



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de justice et police DFJP  
Office fédéral de métrologie METAS

# METinfo

*Journal de métrologie*

*Édition spéciale / janvier 2012*



**METAS étalonne des instruments  
de mesure hydrométrique**

# METAS étalonne des instruments de mesure hydrométrique

*L'Office fédéral de métrologie (METAS) exploite sous mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) le canal d'étalonnage hydrométrique à Ittigen qui est accrédité conformément à la norme ISO/IEC 17025/2005. Y sont étalonnés des instruments de mesure utilisés pour la détermination de la vitesse d'écoulement de l'eau. On y procède par ailleurs à des essais de remorquage pour tester des prototypes d'instruments de mesure et d'autres appareils divers.*

THOMAS SCHOTT, BEAT WÜTHRICH  
RÉDACTION : MARC DE HUU

Il n'est possible de surveiller et de régulariser les eaux courantes que lorsque les vitesses d'écoulement sont connues. Celles-ci sont régulièrement déterminées sur place au moyen d'instruments de mesure hydrométrique. Les fabricants et les exploitants nationaux et internationaux de ces instruments de mesure apprécient les possibilités de mesure, d'étalonnage et de contrôle que le canal d'étalonnage hydrométrique de METAS leur offre.

## Données hydrométriques d'une grande importance

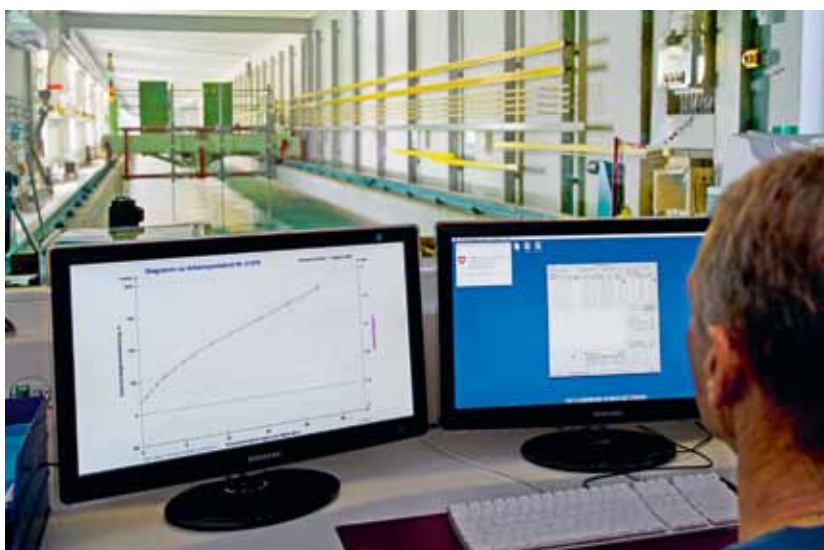
Les mesures d'écoulement sur de longues périodes donnent un renseignement sur les débits d'eau maximaux et minimaux des fleuves. Les données issues de ces mesures sont indispensables pour la prévention de crues et servent également à protéger les eaux de la surexploitation. À l'aide de mesures continues d'écoulement, on peut vérifier si les centrales électriques respectent les débits résiduels. Les données d'écoulement servent également à déterminer la redevance hydraulique que les centrales électriques doivent verser au secteur public pour l'utilisation de l'eau.

Pour la détermination du rendement des centrales hydroélectriques, il est nécessaire de connaître exactement le débit ainsi que la vitesse de l'eau devant les turbines. Les instruments de mesure hydrométrique étalonnés sont donc essentiels autant pour l'économie de l'énergie et de l'eau, pour l'industrie des turbines, des pompes et du génie hydraulique que pour l'entretien et le contrôle des eaux.

## Instruments de mesure hydrométrique

### Moulinets hydrométriques

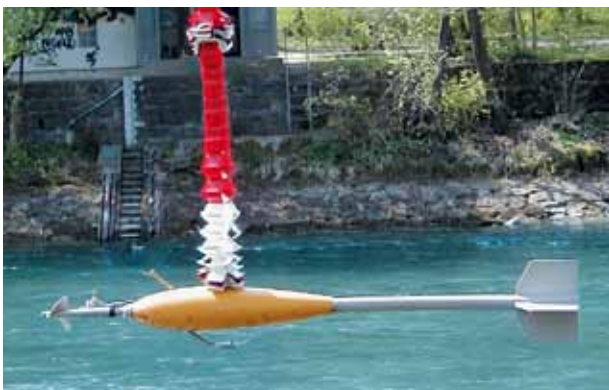
Les moulinets hydrométriques sont les instruments de mesure les plus répandus. Bien que leur origine remonte aux débuts de la mesure des vitesses d'écoulement, ils sont encore aujourd'hui des instruments de mesure très appréciés, solides et exacts. Ces instruments sont étalonnés dans le canal d'étalonnage de METAS dans des conditions réalistes et contrôlées. Les influences telles que les refoulements, les frictions et d'autres phénomènes agissant sur les aubes de ces moulinets hydrométriques sont identiques dans le canal d'étalonnage que sur le terrain. Les moulinets hydrométriques peuvent être fixés sur perche (photo 2) ou sur lest (photo 3) selon la taille du fleuve et la vitesse de l'eau.



1 L'installation d'étalonnage hydrométrique de METAS est commandée depuis un ordinateur de contrôle.



2 Moulinet hydrométrique sur perche.



3 Moulinet hydrométrique sur lest.



4 Instrument de mesure magnéto-inductif.



5 Système Doppler acoustique (ADC).

### ***Instruments de mesure magnéto-inductifs***

Les instruments de mesure magnéto-inductifs (photo 4) fonctionnent selon la loi d'induction de Faraday. La particularité de ces instruments utilisés en hydrologie est que l'eau ne coule pas dans un tube qui est traversé par un champ magnétique, comme il est d'usage avec ce principe, mais que le champ magnétique est créé autour d'un corps et que l'eau coule autour de ce dernier.

Ces instruments conviennent particulièrement à l'utilisation dans les stations d'épuration et dans les eaux avec forte végétation aquatique. Cependant, comme ils peuvent être perturbés par des champs magnétiques externes, il faut veiller à ce qu'ils ne soient pas influencés par de tels champs, émis par exemple par des lignes à haute tension, lors de la prise de mesure.

### ***Système Doppler acoustique (ADC)***

Dans les années 1990, de nouveaux types d'instruments ont été développés, surtout aux États-Unis, afin de pouvoir répertorier et examiner les courants et leurs stratifications dans les océans. Ces instruments utilisent des signaux à ultrasons et fonctionnent sur le principe de l'effet Doppler. Ils sont appelés *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*, car ils mesurent non seulement une vitesse à un point donné, mais peuvent également répertorier des profils de vitesse complets dans l'eau.

À partir de ces instruments de mesure pour l'océanographie, des instruments de mesure adaptés aux mesures d'écoulement dans les fleuves appelés *Acoustic Doppler Current Meter (ADC)*, (photo 5) ou *Acoustic Doppler Velocity Meter (ADV)* ont été développés. Ces instruments sont utilisés comme alternatives aux moulinets hydrométriques usuels. Ils mesurent, comme les moulinets hydrométriques, la vitesse d'écoulement à un point donné et sont utilisés de la même manière.

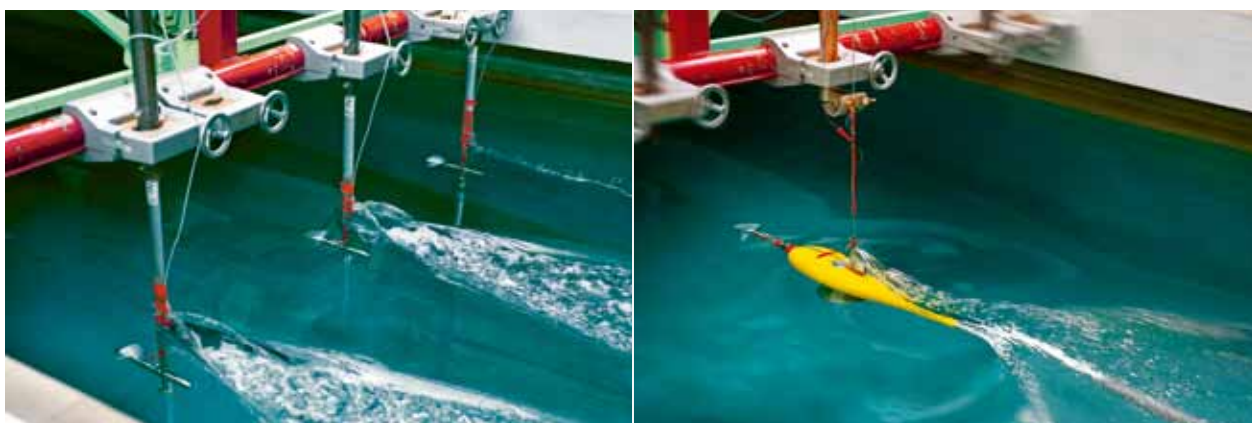
### **L'étalonnage des instruments de mesure hydrométrique**

#### ***Méthodes de mesure***

Les instruments de mesure hydrométrique sont étalonnés en étant tirés à vitesse constante dans l'eau dormante du canal d'étalonnage. Avec cette méthode, l'écoulement de l'eau est simulé. Par ce biais, la distance couverte ainsi que le temps nécessaire sont enregistrés lors de la mesure. La vitesse est calculée à partir de ces deux valeurs.

#### ***Déroulement de la prise de mesure***

Les instruments de mesure à étalonner sont fixés au dispositif de serrage qui se trouve à l'arrière du dispositif de traction (illustration 6). Puis le chariot est lancé à la vitesse de mesure désirée. Un paquet de mesures composé de dix mesures partielles est établi à cette vitesse.



6 Les moulinets de mesure hydrométrique, montés sur perches (photo à gauche) ou sur un lest jaune (photo à droite), sont étalonnés dans des conditions réalistes dans le canal d'étalonnage de METAS.

La résistance de l'eau, pour rester sur l'exemple du moulinet hydrométrique, actionne l'hélice. Suivant le modèle, les moulinets émettent un certain nombre d'impulsions par rotation. Selon un nombre d'impulsions choisi individuellement pour chaque moulinet, le chemin parcouru par le chariot est établi au centième de mm et la durée à la ms. La vitesse effective du chariot est calculée à partir de ces données.

Pour pouvoir respecter les directives ISO, le nombre de tours des hélices des moulinets hydrométriques est sélectionné de manière à ce que la distance mesurée soit d'au moins 20 mètres. Pour les instruments avec d'autres principes de mesure (par exemple les instruments de mesure magnéto-inductif ou les instruments Doppler acoustiques), la distance mesurée est donnée par la durée de mesure prescrite.

Une fois le premier paquet de mesures pris, la vitesse du chariot est élevée à une nouvelle valeur et un nouveau paquet de dix mesures partielles est réalisé. Après le dernier paquet, le chariot est reconduit au point de départ. Un autre trajet de mesure est ensuite réalisé lorsque l'eau dans le canal d'étalonnage est de nouveau calme.

Depuis l'ordinateur de contrôle, dans la salle de commande (photo 1), tous les trajets et déroulements de prises de mesures sont préprogrammés. Une fois que le personnel de contrôle a

donné l'ordre de démarrage, les trajets se font de manière totalement automatique. La vitesse du chariot et les impulsions des moulinets peuvent être suivies sur l'écran dans la salle de commande.

**Saisie des valeurs de mesure**

Les instruments de mesure fixés derrière le dispositif de traction sont tirés à travers l'eau durant les trajets. Il est indispensable que durant le nombre de rotations présélectionné, les impulsions des moulinets de mesure soient comptées de manière exacte. À cette fin, un système électronique Trajet-Durée très précis a été développé. Le chemin couvert par le chariot est saisi au centième de millimètre grâce à une roue de mesure. Un quartz avec une fréquence de 10 MHz sert comme base de temps avec une incertitude relative de mesure de 1 ppm.

Le système d'acquisition est en mesure de traiter des impulsions, des tensions électriques ou des intensités de courant mais également des affichages numériques. Les valeurs de mesure et les paramètres saisis par le chariot sont transférés sans fil par une liaison optique à l'ordinateur de contrôle. Les valeurs de mesure affichées par les instruments de mesure par affichage numérique sont enregistrées par une caméra et transmises à l'ordinateur de contrôle par le biais d'une connexion à faisceau hertzien séparée.

Type d'instrument de mesure	Étendue de mesure de la vitesse (m/s)	Incertitude de mesure relative
Moulinets hydrométriques	0.02 ... 10	pour impulsions ou contacts : $4.0 \cdot 10^{-4}$ pour signaux analogiques : $7.0 \cdot 10^{-4}$
Moulinets hydrométriques sur lest	0.02 ... 7	
Instruments de mesure magnéto-inductif	0.02 ... 5	pour affichages digitales : $4.0 \cdot 10^{-4}$
Instruments de mesure à ultrasons à effet Doppler	0.02 ... 5	pour signaux analogiques : $7.0 \cdot 10^{-4}$

7 Avec l'installation d'étalonnage de METAS, les instruments de mesure sont étalonnés pour déterminer les vitesses d'écoulement de l'eau, la zone de dispersion de ces instruments est établie, les instruments de mesure sont testés pour garantir un fonctionnement optimal et de nouveaux instruments de mesure sont développés pour l'hydrométrie et des prototypes testés pour les diverses utilisations au moyen d'essais de traction.

Annexe au Certificat SCS No. 31292

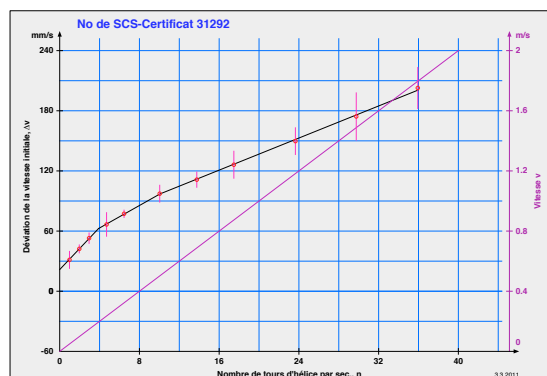
Annexe A

Droites de calibrage

	> n	<= n	Vitesse v =
Droite A	0.0000	3.8980	0.0216 + 0.0605 n
Droite B	3.8980	10.0625	0.0407 + 0.0556 n
Droite C	10.0625	35.9479	0.0568 + 0.0540 n

n = Nombre de tours d'hélice par seconde      v = Vitesse en mètres par seconde

Diagramme



Description du diagramme

Le graphique présente le domaine de variabilité de chaque point de mesure, qui est déterminé par des mesures partielles. Ce domaine de variabilité représente toute l'incertitude des mesures, celle de l'instrument à calibrer, celle due au système de fixation et celle du laboratoire d'étalonnage. L'effet Epper peut se produire dans le domaine des vitesses allant de v = 3.0 m/s à 4.5 m/s. Pour la détermination de l'équation de régression, les points de mesure affectés par l'effet Epper sont moins pondérés que les points se trouvant au-dessus ou au-dessous du domaine de vitesse mentionné ci-dessus.



Office fédéral de métrologie METAS  
Laboratoire d'Hydrométrie  
Papiermühlestrasse 172  
CH-3063 Ittigen  
Suisse

8 Évaluation de l'étalonnage d'un moulinet de mesure avec indication des formules pour les trois droites d'étalonnage.

L'étalonnage d'un instrument de mesure exige de nombreux trajets de mesure car les caractéristiques des instruments ne peuvent être décrites de manière sérieuse qu'avec de nombreux points d'étalonnage. Le nombre de points d'étalonnage et de vitesses devant être couvert est établi dans la norme ISO 3455.

Évaluation des valeurs de mesure

Les valeurs de mesure saisies sont enregistrées dans la base de données de l'ordinateur de contrôle où elles sont traitées. Afin que pour chaque point de mesure une incertitude de mesure puisse être donnée, les paquets de mesure sont chacun composés de dix mesures partielles. De ces mesures partielles sont déterminées la valeur moyenne et sa déviation standard.

Les points de mesure sont regroupés dans un diagramme. Ces points de mesure sont reliés avec une droite de un à quatre

segments. Si cette dénommée « droite d'étalonnage » est représentée en tant que formule, elle permet à l'utilisateur de connaître la vitesse de l'eau correspondante pour chaque nombre de tours du moulinet mesuré dans l'eau.

Le diagramme 8 est une représentation graphique des résultats de l'étalonnage d'un moulinet de mesure. Il montre les « droites d'étalonnage » pour un moulinet de mesure, c'est-à-dire la différence de l'instrument de mesure avec la valeur théorique par rapport au nombre de tours de l'hélice par seconde.

Certificats d'étalonnage SCS

Le client reçoit comme produit final un certificat d'étalonnage SCS (SCS = Service suisse d'étalonnage). Ce certificat contient toutes les données mesurées avec les incertitudes correspondantes et, en annexe, les droites d'étalonnage obtenues et



9 Conduite d'essai avec un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP).

leurs équations. À l'aide de ces données, on peut alors, avec chacun des instruments de mesure étalonnés, calculer la vitesse de l'eau dans l'eau courante et ainsi le débit.

#### **L'installation d'étalonnage**

Le canal rempli d'eau, le chariot de traction ainsi que les dispositifs de commande, de mesure, de transmission, d'évaluation et de sécurité électriques, hydrauliques et mécaniques sont le cœur de l'installation.

#### **Le canal d'étalonnage**

Le canal bétonné dans un lit de gravier stable fait 140 m de long, 4 m de large et 2.4 m de profondeur. Il est situé dans une halle. Son niveau d'eau s'élève normalement à 1.8 m. Il peut donc contenir un million de litres d'eau. La température de l'air dans la salle se situe, selon la période de l'année, entre 15 °C et 25 °C, la température de l'eau entre 10 °C et 20 °C et l'humidité relative de l'air entre 45 % et 60 %.

#### **Le chariot de traction**

Le chariot de traction roule sur des rails et sa vitesse peut être réglée de 0.02 m/s à 10 m/s. Sa conception permet d'enregistrer simultanément les données des instruments à étalonner ainsi que les données des dispositifs de mesure, de surveillance et de vérification. Si nécessaire, pour des enregistrements vidéo par exemple, des personnes peuvent également prendre place à bord.

Trois moteurs à courant continu alimentés par un convertisseur à quatre cadrans commandé par microprocesseur actionnent le chariot de traction. L'alimentation est assurée par des rails électriques placés sur le mur latéralement au canal. Trois systèmes de freinage indépendants, actionnés de manière mécanique, électrique et pneumatique, veillent à une exploitation sécurisée.

#### **Base de mesure internationale pour les étalonnages hydrométriques**

L'installation d'étalonnage à Ittigen est l'un des plus anciennes du monde et représente depuis longtemps une référence importante sur le plan international pour l'étalonnage des instruments de mesure hydrométrique. Environ 500 instruments de mesure de vitesse de ce type sont étalonnés chaque année. Les mandats proviennent d'une clientèle aussi variée qu'internationale regroupant des services hydrologiques nationaux et internationaux, des postes de protection des eaux de la Confédération, des cantons et des communes ainsi que des exploitants de centrales électriques, des instituts de recherche des hautes écoles spécialisées, des bureaux environnementaux, des bureaux d'ingénieurs et des industries (fabricants d'instruments de mesure hydrométrique, entreprises de génie hydraulique et de construction de turbines et de pompes). Le plus gros client est l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Les spécialistes de METAS entretiennent un contact étroit avec le *International Group for Hydraulic Efficiency Measurements (IGHem, [www.ighem.org](http://www.ighem.org))*.

#### **Référence**

Thomas Schott, Christian Antener: Das METAS übernimmt neue Aufgaben im Bereich der Hydrometrie, METInfo, vol. 18, n° 1, pp. 26–27, 2011.

#### **Canal d'étalonnage hydrométrique**

Beat Wüthrich, Exploitant du Canal d'étalonnage hydrométrique, tél. direct +41 31 921 37 48, [hydro-kalibrierstelle@metas.ch](mailto:hydro-kalibrierstelle@metas.ch);

Dr Marc de Huu, Chef de laboratoire Débit et hydrométrie, tél. direct +41 31 32 33 267, [marc.dehuu@metas.ch](mailto:marc.dehuu@metas.ch).

10 Interlocuteurs du Laboratoire d'étalonnage hydrométrique.



En 1896, la station d'étalonnage des moulinets est mise en service à Ittigen. Le premier directeur, le professeur Josef Epper (l'homme barbu à l'avant-plan sur la photo) est considéré comme l'un des fondateurs de la mesure de la vitesse d'écoulement de l'eau au moulinet hydrométrique.

La façon dont Josef Epper étalonnait les moulinets hydrométriques est remarquable : le chariot de traction était lancé manuellement à une vitesse constante. Dès que le moulinet hydrométrique produisait une impulsion, le professeur Epper déclenchait un chronomètre d'une main et de l'autre tirait simultanément un coup de fusil dans une latte en bois, fixée le long des rails. Après un certain nombre d'impulsions, le professeur Epper arrêtait le chronomètre en même temps qu'il tirait un second coup de feu indiquant le point d'arrêt sur la latte. À l'aide d'un mètre, il pouvait ensuite mesurer au millimètre près le chemin parcouru. Le chronomètre lui donnait le temps écoulé au dixième de seconde près. La plus grande incertitude de mesure était alors le temps de réaction du professeur Epper. En 1914, un chariot à traction électrique remplaça la commande manuelle.

Les difficultés économiques retardèrent le projet de construction d'une plus grande installation, finalement concrétisé en 1951. Une nouvelle halle fut alors construite juste à côté de l'installation en plein air au-dessus du canal d'étalonnage qu'elle abrite encore aujourd'hui. Ce canal de 140 m de long, 4 m de large et 2.4 m de profondeur peut contenir environ un million de litres d'eau.

Grâce au savoir-faire et à l'expérience des exploitants, un nombre croissant de mandats, provenant aussi de l'étranger, leur furent attribués. Par ailleurs, les clients exigèrent que leurs instruments de mesure hydrométriques soient

également étalonnés pour des vitesses plus élevées. Une rénovation complète fut donc indispensable. En 1968, l'entreprise Kempf & Remmers à Hambourg construisit un nouveau chariot à traction de 4.6 tonnes, à la pointe de la technologie. De nouveaux rails furent posés.

L'électronique de commande étant obsolète et les pièces de rechange introuvables, Gebrüder Meier AG, entreprise d'appareils et d'installations électriques à Regensdorf, et A. P. Kern AG, entreprise d'ingénierie logicielle à Berne, conçurent en 1992 un système de mesure semi-automatique, installé sur le chariot de mesure actuel. Parallèlement, les rails de contact pour l'alimentation en courant et la retransmission des signaux furent également remplacés. La même année, le Service d'accréditation suisse (SAS) délivra la première accréditation (SCS 003) au Laboratoire d'étalonnage hydrométrique.

En 1999, l'installation fut agrandie afin que des instruments de mesure magnéto-inductif et fonctionnant selon le principe de pressions différentielles puissent être étalonnés. Ces étalonnages sont compris dans la nouvelle accréditation du 2 décembre 1999.

En 2009, une autre amélioration de l'installation pour les instruments de mesure à ultrasons à effet Doppler fut également comprise dans la nouvelle accréditation du 20 novembre 2009, conformément à la norme ISO/IEC 17025/2005.

Le 1<sup>er</sup> Janvier 2011, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) confia à l'Office fédéral de métrologie (METAS) l'exploitation de l'installation, toujours située à Ittigen.

11 L'histoire du Laboratoire d'étalonnage hydrométrique du METAS est riche en événements.

Édition spéciale de METinfo 2/2011, janvier 2012

**Office fédéral de métrologie METAS**  
Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern, téléphone +41 31 32 33 111, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)