

■ Le cadre d'utilisation :

L'ensemble des sept tests n'est pas applicable systématiquement, compte tenu de l'information disponible et du type de grandeur mesurée. La notation est automatiquement réalisée. Seules les valeurs B ou C sont mises en évidence en vue de la validation manuelle finale.

Ce type de démarche a vocation à être généralisé en hydrologie urbaine pour ce qui concerne la pré-validation de résultats de mesure en temps différé.

Les tests et les critères sont relativement simples mais nécessitent une automatisation performante et pour certains des ajustements. Ils permettent de repérer la plupart des défauts et des valeurs douteuses avec un faible taux de fausses alarmes.

La pré-validation automatique apporte un confort et une plus-value pour réaliser de façon pertinente et rationnelle les opérations de validation des données. Toutefois, il convient de ne pas négliger les actions métrologiques complémentaires sans lesquelles il ne peut pas y avoir de bonne métrologie en hydrologie urbaine :

- étalonnage précis des capteurs sur banc d'essais ;
- suivi régulier des capteurs sur site (maintenance, entretien, vérification et étalonnage) ;
- critique et validation rigoureuse des données au fur et à mesure de leur acquisition.

■ Documents publiés :

- Auchet P., Hammouda A., " Pluviométrie : validation et utilisation des données pluviométriques à Nancy ", TSM, vol. 13, 1995, p. 831-832, AGHTM, Paris.
- Auvray J., Urvoy Y., Mirandola I., Morin E., Renaud M., Bousquet J.-P., " Une expérience de diagnostic permanent sur le réseau d'assainissement de Vitry-le-François ", TSM, vol. 12, 1999, p. 70-77, AGHTM, Paris.
- Barnett V., Lewis T., *Outliers in statistical data*, 3rd ed., Editions John Wiley & Sons, New York (USA), 1990.
- Bennis S., Berrada F., Kang N., " Improving single variable and multivariable techniques for estimating missing hydrological data ", *Journal of Hydrology*, vol. 191, n° 1-4, 1995, p. 87-105, Elsevier Science.
- Bernard N., " Simulation des impacts sur les eaux souterraines de l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbanisé. Application au cas de l'aquifère de l'Est Lyonnais ", Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France.
- Berthier E., Auzizeau J., Fasquel M., Flahaut B., Rouaud J.-M., Andrieu H., " Le suivi hydrologique de bassins versants expérimentaux en milieu urbanisé ", *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 1998, n° 218, 1998, p. 59-75.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Barraud S., Chocat B., " La mesure de l'impact environnemental des systèmes d'assainissement : exemple de l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU) ", Actes du 3^e Congrès Universitaire de Génie Civil, Lyon (France), 27-28 juin 2000, p.35-42, ISBN 2-9509268-8-6.
- Brunet J., Labarrère M., Jaume D., Rault A., Vergé M., *Détection et diagnostic de pannes*, Editions Hermès, Paris (France), 1990, 432 p., ISBN 2-86601-241-0.
- Jørgensen H.K., Rosenörn S., Madsen H., Mikkelsen P.S., " Quality control of rain data used for urban runoff systems ". *Water Science and Technology*, 1998, vol. 37, n° 11, p. 113-120, Elsevier Science.
- Maul-Kötter B., Einfalt T., "Correction and preparation of continuously measured raingauge data : a standard method in North Rhine-Westphalia", *Water Science and Technology*, 1998, vol. 37, n° 11, p. 155-162, Elsevier Science.
- Lupin S., "Archivage et banque de données pluies : l'expérience de la COURLY", Actes de la Conférence « Métrologie en assainissement pluvial urbain », Nancy (France), 24-26 avril 1990.
- Mpe A Guilikeng A., Fotoohi F., "Traitements de données pour la surveillance des réseaux d'assainissement : exemple de Dijon", Actes de la conférence SHF - GRAIE « Autosurveillance et mesures en réseau d'assainissement », Lyon (France), 5-6 décembre 2000, p. 225-232.
- Pilloy J.-C., "La débitmétrie en collecteurs, critique et validation de données", *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 1989, n° 163, p. 83-91.
- Ragot J., Darouach M., Maquin D., Bloch G., *Validation de données et diagnostic*, Editions Hermès, Paris (France), 1990, ISBN 2-86601-238-0.
- Soukatchoff V., "Critique – validation des données pluies", Actes de la conférence « Métrologie en assainissement pluvial urbain », Nancy (France), p. 24-26 avril 1990.
- Wyss A., "Traitement et validation des données de débits et de pluie pour le diagnostic des réseaux d'assainissement : exemple de Genève", Actes de la conférence SHF - GRAIE « Autosurveillance et mesures en réseau d'assainissement », Lyon (France), 5-6 décembre 2000, p. 233-240.

Résumé:

En hydrologie urbaine, on travaille sur un nombre important de résultats de mesure qui ne représentent pas toujours la réalité car ils peuvent être entachés d'erreurs. La validation de ces valeurs doit être systématique. Elle peut être partiellement automatisée au moyen de tests de pré-validation qui permettent de définir le niveau de qualité du résultat obtenu. Cette présentation détaille les sept tests utilisés sur les sites de l'OTHU pour développer une méthode de prévalidation automatique des résultats de mesure.

■ Cadre Général et contexte

En hydrologie urbaine, le développement des connaissances est fondé en très grande partie sur l'analyse de longues séries de résultats de mesure pour comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes.

On a recours à la métrologie pour le mesurage de la pluie et des diverses grandeurs qualitatives et quantitatives des écoulements.

Les instruments de mesure sont installés en réseau, dans les ouvrages d'assainissement ou en plein air. Ils sont soumis à des conditions difficiles : effets climatiques, actions humaines, milieu agressif, etc...

Avant toute exploitation, les résultats de mesure doivent impérativement faire l'objet d'une critique et d'une validation systématique. Cela permet d'éviter l'utilisation de valeurs douteuses ou aberrantes lors de l'interprétation des résultats.

La qualité des connaissances acquises dépend de la qualité des résultats de mesure utilisés.

La validation des données consiste à faire identifier par un opérateur le niveau de qualité de la mesure. Face au très grand nombre de valeurs à traiter et à la subjectivité éventuelle de l'opérateur, la pré-validation automatique des données, réalisée à partir d'un certain nombre de critères rationnels, est une première étape qui apporte une plus-value importante avant la validation finale manuelle avec l'assistance d'un outil graphique qui met en évidence les défauts détectés lors de la première étape et leurs causes éventuelles.

Dans le cadre du projet OTHU, dix points de mesure sont placés aux exutoires de cinq bassins versants. Chaque station est équipée de capteurs variés (hauteur, vitesse, conductivité, oxygène dissous, etc.). Les mesurages sont effectués à un pas de temps compris entre 1 et 5 minutes. Les observations ont débuté en 2000 pour une durée de 10 ans. La quantité de données produites sera donc considérable.

■ Contacts

Mohammed MOURAD, Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,
INSA de Lyon, URGH Hydrologie Urbaine, 34 avenue des Arts, 69621 VILLEURBANNE CEDEX.
E-mail : mmourad@urgc-hu.insa-lyon.fr, jlbk@urgc-hu.insa-lyon.fr

■ Objectifs spécifiques de l'étude :

L'objectif spécifique de l'étude décrite dans cette fiche consiste à présenter la méthode de pré-validation automatique construite par l'OTHU avec sept tests paramétriques différents appliqués, quand c'est possible, à chaque valeur mesurée afin de caractériser la qualité des données acquises.

Chaque test se voit attribuer une note :

- « A » pour une valeur correcte
- « B » pour une valeur douteuse
- « C » pour une valeur fautive.

La note globale qui est donnée à la valeur mesurée correspond à la plus mauvaise des notes individuelles données pour un test. Pour qu'une valeur soit bonne, il est donc nécessaire d'avoir obtenu une valeur correcte à chacun des tests paramétriques effectivement réalisés.

■ Présentation des principaux résultats :

Les sept tests paramétriques utilisés sont :

1. Fonctionnement du capteur (A ou C)

L'état de fonctionnement normal du capteur consiste à identifier les périodes de maintenance, vérification ou réparation de l'appareil. Un interrupteur manipulé par le technicien qui réalise l'opération de maintenance permet de donner automatiquement l'information au dispositif de pré-validation automatique puis à l'opérateur qui valide (période de maintenance = C).

2. Etendue physique du paramètre mesuré ou étendue de mesure du capteur (A ou C)

Ce test consiste à identifier toute valeur fournie par un capteur et qui dépasserait la limite inférieure ou supérieure de l'étendue de mesure. Par exemple, une mesure de vitesse de 5 m/s par un capteur de vitesse dont l'étendue de mesure est comprise en 0 et 2 m/s se voit attribuer une note C.

3. Etendue réaliste locale (A ou B)

C'est l'intervalle dans lequel se situent habituellement les valeurs de la grandeur mesurée. Par exemple le pH des eaux usées domestiques est compris entre 6 et 8. Une valeur située en dehors de ces bornes reçoit une note B en phase de pré-validation. La validation consistera à détecter si l'on est en face d'une dérive du capteur ou bien d'un rejet acide ou basique.

4. Délai de maintenance (A, B ou C)

Les réseaux d'assainissement sont des milieux difficiles et agressifs dans lesquels les capteurs s'encrassent rapidement. Le développement de biofilms ou de dépôts sur les capteurs a pour conséquence de perturber le contact entre le capteur et la grandeur mesurée. Ceci peut générer des erreurs systématiques. Il est donc indispensable de réaliser une maintenance à une période T_e (en jours). Les valeurs mesurées à partir de la dernière maintenance jusqu'à $(T_e + 1)$ sont affectées d'une note A, entre $(T_e + 1)$ et $(2T_e + 1)$ la note est B (valeurs douteuses), tandis qu'après $(2T_e + 1)$ les valeurs sont considérées comme non valides (note C) à cause du défaut d'entretien.

5. Vitesse de variation de la grandeur mesurée (A ou B)

Ce type de test est plus difficile à mettre en œuvre que les précédents car la grandeur à mesurer varie parfois brusquement, mais parfois aussi de manière graduelle, selon les circonstances (temps sec ou temps de pluie notamment). Le test utilisé consiste à soustraire au signal d'origine un signal filtré (moyenne mobile des valeurs de part et d'autre du signal d'origine). Le signal des résidus est caractérisé par une moyenne nulle. Lorsque les résidus s'écartent significativement de zéro, les valeurs mesurées reçoivent la note partielle B.

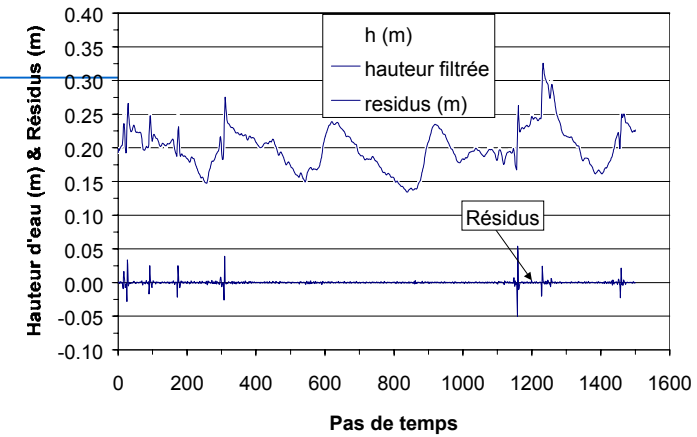


Figure 1 : Écart entre le signal d'origine et le signal filtré
NB : Ce type de filtre doit faire l'objet d'ajustements empiriques progressifs pour éviter autant que possible que des variations réelles de la grandeur mesurée n'apparaissent comme des valeurs douteuses

6. Redondance matérielle (A ou B)

Deux capteurs mesurent la même grandeur. Après toutes les corrections d'étalonnage ou autre, les deux capteurs doivent fournir la même valeur, aux incertitudes près. L'écart entre les deux signaux est utilisé comme indicateur de défauts. Lorsque l'écart s'écarte significativement de zéro, la présence d'un défaut est mise en évidence. Sans information supplémentaire, il n'est pas possible de mettre en cause l'un des deux capteurs ou bien les deux. Ce type de test est opérationnel pour les erreurs d'amplitude importante. Pour les erreurs de faible amplitude, telle que la dérive progressive d'un capteur, fréquente en réseau d'assainissement, ce type de test est insuffisant. On utilise le test de Page - Hinkley pour détecter la valeur du signal s'écartant de la moyenne zéro.

Soit $S1_i$ les valeurs fournies par le premier capteur et $S2_i$ celles fournies par le second :

$$\varepsilon_i = S1_i - S2_i$$

Le signal ε_i a pour moyenne $\mu_0 = 0$. On peut détecter les variations positives ou négatives de ε_i supérieures à un seuil. Soit λ le seuil de détection et n le nombre de valeurs observées avant la détection.

Test 1 :

$$\text{Soit } U_n = \sum_{k=1}^n \left(\varepsilon_k - \mu_0 - \frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{avec } U_0 = 0 \quad \text{et } m_n = \min_{0 \leq k \leq n} U_k \quad \text{Eq. 1}$$

L'augmentation de la moyenne est détectée pour $U_n - m_n > \lambda$

Test 2 :

$$\text{Soit } V_n = \sum_{k=1}^n \left(\varepsilon_k - \mu_0 + \frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{avec } V_0 = 0 \quad \text{et } M_n = \max_{0 \leq k \leq n} V_k \quad \text{Eq. 2}$$

La diminution de la moyenne est détectée pour $M_n - V_n > \lambda$

L'instant du changement est le dernier instant pour lequel le maximum de M_n ou le minimum de m_n a été atteint avant la détection.

7. Redondance analytique (A ou B)

Ce test relève du même principe que le précédent, la comparaison étant effectuée ici entre deux grandeurs corrélées (pluie et débit ou hauteur et vitesse). A partir d'un modèle M , on calcule $G1$ à l'aide d'une ou plusieurs autres grandeurs (G_i). Le test consiste à comparer la grandeur mesurée $G1$ et la valeur de cette même grandeur calculée par le modèle ($G1c$). La sensibilité du test dépend de l'incertitude des données (G_i) et du modèle (M).

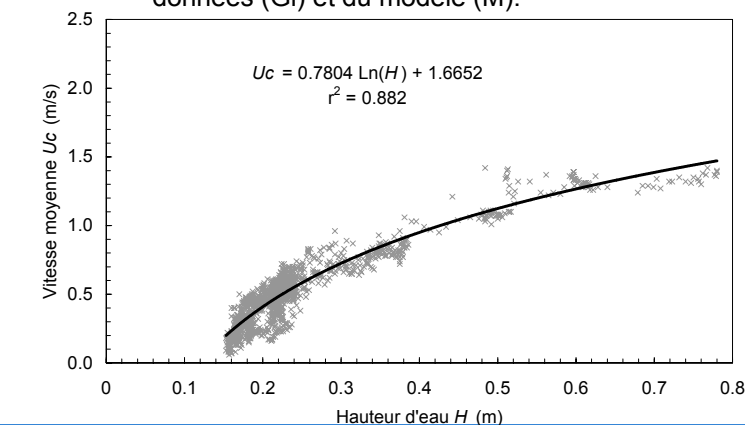


Figure 2 : relation entre la hauteur d'eau H et la vitesse moyenne d'écoulement U (en ordonnée) dans un collecteur.

En noir, la courbe calculée avec un modèle M, les points gris sont les valeurs ponctuelles mesurées au vélocimètre Doppler.