

QUELQUES PERFECTIONNEMENTS APPORTES par les HYDROLOGUES FRANCAIS  
aux INSTRUMENTS UTILISES pour les OBSERVATIONS et les MESURES

---

par J.A. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France  
Chef du Service Hydrologique de l'Office de la  
Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Par définition, un appareil de mesures hydrométéorologiques est soumis à toutes sortes d'intempéries, il est très fréquent également qu'il soit mis entre les mains d'agents de compétence insuffisante. On comprend, dans ces conditions, qu'il ne suffit pas qu'un nouvel instrument donne satisfaction dans le laboratoire ou l'institut où il a vu le jour, parce que ses dispositions de principe sont saines, pour qu'il rende les services qu'on en attend dans les conditions habituelles d'exploitation qui ne sont pas, malheureusement, toujours normales.

Dans ces conditions, un nouvel appareil doit presque toujours faire l'objet de multiples mises au point avant de pouvoir être recommandé à tous. Or, il est assez difficile de disposer de moyens d'opérer ces mises au point dans le domaine de l'hydrologie. La demande en appareils d'un type déterminé est faible, il est rare qu'un constructeur accepte de participer aux recherches de mises au point car elles aboutiront à une fabrication en toute petite série, dont le rapport financier sera pour lui bien minime. Les services hydrologiques font généralement ce qu'ils peuvent avec les moyens dont ils disposent et bien fréquemment, dans nos pays, on s'arrête à un moyen terme : on ne termine pas la mise au point de l'appareil et les hydrologues déploient toute leur ingéniosité et leur habileté pour pallier à ses insuffisances. Beaucoup d'essais intéressants n'ont pas de suite pour la même raison. Qu'on me permette un exemple personnel. Nous avons, il y a 8 ou 9 ans, commencé la réalisation de pluviographes à transmission radio, faute d'argent et de temps nous n'en avons jamais terminé la mise au point alors que nous étions à peu près sûrs du succès. Ceci

est beaucoup plus rare lorsque les moyens mis à la disposition des chercheurs sont suffisants, ce qui arrive parfois dans certains cas.

Il en résulte que dans ce qui va suivre, nous passerons sous silence des perfectionnements intéressants mais qui peuvent s'avérer inutilisables dans les applications pratiques, et nous citerons par contre le cas de perfectionnements ayant déjà quelques années mais qui ont passé avec succès l'épreuve de l'application pratique. Si certains d'entre eux intéressaient d'autres pays ou si nous pouvions trouver dans nos discussions un élargissement du champ d'application de certains autres, nous estimerions ne pas avoir fait perdre inutilement leur temps à nos auditeurs.

Nous suivrons, ci-après, l'ordre habituel des catégories de phénomènes à observer en hydrologie.

## I - OBSERVATIONS et MESURES des PRECIPITATIONS -

En ce qui concerne la pluie, les hydrologues français ont surtout fait porter leurs efforts sur la transmission des résultats de mesures. On peut dire qu'actuellement les pluviophones sont parfaitement au point. Leur étude a été réalisée en même temps que celle des limniphones dont nous parlerons plus loin.

Ils fournissent la hauteur de précipitations par le réseau téléphonique normal, on peut les appeler comme on appellerait un correspondant quelconque. Ils sont utilisés surtout pour la prévision des débits.

Dans le pluviophone, les précipitations sont mesurées par un pluviographe à augets basculeurs, chaque mouvement des augets donne lieu à une impulsion faisant tourner une première came cylindrique à 10 gradins faisant 1/10 de tour pour 0,1 m de précipitations, cette came entraîne une seconde pour les millimètres et une troisième pour les centimètres. Les gradins des cames commandent, lors des appels téléphoniques, des têtes de lectures d'amplificateurs devant un ruban magnétique entraîné par un tambour rotatif. L'ensemble depuis les cames étant exactement le même que pour les limniphones qui seront décrits plus loin.

La transmission sûre et rapide peut être également utile sur les bassins expérimentaux. Dans le cas où l'enregistrement sur bandes continues n'est pas possible, le relevé journalier de tous les pluviomètres et pluviographes peut présenter de sérieuses difficultés : par exemple, en forêts tropicales très arrosées, avec un sol et un relief tels que les déplacements sont lents et difficiles surtout après les averses. L'Office de la Recherche

Scientifique et Technique Outre-Mer avait cherché à utiliser les mouvements des augets basculeurs des pluviographes pour émettre, par radio, des signaux qui auraient été reçus à un poste central. Des essais satisfaisants avaient été effectués avec un émetteur prototype, malheureusement mis dans les dures conditions de la brousse guinéenne ces émetteurs n'ont pas donné satisfaction, les signaux étaient complètement masqués, pendant les orages, par les parasites atmosphériques dont le niveau était particulièrement élevé. Avec l'appareillage radio existant, le problème est certainement soluble à l'heure actuelle.

Dans ces conditions, on a conservé l'idée fondamentale en employant la transmission par fil, les contacteurs à mercure commandés par les augets basculeurs fermant le contact des circuits alimentés par 5 batteries ~~de~~

d'accumulateurs de 12 volts.

Au poste central, les circuits commandent par relais, d'une part, des compteurs à impulsion et, d'autre part, la plume enregistreuse d'un rectigraphe, chaque basculement de l'auget étant marqué par un trait vertical. Deux précautions importantes sont à prendre : l'installation doit être pourvue de bons parafoudres et les fils doivent être montés assez lâches, à 40 ou 50 cm du sol, pour que la chute d'un arbre ne les rompe pas obligatoirement. Malgré ces précautions, on a prévu l'installation d'un circuit de contrôle permettant de décèler rapidement l'endroit du réseau où se produirait un incident.

Deux bassins expérimentaux ont été équipés de cette façon, l'un en GUYANE sur la Crique VIRGILE, avec 9 pluviographes (superficie du bassin : 7,6 km<sup>2</sup>), l'autre en COTE d'IVOIRE. L'installation de GUYANE qui, après bien des difficultés a fini par donner toute satisfaction, vient d'être remontée sur un autre bassin expérimental, à la Crique CACAO.

En ce qui concerne la neige, la Division Technique Générale d'Electricité de France a poursuivi la mise au point du nivomètre à absorption de rayon  $\gamma$ . Les derniers perfectionnements ont été décrits dans une communication faite au Congrès de BERKELEY par MM. F. LUCIEZ, P. GUILLOT, JACOB et VUILLOT. Les ~~derniers~~ perfectionnements sont les suivants :

1°) On compte le temps pour un nombre de décharges données du compteur Geiger Müller, de sorte que l'erreur standard est indépendante de l'épaisseur de la neige à mesurer.

2°) On emploie deux compteurs, l'un pour des équivalents de 0 à 600 mm d'équivalent en eau, l'autre pour 600 à 1 200 mm, le premier est protégé par une cale en plomb équivalente à 600 mm d'eau.

3°) On a étudié de façon très serrée les dimensions des collimateurs de la source et du compteur G.M. pour limiter au minimum les effets du rayonnement diffus. Les variations de comptage ne dépassent pas 0,6 % pour des équivalents en eau de 300 mm.

4°) Equipement électronique et compteur sont placés sous la couche de neige pour que leur température soit aussi peu variable que possible.

5°) On a pu supprimer l'étalonnage avec une source radioactive auxiliaire, ce qui a simplifié l'appareillage.

La transmission radio a été particulièrement satisfaisante. L'installation expérimentale du Col de PORTE transmettait à 15 km les données du nivomètre, un signal au début du temps de comptage qui correspondait à  $10^4$  décharges et un autre à la fin. La puissance antenne était de 2 watts. Les impulsions sont modulées à 10 kHz en amplitude sur une fréquence porteuse de 71,2 MHz. On a pu suivre ainsi, avec une précision de 3 mm, les variations diurnes de la valeur en eau provoquée par la fusion de la neige (de 5 à 30 mm).

## II - EVAPORATION -

Les recherches ont porté plus particulièrement sur l'enregistrement de l'évaporation sur bacs.

Cet enregistrement répond à trois préoccupations :

1°) L'observation d'un bac est souvent plus délicate que celle d'un pluviomètre et, dans certaines régions, les erreurs de lectures sont plus fréquentes encore sur les bacs que sur les pluviomètres et plus difficiles à déceler.

L'enregistrement permet de contrôler, ou même de remplacer, l'observateur.

2°) L'évaporation sur bac est difficile à mesurer les jours de pluies, si celles-ci sont assez courtes l'enregistrement permet d'effectuer les corrections nécessaires.

3°) Il peut être utile, dans certains cas, de connaître les évaporations horaires.

Nous citerons trois exemples de mise au point récente. Les hydrologues de Etudes et Recherches et de l'Inspection Générale pour la Coopération Hors Métropole d'Electricité de France ont mis au point un dispositif à flotteur demi cylindrique qui maintient le niveau constant, la rotation du demi cylindre commandant par pompage le soutirage ou l'injection d'eau dans le bac, les quantités soutirées ou ajoutées. La rotation du flotteur doit se faire sans inertie.

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer a mis en service à BANGUI un bac enregistreur dans lequel un flotteur commande un levier vertical presque sans inertie commandant par deux relais deux petites pompes envoyant de l'eau dans le bac ou en soutirant pour maintenir le niveau constant. Les volumes d'eau mis en action par les pompes sont mesurés grâce à des augets basculeurs et à un mouvement de pluviographes. On envisage de supprimer toute inertie en faisant pivoter légèrement par le flotteur de commande un miroir qui, par cellule photo-électrique commandera l'une des deux pompes.

Un autre type d'appareil, beaucoup plus simple et qui a pour objet de contrôler l'observateur, commande par un flotteur dans un puits auxiliaire un levier inscripteur de barographe qui amplifie le mouvement, la remise au niveau constant étant fait par l'observateur. Toutes précautions sont prises pour éviter les erreurs dues aux variations de température et l'effet des frottements. Plusieurs modèles de cet appareil sont en service à MADAGASCAR depuis deux ans et ils donnent toute satisfaction.

Mais pour l'observation horaire de l'évaporation, la principale difficulté consiste dans la différence de dilatation entre le bac et la masse d'eau qu'il contient, ce qui conduit à un arrêt apparent de l'évaporation au moment le plus chaud de la journée. On a envisagé de réduire l'importance de ce phénomène par des bacs en matière plastique.

### III - MESURE des DEBITS -

En ce qui concerne les niveaux des rivières, les recherches ont surtout porté sur la transmission des débits. Une des réalisations les plus intéressantes est le limniphone. Cet appareil, branché sur le réseau téléphonique normal, donne en mètres, décimètres et centimètres la cote de la rivière sur laquelle il est installé, et dix cotes antérieures prises à des intervalles de temps donnés, par exemple, toutes les heures. Il peut être appelé comme un simple abonné, de sorte que plusieurs Services peuvent l'utiliser avec des délais de transmission réduits au strict minimum. Mis au point par la

Division Technique Générale de l'Electricité de France, avec la collaboration de la Société SABEG, son exploitation donne maintenant toute satisfaction, les dernières imperfections ayant été éliminées. Vingt de ces appareils sont installés en France.

Il s'agit d'un simple limnigraphe à flotteur installé dans un puits de 1 m de diamètre, relié à la rivière par un tube assez petit pour réduire au minimum les oscillations dans le puits. La cabine est un peu plus spacieuse que la cabine normale.

Le flotteur commande 3 cames cylindriques, pourvues chacune de 10 gradins, une pour les mètres, une pour les décimètres, une pour les centimètres ; chaque gradin fait déplacer une tête de lecture d'amplificateur devant un tambour sur lequel est appliqué un ruban magnétique. Dix pistes sont devant chaque tête de lecture, chacune donne la cote correspondante en mètres, ou décimètres, ou centimètres. Ce tambour porte également 10 pistes mémoires sur lesquelles sont enregistrées les 10 cotes antérieures et qui se déroulent devant deux autres têtes de lectures une pour l'enregistrement ou la lecture, l'autre pour l'effacement.

Un second moteur commande l'ensemble de relais et de contacts à mettre en route pour un cycle complet de fonctionnement.

Les têtes magnétiques de lectures sont reliées à un amplificateur à transistor qui fonctionne sur courant continu 12 volts. Il permet la transmission du texte lu par les têtes sur les bandes magnétiques et l'effacement ou l'inscription des mémoires.

Le flotteur commande constamment les 3 cames, bien entendu, mais le tambour et l'amplificateur ne sont mis en action que dans deux circonstances :

- 1° - lors d'un appel téléphonique,
- 2° - toutes les heures, par exemple, pour l'inscription des cotes rondes sur les mémoires.

Dans le premier cas, l'appel téléphonique commande l'alimentation de l'amplificateur et des moteurs, les têtes de lectures sont libérées et leurs supports viennent s'appliquer contre les cames qui les amènent chacune devant la piste convenable, le tambour portant les rubans est mis en route.

L'amplificateur est commandé successivement devant une première tête de lecture qui donne l'indicatif du poste, puis devant chacune des 9 autres têtes qui, par leur support, sont placées devant la piste convenable, puis l'amplificateur est commandé sur la tête mémoire qui lit la première piste puis les 9 autres successivement ; l'ensemble de l'opération dure 2 minutes 20 secondes.

Toutes les heures, une pendule mère commande la fermeture du circuit de mise en mémoire. La tête effacement efface la plus anciennes des pistes mémoire et les 3 têtes de lectures commandées par les cames enregistrent la cote. La durée de cette opération est de 7 secondes. Pendant ce temps, la ligne téléphonique est bouclée sur un circuit annexe pour ne pas troubler l'enregistrement.

De même si la pendule mère va intervenir pendant un appel téléphonique, cette impulsion est mise en réserve jusqu'à la fin de l'appel.

Il est nécessaire de protéger soigneusement l'appareil contre la foudre.

Le limnigraphe peut fonctionner sur batterie d'accumulateur de 12 volts, il consomme 1,5 ampères pendant 2' 20" de fonctionnement; mais des risques de pannes par manque d'énergie ont conduit à utiliser une batterie au cadmium nickel fonctionnant en floating avec le réseau 110 volts ou 220 volts, la batterie n'intervenant qu'en cas de panne sur le réseau.

En ce qui concerne la mesure des débits, on a cherché à diminuer l'inertie des moulinets hydrométriques, avec des hélices en plastique de densité voisine de 1 et des moulinets sans contact utilisant par exemple des cellules photo-électriques. Les récepteurs de contact sont alors des compteurs d'impulsion à déclenchement automatique pouvant recevoir plus de 10 contacts par seconde.

Les jaugeages par intégration avec descente continue du moulinet rendent de grands services pour le gain de temps qu'ils procurent, surtout sur les rivières profondes et dangereuses. Le gain de temps sur le dépouillement est aussi très important. Ils ont permis des mesures de débit difficiles, par exemple, sur l'OGOUE où les ponts sont inconnus et où les jaugeages doivent être faits depuis des canots pneumatiques en des sections dangereuses, les hydrologues de l'ORSTOM ont pu effectuer des jaugeages complets dans de bonnes conditions avec des fonds atteignant jusqu'à 18 m. Ce mode de mesure a même rencontré tellement de succès en Afrique que certains hydrométristes sont tentés de l'employer même là où il est inutilisable, par exemple, en cas d'écoulement très irrégulier et faibles fonds.

Des progrès très importants ont été effectués dans ce domaine des jaugeages chimiques. Ces progrès ont porté surtout sur l'utilisation pratique de cette méthode.

On a cherché à augmenter la précision des mesures, à diminuer le poids de l'équipement et à jauger avec précision des débits de plus en plus élevés avec un poids de produits acceptable. Un très gros effort a été fait par la Division Technique Générale d'Electricité de France qui a cherché non à en faire un procédé de mesure de laboratoire, mais un procédé applicable dans les conditions beaucoup plus difficiles du terrain. La méthode par injection instantanée (ou par intégration) s'impose de plus en plus (on sait que cette méthode consiste à verser en une seule fois le produit, en un seul point et à mesurer à l'aval la moyenne dans le temps de la concentration en produit. La concentration doit être homogène dans la section de prélèvement, ce qui suppose a priori un très bon brassage. La concentration des échantillons prélevés est mesurée au colorimètre avec une méthode de zéro qui donne une bonne précision. Divers procédés d'échantillonnage ont été adoptés pour obtenir la valeur de concentration moyenne dans le temps, avec le minimum d'échantillons à passer au colorimètre et le minimum de mesures de concentration de la solution mère. Des règles strictes doivent être suivies pour l'injection, le prélèvement et la mesure des concentrations. On doit donner, par exemple, des consignes de propreté très strictes des appareils pour obtenir une bonne précision. Avec un bon équipement et des opérateurs bien entraînés, on peut jauger couramment au bichromate de soude  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  avec une précision de 2 %, soit la même précision qu'au moulinet lorsque ce dernier est employé dans une section comportant d'excellentes conditions d'écoulement, ce qui est assez rare.

Les essais ont porté sur d'autres produits que le bichromate de soude. Les traceurs radioactifs Brome 82, Iode 131, Tritium, ont donné des résultats encourageants mais les précautions à prendre, le poids de l'équipement et la relative difficulté du dosage par rapport à celui du bichromate handicapent jusqu'ici l'emploi de ces traceurs.

La Rhodamine B semble particulièrement intéressante. Elle peut donner lieu à une reconcentration dans l'alcool isoamylique. L'emploi de la reconcentration, soit avec la Rhodamine B, soit avec le bichromate est particulièrement prometteur. Les derniers essais effectués par la Division Technique Générale laissent espérer l'exécution facile et avec un matériel léger de jaugeages de plusieurs centaines de  $\text{m}^3$ . Ceci est particulièrement important car l'expérience a montré qu'on ne peut obtenir de bons résultats qu'avec des hydrométristes spécialisés dans les jaugeages chimiques. Un petit Service Hydrologique ne peut pas effectuer, avec précision, 20 jaugeages chimiques par an, uniquement pour les faibles débits et les sections difficiles. La possibilité de jauger avec un matériel léger plusieurs centaines de  $\text{m}^3/\text{s}$  élargira l'emploi de la méthode chimique et permettra à bien des Services Hydrologiques de former un spécialiste de cette méthode et d'acquérir l'appareillage nécessaire.



En ce qui concerne le dépouillement, la masse de documents à analyser rend nécessaire la mise au point d'appareillage automatique, mais elle est cependant encore insuffisante pour rendre rentable une totale automaticité, surtout parce que les études hydrologiques sont réparties entre plusieurs Services. En outre, le fait qu'il est nécessaire de modifier assez souvent certaines courbes de tarage facilite également en faveur d'un semi-automatisme. Electricité de France a mis au point un procédé de dépouillement semi-automatique des limnigrammes. Ceci exige que toutes les stations soient pourvues du même type de limnigraphe.

L'opérateur repère avec un stylet sur le limnigramme les hauteurs obtenues toutes les 2 heures et envoie chaque fois un ordre à un voltimètre numérique. La courbe de tarage est introduite par 18 potentiomètres. Le voltimètre numérique commande une tabulatrice qui imprime les valeurs correspondantes du débit, fait la moyenne, et imprime le débit journalier.

Dans le même ordre d'idée, l'Office National Météorologique met actuellement au point un dispositif semi-automatique de dépouillement des diagrammes de pyrhiéliographes.

On voit souvent, dans tout ce qui précède, les retards apportés à ces recherches par le manque de temps et de moyens financiers. Ceci tient souvent au fait que les divers Services exploitent un nombre insuffisant de stations de mesures, de sorte que la masse de moyens susceptibles d'être utilisés pour perfectionner instruments et méthodes restent malheureusement proportionnée à ce trop faible nombre de stations. Ceci montre tout l'intérêt de la création de Services hydrologiques nationaux, de la coordination à l'échelle nationale entre divers Services lorsque la création d'un véritable Service hydrologique est impossible et, enfin, à l'échelle internationale, d'échanges d'informations tels que ceux qui ont marqué la présente réunion.