selon Rehbock, Cipoletti, Thomson;
Rehbock sans contraction)

HM 160.30 Jeu de déversoirs à
paroi mince, quatre types

HM 161.30 Jeu de déversoirs à
paroi mince, quatre types

HM 162.30 Jeu de déversoirs à
paroi mince, quatre types

HM 163.30 Jeu de déversoirs à
paroi mince, quatre types



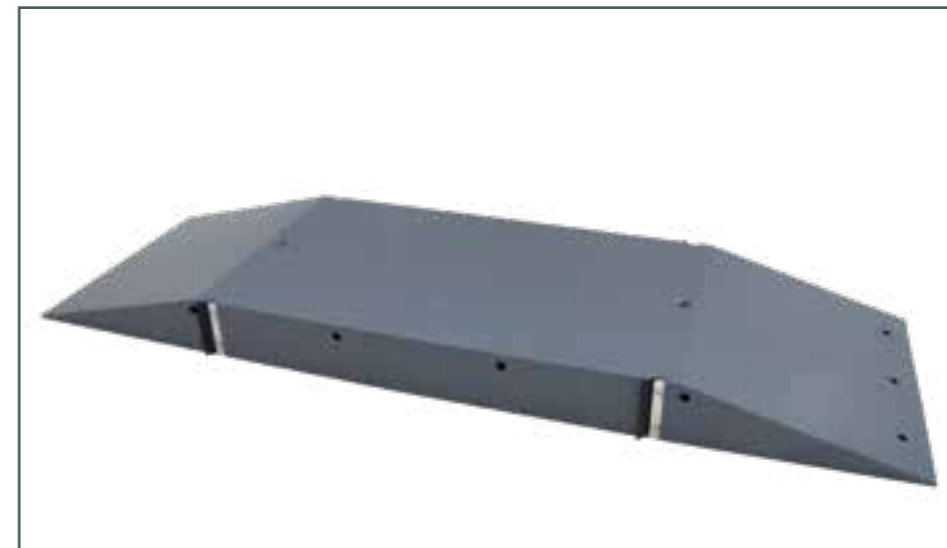
Déversoir à seuil épais

HM 160.31
Déversoir à seuil épais

HM 161.31
Déversoir à seuil épais

HM 162.31
Déversoir à seuil épais

HM 163.31
Déversoir à seuil épais



Seuil

HM 160.44
Seuil

HM 161.44
Seuil

HM 162.44
Seuil

HM 163.44
Seuil



Déversoir cunéiforme

HM 160.33
Déversoir cunéiforme

HM 161.33
Déversoir cunéiforme

HM 162.33
Déversoir cunéiforme

HM 163.33
Déversoir cunéiforme

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Ouvrages de contrôle



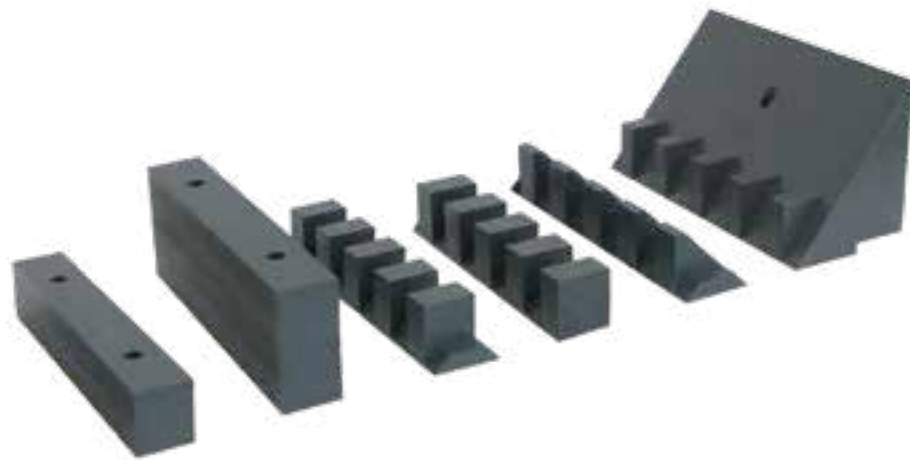
Déversoir à crête arrondie

HM160.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs

HM161.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs

HM162.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs

HM163.32 Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs



Extension optionnelle pour le déversoir à crête arrondie:

Éléments de dissipation d'énergie

(entre autres, bloc de chute et seuils)

HM160.35 Éléments de dissipation d'énergie

HM161.35 Éléments de dissipation d'énergie

HM162.35 Éléments de dissipation d'énergie

HM163.35 Éléments de dissipation d'énergie



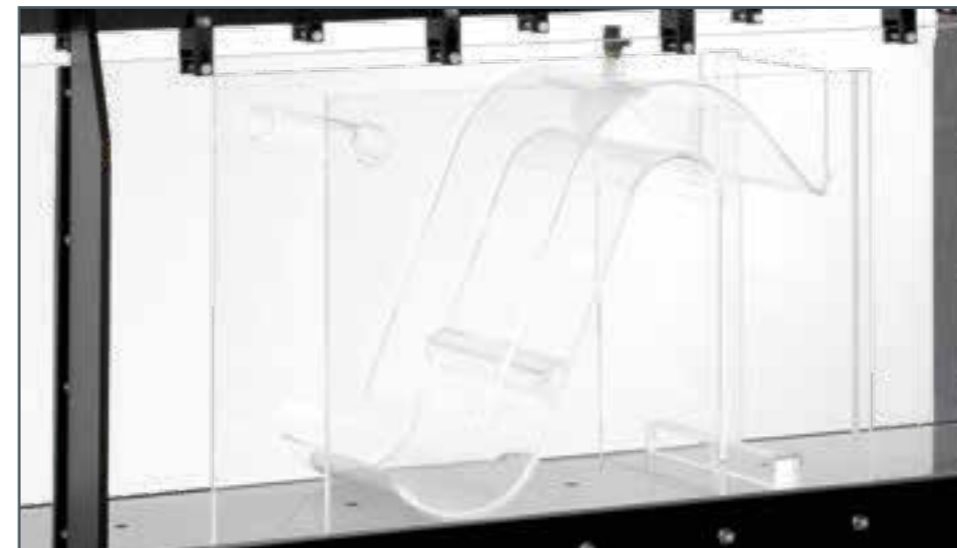
Déversoir à crête arrondie avec points de mesure de la pression le long du dos de déversoir

HM160.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression

HM161.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression

HM162.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression

HM163.34 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression



Deversoir à siphon

HM160.36 Deversoir à siphon

HM161.36 Deversoir à siphon

HM162.36 Deversoir à siphon

HM163.36 Deversoir à siphon



Dégrilleur

HM161.38 Dégrilleur

HM162.38 Dégrilleur

HM163.38 Dégrilleur

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Mesure du débit



Déversoirs à paroi mince (selon Rehbock, Cipoletti, Thomson; Rehbock sans contraction)

HM 160.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types

HM 161.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types

HM 162.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types

HM 163.30 Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types

Mesure du débit



Canal trapézoïdal

HM 161.63
Canal trapézoïdal

HM 162.63
Canal trapézoïdal

HM 163.63
Canal trapézoïdal

Canal Venturi

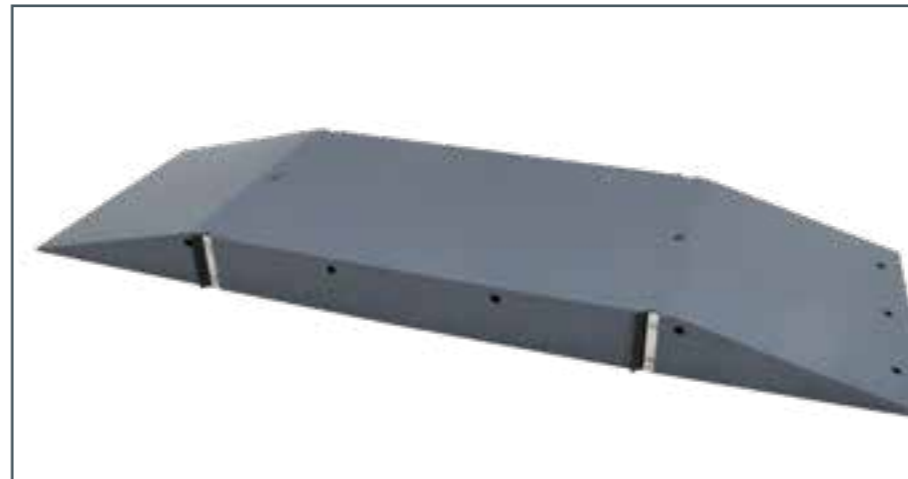
HM 160.51
Canal Venturi

HM 161.51
Canal Venturi

HM 162.51
Canal Venturi

HM 163.51
Canal Venturi

Modification de la coupe transversale



Seuil

HM 160.44
Seuil

HM 161.44
Seuil

HM 162.44
Seuil

HM 163.44
Seuil

Canal Parshall

HM 161.55
Canal Parshall

HM 162.55
Canal Parshall

HM 163.55
Canal Parshall

Fond du canal avec galets

HM 160.77
Fond du canal avec galets

HM 161.77
Fond du canal avec galets

HM 162.77
Fond du canal avec galets

HM 163.77
Fond du canal avec galets

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Modification de la coupe transversale



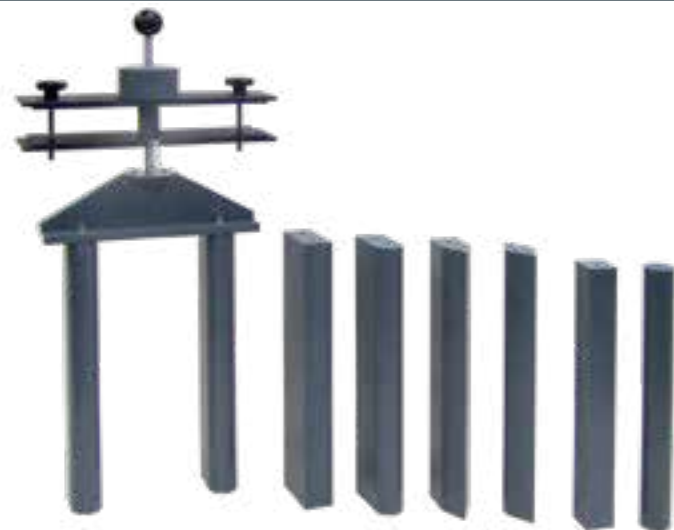
Déversoir cunéiforme

HM 160.33
Déversoir cunéiforme

HM 161.33
Déversoir cunéiforme

HM 162.33
Déversoir cunéiforme

HM 163.33
Déversoir cunéiforme



Piles

7 profils: rectangulaire, carré, circulaire, arrondi (une extrémité ou les deux extrémités), pointu (une extrémité ou les deux extrémités)

HM 160.46
Jeu de piles, sept profils

HM 161.46
Jeu de piles, sept profils

HM 162.46
Jeu de piles, sept profils

HM 163.46
Jeu de piles, sept profils



Passage

HM 160.45
Passage

HM 161.45
Passage

HM 162.45
Passage

HM 163.45
Passage

Autres: vagues avec simulations de plage



Générateur de vagues

HM 160.41
Générateur de vagues

HM 161.41
Générateur de vagues

HM 162.41
Générateur de vagues

HM 163.41
Générateur de vagues



Plage lisse

HM 160.42
Plage lisse



Jeu de plages

(3 plages: lisse, perméable, rugueuse)

HM 161.80
Jeu de plages

HM 162.80
Jeu de plages

HM 163.80
Jeu de plages

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Autres: transport des sédiments



Piège à sédiments

HM 160.72
Piège à sédiments

HM 161.72
Piège à sédiments

HM 162.72
Piège à sédiments

HM 163.72
Piège à sédiments



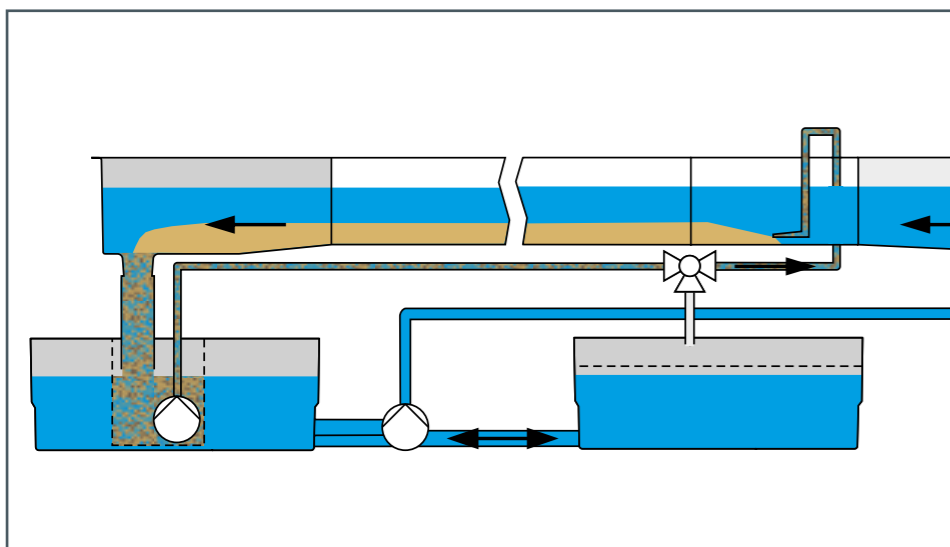
Alimentateur en sédiments

HM 160.73
Alimentateur en sédiments

HM 161.73
Alimentateur en sédiments

HM 162.73
Alimentateur en sédiments

HM 163.73
Alimentateur en sédiments



Circuit de sédiments fermé

HM 161.71
Circuit de sédiments fermé

HM 162.71
Circuit de sédiments fermé

HM 163.71
Circuit de sédiments fermé

Les photos montrent des accessoires de HM162. Les accessoires des autres canaux d'essai sont similaires.

Autres: vibrations induites par l'écoulement



Pilotes vibrants

HM 160.61
Pilotes vibrants

HM 161.61
Pilotes vibrants

HM 162.61
Pilotes vibrants

HM 163.61
Pilotes vibrants

Instruments de mesure



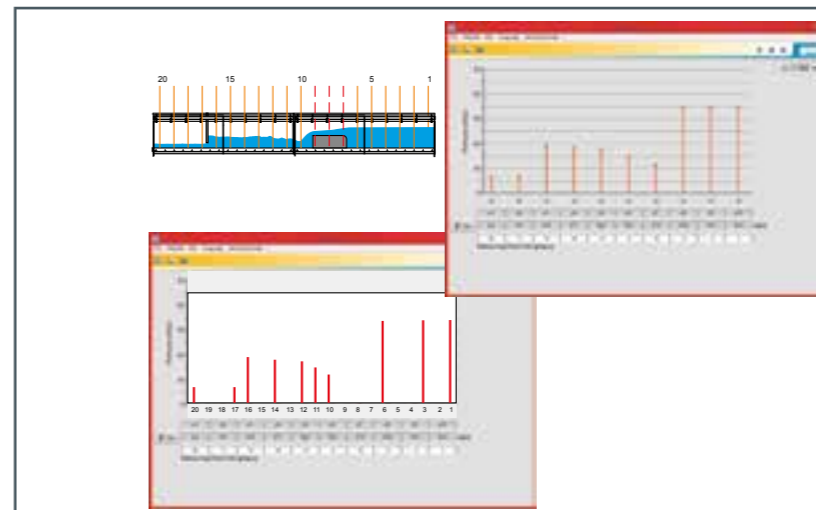
Mesure de la pression

HM 160.53
Manomètre à dix tubes

HM 161.53
Manomètre à 20 tubes

HM 162.53
Manomètre à dix tubes

HM 163.53
Manomètre à dix tubes



Mesure de la pression



HM 161.13 Mesure électronique
de la pression, 10x 0...100 mbar

HM 162.13 Mesure électronique
de la pression, 10x 0...50 mbar

Les photos montrent des accessoires de HM162. Les accessoires des autres canaux d'essai sont similaires.

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

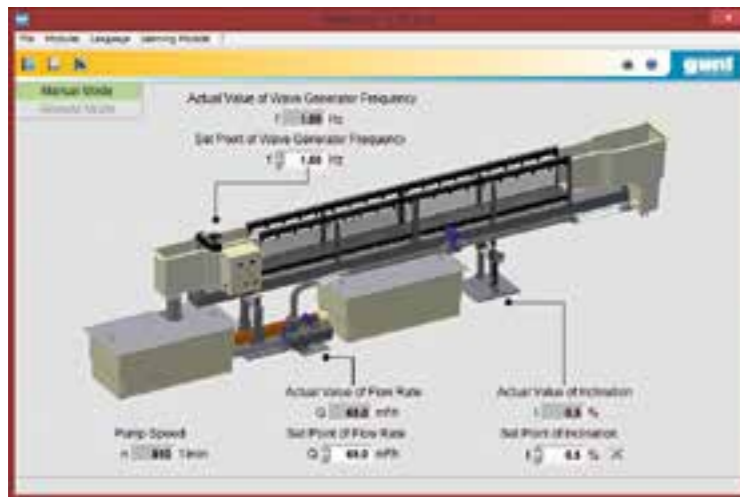
Instruments de mesure

	Jauge à eau (analogique ou avec affichage numérique)
	HM 160.52 Jauge à eau HM 160.91 Jauge à eau numérique
	HM 161.52 Jauge à eau HM 161.91 Jauge à eau numérique
	HM 162.52 Jauge à eau HM 162.91 Jauge à eau numérique
	Détermination de la vitesse (au moyen du tube de Prandtl)
	HM 160.50 Tube de Prandtl
	HM 161.50 Tube de Prandtl
	HM 162.50 Tube de Prandtl
HM 163.50 Tube de Prandtl	

	Détermination de la vitesse (au moyen de l'appareil de mesure de vitesse)
	HM 160.64 Appareil de mesure de vitesse
	HM 161.64 Appareil de mesure de vitesse
	HM 162.64 Appareil de mesure de vitesse
HM 163.64 Appareil de mesure de vitesse	
	Support pour instruments (accessoire requis pour la jauge à eau et la détermination de la vitesse)
	HM 161.59 Support pour instruments
	HM 162.59 Support pour instruments
	HM 163.59 Support pour instruments

Accessoires pour canaux d'essai HM 160, HM 161, HM 162 et HM 163

Autres accessoires



Acquisition de données et automatisé

incluse dans HM 161

HM 162.12 Système d'acquisition de données et d'automatisation



Élément de rallonge du canal d'essai, 2,5 m (pour sections d'essai plus longues)

HM 160.10 Élément de rallonge du canal d'essai

HM 162.10 Élément de rallonge du canal d'essai

HM 163.10 Élément de rallonge du canal d'essai



Système d'ajustage électrique de l'inclinaison

(recommandé pour les sections d'essai à partir de 7,5m)

HM 162.57 Système d'ajustage électrique de l'inclinaison

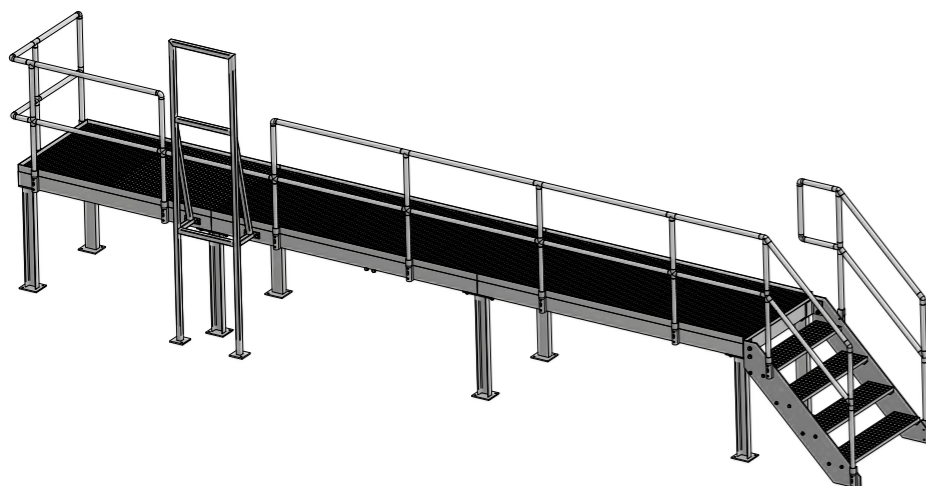
HM 163.57 Système d'ajustage électrique de l'inclinaison



Réservoir d'eau, 1100 L

HM 162.20 Réservoir d'eau

HM 163.20 Réservoir d'eau



Galerie

HM 162.14 Galerie

HM 163.14 Galerie

Élément de rallonge de la galerie, 2,5m

HM 162.15 Élément de rallonge de la galerie

HM 163.15 Élément de rallonge de la galerie

Connaissances de base

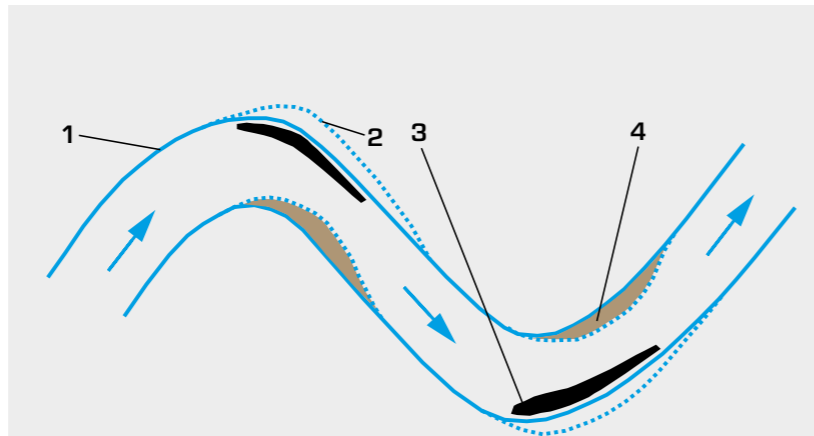
Principes de base du transport des sédiments

Les écoulements dans les rivières, canaux et dans les zones côtières sont souvent accompagnés d'un transport des sédiments. Le transport des sédiments est composé du **transport des sédiments en suspension** et du **transport par charriage**.

Le transport par charriage a lieu dans la zone proche du lit et est donc un facteur très important dans la mise en forme du lit de rivière. Dans les eaux courantes naturelles, érosion et processus de sédimentation alternent en permanence et caractérisent le régime de charriage du tronçon de cours d'eau.

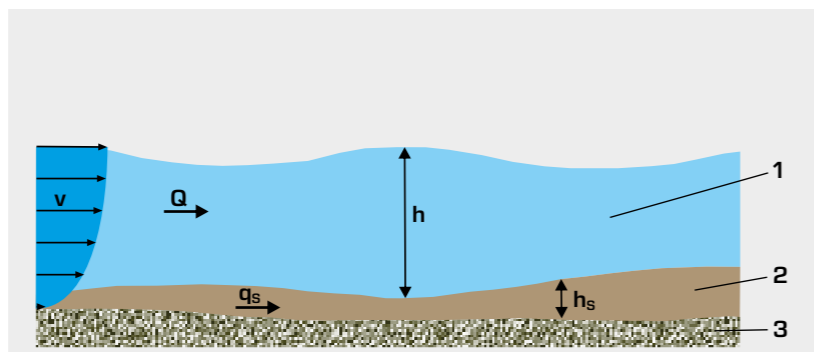
Le transport par charriage constitue la composante de référence du comportement d'écoulement dans des canaux. Des sédiments qui se déposent (atterrissement) ou sont transportés (érosion ou formation d'affouillements) peuvent par exemple modifier la section d'écoulement ou les lignes d'eau. Le transport des sédiments entraîne également une modification de la structure du lit (formation de rides ou de dunes, modification de la rugosité).

Les sédiments transportés comme des matières en suspension ont un rôle dans l'équilibre de transport uniquement lorsqu'ils se déposent et participent ainsi à l'atterrissement, comme c'est le cas par exemple dans les cours d'eaux très lents ou stagnants.



Rivière (vue du dessus)

1 lit du cours d'eau original, 2 lit du cours d'eau modifié par le transport des sédiments à un moment ultérieur, 3 affouillement ou érosion, 4 atterrissement



Rivière (vue en coupe)

1 eau, 2 sédiments mobiles, 3 fond fixe;
v vitesse d'écoulement, Q débit,
q_s capacité de transport des sédiments,
h profondeur de l'écoulement,
h_s épaisseur de la couche de sédiments

Pour évaluer le comportement d'écoulement dans un canal, en cas d'écoulement normal, il faut, en plus des équations déjà mentionnées de conservation de l'énergie, conservation de l'impulsion et conservation de la masse, considérer aussi l'équilibre de transport au volume de contrôle – la quantité de sédiments qui quitte le volume de contrôle est-elle la même que celle qui revient l'alimenter? Les formules de transport sont des formules empiriques, telles que celle de Meyer-Peter & Müller.

Les bancs d'essai de GUNT sur cette thématique traitent principalement du transport par charriage.

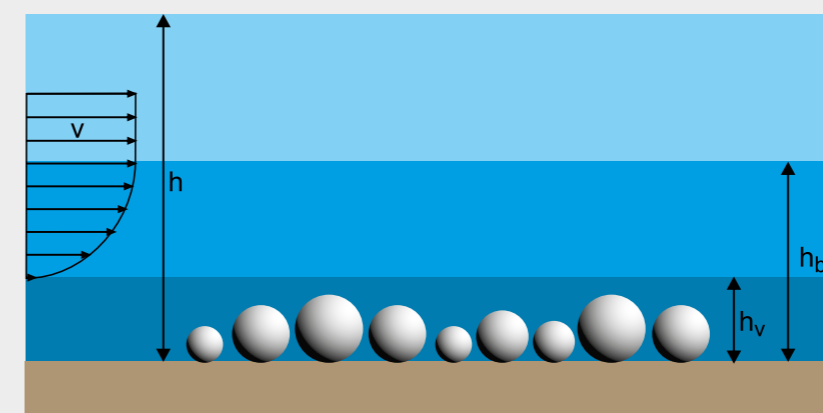
Début du mouvement des sédiments

Les grains de sédiment se trouvent au sol se déplacent uniquement lorsque la contrainte critique de cisaillement au sol est dépassée. On distingue alors trois possibilités:

- dépassement fréquent ou permanent: **formation de rides** ou **de dunes** sur le fond
- dépassement uniquement en cas d'événements extrêmes tels que tempête ou crue: modification brusque du fond
- pas de dépassement: dépôt des matières en suspension, il est possible que le fond s'envase à moyen terme.

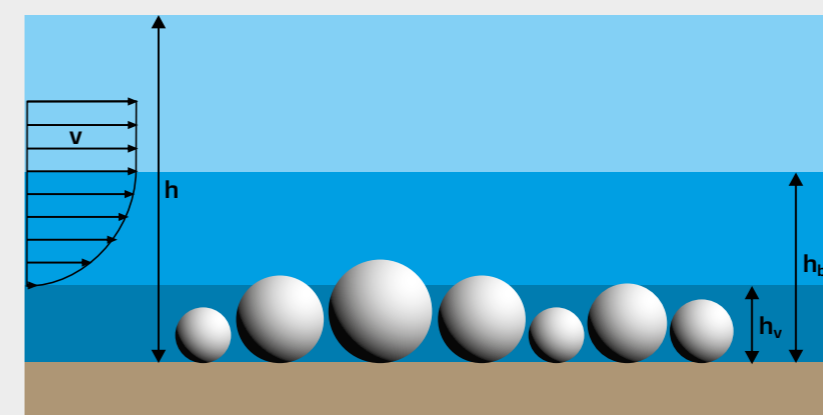
Normalement, les sédiments sont constitués de grains de tailles différentes. Les grains les plus grands sont plus fortement soumis à l'écoulement et retiennent des forces d'écoulement plus élevées que les grains de petite taille. Les grains de petite taille peuvent être masqués par les grains de grande taille (effet de Hiding) et commencent à se mouvoir à des forces d'écoulement plus élevées que les grains qui ne sont pas masqués.

Structure des couches mouvantes dans les eaux courantes



Limite hydraulique lisse

h profondeur de l'écoulement, h_b épaisseur de la couche limite, h_v épaisseur de la couche visqueuse



Limite hydraulique rugueuse

h profondeur de l'écoulement, h_b épaisseur de la couche limite, h_v épaisseur de la couche visqueuse

La vitesse d'écoulement de l'eau s'approche de zéro à proximité du fond du canal. Cette zone est appelée **couche limite**. La **sous-couche visqueuse** se trouve juste au-dessus du fond du canal et est très fine. La formation de la sous-couche visqueuse dépend des caractéristiques de surface du fond du canal. On parle de limite hydraulique lisse lorsque les éléments de rugosité tels que les grains de sédiment se trouvent intégralement à l'intérieur de la sous-couche. Dès lors que les grains de sédiment dépassent de la sous-couche, on parle de limite hydraulique rugueuse.

La limite hydraulique lisse (smooth boundary) entre la couche de sédiments et l'écoulement se forme lorsque les vitesses d'écoulement sont faibles (sous-couche visqueuse fine) et/ou lorsque les diamètres de grain des sédiments sont de petite taille. En cas de diamètres de grain élevés (>0,6mm) et/ou de vitesses d'écoulement élevées (couche visqueuse épaisse), on parle de limite hydraulique rugueuse (rough boundary).

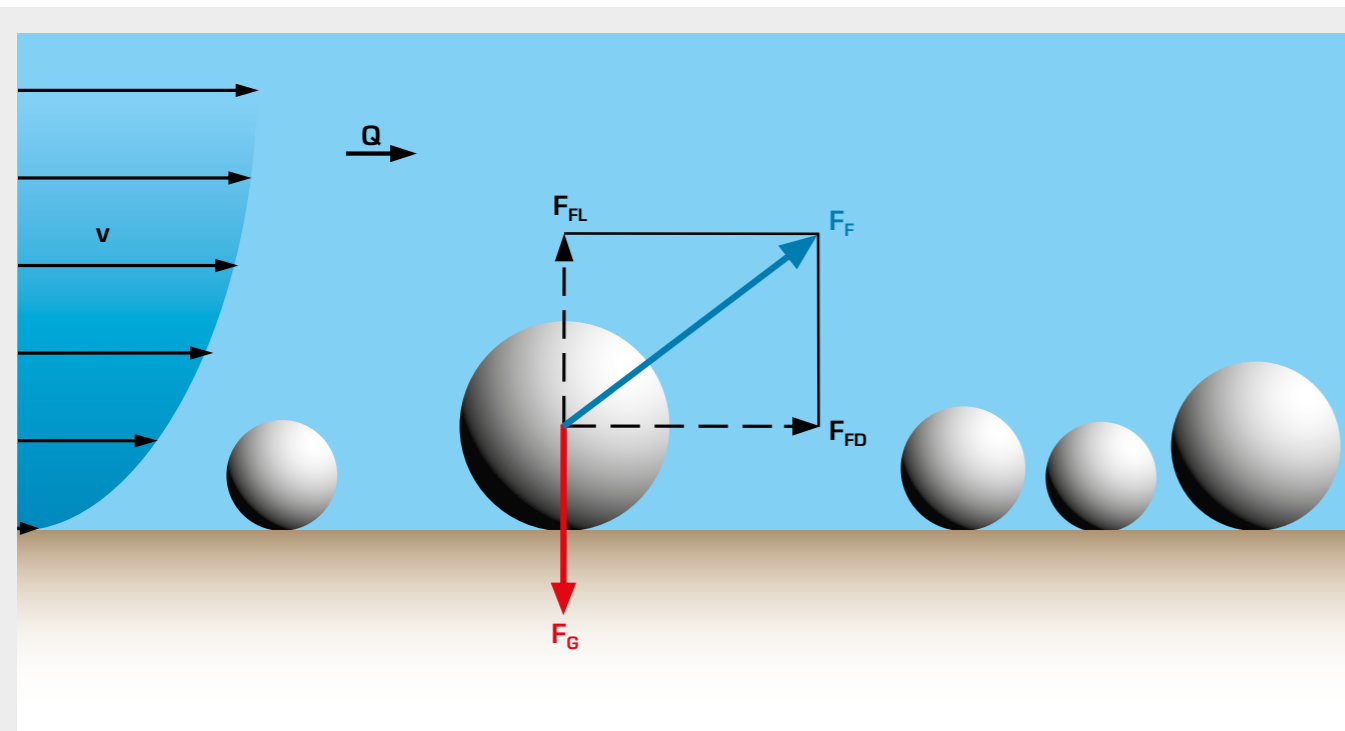
Connaissances de base

Principes de base du transport des sédiments

Types de transport des sédiments

Des forces différentes agissent sur un grain de sédiment à l'intérieur d'un écoulement. Le type de transport des sédiments dépend de la taille, de la masse et de la forme du grain ainsi que

de la force d'écoulement en action. Toutes les forces pertinentes figurent sur l'illustration ci-dessous:



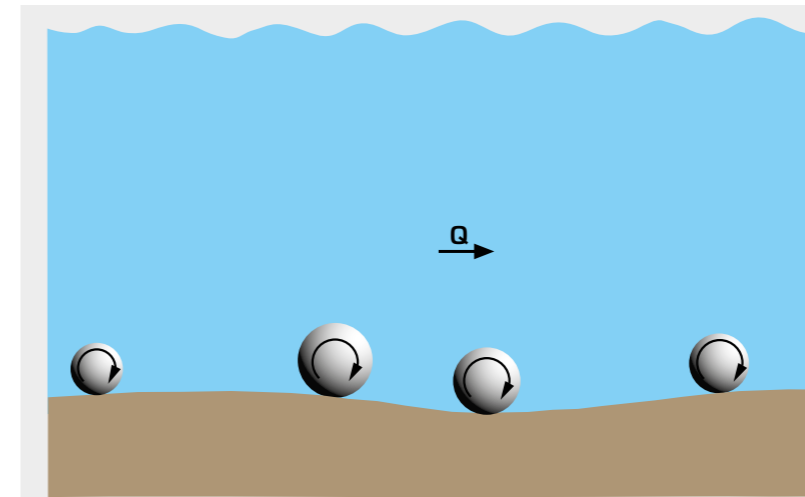
Forces au niveau du grain de sédiment dans le fond du canal

v vitesse d'écoulement, Q débit, F_G poids, F_F force d'écoulement, F_{FL} portance (lift), F_{FD} traînée (drag)

La force d'écoulement F_F est la force qui résulte de la portance s'exerçant à la verticale F_{FL} et de la traînée qui agit à l'horizontale F_{FD} . Pour que le grain de sédiment quitte le fond du canal (pour la saltation ou comme matière en suspension), il faut que la portance soit supérieure au poids qui lui est opposé F_G du grain de sédiment.

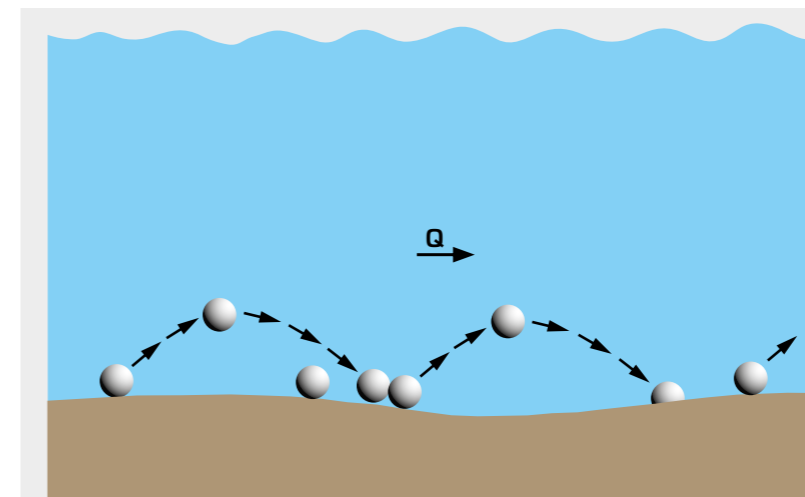
Sur les petits grains, la force d'écoulement en action est plus faible que celle qui s'exerce sur les grains plus grands en raison de la répartition de la vitesse d'écoulement v entre le fond du canal et la surface de l'eau. Mais sur le grain plus grand, le poids F_G est supérieur et empêche le transport des sédiments en suspension.

Les grains de grande taille (les pierres par exemple) roulent et glissent sur le fond alors que les petits grains de sable deviennent des matières en suspension. Les grains de sédiment plus grands que le sable (gravier par exemple) peuvent également être soumis à la saltation.



Roulement (rolling)

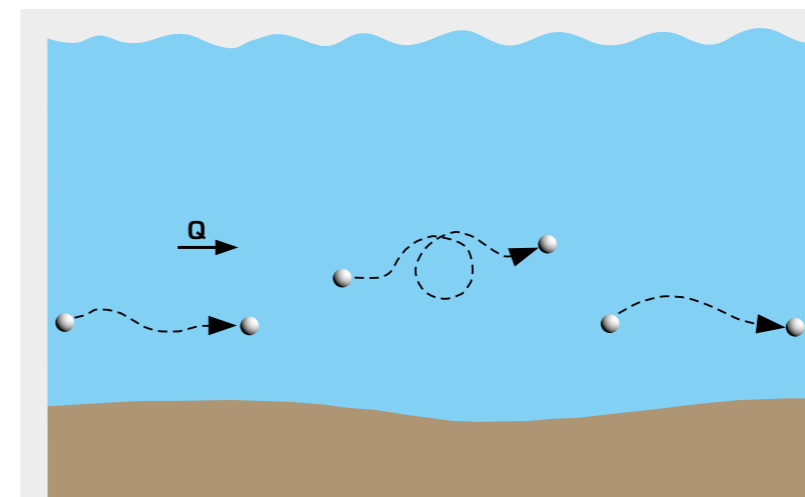
Le sédiment reste en contact permanent avec le fond. Normalement les grands grains de sédiment (comme les pierres) roulent.



Saltation

Le grain de sédiment, par exemple un petit caillou, est arraché du fond par l'écoulement et quitte brièvement le sol. L'écoulement continue de l'entraîner jusqu'à ce qu'il se dépose à nouveau. C'est comme si le grain sautait.

Le charriage est un processus de déplacement des matières solides durant lequel elles restent en contact avec le fond. Les principaux facteurs sont: ■ débit ■ pente ■ structure du lit ■ solides disponibles



Transport des sédiments en suspension

Les matières en suspension sont des matières solides qui sont en suspension dans l'eau et n'ont aucun contact avec le fond.

Les principaux facteurs sont:

- la vitesse de sédimentation (diamètre de grain, forme de grain, densité de grain, densité de l'eau)
- les paramètres d'écoulement (distribution de la vitesse dans le canal, turbulences)

Connaissances de base

Principes de base du transport des sédiments

Corps de transport



Les processus causés par le vent dans le désert sont comparables aux processus se déroulant dans les eaux courantes.

Dès que la vitesse d'écoulement passe au-dessus de la vitesse critique à laquelle les sédiments se mettent en mouvement, des irrégularités apparaissent sur le fond du canal, que l'on appelle les **corps de transport**. Ces irrégularités peuvent atteindre une hauteur égale à environ un tiers de la profondeur de l'écoulement. On distingue principalement trois formes de base du corps de transport: **les rides, les dunes et les antidunes**.

Les **rides de courant** apparaissent sous l'effet de processus se déroulant dans la couche limite, si bien que la profondeur minimale de l'écoulement est égale à environ trois fois la hauteur des rides. Le diamètre maximum des grains de sable permettant l'apparition de rides est de 0,6mm environ. Les rides ont une hauteur moyenne de 3...5cm et ont une longueur de vague de 4...60cm. Elles sont si petites que leur influence sur l'écoulement n'atteint pas sa surface.

Les **dunes** sont des rides de grande taille et sont similaires à des seuils de grande taille souvent réguliers. Leur hauteur dépend de la profondeur de l'écoulement. Elles influencent également l'écoulement jusqu'à sa surface. Les rides et les dunes peuvent se superposer.

Les rides et les dunes se déplacent dans la direction de l'écoulement, les **anti-dunes**, plus rares, se déplaçant elles dans la direction contraire à l'écoulement. Les antidunes apparaissent lorsque l'écoulement est supercritique et dessinent des formes de lit ondulées.

Types de rides

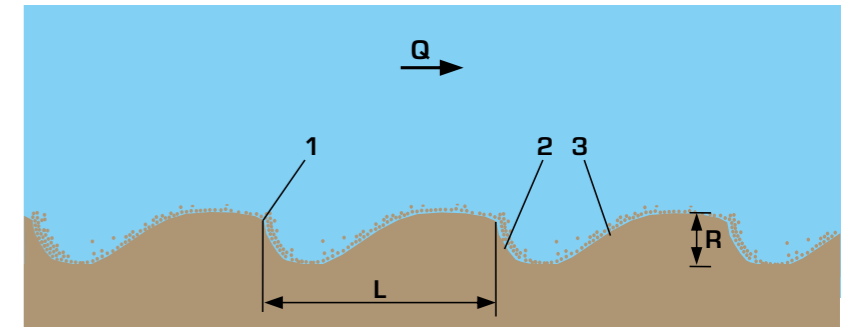
On distingue les **rides de courant** (explication sur cette page) et les **rides de vagues**, qui se forment sous l'effet des ondes de surface de l'eau dans les eaux peu profondes. Des rides asymétriques se forment par exemple lorsqu'un écoulement se superpose à des ondes de surface.

Formation et mouvement des rides de courant

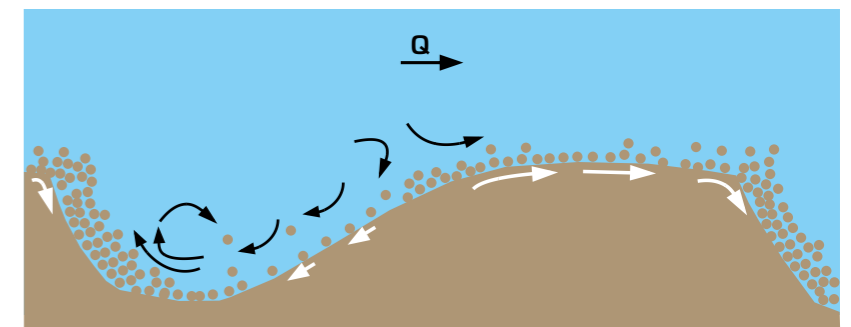
Lorsque la vitesse d'écoulement critique nécessaire au mouvement du sable est atteinte, les grains commencent à se mouvoir. Ils forment un Cluster (colline). Les collines ont le même effet que les irrégularités à la surface des sédiments. Ces irrégularités ont une épaisseur de seulement quelques grains et influencent l'écoulement dans la couche limite. Les lignes de courant sont plus proches les unes des autres au sommet d'une colline, la vitesse d'écoulement est ici plus élevée (**effet Bernoulli**; voir illustration: érosion dans le creux). Du fait de l'augmentation de la vitesse d'écoulement, il est possible que d'autres grains roulent du côté soumis à l'écoulement ou qu'ils sautent et s'accumulent au sommet, de la crête. Lorsqu'une trop grande quantité de grains se sont amassés, la position devient instable, ils glissent jusqu'en bas de la colline, du côté à l'abri de l'écoulement. Le côté à l'abri de l'écoulement a une pente plus raide que le côté soumis à l'écoulement.

Sur la crête de la colline, la ligne de courant se trouvant à la surface du sable, se détache de cette surface et revient plus tard la percuter (voir illustration: apparition de contre-courants du côté à l'abri de l'écoulement). En dessous de cette ligne de courant se trouve ce qu'on appelle la zone de séparation (separation zone). Il est possible qu'un vortex de séparation se forme dans cette zone, provoquant ainsi un petit contre-courant. On observe en plus des turbulences et de l'érosion, qui provoquent la formation ou l'enfoncement des vallées entre les rides. Ces vallées sont appelées creux. Une partie des grains érodés se dépose au pied du côté à l'abri de l'écoulement, et les autres sont emportés par le fluide et / ou se déposent sur le côté soumis à l'écoulement.

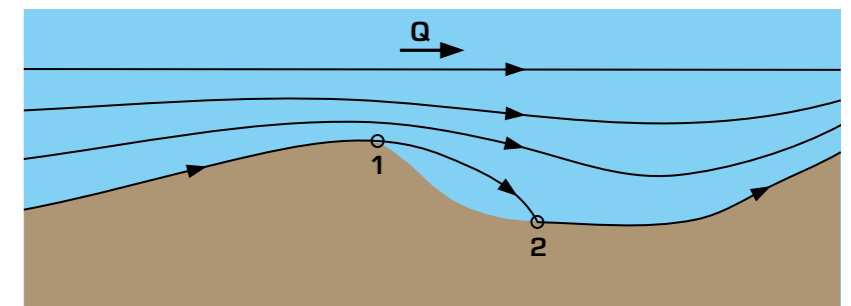
Les grains de sable situés au sommet de la couche de sédiments continuent à être transportés en permanence, si bien que les rides se déplacent dans la direction de l'écoulement et semblent de ce fait mobiles.



1 crête de la ride, 2 côté à l'abri de l'écoulement, 3 côté soumis à l'écoulement de la ride; L longueur de vague, R hauteur de ride

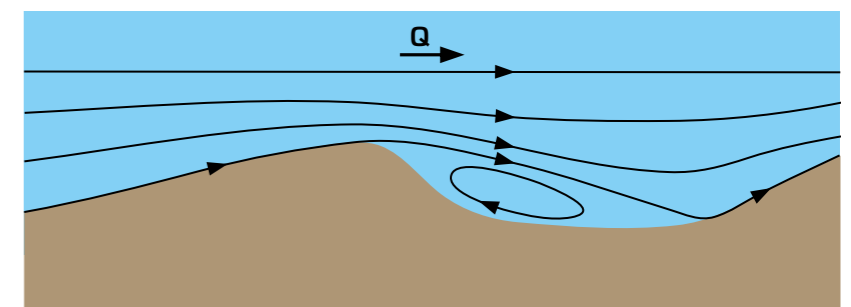


Flèches noires turbulences dans l'eau, flèches blanches migration du sable



Érosion dans le creux

1 décrochage de la ligne de courant sur la crête, 2 point d'impact; lignes noires lignes de courant



Apparition de contre-courants du côté à l'abri de l'écoulement zone de détachement avec tourbillons

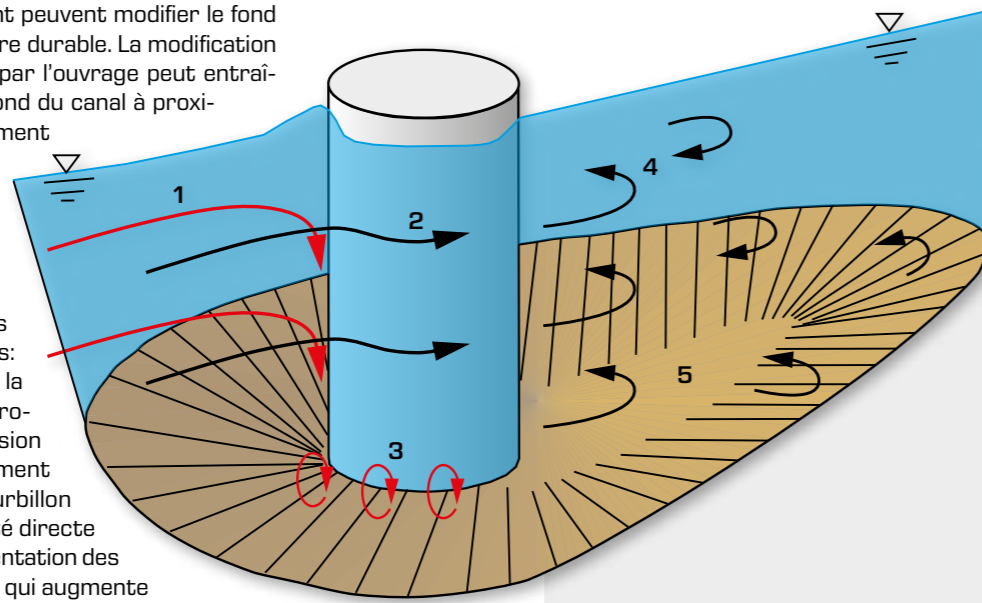
Connaissances de base

Principes de base du transport des sédiments

Transport des sédiments sur des piles de pont

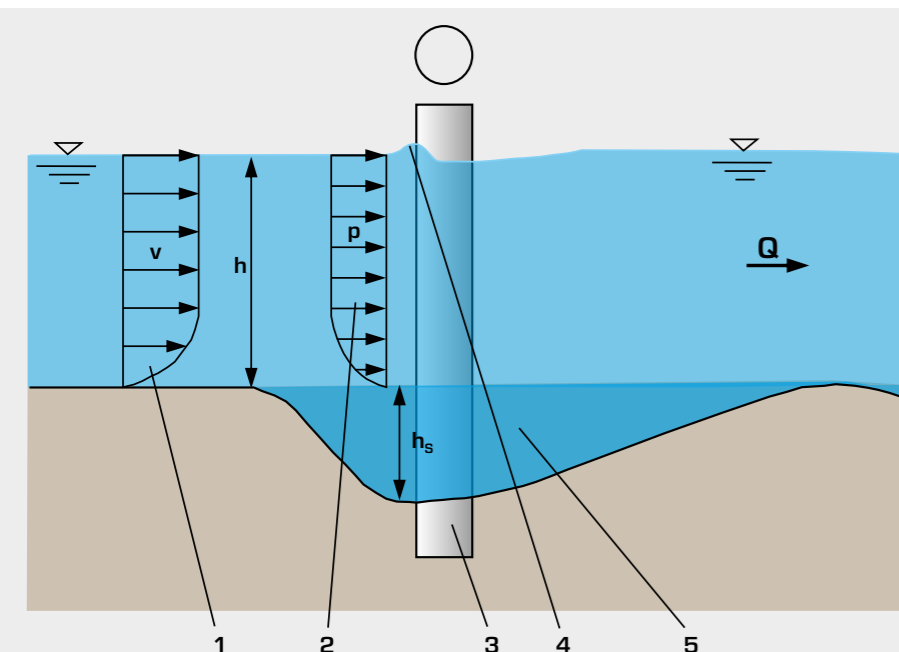
Les ouvrages tels que les piles de pont peuvent modifier le fond d'un canal d'eaux courantes de manière durable. La modification des conditions d'écoulement causée par l'ouvrage peut entraîner la formation d'affouillements au fond du canal à proximité directe de l'ouvrage. Un affouillement peut déjà apparaître lorsqu'il n'y a pas de véritable transport des sédiments dans les eaux courantes. On parle dans ce cas d'**affouillement en eau claire** (clear-water scour).

La formation d'affouillements sur les ouvrages a deux causes principales: ce qu'on appelle l'affouillement dû à la contraction et les phénomènes d'érosions locaux. Dans le cas de l'érosion locale, l'écoulement est dévié localement par l'ouvrage. Des systèmes de tourbillon très turbulents se forment à proximité directe de l'ouvrage, qui entraînent une augmentation des vitesses locales (voir illustrations). Ce qui augmente le taux d'érosion des sédiments. Dans le cas de l'affouillement dû à la contraction, la réduction de la section d'écoulement par l'ouvrage (par exemple des piles de pont) entraîne une augmentation des vitesses d'écoulement. Ces vitesses d'écoulement plus élevées induisent une augmentation des contraintes de cisaillement au sol et donc une augmentation de la capacité de transport. L'érosion au pied ou au niveau de la fondation de la pile peut avoir des conséquences fatales entraînant dans certains cas l'effondrement de l'ouvrage. C'est pourquoi il est important de bien comprendre les mécanismes de la formation d'affouillements afin d'être en mesure d'estimer la profondeur prévisionnelle d'affouillement et de prendre les mesures qui s'imposent.



Formation d'affouillements en eau claire sur une pile cylindrique

- 1 écoulement descendant,
- 2 écoulement autour de la pile,
- 3 tourbillon en fer à cheval,
- 4 tourbillon de sillage,
- 5 affouillement



Formation d'affouillement en eau claire (vue latérale)

- 1 distribution de la vitesse de l'écoulement,
- 2 distribution de la pression,
- 3 pile cylindrique,
- 4 retenue à piles,
- 5 affouillement;
- h profondeur de l'écoulement,
- h_s profondeur d'affouillement,
- Q débit

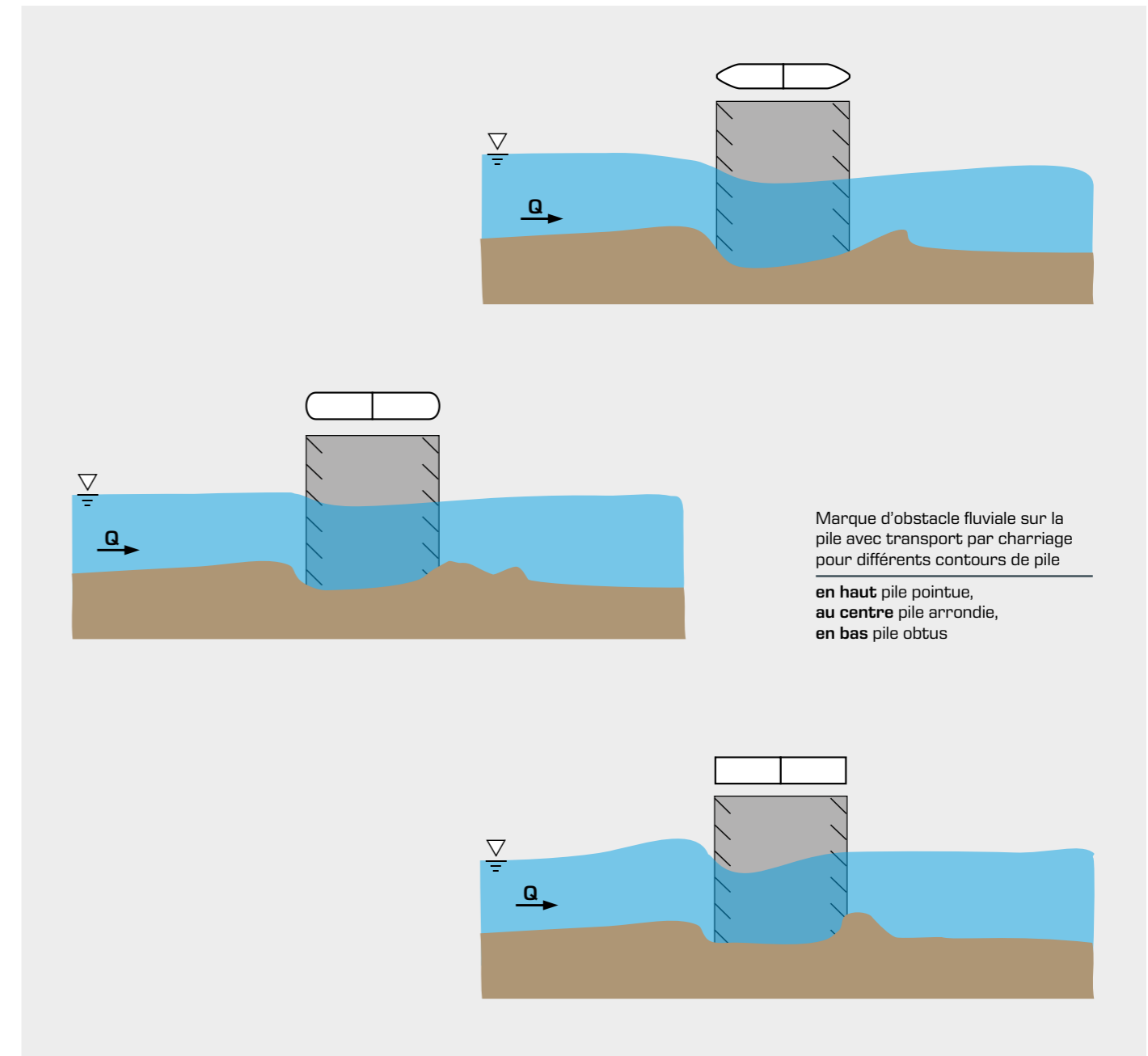
Lors de la formation d'affouillements, deux systèmes de tourbillon se forment, qui sont largement indépendants l'un de l'autre: le **système de tourbillon en fer à cheval** et le **système de tourbillon de sillage** (voir illustration: formation d'affouillements en eau claire sur une pile cylindrique). Le système de tourbillon en fer à cheval est le système de référence dans la formation d'affouillements. Les tourbillons en fer à cheval se forment sous l'effet de l'écoulement descendant du côté de l'ouvrage soumis à l'écoulement. L'écoulement descendant se forme en raison d'une baisse de pression (voir flèche rouge dans l'illustration du haut et distribution de la pression dans la vue latérale ci-dessous). Les tourbillons de sillage se forment lors du décollement de la couche limite sur les côtés du cylindre contourné par l'écoulement (flèche noire dans l'illustration du haut).

Les piles cylindriques présentent l'affouillement (en eau claire) le plus important du côté soumis à l'écoulement, tandis que pour les piles rectangulaires, la formation d'affouillements est la plus élevée sur les côtés.

Marque d'obstacle fluviale

L'atterrissement, ou banc alluvial, qui apparaît après l'obstacle est également un élément important dans la formation d'affouillements. Les deux phénomènes sont regroupés sous la dénomination de marque d'obstacle fluviale.

Dans les illustrations ci-dessous, on voit la marque d'obstacle fluviale sur la pile, lorsqu'un transport par charriage a déjà lieu en amont dans les eaux courantes.



Marque d'obstacle fluviale sur la pile avec transport par charriage pour différents contours de pile

- en haut** pile pointue,
au centre pile arrondie,
en bas pile obtuse

Transport des sédiments dans des eaux courantes

Le transport des sédiments dans des eaux courantes (transport des sédiments en suspension ou transport par charriage) est démontré et étudié chez GUNT au moyen de quatre appareils. Pour établir le bilan d'eaux courantes, seul le transport par charriage est normalement important, car c'est lui qui ali-

mente ou évacue les sédiments dans un volume de contrôle. Les matières en suspension passent au travers du volume de contrôle et n'entrent donc pas en compte dans l'équilibre de transport.

Le transport des sédiments en suspension ne joue un rôle dans l'équilibre de transport que lorsque la vitesse d'écoulement est très faible, permettant donc un dépôt des matières en suspension. Le transport des sédiments en suspension est démontré avec HM142.

Le transport par charriage est démontré dans HM166, HM140 et HM168. Les canaux d'essai HM160 – HM163 de GUNT sont également adaptés au transport par charriage.

Transport des sédiments en suspension

HM142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation



Dans un grand nombre d'eaux courantes, les sédiments sont présents sous la forme de matières en suspension. Ces matières en suspension ne sont normalement pas prises en compte dans l'équilibre de transport.

Il est possible, lorsque la vitesse d'écoulement est très faible, que des matières en suspension se déposent. Ce qui produit dans les lacs artificiels ou les barrages des atterrissements indésirables. Dans les stations d'épuration, il y a au contraire des réservoirs de sédimentation dans lesquels la sédimentation est souhaitée et utilisée comme processus de séparation pour l'épuration des eaux usées.

- séparation d'une suspension dans le réservoir de sédimentation transparent
- impacts sur le processus de séparation
 - ▶ vitesse d'écoulement
 - ▶ concentration des sédiments
- visualisation des conditions d'écoulement avec de l'encre

Transport par charriage

HM166 Principes de base du transport des sédiments

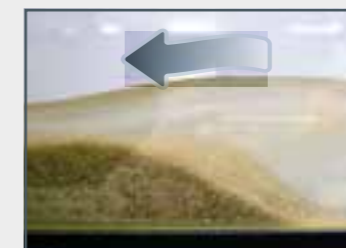


- de l'eau est transportée dans un canal circulaire avec une roue à aubes
- approfondissement le long d'une section droite du canal comme section d'essai
- section d'essai avec parois latérales transparentes, L x l x h: 660 x 50 x 150 mm
- une roue à aubes avec régulation de la vitesse de rotation génère des écoulements d'une vitesse comprise entre 0...1 m/s
- conditions de départ du transport des sédiments
- démonstration de la formation de rides et de dunes sur le lit de rivière
- marque d'obstacle fluviale de piles de pont (formation d'affouillements et atterrissement)

HM140 Transport des sédiments dans un canal ouvert



- section d'essai inclinable avec parois latérales transparentes
 - ▶ longueur de la section d'essai: 1600 mm
 - ▶ section d'écoulement l x h: 300 x 86 mm
 - ▶ système d'ajustage de l'inclinaison: -1...+3%
- débit ajustable au moyen d'une soupape
- circuit d'eau fermé avec pompe, élément d'entrée et élément de sortie
- transport par charriage dans des canaux ouverts
- observation de formes de lit: rides, dunes, antidunes
- transport des sédiments sur des ouvrages:
 - ▶ piles de pont
 - ▶ vanne plane



Migration des dunes: les sédiments montent à travers l'écoulement du côté soumis à l'écoulement, pour se déposer plus loin en amont.

également:

- principes de base de l'écoulement dans des canaux sans transport des sédiments

HM168 Transport des sédiments dans les cours de rivière



- canal d'essai en acier inoxydable
- dimensions de la section d'essai, L x l x h: 5 x 0,8 x 0,25 m
- circuit d'eau fermé avec pompe, élément d'entrée et élément de sortie
- débit ajustable sur deux plages:
 - ▶ débit faible: 0...2 m³/h (par ex. pour l'observation des méandres)
 - ▶ débit jusqu'à 70 m³/h (par ex. pour l'observation de la formation de rides)
- transport par charriage dans des canaux ouverts
 - ▶ formation d'affouillements
 - ▶ atterrissement
 - ▶ formation de rides
- observation de l'apparition de méandres
- marques d'obstacle fluviales sur des ouvrages:
 - ▶ différentes piles de pont
 - ▶ île



Érosion et atterrissement dans le lit de rivière

HM 166

Principes de base du transport des sédiments



Description

- transport des sédiments dans des canaux ouverts
- canal d'écoulement circulaire avec parois latérales transparentes comme canal ouvert
- observation de la formation de rides et de marques d'obstacle fluviales

Dans de nombreux canaux réels, un transport des sédiments a lieu, qui influence le comportement de l'écoulement. Le transport par charriage en constitue normalement la composante de référence. HM 166 démontre avec du sable des phénomènes importants du transport par charriage dans la zone proche du lit. La section d'essai transparente permet d'observer la formation de rides dans le lit de rivière.

HM 166 est constitué d'un canal d'écoulement transparent, circulaire, ovale. Un renforcement d'accueil des sédiments dans le côté longitudinal du canal forme la section d'essai. L'autre côté longitudinal comprend une roue à aubes qui génère l'écoulement. À l'entrée de la section d'essai, un redresseur d'écoulement protège l'écoulement des turbulences.

La vitesse de rotation de la roue à aubes est ajustable, ce qui permet d'étudier l'impact de la vitesse d'écoulement sur le transport par charriage. Il est possible de générer des vitesses d'écoulement dans la plage de l'écoulement critique (sans sédiments). La roue à aubes est entraînée par un moteur électrique et un entraînement à courroie. Le moteur et l'ajustage de la vitesse de rotation se trouvent en dessous de la plaque de base et sont à l'abri des éclaboussures.

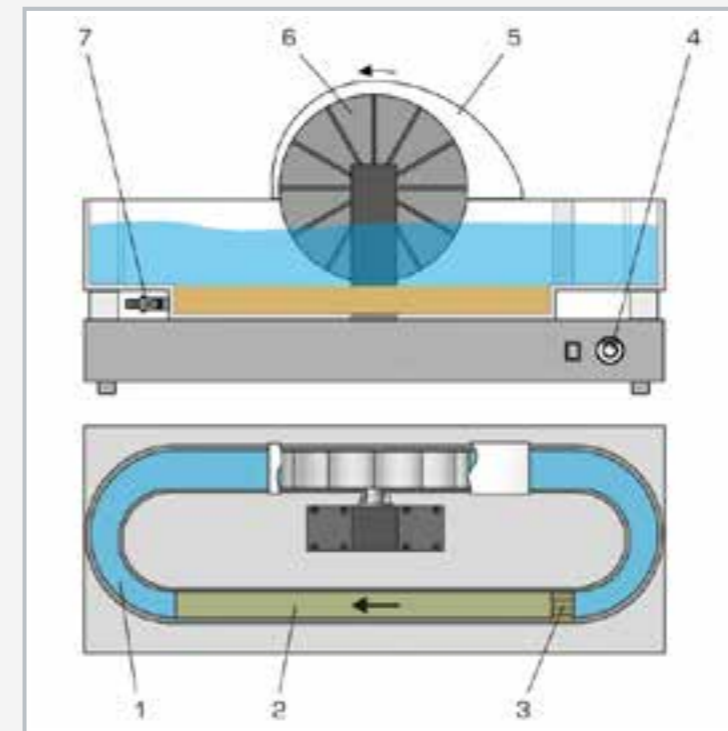
La marque d'obstacle fluviale et donc la formation d'affouillements et l'atterrissement sur les piles de pont est observé sur trois modèles différents de pile installés dans la section d'essai.

Contenu didactique/essais

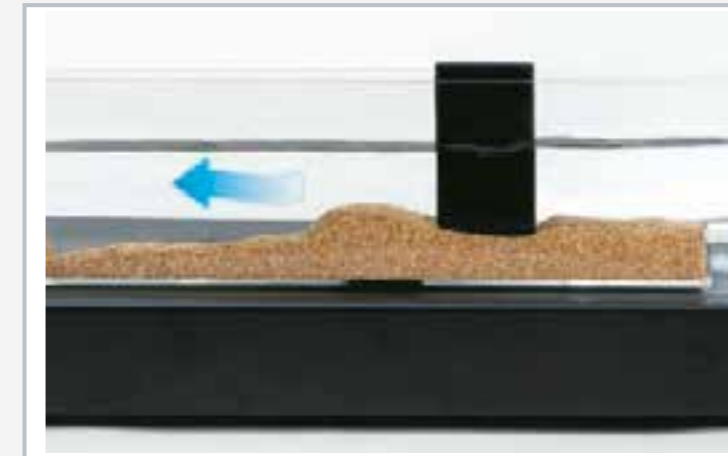
- observation
 - ▶ conditions de départ du transport par charriage
 - ▶ influence de la vitesse d'écoulement sur le transport par charriage
 - ▶ formation de rides et de dunes sur le lit de rivière
 - ▶ marque d'obstacle fluviale de piles de pont (formation d'affouillements et atterrissement)
 - ▶ écoulements secondaires dans des courbures de canal
- avec du sable fin en plus
 - ▶ observation des écoulements de matières en suspension
 - ▶ influence de la taille et la densité des sédiments sur le transport des sédiments

HM 166

Principes de base du transport des sédiments



1 canal d'écoulement, 2 section d'essai, 3 redresseur d'écoulement, 4 ajustage de la vitesse de rotation de la roue à aubes, 5 pare-éclaboussure, 6 roue à aubes, 7 robinet de purge



Marque d'obstacle fluviale (formation d'affouillements et atterrissement) sur la pile

Spécification

- [1] appareil d'essai pour le transport par charriage dans des canaux ouverts
- [2] canal d'écoulement transparent, circulaire, ovale comme canal ouvert
- [3] roue à aubes avec régulation de la vitesse de rotation pour génération de la vitesse d'écoulement
- [4] section d'essai avec renforcement transparent pour l'accueil des sédiments
- [5] écoulement faiblement turbulent à son arrivée dans la section d'essai grâce au redresseur d'écoulement
- [6] entraînement de la roue à aubes au moyen d'un moteur électrique et d'un entraînement à courroie
- [7] 3 piles de pont différentes pour l'observation des marques d'obstacle fluviale sur la pile

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur: 660mm
- section lxh: 50x200mm
- renforcement: 50mm

Canal d'écoulement

- hauteur: 150mm
- largeur: 50...72mm

Roue à aubes

- 12 roues
- Ø 330mm
- vitesse de rotation sur la roue à aubes:
 - ▶ 5,2...70min⁻¹

Plages de mesure

- vitesse d'écoulement: env. 0...1m/s

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1030x410x560mm
Poids: env. 42kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 piles
- 1 sable (5kg, 1...2mm taille de grain)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

HM 140

Transport des sédiments dans un canal ouvert



Description

- écoulement dans un canal inclinable avec ou sans transport par charriage
- écoulement sous-critique et supercritique
- formation d'affouillements et d'atterrissement à une pile de pont ou une vanne plane

Avec HM 140, des phénomènes importants du transport par charriage dans la zone proche du lit sont montrés en servant du sable comme exemple. Un écoulement dans des canaux sans transport des sédiments est également possible. L'écoulement peut être sous-critique ou supercritique.

L'élément central du canal d'essai HM 140 avec circuit d'eau fermé est la section d'essai inclinable. Les parois latérales de la section d'essai sont en verre trempé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre). L'élément d'entrée est conçu de telle manière à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai et à ce que les sédiments ne

puissent par revenir en arrière. Le réservoir qui suit l'évacuation d'eau comprend un piège à sédiments pour le sable grossier.

Afin de permettre la création de chutes et d'avoir un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, il est possible d'ajuster en continu l'inclinaison du canal d'essai.

En plus du transport par charriage dans le canal ouvert, on observe également la marque d'obstacle fluviale et donc la formation d'affouillements et l'atterrissement sur des ouvrages à partir de quelques modèles. On peut installer dans la section d'essai au choix une pile arrondie ou une vanne plane.

La mesure du débit est effectuée au moyen d'un déversoir de mesure placé dans l'évacuation d'eau et d'une jauge à eau.

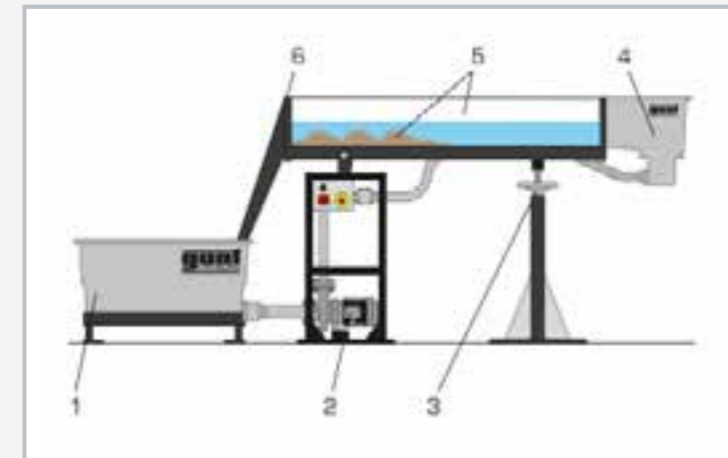
Il est possible d'injecter du produit de contraste pour la visualisation des conditions d'écoulement.

Contenu didactique/essais

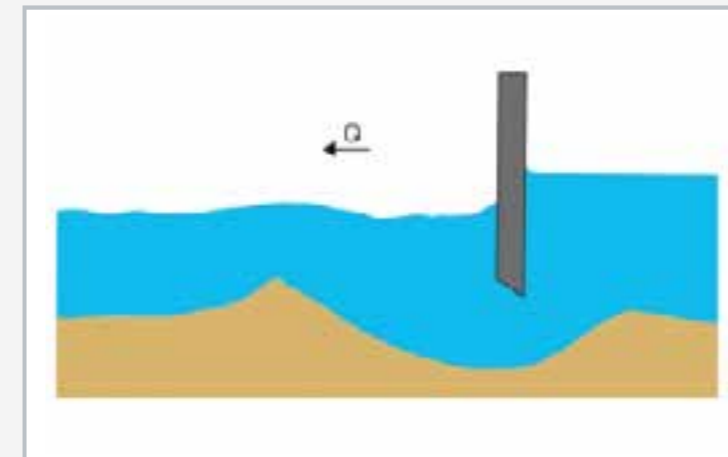
- transport par charriage dans des canaux ouverts
 - ▶ écoulement sous-critique et supercritique
 - ▶ formation des rides, dunes et antidunes
- influence de la vitesse d'écoulement sur le transport par charriage
- marque d'obstacle fluviale (formation d'affouillements et d'atterrissement)
 - ▶ pile de pont
 - ▶ vanne plane
- visualisation de l'écoulement
- écoulement dans des canaux sans transport des sédiments
 - ▶ écoulement sous-critique et supercritique
 - ▶ ouvrage de contrôle: Vanne plane
 - ▶ mesure du débit sur le déversoir à paroi mince

HM 140

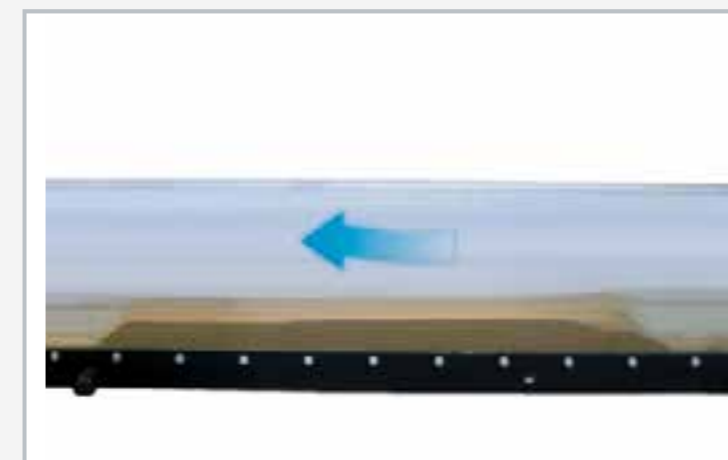
Transport des sédiments dans un canal ouvert



1 réservoir d'eau, 2 pompe, 3 système d'ajustage de l'inclinaison, 4 élément d'entrée, 5 section d'essai, 6 évacuation d'eau



Transport des sédiments sur la vanne plane: formation d'affouillements en dessous de la vanne, atterrissement en amont



Transport des sédiments dans le canal ouvert, observation d'une forme de lit en cours de formation avec un écoulement sous-critique

Spécification

- [1] étude de l'écoulement dans un canal ouvert avec et sans transport par charriage
- [2] canal d'essai composé d'une section d'essai, d'un élément d'entrée, d'une évacuation d'eau et d'un circuit d'eau fermé
- [3] section d'essai inclinable en continu
- [4] parois latérales de la section d'essai en verre trempé pour une observation optimale des essais
- [5] toutes les surfaces en contact avec l'eau sont fabriquées dans des matériaux résistants à la corrosion
- [6] élément d'entrée optimisé pour minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai
- [7] circuit d'eau fermé avec réservoir d'eau avec piège à sédiments pour sable grossier, pompe et ajustage manuel du débit
- [8] vanne plane et pile de pont pour essais avec et sans transport des sédiments
- [9] visualisation de l'écoulement avec du produit de contraste
- [10] mesure du débit au moyen d'un déversoir de mesure dans l'évacuation d'eau
- [11] jauge à eau pour la mesure de la profondeur de l'écoulement

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- longueur: 1600mm
 - section d'écoulement l x h: 86x300mm
 - système d'ajustage de l'inclinaison: -1...+3%
- Réservoir: 280L
Pompe
- puissance absorbée: 1,02kW
 - débit de refoulement max.: 22,5m³/h
 - hauteur de refoulement max.: 13,7m
- Élément filtrant du piège à sédiments
■ ouverture de maille du tamis: 0,3mm (49mesh)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
L x l x h: 3450x650x1200mm
Poids: env. 215kg

Nécessaire pour le fonctionnement

sédiments: sable [1...2mm taille de grain]

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 1 vanne plane
- 1 pile arrondie
- 1 déversoir de mesure
- 1 système de visualisation de l'écoulement
- 1 jauge à eau
- 1 outil de lissage du sable
- 1 documentation didactique

HM 168

Transport des sédiments dans les cours de rivière

**Description**

- transport par charriage dans un canal ouvert
- observation de l'apparition de méandres
- observation des marques d'obstacle fluviales sur des ouvrages
- dispositif palpeur mobile pour la mesure de profil dans les sédiments

Avec HM 168, des phénomènes importants du transport par charriage dans la zone proche du lit sont montrés avec un écoulement sous-critique. Les grandes dimensions de la section d'essai permettent la modélisation de cours de rivières avec et sans ouvrage.

L'élément central du canal d'essai HM 168 est la section d'essai en acier inoxydable. Il permet d'étudier le transport par charriage sur une surface de 5x0,8m et sur une couche de sédiments d'une épaisseur pouvant atteindre 10cm. Les sédiments sont retenus par des déversoirs à paroi mince à l'entrée et à la sortie de la section d'essai. Le réservoir qui suit l'évacuation d'eau comprend un piège à sédiments avec des éléments filtrants pour le sable de taille moyenne et le sable grossier. Le circuit d'eau est fermé.

En plus du transport par charriage dans le canal ouvert sans ouvrages, on observe également la marque d'obstacle fluviale et donc la formation d'affouillements et l'atterrissement sur des ouvrages sur quelques modèles. On peut installer dans la section d'essai au choix une pile de pont, un déversoir à paroi mince ou une île. Des déflecteurs et des cornières sont à disposition pour la conception de modèles individualisés.

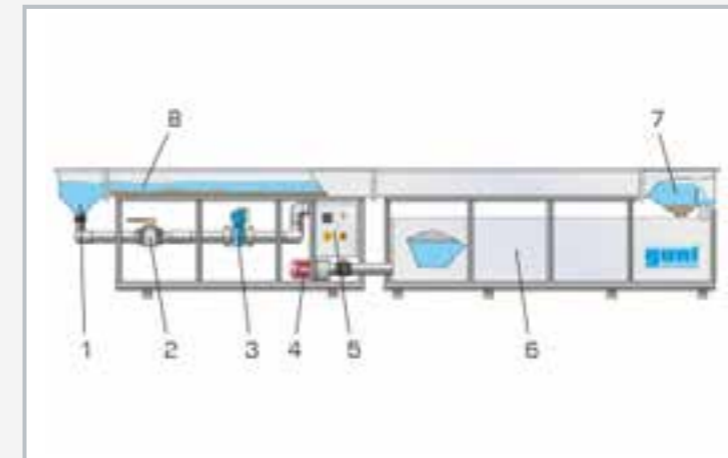
La mesure de profil des sédiments le long du fond et la détermination de la profondeur de l'écoulement à chaque point de la section d'essai se fait au moyen d'un support pour instruments mobile et d'un dispositif palpeur. Le débit est enregistré par un débitmètre électromagnétique.

Contenu didactique/essais

- transport par charriage dans des canaux ouverts
- influence de la vitesse d'écoulement sur le transport par charriage
- formation de rides sur le lit de rivière
- observation de l'apparition de méandres
- marques d'obstacle fluviales sur des ouvrages
 - ▶ piles de pont avec profil rectangulaire
 - ▶ piles de pont arrondies
 - ▶ piles de pont pointues
 - ▶ île (ronde ou rectangulaire)

HM 168

Transport des sédiments dans les cours de rivière



1 élément d'entrée, 2 soupape, 3 capteur de débit, 4 pompe, 5 éléments de commande, 6 réservoir d'eau, 7 élément de sortie avec piège à sédiments, 8 section d'essai

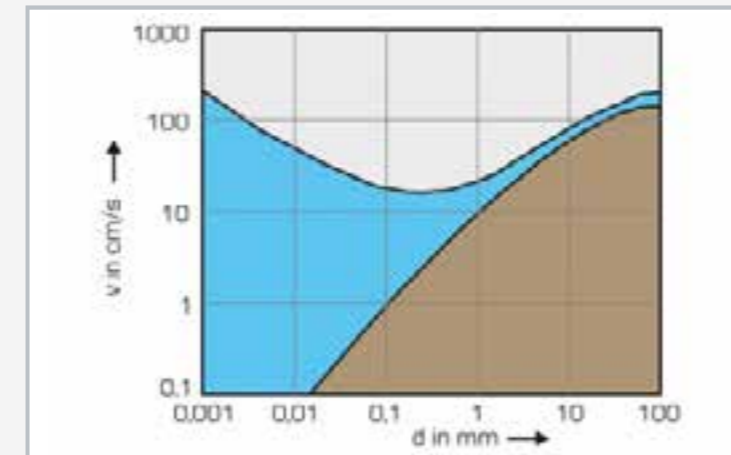


Diagramme de Hjulström: d taille de grain, v vitesse d'écoulement; gris: érosion, bleu: transport, marron: sédimentation



Érosion du sol et formation d'affouillements dans la nature

Spécification

- [1] transport par charriage dans un canal ouvert
- [2] canal d'essai avec section d'essai, élément d'entrée, élément de sortie, circuit d'eau fermé, 1 jeu de modèles
- [3] circuit d'eau fermé avec réservoir d'eau muni d'un piège à sédiments, pompe, ajustage régulé du débit et débitmètre électromagnétique
- [4] section d'essai pourvue de rainures pour déversoirs à paroi mince, afin de permettre la réalisation de différentes conditions d'écoulement
- [5] détermination de profils le long du fond avec un support pour instruments mobile et un dispositif palpeur
- [6] élément d'entrée avec déversoir à paroi mince pour empêcher tout retour des sédiments
- [7] modèles fournis: 3 piles de pont, 2 îles, jeu de déflecteurs (pour modèles individualisés)
- [8] piège à sédiments avec élément filtrant pour le sable
- [9] section d'essai, élément d'entrée et élément de sortie en acier inoxydable

Caractéristiques techniques

Canal d'essai

- acier inoxydable
- dimensions de la section d'essai: 5000x800x250mm

Pompe

- puissance absorbée: 2,2kW
- hauteur de refoulement max.: 11,5m
- débit de refoulement max.: 74m³/h

Réservoir de stockage, contenance: env. 1000L

Élément filtrant du piège à sédiments

- ouverture de maille du tamis: 0,3mm (49mesh)

Débitmètre

- plage de mesure: 80m³/h

400V, 50Hz, 3 phases

400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

Lxlh: 6250x1000x1300mm

Poids à vide: env. 680kg

Nécessaire pour le fonctionnement

sédiments: sable (1...2mm taille de grain), env. 1m³

Liste de livraison

- 1 canal d'essai
- 1 élément filtrant pour piège à sédiments
- 3 piles de pont
- 2 îles
- 8 déflecteurs
- 12 pièces en T + 6x profilés en L
- 1 documentation didactique

HM 142**Séparation dans les réservoirs de sédimentation**

2E

Description

- réservoir de sédimentation transparent permettant d'observer le processus de séparation
- éclairage pour visualisation optimale des conditions d'écoulement
- utilisation possible de lamelles dans le réservoir de sédimentation

Dans les réservoirs de sédimentation, les matières solides présentes dans les suspensions sont séparées sous l'effet de la force de gravité. À cet effet, les particules de matière solide doivent présenter une densité supérieure à celle du liquide. Le HM 142 permet d'étudier la séparation des matières solides provenant d'une suspension dans un réservoir de sédimentation.

Dans un réservoir, on commence par préparer une suspension concentrée composée d'eau et de la matière solide à séparer. Une pompe transporte la suspension concentrée jusqu'au réservoir de sédimentation. À l'entrée du réservoir de sédimentation, la suspension se mélange à de l'eau fraîche. L'eau brute ainsi produite s'écoule jusqu'au réservoir de sédimentation en passant par-dessus un déversoir d'alimentation. Un agitateur est installé en amont du déversoir d'entrée. Cela permet de prévenir une sédimentation prématurée des matières solides avant leur entrée dans le réservoir de sédimentation. L'eau purifiée passe d'abord en dessous d'une paroi

immergée avant de s'écouler au-dessus d'un déversoir jusqu'à l'évacuation.

Le déversoir côté évacuation est ajustable en hauteur, ce qui permet de modifier le niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation. Le niveau d'eau au-dessus du déversoir d'alimentation peut également être ajusté. Cela influence la vitesse d'écoulement à travers le déversoir d'alimentation.

Il est possible de positionner une unité de lamelles dans la section d'essai. On peut ainsi étudier l'influence des lamelles sur le processus de séparation. L'écoulement traversant les lamelles circule du bas vers le haut. Une rigole d'évacuation est située au-dessus des lamelles. Les parois latérales de la rigole d'évacuation ont la forme d'un déversoir denté.

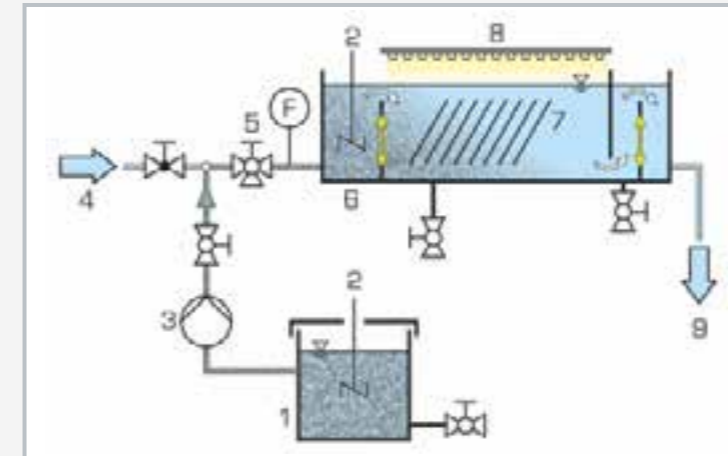
Les débits de la suspension concentrée et de l'eau fraîche sont ajustables par le biais de soupapes. Cela permet d'ajuster la composition du mélange et donc la concentration de matières solides à l'entrée du réservoir de sédimentation. Un capteur de débit électromagnétique enregistre le débit d'alimentation du réservoir de sédimentation. Le débit et la vitesse de rotation de l'agitateur sont affichés numériquement. Le réservoir de sédimentation est équipé d'un éclairage pour une meilleure observation des conditions d'écoulement.

Contenu didactique/essais

- principe de base de la séparation de matières solides de suspensions dans un réservoir de sédimentation
- détermination de la charge superficielle hydraulique
- influence des paramètres suivants sur le processus de séparation:
 - ▶ concentration de matières solides
 - ▶ débit
 - ▶ vitesse d'écoulement à l'entrée
 - ▶ niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation
- étude des conditions d'écoulement
- influence des lamelles sur le processus de sédimentation

HM 142**Séparation dans les réservoirs de sédimentation**

1 capteur de débit électromagnétique, 2 point de prélèvement, 3 coffret de commande, 4 pompe, 5 agitateur, 6 réservoir à suspension, 7 bac de rangement, 8 réservoir de sédimentation, 9 éclairage



1 réservoir à suspension, 2 agitateur, 3 pompe, 4 eau claire, 5 point de prélèvement, 6 réservoir de sédimentation, 7 lamelles (en option), 8 éclairage, 9 sortie d'eau; F débit



Unité de lamelles (peut être utilisé dans le réservoir de sédimentation)

Spécification

- [1] séparation de suspensions par sédimentation dans un réservoir de sédimentation
- [2] réservoir de sédimentation transparent avec éclairage pour visualiser les conditions d'écoulement
- [3] agitateur dans la zone d'entrée du réservoir de sédimentation
- [4] positionnement possible d'une unité de lamelles dans le réservoir de sédimentation
- [5] réservoir avec pompe et agitateur pour la préparation et le transport d'une suspension concentrée
- [6] le mélange de la suspension concentrée avec de l'eau fraîche permet d'obtenir l'eau brute à étudier
- [7] ajustage de la concentration de matières solides par le biais des soupapes pour le débit de l'eau fraîche et de la suspension
- [8] niveau d'eau du réservoir de sédimentation et vitesse d'écoulement à l'entrée ajustables
- [9] capteur de débit électromagnétique pour l'eau brute
- [10] cônes d'Imhoff pour déterminer les sédiments d'un échantillon d'eau

Caractéristiques techniques

Réservoir de sédimentation (section d'essai)

- Lxlxh: 900x110x300mm
- volume de remplissage max.: env. 25L
- composition: plexiglas

Unité de lamelles

- angle d'inclinaison des lamelles: 60°
- nombre des lamelles: 16

Réservoir à suspension

- volume: env. 85L
- composition: acier inoxydable

Pompe

- débit de refoulement max.: 75L/h

Agitateurs (vitesse de rotation max)

- réservoir à suspension: 600min⁻¹
- réservoir de sédimentation: 330min⁻¹

Plages de mesure

- débit: 30...600L/h

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 2200x790x1540mm

Poids: env. 220kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 emballage de matière solide
- 1 documentation didactique

Connaissances de base

Écoulement d'infiltration

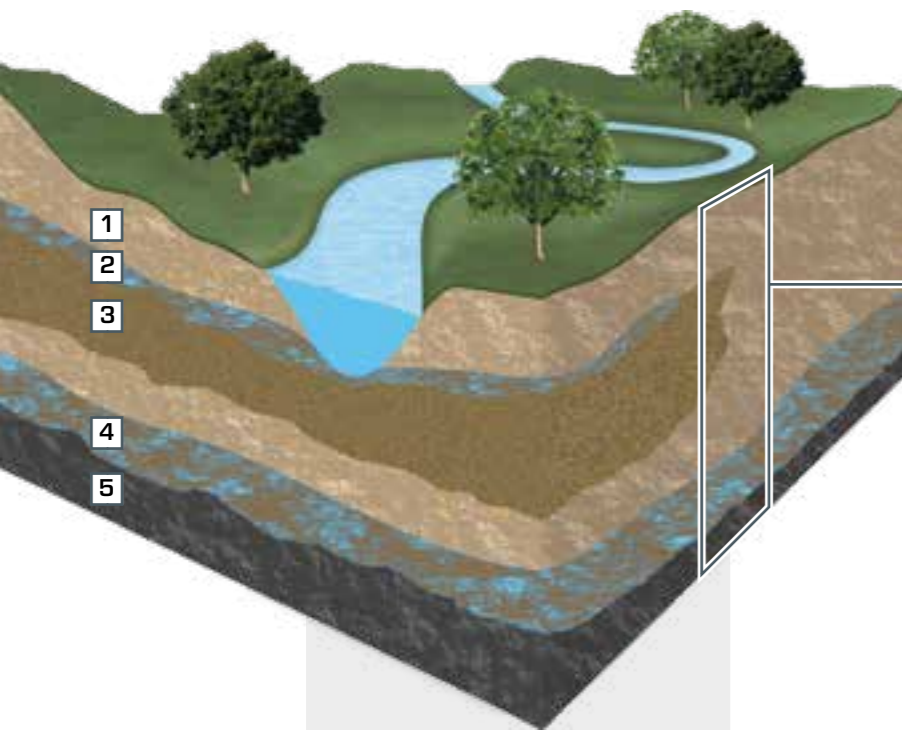
On appelle écoulement d'infiltration en hydrologie l'écoulement d'un fluide (eau) dans des couches de sol telles que le sable. Le fluide remplit plus ou moins les pores de la couche de sol non saturée en eau et se déplace vers le bas en direction de couches de sol plus profondes sous l'effet de la force de gravité. Pour que les eaux d'infiltration ne soient pas retenues, il faut que le sol soit perméable.

La perméabilité du sol est définie par le coefficient de perméabilité k_f en m/s et dépend de la taille de grain et de l'espace poreux exploitable. Dans les sols moins perméables, il est possible que les eaux d'infiltration soient temporairement retenues. Lorsque les eaux d'infiltration arrivent sur une couche de sol imperméable comme par exemple une roche imperméable, l'infiltration

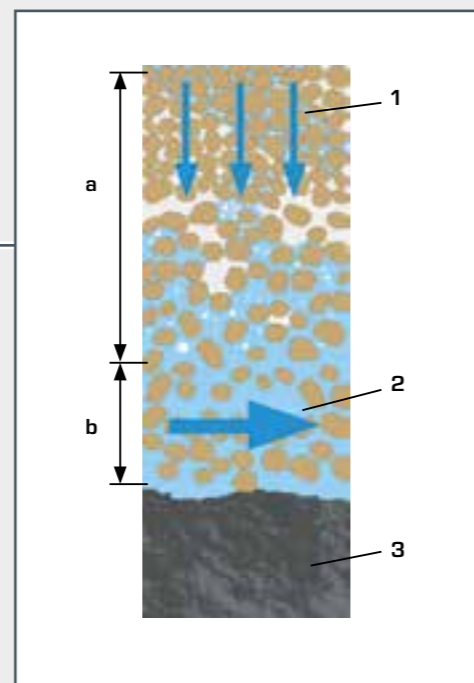
est stoppée et les eaux d'infiltration sont retenues de manière durable. Ces accumulations d'eaux en sous-sol sont appelées eaux souterraines.

On parle d'eaux souterraines lorsque les eaux sont présentes toute l'année; et d'eaux de retenue lorsque les eaux sont présentes seulement une partie de l'année, par exemple suite à la fonte des neiges ou à de fortes précipitations sur des couches de sol tassées.

Les eaux souterraines sont un bien naturel exploité comme eau potable et eaux médicinales. Elles constituent en plus un tampon important dans le circuit général de l'eau.



- 1 couche de sol perméable,
- 2 eaux de retenue,
- 3 couche de sol moins perméable,
- 4 couche de sol saturée en eau (eaux souterraines),
- 5 couche de sol imperméable (roche)



Différents types d'eaux du sol

- a couche de sol non saturée en eau, contenant de l'air,
- b couche de sol saturée en eau, tous les pores sont remplis d'eau,
- 1 eaux d'infiltration,
- 2 eaux souterraines,
- 3 couche de sol imperméable (roche)

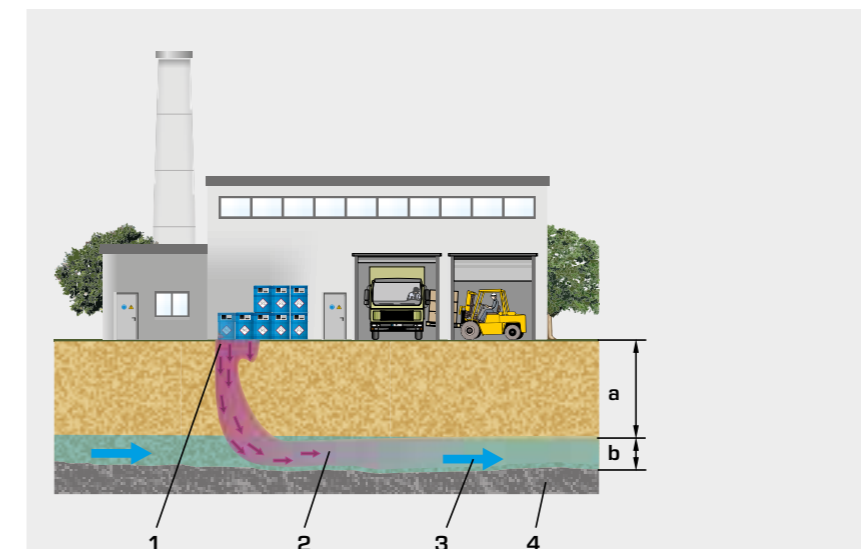
Effets et exploitation des écoulements d'infiltration

Les effets des écoulements d'infiltration sur l'écoulement traversant les digues et l'écoulement autour des ouvrages dans l'eau joue un rôle important dans le bâtiment. Ainsi par exemple, la pression hydrostatique qui se forme dans les eaux de retenue est susceptible d'exercer de fortes contraintes sur les ouvrages, comme c'est le cas de la poussée qui s'exerce sur les ouvrages en profondeur (parking souterrain).

L'écoulement incident dans des puits ou des dispositifs de drainage est également défini par les lois physiques sur les écoulements d'infiltration.

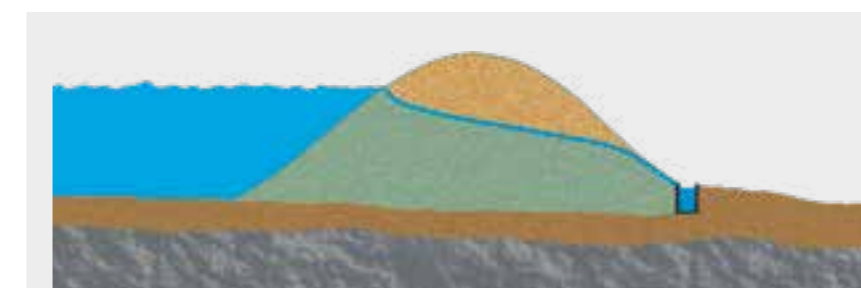
Afin de protéger les eaux souterraines, il ne faut pas négliger les écoulements d'infiltration afin d'éviter qu'elles ne soient contaminées par des constructions, des engrais, des produits chimiques ou des huiles minérales.

En ingénierie, des processus d'écoulement tels que ceux que l'on rencontre sur les écoulements d'infiltration sont utilisés dans les techniques de filtration. On fait ici passer un écoulement au travers d'un espace poreux à des fins de nettoyage ou de séparation de milieu.

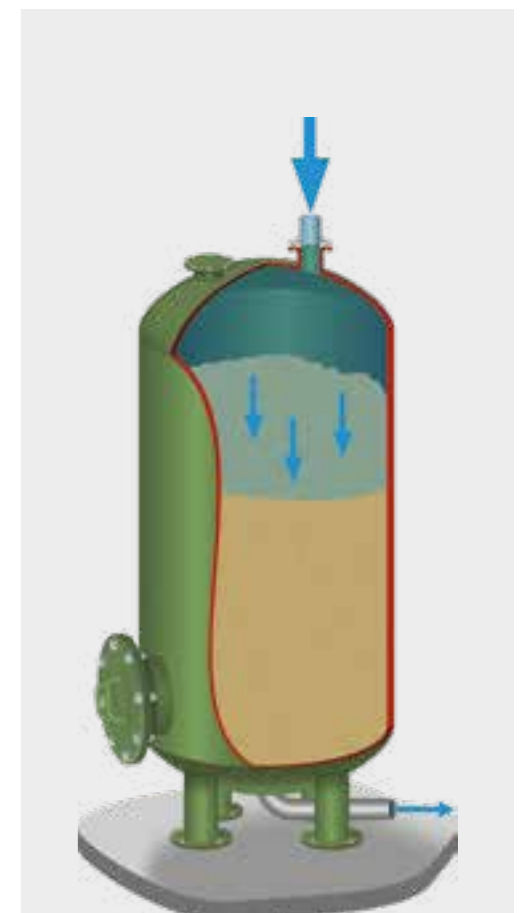


Observation de l'écoulement d'infiltration en relation avec la protection des eaux souterraines

a couche de sol non saturée en eau, b couche de sol saturée en eau, 1 pollution et infiltration, 2 panaches de pollution, 3 écoulement souterrain



Niveau phréatique lors de la traversée de digues



Écoulement d'infiltration en techniques de filtration

Processus d'écoulement dans les sols

Les processus d'écoulement ont lieu dans les couches de sol saturées d'eau, dans les eaux souterraines et les eaux de retenue ainsi qu'au-dessus des eaux souterraines, dans les eaux d'infiltration.

Ces mouvements de l'eau dans le sol sont dus à des différences de potentiel. L'eau se déplace toujours depuis des endroits ayant un potentiel élevé, et donc une énergie potentielle élevée, vers des endroits ayant un potentiel plus faible. Le mouvement de l'eau se poursuit jusqu'à ce qu'un équilibre entre les potentiels se soit établi.

Précipitations, prélèvement des eaux souterraines et évapotranspiration (l'évaporation de la surface libre et la libération de la vapeur d'eau des plantes) interrompent sans cesse l'équilibre de potentiel. L'eau du sol se trouve rarement dans un état d'équilibre statique. Le mouvement de l'eau dépend aussi de la perméabilité du sol traversé.

La perméabilité est définie par le coefficient de perméabilité k_f en m/s et dépend de la taille de grain et de l'espace poreux exploitable.

Coefficient de perméabilité k_f en m/s Plages de perméabilité selon la DIN 18130

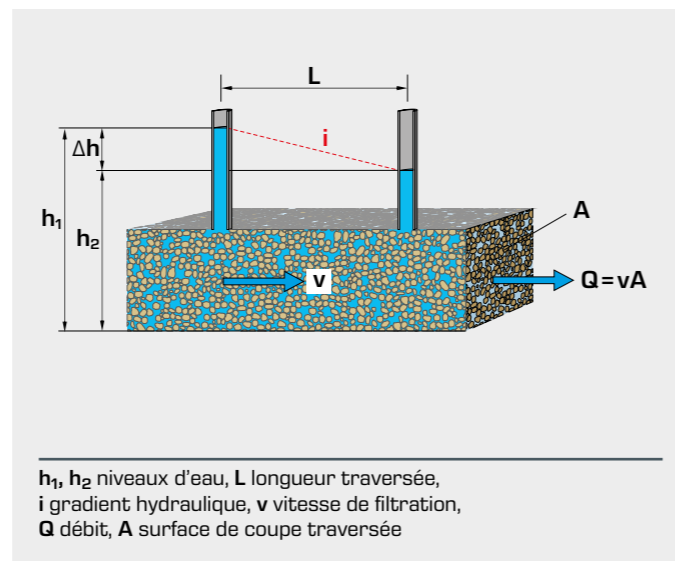
k_f en m/s	Couche de sol
$< 10^{-8}$	très peu perméable
10^{-8} à 10^{-6}	peu perméable
$> 10^{-6}$ à 10^{-4}	perméable
$> 10^{-4}$ à 10^{-2}	fortement perméable
$> 10^{-2}$	très fortement perméable

Détermination par le calcul des processus d'écoulement

La détermination précise des processus d'écoulement est difficile du fait de l'hétérogénéité du sol traversé. On suppose donc pour le calcul des processus d'écoulement que les conditions sont idéales. Pour la plupart des problèmes rencontrés, l'application de la loi de Darcy permet d'obtenir une précision suffisante.

Selon Darcy, la vitesse de filtration v est proportionnelle à la charge Δh perdue sur la longueur L . La grandeur sans dimensions $\Delta h/L$ est appelée gradient hydraulique i . La loi de Darcy sur la filtration est la suivante:

$$v = k_f \frac{\Delta h}{L} = k_f i$$



L'application de la loi de Darcy suppose que le sous-sol est homogène sur toute la zone d'écoulement, dans laquelle on observe un écoulement généralement laminaire avec des nombres de Reynolds compris entre 1...10.

$$Re = \frac{d v}{\nu_{fl}} < 10$$

Re nombre de Reynolds, d diamètre moyen de grain, v vitesse
 ν_{fl} ténacité cinématique du fluide

Vitesse d'infiltration en fonction de la capacité du sol dans des sols non saturés en eau

v	Couche de sol	Taille de grain
5m/an	gravier	2...63mm
2...4m/an	sable	0,063...2mm
1m/an	limon	0,002...0,063mm
quelques cm/an	glaise	< 0,002mm

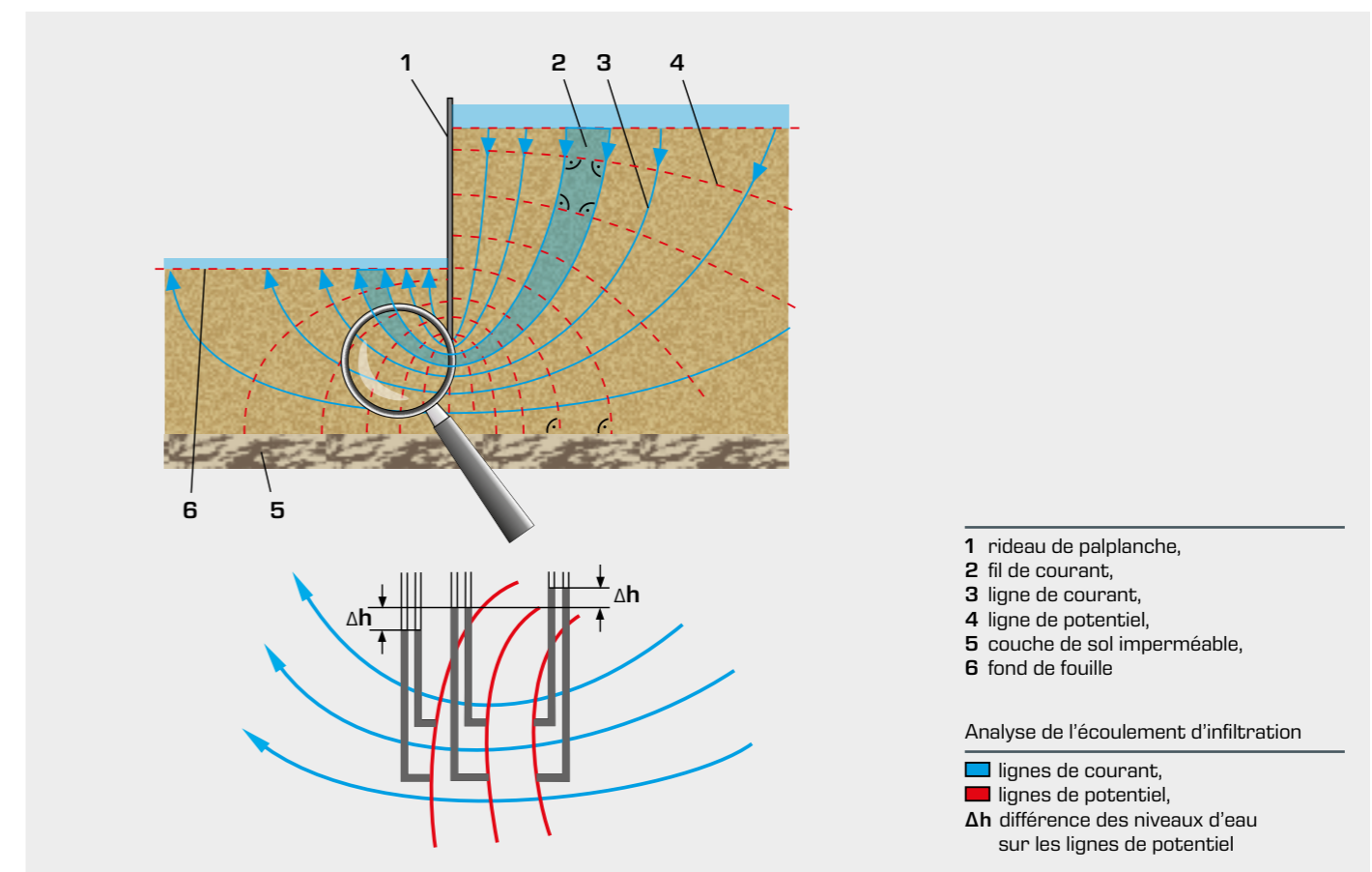
Détermination graphique des processus d'écoulement

L'analyse de l'écoulement d'infiltration au travers d'une digue, d'une fouille ou en dessous d'un déversoir ainsi que la détermination de l'écoulement souterrain dans les puits et sources peuvent être réalisées de manière graphique à l'aide d'un réseau d'écoulement appelé aussi réseau de potentiel. Ici aussi, on se base sur l'application de la loi de Darcy pour déterminer le réseau d'écoulement. Lors de l'évaluation, on détermine le débit d'infiltration, la distribution de la pression sur l'ouvrage considéré ou d'autres considérations relatives à la stabilité statique.

Structure d'un réseau d'écoulement

Dans un réseau d'écoulement, l'évolution des lignes de courant est reportée en deux dimensions. Les lignes de potentiel relient les points équipotentiels, c'est-à-dire dans le cas présent les points ayant des niveaux d'eau identiques. Les lignes de courant évoluent à angle droit par rapport aux lignes de potentiel, étant donné que l'eau s'écoule par le plus court chemin du potentiel le plus élevé vers le potentiel le plus bas.

Écoulement souterrain autour d'un rideau de palplanche



Les écoulements d'infiltration ne sont pas directement observables, étant donné qu'ils ont lieu dans un milieu poreux non accessible. Tous ces processus peuvent être rendus "visibles" uniquement par le biais de modèles de laboratoire ou de dispositifs de mesure.

Les appareils d'essai de GUNT de ce chapitre traitent aussi bien des processus d'infiltration que des évolutions du niveau des eaux souterraines. Les effets des puits ou des fouilles ainsi que les effets des ouvrages tels que les murs de soutènement ou les rideaux de palplanche sont étudiés et visualisés dans le cadre de problèmes pratiques.

Appareils d'essai

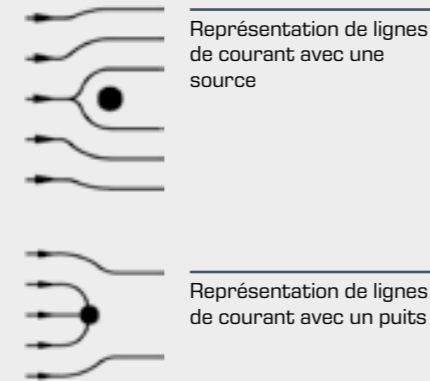
Écoulement d'infiltration, souterrain et de filtration

Essais de base

HM 152 Écoulement potentiel



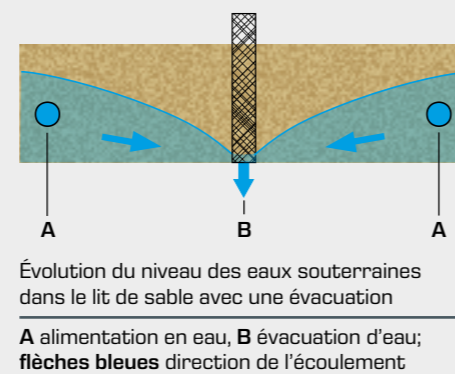
- simulation d'un écoulement potentiel bidimensionnel sans frottement dans une cellule de Hele-Shaw
- visualisation de lignes de courant avec un produit de contraste
- influence des sources et puits sur les lignes de courant



HM 167 Écoulements souterrains



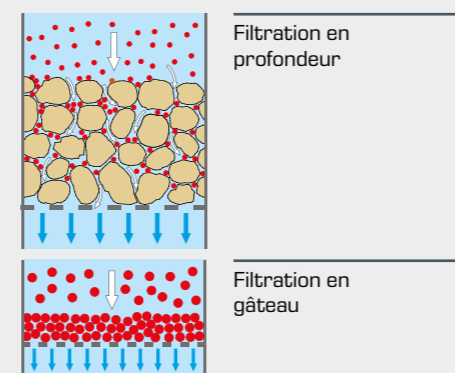
- évolutions du niveau des eaux souterraines avec une et plusieurs évacuations
- différents modèles permettent l'étude des envahissements par l'eau de tranchées et de fouilles
- abaissement des eaux souterraines dans des fouilles



CE 116 Filtration sur gâteau et en profondeur



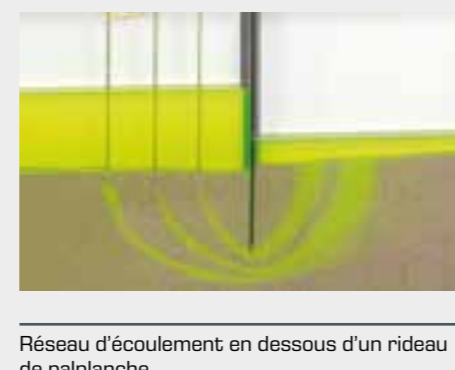
- écoulement d'infiltration dans un filtre
- différentes suspensions et couches d'élément filtrant
- application de la loi de Darcy pour déterminer la vitesse de filtration



HM 169 Visualisation d'écoulements d'infiltration



- visualisation de lignes de courant dans un modèle en grande partie bidimensionnel, encre utilisée comme produit de contraste
- détermination de réseaux d'écoulement dans des milieux perméables
- détermination des évolutions de la pression sur une fondation et un mur de soutènement

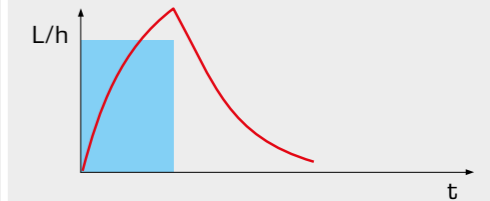


Relation entre précipitation, infiltration et écoulement souterrain

HM 141 Hydrographe après des précipitations



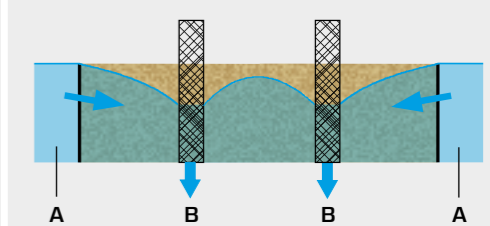
- relation précipitation-débit
- temps de retard et temps de mesure ajustables avec des programmeurs distincts
- influence des bassins de retenue des eaux de pluie



H 165 Études hydrologiques



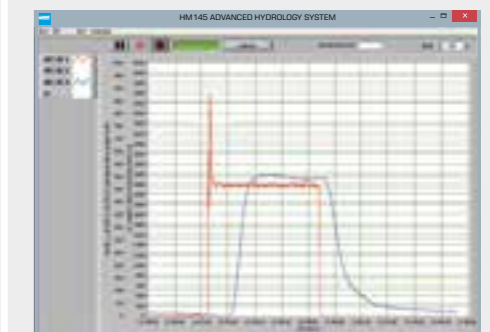
- relation précipitation-débit
- écoulements d'infiltration et écoulements souterrains dans les sols
- alimentation et évacuation extensives (eaux souterraines)
- abaissements des eaux souterraines via puits et drainage



HM 145 Études hydrologiques avancées



- relation précipitation-débit
- écoulements d'infiltration et écoulements souterrains dans les sols
- alimentation en eau et évacuation d'eau extensives et parcelaires (eaux souterraines et eaux courantes)
- abaissements des eaux souterraines via puits et drainage
- transport des sédiments et obstacles dans les eaux courantes
- logiciel GUNT pour l'acquisition des données des alimentations en eau et évacuations d'eau ainsi que de la quantité de sédiments en fonction du temps



HM 152

Écoulement potentiel



Description

- écoulement potentiel bi-dimensionnel, sans frottement
- visualisation des lignes de courant
- écoulement autour de différents modèles: corps de résistance et modifications de section
- modélisation de l'écoulement autour de corps par superposition de l'écoulement parallèle avec des sources ou des puits
- sources et puits seuls ou en association

L'écoulement laminaire bidimensionnel de HM 152 donne une bonne approche de l'écoulement de fluides idéaux, ce que l'on appelle l'écoulement potentiel. Tous les systèmes physiques décrits à l'aide de la formule de Laplace peuvent être démontrés avec l'écoulement potentiel. Comme par exemple les flux de courant et flux thermiques ainsi que le flux magnétique.

L'élément central du banc d'essai HM 152 est une cellule de Hele-Shaw conventionnelle, munie de raccords d'eau supplémentaires pour les sources et les puits. L'écoulement laminaire bidimensionnel est réalisé en faisant circuler de l'eau à faible vitesse dans une fente étroite, située entre deux plaques

en verre parallèles. L'écoulement ainsi obtenu est exempt de tourbillons et peut être considéré comme un écoulement potentiel. Les sources et les puits sont générés par le biais de huit raccords d'eau situés dans la plaque en verre inférieure. L'injection de produit de contraste (encre) rend bien visibles les lignes de courant sur la plaque en verre tramée.

Dans le cadre d'essais, on démontre l'écoulement autour de corps à l'aide de modèles placés dans l'écoulement parallèle. Des modèles interchangeables tels qu'un cylindre, un profil d'aube directrice ou un contour de buse sont compris dans la liste de livraison.

Pour une modélisation de l'écoulement autour de corps sans modèles, il est possible de superposer au choix un écoulement parallèle, des sources, des puits et des dipôles. Il est possible de cette manière de représenter la formation de demi-corps de Rankine.

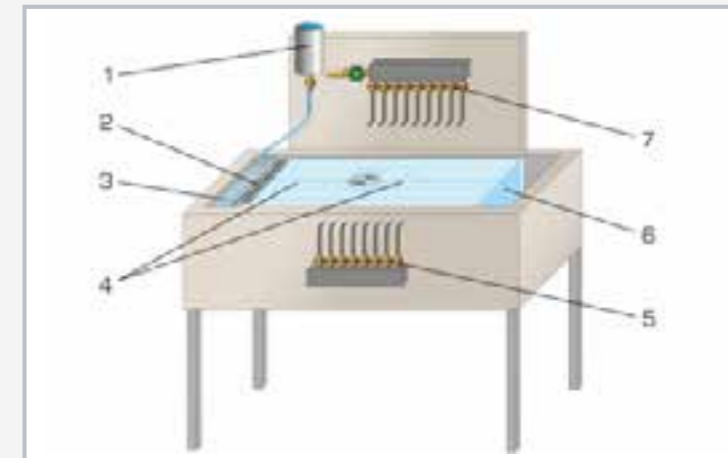
Le débit d'eau et la quantité de produit de contraste injectée sont ajustés à l'aide de soupapes. Les raccords d'eau sont également activés par des soupapes et peuvent être associés de la manière souhaitée.

Contenu didactique/essais

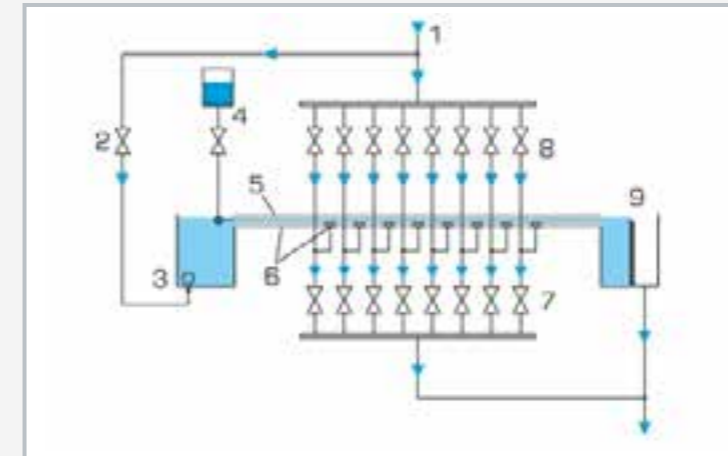
- visualisation des lignes de courant dans différents cas
 - ▶ écoulement autour de corps de résistance: cylindres, profil d'aube directrice, carré, rectangle
 - ▶ écoulement traversant des modèles: contour de la buse, rétrécissement/élargissement discontinu
 - ▶ décollement d'écoulement, écoulement dévié à 90°
- modélisation de l'écoulement autour de corps par superposition de l'écoulement parallèle avec des sources ou des puits:
 - ▶ formation de demi-corps de Rankine
 - ▶ démonstration d'un dipôle
- analogie entre l'écoulement potentiel et les autres systèmes physiques décrits à l'aide de la formule de Laplace

HM 152

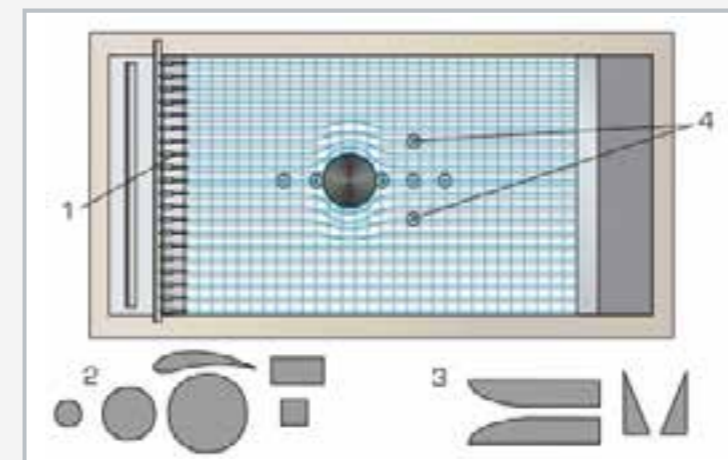
Écoulement potentiel



1 produit de contraste, 2 buses d'injection en produit de contraste, 3 alimentation en eau, 4 cellule de Hele-Shaw avec sources et puits, 5 soupapes pour puits, 6 évacuation de l'eau, 7 soupapes pour sources



1 arrivée d'eau, 2 soupape, ajustage de la vitesse d'écoulement, 3 réservoir, 4 produit de contraste, 5 plaque en verre supérieure située au-dessus, 6 plaque en verre inférieure située en bas avec raccords d'eau (sources et puits), 7 soupapes pour puits, 8 soupapes pour sources, 9 écoulement de l'eau



Écoulement autour d'un cylindre: 1 injection du produit de contraste, 2 corps de résistance, 3 modèles de changement de coupe transversale, 4 sources et puits croisés

Spécification

- [1] démonstration de l'écoulement potentiel dans une cellule de Hele-Shaw et visualisation des lignes de courant
- [2] écoulement autour des modèles fournis: cylindre, carré, rectangle, profil d'aube directrice, différents modèles pour les modifications de section
- [3] modélisation de l'écoulement autour des contours sans modèles par superposition de l'écoulement parallèle avec des sources ou des puits
- [4] eau comme fluide qui s'écoule et encre comme produit de contraste
- [5] cellule de Hele-Shaw formé de deux plaques en verre arrangées parallèlement avec un fente étroite
- [6] la plaque en verre supérieure peut être ouverte pour remplacer les modèles
- [7] la plaque en verre inférieure, munie de raccords d'eau en forme de croix, permet de générer les sources et ou les puits. Diverses combinaisons sont possibles.
- [8] la plaque en verre inférieure est tramée pour la visualisation optimale des lignes de courant
- [9] la vitesse d'écoulement, l'arrivée et l'évacuation d'eau dans les sources et puits ainsi que le dosage du produit de contraste sont ajustés par des soupapes

Caractéristiques techniques

- 2 plaques en verre: Lxl: 910x585mm
- écart entre les plaques: 5mm
- plaque en verre en bas munie de 8 raccords d'eau pour les sources/puits

Modèles

- 6 corps de résistance
- 2 changements de coupe transversale
- matériau: caoutchouc
- épaisseur 5mm

Injection du produit de contraste (encre)

- 19 buses

Capacité du récipient du produit de contraste: 200mL

Lxlxh: 1350x700x1380mm

Poids: env. 119kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau 300L/h, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de modèles
- 1 encre (1L)
- 1 documentation didactique

HM 165

Études hydrologiques



2E

Description

- relation précipitation-débit
- écoulements d'infiltration et écoulements souterrains dans les sols
- alimentation et évacuation extensives

En génie civil, des études hydrologiques sont réalisées dans le cadre de la conception, construction et exploitation d'installations hydrauliques ainsi que pour tous les travaux liés à la gestion de l'eau. Les principales thématiques traitées ici sont l'infiltration et l'écoulement de l'eau dans le sol ainsi que l'exploitation des réserves d'eaux souterraines.

Le HM 165 permet d'étudier les écoulements d'infiltration et les écoulements souterrains après des précipitations. La densité et la surface des précipitations, ainsi que l'alimentation et l'évacuation des eaux souterraines peuvent être modulées, rendant possible la réalisation de nombreux essais.

Le HM 145 comprend un circuit d'eau fermé avec réservoir de stockage et pompe. Le réservoir d'essai en acier inoxydable rempli de sable et pourvu d'un système d'ajustage de l'inclinaison constitue l'élément central du banc d'essai. Le banc d'essai est également pourvu d'un dispositif de précipitation pour l'étude des précipitations. Ce dispositif de précipitation est constitué de deux groupes équipés de quatre buses chacun. On peut faire entrer (eaux souterraines) ou sortir (drainage) de l'eau par deux chambres positionnées sur les côtés. Le réservoir d'essai est séparé des chambres par des tamis. Deux puits avec tubes fendus permettent l'étude des abaissements des eaux souterraines. Les alimentations et évacuations d'eau peuvent être ouvertes ou fermées, permettant d'obtenir une grande variété de conditions d'essai.

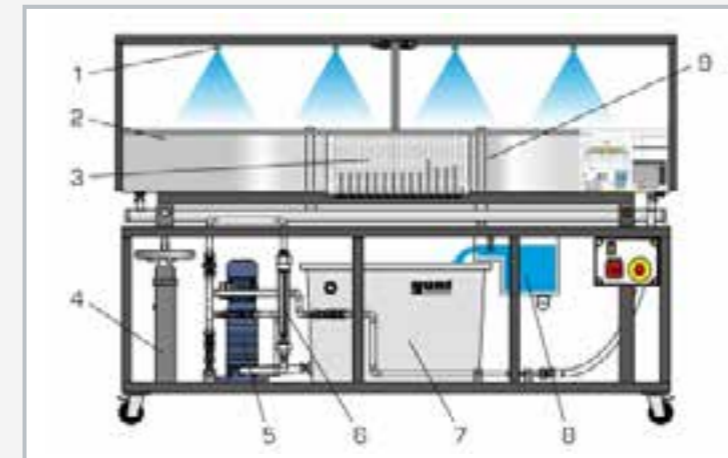
Des raccords de mesure se trouvant au fond du réservoir d'essai permettent de mesurer les niveaux des eaux souterraines, niveaux qui s'affichent ensuite sur un manomètre à 19 tubes. L'alimentation en eau est ajustée par l'intermédiaire d'une soupape et mesurée par un débitmètre. L'évacuation d'eau est déterminée à l'aide d'un déversoir de mesure.

Contenu didactique/essais

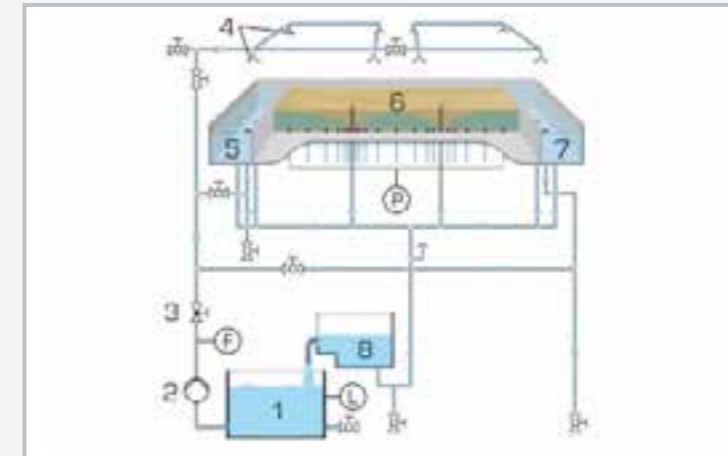
- étude des processus non stationnaires
 - ▶ influence de précipitations de durées différentes sur le débit
 - ▶ capacité de stockage d'un sol
- étude des processus stationnaires
 - ▶ étude de l'écoulement d'infiltration
 - ▶ influence des puits sur l'évolution du niveau des eaux souterraines

HM 165

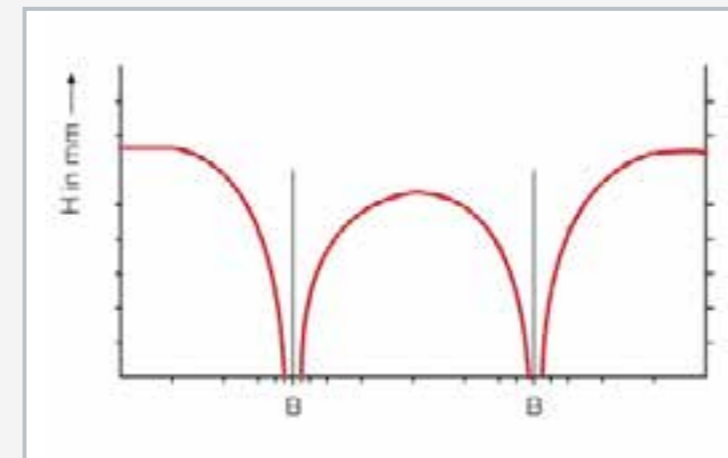
Études hydrologiques



1 buse du dispositif de précipitation, 2 réservoir d'essai, 3 manomètre à tubes, 4 système d'ajustage de l'inclinaison, 5 pompe, 6 débitmètre (alimentation), 7 réservoir de stockage, 8 réservoir de mesure (évacuation), 9 puits



1 réservoir de stockage, 2 pompe, 3 électrovanne, 4 buse, 5 chambre, 6 réservoir d'essai, 7 chambre, 8 réservoir de mesure; L niveau, F débit, P pression



Abaissement des eaux souterraines au moyen de 2 puits; B puits, H niveau des eaux souterraines

Spécification

- [1] étude des relations entre précipitation et débit, comportement de stockage des sols, écoulements d'infiltration, écoulements souterrains
- [2] circuit d'eau fermé
- [3] le réservoir d'essai en acier inoxydable avec système d'ajustage de l'inclinaison comprend 19 raccords de mesure pour l'enregistrement des niveaux des eaux souterraines, un pare-éclaboussures transparent et un tamis de séparation entre les chambres
- [4] 2 puits avec tubes fendus dans le réservoir d'essai
- [5] dispositif de précipitation avec 8 buses, ajustable
- [6] alimentations en eau et évacuations d'eau sélectionnables individuellement
- [7] réservoir de mesure transparent (débit)
- [8] instrumentation: manomètre à tubes (eaux souterraines), débitmètre (alimentation) et déversoir de mesure dans le réservoir de mesure (évacuation)

Caractéristiques techniques

Réservoir d'essai

- surface: $2 \times 1 \text{ m}^2$, profondeur: $0,2 \text{ m}$
- remplissage de sable max.: $0,3 \text{ m}^3$
- système d'ajustage de l'inclinaison: $-2,5 \dots 5\%$

Dispositif de précipitation

- 8 buses, montables en 2 groupes de 4 buses chacun
- débit par buse: $1 \dots 4,7 \text{ L/min}$, pulvérisation carrée

Pompe

- puissance absorbée: $0,55 \text{ kW}$
- débit de refoulement max.: 2000 L/h

Réservoir de stockage (acier inoxydable):

- capacité 180 L

Plages de mesure

- pression: $19 \times 0 \dots 300 \text{ mmCA}$
- débit:
 - ▶ $1 \times 150 \dots 1700 \text{ L/h}$ (alimentation en eau)
 - ▶ $1 \times 0 \dots 1700 \text{ L/h}$ (évacuation d'eau)

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxHxP: $2400 \times 1100 \times 1800 \text{ mm}$

Poids à vide: env. 310 kg

Nécessaire pour le fonctionnement

sable ($1 \dots 2 \text{ mm}$ taille de grain)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 documentation didactique

HM 167

Écoulements souterrains



2E

Description

- étude des écoulements souterrains
- démonstration d'abaissement des eaux souterraines
- étude de fouilles

Les écoulements souterrains sont observés, entre autres, lors du prélèvement des eaux souterraines des puits et lors des fouilles. La compréhension des lois hydrologiques de l'écoulement souterrain aide à la construction d'ouvrages fiables tels que fouilles ou installations de drainage.

HM 167 permet de réaliser des études en trois dimensions d'écoulements souterrains. Le banc d'essai est composé d'un réservoir rempli de sable. Il est possible d'installer différents modèles dans le lit de sable.

Le réservoir est alimenté en eau par l'intermédiaire de deux tuyaux fendus horizontaux pouvant être activés séparément au moyen de soupapes. On obtient de cette manière différentes possibilités d'essai avec des eaux souterraines en écoulement. L'étude de différents prélèvements est rendue possible par deux puits avec tuyaux fendus qui peuvent également être activés séparément grâce à des soupapes. En plus, trois modèles permettent l'étude de fouilles.

Deux raccords de mesure disposés de manière orthogonale au fond du réservoir permettent d'enregistrer les niveaux des eaux souterraines. Les niveaux des eaux souterraines s'affichent sur un manomètre à 19 tubes.

Contenu didactique/essais

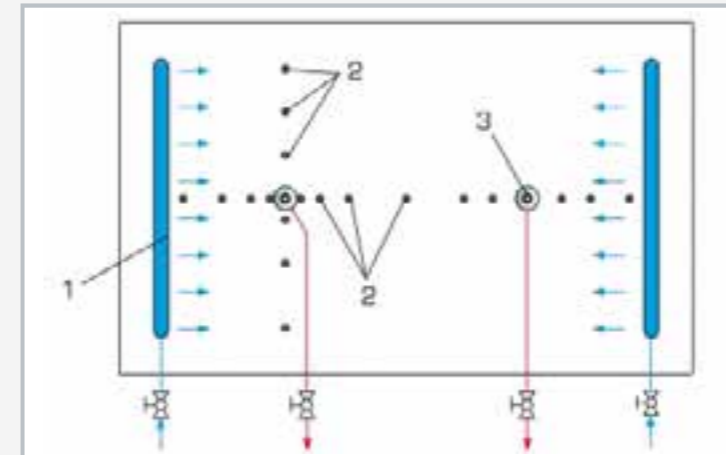
- détermination du niveau de la nappe phréatique
- abaissement des eaux par un ou deux puits
- écoulement souterrain en fouilles
- études des eaux souterraines en cas de charge concentrique sur le sous-sol

HM 167

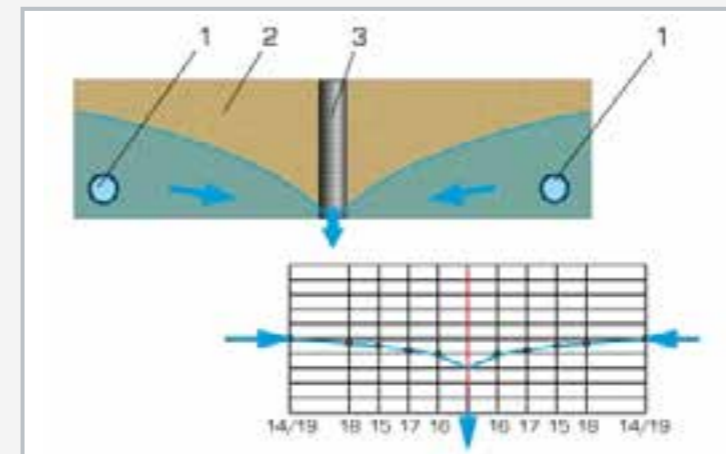
Écoulements souterrains



1 réservoir, 2 alimentation en eau, 3 évacuation d'eau, 4 modèles, 5 évacuation d'eau, 6 alimentation en eau, 7 manomètre à tubes, 8 évacuation d'eau grâce à un tuyau fendu (puits)



Disposition des points de mesure et des puits
1 alimentation en eau grâce à un tuyau fendu, 2 points de mesure, 3 évacuation d'eau par un tuyau fendu (puits); en bleu: alimentation en eau, en rouge: évacuation d'eau



Évolution du niveau des eaux souterraines avec un puits: 1 alimentation en eau grâce à un tuyau fendu, 2 lit de sable, 3 puits avec tuyau fendu; graphique: bleu: évolution du niveau des eaux souterraines, rouge: puits, 14-19 points de mesure au fond du lit de sable

Spécification

- [1] étude d'écoulements souterrains
- [2] réservoir en acier inoxydable utilisé comme section d'essai, à remplir avec du sable grossier
- [3] alimentation en eau grâce à 2 tuyaux fendus
- [4] évacuation d'eau par 2 puits avec tuyau fendu dans la section d'essai
- [5] alimentations en eau et évacuations d'eau ajustables séparément par le biais de soupapes
- [6] 19 raccords de mesure avec filtres pour l'enregistrement des niveaux des eaux souterraines placés en position orthogonale sur le fond du réservoir
- [7] 2 modèles différents pour fouilles
- [8] 1 modèle pour ouvrage avec fond imperméable à l'eau
- [9] affichage des niveaux des eaux souterraines sur le manomètre à 19 tubes

Caractéristiques techniques

Réservoir

- matériau: acier inoxydable
- contenance, Lxhx: 1000x615x350mm
- 19 raccords de mesure au fond du réservoir

Modèles en plastique

- fouille, Lxhx: 610x464x150mm
- fouille, Lxhx: 256x464x150mm
- ouvrage avec fond imperméable à l'eau
 - Øxh: 180x150mm, tuyau intérieur Øxh: 40x330mm

Plages de mesure

- pression: 19x 0...300mmCA

Lxhx: 1340x900x1000mm

Poids: env. 125kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
sable (1...2mm taille de grain)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 3 modèles
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

HM 169

Visualisation d'écoulements d'infiltration



Description

- visualisation d'écoulements d'infiltration et d'écoulements souterrains en deux dimensions
- étude de la pression de l'eau sur les ouvrages
- circuit d'eau fermé

La visualisation des lignes de courant et leur représentation graphique sous la forme d'un réseau d'écoulement constituent une méthode explicite d'étude de l'écoulement d'infiltration et de l'écoulement souterrain. Le réseau d'écoulement fournit des informations sur l'infiltration de l'eau sur des digues et rideaux de palplanche.

Avec HM 169, on visualise les lignes de courant avec l'écoulement d'infiltration et l'écoulement souterrain sur différents modèles à l'aide d'un produit de contraste. Les effets de la pression de l'eau sur différents ouvrages sont représentés sous la forme de courbes de pression.

Le banc d'essai est composé d'un réservoir transparent rempli de sable. Il est possible d'installer différents modèles dans le lit de sable afin de démontrer des ouvrages typiques. La section d'essai est séparée des chambres d'alimentation et d'évacuation par des tamis à

mailles fines. L'alimentation en eau est ajustée au moyen d'une soupape. On peut rendre visibles les lignes de courant telles qu'elles se produisent sur l'écoulement d'infiltration et sur l'écoulement souterrain en utilisant un produit de contraste. Une fenêtre en verre trempé permet l'observation optimale des essais.

Différents modèles permettent de réaliser des essais très complets, tels que l'évolution de la pression sur des murs de soutènement ou l'écoulement d'infiltration et l'écoulement souterrain sous des rideaux de palplanche. Les modèles "fondation" et "mur de soutènement" sont équipés de tuyaux pour représenter les pressions sur les modèles.

Des raccords de mesure permettent d'enregistrer les niveaux des eaux souterraines dans la section d'essai. Les niveaux des eaux souterraines s'affichent sur un manomètre à 14 tubes.

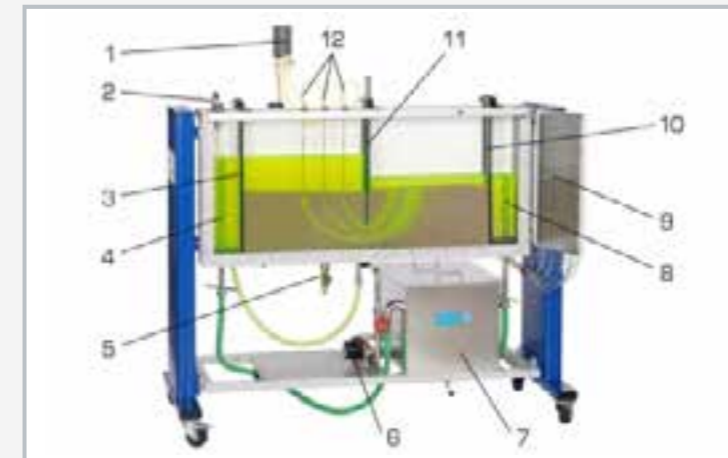
HM 169 comprend un circuit d'eau fermé avec réservoir de stockage et pompe.

Contenu didactique/essais

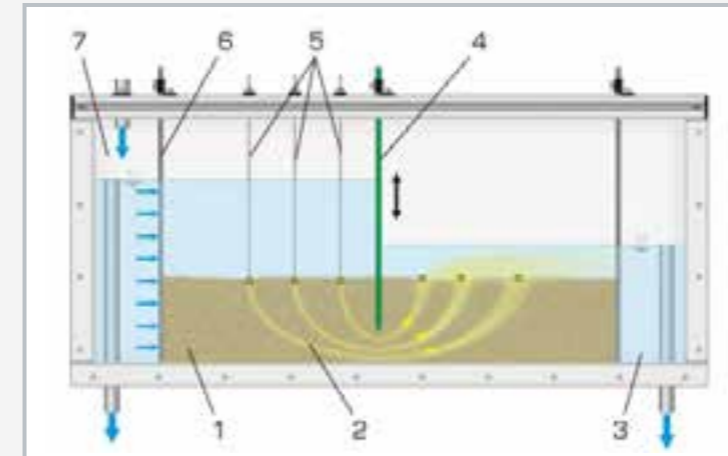
- détermination graphique de réseaux d'écoulement dans des milieux perméables
 - ▶ lignes de courant en dessous d'un rideau de palplanche
 - ▶ lignes de courant au travers de digues
 - ▶ drainage sur une tranchée ouverte
- détermination de l'évolution de la pression sur une fondation
- détermination de l'évolution de la pression sur un mur de soutènement
- évolution des niveaux des eaux souterraines avec différents modèles

HM 169

Visualisation d'écoulements d'infiltration



1 réservoir pour produit de contraste, 2 alimentation en eau, 3 tamis, 4 trop-plein, 5 vidange, 6 pompe, 7 réservoir de stockage, 8 trop-plein, 9 panneau avec manomètre à tubes, 10 tamis, 11 modèle "rideau de palplanche", 12 lances d'injection du produit de contraste



Lignes de courant en dessous d'un rideau de palplanche

1 lit de sable, 2 lignes de courant, 3 chambre d'évacuation, 4 rideau de palplanche ajustable en hauteur, 5 lances d'injection du produit de contraste, 6 tamis, 7 chambre d'alimentation



Modèles compris dans la liste de livraison: 1 modèle "mur de soutènement", 2 modèle "rideau de palplanche", 3 modèle "fondation"

Spécification

- [1] visualisation d'écoulements d'infiltration en deux dimensions et étude de la pression de l'eau sur différents modèles
- [2] circuit d'eau fermé
- [3] fluorescéine utilisé comme produit de contraste
- [4] section d'essai avec fenêtre en verre trempé
- [5] tamis à fines mailles pour la séparation de la section d'essai des chambres d'alimentation et d'évacuation
- [6] trop-pleins ajustables en hauteur dans l'alimentation et l'évacuation pour l'ajustage des niveaux d'eau
- [7] 14 raccords de mesure avec filtres pour l'enregistrement des niveaux des eaux souterraines dans la section d'essai
- [8] modèle "rideau de palplanche" pour la visualisation des lignes de courant
- [9] modèles "mur de soutènement" et "fondation" pour la démonstration de la pression de l'eau
- [10] instruments: manomètre à tubes, tuyaux sur les modèles "fondation" et "mur de soutènement"

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- zone exploitable: Lxlxh: 1480x104x630mm

Pompe

- débit de refoulement max.: 4m³/h
- hauteur de refoulement max.: 4m

Réservoir de produit de contraste: 0,5L

Réservoir de stockage, acier inoxydable: 96L

Modèles

- "rideau de palplanche"
- "mur de soutènement"
- "fondation"

Plages de mesure

- pression: 14x 20...650mmCA

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1900x800x1870mm

Poids: env. 230kg

Nécessaire pour le fonctionnement

sable (1...2mm taille de grain)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de modèles
- 1 produit de contraste, 1L
- 1 documentation didactique

HM 145

Études hydrologiques avancées



Description

- **écoulements d'infiltration et écoulements souterrains dans les sols**
- **alimentation en eau et évacuation d'eau extensives et parcellaires (eaux souterraines et eaux courantes)**
- **transport des sédiments et obstacles dans les eaux courantes**

Le HM 145 permet d'étudier les écoulements d'infiltration et les écoulements souterrains après des précipitations. Il permet aussi de représenter le transport des sédiments dans les cours d'eau, y compris en relation avec des obstacles à l'écoulement. La densité et la surface des précipitations, ainsi que l'alimentation et l'évacuation des eaux souterraines peuvent être modulées, rendant possible la réalisation de nombreux essais.

Le HM 145 comprend un circuit d'eau fermé avec réservoir de stockage et pompe. Le réservoir d'essai en acier inoxydable rempli de sable et pourvu d'un système d'ajustage de l'inclinaison constitue l'élément central du banc d'essai. Un dispositif de précipitation qui génère des pluies définies dans le temps à l'aide d'un programmeur permet d'étudier les précipitations. Ce dispositif de précipitation est constitué de quatre groupes équipés de deux buses chacun. On peut faire entrer (eaux souterraines) ou sortir (drainage) de l'eau par deux chambres positionnées sur les côtés.

Le réservoir d'essai est séparé des chambres par des tamis. Deux puits avec tubes fendus permettent l'étude des abaissements des eaux souterraines. Un déversoir étroit dans l'alimentation et dans l'évacuation permet de reproduire le cours d'une rivière ou d'un fleuve. Il est possible de générer différents niveaux d'eau. Les alimentations et évacuations d'eau peuvent être ouvertes ou fermées, permettant d'obtenir une grande variété de conditions d'essai. Trois modèles différents permettent en outre d'étudier le contournement d'obstacles et le transport qui l'accompagne de sédiments dans le lit du cours d'eau.

Des raccords de mesure se trouvant au fond du réservoir d'essai permettent de mesurer les niveaux des eaux souterraines, niveaux qui s'affichent ensuite sur un manomètre à 19 tubes. Deux débitmètres ayant des plages de mesure différentes indiquent le niveau d'alimentation en direction du réservoir d'essai. Un réservoir de mesure au niveau de l'évacuation est équipé d'un déversoir de mesure du niveau d'eau et d'un capteur de force pour la détermination de la quantité de sédiments.

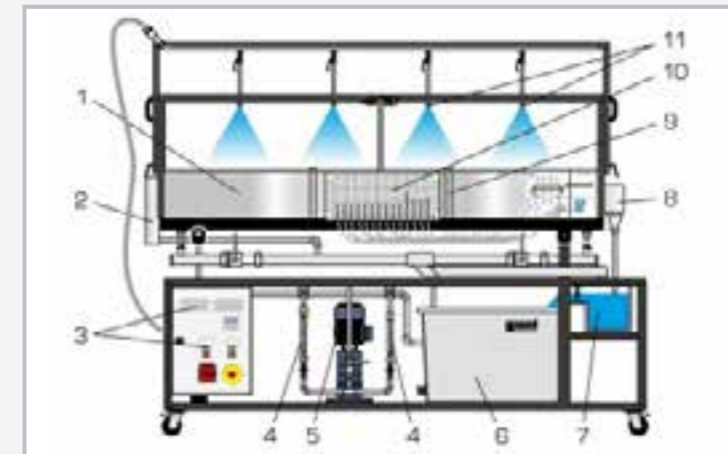
Les valeurs de mesure sont affichées sur le banc d'essai. Elles peuvent être transmises via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

Contenu didactique/essais

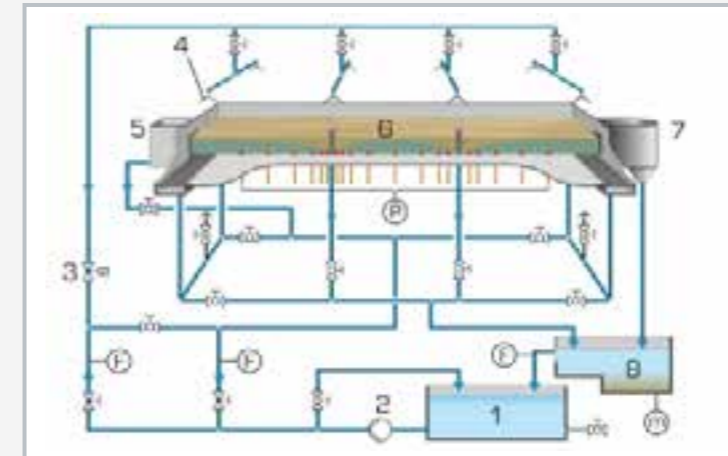
- étude des processus non stationnaires
 - ▶ influence de précipitations de durées différentes sur le débit
 - ▶ capacité de stockage d'un sol
- étude des processus stationnaires
 - ▶ écoulement d'infiltration
 - ▶ influence des puits sur l'évolution du niveau des eaux souterraines
- comportement d'écoulement de différents cours d'eau, obstacles dans le lit d'un cours d'eau, transport de sédiments dans les cours d'eau

HM 145

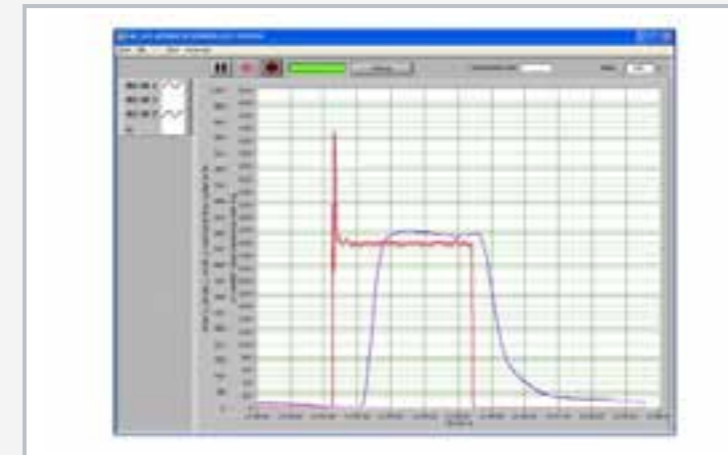
Études hydrologiques avancées



1 réservoir d'essai, 2 chambre, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 débitmètre (alimentation), 5 pompe, 6 réservoir de stockage, 7 réservoir de mesure (évacuation), 8 chambre, 9 puits, 10 manomètre à tubes, 11 buses du dispositif de précipitation



1 réservoir de stockage, 2 pompe, 3 électrovanne avec programmeur, 4 buse, 5 chambre, 6 réservoir d'essai, 7 chambre, 8 réservoir de mesure; m masse, F débit, P pression



Capture d'écran du logiciel: évacuation d'eau avec pluie prolongée et sol saturé: rouge: précipitation, bleu: évacuation

Spécification

- [1] étude des relations entre précipitation et débit, comportement de stockage des sols, écoulements d'infiltration, écoulements souterrains et transport des sédiments
- [2] circuit d'eau fermé
- [3] le réservoir d'essai en acier inoxydable avec système d'ajustage de l'inclinaison comprend 19 raccords de mesure pour l'enregistrement des niveaux des eaux souterraines, un pare-éclaboussures transparent et un tamis de séparation entre les chambres
- [4] 2 puits avec tubes fendus dans le réservoir
- [5] dispositif de précipitation avec 8 buses, ajustable temps de précipitation ajustable au moyen d'un programmeur
- [6] alimentations en eau et évacuations d'eau sélectionnables individuellement
- [7] réservoir de mesure transparent (débit) et capteur de force [enregistrement de la quantité de sédiments]
- [8] 3 modèles de piliers: arrondi, carré, ovale
- [9] instrumentation: manomètre à tubes (eaux souterraines), débitmètre (2x au niveau de l'alimentation) et déversoir de mesure dans le réservoir de mesure (1x au niveau de l'évacuation)
- [10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Réservoir d'essai, système d'ajustage de l'inclinaison: -1...5%
 ■ surface: 2x1 m², profondeur: 0,2m, remplissage de sable max.: 0,3m³
 Dispositif de précipitation
 ■ 8 buses, montables en 4 groupes de 2 buses chacun
 ■ débit: 1...4,7L/min, pulvérisation carrée
 Pompe
 ■ puissance absorbée: 0,55kW
 ■ débit de refoulement max.: 1500L/h
 Réservoir de stockage (acier inoxydable): 220L

Plages de mesure

- pression: 19x 0...300mmCA
- débit:
 - ▶ 0...1050L/h, 0...320L/h (alimentation en eau)
 - ▶ 0...1000L/h (évacuation d'eau)
- masse de sédiments: 0...5000g

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 LxIxh: 2300x1100x1950mm
 Poids à vide: env. 350kg

Nécessaire pour le fonctionnement

sédiments: sable (taille de grain: 1...2mm)
 PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de modèles
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

HM 141

Hydrographe après des précipitations



2E

Contenu didactique/essais

- effets de précipitations de durées et d'intensité différentes sur des sols ayant des taux de saturation différents
- enregistrement d'hydrogrammes après des précipitations
- capacité de stockage de sols présentant des taux de saturation différents
- comparaison entre drainage naturel et drainage par tuyau
- influence des bassins de retenue de l'eau de pluie sur l'hydrogramme

Description

- effet des précipitations sur les sols
- drainage du sol au choix avec un tuyau de drainage ou une chambre d'évacuation avec tamis
- enregistrement d'hydrogrammes
- influence des bassins de retenue de l'eau de pluie sur l'hydrogramme
- temps de précipitation, temps de retard et temps de mesure ajustables avec des programmeurs distincts

Les hydrogrammes sont un outil important de représentation des données hydrologiques telles que précipitations, niveaux des eaux souterraines ou débits.

Avec HM 141, on produit des précipitations de durée et d'intensité différentes. Puis on étudie la capacité de stockage de sols présentant des taux de saturation différents. Au moyen de différentes méthodes de drainage, on démontre les relations qui existent entre précipitation et infiltration.

Le banc d'essai comprend un réservoir rempli de sable qui est traversé par de l'eau. Le réservoir est alimenté en eau par l'intermédiaire d'un dispositif de précipitation équipé de deux buses pouvant être activées séparément au moyen de soupapes. Afin de permettre l'étude de différents types de drainage, l'évacuation d'eau est réalisée soit par un tuyau de drainage, soit par une chambre d'évacuation séparée de la section d'essai par un tamis.

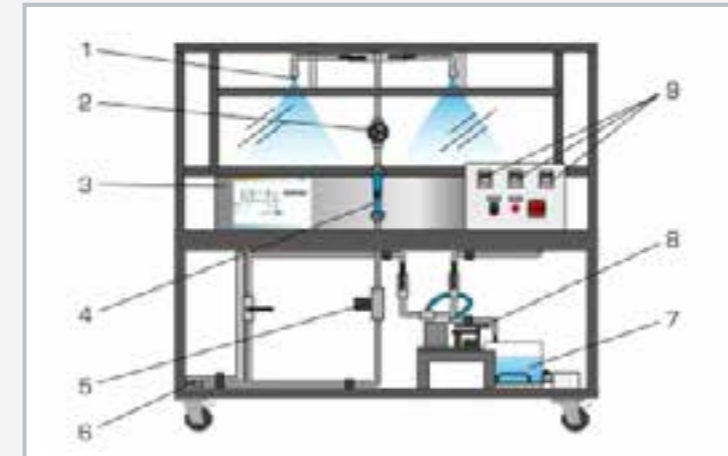
L'eau évacuée est répartie en fonction du temps dans 17 chambres transparentes. Ce qui permet d'enregistrer un profil de l'évacuation d'eau dans le temps. Les niveaux d'eau sont mesurés et représentés graphiquement sur ce que l'on appelle un hydrogramme.

Le retard de l'évacuation provoqué par le bassin de retenue peut être démontré à l'aide de bacs de collecte.

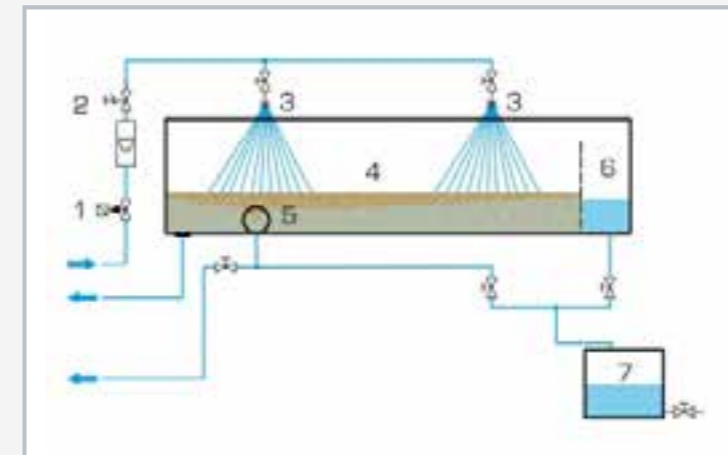
L'alimentation en eau est ajustée par une soupape et lue sur un débitmètre. Les évacuations dans le temps sont ajustées par des programmeurs électroniques.

HM 141

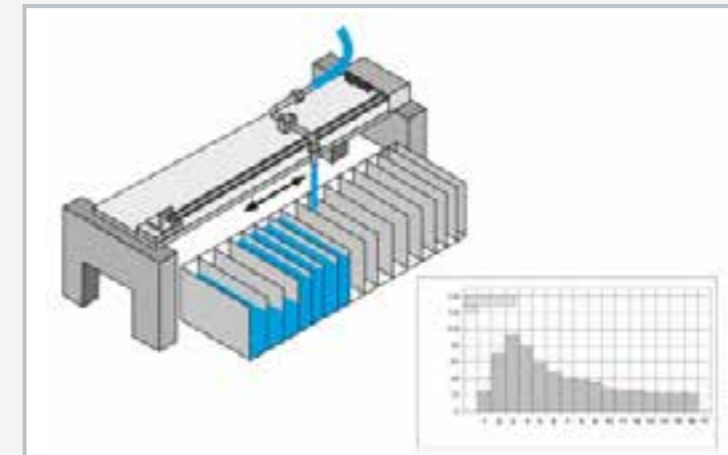
Hydrographe après des précipitations



1 buse, 2 ajustage de débit des buses, 3 réservoir d'essai avec sable, 4 débitmètre, 5 électrovanne, 6 alimentation en eau, 7 réservoir de mesure avec 17 chambres, 8 évacuation d'eau sur un chariot mobile, 9 programmeurs de temps de précipitation, temps de retard et temps de mesure



1 électrovanne avec programmeur, 2 débitmètre, 3 buse, 4 section d'essai avec sable, 5 tuyau de drainage, 6 chambre d'évacuation avec tamis, 7 réservoir de mesure



Évacuation d'eau sur chariot mobile et réservoir de mesure; le graphique montre la distribution d'eau en fonction du temps

Spécification

- [1] étude des effets des précipitations sur les sols en terre
- [2] réservoir d'essai en acier inoxydable avec pare-éclaboussure transparent
- [3] dispositif de précipitation avec 2 buses, surface et volume de précipitation ajustables
- [4] temps de précipitation ajustable au moyen d'une électrovanne avec un programmeur
- [5] répartition sur 17 chambres au moyen du programmeur
- [6] chariot mobile répartissant l'eau évacuée entre 17 chambres dans le réservoir de mesure
- [7] évacuation d'eau soit par l'intermédiaire d'une chambre d'évacuation séparée avec tamis à mailles fines, ou via un tuyau de drainage
- [8] raccord de rinçage séparé pour les conduites
- [9] bacs de collecte utilisés comme bassin de retenue des eaux de pluie
- [10] rotamètre (alimentation), affichage du temps de précipitation, temps de retard et temps de mesure

Caractéristiques techniques

Section d'essai

- volume: 1300x600x200mm
- hauteur de sable max.: 185mm

Dispositif de précipitation

- 2 buses, ajustables séparément
- débit: 1...6,2L/min, forme de pulvérisation carrée
- précipitation: 320L/h max.

Réservoir de mesure avec 17 chambres

- volume: 17x 0,9L

Programmeurs

- précipitation: 99min59s max.
- temps de retard jusqu'au début de la mesure: 99min59s max.
- temps de mesure par chambre: 99min59s max.
- 4 bacs de collecte: 305x215x55mm
- Règle graduée en acier: 200mm

Plages de mesure

- débit: 30...320L/h

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxhx: 1600x1000x1475mm

Poids: env. 190kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
sable (taille de grain: 1...2mm)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 116**Filtration sur gâteau et en profondeur****Description**

■ **filtration sur gâteau et filtration en profondeur avec différentes suspensions et couches filtrantes**

Le CE 116 permet d'observer et d'étudier les processus de filtration en profondeur et de filtration sur gâteau. La suspension (eau et diatomite comme matière solide) coule de l'entonnoir de remplissage dans l'élément filtrant, où les matières solides sont retenues.

Le filtrat est évacué et passe au travers d'un débitmètre. Le bas de l'élément filtrant est muni d'un filtre poreux. Dans le cas de la filtration sur gâteau, le filtre sert de support pour la formation du gâteau. Dans le cas de la filtration en profondeur, le filtre supporte la couche filtrante (gravier). Un manomètre bi-tube mesure la perte de charge due à l'élément filtrant.

La balance CE 116.01 est recommandée pour déterminer la quantité du filtrat.

Contenu didactique/essais

- bases de la filtration: équation de Darcy
- filtration en profondeur avec différentes couches et suspensions
- filtration sur gâteau avec différentes suspensions
- détermination des valeurs caractéristiques de la filtration

Spécification

- [1] bases de la filtration sur gâteau et de la filtration en profondeur
- [2] élément filtrant avec, dans le fond, un filtre fritté recevant les particules
- [3] mesure de la perte de charge avec un manomètre bi-tube
- [4] entonnoir de remplissage ajustable en hauteur composé de verre DURAN
- [5] débitmètre avec soupape à pointeau pour l'ajustage

Caractéristiques techniques**Élément filtrant**

- hauteur du logement du filtre: 85mm
- Ø intérieur: env. 37mm
- section: env. 11cm²
- composition du tube: verre DURAN

Filtre fritté, SIKA 100

- diamètre de pore: 100µm
- épaisseur: 2mm
- composition: métal fritté

Plages de mesure

- débit: 40...360mL/min
- pression: 2x 0...500mmCA
- température: -10...100°C
- gobelet gradué
 - ▶ 1x 1000mL, graduation: 10mL
 - ▶ 1x 100mL, graduation: 2mL

Lxlxh: 450x410x1040mm
Poids: env. 30kg

Nécessaire pour le fonctionnement

drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 gobelets gradués
- 1 chronomètre
- 1 thermomètre
- 1 sable (1kg; 1...2mm)
- 1 emballage de diatomite (2kg)
- 1 documentation didactique

Étude de laboratoire et élaboration d'un concept de A à Z



Vous prévoyez la réalisation d'un nouveau laboratoire?

D'une nouvelle salle?

De tout un service?

Vous voulez moderniser?

Alors, profitez de notre savoir-faire et de notre expérience! Nos ingénieurs conçoivent et aménagent des laboratoires complets. Nous sommes à l'écoute de vos attentes spécifiques et tenons compte des particularités de l'environnement local:

- plans de la salle
- raccords alimentation
- listes d'équipements
- descriptions des prestations etc.

Notre force de vente/notre SAV se tient à votre disposition pour toute question à ce sujet.

Le programme complet GUNT – équipements pour l'enseignement technique



Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- technique d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduit de procédés



Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- applications thermodynamiques en CVC
- énergies renouvelables
- machines à fluide thermiques
- génie frigorifique et génie climatique



Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulements autour de corps
- machines à fluide
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- génie hydraulique



Génie de procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- traitement de l'eau



2E Energy & environment

Energy

- énergie solaire
- énergie hydraulique et énergie marine
- énergie éolienne
- biomasse
- géothermie
- systèmes énergétiques
- efficacité énergétique en génie du bâtiment

Environment

- eau
- air
- sol
- déchets

Planification et conseils · Service technique
Mise en service et formation

Index connaissances de base écoulement dans des canaux

Mot-clé	Page
A	
abaissement du niveau	82
abaissement du niveau dû au soutirage en aval	82
affouillement	85, 94
allée de tourbillons de Karman	98
atterrissement	99

B	
bassin d'amortissement	84, 85, 87, 99
Bernoulli, équation	75, 76
bloc de chute	85

C	
calcul du débit	88, 90, 96, 97
canal jaugeur	96
canal Parshall	96
canal rectangulaire	74, 76, 80, 95
canal trapézoïdal	96
canal Venturi	96
capacité d'évacuation	92
caractéristique de rugosité	73, 74, 75, 76, 99
changement d'écoulement	76, 87, 94, 95, 96
charge cinétique	74, 75, 76
charge spécifique	74, 75, 76, 77, 78, 79, 95
Cipoletti	97
coefficient de débit	88, 93, 97
condition de nappe	86, 88
conservation de l'énergie	75
conservation de l'impulsion, principe de	77, 78
considération de l'énergie	75, 76
contraction de jet	93
contrôle de l'écoulement	93, 94
corps de barrage	86, 87, 92
corps de déversoir	84, 87, 91, 92
coupe transversale, étranglement	95
coupe transversale, forme	74
coupe transversale, modification	95
courbe de charge spécifique	76, 77, 78, 79, 80
courbe de débit	96
courbe de force spécifique	77, 78
crête de déversoir	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92
crête d'une lame	100
creux d'une vague	100

Mot-clé	Page
D	
Darcy-Weisbach	74
débit critique	72, 76, 79, 80
débit de dimensionnement	87, 89
débit de projection	87
débit dénoyé	90, 96, 97
débit fluvial	72
débit non uniforme	72, 76
débit noyé	86, 90
débit sous-critique	72, 79, 80, 95
débit stationnaire	76
débit supercritique	72, 79, 80, 84, 95
débit torrentiel	72
débit uniforme	72, 74, 91
débit, calcul	88, 90, 96, 97
débit, type	94
décollement de la lame	87, 88, 89
détachement des tourbillons	98
déversoir à chute libre	88, 90, 97
déversoir à crête arrondie	87, 88, 89
déversoir à paroi mince	87, 90, 97
déversoir à profil hydrodynamique	88, 89
déversoir à seuil épais	80, 87, 97
déversoir à siphon	92
déversoir cunéiforme	91
déversoir de Crump	91
déversoir de mesure	87, 88, 91, 97
déversoir en forme de saut de ski	84
déversoir en forme d'escalier	84
déversoir en trapèze	97
déversoir latéral	88
déversoir radial	93
déversoir rectangulaire	97
déversoir triangulaire	97
déversoir, hauteur	84, 86, 90, 91, 97
dissipation d'énergie	84, 85

E	
eaux peu profondes	100
eaux profondes	100
écoulement critique	72, 76, 79, 80, 86
écoulement dénoyé	90, 93, 96, 97
écoulement en charge	92
écoulement fluvial	72
écoulement non uniforme	72, 76
écoulement normal	74, 75, 95
écoulement noyé	86, 90, 93
écoulement sous-critique	72, 79, 80, 95
écoulement stationnaire	76
écoulement supercritique	72, 79, 80, 84, 95
écoulement torrentiel	72
écoulement uniforme	72, 74, 91
effets des vagues	100
équation de Bernoulli	75, 76
érosion des fonds	84
étranglement de section	95
évacuateur de crue	87, 89, 92
évacuation de crues	88, 92

Mot-clé	Page
F	
faible ressaut	81
fixation du radier	86
fond du canal	73, 74, 84, 85, 99
force de compression statique	77
force d'impulsion dynamique	77
force spécifique	77, 78, 80
formation d'affouillement	85, 99
formation de dunes	99
formation de rides	99
formation de vagues	100
forme de la coupe transversale	74
formule de débit	74
formule de Poleni	88, 90, 97
fort ressaut	81
fréquence de détachement des tourbillons	98
Froude, nombre	79, 80, 81, 85

G	
géométrie du déversoir	87, 88, 97

H	
hauteur	84, 86, 87, 88, 90, 91, 97
hauteur de l'ouverture de vanne	93
hauteur de pression	74, 75, 76, 96
hauteur d'onde négative	82
hauteur d'onde positive	82
hauteur du déversoir	84, 86, 90, 91, 97
hauteur géodésique	74

I	
impulsion, principe de conservation	77, 78

K	
Karman, allée de tourbillons	98

L	
lame déversante	88, 89, 90, 91
lame déversante aérée	88, 90
lame déversante collée	89
lame déversante décollée	89
lame déversante libre	89, 90
largeur de canal	73
loi de la continuité	75, 76, 82, 93
longueur de vague	100

Mot-clé	Page
M	
Manning-Strickler	74
mesure du débit	86, 96, 97
modification de la coupe transversale	95
montée du niveau d'eau	82
montée et abaissement du niveau	82

N	
nappe dénoyée	86, 88, 90, 97
nappe noyée	86, 88, 90, 97
nez d'amorçage	92
niveau maximal de la retenue	87, 91, 92
nombre de Froude	79, 80, 81, 85

O	
onde de choc	82
onde de surface	79, 100
onde négative	82
onde négative en aval	82
onde positive	82
onde positive de retenue	82
ouvrage de contrôle	86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94
ouvrage de contrôle fixe	86, 87, 88, 89, 92
ouvrage de contrôle mobile	86, 93
ouvrage de croisement	94

P	
passage	94
passage enterrée épanché	94
passage entièrement traversé	94
passage partiellement rempli	94
pente de fond	74
pente de la ligne de charge	73, 74
pente de la ligne d'eau	74
pente de ligne	74
périmètre mouillé	73
période de vague	100
perte de charge	76, 77, 78, 84, 95
perte par frottement	74, 75, 91
pertes locales dues aux obstacles	95
pile	95, 100
pilot	98
Poleni, formule	88, 90, 97
principe de conservation de l'impulsion	77, 78
profil hydraulique favorable	72, 87
profil WES	87, 89
profondeur conjuguée	77, 78, 85
profondeur correspondante	76
profondeur critique	76, 80
profondeur de l'écoulement	72, 73, 74

Index connaissances de base écoulement dans des canaux

Mot-clé	Page
R	
rampe	91
rayon hydraulique	72, 74
régime	76, 80
Rehbock	97
ressaut	76, 77, 78, 81
ressaut ondulé	81
ressaut oscillant	81
ressaut stable	81
retenue	85, 93, 95
rugosité du fond	73, 74, 75, 76, 99

Mot-clé	Page
S	
section d'écoulement	85, 95, 96, 99
section, étranglement	95
section, forme	74
section, modification	95
seuil	80, 85, 87, 91, 95
structure du lit	99
surface traversée	73

Mot-clé	Page
T	
Thomson	97
transport des sédiments	99
transport des sédiments en suspension	99
transport par charriage	99
triangle de base du déversoir	87
type de chute	88
type de débit	94

Mot-clé	Page
V	
vague brisante	100
vague lisse	100
vague produite par le vent	100
vanne	82, 86, 93
vanne plane	93
vanne radiale	93
vena contracta	93
vibration couplée	98
vibrations induites par l'écoulement	98
vibrations induites par les tourbillons	98
vitesse de propagation	79, 100
vitesse de propagation d'une onde	100
vitesse d'écoulement	74, 76, 79, 80, 82, 99

Index

Mot-clé	Code (page)
A	
abaissement des eaux souterraines	HM 167 (184)
action capillaire	HM 115 (12)
affouillement	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
affouillement en eau claire	(162)
allée de tourbillons de Karman	HM 16x.61 (151)
angle d'attaque	HM 150.20 (50)
antidune	HM 140 (168)
atterrissement	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
aube directrice	HM 150.10 (30) HM 150.20 (50) HM 150.21 (28) HM 152 (180)

Mot-clé	Code (page)
B	
bassin de retenue des eaux de pluie	HM 141 (190) HM 143 (64)
Bernoulli, équation	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)
bloc de chute	HM 16x.35 (144)
bouchain en forme	HM 150.39 (16)
bouchain vif	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
buse de mesure	HM 150.11 (40)

Mot-clé	Code (page)
C	
canal jaugeur	HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
canal Parshall	HM 16x.55 (146)
canal rectangulaire	HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122)
canal trapézoïdal	HM 16x.63 (147)
canal Venturi	HM 16x.51 (146)
capacité de stockage	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)
capacité de transport des sédiments	(156) (162)
caractéristique de filtration	CE 116 (192)
caractéristique de la pompe	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
caractéristique de la turbine	HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)
caractéristique d'ouverture	HM 150.11 (40)
centre de poussée	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
cheminée d'équilibre	HM 143 (64) HM 156 (62)
coefficient de contraction	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
coefficient de débit	HM 150.07 (24)
coefficient de frottement du tuyau	HM 150.01 (38)
coefficient de perméabilité	(174)
coefficient de traînée	HM 150.11 (40)
conduite circulaire	HM 111 (44)
conservation de l'impulsion, principe de	HM 150.08 (26) (76 - 77)
considération de l'énergie	HM 150.07 (24) (75)
contour de sortie	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
contrainte de cisaillement au sol	(157) (163)
corps de transport	(160)
corps flottant	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
couche de sol	(174 - 177)
couche de sol imperméable	HM 165 (182) (174)
couche de sol non saturée en eau	(174)
couche de sol perméable	(174)
couche de sol saturée en eau	(174)
couche d'élément filtrant	CE 116 (192)

Mot-clé	Code (page)
D	
couche limite	(157) (160 - 161)
coup de bélier	HM 156 (62)
cours d'un fleuve	HM 168 (170)
creux	(161)
débit, coefficient	HM 150.07 (24)
débit, mesure	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) HM 16x.30 (142, 146) HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
décollement d'écoulement	HM 152 (180)
défecteur	HM 150.08 (26)
déflexion de jet	HM 150.08 (26) HM 150.12 (34)
densité de précipitation	HM 145 (188) HM 165 (182)
déversoir à crête arrondie	HM 16x.32 (144) HM 16x.34 (145) HM 164 (42)
déversoir à paroi mince	HM 150.21 (28) HM 16x.30 (142, 146) HM 164 (42)
déversoir à seuil épais	HM 150.21 (28) HM 16x.31 (143) HM 164 (42)
déversoir à siphon	HM 16x.36 (145)
déversoir cunéiforme	HM 16x.33 (143, 148)
déversoir de Crump	HM 16x.33 (143, 148)
déversoir de mesure	HM 16x.30 (142, 146)
digue en terre	HM 169 (186)
dissipation d'énergie	HM 16x.32 (144) HM 16x.35 (144) (84)
drainage	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
dune	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166)

Mot-clé	Code (page)
E	
eau du sol	(174)
eaux de retenue	(174 - 175)
eaux souterraines	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
écoulement autour de corps	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180)
écoulement dans des canaux	HM 140 (168) HM 150.21 (28) HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122) HM 164 (42)
écoulement d'infiltration	CE 116 (192) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
écoulement incident	HM 150.21 (28)
écoulement laminaire	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
écoulement potentiel	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
écoulement souterrain	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184) HM 169 (186)
écoulement traversant des modifications de section	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
écoulement tubulaire	HM 111 (44) HM 150.01 (38) HM 150.11 (40) HM 164 (42)
écoulement turbulent	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
Einstein	(160)
éléments de tuyauterie	HM 111 (44)
envahissement par l'eau	HM 167 (184)
équation de Bernoulli	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)
équilibre de potentiel	(176)
équilibre de transport	(156)
évolution du niveau des eaux souterraines	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)

Index

Mot-clé	Code (page)
F	
fond imperméable	HM 167 (184)
force ascensionnelle	HM 115 (12)
force de jet	HM 150.08 (26)
force d'écoulement	(158)
formation de dunes	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166)
formation de rides	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
formation de vagues	HM 16x.41 (138, 149)
forme de membrane	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
formule de transport	(156)
fouille	HM 167 (184)
fréquence propre	HM 156 (62)

G	
gâteau de filtre	CE 116 (192)
gîte	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)

H	
hydrographe	HM 141 (190)

I	
île	HM 165 (182) HM 168 (170)
impulsion, principe de conservation	HM 150.08 (26) (76 - 77)
infiltration	(174 - 177)
infiltration des digues	HM 169 (186)

J	
jet de sortie	HM 150.12 (34)

K	
Karman, allée de tourbillons	HM 16x.61 (151)

L	
lac artificiel	HM 143 (64)
Laser Doppler Anemometry	(106)
LDA	(106)
ligne de potentiel	(177)
lignes de courant	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180) HM 169 (186)
lit de rivière	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
lit de rivière, mise en forme	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
loi de la continuité	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) (75)

Mot-clé	Code (page)
M	
marque d'obstacle fluviale	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
mesure de débit	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40) HM 16x.30 (142, 146) HM 16x.51 (146) HM 16x.55 (146) HM 16x.63 (147)
métacentre	HM 150.06 (14) HM 150.39 (16)
Meyer-Peter y Mueller	(156)
mise en forme du lit de rivière	HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
modifications de section, écoulement traversant	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
montage de pompes en parallèle	HM 150.16 (54)
montage de pompes en série	HM 150.16 (54)
montage de sections de tuyau en parallèle	HM 111 (44)
montage de sections de tuyau en série	HM 111 (44)
montée et abaissement du niveau	(82)
mur de soutènement	HM 169 (186)

N	
niveau des eaux souterraines	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)
niveau phréatique	(175)
nombre de Reynolds	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)

O	
orifice de mesure	HM 150.11 (40)
ouverture de sortie	HM 150.12 (34)
ouvrage de contrôle	(86 - 93)

P	
Particule Image Velocity	(106)
passage	HM 16x.45 (148)
pente de fond	HM 160 (116) HM 161 (132) HM 162 (120) HM 163 (122)
perméabilité, coefficient	(174)
perte de charge	CE 116 (192) HM 111 (44) HM 150.01 (38) HM 150.11 (40)
pile	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.46 (148) HM 166 (166) HM 168 (170)
pilot	HM 16x.61 (151)
PIV	(106)
plage	HM 160.42 (149) HM 16x.80 (149)
pompe centrifuge	HM 150.04 (52)
pompe, caractéristique	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
pompes, montage en parallèle	HM 150.16 (54)
pompes, montage en série	HM 150.16 (54)
portance	(158)
potentiel, écoulement	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
potentiel, équilibre de	(176)
potentiel, ligne	(177)
potentiel, réseau	(177)
précipitation	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)

Mot-clé	Code (page)
pression au sol	HM 115 (12)
principe de conservation de l'impulsion	HM 150.08 (26) (76 - 77)
processus de sédimentation	HM 140 (168) HM 142 (172) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
processus d'écoulement	HM 143 (64)
profil de corps	HM 150.10 (30) HM 150.21 (28) HM 152 (180)
puissance hydraulique	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54)
puits	HM 145 (188) HM 150.10 (30) HM 152 (180) HM 165 (182) HM 167 (184)
puits de drainage	HM 145 (188) HM 165 (182) HM 167 (184)

R	
réseau de potentiel	(177)
réseau d'écoulement	HM 169 (186) (177)
réseaux de tuyauterie	HM 111 (44)
réservoir de sédimentation	HM 142 (172)
réservoir d'eau	HM 143 (64)
retenue	HM 16x.38 (145)
Reynolds, nombre de	HM 150.01 (38) HM 150.18 (22)
ride	HM 140 (168) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
ride de courant	HM 168 (170) (160)
rideau de palplanche	HM 169 (186) (177)
roulement	(159)
rugosité du fond	HM 16x.77 (147)

S	
saltation	(159)
sections de tuyau, montage en parallèle	HM 111 (44)
sections de tuyau, montage en série	HM 111 (44)
sédimentation, processus	HM 140 (168) HM 142 (172) HM 145 (188) HM 166 (166) HM 168 (170)
sédimentation, réservoir	HM 142 (172)
sédiments en suspension, transport	HM 142 (172)
sédiments, capacité de transport	(156) (162)
sédiments, transport	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
seuil	HM 16x.44 (143, 147) HM 164 (42)
seuil denté	HM 16x.35 (144)
source	HM 150.10 (30) HM 152 (180)
structure du lit	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
surface de précipitation	HM 141 (190) HM 145 (188) HM 165 (182)
système de tourbillon	(162)

Mot-clé	Code (page)
T	
temps de précipitation	HM 141 (190) HM 145 (188)
tensions de surface	HM 115 (12)
tourbillon de sillage	(162)
tourbillon en fer à cheval	(162)
tourbillons, vibrations induites par	HM 16x.61 (151)
traînée	(158)
trajectoire	HM 150.09 (32)
transmission des vibrations	HM 16x.61 (151)
transport des sédiments	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
transport des sédiments en suspension	HM 142 (172)
transport par charriage	HM 140 (168) HM 145 (188) HM 16x.71 (141, 150) HM 16x.72 (141, 150) HM 166 (166) HM 168 (170)
tube de Prandtl	HM 16x.50 (136, 152)
tube de Venturi	HM 150.07 (24) HM 150.11 (40)
turbine à action	HM 150.19 (48)
turbine à jet libre	HM 150.19 (48)
turbine à surpression	HM 150.20 (50)
turbine Francis	HM 150.20 (50)
turbine Pelton	HM 150.19 (48)
turbine, caractéristique	HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)
turbomachine	HM 150.04 (52) HM 150.16 (54) HM 150.19 (48) HM 150.20 (50)

V	
vagues, formation	HM 16x.41 (138, 149)
vanne	HM 16x.29 (142) HM 16x.40 (142) HM 164 (42)
vanne plane	HM 16x.29 (142) HM 164 (42)
vanne radiale	HM 16x.40 (142)
vibration couplée	HM 16x.61 (151)
vibrations induites par l'écoulement	HM 16x.61 (151)
vibrations induites par les tourbillons	HM 16x.61 (151)
vidange des réservoirs	HM 150.09 (32) HM 150.12 (34)
vidange horizontale	HM 150.09 (32)
vidange verticale	HM 150.12 (34)
vitesse de sortie	HM 150.09 (32)
vitesse d'infiltration	(176)
vitesse du son	HM 156 (62)
volume de filtrat	CE 116 (192)
vortex de séparation	(161)

Z	
zone de détachement	(161)

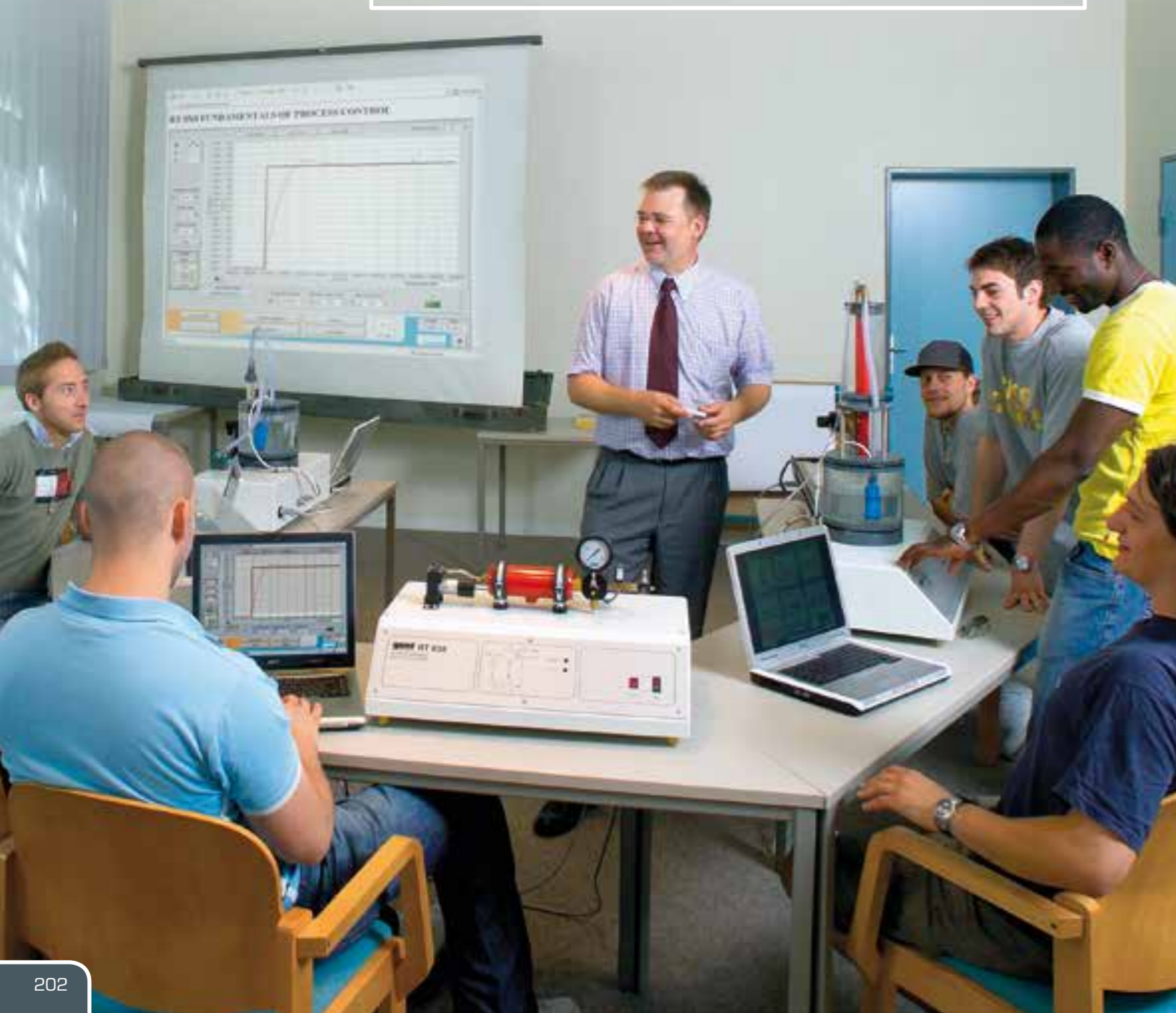
Acquisition des données et visualisation



Évaluation et analyse optimisées des essais

Les logiciels GUNT sont toujours accompagnés d'un support en ligne important permettant d'en expliquer les fonctions et l'utilisation.

Les logiciels GUNT sont développés et suivis en interne par un groupe d'ingénieurs expérimentés.



Aperçu de produits

CE		
CE 116	Filtration sur gâteau et en profondeur	192
HM		
HM 111	Réseaux de tuyauteries	044
HM 115	Banc d'essai d'hydrostatique	012
HM 140	Transport des sédiments dans un canal ouvert	168
HM 141	Hydrographe après des précipitations	190
HM 142	Séparation dans les réservoirs de sédimentation	172
HM 143	Processus d'écoulement non stationnaires dans les réservoirs	064
HM 145	Études hydrologiques avancées	188
HM 150	Module de base pour essais de mécanique des fluides	058
HM 150.01	Pertes de charge linéaires en écoulement laminaire/turbulent	038
HM 150.04	Pompe centrifuge	052
HM 150.06	Stabilité des corps flottants	014
HM 150.07	Théorème de Bernoulli	024
HM 150.08	Mesure des forces de jet	026
HM 150.09	Vidange horizontale d'un réservoir	032
HM 150.10	Visualisation de lignes de courant	030
HM 150.11	Pertes de charge dans un système de conduites	040
HM 150.12	Vidange verticale d'un réservoir	034
HM 150.16	Montage en série et en parallèle de pompes	054
HM 150.18	Essai d'Osborne Reynolds	022
HM 150.19	Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton	048
HM 150.20	Principe de fonctionnement d'une turbine Francis	050
HM 150.21	Visualisation de lignes de courant dans un canal ouvert	028
HM 150.39	Corps flottants pour HM 150.06	016
HM 152	Écoulement potentiel	180
HM 156	Coups de bélier et cheminée d'équilibre	062
HM 160	Canal d'essai 86 x 300 mm	116
HM 161	Canal d'essai 600 x 800 mm	132
HM 162	Canal d'essai 309 x 450 mm	120
HM 163	Canal d'essai 409 x 500 mm	122
HM 16x.10	Élément de rallonge du canal d'essai	155
HM 162.12	Système d'acquisition de données et d'automatisation	137
HM 162.12	Système d'acquisition de données et d'automatisation	154
HM 16x.13	Mesure électronique de la pression	137
HM 16x.13	Mesure électronique de la pression	151
HM 16x.14	Galerie	154
HM 16x.15	Élément de rallonge de la galerie	154
HM 16x.20	Réservoir d'eau	155
HM 16x.29	Vanne plane	142
HM 16x.30	Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types	142
HM 16x.30	Jeu de déversoirs à paroi mince, quatre types	146
HM 16x.31	Déversoir à seuil épais	143

HM 16x.32	Déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs	144
HM 16x.33	Déversoir cunéiforme	143
HM 16x.33	Déversoir cunéiforme	148
HM 16x.34	Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression	145
HM 16x.35	Éléments de dissipation d'énergie	144
HM 16x.36	Déversoir à siphon	145
HM 16x.38	Dégrilleur	145
HM 16x.40	Vanne radiale	142
HM 16x.41	Générateur de vagues	138
HM 16x.41	Générateur de vagues	149
HM 160.42	Plage lisse	149
HM 16x.44	Seuil	143
HM 16x.44	Seuil	147
HM 16x.45	Passage	148
HM 16x.46	Jeu de piles, sept profils	148
HM 16x.50	Tube de Prandtl	136
HM 16x.50	Tube de Prandtl	152
HM 16x.51	Canal Venturi	146
HM 16x.52	Jauge à eau	136
HM 16x.52	Jauge à eau	152
HM 16x.53	Manomètre à dix tubes	136
HM 16x.53	Manomètre à dix tubes	151
HM 16x.55	Canal Parshall	146
HM 16x.57	Système d'ajustage électrique de l'inclinaison	107
HM 16x.57	Système d'ajustage électrique de l'inclinaison	154
HM 16x.59	Support pour instruments	136
HM 16x.59	Support pour instruments	153
HM 16x.61	Pilotes vibrants	151
HM 16x.63	Canal trapézoïdal	147
HM 16x.64	Appareil de mesure de vitesse	136
HM 16x.64	Appareil de mesure de vitesse	153
HM 16x.71	Circuit de sédiments fermé	141
HM 16x.71	Circuit de sédiments fermé	150
HM 16x.72	Piège à sédiments	141
HM 16x.72	Piège à sédiments	150
HM 16x.73	Alimentateur en sédiments	140
HM 16x.73	Alimentateur en sédiments	150
HM 16x.77	Fond du canal avec galets	147
HM 16x.80	Jeu de plages	149
HM 16x.91	Jauge à eau numérique	136
HM 16x.91	Jauge à eau numérique	152
HM 164	Écoulement dans un canal ouvert et dans un canal fermé	042
HM 165	Études hydrologiques	182
HM 166	Principes de base du transport des sédiments	166
HM 167	Écoulements souterrains	184
HM 168	Transport des sédiments dans les cours de rivière	170
HM 169	Visualisation d'écoulements d'infiltration	186



GSDE
s.a.r.l.



G. Systemes Didactiques E. s.a.r.l.

Equipement pour l'enseignement expérimental, scientifique et technique
www.systemes-didactiques.fr

GSDE 181 rue Franz Liszt
F 73000 CHAMBERY
Tél : 04 56 42 80 70 Fax : 04 56 42 80 71
xavier.granjon@systemes-didactiques.fr

Génie Mécanique, Génie Thermique, Génie des Procédés, Mécaniques des fluides,
Physique, Chimie, Modèles anatomiques et végétaux, Microscopes, SVT,
Génie électrique, Automatismes, Régulation, Télécommunications,
Energies renouvelables, Solaire, Piles à Hydrogène, Mobilier



Consultez notre
page d'accueil
www.gunt.de

