



Mesurage du débit total — Méthode électromagnétique à l'aide d'une bobine d'induction couvrant toute la largeur du chenal

Measurement of total discharge — Electromagnetic method using a full-channel-width coil

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est normalement confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux.

La tâche principale des comités techniques de l'ISO est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1: lorsque, en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2: lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande expérience;
- type 3: lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 9213 a été préparé par le comité technique ISO/TC 113, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de rapport technique du type 2 sont exposées dans l'introduction.

0 Introduction

La méthode de mesurage du débit total décrite dans le présent Rapport technique est actuellement au stade d'étude technique. La méthode repose sur les données expérimentales obtenues à partir d'observations sur le terrain effectuées au Royaume-Uni. Ces données sont présentées dans l'annexe D qui ne fait pas partie intégrante du présent Rapport technique.

Les principes de la théorie du jaugeage électromagnétique sont présentés dans l'annexe A, tandis que l'annexe B donne des spécifications concernant l'étude du site; ces annexes font partie intégrante du présent Rapport technique. L'annexe C donne les divers aspects de la conception de la bobine électromagnétique; cette annexe ne fait pas partie intégrante du présent Rapport technique.

CDU 532.57.082.74

Réf. n°: ISO/TR 9213 : 1988 (F)

Descripteurs: écoulement de liquide, écoulement en canal découvert, mesurage de débit, station de jaugeage, spécification.

© Organisation internationale de normalisation, 1988 ●

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 15 pages

1 Objet et domaine d'application

Le présent Rapport technique traite de l'installation et du fonctionnement d'une station de jaugeage électromagnétique dans un canal découvert, ou dans une conduite fermée à niveau d'eau libre dans le but d'y mesurer le débit.

Le champ d'application de la méthode se limite aux sites où le champ magnétique est engendré par une bobine d'induction étendant son action sur toute la largeur du canal.

Le présent Rapport technique ne s'applique pas aux mesurages du débit à l'aide de débitmètres exploitant le champ magnétique terrestre.

2 Références

ISO 772, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Vocabulaire et symboles.*

ISO 1100-2, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Partie 2: Détermination de la relation hauteur-débit.*

ISO 4373, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Appareils de mesure du niveau de l'eau.*

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.*

ISO 7066-1, *Évaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit — Partie 1 : Relations d'étalonnage linéaires.*¹⁾

3 Définitions

Dans le cadre du présent Rapport technique, les définitions données dans l'ISO 772 sont applicables.

4 Principes de la méthode

4.1 Principe de fonctionnement

Un champ magnétique vertical est engendré par une bobine enterrée dans le lit du canal ou suspendue au-dessus de celui-ci, dans une section transversale du canal découvert ou du conduit fermé, ayant une surface d'eau libre. Une membrane isole l'eau du canal du lit et des berges. On mesure le faible potentiel s'établissant par induction électromagnétique entre les deux berges d'un chenal et qui est provoqué par l'écoulement.

Le potentiel ainsi enregistré est proportionnel au produit de la largeur de la rivière, mesurée en mètres, par l'intensité du champ magnétique, mesurée en tesla, et par la vitesse moyenne de l'eau, mesurée en mètres par seconde. L'intensité du champ magnétique est proportionnelle au nombre d'ampères-tours de la bobine divisé par une dimension linéaire de celle-ci (c'est-à-dire par la longueur d'un de ses côtés).

On obtient donc la relation suivante :

$$E = K \bar{v} \frac{N}{l} b \quad \dots (1)$$

où

E est le potentiel induit, en microvolts;

K est une constante;

\bar{v} est la vitesse moyenne de l'eau, en mètres par seconde;

N est le nombre d'ampères-tours de la bobine;

l est la longueur du côté d'une bobine carrée, en mètres;

b est la largeur du canal, en mètres.

1) Actuellement au stade de projet.

Normalement, l étant égal à b , l'équation (1) devient

$$E = K\bar{v}N$$

K est déduite de façon empirique de manière à avoir une valeur d'environ 0,5. Pour une bobine normale de 500 ampères-tours, le potentiel induit entre les deux berges du canal est de 250 μ V pour une vitesse moyenne de l'eau de 1 m/s.

Le débit total est obtenu par la méthode d'exploration du champ des vitesses, avec déduction de la vitesse à partir du potentiel d'électrode multiplié par la section transversale du canal. Cette section du canal est fonction du niveau d'eau enregistré.

4.2 Facteurs à prendre en considération

4.2.1 Le champ magnétique vertical est dans la plupart des cas engendré par une bobine électromagnétique couvrant toute la section transversale du canal.

4.2.2 La bobine peut être soit enterrée dans le lit du canal (voir figure 1), soit suspendue en travers du courant au-dessus du point de niveau le plus élevé (voir figure 2) où doit être mesuré le débit. Le montage suspendu est normalement utilisé là où la présence matérielle d'une bobine ne présente pas d'inconvénient du point de vue esthétique et ne prête pas au vandalisme. Cependant, sur les canaux d'une grande largeur, la suspension peut être plus difficilement réalisable, et il peut être impossible d'employer une bobine enterrée dans les canaux à fond en béton armé.

Lorsqu'il n'existe pas techniquement de différence significative entre les deux méthodes, le choix de l'installation de la bobine se fera normalement sur la base de critères financiers.

L'intensité du champ magnétique est proportionnelle au courant électrique passant dans la bobine. Ce courant doit normalement demeurer constant, mais il peut varier quelquefois légèrement dans la pratique en raison des variations de la température ambiante et des fluctuations de tension d'alimentation du réseau. Il convient donc de mesurer l'intensité du courant et d'y apporter les corrections nécessaires.

4.2.3 Chaque fraction d'eau coulant dans la section transversale du canal apporte sa part de tension au niveau des électrodes et le montage idéal est celui où la tension est proportionnelle à l'intégration spatiale vraie de la vitesse dans la section. Dans la pratique, le champ magnétique n'est pas uniforme et il y a donc écart par rapport à l'intégration spatiale idéale. Cet écart est néanmoins petit, ce qui permet d'utiliser la méthode dans des sites à profil de vitesses irrégulier et variable et notamment là où l'on trouve beaucoup de végétation aquatique, des accrétions variables d'ampleur limitée et en aval des coudes ou larges obstructions du canal.

4.2.4 Dans la plupart des canaux naturels, le lit est conducteur de l'électricité et réduit donc en partie la tension induite par les courants de fuite. Il peut donc s'avérer nécessaire de revêtir le fond d'une membrane isolante imperméable maintenant les courants de fuite à un niveau acceptable (voir figure 1).

4.2.5 La théorie de la méthode électromagnétique est présentée en annexe A.

5 Choix du site

5.1 Pour des raisons de coût, la méthode est appropriée dans le cas d'une largeur maximale du canal d'environ 30 m. Cette limite est principalement fixée par le besoin d'isolation du canal par une membrane. Des critères différents sont applicables à un site requérant une mesure moins précise (voir 5.9). Dans ce cas, la largeur maximale du canal peut être d'environ 40 m.

5.2 Une étude du site doit être effectuée conformément aux indications de l'annexe B pour mesurer les perturbations électriques extérieures (par exemple câbles électriques, stations radio et voies de chemins de fer électrifiées). Il convient d'éviter les zones à fortes perturbations électriques (voir aussi 5.9).

5.3 La source d'énergie électrique disponible doit être de 2 kW.

5.4 Le site doit offrir un espace sur berges suffisant pour manipuler la membrane et les câbles.

5.5 Le site doit être facilement accessible pour l'installation, la mise en œuvre et l'entretien de la station.

5.6 Les caractéristiques du site doivent permettre la vérification de l'étalonnage de la station par une autre méthode.

5.7 Le site doit être choisi dans un endroit ne présentant pas de variations de la conductivité de l'eau dans l'espace. Que le canal soit isolé ou non, la précision de la méthode diminue si la conductivité dans l'espace n'est pas uniforme sur toute la section. Les variations dans le temps sont négligeables si l'uniformité de la conductivité est garantie dans l'espace. Cette exigence rend les débitmètres électromagnétiques impropres à l'usage dans les canaux d'eau douce à reflux d'eau salée, comme cela se produit souvent dans les petits estuaires. Si ces conditions sont remplies, la qualité de l'eau — cours d'eau de montagne aussi bien qu'eaux usées — n'aura aucun effet sur le fonctionnement du débitmètre et, de même, la conductivité de l'eau n'affectera pas le fonctionnement du débitmètre.

5.8 Dans les canaux non isolés, l'atténuation du signal augmente avec le rapport largeur/profondeur. Il est donc recommandé de ne pas dépasser un rapport de 10:1.

5.9 Dans un canal non isolé, la précision de mesure est réduite. Il convient dans cette situation d'effectuer une étude préliminaire pour mesurer la conductivité de l'eau et l'état du fond de façon à évaluer la perte de signal avant de choisir le site ou de le rejeter. La perte admissible du signal ne doit normalement pas dépasser un facteur de 5 (voir annexe B).

6 Applications

Les débitmètres électromagnétiques sont particulièrement bien adaptés au mesurage du débit des eaux résiduaires domestiques non traitées, des eaux résiduaires traitées rejetées dans les rivières, de l'eau potable dans les usines de retraitement et de l'eau de refroidissement des centrales thermiques. Il convient de noter que, lors de l'utilisation de cette méthode, il n'y a pas de perte de charge hydraulique dans le canal et que les coûts de pompage peuvent donc être considérablement réduits dans les usines de retraitement ou d'assainissement.

Parmi les autres applications on peut citer le jaugeage de canaux naturels et de petits cours d'eau jusqu'à une largeur ne dépassant pas 30 m. Dans les limites de dimensions fixées, la méthode convient aussi au mesurage du débit dans n'importe quel type de rivière et élimine beaucoup des problèmes associés aux méthodes traditionnelles. Une version spéciale de débitmètre électromagnétique convient au mesurage du débit dans les tuyauteries ou aqueducs siphons partiellement remplis, transportant des eaux de pluie, des eaux usées ou des eaux résiduaires.

Parmi les avantages de la méthode, on peut citer les suivants :

- a) elle n'est pas perturbée par la végétation;
- b) elle n'est pas sensible aux entraînements d'air;
- c) elle n'est pas sensible aux stratifications de température;
- d) elle n'est pas sensible aux sédiments en suspension dans l'eau ou aux débris flottants;
- e) elle tolère le dépôt de sédiments ou autres accrétions sur la membrane;
- f) elle n'est pas sensible aux reflux d'eau variables aux confluent;
- g) elle admet les apports de débits amont donnant des profils d'écoulement inhabituels [si le débit amont présente une différence sensible de conductivité par rapport au canal principal, il faut prévoir une distance suffisante pour que le mélange s'effectue convenablement (voir 5.7)];
- h) elle permet de détecter une vitesse minimale d'environ 2 mm/s;
- i) elle admet les profils de vitesse inhabituels, même les écoulements obliques et les gros tourbillons dans la zone de mesurage;
- j) elle est utilisable dans les eaux très peu profondes;
- k) elle intègre par essence les profils de vitesse sur toute la section transversale du canal;
- l) elle permet de mesurer une large gamme de niveaux et de débits;
- m) elle a une précision de mesurage élevée;
- n) elle ne rétrécit pas l'écoulement;
- o) elle mesure les reflux.

Comme on l'a déjà vu, son inconvénient principal vient de ce que la méthode ne peut être utilisée que dans les petites rivières et les canaux artificiels en raison des coûts résultant de l'installation d'une grande bobine sur toute la largeur du lit et d'une membrane isolant le lit de l'écoulement.

7 Conception et construction

Une station de jaugeage électromagnétique doit être composée des éléments suivants (voir figures 1 et 2) :

- a) une bobine d'induction installée au-dessus du canal ou en dessous;
- b) deux électrodes, placées de chaque côté du canal;
- c) une membrane isolante, si nécessaire;
- d) un appareillage comportant notamment le système d'alimentation de la bobine;
- e) un dispositif de mesurage du niveau d'eau;
- f) un limnimètre de référence et un repère de nivellement de la station.

7.1 Bobine

La bobine doit être composée d'un enroulement comprenant un nombre de spires dépendant de la précision requise, de la largeur du canal, de la vitesse minimale de l'eau et de l'alimentation de la bobine. Normalement on utilisera une bobine avec un enroulement de 50 à 300 tours. Les divers aspects de la conception d'un modèle type de bobine sont donnés en annexe C.

La bobine doit être installée dans un conduit (d'environ 250 mm de diamètre) pour permettre l'accès au câble pour son entretien. Les contraintes de construction exigent habituellement que la bobine soit rectangulaire vue en plan.

Lorsque la bobine est enterrée dans le lit du canal, l'isolation du câble doit permettre son immersion permanente dans l'eau (par exemple polyéthylène).

Lorsque la bobine est suspendue au-dessus de l'eau, il est permis d'avoir une isolation de moins bonne qualité (par exemple polychlorure de vinyle). La bobine doit couvrir le canal sur toute sa largeur au-dessus du niveau maximal à mesurer. La bobine doit donc être conçue de façon à fournir une densité de flux suffisante pour toute la gamme des débits à mesurer (voir annexe C).

L'enroulement de la bobine doit être réalisé avec un câble multibrins pour faciliter l'installation. Le câble ne doit pas avoir d'armature en acier qui absorberait partiellement le champ. L'armature peut être non ferreuse mais doit dans tous les cas être isolée de l'eau pour éviter d'offrir des lignes de fuite au signal induit.

7.2 Électrodes

Les électrodes doivent de préférence être faites dans une bande ou un tube en acier inoxydable, et être recouvertes d'un filtre mécanique pour réduire les mouvements de l'eau à leur surface. Ce filtre réduit les variations de potentiel d'oxydation. Normalement les électrodes plates doivent avoir de 50 à 150 mm de largeur. Les électrodes tubulaires doivent avoir un diamètre de l'ordre de 10 à 20 mm.

Les électrodes doivent suivre la géométrie des berges du niveau du lit au niveau maximal de surface; elles doivent être fixées sur le côté du canal si celui-ci est recouvert d'une membrane isolante. Elles doivent s'étendre du lit à un niveau supérieur au niveau le plus élevé prévisible.

Le potentiel entre les électrodes peut parfois atteindre plusieurs centaines de volts si la foudre tombe à proximité du débitmètre. Pour protéger les appareils dans cette éventualité, il est essentiel d'installer une barrière Zener entre les électrodes et l'entrée des appareils. (Une barrière Zener est un circuit limitant la tension et l'intensité du courant et protégeant des surtensions dues à la foudre.)

L'accouplement inductif entre le câble transmettant le signal et la bobine doit être minimal. Dans ce but, on alimentera l'électrode de la berge la plus éloignée en ligne droite, en passant par le centre de la bobine dans son plan bissecteur. On peut également prévoir deux câbles de signalisation partant de l'électrode située sur la berge la plus éloignée : l'un de ces câbles passe par le même conduit que le câble amont de la bobine et le deuxième par le conduit du câble aval de la bobine. Le conduit réservé aux câbles des électrodes doit être installé en travers du canal sous la membrane isolante (si celle-ci est utilisée), ou bien doit être suspendu au-dessus de la surface de l'eau.

Dans les canaux découverts, les électrodes doivent être fixées dans des guides montés sur les parois ou les rives de chaque côté du canal. Ces systèmes de fixation doivent s'étendre sur toute la profondeur de l'écoulement.

Dans les conduites fermées, les électrodes doivent faire partie intégrante du tronçon de tuyauterie préformée (voir 7.3 et figure 3).

Dans les canaux découverts, les guides peuvent être des tiges de plastique rainurées pour les électrodes plates ou des tubes de plastique perforés pour les électrodes tubulaires. Ces guides doivent être fixés aux parois du canal ou aux berges mais ne doivent pas trouser la membrane (voir figure 1).

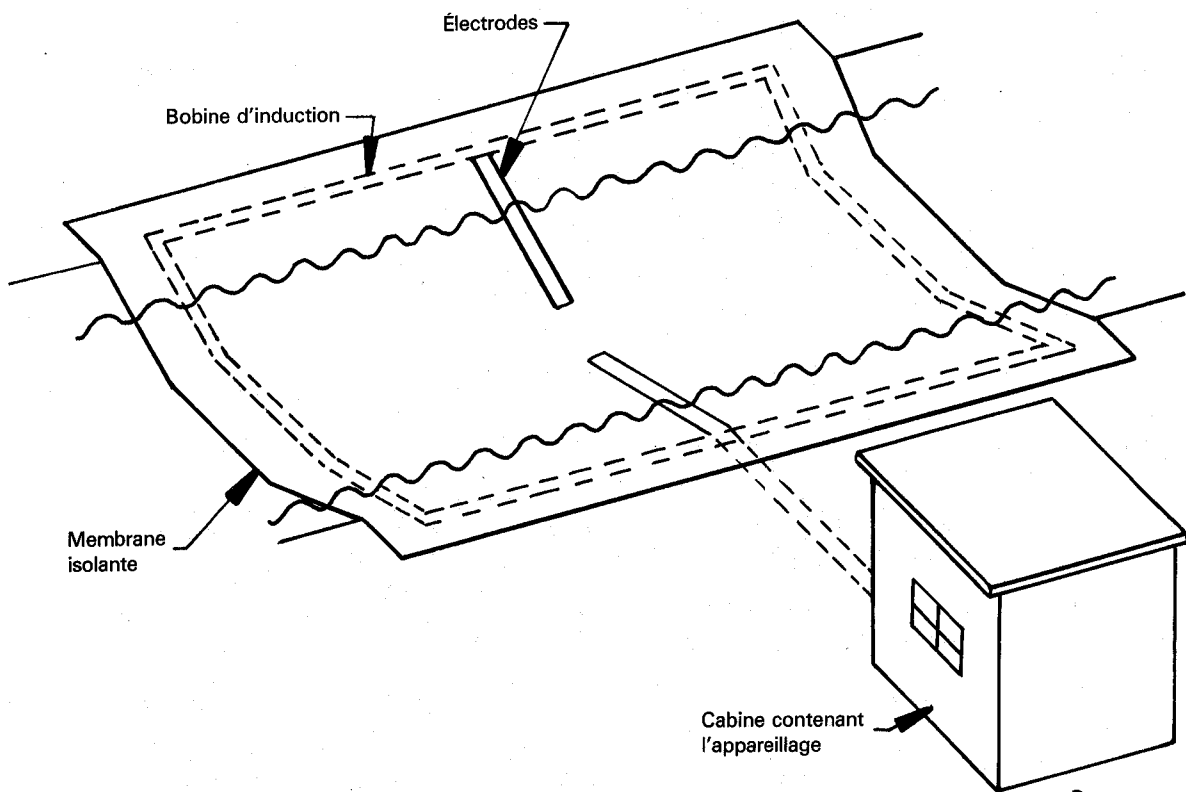


Figure 1 — Bobine enterrée

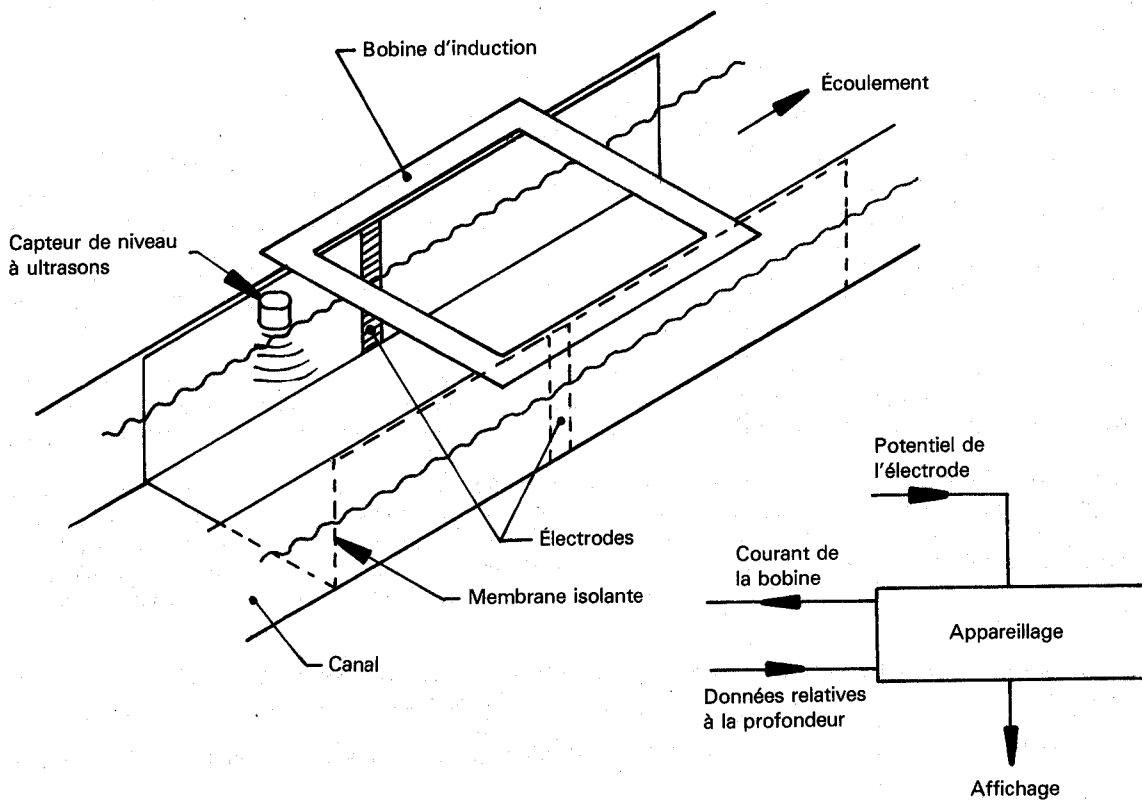


Figure 2 — Bobine suspendue

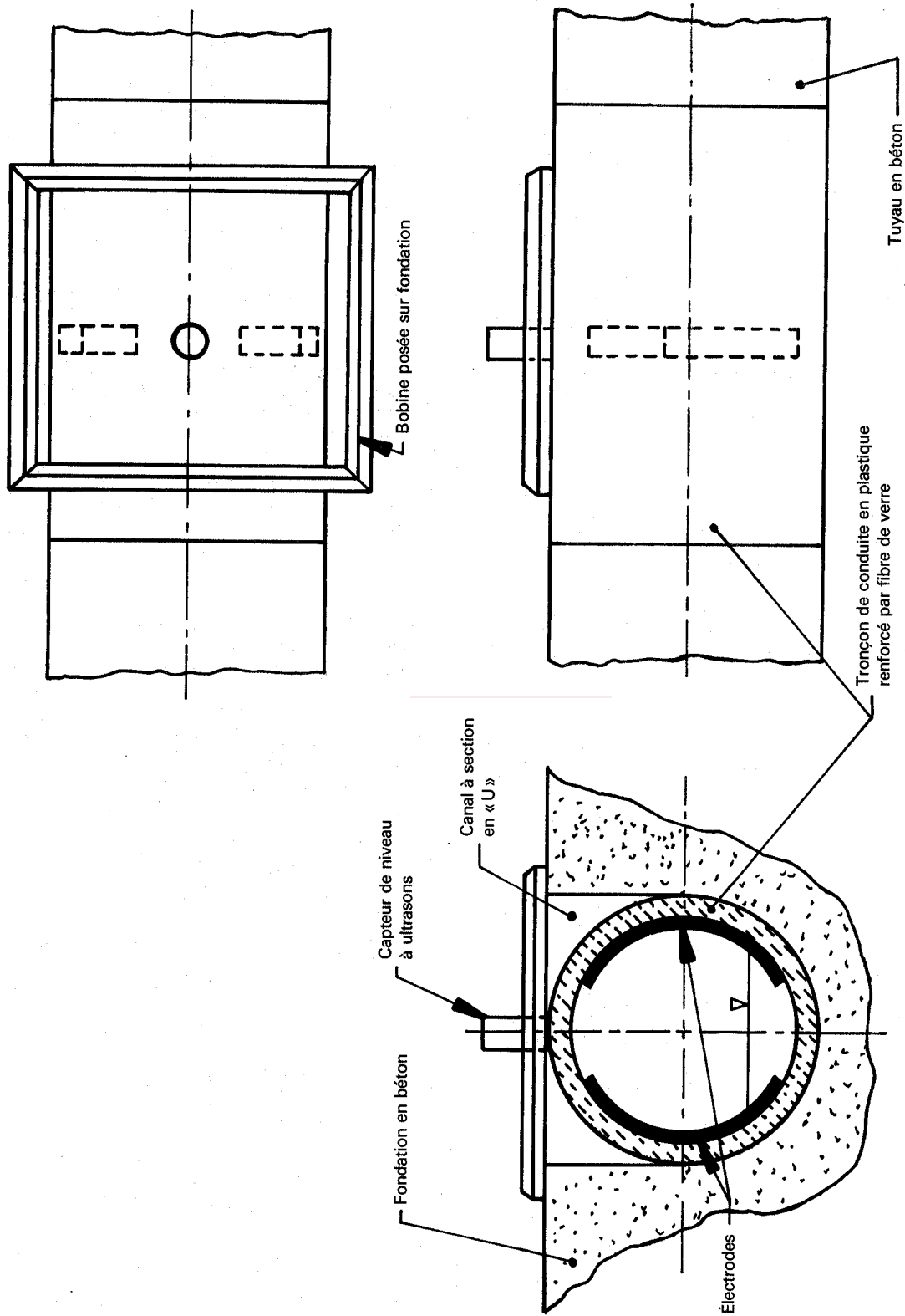


Figure 3 — Configuration de la bobine

7.3 Membrane isolante

Si le canal doit être revêtu, la membrane isolante à utiliser doit être assez solide pour résister aux contraintes rencontrées. Un polyéthylène à haute résistance ou un matériau équivalent doit être employé et la résistivité du matériau doit être supérieure à $10^{12} \Omega \cdot m$.

La membrane isolante doit être fixée par des moyens mécaniques et de façon hermétique à l'avant et sur les côtés pour éviter les affouillements locaux et les suintements. La membrane doit être posée et fixée de manière à éviter tout mouvement ultérieur. Le lit doit être protégé à l'arrière de la membrane pour éviter les affouillements locaux.

Dans la pratique, la membrane peut être recouverte d'une multitude de matériaux la protégeant des détériorations. Lorsque la membrane est posée dans le lit du canal, une couche de béton épaisse de 10 cm (le béton n'a pas besoin d'être armé) offre un moyen de protection convenable. La membrane sur les rives peut être protégée par des gabions ou, dans certains cas, par une couche de béton. Dans un canal de section rectangulaire, la membrane peut être placée derrière une paroi verticale de béton ou de matériau similaire du type blocs de béton ou briques d'argile.

La membrane ne doit pas être percée, sauf aux points de fixation le long des bords (voir aussi 7.2). Pour cette raison, la prise de pression du puits de mesure doit se trouver au-delà des limites de la membrane.

Dans un canal en béton, l'avant de la membrane et ses côtés doivent être garnis de lattes fixées au béton ou autres moyens similaires. Dans une rivière les bords de la membrane peuvent être encastrés dans une saignée avec du béton. La longueur de la membrane isolante doit de préférence être égale ou supérieure à 1,5 fois la largeur de la surface de l'eau au niveau maximal où s'effectueront les mesures. La membrane doit être centrée par rapport à la bobine.

Dans les conduites fermées, une section préformée spéciale doit être insérée dans la conduite (voir figure 3). La résistivité du matériau doit être supérieure à $10^{12} \Omega \cdot m$.

7.4 Appareillage

L'appareillage doit comporter un système d'alimentation électrique de la bobine, un détecteur sensible mesurant la tension des électrodes et d'autres dispositifs électroniques de traitement permettant de calculer le débit à partir des paramètres du site et de la profondeur de l'eau. Un système d'enregistrement des données in situ peut être ajouté à l'appareillage; il peut se composer d'un ou plusieurs éléments à choisir dans la longue liste des appareils enregistreurs.

Un système d'affichage numérique doit indiquer en continu les mesurages du débit et de la profondeur; il doit comporter un avertisseur incorporé, signalant les défauts de l'électronique. D'autres paramètres fondamentaux peuvent également requérir un affichage, et notamment le potentiel des électrodes, l'intensité de courant dans la bobine et les tensions d'alimentation de l'appareillage. Lorsque le canal n'est pas isolé, le système d'affichage doit également pouvoir indiquer la résistivité (ou la conductivité) de l'eau, et la résistance (ou la conductance) du lit.

7.5 Appareil de mesure du niveau de l'eau

Un appareil de mesure du niveau de l'eau conforme aux spécifications de l'ISO 4373 doit être accouplé au système de traitement de données électromagnétiques.

7.6 Limnimètre de référence et repère de nivellement

Un limnimètre de référence et un repère de nivellement conformes aux spécifications de l'ISO 4373 doivent être prévus dans la station.

8 Étalonnage

8.1 Pour l'étalonnage du débitmètre électromagnétique, les variables suivantes doivent être mesurées :

- a) pour un canal isolé :
 - la tension des électrodes E (en microvolts),
 - la profondeur h (en mètres),
 - l'intensité de courant dans la bobine I (en ampères),
 - le débit Q (en mètres cubes par seconde);

- b) pour un canal non isolé :
- la tension des électrodes E (en microvolts),
 - la profondeur h (en mètres),
 - l'intensité de courant dans la bobine I (en ampères),
 - la résistivité de l'eau ρ_w (en ohms mètres),
 - la résistance du lit R_b (en ohms),
 - le débit Q (en mètres cubes par seconde).

8.2 La relation générale entre le débit Q et les variables indiquées en 8.1 peut s'exprimer de la façon suivante :

- a) pour un canal isolé

$$Q = f\left(\frac{E}{I}, h\right) \quad \dots (2)$$

- b) pour un canal non isolé

$$Q = f\left(\frac{E}{I}, h, \frac{\rho_w}{R_b}\right) \quad \dots (3)$$

NOTE — Dans certains sites où il est possible de ne pas isoler le canal, il peut ne pas être nécessaire de mesurer en continu la résistivité de l'eau et la résistance du lit. C'est le cas dans certaines rivières où la résistivité de l'eau est relativement constante durant une saison donnée (il est donc inutile de la mesurer). Dans ce cas, la résistance du lit a toutes les chances d'être également constante. Il peut y avoir d'autres sites où la mesure de la résistivité de l'eau ou de la résistance du lit peut s'avérer difficile et où l'on peut choisir d'intégrer à l'équation d'évaluation du site une valeur nominale représentative de ces paramètres. Cette procédure peut introduire des erreurs dans le mesurage du débit, mais ces erreurs restent acceptables.

8.3 L'étalonnage du site d'une station électromagnétique exige l'établissement des relations données dans les équations (2) et (3). Le mode opératoire sera dans ces conditions similaire à celui spécifié dans l'ISO 1100-2 pour une station de jaugeage.

8.4 Une fois l'équation d'évaluation déterminée, elle peut être programmée dans l'appareillage de façon à permettre son affichage sur la console et son enregistrement.

8.5 L'expérience acquise avec la méthode électromagnétique montre que l'étalonnage reste longtemps stable (plus de 4 ans). Il est néanmoins possible qu'il se produise des défaillances dans l'isolation de la membrane ou de la bobine. L'appareillage doit lui aussi être stable. Il est donc nécessaire, à l'occasion, de vérifier l'étalonnage à l'aide d'un moulinet ou autre appareil similaire.

9 Mode opératoire

9.1 La condition nécessaire d'un bon enregistrement est le maintien en bon état de marche constant de la station. Il faut donc entretenir convenablement la station, son matériel et son étalonnage.

9.2 On doit suivre à la lettre les instructions du manuel de fonctionnement (fourni avec la jauge) pour les vérifications du système d'affichage afin de s'assurer de la précision de l'affichage de la profondeur, de la vitesse et du débit, ainsi que des paramètres techniques spécifiés par le constructeur. Tous les enregistrements in situ doivent être vérifiés et comparés à l'affichage de la console pour s'assurer que les deux indications correspondent.

9.3 Les avertisseurs de panne doivent également être vérifiés (s'ils sont utilisés) et tout signe de mauvais fonctionnement doit être signalé.

10 Incertitudes de mesurage

10.1 Courbes d'étalonnage

L'analyse des incertitudes de la courbe d'étalonnage doit être effectuée selon les principes fixés dans l'ISO 7066-1 et l'ISO 1100-2.

En règle générale, dans un canal isolé l'erreur-type et l'erreur-type sur la moyenne doivent être respectivement de l'ordre de $\pm 10\%$ et $\pm 2\%$ à un niveau de confiance de 95%. Ces chiffres reposent sur des observations effectuées dans un grand nombre de sites.

Les incertitudes correspondantes relevées dans des canaux non isolés peuvent être beaucoup plus élevées selon le site et le nombre d'observations effectuées pendant un étalonnage. Les incertitudes correspondantes, déterminées à partir d'observations effectuées sur deux sites seulement, sont respectivement de $\pm 15 \%$ et $\pm 2 \%$ au niveau de confiance de 95 %.

10.2 Détermination isolée du débit

L'incertitude sur une détermination isolée du débit peut être calculée conformément à l'ISO 5168, en combinant les éléments d'incertitude dans les équations (2) et (3), par la méthode des valeurs résultantes quadratiques. Il n'est pas possible de donner des valeurs précises de ces incertitudes fragmentées qui doivent être évaluées séparément pour chaque site. On peut dire, toutefois, qu'en règle générale l'incertitude sur une détermination isolée du débit est du même ordre que l'incertitude sur un mesurage au moulinet.