

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL POUR L'ÉTUDE DU COMPORTEMENT D'ESPÈCES BENTHIQUES EN EAU COURANTE

par D. TRIVELLATO¹ et H. DÉCAMPS².

Les résultats d'une étude d'écoulement en canal expérimental ont fait l'objet d'un article précédent (TRIVELLATO et DÉCAMPS, 1968). Le canal utilisé avait été brièvement décrit. Nous nous proposons de donner ici une description plus détaillée et d'apporter quelques précisions sur les difficultés rencontrées et les solutions adoptées.

I. — CONDITIONS D'INSTALLATION

Le dispositif expérimental a été construit pour observer le comportement d'espèces benthiques (surtout des invertébrés) en présence d'un courant d'eau de caractéristiques connues. Les vitesses moyennes maximales étudiées atteignent 1 m/s.

D'une part, les valeurs générales de l'écoulement — débit, vitesse moyenne, nombre de Reynolds — doivent être connues. D'autre part, il doit être possible de préciser, au niveau des invertébrés, la valeur des vitesses ponctuelles, des pressions et de l'agitation.

Dans ce but, les conditions suivantes ont été réalisées.

1. Les variations de pression et de vitesse ont pour seule origine les obstacles situés dans le canal. Aussi la stabilité de l'alimentation à l'entrée du canal est-elle essentielle.

2. Un appareillage de mesure, monté en parallèle à l'installation, donne la valeur précise des grandeurs à mesurer.

3. Les matériaux utilisés ne sont pas toxiques pour les animaux.

1. Institut de Mécanique des Fluides de l'ENSEEIH, Laboratoire associé au CNRS, 31-Toulouse.

2. Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31-Toulouse.

II. — RÉALISATION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL (fig. 1)

La solution adoptée pour le montage général permet d'éviter (1) un système entièrement en charge dans lequel l'accès au canal ou la mise en route sont difficiles, (2) une mauvaise désaération, cause de perturbations importantes.

Nous distinguerons : (A) le canal d'essai et sa chambre d'alimentation, (B) les parties secondaires permettant la récupération et la redistribution de l'eau, (C) les dispositifs de mesure et de visualisation.

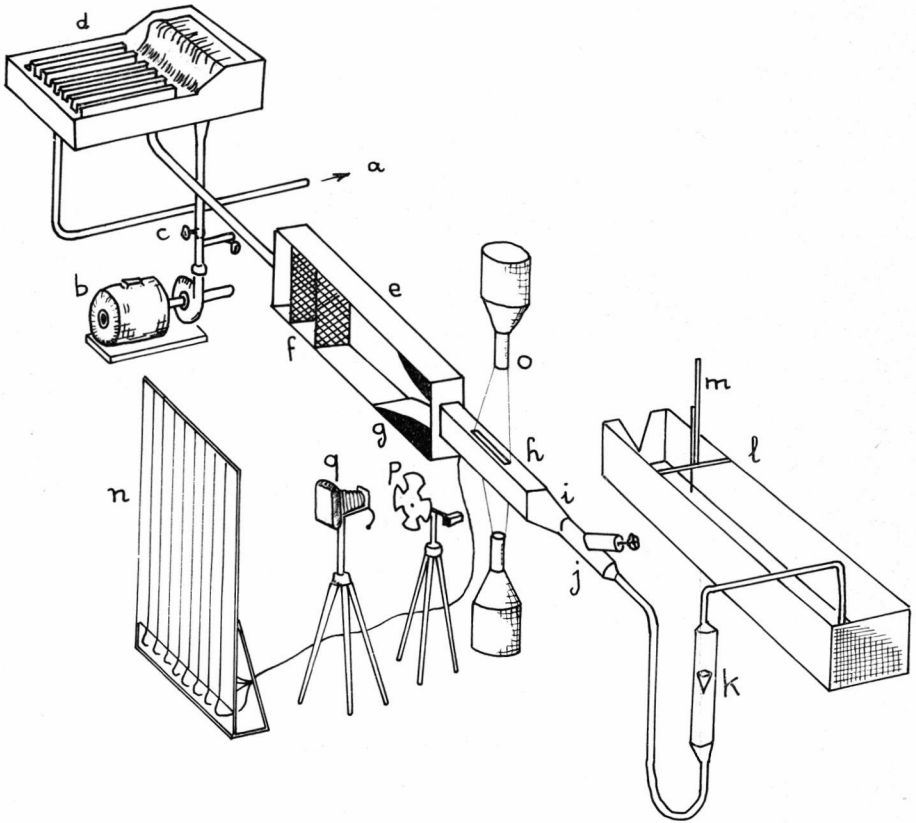


FIG. 1. — Dispositif général. — a : bac de réserve, b : pompe d'alimentation, c : jeu de vannes, d : bassin de mise en charge, e : chambre d'alimentation, f : tranquillisation, g : convergent, h : canal d'essai, i : raccordement, j : vanne de réglage, k : débitmètre à flotteur, l : déversoir de mesure, m : limnimètre à pointe, n : multimanomètre, o : éclairage, p : stroboscope, q : appareil de prises de vues.

A) **Le canal d'essai et sa chambre d'alimentation.** Ce sont les parties essentielles du dispositif.

1. *Le canal d'essai (fig. 2 et 6).* C'est la partie dans laquelle se font les observations. Elle doit donc être transparente. Divers éléments (facilité d'usinage, fragilité, indice de réfraction, résistance aux déformations) nous ont conduits à choisir l'altuglass comme matériau.

Les observations se faisant essentiellement au niveau de la zone de transition entre le substrat et la pleine eau, le canal a pu être construit pour un écoulement en charge. Ceci permet des vitesses importantes malgré un débit faible.

L'assemblage des parois latérales et du radier doit être particulièrement étudié. En effet, (1) l'installation doit être étanche, (2) aucun joint ne doit perturber l'observation dans les angles et sur les parois (fig. 2).

Les parois latérales sont fixes. Le démontage facile du radier et de la partie supérieure permet de disposer des obstacles et des animaux dans le canal sans modifier l'installation de façon importante. Le serrage s'effectue au moyen d'étriers.

2. *La chambre d'alimentation (fig. 3).* Elle a été conçue pour diminuer les perturbations à l'entrée du canal. Elle se compose de deux parties principales.

a) Un dispositif de tranquillisation comprend plusieurs séries de grilles, de tournures de plastique et un jeu de tubulures éliminant les courants vrillants.

b) Un convergent assure un écoulement stable au niveau du canal (fig. 6). Le rétrécissement du convergent est obtenu au moyen de deux arcs de parabole cubique.

L'ensemble de la chambre d'alimentation est réalisé en lucoflex. Les plaques constituant les parois de la chambre, d'une épaisseur de 5 mm, sont démontables et munies de raidisseurs. Le tout est monté sur un bâti constitué de tubes assemblés. Par ailleurs, des aérations et un dispositif de vidange ont été disposés.

B) **Les parties secondaires (fig. 1).**

1. Un *bac de réserve* permet de disposer d'un important volume d'eau ($300 \times 80 \times 60$ cm). Il est isolé de l'installation générale afin d'éviter la transmission de vibrations dues à la chute d'eau venant du déversoir de mesure.

2. Une *pompe de circulation* dont l'aspiration est placée dans le bac de réserve alimente le réseau général. Ses caractéristiques

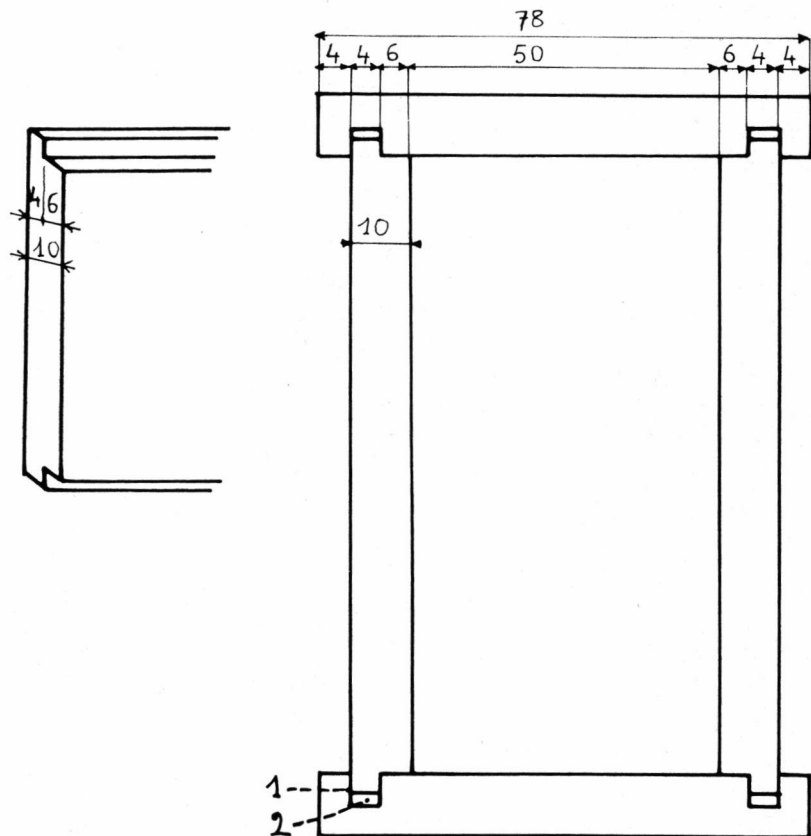


FIG. 2. — Coupe du canal. — Paroi latérale et section. 1 : assemblage doux, 2 : joint section (diamètre 5 mm).

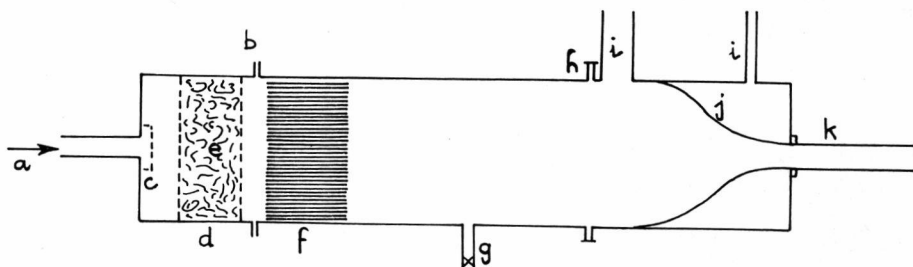


FIG. 3. — Chambre d'alimentation. — a : alimentation depuis le bassin de mise en charge, b : dispositif de tranquillisation, c : 1^{re} grille, e : tournures de plastique, f : jeu de tubulures, g : vidange, h : orifices pour l'exploration des vitesses, i : aération, j : convergent, k : canal d'essai.

principales sont : vitesse 1 400 t/mn, puissance 1,5 ch, débit 36 m³/h, H.M.T. 5,2 m. Son fonctionnement est continu. Pour éviter tout échauffement, le débit minimum doit être de 1 l/sec.

3. Pour tenir compte du fonctionnement continu de la pompe et de son débit minimum nécessaire, un *jeu de vannes* règle le débit. Ce dispositif est formé par des robinets à boisseau en bronze placés sur (1) l'alimentation du bassin de mise en charge et (2) sur le débit dérivé qui permet d'obtenir le débit minimum de 1 l/sec.

4. Un *bassin de mise en charge* permet (1) d'éliminer les perturbations dues à la pompe, (2) d'assurer un plan d'eau amont constant facilitant le réglage du débit. Il est construit en lucoflex.

5. Les *conduites de liaison* sont en caoutchouc entoilé afin d'éviter la transmission des vibrations provoquées par la pompe. Ces tubes souples permettent, pour le nettoyage de l'appareil, un démontage et remontage plus faciles. Les tubes rigides nécessaires sont en lucoflex.

C) Les dispositifs de mesure et de visualisation.

1. *Les débits.* Le débit est déterminé par la différence du niveau entre l'amont et l'aval du dispositif. La variation de ce débit est obtenue par l'introduction d'une perte de charge variable. Pour cela, une vanne de réglage a été disposée à l'aval du canal d'essai. Si cette vanne est suffisamment éloignée du canal, l'irrégularité de l'écoulement créée par l'étranglement est pratiquement négligeable. Nous avons utilisé une vanne à simple opercule, en lucoflex.

Les débits sont mesurés par un débitmètre à flotteur et un déversoir de mesure montés en série.

2. *Les pressions.* Elles ont été mesurées sur le radier du canal, sur les obstacles et dans leur voisinage immédiat. Les valeurs mesurées étant faibles, on ne peut retenir comme significatives que les répartitions et oscillations de pression existant pour un régime turbulent (le nombre de Reynolds variant de 20 000 à 50 000).

Le soin apporté à l'exécution des prises de pression est déterminant : les moindres défauts dans leur réalisation peuvent entraîner des erreurs importantes.

Les orifices sont percés normalement à la paroi, sans bavure, fraissage ou repoussage du trou. Ceci est difficile lorsqu'on utilise des matériaux plastiques, lucoflex ou altuglass, pour la construction des parois ou des obstacles. Il est nécessaire d'usiner à vitesse lente pour éviter de chauffer, en arrosant avec du pétrole. Certains auteurs préconisent un diamètre de perçage compris entre 3 et 8 mm. Par suite des dimensions réduites des obstacles et de la courbure des filets d'écou-

lement, nous avons utilisé des diamètres plus faibles : 2 mm et 1 mm dans les zones de forte courbure, sur un galet par exemple.

Les prises de pression sont reliées à un multimanomètre (*fig. 1*) par des tubes souples de diamètre de l'ordre de 10 mm. Le multimanomètre comprend 15 tubes d'un diamètre minimal 11/15 mm et d'une hauteur minimale de 1 500 mm. L'ensemble est parfaitement calé verticalement.

Les variations de pression sur le radier peuvent être enregistrées en fonction du temps, à l'aide d'un montage électronique. Les écarts à mesurer, relativement faibles, sont augmentés par une chaîne amplificatrice.

3. Les vitesses.

a) Principe de la mesure (*fig. 4*). — La méthode choisie et utilisée est celle de la visualisation de particules d'aluminium en suspension dans un courant d'eau. Ces visualisations sont faites dans le canal transparent, sur un écoulement bidimensionnel. Un stroboscope permet d'obtenir un éclairage intermittent capté par un appareil photographique dirigé perpendiculairement à l'axe du canal. Les particules d'aluminium, entraînées par le courant, sont alors photographiées pendant un temps donné. Sur la pellicule, on obtient des segments qui permettent de connaître le module et la direction de la vitesse du courant aux différents points.

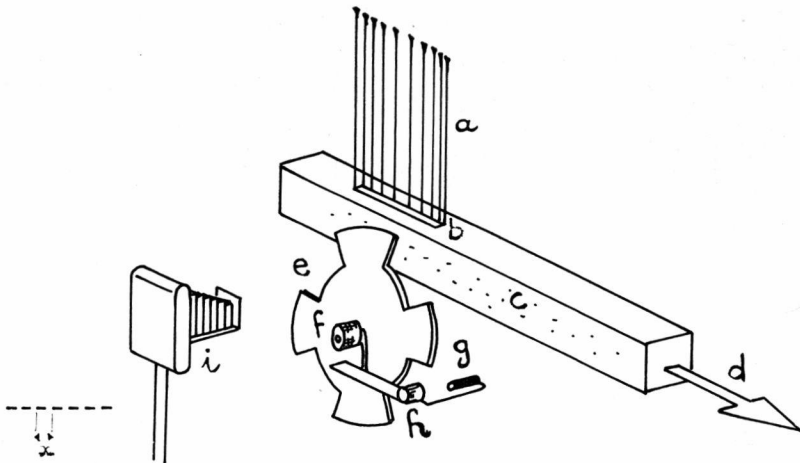


FIG. 4. — Principe de la mesure des vitesses. — a : éclairage incident parallèle, b : fente, c : canal d'essai transparent, d : écoulement, e : stroboscope, f : moteur à vitesse variable, g : cellule photo-résistante, h : éclairage dirigé, i : appareil de prises de vues.

Pour un temps de pose de 1 seconde, avec un stroboscope donnant 20 images/seconde, on obtiendra par exemple, sur le tracé d'une particule d'aluminium, 20 segments lumineux consécutifs (*fig. 4*). La vitesse ponctuelle sera :

$$V = \frac{x \times 20}{1 \text{ sec.}}$$

b) Poudre d'aluminium. — Les particules utilisées portaient le calibre 0,3 mm. Cette poudre d'aluminium, trouvée dans le commerce, doit être préparée avant l'emploi.

En effet, pour éviter qu'ils ne s'oxydent, les grains sont recouverts de minces pellicules grasses. Leur nettoyage peut être effectué à l'alcool. Dans un récipient en verre ou en plastique, on réalise une pâte en mélangeant à la poudre une très faible quantité d'alcool. Après avoir bien remué, on verse l'ensemble dans un grand récipient d'eau.

Dans ce dernier, une première décantation s'effectue après brassage. Une mousse parvient en surface; on l'élimine au fur et à mesure de sa formation. Lorsque la surface de l'eau est propre, il reste à sélectionner les grains situés entre deux eaux, c'est-à-dire ayant sensiblement le poids spécifique de l'eau.

Le choix des traceurs étant un élément important dans l'exactitude des mesures par visualisation, cette préparation doit être réalisée avec soin.

c) L'éclairage. — Notre choix s'est porté sur des lampes aux halogènes qui fournissent une source lumineuse importante tout en possédant de faibles dimensions. Deux projecteurs « twin-iode » ont été disposés au-dessus et au-dessous du canal (*fig. 1*).

Une seule source lumineuse peut être utilisée. Mais l'éclairage de part et d'autre des parois permet de diminuer l'effet d'absorption du flux lumineux par l'eau. L'illumination du plan vertical est ainsi plus uniforme. Le projecteur situé sous le canal permet de mieux définir l'aspect des écoulements au voisinage d'obstacles situés sur le radier.

d) Dispositif de stroboscopie. — Le stroboscope est constitué par un disque cartonné¹ dont le diamètre peut atteindre 500 à 600 mm. Ce disque doit être très rapproché de l'appareil de prises de vues ou de la source d'éclairage lorsque cette dernière est unique.

1. Pour des raisons de sécurité, le carton doit être préféré au métal.

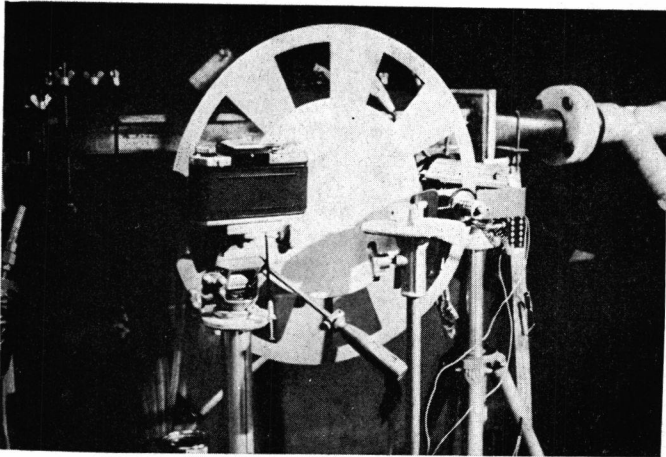


FIG. 5. — Montage stroboscopique. — Stroboscope en place devant le canal d'essai, avec en premier plan : l'appareil de prises de vues à gauche, la cellule photo-résistante à droite.

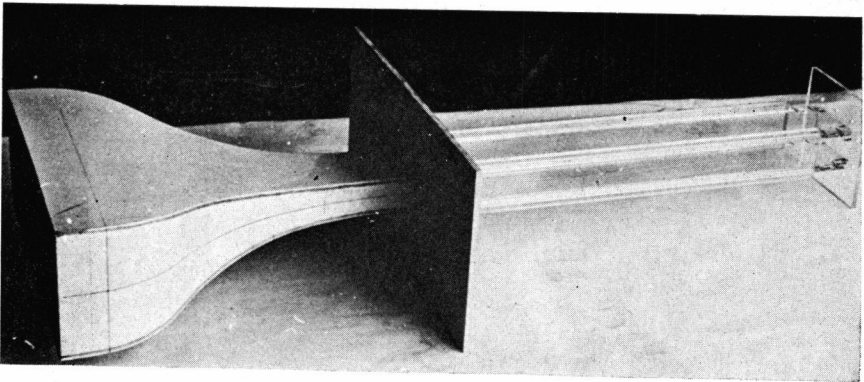


FIG. 6. — Entonnement et canal.

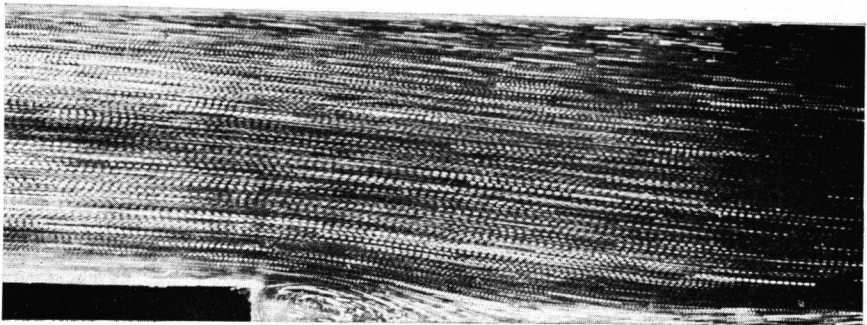


FIG. 7. — Exemple d'une visualisation.

Le contrôle de la fréquence d'interruption est effectué à l'aide d'une cellule photo-résistante (*fig. 5*). Cette cellule capte les rayons lumineux émis par une source dirigée, alimentée sous tension stabilisée (type Gossen 15 V - 1,5 A). Les pales du disque coupent les rayons lumineux dirigés vers la cellule. Cette dernière transmet des impulsions à une fréquence identique à celle des coupures des rayons enregistrés par l'appareil photographique.

La cellule photo-résistante est insérée dans le circuit base d'un transistor qui, monté en émetteur commun, amplifie le signal reçu par la cellule.

Un fréquencemètre - chronomètre - périodemètre (type Rochar A 1 213) compte le nombre d'impulsions.

e) Observation directe et stroboscopique. — La présence de traceurs dans l'eau permet une observation directe des trajectoires, décollements et points de rattachement. Cette observation permet aussi de déceler la présence d'écoulements tridimensionnels. De même, le développement d'un tourbillon ou l'effet produit par un battement ou des pulsations peuvent être observés.

L'examen en lumière intermittente permet également de tirer des enseignements utiles sans attendre le dépouillement des résultats. L'œil s'habituant à cet éclairage, il est en effet possible de comparer les traits produits par les traceurs.

f) Prises de vues. — Elles peuvent être réalisées au moyen d'appareils photographiques simples.

III. — POSSIBILITÉS D'UTILISATION

Les dispositifs expérimentaux décrits dans la littérature s'échelonnent du simple chenal alimenté par un robinet aux constructions les plus complexes (« Nature », 1971). Les buts poursuivis sont variés : cultures d'algues périphtiques ou de macrophytes, obtention d'adultes d'insectes aquatiques, observation d'invertébrés et de poissons, étude du métabolisme des communautés d'eau courante.

BOURNAUD (1963) a discuté les mérites de plusieurs types d'appareils permettant d'expérimenter sur des invertébrés d'eau courante. Parmi les descriptions plus récentes, citons : LAUFF et CUMMINS (1964), HARTMAN (1965), KAISER (1965), SCHERER (1965), HUGHES (1966), EDINGTON (1968), ELLIOTT (1968), MADSEN (1968), GEE et BARTNIK (1969), PHILIPSON (1969), SCHUHMACHER (1970), FELDMETH (1970). L'appareil le plus proche de notre dispositif, notamment par les méthodes employées, est celui d'AMBÜHL (1959).

Les organismes utilisés dans les études de comportement en milieu lotique sont souvent voisins de leur taille maximale; l'écoulement n'est connu que dans son ensemble; les vitesses dépassent rarement 20 cm/s.

Un appareil tel que celui décrit dans cet article peut permettre l'observation de jeunes stades dans des conditions précisément connues de vitesses de courant. Les phénomènes se produisant dans la zone de transition entre le substrat et la pleine eau doivent, par ailleurs, être encore précisés pour une meilleure compréhension du comportement des invertébrés benthiques. Enfin, l'étude des conditions régnant dans le sous-écoulement est également réalisable à l'aide de colorants. Ces problèmes sont actuellement à l'étude.

RÉSUMÉ

Le dispositif expérimental décrit permet de connaître avec précision les vitesses ponctuelles de l'écoulement. La méthode de mesure utilisée est celle de la visualisation de particules d'aluminium en lumière intermittente. L'appareil a été conçu dans le but d'observer le comportement de petites formes benthiques en présence d'un courant dont les caractéristiques sont en tous points connues.

EXPERIMENTAL APPARATUS FOR THE STUDY OF THE BEHAVIOUR OF BENTHIC SPECIES IN RUNNING WATER

The experimental apparatus is used to measure accurately the velocity of the water, and utilises the photography of aluminium particles in a flashing light. The apparatus was designed for the purpose of observing the behaviour of small benthic invertebrates in a current of known characteristics at all points in the apparatus.

APPARATUR ZUR DURCHFÜHRUNG VON VERSUCHEN ZUM STUDIUM DES VERHALTENS VON BENTHISCHEN ORGANISMEN IN FLIESSENDEM WASSER

Eine wird Vorrichtung beschrieben, die die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten auf kleinstem Raum erlaubt; sie beruht auf der Beobachtung von Aluminiumpartikelchen bei intermittierendem Licht. Die Apparatur wurde entwickelt, um das Strömungsverhalten von kleinen Wirbellosen in einem Wasserkörper zu studieren, dessen Geschwindigkeit in jedem Punkte bekannt ist.

TRAVAUX CITÉS

- AMBÜHL (H.). 1959. — Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 21 : 134-263.
- BOURNAUD (M.). 1963. — Le courant, facteur écologique et éthologique de la vie aquatique. *Hydrobiologia*, 21 : 125-165.
- EDINGTON (J. M.). 1968. — Habitat preferences in net-spinning caddis larvae with special reference to the influence of running water. *J. Animal Ecol.*, 37 : 675-692.
- ELLIOTT (J. M.). 1968. — The daily activity patterns of mayfly nymphs. *J. Zool. London*, 155 : 201-221.
- FELDMETH (C. R.). 1970. — A large volume laboratory stream. *Hydrobiologia*, 35 : 397-400.
- GEE (J. H.) et BARTNIK (V. G.). 1969. — Simple stream tank simulating a rapids environment. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 26 : 2227-2230.
- HARTMAN (G. F.). 1965. — An aquarium with simulated stream flow. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 94 : 274-276.
- HUGHES (D. A.). 1966. — The role of responses to light in the selection and maintenance of microhabitat by the nymphs of two species of mayfly. *Anim. Behav.*, 14 : 17-33.
- KAISER (P.). 1965. — Ueber Netzbau und Strömungssin bei den Larven der Gattung *Hydropsyche* Pict. (Ins., Trichoptera). *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 50 : 169-224.
- LAUFF (G.) et CUMMINS (K.). 1964. — A model stream for studies in lotic ecology. *Ecology*, 45 : 188-191.
- MADSEN (B. L.). 1968. — A comparative ecological investigation of two related mayfly nymphs. *Hydrobiologia*, 31 : 337-349.
- « NATURE ». 1971. — Freshwater biology (Note and picture of the new fluvium at the River Laboratory). *Nature, Lond.*, 232 : 361.
- PHILIPSON (G. N.). 1969. — Some factors affecting the net-spinning of the caddis fly *Hydropsyche instabilis* Curtis (Trichoptera, Hydroptychidae). *Hydrobiologia*, 34 : 369-377.
- SCHERER (E.). 1965. — Zur Methodik experimenteller Fließwasser - Ökologie. *Arch. Hydrobiol.*, 61 : 242-248.
- SCHUHMACHER (H.). 1970. — Untersuchungen zur Taxonomie, Biologie und Ökologie einiger Köcherfliegenarten der Gattung *Hydropsyche* Pict. (Insecta, Trichoptera). *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 55 : 511-557).
- TRIVELLATO (D.) et DÉCAMPS (H.). 1968. — Influence de quelques obstacles simples sur l'écoulement dans un ruisseau expérimental. *Annls Limnol.*, 4 : 357-386.