

FICHE TECHNIQUE

Mesures de flux Hydriques
multiniveaux

Outils pour la caractérisation
haute résolution des sites et
sols pollués

Flowmètre (Heat Pulse Flowmeter HPF)

MESURE DES FLUX VERTICAUX NATURELS ET DES HORIZONS PRODUCTIFS EN
POMPAGE

Quantitatif : 0,1 à 4 L/min

Qualitatif : 4 - 500 L/min

Diamètre du forage : à partir de 2 pouces

Profondeur : pas de limite

Temps de mesure : environ 3 min par profondeur



Principe

Le flowmètre « Heat Pulse Flowmeter » (HPF) permet la **mesure de flux verticaux naturels** et d'**horizons productifs en pompage** dans les puits de forage et piézomètres. Il est particulièrement adapté pour **mesurer les bas débits** (de 0,1 à 4 L/min) mais peut être utilisé également de manière qualitative pour des débits plus élevés pour identifier les venues d'eau par exemple (jusqu'à 500 L/min).

La sonde comporte une grille métallique horizontale chauffante et deux thermistors situés en-dessous et au-dessus de cette grille. Des impulsions de courant électrique (charge) sont appliquées à la grille métallique chauffant ainsi le fluide autour de celle-ci. Selon la direction du flux, ce fluide plus chaud sera détecté par l'un ou l'autre des thermistors. Le temps mis pour atteindre le thermistor donne la valeur du débit.

Matériel nécessaire

Le matériel nécessaire à la mesure des flux verticaux naturels est le suivant :

- une sonde, munie idéalement de deux centreurs (en parties haute et basse de l'outil) et d'un « diverter » permettant à tout le flux d'eau de passer dans la sonde puisque seuls les flux passant dans la sonde sont mesurés (voir Figure 1 gauche),
- un treuil muni d'un câble en acier au bout duquel est connecté la sonde, permettant sa descente dans l'ouvrage, ainsi qu'une centrale d'acquisition (voir Figure 1 droite),
- un trépied, permettant de guider le câble lors de sa descente et de sa montée dans l'ouvrage afin que la sonde soit en permanence centrée dans l'ouvrage,
- un ordinateur pour la visualisation et l'enregistrement des données.

Pour la mesure des horizons productifs en pompage, une pompe immergée doit être mise en place dans l'ouvrage.



Figure 1 : Matériel nécessaire pour la mesure des flux verticaux naturels et des horizons productifs en pompage (sonde à gauche, treuil et centrale d'acquisition à droite)

Données préalables nécessaires

La position des crépines doit être connue, l'outil ne devant être positionné que devant des zones crépinées.

Mise en œuvre

Afin de ne pas perturber le milieu et pour permettre une équilibration rapide de l'outil avant chaque mesure, celui-ci doit être déplacé lentement dans le forage (au maximum de 1 à 1,5 m/min).

Calibration de l'outil

Le diverter utilisé pour forcer le flux à passer dans la sonde n'est pas totalement étanche et en présence de flux verticaux, l'eau peut passer par les côtés. C'est pourquoi une calibration est nécessaire.

La calibration s'effectue comme suit :

- l'outil est placé au niveau d'une partie non crépinée du forage,
- une pompe est placée juste au-dessus de l'outil et mise en marche à un débit inférieur à 4 L/min,
- une mesure est lancée et le débit indiqué $Q_{\text{flowmètre}}$ est comparé avec le débit de la pompe Q_{pompe} .

Le rapport des deux valeurs ($F = \frac{Q_{\text{pompe}}}{Q_{\text{flowmètre}}}$) donne le coefficient correctif par lequel il faudra multiplier toutes les valeurs mesurées pour obtenir le débit réel.

Mesure des flux verticaux naturels

Les mesures doivent être réalisées selon les étapes suivantes :

- caractérisation qualitative des flux verticaux : l'outil est descendu dans le forage et une mesure est faite tous les 2 à 5 m suivant la profondeur du forage et le besoin de discrétisation verticale pour déterminer le sens des flux verticaux (ascendants ou descendants). En fond de piézomètre, une mesure de flux est réalisée et donne le « blanc », à soustraire des valeurs mesurées,
- les flux verticaux sont mesurés :
 - si les flux sont ascendants, les mesures doivent être faites en remontant l'outil, pour que les pétales des diverters soient courbés vers le bas,
 - si les flux sont descendants, les mesures doivent être faites en descendant l'outil, pour que les pétales des diverters soient courbés vers le haut.

Identification des horizons productifs en pompage

Une pompe est placée dans la partie non crépinée du forage en zone saturée et des mesures de flux verticaux sont réalisées lors de la remontée de l'outil. Lorsque l'outil est sous la pompe, la valeur du débit de la pompe doit être retrouvée. Si aucune partie non crépinée se trouve en zone saturée, les valeurs obtenues à chaque horizon sont qualitatives.

Interprétation de l'essai

Ces mesures sont un préalable recommandé pour le dimensionnement de campagnes de prélèvement en multi-niveaux (profondeur de prélèvement), ainsi que pour la compréhension et l'interprétation des données obtenues, puisque les concentrations les plus fortes ne sont pas nécessairement associées aux horizons les plus productifs en pompage.

En présence de flux verticaux naturels dans les forages, ces derniers vont avoir tendance à homogénéiser les concentrations dans la colonne d'eau. Dans ce cas, la mise en place d'échantillonneurs passifs à différents niveaux permettra d'obtenir uniquement une concentration moyenne sur la hauteur crépinée soumise à ces flux verticaux et dans ce cas, l'exposition d'un seul échantillonneur passif suffit.

Les horizons productifs en pompage renseignent avant tout sur la provenance de l'eau en cas de pompage. C'est une mesure importante à réaliser afin de comprendre et d'interpréter les éventuelles différences pouvant exister entre les concentrations obtenues par des prélèvements à un niveau donné et celles mesurées dans les échantillons d'eaux obtenus par pompage à différentes profondeurs. Cette mesure permet également de dimensionner le nombre et la profondeur des prélèvements multi-niveaux (échantillonnage en face des horizons les plus productifs ou non).

Avantages, inconvénients et limites d'application de la technique

-Avantages :

- Détection de flux plus faibles qu'avec un micro-moulinet,
- Résultats en direct sur le terrain.

-Inconvénients :

- Treuil lourd : besoin de deux personnes pour la manutention s'il ne peut pas rester dans le véhicule,
- Mesures et interprétation nécessitant du personnel qualifié.

-Limites :

- Mesures quantitatives de 0,1 à 4 L/min
- Mesures qualitatives de 4 à 500 L/min
- Evaluation qualitative des horizons productifs en pompage si pas de tube plein en zone saturée

Disponibilité et coûts

Le flowmètre est disponible à l'achat, à la location et en prestation.

Des éléments de coûts et de temps passé pour une mesure des flux verticaux naturels et des horizons productifs en pompage dans un forage ayant 10 m de colonne d'eau sont résumés dans le Tableau 1.

Temps	En heure
Installation et rangement du matériel	0,5 (1 technicien)*
Calibration	0,25 (1 technicien)
Mesure des flux verticaux naturels	1,3 (1 technicien)
Identification des horizons productifs en pompage	1,25 (1 technicien)

Tableau 1 : Estimation du coût pour mesure de flux sur 10 m de colonne d'eau

* : L'ensemble des mesures peut être réalisé par une personne. En revanche, pour l'installation et le rangement du matériel, si le treuil ne peut pas être laissé dans le véhicule, une deuxième personne est nécessaire pour sa manutention au regard de son poids (environ 25 kg pour 300 m de câble).

Complément d'information

[1] Site internet du fabricant : <https://mountsopris.com/>

[2] Site internet d'un revendeur en Europe (Luxembourg) : <https://www.alt.lu/>

[3] Résultats du projet HRSC

Film : <https://www.youtube.com/watch?v=lyOD2p61m74>

Rédacteur

J. Michel (Ineris)