

## LES MESURES EN HYDROLOGIE URBAINE : NECESSITE ET DIFFICULTES DE L'EXPERIMENTATION IN SITU

par Mark CARLETON, Bernard CHOCAT, Amar KHELIL, Laboratoire Méthodes,  
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON - 69621 VILLEURBANNE Cédex

### 1. CADRE GENERAL

L'hydrologie urbaine peut être définie comme "La science interdisciplinaire de l'eau et de ses relations avec les différentes activités humaines en zones urbaines" [E. JONES, 1971]. L'évacuation des eaux pluviales constitue le principal champ d'investigation de cette "science" tant par le coût des investissements nécessaires que par la complexité des phénomènes en cause. Il s'agit d'une préoccupation très ancienne en ce qui concerne la mise en oeuvre des techniques, mais très récente pour ce qui touche sa formalisation scientifique.

Du fait de la croissance énorme des villes, des considérations économiques ont amené à rechercher une rationalisation du choix des dimensions des conduites. La connaissance des phénomènes étant à la base de tout essai de modélisation, s'est alors posé le problème de la mesure.

Les quantités à mesurer étant bien déterminées (pluie sur le bassin versant et débit à l'exutoire), l'hydrologie urbaine, comme toute discipline nouvelle a alors emprunté les méthodes et les outils de disciplines voisines, travaillant sur les mêmes quantités. Les météorologistes ont fourni leur réseau de pluviomètres, les hydrauliciens les venturi et les seuils déversants, les hydrologues ont proposé leurs limnimètres.

Ces appareillages ont permis d'obtenir quelques informations sur le fonctionnement des réseaux, puis de construire les premiers modèles. Ils ont pourtant très vite montré leurs insuffisances : densité insuffisante des réseaux pluviométriques, absence de section de mesures adaptées, écoulements très perturbés et très rapidement variés dans les réseaux d'assainissement.

C'est pourquoi, depuis une dizaine d'années a commencé à se développer une métrologie spécifique, adaptée aux conditions particulières de l'hydrologie urbaine. C'est dans ce cadre que se situe les deux expérimentations que nous allons maintenant présenter.

### 2. PREMIERE EXPERIMENTATION : MISE EN PLACE D'UN RESEAU DENSE DE PLUVIOGRAPHES SUR LA COMMUNAUTE URBAINE DE LYON

La Communauté Urbaine de Lyon est la seconde agglomération française. Elle dispose d'un réseau d'assainissement de près de 2 000 kilomètres drainant un bassin versant d'une surface de 60 000 hectares. Depuis 10 ans, un ensemble d'études menées en collaboration entre le Service Assainissement de la COURLY, la Société d'informatique communale ICARE et le Laboratoire Méthodes de l'INSA de Lyon

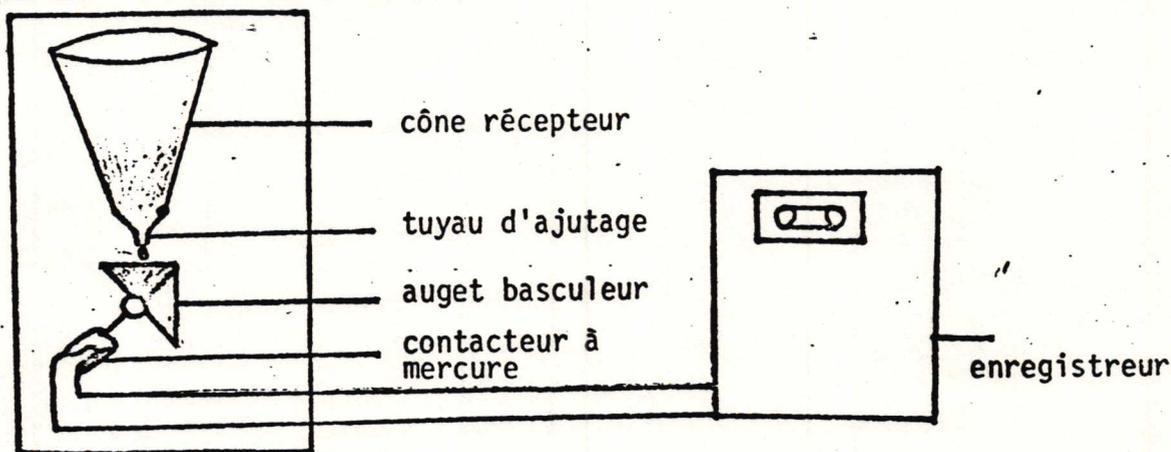
a permis de construire un ensemble d'outils informatiques autorisant la simulation généralisée du fonctionnement de ce réseau. L'un des points faibles du système résidait dans la méconnaissance des pluies d'origine convective, susceptibles de provoquer les débits les plus importants. C'est pourquoi, en 1983, avec l'appui financier du Plan Urbain et de l'Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse et avec le concours de la Météorologie Nationale, il a été décidé d'implanter un réseau dense de pluviographes enregistreurs visant à améliorer la connaissance des pluies à échelle fine de temps et d'espace.

### 2.1. Description de l'appareillage

Le réseau est constitué de 30 postes équipés de façon identique :

- un capteur constitué par un pluviomètre transducteur à impulsion précis-mécanique ;

- un enregistreur numérique AUTEG permettant de stocker sur une cassette magnétique environ un mois de mesures.



La pluie est recueillie par un cône récepteur de  $1\ 000\text{ cm}^2$ , d'où elle s'échappe par un tuyau venant remplir un auget de  $20\text{ cm}^3$ . Lorsque l'auget est rempli, il bascule et le deuxième auget se met en place pour recueillir l'eau. Lors du basculement, le circuit électrique est fermé par un contacteur à mercure et une impulsion électrique est envoyée vers l'enregistreur. Celui-ci comptabilise le nombre de basculements pendant une base de temps fixe de 6 minutes et l'enregistre sur la cassette.

Le choix du nombre de postes bien que guidé par quelques considérations théoriques a surtout été déterminé par le budget disponible (coût d'équipement d'un poste : environ 25 000 francs). En effet, la méconnaissance actuelle de la structure des pluies est telle que nul ne peut raisonnablement définir une maille idéale. Le choix des sites devait répondre à plusieurs exigences difficilement compatibles.

La première est imposée par les normes de mesures elles-mêmes. Il faut installer le pluviomètre "au centre d'un terrain plat découvert dont la plus grande dimension dégagée sera située dans l'axe des vents dominants et à une distance de tout obstacle égale à quatre fois la hauteur de cet obstacle. Le sol en-

-vironnant doit être recouvert d'herbes, de plantes dont la hauteur n'excède pas 30 centimètres ou, à la rigueur, de gravier".

D'autre part, des considérations relatives à l'accessibilité exigeaient que le terrain choisi soit communautaire, municipal ou public, sans que l'accès en soit trop libre, de façon à limiter le risque de déprédations.

En dernier lieu, les appareils devaient être assez uniformément répartis sur la COURLY, bien que les zones topographiquement accidentées semblent nécessiter a priori d'un nombre plus élevé d'appareils.

Le choix du capteur a pratiquement été imposé par la Météorologie Nationale. Il était en effet nécessaire, pour obtenir le concours de cet organisme, de sélectionner un appareil agréé. L'avantage de cette contrainte réside dans la robustesse et la fiabilité du pluviomètre, éprouvées par plusieurs décennies de mise en oeuvre. L'inconvénient majeur est constitué par l'inaptitude du capteur à enregistrer correctement des intensités de pluie très forte (supérieures à 140 mm par heure).

Le choix de l'enregistreur a été beaucoup plus difficile. Il n'existait en effet à l'époque aucune expérience préalable à cette échelle. Après avoir étudié le matériel disponible, nous avons finalement opté pour un enregistreur local sur cassette magnétique. La mise au point définitive de l'enregistreur, conduite par la Société AUTEK, a nécessité trois versions successives et plus d'un an d'expérimentation.

## 2.2. Exploitation de l'appareillage - Premiers résultats

Une fois le réseau en place, de nouvelles difficultés sont apparues. La très grande dispersion des sites dans une zone urbaine de 600 km<sup>2</sup> impose à l'équipe de maintenance des déplacements longs, nombreux et très coûteux en temps. Malgré les protections installées autour des appareils, ces derniers semblent cependant présenter un aspect ludique important (confusion des cônes récepteurs avec des paniers de basket, aspect très décoratif des contacteurs à mercure, ...) qui induit une grande fréquence de mise hors service. Les événements pluvieux les plus intéressants (pluies convectives) sont souvent associés à des phénomènes orageux provoquant un grand nombre de parasites (phénomènes magnétiques, défauts d'alimentation électrique, ...) qui ont nécessité des aménagements de l'appareillage (alimentation assistée, protections diverses) et surtout la mise au point d'un système informatique complexe de détection et de correction des anomalies de mesures. Enfin et surtout le caractère aléatoire et non reproductible des pluies rend très difficile l'analyse et l'interprétation des résultats observés. Après un an de mesures, nous sommes ainsi arrivés à la conclusion qu'il était nécessaire

- de disposer de plusieurs années d'observations avant de pouvoir tirer des conclusions fiables sur le phénomène observé (d'autant que l'on s'intéresse aux événements exceptionnels) ;

- de doubler le réseau pluviographique par un autre système d'observation susceptible de fournir d'autres types d'informations sur le phénomène. Le radar de la Météorologie Nationale installé à SATOLAS est susceptible de jouer ce rôle mais des difficultés administratives (disponibilité des données, réglage du faisceau adapté au phénomène à observer) et techniques (interprétation des résultats) limite encore son utilisation.

### 3. DEUXIEME EXPERIMENTATION - ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UN DEVERSOIRE D'ORAGE

Le réseau de la COURLY est de type unitaire. Lors de pluie importante entre 80 et 90 % du volume d'eau recueilli est déversé dans le Rhône ou dans la Saône par les 200 déversoirs d'orage équipant le réseau. Les déversoirs d'orage posent une difficulté particulière : les lois classiques de la mécanique des fluides ne sont pas suffisantes pour expliquer leur fonctionnement ! Les équations d'EULER reposent en effet sur une vision continue des phénomènes et dans le cas d'une discontinuité (partage de l'eau entre deux branches) le système n'est pas fermé et le nombre d'inconnues est supérieur au nombre d'équations. De nombreuses études empiriques, en particulier sur modèles réduits (DE MARCHI, 1934), (FRAZER, 1957), (EL KAASAB et SMITH, 1976), ... ont permis d'établir quelques résultats fragmentaires sur le fonctionnement de ces ouvrages. La mise au point ces dernières années de nouveaux débitmètres à ultrason permettait d'envisager des progrès notables dans la compréhension du phénomène. C'est pourquoi l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse et la Communauté Urbaine de Lyon ont décidé d'équiper un déversoir de façon très complète et de confier l'étude à l'INSA.

#### 3.1. Description de l'appareillage

Le site retenu est le déversoir situé à l'angle de la rue de la Liberté et du cours Lafayette, dans le troisième arrondissement. Il s'agit d'un déversoir latéral classique à seuil bas. L'appareillage de mesure retenu pour l'équipement est le suivant :

- trois débitmètres CR2M SAD 800 - DBM - HS - XVS constitués
  - . d'une sonde ultrasons pour la mesure des hauteurs,
  - . de trois sondes ultrasons pour la mesure des vitesses,
  - . d'un intégrateur,
  - . d'un enregistreur numérique sur cassette DOS ;

Ces débitmètres permettent une mesure en continu de la hauteur, de la vitesse et du débit à l'amont et à l'aval ainsi que dans la branche déversante.

- trois préleveurs échantillonneurs ENDRESS HAUSER composés
  - . d'un échantillonneur ASP 9260 dont la fréquence de prélèvement est réglable en fonction du temps ou du débit,
  - . d'un répartiteur et d'une armoire frigorifique dérivés du modèle ASP 9465 ;

Ces préleveurs sont mis en route par un détecteur de niveau et permettent de connaître la qualité de l'eau en trois points lorsque le déversoir fonctionne.

- une caméra BAUER C505 XL asservie à un déclencheur image par image et mise en route par un détecteur de niveau ;

Cette caméra permet d'avoir une indication sur l'allure de la ligne d'eau au-dessus du seuil, repérée par cinq règles.

- un limnigraphe bulle à bulle RICHARD et PEKLY type NR 1138 permettant de contrôler le niveau du Rhône à l'aval du déversoir dans la branche déversante.

Bien que dérivés d'appareils existants, la totalité des capteurs et de l'électronique a dû être adaptée aux conditions particulières du site et au cahier des charges de l'expérimentation. Il s'agit donc, sauf dans le cas du limnigraphe, de prototypes qui ont dû être mis au point spécifiquement pour la campagne de mesure.

### 3.2. Difficultés de l'expérimentation et premières conclusions

Contrairement à l'exemple précédent, l'ensemble du matériel est rassemblé sur un seul site. La surveillance et l'exploitation de l'expérimentation en sont donc plus simple. Cependant, là encore les difficultés rencontrées ont été nombreuses.

En premier lieu les conditions matérielles d'exploitation du site : chaque intervention nécessite un balisage de la chaussée et une personne en permanence à la surface pour limiter les risques d'accident de circulation ; le trafic important de la rue de la Liberté est très perturbé par nos interventions (restriction de 2 à 1 voie de circulation). D'autre part, la place disponible dans l'ouvrage est très réduite ce qui est extrêmement gênant en particulier pour la manipulation des préleveurs.

La deuxième difficulté a résidé dans le caractère très expérimental, voire artisanal du matériel de mesure utilisé. Il a fallu par exemple près d'un an de mise au point avant de commencer à mesurer correctement (?) les débits. Cette difficulté a encore été accentuée par notre non-maîtrise des conditions de fonctionnement de l'ouvrage. Nous nous intéressons au fonctionnement du déversoir, or ce dernier n'entre en action que pour des pluies importantes. Les tests possibles de l'appareillage en condition normale de fonctionnement étaient donc très limités et presque totalement imprévisibles. Cette difficulté a pu être en partie palliée en agissant sur des vannes à l'aval de façon à faire déverser l'ouvrage par temps sec. Cependant, cette méthode, d'ailleurs guère appréciée par l'Agence de Bassin (!) ne permettait pas d'obtenir des conditions de fonctionnement idéales (valeur des débits beaucoup trop faibles).

## Conclusion

Nous venons de décrire à travers deux exemples les difficultés rencontrées par l'expérimentation in situ en hydrologie urbaine. Ces difficultés, pour importantes qu'elles soient, ne sont pas les seules, il en existe une autre, fondamentale, qui nous amène à nous interroger sur la validité même de telles mesures. PROGOGINE (1979) définit le processus expérimental de la façon suivante : "Le dialogue expérimental avec la nature, que la science moderne se découvre capable de mener de façon systématique, ne suppose pas une observation passive mais une pratique. Il s'agit de manipuler, de mettre en scène la réalité physique jusqu'à lui conférer une proximité maximale par rapport à une description théorique. Il s'agit de préparer le phénomène étudié, de le purifier, de l'isoler jusqu'à ce qu'il ressemble à une situation idéale, physiquement irréalisable mais intelligible par excellence puisqu'elle incarne l'hypothèse théorique qui guide la manipulation". Disposons-nous d'une description ou même d'une "hypothèse théorique" ? Ne substituons-nous pas à la "pratique" expérimentale une "observation passive" ? Sommes-nous capables de "préparer, de purifier, d'isoler le phénomène étudié" jusqu'à rendre l'expérience "reproductible en tout temps en tout lieu" ?

Aucune de ces interrogations ne peut pour l'instant obtenir de réponse claire. Ces questions se posent sans doute parce que l'hydrologie urbaine est une discipline trop récente, elles ont dû se poser à toutes les sciences nouvelles. En pratique, nous pensons que la théorie ne précède pas davantage l'expérimentation que l'oeuf ne précède la poule. Les deux doivent s'élaborer en commun en s'enrichissant mutuellement. Le processus n'en est qu'à son début, souhaitons qu'il se développe.

## Bibliographie

- E. JONES (1971) "Where is urban hydrology practised today", Journal of the Hydraulics Division, vol. 97, p. 257-264.
- A. KHELIL, B. CHOCAT (1984) "Mise en place d'un système de mesures pluviographiques" 1<sup>o</sup> rapport d'avancement, rapport INSA 84-05, Octobre 1984, 23 p. + annexes.
- M. CARLETON, B. CHOCAT (1984) "Analyse et modélisation du fonctionnement des déversoirs d'orage, 1<sup>o</sup> rapport : Bibliographie et description de la méthode d'expérimentation", rapport INSA 84-03, Mars 1984, 34 p. + annexes.
- M. CARLETON, B. CHOCAT (1984) "Analyse et modélisation du fonctionnement des déversoirs d'orage, 2<sup>o</sup> rapport : La modélisation mathématique retenue et les premiers résultats de l'expérience", rapport INSA 84-10, Octobre 1984, 39 p.
- G. DEMARCHI (1934) "Saggio di Teoria del funzionamento degli stramazzi laterali", L'energia elettrica, Novembre 1934.
- W. FRAZER (1957) "The behaviour of side weirs in prismatic rectangular channels", proceedings of the Institute of Civil Engineers, Londres, vol.6, Février 1957.
- A. EL-KHASHAB, K.V.H. SMITH (1976) "Experimental investigation of flow over side weirs", Journal of the Hydraulics Division, vol. 102 n°HY9, Septembre 1976.
- I. PROGOGINE, I. STENGERS (1979) "La nouvelle alliance - Métamorphose de la science", Editions Gallimard, Bibliothèque des sciences humaines, 296 p.