

PRELEVEMENT AUTOMATIQUE D'UN ECHANTILLON PROPORTIONNEL
AU VOLUME ECOULE SUR PETITS BASSINS VERSANTS

Jean-Marie FRITSCH
Chargé de recherches à l'ORSTOM

Résumé : Cette Communication présente un automate piloté par microprocesseur et destiné à prélever à intervalles de temps déterminés des quantités d'eau proportionnelles au débit de la rivière à cet instant, afin d'obtenir un échantillon cumulé proportionnel au volume écoulé entre deux visites de l'appareil. La conception, la réalisation et les essais ont été menés conjointement par l'Etablissement d'Etudes et de Recherches de la Météorologie Nationale et par le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

I. LES CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION : LE PROGRAMME ECEREX EN GUYANE FRANCAISE

Le programme ECEREX (ECoulement, EROsion, EXpérimentation) se propose d'étudier l'écosystème forestier amazonien et ses possibilités de mise en valeur agricole, sylvicole et pastorale après un défrichement de type papetier.

Les opérations ont commencé en 1977 et doivent se poursuivre jusqu'en 1985. Le protocole des études hydrologiques comporte l'observation des paramètres pluie, écoulement et érosion pendant 2 années sous forêt primaire, puis ces études se poursuivent après un déforestation et la mise en place d'aménagements réputés vraisemblables tels que pâturages, vergers d'agrumes, plantations d'espèces à croissance rapide (pins et eucalyptus), recru enrichi, etc... Par comparaison avec les régions voisines, (Vénézuéla, Brésil), l'érosion dans la deuxième phase est redoutée et bénéficie d'une attention toute particulière.

Ces expérimentations sont faites sur 10 bassins versants drainant chacun 1,5 ha environ. Chaque exutoire comporte un canal bétonné de 1 m de large, avec une fosse à sédiments et un déversoir métallique. Sept bassins sont équipés d'une lame en V avec un angle de 35° à la base et trois bassins sont contrôlés par un jaugeur américain de type H-FLUME.

Cette infrastructure possède un avantage spécifique déterminant pour la réalisation de l'échantillonneur, dans le fait que l'on dispose d'une dénivelée de 1 m à 1,5 m le long des canaux d'amenée. Il n'y a donc pas lieu de prévoir de pompage et les prélèvements peuvent être assurés par un dispositif gravitaire.

Dans une première étape la connaissance des transports solides en suspension et en solution a été acquise à partir d'échantillons d'eaux de 2 litres prélevés à la main par des observateurs résidant sur les bassins. Compte tenu de la petite taille des bassins, les hydrogrammes de crue peuvent présenter des formes très irrégulières et de ce fait le nombre d'échantillons nécessaires pour suivre la variation du phénomène est très grande (plus de 7000 flacons analysés en 1979).

La concentration en matières solides de chaque échantillon doit ensuite être associée au débit de la rivière à l'instant du prélèvement et une interpolation graphique, parfois non exempte d'une certaine subjectivité, est nécessaire pour construire un 'solidogramme' par similitude avec l'hydrogramme de la crue et de connaître ainsi le flux d'éléments solides transités pendant celle-ci.

La solution d'un préleveur automatique s'imposait donc tout à la fois pour améliorer la précision de la mesure et pour réduire les coûts d'exploitation sur le terrain et au laboratoire, et décharger les hydrologues de dépouillements longset fastidieux et par là-même d'augmenter la productivité de l'équipe de recherche.

Pour atteindre la deuxième série d'objectifs, la solution du prélèvement même automatisé de nombreux échantillons ne pouvait être retenue. Il fallait donc s'orienter vers un appareil prélevant un seul échantillon cumulé dans un même réservoir dont les caractéristiques seraient à chaque instant celles du volume écoulé.

2. OBJECTIFS ET CONTRAINTES FIXEES AU PRELEVEMENT AUTOMATIQUE : LE CAHIER DES CHARGES

2.1 Définition de l'échantillon moyen

La masse d'un élément solide quelconque (matière en suspension, anion, cation, silice dissoute) qui transite à travers une section de contrôle hydrologique entre les instants t_1 et t_2 s'exprime par la relation.

$$W = \int_{t_1}^{t_2} C(t) \cdot Q(t) dt$$

$Q(t)$ étant le débit liquide du cours d'eau et $C(t)$ la concentration en poids par unité de volume liquide de l'élément considéré.

La composition de l'échantillon moyen est telle que sa concentration \bar{C} satisfasse à la relation :

$$W = \bar{C} \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad \text{c'est-à-dire } W = \bar{C} \times V,$$

V étant le volume d'eau écoulé entre les instants t_1 et t_2

2.2 Les caractéristiques hydrologiques du milieu étudié

Les caractéristiques de turbidité des eaux de ruissellement sont très variables d'un bassin à l'autre, à l'origine pour des raisons pédologiques,

puis par l'action anthropique, selon le type d'aménagement choisi et les façons culturales. La figure 1 présente la répartition fréquentielle du poids des suspensions pour les échantillons prélevés en 1979 sur 3 des 10 bassins (fig. 1). La courbe B correspond à un bassin couvert de forêt primaire, sur sol imperméable. Les 523 échantillons prélevés s'ordonnent selon une courbe unimodale de faible dispersion avec 93% des prélèvements présentant de 6 à 63 milligrammes de matières en suspension par litre d'eau. Les valeurs les plus fréquentes se situent entre 15 et 20 mg/l. La dégradation spécifique par suspension est de l'ordre de 20 tonnes/km²/ par an sur ce bassin.

La courbe A, obtenue à partir de 1079 échantillons est celle d'un bassin de type B (imperméable), mais que l'on a défriché au bulldozer et qui est resté à l'état de sol nu en 1979. Le mode des prélèvements est passé à 40 mg/l avec des valeurs dépassant 5000 mg/l. La dégradation spécifique atteint 500 tonnes/km²/an.

La courbe C est celle d'un bassin défriché selon les techniques de A mais les sols sont perméables et conduisent à une situation intermédiaire, comme l'histogramme de ce bassin permet de le constater.

En ce qui concerne les écoulements, la courbe des débits journaliers classés du bassin B montre qu'il y a de 210 à 250 jours sans écoulement et que celui-ci reste inférieur à 1 l/s pendant 30 à 40 jours. Le maximum enregistré en 1977 (18,5 l/s) correspondrait à récurrence décennale (M.A. ROCHE 1978). Le volume écoulé se jour là (1600 m³) exclut l'utilisation d'un partiteur statique à prélèvement permanent puisqu'il faudrait réaliser à chaque instant un prélèvement de 1/16.000 du débit pour disposer en fin de journée d'un échantillon cumulé de 100 litres. La gamme des débits que l'on se propose de mesurer à l'exutoire des bassins va de 0,5 l/s à 300 l/s, ce qui signifie que les débits d'un prélèvement permanent devraient varier entre 0,3 et 19 cm³ par seconde. Pour limiter le volume maximum de l'échantillon moyen à l'ordre de la centaine de litres tout en conservant un débit de prélèvement significatif un préleveur périodique s'imposait.

2.3 Périodicité des prélèvements élémentaires

La fréquence des prélèvements doit être au moins égale à celle des points nécessaires pour reconstituer fidèlement l'hydrogramme. Sur les bassins ECEREX, cette 'période significative' peut descendre à 2 minutes pendant certaines crues mais en général ce créneau est de l'ordre de 5 minutes. L'appareil donc a été conçu pour effectuer des prélèvements équidistants dans le temps avec une période pouvant être prélectionnée par l'utilisateur dans une gamme allant de 1 à 15 minutes.

2.4 Volume de chaque prélèvement élémentaire

Le volume $v(t)$ prélevé à chaque opération doit être dans un rapport K avec le débit $Q(t)$ de la station ($v(t) / Q(t) = K$). La valeur K est

fixée par des contraintes suivantes :

- L'appareil est prévu pour être visité toutes les 24 heures. L'échantillon cumulé doit pouvoir être recueilli dans sa totalité lors des crues exceptionnelles mais le volume doit rester significatif pour les petites crues.

- La durée de chaque prélèvement ne doit pas dépasser la période entre le prélèvement lors des débits maximums, mais cette durée doit rester significative (quelques secondes) pour les petits débits.

L'échantillon moyen proportionnel au volume écoulé, la forme de l'hydrogramme n'a pas d'incidences sur la quantité finale et les débits moyens journaliers peuvent par conséquent servir de base pour fixer la valeur de K. Ainsi en admettant la valeur de 10 l/s comme récurrence annuelle du débit moyen journalier et celle de 0,5 l/s pour limite inférieure de sensibilité utile et en prélevant 288 fois par jour, soit une opération toutes les 5 minutes, une valeur de K égale à $3 \cdot 10^{-2}$ (30 cm³ d'eau prélevés pour un débit de 1 l/s au déversoir) conduit à des volumes cumulés respectifs de 86,4 l et de 4,3 litres. La crue journalière décennale de 18 l/s amènerait à collecter un volume de 155 litres que l'on peut encore envisager de recueillir, à titre exceptionnel.

Ainsi que nous l'avons déjà signalé, une caractéristique importante des stations hydrologiques d'ECEREX est de pouvoir disposer d'une dénivellée latérale aux canaux des déversoirs de l'ordre de 1,5 m (fig. 2). Cette particularité nous a permis d'adopter la solution d'une prise d'eau statique débitant en permanence, ce qui économisait l'énergie électrique nécessaire au pompage et simplifiait d'autant la réalisation.

La géométrie de la prise est fixée de la façon suivante :
Un tube de cuivre horizontal 8/10 mm de 15 cm de long traverse la maçonnerie du déversoir à la cote $H_0 = 5$ cm. Ce tube reçoit côté canal un coude de cuivre (ϕ intérieur = 10 mm) dirigé vers le bas de façon à empêcher l'entrée de débris flottants et à éviter une courbure exagérée de la fonction $q = f(H)$ au voisinage de H_0 , q étant le débit de la prise. L'écoulement est canalisé jusqu'à l'unité de prélèvement par un tube de plastique souple et transparent fixé sur un guide ayant une pente de 10 cm pour une longueur de 60 cm et terminé par un col de cygne de rayon de courbure $R = 32$ mm.

L'étalonnage de cette prise a été fait expérimentalement sur l'intervalle 5 cm - 100 cm à l'aide d'un bac de niveau constant et varie de 52 à 141 cm³/seconde (fig. 3).

2.5 La fonction de prélèvement

Connaissant la fonction $q = f(H)$ de la prise statique, la fonction $Q = f(H)$ du déversoir et ayant choisi le paramètre K, il est aisé de définir la fonction $T = f(H)$ qui représente la durée élémentaire de chaque prélèvement qui devra avoir lieu à chaque intervalle de temps choisi par l'utilisateur.

2.6 Considérations économiques

Enfin les contraintes budgétaires exigeaient que l'appareil fut d'un faible coût. Ces considérations jointes aux conditions matérielles (absence d'énergie électrique) et climatiques (humidité, chaleur) ne permettaient pas d'avoir recours à une station automatique du type "assainissement" qui aurait été nécessaire pour résoudre notre problème.

3. LE PRELEVEUR AUTOMATIQUE. REALISATION ET ESSAIS

Ces contraintes ayant été fixées, la réalisation d'un tel préleveur a été entreprise par le laboratoire de Système Numérique de l'Etablissement d'Etudes et de Recherches de la Météorologie Nationale à MAGNY LES HAMEAUX.

La technologie des microprocesseurs qui avait été testée par cet organisme en Guyane lors d'une expérience de télémessure par satellite (ATMOS-MARONI 1980) a été largement utilisée et moins de 4 mois se sont écoulés entre la remise du cahier de charges et l'installation du premier prototype sur le terrain.

3.1 L'unité de prélèvement

Cette unité est essentiellement constituée par un col de cygne (ϕ 32 mm), placé sous la prise statique et qui peut tourner sur un axe (fig. 2), ce qui permet d'amener temporairement le jet d'eau sous un récipient collecteur. La rotation du col de cygne est obtenue par l'intermédiaire d'un moteur à courant continu 12 V.

3.2 L'unité de contrôle

Construite autour d'un microprocesseur INTEL 8748, cette unité contenue dans un boîtier étanche (16 cm x 13 x 8) a pour fonction de sortie d'amener le distributeur d'eau sous la goulotte de prélèvement au moment voulu, de l'y maintenir pendant la durée nécessaire, puis de la ramener en position d'attente, ce qui correspond à la courbe $T = f(H)$, et définit des temps de prélèvement allant de 0 à 97 secondes (fig. 3).

L'unité de contrôle reçoit les informations concernant le paramètre H à partir d'un capteur potentiométrique placé sur le limnigraphe. Le paramètre T est alors calculé par interpolation linéaire au moyen d'une table contenue en mémoire et figurant la courbe $T = f(H)$ avec le nombre de couples nécessaires.

Le déclenchement à intervalles de temps constants est programmable par l'utilisateur au moyen de deux interrupteurs à roues codeuses. La gamme des périodes possibles va de 10 à 990 secondes.

L'unité de contrôle informe également l'utilisateur de la hauteur d'eau à chaque instant par un affichage à cristaux liquides, ce qui permet d'ajuster correctement les positions du flotteur du limnigraphe et du potentiomètre l'une par rapport à l'autre.

La technologie CMOS utilisée garantit une consommation d'énergie très réduite (5 mA sous 12 Volts). La consommation du moteur électrique est

de 800 m A, mais celle-ci n'a lieu que toutes les 5 minutes environ (à chaque prélèvement) et pendant 1 seconde seulement.

3.3 Le capteur de hauteur d'eau

Sur le premier prototype, cette unité est constituée d'un potentiomètre contenu dans un boîtier qui s'adapte à l'extrémité de la rampe hélicoïdale d'un limnigraphe à flotteur. Le potentiomètre a une résistance variable de 0 à 1000 Ω sur 10 tours. Une réduction au 1/5 permet de mesurer 50 tours de rampe.

Sur les deux autres appareils de pré-série nous avons utilisé un potentiomètre sur lequel était directement adapté une poulie de diamètre tel que l'amplitude de 1 m corresponde aux 10 tours du capteur.

La valeur instantanée de la résistance constitue le paramètre variable d'un circuit électrique résonnant et c'est le comptage de la fréquence du courant qui s'établit dans ce circuit qui permet à l'unité de contrôle de déterminer la hauteur d'eau.

3.4 Les récipients collecteurs de l'échantillon moyen

1 bidon en matière plastique de 27 l de contenance est monté en série avec 3 autres récipients de 65 l de capacité chacun. Les dépôts en suspension se sédimentent en quasi totalité dans le premier récipient même lorsqu'il y a débordement vers les bidons suivants. A chaque visite il y a donc de 1 à 4 échantillons d'eau au maximum, prélevés dans chaque récipient qui subissent une filtration ou une analyse chimique. Avant le prélèvement, il faut bien entendu, agiter soigneusement de façon à remettre en suspension les particules déposées au fond.

3.5 Les premiers essais

Le bon fonctionnement du préleveur est aisé à vérifier à posteriori : il faut et il suffit que le volume V recueilli à chaque crue soit égal à $\bar{Q} \times n \times K$, K étant le facteur défini en 2.4, n le nombre de prélèvements élémentaires et \bar{Q} le débit moyen pendant la période considérée et pendant que la hauteur à l'échelle était supérieure à 5 cm, puisque l'appareil a été programmé pour être inactif en dessous de cette cote.

Une quinzaine d'évènement ont été observés et dépouillés depuis le début des essais. 11 prélèvements présentent des valeurs collectées qui diffèrent de moins de 15% avec les volumes, calculés, alors que la période des prélèvements était fixée à 240 secondes. Actuellement les essais sont en cours avec un intervalle entre prélèvements de 180 secondes pour tenter d'améliorer ces performances. Les autres prélèvements ont tous des volumes collectés inférieurs aux volumes espérés et traduisent soit l'existence de fuites lorsqu'il y a passage d'un bidon à l'autre, soit bouchage temporaire de l'orifice de prélèvement par des feuilles circulant en pleine eau (ces deux causes d'anomalies ont été corrigées respectivement par l'utilisation de branchements filetés entre les bidons et la pose d'une crépine devant l'orifice de prélèvement).

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Grâce à une collaboration étroite entre deux organismes, l'ORSTOM et la METEOROLOGIE NATIONALE, un préleveur automatique a pu être réalisé rapidement, et en exacte conformité avec les recommandations du demandeur, et semble donner toute satisfaction.

Quelques mises au point ont été nécessaires sur le circuit de prélèvement (étanchéité) ou sur le réglage des points d'arrêt du moteur. L'ensemble des fonctions assumées directement par le microprocesseur (acquisition de la hauteur d'eau, affichage de celle-ci, déroulement du programme, action sur le relais de sortie) n'ont jamais été mise en cause. Une situation conforme somme toute avec celle des systèmes informatiques en général ou des pannes surviennent surtout sur les unités périphériques et très peu souvent sur les unités centrales.

Néanmoins quelques améliorations de fond sont possibles, citons par exemple :

a) l'utilisation d'un débitmètre numérique sur la ligne d'arrivée d'eau.

Notre préleveur est en effet 'passif' puisque nous l'avons conçu ainsi, c'est-à-dire qu'il ne peut vérifier le débit dans le système de prélèvement. On ne peut ainsi détecter une anomalie à 'posteriori' seulement.

L'existence d'un débitmètre numérique permettrait de contrôler directement par programme le volume élémentaire du prélèvement et de détecter ainsi une obstruction de la prise. La fonction calculée par le programme serait ainsi directement $v = f(H)$.

Dans le cas d'un pompage, on peut même envisager un sous programme de 'débouchage' lorsqu'il y a anomalie en faisant fonctionner la pompe en refoulement ! c'est un raffinement du logiciel et non une contrainte matérielle supplémentaire. Plus simplement, l'utilisation d'une pompe péristaltique permettrait de grouper en un seul composant la fonction débitmétrie et la fonction pompage.

b) la mise au point d'un préleveur à intervalle de temps variable.

On peut concevoir notre appareil avec un prélèvement à intervalle de temps donné (par exemple 10 minutes) dans un état de veille, qui correspond à un niveau d'eau stable. Puis cet intervalle pourrait diminuer, à mesure que le gradient de hauteur irait en augmentant, c'est-à-dire pendant les phases-clé d'une crue. La quantité d'eau à prélever à l'instant t_n ne serait plus alors fonction du seul débit Q_{t_n} , mais de l'intervalle de temps séparant ce prélèvement n du prélèvement $n - 1$.

Ceci relève exclusivement de la technique de programmation et on le sait, l'optimisation des logiciels n'a jamais dit son dernier mot.

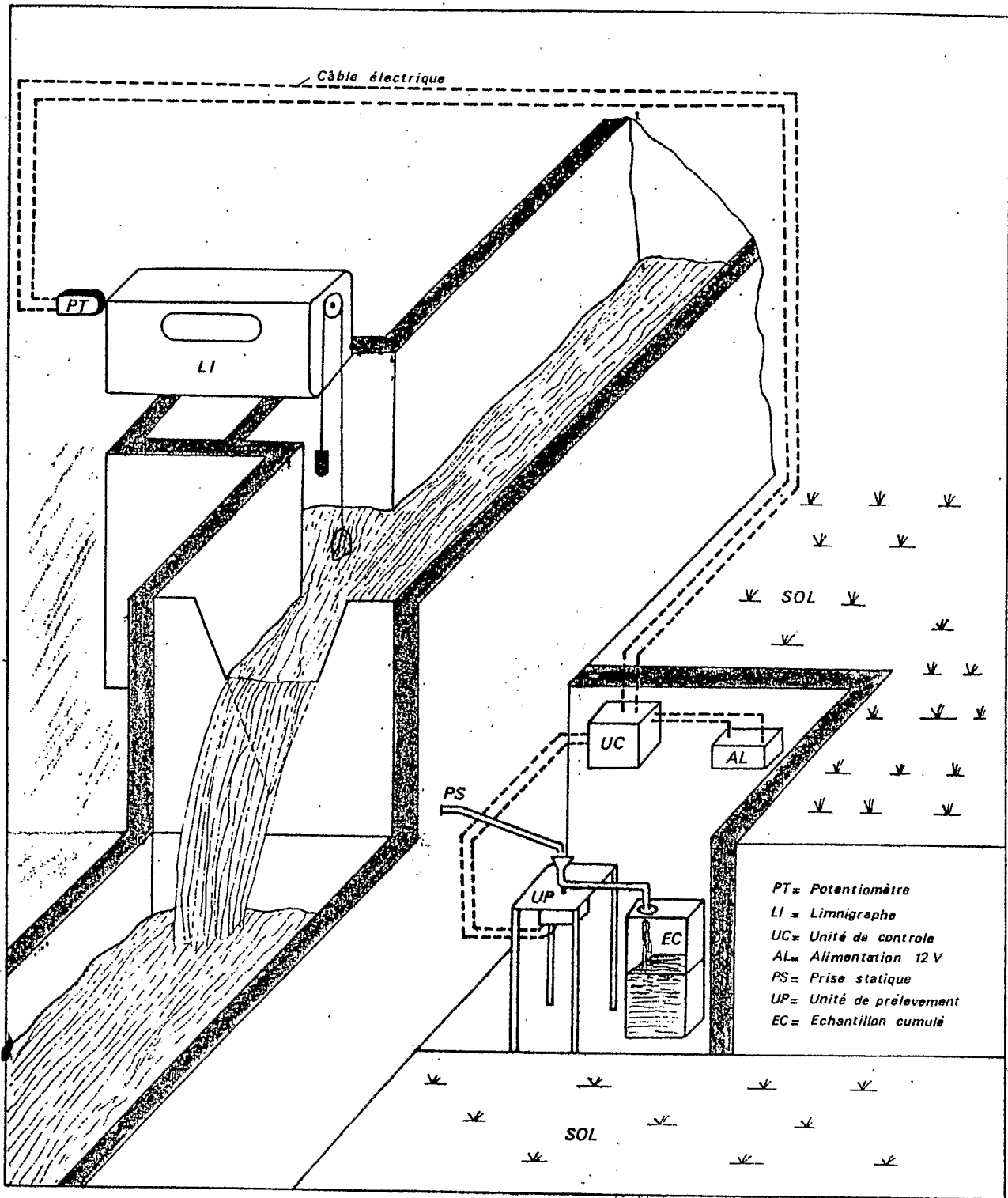
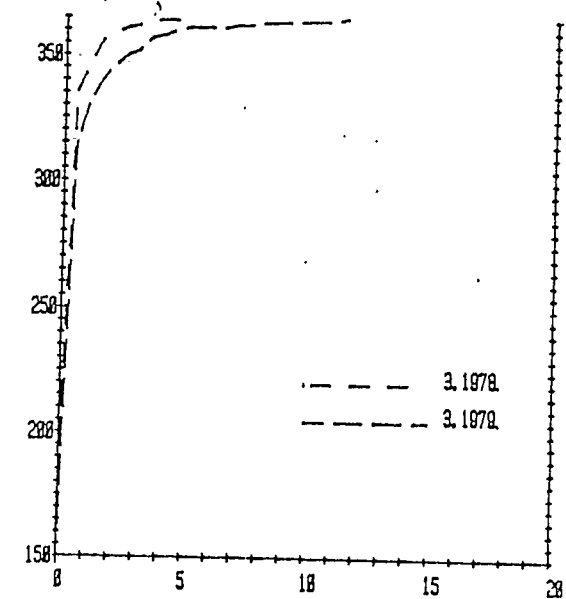
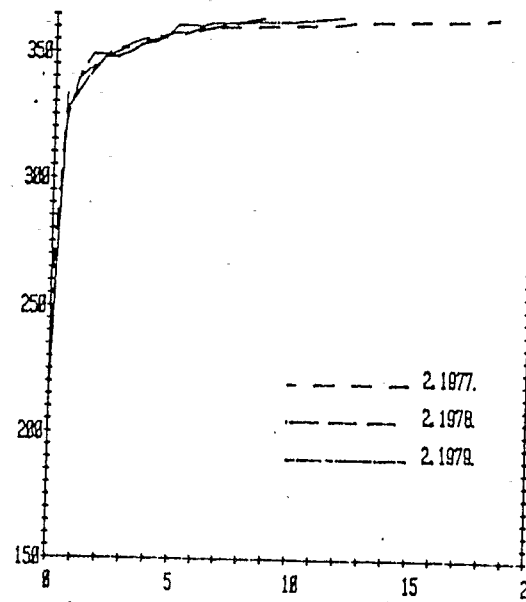
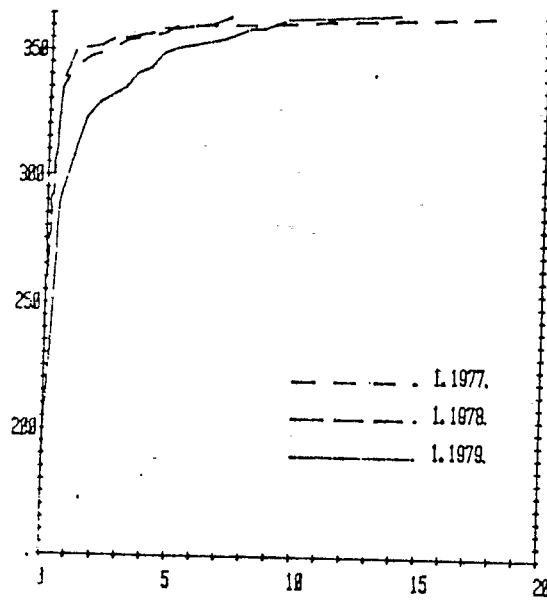


FIG.3: IMPLANTATION DU PRELEVEUR SUR LE SITE ECEREX.

FIG. 2: DEBITS JOURNALIERS CLASSES AUX STATIONS A B ET C EN LITRES PAR SECONDE



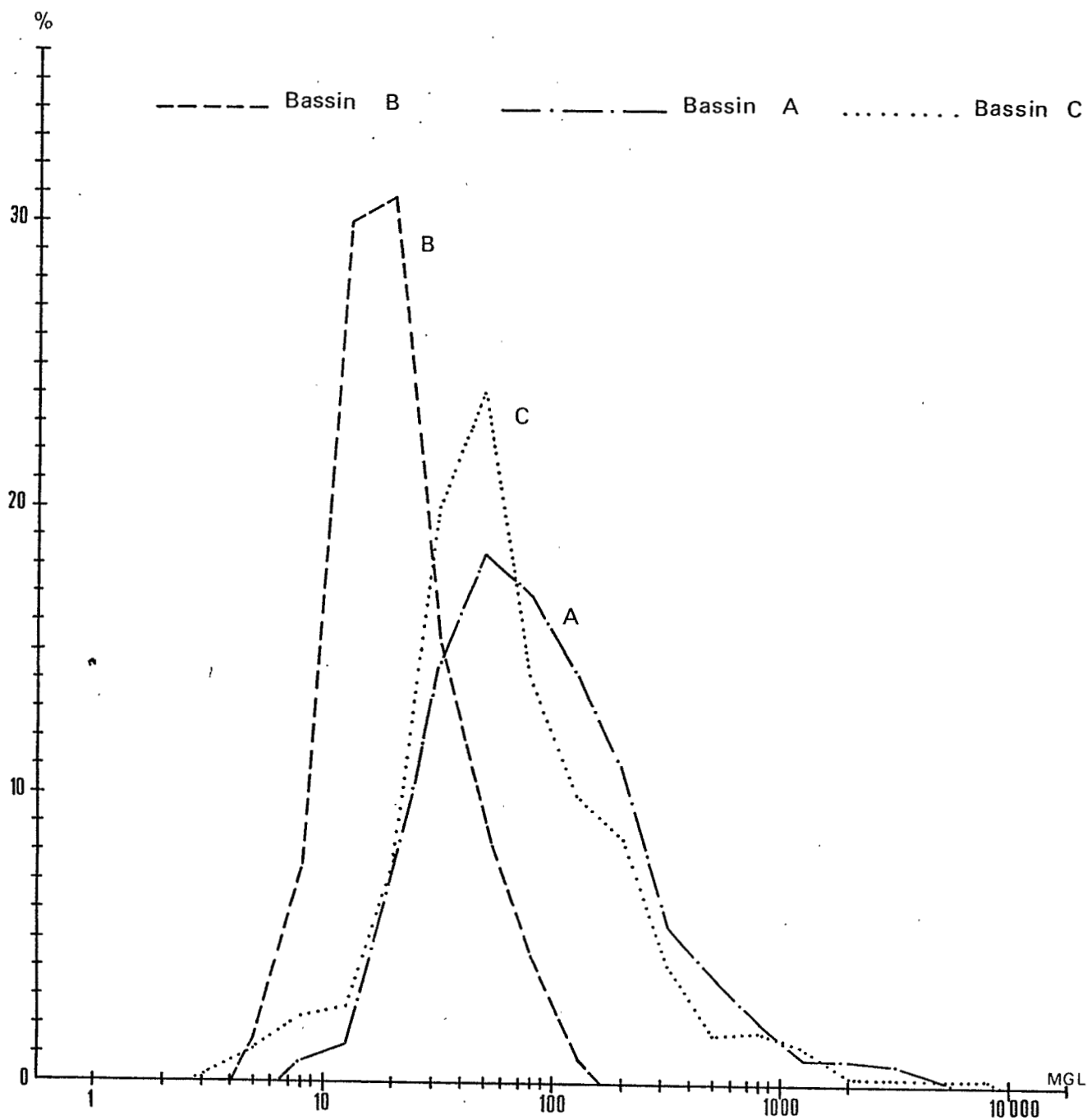


FIG. 1 — REPARTITION DES CONCENTRATION EN SUSPENSION
 A LA SORTIE DES BASSINS A,B ETC EN 1979

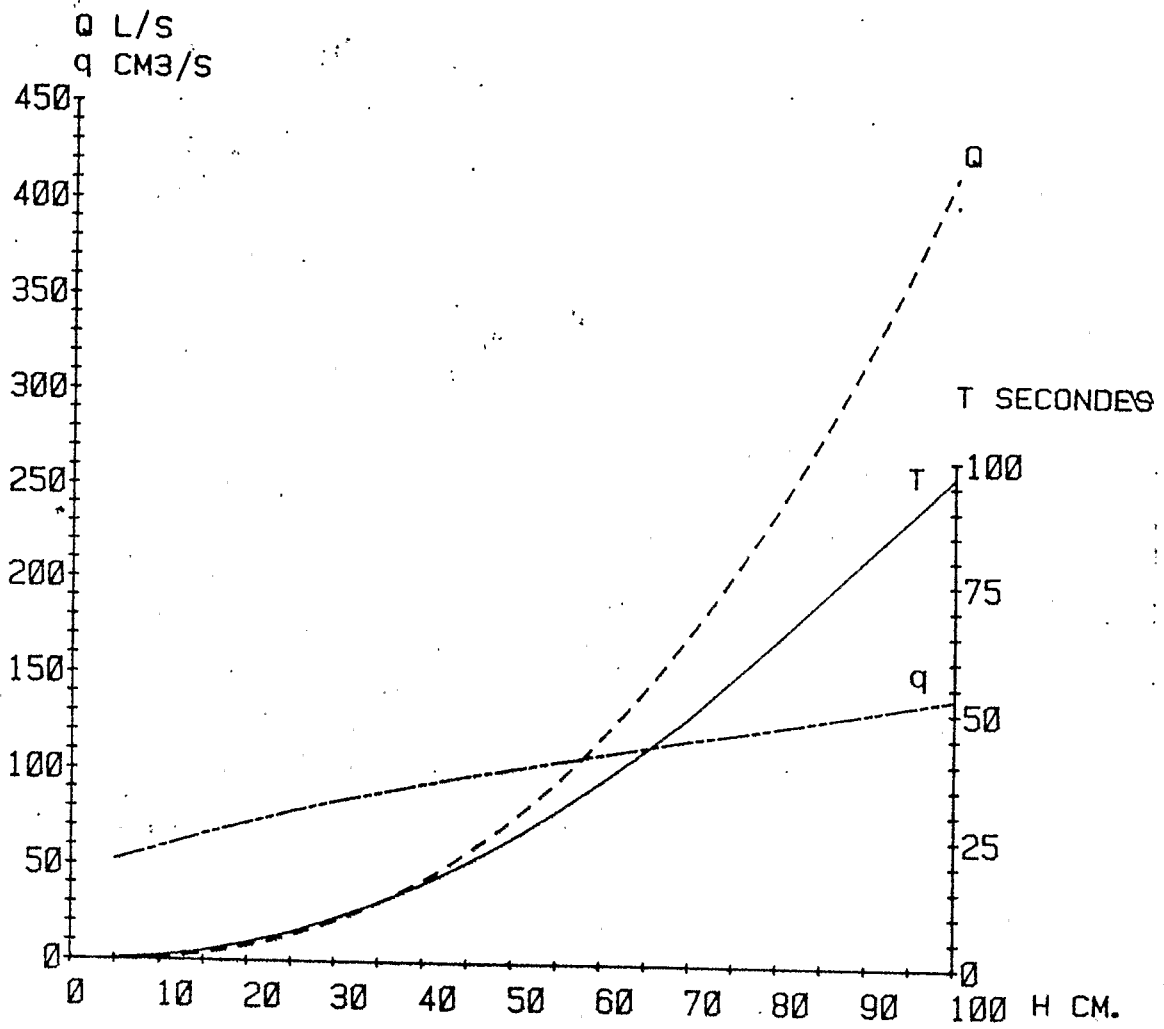


FIG. 4 DEBITS ET TEMPS DE PRELEVEMENTS EN FONCTION DE H

16-17 Septembre 1981

Lyon-Villeurbanne

**Stratégie
de la mesure
dans l'eau et dans l'air**

**Séminaire organisé à l'Institut National
des Sciences Appliquées dans le cadre
de la XVII^e Présentation de Matériel
Scientifique du CAST**

**Société Hydrotechnique
199, Rue de Gre
5007 PARIS - Tél. (1)**

D 1 FEV. 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° 41580

Cpte B