

Michael Hubbard

PHZ

Annales de Spéléologie

EXTRAIT

Revue trimestrielle

Tome 28 - Fascicule 1 - 1973

RECHERCHES SUR LES EAUX SOUTERRAINES

— 19 —

LE SYSTÈME KARSTIQUE DU BAGET.

I. PREMIÈRES ESTIMATIONS SUR LA DÉRIVE DES INVERTÉBRÉS AQUATIQUES D'ORIGINE ÉPIGÉE,

par H. DÉCAMPS ⁽¹⁾ et R. ROUCH ⁽²⁾

Résumé.

Des filtrages réalisés à l'exutoire principal du système karstique du Baget montrent que de nombreuses larves d'insectes aquatiques d'origine épigée sont entraînées en profondeur pendant les crues. Les diverses modalités de cette dérive sont étudiées pour plusieurs crues des cycles hydrologiques 1970-71 et 1971-72. L'abondance du transit des organismes épigés est estimée à partir d'échantillons horaires effectués à l'exutoire principal. Les phénomènes mis en évidence sont interprétés en fonction des mécanismes hydrogéologiques du système du Baget (3).

Some filtrations carried out at the principal outlet of the Karstic system of Baget showed that numerous larvae of aquatic insects of epigeous origin were carried down into the depths (of the caves) during floods. The variations in this drift were studied for several floods in the hydrological cycles of 1970-71 and 1971-72. The total number of epigeous invertebrates in the drift was estimated from hourly samples taken at the principal outlet. The phenomena presented here are interpreted as a function of the hydrogeological mechanisms of the Baget system.

*

**

(1) *Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul-Sabatier, 118 route de Narbonne, 31 - Toulouse (Haute-Garonne).*

(2) *Laboratoire souterrain du C.N.R.S., 09410, Moulis, Ariège.*

(3) *Nous remercions Madame A. DESCOUENS pour l'aide qu'elle nous a apportée, tant sur le terrain que pour le tri du matériel et l'exécution des figures.*

Les sources de nourriture des cavernicoles ont depuis longtemps retenu l'attention des biologistes. VANDEL (1964), BARR (1968) ont clairement synthétisé les données des biospéologues sur ce sujet. En l'absence de photosynthèse, « les cavernicoles sont privés de l'une des sources de nourriture les plus abondantes dont disposent les animaux de surface » (VANDEL, loc. cit. p. 381). Aussi BARR (loc. cit. p. 47) estime-t-il que « all food energy must be imported from the exterior ».

L'eau joue un rôle essentiel en tant qu'agent vecteur d'énergie, que ce soit au niveau de l'infiltration ou des pertes massives. L'un des premiers, HAWES (1939) a souligné l'importance des apports dus à cet élément. Prenant comme exemple le karst yougoslave, cet auteur voit dans l'alternance des hautes eaux d'hiver et basses eaux d'été l'origine d'un cycle avec deux phases, l'une active, l'autre quiescente. Selon HAWES, l'apport de nourriture dans le domaine souterrain aurait surtout lieu pendant la phase active, ou période de crues. De multiples observations ont ensuite illustré la portée du « flood factor » (POULSON, 1964 ; POULSON et WHITE, 1969). La plupart des auteurs s'accordent à reconnaître que de grandes quantités de matière organique végétale pénètrent sous terre lors des crues : bois flottés, feuilles mortes, débris divers, etc...

Plus rares sont les citations concernant des apports d'origine animale. KOFOID (1899) et SCOTT (1909) observent que le plancton de certaines rivières souterraines des États-Unis comprend, dans sa majorité, des formes venant de la surface, — Protozoaires, Rotifères, Ostracodes, Cladocères et Copépodes. Après de fortes pluies, SCOTT remarque également une augmentation de la densité du plancton pour la Shawnee River.

Plus récemment, GINET (1960) signale la capture de 68 Copépodes appartenant à cinq espèces d'origine épigée dans la rivière souterraine de la Balme. Pour leur part, BARR et KUEHNE (1971) indiquent que le plancton de la Mammoth Cave comprend des Rotifères, des Ostracodes et des Copépodes dont le plus abondant est *Tropocyclops prasinus*, espèce bien connue dans les eaux de surface.

Les recherches récentes poursuivies au Laboratoire Souterrain du C.N.R.S. de Moulis ont montré l'importance écologique des transits d'organismes épigés dans les systèmes karstiques. Les filtrages continus réalisés au niveau des drains de la zone noyée ou aux exutoires sont particulièrement significatifs en ce qui concerne les copépodes (ROUCH, 1968, 1970, 1972 ; LESCHER-MOUTOUÉ et GOURBAULT, 1970 ; LESCHER-MOUTOUÉ, 1973).

Le rôle des larves d'insectes aquatiques transportées en profondeur n'est pas encore bien défini. Ni

les groupes susceptibles d'être entraînés, ni l'importance quantitative des transits n'ont à ce jour fait l'objet d'une étude détaillée. Les données présentées dans cet article et les premières estimations qui les accompagnent reposent sur des prélèvements effectués sur le système karstique du Baget.

I. — SYSTÈME ÉTUDIÉ ET MÉTHODES.

1. — LE SYSTÈME KARSTIQUE DU BAGET (fig. 1).

Depuis 1968, le système karstique du Baget fait l'objet de recherches pluridisciplinaires. Plusieurs travaux lui ont été consacrés tant sur le plan géologique et hydrogéologique (MANGIN 1970) que thermique (ANDRIEUX, 1972) et biologique (ROUCH, 1968, 1970, 1972).

Nous rappellerons brièvement ses caractéristiques (*). Le bassin versant du système du Baget s'étend sur 13,25 km² ; l'altitude moyenne est de 955 m. Il s'étend d'Est en Ouest sur 10 km de long et 1 km de large environ. L'axe du bassin versant est occupé par une vallée sèche dite vallée de Lachein. L'exutoire principal de ce système, Las Hountas, situé à 500 m d'altitude à l'extrémité Est du bassin, donne naissance au ruisseau du Baget. Dans la partie orientale du système, la surface topographique étant proche de la surface piezométrique, des sources de trop-plein apparaissent lorsque le réseau est en charge. Ces trop-pleins sont, d'aval en amont, le Moulo de Jaur et la Hillère ; ils sont distants respectivement de 600 et 750 m de Las Hountas.

A quatre kilomètres de l'exutoire principal, au niveau du hameau de Lachein, un lambeau de couverture imperméable, d'âge crétacé supérieur, est à l'origine d'un ruissellement de surface qui, en période d'étiage, disparaît au contact des calcaires. En période de moyennes eaux, ce ruissellement emprunte l'axe de la vallée sèche et parcourt 2,3 km sur les calcaires avant de se perdre, de façon diffuse, au niveau du hameau de la Hille. En période de hautes eaux, les pertes de la Hille ne suffisent plus à absorber la totalité des eaux ; ces dernières viennent alors se perdre au niveau de la Peyrère, à 1 km en amont de Las Hountas. Cette perte absorbe les eaux de façon massive jusqu'à un débit de 400 l/s. En cas de très forte crue, la perte devient émissive.

A ces eaux de ruissellement, il convient d'ajouter celles des vallées de Lasquert et de Cayssau qui naissent sur les terrains albiens limitant au Sud le système du Baget et se perdent au contact des calcaires. Les terrains imperméables représentent au total 4 km², soit 30 % de la surface du bassin versant.

Les différents états du réseau peuvent être schématisés de la façon suivante :

— en étiage, la vallée de Lachein est complètement sèche.

— en moyennes eaux, un ruissellement de surface occupe la vallée de Lachein depuis le hameau de Lachein jusqu'à celui de la Hille, ainsi que les vallées de Lasquert et de Cayssau.

— en hautes eaux, le ruissellement de surface atteint la perte de la Peyrère.

(*) Le lecteur trouvera de plus amples détails dans la note publiée par MANGIN en 1970.

— lors des très fortes crues, la perte de la Peyrère devient émissive, les systèmes de trop-plein fonctionnent et la vallée du Lachein est en eau sur toute sa longueur depuis le hameau de Lachein. Les ruisseaux de Lasquert et de Cayssau se jettent alors directement dans l'écoulement de surface.

Le cycle hydrologique de ce système s'établit comme suit. Le Baget présente un étiage prononcé en été et en automne. La période des crues s'étend du mois de décembre jusqu'au printemps avec, le plus souvent en février,

sur le Moulo de Jaur permettent de filtrer environ le 1/40 du débit de ce trop-plein.

Un abondant matériel est transporté pendant les crues. Ainsi chaque filtrage ne doit-il pas excéder une heure. Au-delà de cette limite, les filets se colmatent souvent et ne sont plus fonctionnels.

Les résultats présentés dans cet article concernent quatre crues du cycle hydrologique 1970-1971 et deux crues du cycle 1971-1972. Au cours de ces périodes, les prélèvements ont été réalisés pendant quatre à dix heures par jour.

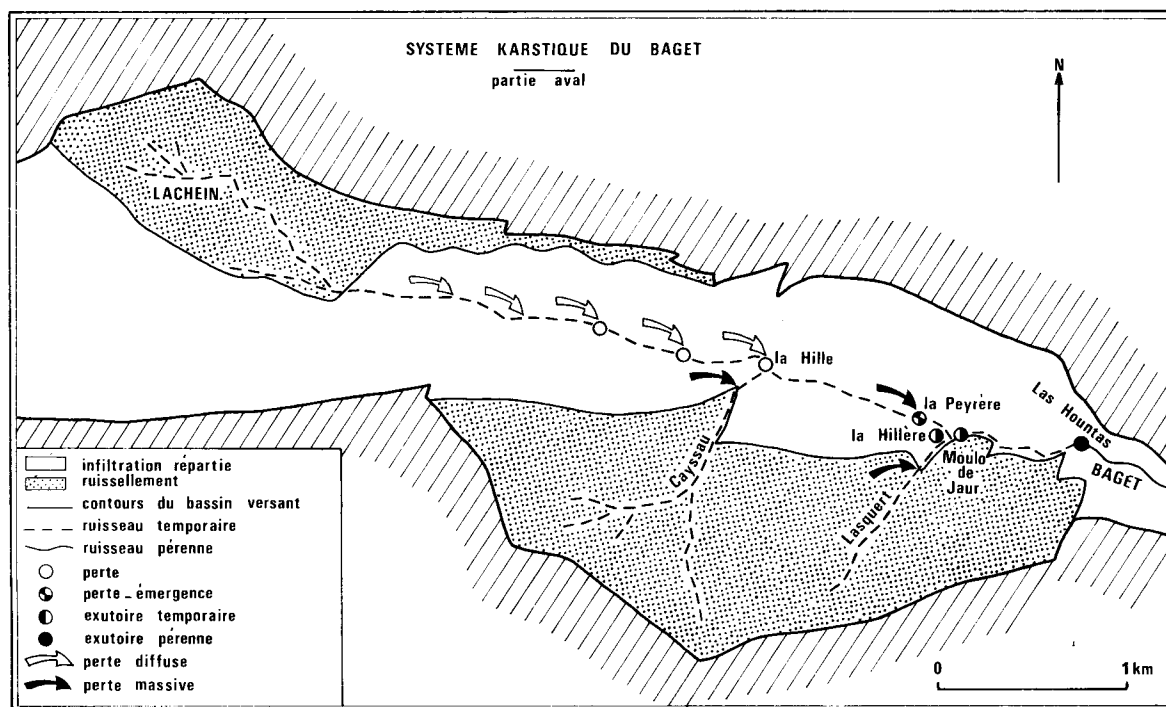


FIG. 1. — Carte du système karstique du Baget.

un étiage relatif. Pour la période étudiée, soit de 1969 à 1972, le débit moyen a été de 0,453 m³/s. Un minimum de 0,050 m³/s fut observé lors de l'étiage 1971, un maximum de 9,400 m³/s le 19 février 1971.

La zone noyée du système présente, au début de l'étiage, un volume dynamique dont la valeur oscille entre 3 et 4 millions de m³.

La température de l'eau, au niveau de l'exutoire de Las Hountas, est de 10,25°C lors de l'étiage d'été. Pendant les crues d'hiver elle peut s'abaisser à 9,6°C.

2. — MÉTHODES UTILISÉES.

Des filets en soie à bluter de 110 μ de maille ont été placés au niveau des exutoires. Ils ont permis la capture d'une partie de la faune entraînée hors du système.

Les filtrages réalisés à l'exutoire de Las Hountas concernent le griffon B5. D'un point de vue quantitatif, le rapport du débit de ce griffon à celui de Las Hountas est en moyenne de 1/34. D'un point de vue qualitatif, les sorties d'animaux au griffon B5 sont représentatives des sorties sur l'ensemble de l'exutoire (Rouch, 1972). Les filets placés

II. — RÉCOLTES D'INSECTES AQUATIQUES AU NIVEAU DE L'EXUTOIRE PRINCIPAL DE LAS HOUNTAS.

1. — ANALYSE DES DONNÉES.

— Aspect qualitatif.

Quatre grands groupes ont été distingués, ceux dont les larves étaient les plus abondantes dans nos filets : les Ephémères Baetidae, les Plécoptères, les Trichoptères et les Diptères Chironomidae. Ces derniers sont souvent les plus nombreux ; ils comprennent dans leur grande majorité des Orthocladiinae, aux côtés de quelques Tanytarsini et Tanypodinae toujours nettement moins abondants. Les représentants des autres groupes, rares ou très rares, ont été rassemblés dans la catégorie « Autres » (Tableaux I

à V) ; ce sont des larves de Coléoptères, d'Ephémères Ecdyonuridae, de Diptères Ceratopogonidae et d'Odonates, ainsi que quelques Oligochètes, Hydracariens et Planaires.

A quelques rares exceptions près, les invertébrés aquatiques figurant dans nos dénombrements sont donc des larves d'insectes. Par ailleurs, il n'a pas été tenu compte des Crustacés Copépodes d'origine épigée, déjà étudiés (ROUCH, 1972) ou en cours d'étude. Aussi, dans cet exposé, parlerons-nous le plus souvent d'Insectes aquatiques négligeant ainsi les très rares Oligochètes, Hydracariens et Planaires qui figurent néanmoins dans la catégorie « Autres » des tableaux.

Enfin, les individus recueillis à Las Houtas sont souvent de faible taille. Les larves de Chironomidae ont pour la plupart près de 1 mm de long. Il en est fréquemment de même pour les autres groupes. Toutefois, aux côtés de ces larvules se trouvent régulièrement des individus plus âgés, — Ephémères, Plécoptères, Trichoptères —, pouvant atteindre ou dépasser 1 cm de longueur.

— Présentation des résultats.

Les prélèvements effectués au griffon B5 de Las Houtas sont représentés dans les figures 2 à 6 par des rectangles indiquant les nombres récoltés (en ordonnée) et la durée de l'échantillon : une heure ou plus (en abscisse). Ces figures montrent également le fonctionnement de la perte de la Peyrière et les débits de l'exutoire de Las Houtas.

Les résultats sont regroupés à l'échelle de la journée dans les tableaux I à V. Pour chaque jour de crue, sont indiqués :

- le débit moyen de Las Houtas ;
- le nombre d'échantillons n étudiés dans la journée, au griffon B5 ;

— les moyennes horaires de dérive calculées à partir de n

- . pour les différents taxas,
- . pour le total (\bar{x}),

ces moyennes sont celles du griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Houtas) ;

— la variance s^2 de la moyenne horaire de dérive \bar{x} ;

— le coefficient de variation de la moyenne \bar{x} (indiqué par rapport à 1 dans les tableaux : s/\bar{x}).

Enfin, une synthèse des différentes données, — fonctionnement de la perte de la Peyrière, débits de Las Houtas, densité de dérive — est présentée dans la figure 9.

— Etude quantitative des récoltes pour différentes crues.

a) CRUES DE JANVIER 1971.

Les deux crues étudiées en janvier 1971 sont faibles (fig. 2). Les débits varient le plus souvent entre 300 et 650 l/s et n'atteignent pas 700 l/s. Dans ces conditions, les pertes du ruisseau de Lachein demeurent diffuses et la perte de la Peyrière n'est jamais fonctionnelle. De plus, ces deux crues font suite à un étiage prolongé. Elles n'apportent pas en profondeur un matériel organique important.

Au cours de ces deux crues, les Plécoptères, Trichoptères et Chironomidae présentent tour à tour la plus forte moyenne horaire de dérive (tableau I). Au total, les moyennes horaires de dérive \bar{x} sont faibles et relativement constantes. Le plus fort coefficient de variation du 9 janvier ne reflète que le faible nombre d'échantillons effectués ce jour-là.

On remarque, au cours de la première crue, une diminution constante de la dérive correspondant à l'abaissement régulier du débit à partir du 6 janvier.

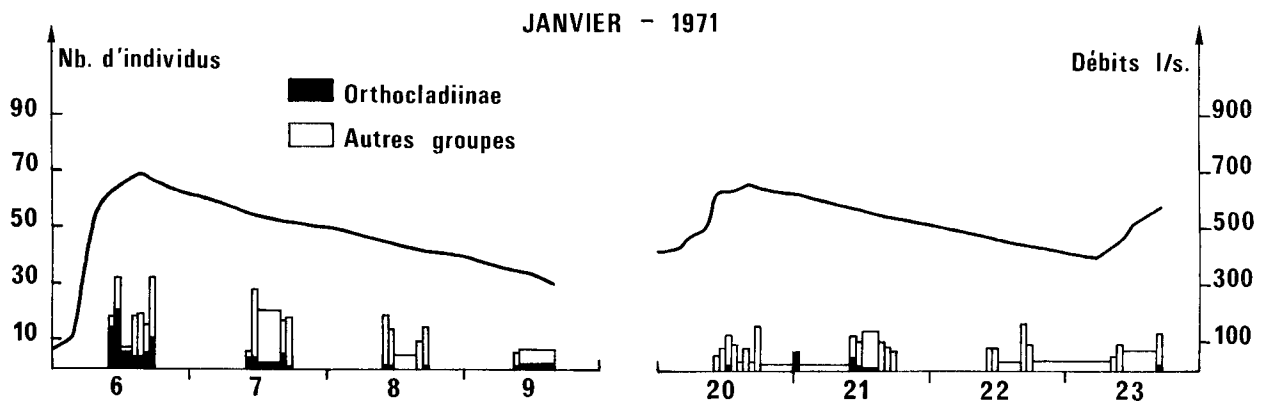


FIG. 2. — Débits de Las Houtas en janvier 1971 et nombres d'invertébrés d'origine épigée récoltés au niveau du griffon B5.

Au niveau de Las Hountas, les moyennes horaires de dérive ($34 \bar{x}$) varient de 680 à 370 individus/heure du 6 au 9 janvier ; elles sont voisines de 300 ind./h pendant la crue du 20 au 23 janvier.

b) CRUE DE FÉVRIER 1971.

Cette crue, plus brutale, est nettement plus importante que les précédentes (fig. 3). Le premier jour, le débit de 596 l/s à 10 h passe à 1 264 l/s à 18 h. Le

de variation, maximal le premier jour (1 ou 100 %) s'abaisse ensuite, traduisant une plus forte homogénéité des dérives quotidiennes, notamment du 19 au 23 février. Remarquons enfin l'abondance des Orthocladiinae qui forment presque la totalité de la dérive du premier jour.

Au niveau de Las Hountas, la moyenne horaire de dérive ($34 \bar{x}$), égale à 3 500 le 17 février, s'abaisse à près de 300 pour remonter à 600 le 23 février.

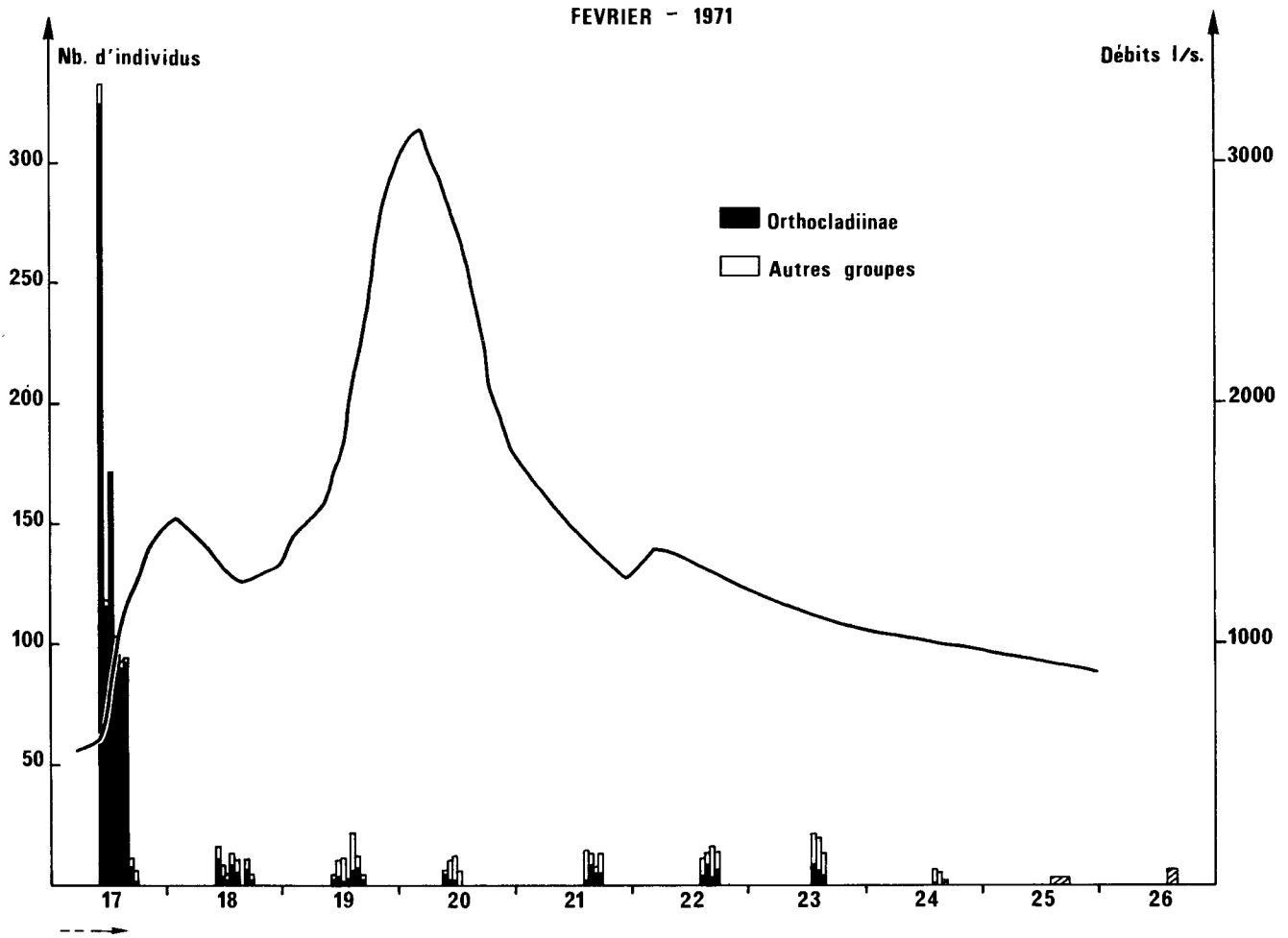


FIG. 3. — Débits de Las Hountas en février 1971 et nombres d'invertébrés d'origine épigée récoltés au niveau du griffon B5. Le fonctionnement de la perte de la Peyrère est indiqué par des traits horizontaux sous l'abscisse. (Hachures : la distinction n'a pas été faite entre Orthocladiinae et autres groupes).

paroxysme est atteint le 20 février vers 4 h, avec 3 154 l/s. La perte de la Peyrère, fonctionnelle le 17 février, devient émissive dès la fin du premier jour de crue ; elle le restera pendant la suite de la période étudiée.

Corrélativement, l'importante moyenne horaire de dérive (\bar{x}) du 17 février diminue brusquement les jours suivants (tableau II). De même, le coefficient

c) CRUE DE MAI-JUIN 1971.

Après les hautes eaux de février - mars - avril, une lente période de décrue s'installe au mois de mai. Elle est interrompue, le 22, par de nouvelles perturbations ; notre étude a porté sur la période comprise entre le 24 mai et le 4 juin. Les débits sont comparables à ceux du mois de janvier ; cependant, au niveau de Las Hountas, la dérive des insectes aqua-

tiques atteint des valeurs encore inégales (tableau III).

ment subit de la dérive traduit une montée des eaux et le début du fonctionnement de la perte de la

TABLEAU I.
Insectes aquatiques d'origine épigée récoltés au griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Houtas) pendant les crues des 6-9 et 20-23 janvier 1971.

Date	6	7	8	9	20	21 (*)	22	23 (*)
Débit moyen de Las Houtas (L/s)	590	550	448	336	604	575	494	568
Nombre d'échantillons n	7	5	5	3	9	7	5	4
Taxa : moyenne horaire de dérive								
— Baetidae	0,1	—	2,4	—	—	—	—	—
— Plécoptères	2,3	6,0	0,1	3,4	0,8	2,4	—	1,9
— Trichoptères	4,3	5,2	6,5	4,3	3,6	3,5	—	2,7
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	12,3 (8,8)	5,2 (1,8)	2,7 (0,7)	2,9 (1,7)	2,8 (1,6)	3,1 (2,0)	—	3,9 (0,8)
— Autres	1	1,2	0,9	0,4	1,6	0,8	—	—
Total : moyenne horaire de dérive \bar{x}	20	17,6	12,6	11	8,8	9,8	8,8	8,5
Variance s^2	78	61,3	28,3	91	19,9	6,8	21,7	11,6
Coefficient de variation s/\bar{x}	0,44	0,44	0,42	0,87	0,51	0,27	0,53	0,40

(*) La moyenne \bar{x} n'est pas significativement différente de la variance s^2 .

TABLEAU II.
Insectes aquatiques d'origine épigée récoltés au griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Houtas) pendant la crue du 17-26 février 1971.

Date	17	18	19 (*)	20 (*)	21 (*)	22 (*)	23 (*)	24 (*)	25	26
Débit moyen de Las Houtas (L/s)	838	1373	1907	2666	1542	1328	1156	1034	942	
Nombre d'échantillons n	9	7	7	4	4	4	3	3	1	1
Taxa : moyenne horaire de dérive										
— Baetidae	—	0,1	0,1	—	—	—	—	0,3	—	—
— Plécoptères	0,2	0,4	0,1	1,2	0,5	1,5	0,3	1,2	0,7	—
— Trichoptères	1,0	1,0	1,3	0,7	1,0	0,5	2,0	0,3	0,7	—
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	101,0 (100,0)	6,9 (5,6)	6,6 (3,3)	5,0 (3,0)	9,7 (5,0)	11,0 (6,5)	13,4 (5,6)	2,4 (0,3)	3,1 (1,2)	—
— Autres	1,0	1,4	1,2	1,3	0,8	0,5	2,3	0,3	1,0	—
Total : moyenne horaire de dérive \bar{x}	103,2	9,8	9,3	8,2	12	13,5	18	4,5	5,5	6
Variance s^2	10776	25,2	3,3	6,9	7,3	4,3	19	3,2	—	—
Coefficient de variation s/\bar{x}	1,00	0,51	0,19	0,32	0,22	0,16	0,24	0,40	—	—

(*) La moyenne \bar{x} n'est pas significativement différente de la variance s^2 .

Une grande instabilité caractérise la dérive pendant cette période (fig. 4). Les sorties demeurent faibles les premiers jours, lorsque les pertes sont encore diffuses. Dès la fin du 26 mai, un accroisse-

ment subit de la dérive traduit une montée des eaux et le début du fonctionnement de la perte de la Peyrière, et les sorties d'insectes aquatiques se ralentissent à Las Houtas. Le 31, la perte

de la Peyrère redevient fonctionnelle ; la dérive s'accroît à nouveau. Enfin, la décrue est marquée, après une brève diminution le 1^{er} juin, par une augmentation exceptionnelle de la dérive les 2 et 4 juin.

Au cours de ces journées, les plus fortes variations de dérive correspondent à la reprise du fonctionnement de la Peyrère après une période pendant laquelle les pertes s'effectuaient plus en amont, de

TABLEAU III.

Insectes aquatiques d'origine épigée récoltés au griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Hountas) pendant la crue du 24 mai au 4 juin 1971.

Date	24 (*)	25 (*)	26	27	28	29	30	31	1 (*)	2	3	4
Débit moyen de Las Hountas (L/s)	573	572	582	633	765	675	535	612	672	595	514	480
Nombre d'échantillons n	6	6	8	8	9	7	6	6	5	5	5	2
Taxa : moyenne horaire de dérive												
— Baetidae	—	0,1	0,9	1,6	4,3	11,1	2,0	9,0	7,9		1,4	
— Plécoptères	1,2	0,7	1,4	0,1	1,8	5,3	1,7	3,5	1,9		2,2	
— Trichoptères	2,0	1,1	3,2	0,6	0,1	0,5	3,0	0,5	0,1		1,5	
— Chironomidae	7,8	8,2	52,6	146,6	55,7	44,8	56,2	135,5	65,2		102,7	
(dont Orthoclad.)	(7,3)	(7,6)	(51,4)	(146,6)	(55,2)	(42,0)	(53,5)	(134,5)	(64,2)		(97,2)	
— Autres	2,0	1,4	2,8	0,7	1,2	2,6	1,9	1,0	3,1		2,0	
Total : moyenne horaire de dérive \bar{x}	13	11,5	60,9	149,6	63,1	64,3	64,8	149,5	78,2	604,8	109,8	937,5
Variance s^2	14	5,9	3335,5	7257,1	1996,1	244,8	1013,9	18393	68,7	12540,5	6483,2	99012,5
Coefficient de variation s/\bar{x}	0,29	0,21	0,95	0,56	0,71	0,24	0,16	0,90	0,11	0,58	0,73	0,97

(*) La moyenne \bar{x} n'est pas significativement différente de la variance s^2 .

TABLEAU IV.

Insectes aquatiques d'origine épigée récoltés au griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Hountas) pendant la crue du 12 au 21 janvier 1972.

Date	12	13	14 (*)	15	17	18	19	20	21
Débit moyen de Las Hountas (L/s)	600	635	560	535	498	740	660	595	580
Nombre d'échantillons n	10	10	8	4	5	9	8	7	5
Taxa : moyenne horaire de dérive									
— Baetidae	3,8	1,1	0,6	0,5	0,5	0,2	14,0	8,3	2,0
— Plécoptères	4,5	2,5	1,7	1,4	1,1	3,3	5,1	2,3	1,0
— Trichoptères	2,1	47,2	9,1	26,3	19,3	63,9	49,7	37,2	10,0
— Chironomidae	12,3	13,1	13,1	11,3	3,9	8,4	17,0	30,3	10,0
(dont Orthoclad.)	(6,2)	(7,8)	(10,3)	(9,5)	(2,2)	(5,1)	(11,1)	(26,6)	(9,0)
— Autres	1,5	1,1	0,5	0,5	1,2	1,2	1,2	1,0	0,2
Total : moyenne horaire de dérive \bar{x}	27	65	25	40	26	77	87	79	23,2
Variance s^2	86	5010	22,3	1545	186,5	4797	3319	1853	81,5
Coefficient de variation s/\bar{x}	0,35	1,00	0,19	0,98	0,53	0,90	0,66	0,54	0,39

(*) La moyenne \bar{x} n'est pas significativement différente de la variance s^2 .

TABLEAU V.

Insectes aquatiques d'origine épigée récoltés au griffon B5 (1/34 de l'exutoire de Las Hountas) pendant la crue du 11 au 19 avril 1972.

Date	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Débit moyen de Las Hountas (L/s)	650	1480	1200	1000	1135	1305	980	980	845
Nombre d'échantillons n	11	9	8	8	5	2	4	4	3
Taxa : moyenne horaire de dérive									
— Baetidae	146,1	31,5	106,3	117,2	54,0	25,2	50,3	11,4	21,1
— Plécoptères	0,9	0,5	2,9	1,6	0,4	0,5	0,1	—	0,1
— Trichoptères	1,9	0,8	0,8	0,8	—	0,1	0,6	0,2	0,2
— Chironomidae	52,6	44,8	78,0	102,3	23,8	25,2	39,6	13,0	51,2
(dont Orthoclad.)	(51,6)	(43,1)	(75,7)	(99,2)	(23,5)	(24,9)	(38,1)	(12,4)	(50,8)
— Autres	1,6	0,9	1,0	1,1	0,8	2,0	1,4	0,4	0,4
Total : moyenne horaire de dérive \bar{x}	203,1	78,5	189	223	79	53	92	25	73
Variance s^2	1961,6	667,8	5297,7	11221	1661	1793	160	68	151
Coefficient de variation s/\bar{x}	0,22	0,33	0,38	0,47	0,51	0,80	0,14	0,33	0,17

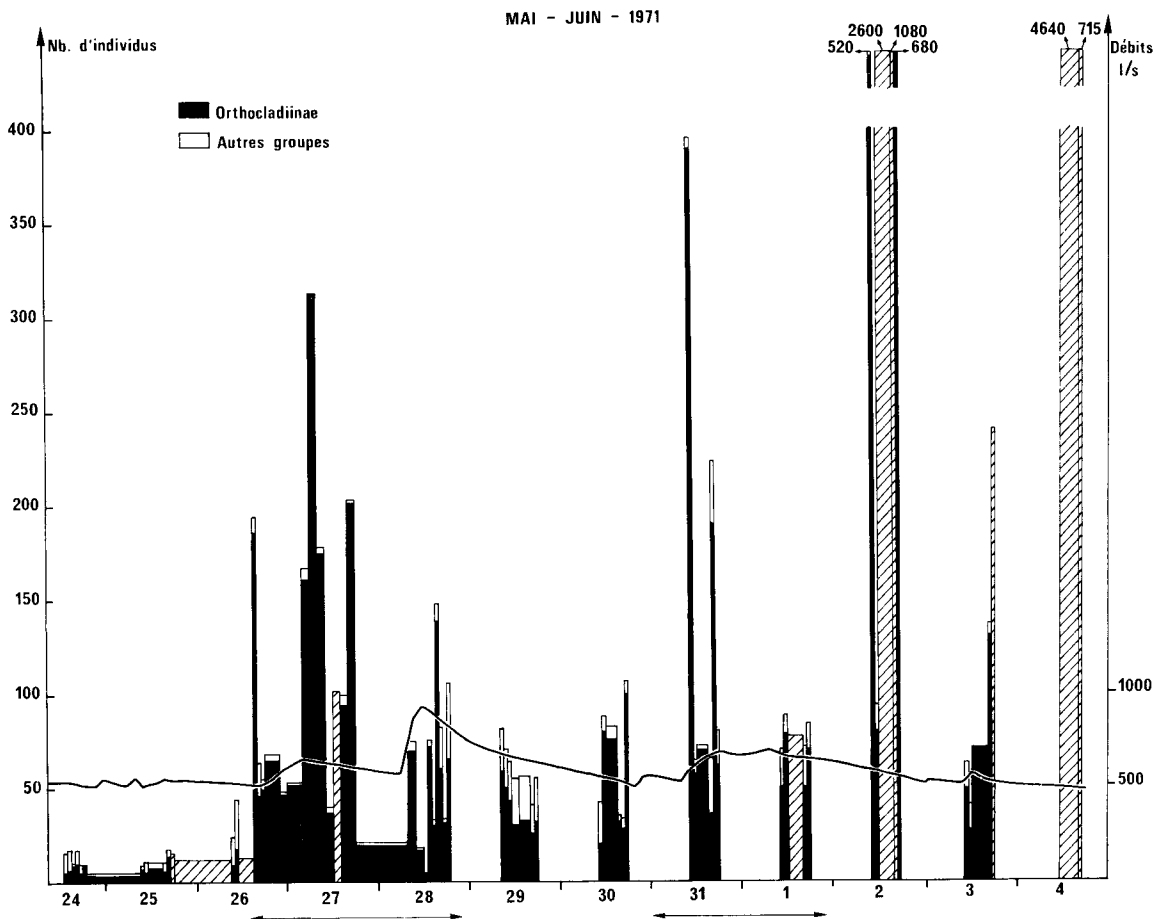


FIG. 4. — Débits de Las Hountas en mai-juin 1971 et nombres d'invertébrés d'origine épigée récoltés au niveau du griffon B5. Le fonctionnement de la perte de la Peyrère est indiqué par des traits horizontaux sous l'abscisse. (Hachures : la distinction n'a pas été faite entre Orthoclaadiinae et autres groupes).

façon diffuse (tableau III). Ainsi, des coefficients de variation de 0,95 et 0,90 sont-ils atteints les 26 et 31 mai. Cette situation paraît normale si l'on considère que la perte de la Peyrière peut absorber jusqu'à 400 l/s. Plus surprenante est l'augmentation régulière du coefficient de variation du 1 au 4 juin, en période de décrue.

Rappelons qu'elle coïncide avec une augmentation exceptionnelle de la moyenne horaire de dérive. On peut penser que dans ce cas, le déblocage de certains systèmes annexes, alimentés par le drain en période de crue, permet aux larves piégées de suivre les écoulements qui s'effectuent vers l'exutoire. Ce phénomène n'a pas été observé lors des autres crues, étudiées il est vrai à des époques différentes de l'année.

de plus de 5 000 individus par heure. Entre temps, les sorties se stabilisent aux environs de 2 000 ind./h. En fin de crue, elles s'élèvent à 20 500 le 2 juin et à près de 32 000 ind./h le 4 juin.

d) CRUE DE JANVIER 1972.

La crue de janvier 1972 correspond à des débits semblables à ceux de mai-juin 1971. La perte de la Peyrière n'est fonctionnelle que quelques heures pendant la nuit du 12 au 13 janvier ; elle l'est à nouveau le 18 janvier avec, ce jour-là, un débit maximal de 840 l/s à Las Hountas. Durant les autres jours, le ruisseau de surface n'est jamais parvenu jusqu'à la Peyrière, et les pertes ne se manifestent que de façon diffuse.

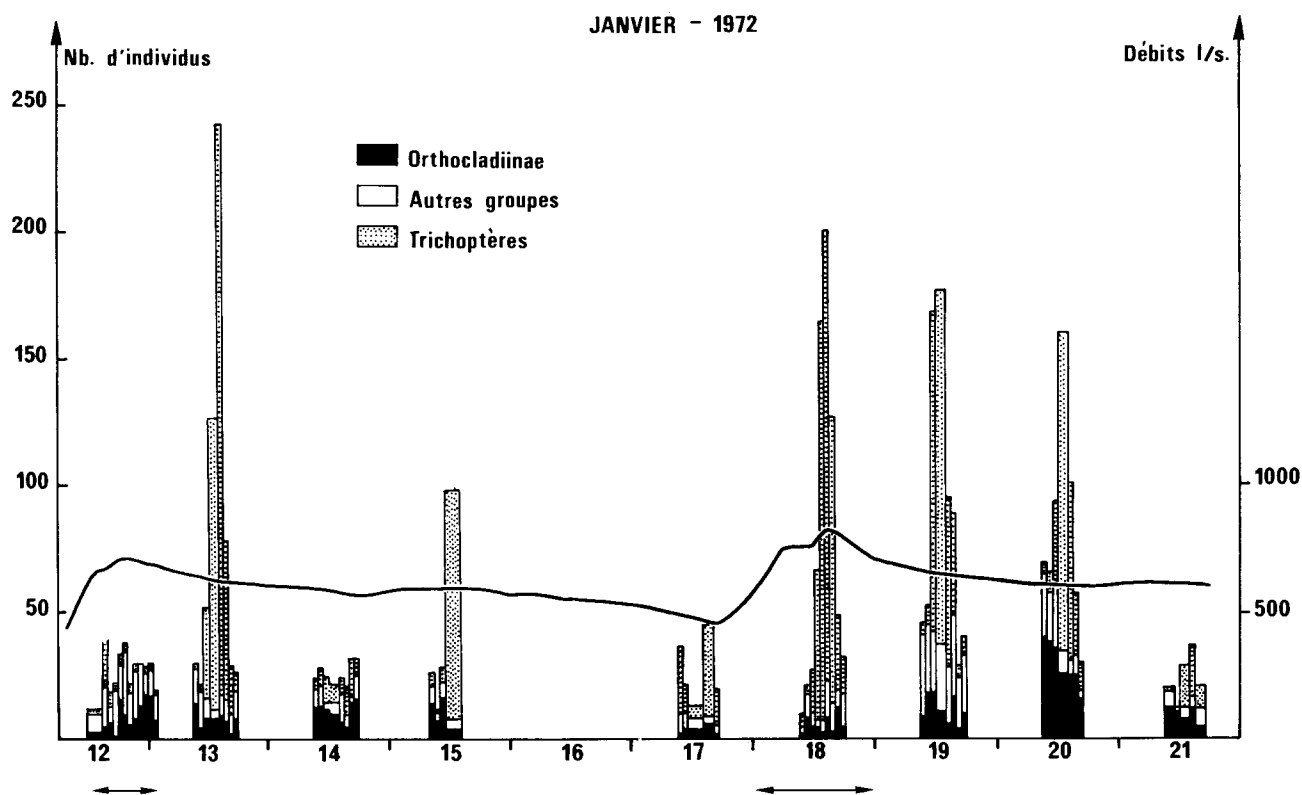


FIG. 5. — Débits de Las Hountas en janvier 1972 et nombres d'invertébrés d'origine épigée récoltés au niveau du griffon B5. Le fonctionnement de la perte de la Peyrière est indiqué par des traits horizontaux sous l'abscisse.

Pendant toute cette période, les larves d'Orthoclaadiinae représentent la presque totalité des Insectes aquatiques entraînés. On remarque notamment le faible nombre de Baetidae, Plécoptères et Trichoptères : les proportions obtenues à l'exutoire de Las Hountas sont certainement très différentes de celles que l'on observe dans les ruisseaux de surface.

Au niveau de Las Hountas, les moyennes maximales du 27 et du 31 mai correspondent à la sortie

On constate, comme précédemment, un synchronisme entre le fonctionnement de la perte de la Peyrière et les sorties des larves d'insectes à l'exutoire de Las Hountas (fig. 5). L'activité de la perte pendant la nuit du 12 janvier est immédiatement suivie d'une augmentation de la dérive. De même, l'afflux d'eau du 18 janvier entraîne les jours suivants des dérives plus abondantes. Ces augmentations de dérive sont accompagnées, dans les deux cas, de coefficients de variation élevés (tableau IV). Notons

que la légère montée des eaux du 15 janvier provoque également une recrudescence des sorties de larves d'Insectes et une élévation du coefficient de variation.

Les moyennes horaires de dérive (34 x) approchent 2 200 ind./h le 13 janvier et 3 000 ind./h le 19. Elles s'abaissent à près de 900 ind./h les jours où la perte de la Peyrière n'est pas fonctionnelle.

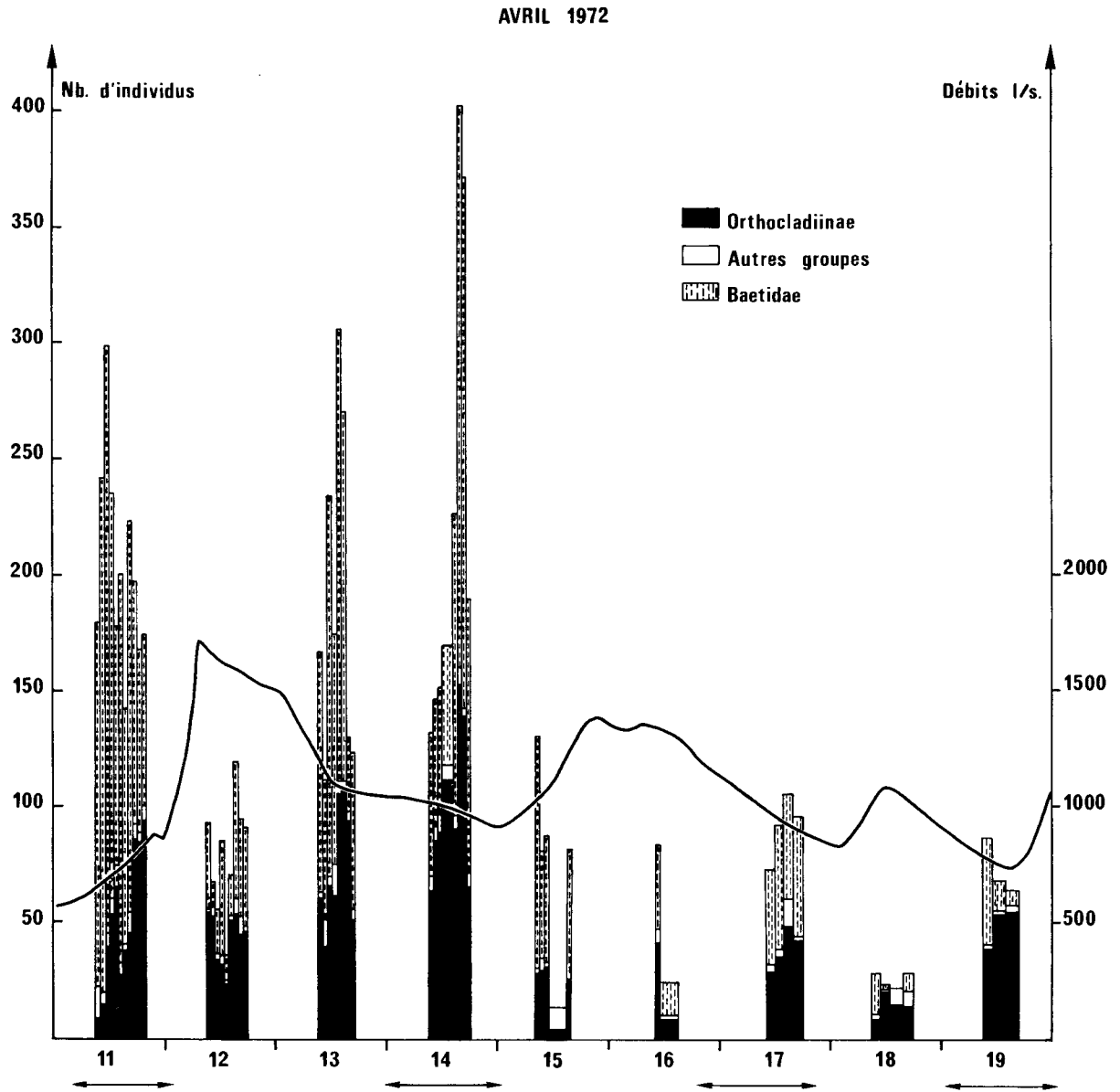


Fig. 6. — Débits de Las Houtas en avril 1972 et nombres d'invertébrés d'origine épigée récoltés au niveau du griffon B5. Le fonctionnement de la perte de la Peyrière est indiqué par des traits horizontaux sous l'abscisse.

Comme pour les crues de janvier de l'année précédente, les pertes diffuses n'entraînent qu'une dérive relativement faible au niveau de Las Houtas. Par contre, la composition qualitative diffère : les larves d'Orthoclaadiinae ne dominent plus ; les larves de Trichoptères les dépassent largement, notamment aux heures de plus forte dérive.

e) CRUE D'AVRIL 1972.

Sans atteindre les débits de février 1971, la crue d'avril 1972 surpasse celles de mai-juin 1971 et de janvier 1972. Elle est caractérisée par une succession rapide de montées et de descentes des eaux. La perte de la Peyrière, fonctionnelle lorsque les débits sont

les moins forts, devient émissive au-dessus de 1 000 à 1 100 l/s (fig. 6).

Il s'ensuit que, à l'exutoire de Las Houtas, les courbes des moyennes horaires de dérive prennent un aspect en dents de scie selon le fonctionnement de la perte. Du début à la fin de la période de crue, une diminution régulière de la dérive se superpose à ces variations, en sorte que les dérives maximales de fin de crue (perte fonctionnelle) ne dépassent pas la dérive minimale (perte non fonctionnelle) du début de crue (fig. 6).

A ces variations quotidiennes s'oppose une stabilité inattendue des échantillons horaires au sein d'une même journée. Ainsi les coefficients de variation (tableau V) sont-ils relativement faibles (ceux, plus élevés des 15 et 16 doivent être écartés, certains échantillons de trop longue durée étant sous-estimés (fig. 6). En tous cas, on n'observe jamais une élévation du coefficient de variation les jours où la perte devient fonctionnelle comme c'était le cas lors des crues précédentes. Nous reviendrons sur ce point.

Autre singularité de la crue d'avril 1972, les larves de Baetidae dominent. Avec les larves d'Orthocla-diinae, elles forment pratiquement la totalité de la dérive à l'exutoire de Las Houtas. En fin de crue, les larves de Baetidae sont relativement moins abondantes.

Les moyennes horaires de dérive ($34 \bar{x}$) varient de 7 000 individus/heure le premier jour à 2 500 ind./h le dernier jour, avec une moyenne maximale de 7 600 ind./h le 14 avril et une moyenne minimale de 850 ind./h le 18 avril.

2. — INTERPRÉTATION DE LA DÉRIVE DES INSECTES AQUATIQUES A LAS HOUTAS.

Les sorties d'insectes aquatiques à l'exutoire de Las Houtas montrent le rôle important de la perte

de la Peyrère. Cette dernière est liée à l'intensité des crues : le ruisseau de Lachein n'atteint pas la Peyrère pour des débits trop faibles (pertes diffuses) ; il s'engouffre en profondeur pour des débits moyens (perte fonctionnelle) ; pour les débits les plus forts, la perte devient émissive. Au cours des cinq crues étudiées, on peut rendre compte de la densité de dérive à l'exutoire de Las Houtas en faisant appel au fonctionnement de la perte de la Peyrère (fig. 9).

Toutefois, plusieurs faits demeurent obscurs si l'on ne tient compte que de cette influence.

1° Des quantités d'insectes parfois importantes apparaissent à Las Houtas lorsque les pertes sont diffuses, ou bien encore lorsque la perte de la Peyrère est émissive. Ce fut notamment le cas en janvier et en avril 1972.

2° La dérive a atteint des valeurs exceptionnellement fortes lors de la décrue en juin 1971 (fig. 4). Nous avons indiqué l'augmentation corrélative du coefficient de variation de la moyenne horaire de dérive les 1 et 4 juin. Le karst paraît restituer, par paquets, d'importantes quantités d'insectes piégés en profondeur les jours précédents. Nous avons évoqué le rôle que peut jouer le déblocage des systèmes annexes dans un tel phénomène.

3° Le coefficient de variation de la moyenne horaire \bar{x} diffère selon les jours (tableaux I à V). Au cours des quatre premières crues étudiées, l'activité de la perte de la Peyrère suivait des périodes où les pertes s'effectuaient de façon diffuse : le coefficient de variation s'élevait alors brusquement. Au contraire, lors de la crue observée en avril 1972, la perte, très souvent émissive en raison des volumes d'eau mis en jeu, ne fut fonctionnelle que pour les débits les plus faibles. Dans ce cas, aucune élévation du coefficient de variation n'a été observée : les échantillons horaires d'un même jour sont restés stables.

Ces différents points nous obligent à reconnaître que la provenance des Insectes aquatiques en transit

TABLEAU VI.

Nombres maximaux d'insectes aquatiques dérivant pendant une heure à Las Houtas et au Moulo de Jaur (valeurs approchées calculées pour l'ensemble de chaque exutoire, à partir du plus fort échantillon de chaque crue ; les débits correspondants sont indiqués entre parenthèses).

Dates	Janvier 71	Février 71	Mai-Juin 71	Nov.-Déc. 71	Janvier 72	Avril 72
Las Houtas						
— débit (l/s)	(619)	(596)	(480)		(630)	(980)
— ind./heure	1100	11300	39400		8200	13700
Moulo de Jaur						
— débit (l/s)	(420)	(160)		(320)	(490)	(220)
— ind./heure	1400	400		3000	1200	1000

dans le karst est multiple. La perte de la Peyrière n'est pas seule en cause. Des quantités parfois considérables d'Insectes peuvent pénétrer dans le karst par le biais de pertes diffuses, à partir de ruissellements de surface. Des phénomènes de rétention dus à l'alimentation des systèmes annexes par le drain peuvent maintenir en profondeur une grande partie des Insectes introduits dans le milieu souterrain. Au sein du karst enfin, différents mécanismes sont susceptibles d'influencer les sorties observées à l'exutoire principal (ROUCH, 1972). Ainsi doit-on considérer qu'un ensemble de facteurs est responsable de l'ampleur de la dérive des organismes d'origine épigée, à Las Hountas.

A ce déterminisme complexe s'ajoute une influence saisonnière, tant du point de vue qualitatif que quantitatif :

— Qualitativement, on observe tour à tour des crues à Orthocladiinae, Trichoptères ou Baetidae dominants. Il est frappant de constater que les brusques augmentations de la dérive à Las Hountas sont dues, en presque totalité, à un afflux soudain des individus du groupe dominant : les Orthocladiinae en mai-juin 1971, les Trichoptères en janvier 1971, et les Baetidae en avril 1972. Les différentes proportions observées dans la dérive à Las Hountas ne reflètent donc pas simplement la composition faunistique du benthos des ruisseaux de surface. Elles traduisent plutôt quels sont les groupes (ou espèces) qui subissent plus fortement l'effet catastrophique de l'augmentation du débit. Autrement dit, sont récoltés dans nos filets les groupes les plus exposés à l'entraînement suivant le stade de leur cycle évolutif (éclosion, période d'activité...) ou incapables de regagner le substrat après leur décrochement (larvules).

— Quantitativement, le nombre d'Insectes éjectés augmente fortement lors des crues de printemps, — les dernières avant l'étiage estival. A cette époque, la quantité de benthos est maximale dans les ruisseaux de surface. Les sorties observées à Las Hountas fournissent une image du nombre de larves d'Insectes pénétrant sous terre. On peut supposer qu'une partie des larves ainsi entraînées demeure sous terre plus longtemps. L'importance de cette augmentation des transits avant l'été devient alors évidente pour l'économie du karst. Les eaux ne fourniront aucun apport supplémentaire pendant toute la phase quiescente de l'été. Seules, les perturbations d'automne entraîneront de nouveaux organismes aquatiques en profondeur.

Compte tenu de la diversité des apports, de la complexité des mécanismes mis en jeu, l'étude de la dérive au niveau d'un exutoire tel que celui de Las Hountas donne, en première analyse, l'image la plus fidèle des transits d'organismes épigés au sein du

karst. Deux questions se posent alors dans le cadre de cette étude préliminaire :

1°) La comparaison des sorties au niveau de l'exutoire principal d'une part et d'un système de trop-plein d'autre part fait-elle apparaître des différences importantes ?

2°) Quelle estimation globale peut-on donner du nombre d'Insectes aquatiques entraînés jusqu'à l'exutoire principal de Las Hountas ?

III. — COMPARAISON DES DÉRIVES D'INSECTES AQUATIQUES AUX EXUTOIRES DE LAS HOUNTAS ET DU MOULO DE JAUR.

1. — ANALYSE DES DONNÉES.

Les récoltes d'insectes aquatiques d'origine épigée à Las Hountas et au Moulo de Jaur diffèrent sous trois aspects.

1°) Les nombres totaux sont plus élevés à Las Hountas (tableau VI). Le maximum horaire de dérive du Moulo de Jaur (nov.-déc. 71) n'atteint pas le dixième de celui de Las Hountas (mai-juin 71). Seule, la crue de janvier 1971, la plus faible, provoque des sorties comparables aux deux exutoires.

2°) Comme nous l'avons noté, les larves récoltées à Las Hountas sont souvent de faible taille. On observe au Moulo de Jaur une proportion plus grande de larves âgées, notamment de Plécoptères. En quelques rares occasions, des adultes émergeant ont même été récoltés au Moulo de Jaur.

3°) L'abondance relative des principaux groupes étudiés sépare encore plus nettement Las Hountas du Moulo de Jaur. Pour l'ensemble des crues (fig. 7A), on remarque, aux côtés des Chironomidae (principalement des Orthocladiinae), un mélange d'autres groupes pour Las Hountas mais surtout des Plécoptères pour le Moulo de Jaur. La comparaison des deux exutoires pour les différents jours de crues de janvier 1972 (fig. 7B) et d'avril 1972 (fig. 7C) conduit à des observations similaires :

— en janvier, les Trichoptères, abondants à Las Hountas, sont remplacés par des Plécoptères au Moulo de Jaur ;

— en avril, les Baetidae, dominants à Las Hountas, sont également remplacés par des Plécoptères au Moulo de Jaur.

Les tableaux VII, VIII et IX précisent les pourcentages représentés dans la figure 7.

TABLEAU VII.

Abondances relatives des principaux groupes taxonomiques récoltés à Las Hountas et au Moulo de Jaur au cours des crues étudiées.

Dates	Janvier 71	Février 71	Mai-Juin 71	Nov.-Déc. 71	Janvier 72	Avril 72
Las Hountas	%	%	%		%	%
— Baetidae	3,2	0,3	5,2		6,2	54,8
— Plécoptères	21,6	3,3	2,5		4,7	0,6
— Trichoptères	33,9	4,7	1,1		63,8	0,5
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	36,6 (22,9)	86,4 (71,0)	88,7 (87,0)		23,4 (17,1)	42,8 (41,5)
— Autres	4,7	5,3	2,3		1,8	1,2
Moulo de Jaur	%	%		%	%	%
— Baetidae	1,3	—		0,2	17,4	0,9
— Plécoptères	52,2	33,9		84,8	25,7	26,9
— Trichoptères	4,8	0,6		2,0	1,5	0,5
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	39,2 (35,8)	59,9 (37,6)		12,4 (6,5)	54,3 (49,7)	69,8 (65,8)
— Autres	2,5	5,5		0,4	0,9	1,8

TABLEAU VIII.

Abondances relatives des principaux groupes taxonomiques récoltés chaque jour à Las Hountas et au Moulo de Jaur pendant la crue de janvier 1972.

Dates	12	13	14	15	18	19	20	21
Las Hountas	%	%	%	%	%	%	%	%
— Baetidae	15,7	1,5	2,8	0,5	0,3	14,6	8,5	10,4
— Plécoptères	18,6	3,2	6,1	1,7	4,2	5,4	3,1	4,7
— Trichoptères	8,7	75,2	35,8	80,6	83,1	61,4	53,4	42,0
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	50,8 (25,6)	18,3 (1,1)	52,0 (41,0)	15,3 (12,6)	10,8 (6,5)	17,2 (11,2)	33,7 (30,0)	39,8 (37,2)
— Autres	6,1	1,5	2,0	1,7	1,4	1,1	1,3	2,5
Moulo de Jaur	%	%	%	%	%	%	%	%
— Baetidae	—	9,4	11,2	4,2	6,1	31,1	18,8	8,9
— Plécoptères	35,7	43,6	22,4	37,5	40,9	40,5	14,4	20,5
— Trichoptères	3,6	5,1	4,6	—	3,3	0,2	1,0	0,8
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	60,7 (46,4)	38,5 (29,9)	57,9 (44,7)	58,3 (29,1)	33,1 (21,1)	26,8 (21,7)	63,4 (64,3)	64,8 (62,5)

TABLEAU IX.

Abondances relatives des principaux groupes taxonomiques récoltés chaque jour à Las Hountas et au Moulo de Jaur pendant la crue d'avril 1972.

Dates	12	13	14	15	16	17	18	19
Las Hountas	%	%	%	%	%	%	%	%
— Baetidae	40,0	54,8	50,7	69,3	53,1	54,7	32,5	28,3
— Plécoptères	0,6	1,1	0,8	0,4	0,7	0,1	—	0,1
— Trichoptères	1,0	0,3	0,3	—	0,7	0,5	0,7	0,3
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	56,9 (54,9)	40,0 (38,4)	47,6 (46,2)	29,2 (29,1)	42,9 (41,2)	43,1 (41,5)	51,4 (50,3)	70,3 (69,5)
— Autres	1,1	0,4	0,5	0,9	2,8	1,5	15,4	0,6
Moulo de Jaur	%	%	%	%	%	%	%	%
— Baetidae	—	0,4	—	1,1	—	2,1	4,0	2,1
— Plécoptères	5,7	30,0	17,8	36,7	62,8	36,6	32,4	16,7
— Trichoptères	—	0,4	0,3	—	—	1,4	—	2,1
— Chironomidae (dont Orthoclad.)	92,8 (92,4)	66,8 (62,8)	80,8 (77,7)	62,2 (58,9)	34,2 (31,4)	57,7 (51,4)	58,1 (54,0)	77,1 (68,7)
— Autres	1,4	2,2	1,0	—	2,8	2,1	5,0	2,1

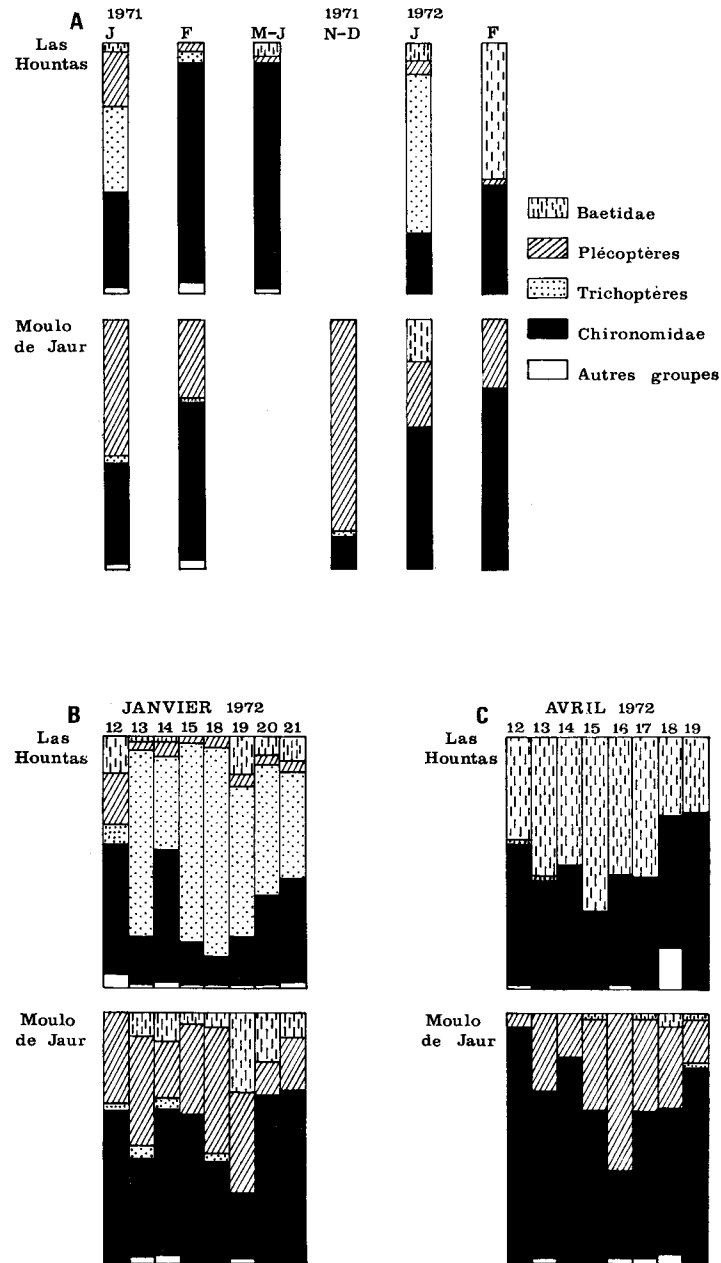


FIG. 7. — Abondances relatives des principaux groupes d'insectes aquatiques en dérive à Las Hountas et au Moulo de Jaur.

A : pourcentages observés pour différentes crues ;
 B : pourcentages observés du 12 au 21 janvier 1972 ;
 C : pourcentages observés du 12 au 19 avril 1972.

2. — INTERPRÉTATION.

A 600 m en amont de l'exutoire de Las Hountas, le trop-plein du Moulo de Jaur se trouve placé plus près des pertes de la Hille et de la Peyrère (fig. 1). Son fonctionnement n'intervient que pour des débits atteignant 560 l/s à Las Hountas (MANGIN, 1970).

Deux solutions peuvent être proposées pour interpréter les différences observées entre ces deux résurgences.

Dans leur ensemble, les larves récoltées au Moulo de Jaur et à Las Hountas n'appartiennent pas aux mêmes groupes dominants. On pourrait en déduire

TABLEAU X.

Insectes aquatiques d'origine épigée dérivant au griffon B5 en une heure et en vingt-quatre heures : moyennes et limites de confiance au seuil 95 %.

Date	1 heure		24 heures	
6 janvier 1971	18,1	(11-29)*	434	(271-696)
7 janvier 1971	15,7	(8-32)	377	(185-773)
8 janvier 1971	11,5	(6-22)	276	(144-521)
9 janvier 1971	8,7	(1-65)	209	(29-1562)
20 janvier 1971	7,6	(5-12)	182	(96-288)
21 janvier 1971 (1)	9,8	(7-13)	235	(165-305)
22 janvier 1971	7,7	(4-16)	185	(91-386)
23 janvier 1971 (1)	8,5	(4-13)	204	(94-314)
17 février 1971	41,9	(10-180)	1006	(233-4327)
18 février 1971	8,6	(5-14)	206	(125-341)
19 février 1971 (1)	9,3	(6-12)	223	(156-290)
20 février 1971 (1)	8,2	(4-12)	197	(98-298)
21 février 1971 (1)	12	(8-16)	288	(187-389)
22 février 1971 (1)	13,5	(10-17)	324	(247-401)
23 février 1971 (1)	18	(7-29)	432	(173-691)
24 février 1971 (1)	4,5	(0-9)	108	(1-214)
24 mai 1971 (1)	13	(9-17)	312	(221-401)
25 mai 1971 (1)	11,5	(9-14)	276	(221-331)
26 mai 1971	38,9	(13-114)	934	(319-2731)
27 mai 1971	128	(76-216)	3072	(1814-5196)
28 mai 1971	43,7	(19-114)	1049	(451-2731)
29 mai 1971	62,6	(49-79)	1502	(1185-1903)
30 mai 1971	58,2	(34-100)	1397	(816-2395)
31 mai 1971	112,4	(48-260)	2698	(1164-6252)
1 juin 1971 (1)	78,2	(68-88)	1877	(1639-2122)
2 juin 1971	471,6	(147-1509)	11318	(3535-36228)
3 juin 1971	89,7	(38-210)	2153	(910-5045)
12 janvier 1972	25,2	(23-28)	605	(552-662)
13 janvier 1972	44,8	(25-82)	1075	(590-1958)
14 janvier 1972 (1)	25	(21-29)	600	(499-698)
15 janvier 1972	29,2	(7-123)	701	(166-2945)
17 janvier 1972	23,7	(12-45)	569	(300-1087)
18 janvier 1972	50,2	(8-356)	1205	(187-8551)
19 janvier 1972	71,2	(40-128)	1709	(970-3077)
20 janvier 1972	68	(38-122)	1632	(910-2933)
21 janvier 1972	21,9	(14-35)	526	(329-842)
11 avril 1972	199	(173-229)	4776	(4154-5494)
12 avril 1972	74,5	(56-98)	1788	(1351-2364)
13 avril 1972	177,7	(130-244)	4265	(3110-5846)
14 avril 1972	205,1	(144-293)	4622	(3446-7027)
15 avril 1972	65,3	(24-178)	1567	(574-4274)
16 avril 1972				
17 avril 1972	90,9	(84-98)	2182	(2016-2362)
18 avril 1972	24,6	(14-42)	590	(348-1000)
19 avril 1972	72,3	(48-108)	1735	(1159-2599)

(*) Après les calculs, chaque nombre a été arrondi à l'unité la plus proche.

(1) Moyenne arithmétique ($\bar{x} \pm s^2$).

qu'elles ont une origine différente ; par exemple, des ruisseaux de surface distincts, à peuplement constamment dominé par des Plécoptères pour l'un, plus variable au cours de l'année, pour l'autre.

les nombres d'insectes récoltés au Moulo de Jaur varient d'une façon semblable à ceux de Las Hountas. Les sorties d'insectes aquatiques au Moulo de Jaur peuvent donc, elles aussi, être influencées par

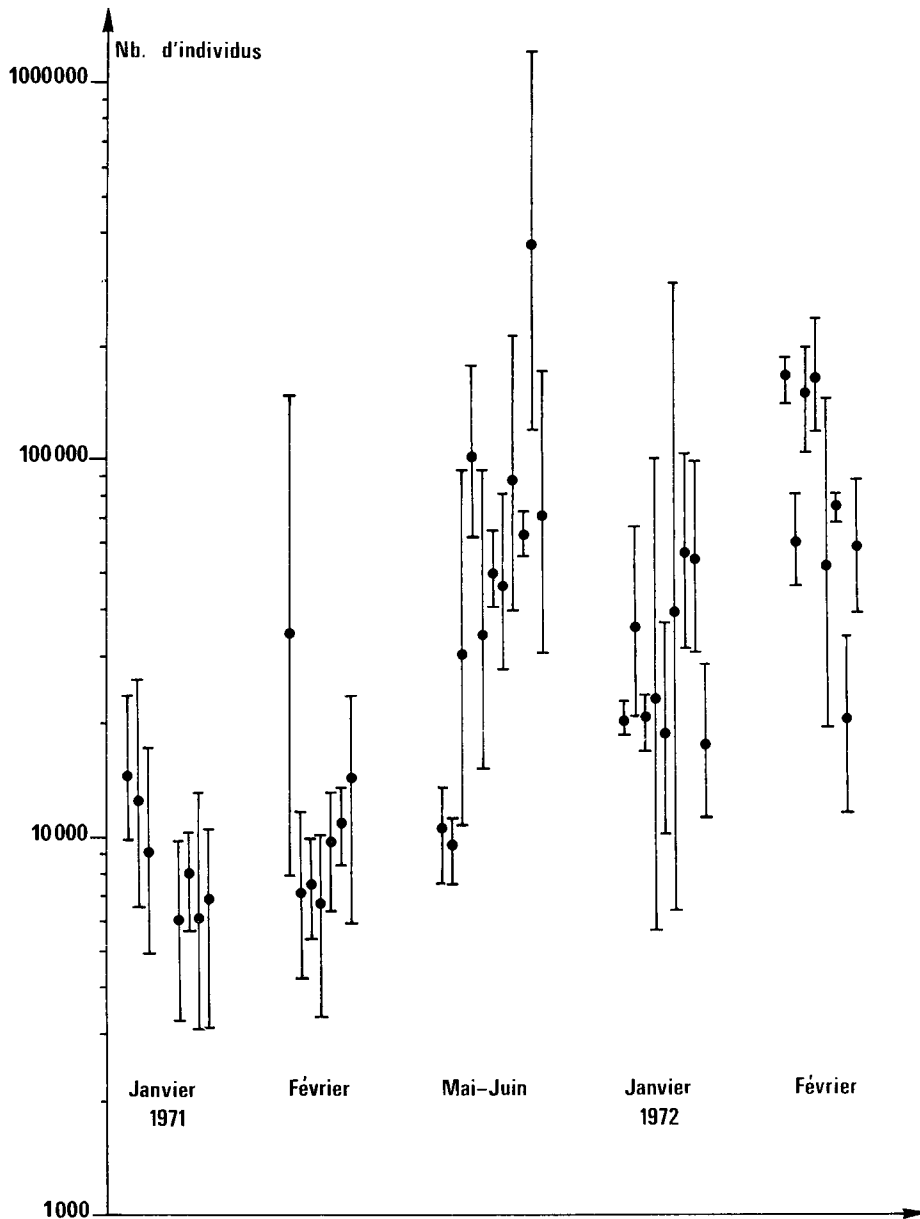


FIG. 8. — Estimations des nombres totaux d'insectes aquatiques d'origine épigée dérivant chaque jour à l'exutoire de Las Hountas pendant les crues étudiées (moyenne et limites de confiance au seuil 95 %).

Dans cette hypothèse, la concordance existant entre le fonctionnement de la perte de la Peyrère et les sorties de Las Hountas serait inexacte pour le Moulo de Jaur. Or, dans le cas de certaines crues tout au moins, — celle de janvier 1972 par exemple —,

l'activité de la perte de la Peyrère. Des origines distinctes semblent donc insuffisantes pour rendre compte des différences observées.

Il convient également de considérer les distances parcourues dans le milieu souterrain par les orga-

nismes d'origine épigée. Par suite de l'éloignement inégal des résurgences par rapport aux pertes, certaines larves, entraînées jusqu'à la hauteur du Moulo de Jaur, ont une plus grande chance de se raccrocher au substrat avant de parvenir à Las Hountas. Ainsi s'expliquerait la plus faible proportion de larves âgées (les plus aptes à résister au courant) à l'exutoire de Las Hountas.

Rappelons enfin que dans la zone noyée des karsts, une série de réserves ou systèmes annexes se disposent autour du drain principal (MANGIN, 1969). Cette conception a déjà permis de formuler une interprétation cohérente des sorties d'organismes hypogés au niveau de Las Hountas (ROUCH, 1971). Si, dans le cas présent, nous la retenons comme explication des dissemblances observées au Moulo de Jaur et à Las Hountas, nous sommes conduits aux deux corollaires suivants :

— les Insectes aquatiques d'origine épigée se dispersent aussi bien dans le drain que dans les systèmes annexes ;

— alors que l'exutoire de Las Hountas traduit globalement les transits réalisés dans le système karstique du Baget, celui du Moulo de Jaur ne renseigne que sur la dérive située dans l'axe de drainage.

La comparaison des sorties d'animaux à Las Hountas et au Moulo de Jaur traduit une certaine complexité des mécanismes mis en jeu au sein du système karstique du Baget. Les observations précédentes conduisent à penser que certaines larves d'insectes aquatiques d'origine épigée parviennent en profondeur tant au niveau du drain principal qu'au niveau des systèmes annexes.

IV. — ESTIMATION GLOBALE DE LA DÉRIVE D'INSECTES AQUATIQUES D'ORIGINE ÉPIGÉE AU NIVEAU DE LAS HOUNTAS.

1. — ÉLABORATION DES RÉSULTATS.

Le rapport des débits entre le griffon B5, lieu des filtrages, et l'ensemble de Las Hountas peut être considéré comme linéaire et égal à 1/34. Plusieurs tests ont par ailleurs montré la représentativité des échantillons obtenus au griffon B5 par rapport à l'exutoire de Las Hountas (ROUCH, 1972).

Il est donc possible, à partir des moyennes horaires \bar{x} (tableaux I à V) calculées pour le griffon B5, de déduire le nombre d'insectes aquatiques dérivant

en 24 heures, au niveau de ce même griffon, et au niveau de l'ensemble de Las Hountas.

Il est plus difficile de fixer les limites de confiance des nombres ainsi obtenus. D'une part, comme en témoignent les coefficients de variation des tableaux I à V, la variabilité des échantillons horaires peut être grande au sein d'une même journée. D'autre part, notre échantillonnage concerne le plus souvent des tranches horaires diurnes. Nous admettons donc, en étendant les résultats sur 24 heures une similitude entre la dérive de jour et de nuit.

Trois raisons nous conduisent à tenir pour valable cette hypothèse :

1°) L'augmentation des nombres en phase nocturne vaut surtout pour la dérive de comportement. Dans le cas du Baget, la dérive, due à de fortes augmentations de débit, est de type catastrophique.

2°) Les larves récoltées à l'exutoire de Las Hountas ont parcouru, dans une obscurité constante, plusieurs centaines de mètres sous terre.

3°) Les quelques filtrages nocturnes effectués à Las Hountas n'ont pas révélé d'augmentation du nombre des insectes aquatiques transitant pendant la nuit.

2. — CALCUL DES INTERVALLES DE CONFIANCE (1).

Le nombre d'échantillons horaires pris chaque jour étant inférieur à 30, l'utilisation d'une approximation normale n'est pas possible. Certains jours, la moyenne \bar{x} n'étant pas significativement différente de la variance s^2 (tableaux I à V), les méthodes valables pour une distribution de Poisson ont été employées (ELLIOTT, 1971, p. 83). Cependant, dans la plupart des cas, la variance est largement supérieure à la moyenne : $s^2 > \bar{x}$ (tableaux I à V). Une transformation des données est donc nécessaire pour le calcul des limites de confiance (ELLIOTT, 1971, p. 93). Une transformation logarithmique a été employée.

Par exemple, le 6 janvier 1971 (tableau I), les échantillons horaires ($n = 7$), successivement 18, 32, 7, 18, 19, 15, et 31 donnent une moyenne $\bar{x} = 20$ et une variance $s^2 = 78$. La variance est significativement supérieure à la moyenne ($\chi^2 = 23,4$ pour 6 D.L.). La transformation logarithmique ($\log. x$) des échantillons donne 1.25 527, 1.50 515, 0.84 510, 1.25 527, 1.27 875, 1.17 609 et 1.49 136. La moyenne arithmétique des valeurs transformées est $\bar{y} = 1.25 814$, et la variance = 0.04 886. Pour $n - 1 =$

(1) Nous remercions J. M. ELLIOTT pour ses indications concernant nos estimations et les densités de dérive atteintes en d'autres cours d'eau.

6 degrés de liberté, $t = 2.447$ au seuil 95 %. Par suite, les limites de confiance de y sont :

$$1.25\ 814 \pm 2.447 \sqrt{\frac{0.04\ 886}{6}}$$

c'est-à-dire : 1.05 358 et 1.46 270

— limite inférieure : antilog. 1.05 358 = 11,3 ;

-- limite supérieure : antilog. 1.46 270 = 29.

Dans le tableau X figurent la moyenne géométrique des échantillons horaires (par exemple : $x = 18,1$) et

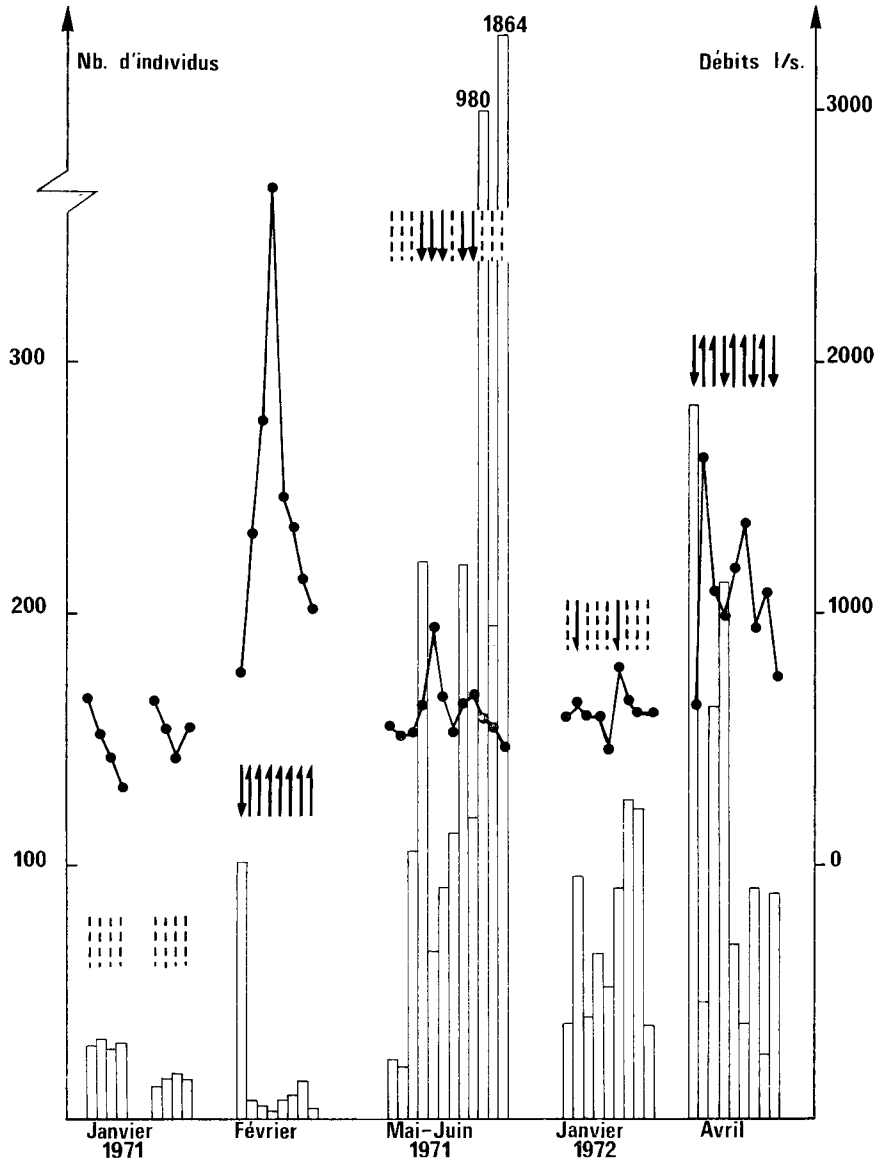


FIG. 9. — Densités de dérive (nombre d'individus par 100 m³ d'eau) et débits de Las Hountas : rapports avec le fonctionnement de la perte de la Peyrière.

- Y perte fonctionnelle
 - A perte émissive
 - ⋮ eau ne parvenant pas à la perte
- } perte non fonctionnelle

la moyenne géométrique est donc : antilog. 1.25 814 = 18,1 et ses limites de confiance au seuil 95 % :

les limites au seuil 95 % calculées à partir de cette moyenne quand une transformation était nécessaire

TABLEAU XI.

Estimation approchée du nombre total d'*Insectes aquatiques d'origine épigée* dérivant chaque jour à l'exutoire de Las Hountas pendant les crues (moyenne et limites de confiance au seuil 95 %).

Date	Moyenne	Limite inférieure	Limite supérieure
6 janvier 1971	14 800	9 800	23 700
7 janvier 1971	12 800	6 500	26 100
8 janvier 1971	9 400	4 900	17 100
20 janvier 1971	6 200	3 300	9 800
21 janvier 1971	8 000	5 600	10 400
22 janvier 1971	6 300	3 100	13 100
23 janvier 1971	6 900	3 200	10 700
17 février 1971	34 200	7 900	147 100
18 février 1971	7 000	4 200	11 600
19 février 1971	7 600	5 300	9 900
20 février 1971	6 700	3 300	10 100
21 février 1971	9 800	6 400	13 200
22 février 1971	11 000	8 400	13 600
23 février 1971	14 700	5 900	23 500
24 mai 1971	10 600	7 500	13 600
25 mai 1971	9 400	7 500	11 300
26 mai 1971	31 700	10 800	92 900
27 mai 1971	104 400	61 900	176 700
28 mai 1971	35 700	15 300	92 900
29 mai 1971	51 100	40 300	64 700
30 mai 1971	47 500	27 700	81 400
31 mai 1971	91 700	39 600	212 600
1 juin 1971	63 800	55 700	72 100
2 juin 1971	384 800	120 200	1 231 700
3 juin 1971	73 200	30 900	171 500
12 janvier 1972	20 600	18 800	22 500
13 janvier 1972	36 600	20 100	66 600
14 janvier 1972	20 400	17 000	23 700
15 janvier 1972	23 800	5 600	100 100
17 janvier 1972	19 300	10 200	37 000
18 janvier 1972	41 000	6 400	290 700
19 janvier 1972	58 100	33 000	104 600
20 janvier 1972	55 500	30 900	99 700
21 janvier 1972	17 900	11 200	28 600
11 avril 1972	162 400	141 200	186 800
12 avril 1972	60 800	45 900	80 400
13 avril 1972	145 000	105 700	198 800
14 avril 1972	167 400	117 200	238 900
15 avril 1972	53 300	19 500	145 300
17 avril 1972	74 200	68 500	80 300
18 avril 1972	20 100	11 800	34 000
19 avril 1972	59 000	39 400	88 700

TABLEAU XII.

Densités de dérives observées en divers ruisseaux et rivières (exprimées en individus/100 m³).

0,6 — 5,4	Speed River	(Bishop et Hynes, 1969)
8,1 — 78,9	River Leven	(Elliott et Corlett, 1972)
44,4	Missouri	(Berner, 1951)
10 — 556	Walla Brook	Elliott, 1970)
190 — 493	River Tjulán	(Ulfstrand, 1968)
11,07	Simulies {	(Pearson et Franklin, 1968)
172,6	Baelis sp { Utah River	

(par exemple : 11,3 et 29). La moyenne arithmétique est utilisée dans les autres cas. Ces nombres sont multipliés par 24 pour obtenir une évaluation des sorties quotidiennes au griffon B5, puis par 34 (tableau XI) pour une évaluation des sorties quotidiennes au niveau de Las Hountas.

3. — DISCUSSION, COMPARAISON AVEC D'AUTRES COURS D'EAU.

Les estimations faites pour l'ensemble de Las Hountas (fig. 8) indiquent qu'un flux considérable d'invertébrés aquatiques épigés traverse le karst aux périodes de crue. Deux remarques renforcent cette constatation :

1° Les estimations ont pour base des échantillons de dérive pris pendant le jour. Pour des périodes de crue, nous avons en effet admis l'hypothèse d'une égalité entre les dérives diurne et nocturne sur le Baget. Toutefois, une dérive nocturne supérieure à la dérive diurne a été observée dans d'autres ruisseaux. Certaines valeurs du tableau XI sont donc probablement sous-estimées.

2° Dans la figure 8, les limites de confiance n'ont pas été indiquées lorsque le nombre des échantillons était jugé insuffisant (< 4). Malgré cela, certaines marges de confiance sont très importantes. La cause essentielle en est l'irrégularité des pulsions de dérive lors de certaines journées (le 17 février par exemple).

Nos estimations n'atteignent donc pas les limites supérieures possibles de la dérive à Las Hountas.

Cette réserve faite, nous pouvons comparer nos résultats à ceux obtenus pour certains cours d'eau de surface. On relève dans la littérature quelques estimations d'invertébrés aquatiques dérivant en un point par 24 heures :

64 000 000	Missouri River, U.S.A. (BERNER, 1951) ;
2 629 500 - 9 048 000	Rivière Tjulán, Suède (ULFSTRAND, 1968) ;
35 000 - 200.000	River Duddon, G. B. (ELLIOTT et MINSHALL, 1968) ;
40 000 - 403 000	River Leven, G. B. (ELLIOTT et CORLETT, 1972) ;
20 380 - 366 417	Speed River, Canada (BISHOP et HYNES, 1969) ;
1 500 - 32 000	Walla Brook, G. B. (ELLIOTT et CORLETT, 1972) ;
1 025 - 29 868	River Yarty, G. B. (BAILEY, 1966) ;

800 - 18 000 Wilfin Beck, G. B. (ELLIOTT et CORLETT, 1972).

pour le Baget, les estimations approchées (tableau XI) s'élèvent à :

6 200 - 384 800 : valeurs moyennes ;

3 100 - 120 200 : limites inférieures ;

9 800 - 1 231 700 : limites supérieures.

En période de crue, les dérives estimées au niveau de l'exutoire de Las Hountas ne sont donc dépassées que par celles de cours d'eau dont les débits sont sans commune mesure avec ceux du système du Baget.

L'utilisation du rapport entre le nombre d'invertébrés recueillis et l'unité de volume d'eau (ou densité de dérive) permet de préciser ces comparaisons. Pour l'exutoire de Las Hountas, les différentes densités de dérive sont représentées sur la figure 9. Elles varient de 2,8 à 283,2 individus par 100 m³, deux valeurs nettement supérieures étant atteintes les 2 et 4 juin 1971 (980 et 1 864).

Les densités de dérive de Las Hountas atteignent des valeurs comparables à celles du tableau XII (les valeurs exceptionnelles des 2 et 4 juin 1971 étant écartées). Leur originalité tient surtout à leur grande variabilité. La densité de la dérive à l'exutoire de Las Hountas est tour à tour voisine des plus faibles et des plus fortes densités relevées dans les cours d'eau de surface.

Une analyse de cette variabilité ne révèle pas de concordance constante entre la densité de dérive et le fonctionnement de la perte de la Peyrière (fig. 9). En février 1971, une densité nettement plus élevée n'apparaît que le jour où la perte est fonctionnelle. Dans ce cas, on peut supposer que la majorité des Insectes épigés pénètre dans le karst par la perte de la Peyrière. Il en est autrement pour les crues suivantes, en mai-juin 71, en janvier 72 et en avril 72. Une simple observation de la figure 9 révèle que les invertébrés épigés récoltés à l'exutoire de Las Hountas ont des origines diverses. En dehors des pertes massives, de nombreux invertébrés aquatiques d'origine épigée pénètrent donc dans le karst par des pertes diffuses.

De plus, ainsi que nous l'avons dit, certains individus se maintiennent en profondeur, dans les systèmes annexes, pendant la phase de crue maximale. Ils sont ensuite évacués au dehors au cours de la décrue comme nous le montre le diagramme de mai-juin 1971 (fig. 9). Les densités exceptionnelles de dérive les 2 et 4 juin, très supérieures à celles relevées dans la littérature, résultent probablement de ce phénomène.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Les résultats partiels étant signalés et discutés à la fin de chacun des paragraphes précédents nous pouvons maintenant obtenir une vue d'ensemble sur le transit des larves d'Insectes aquatiques à l'intérieur du système karstique du Baget.

1. — Nos estimations mettent en évidence l'importance numérique de ces transits. Les crues provoquent un véritable dépeuplement des ruisseaux de surface au bénéfice du karst. Encore que les nombres obtenus ne résultent que de filtrages limités dans le temps, on est en droit d'affirmer que, entre la première crue hivernale et la dernière crue de printemps, un nombre considérable d'organismes vivants pénètre à l'intérieur du karst.

2. — Cette dérive d'Insectes aquatiques dans le milieu souterrain présente une grande variabilité. Le déterminisme complexe des mécanismes mis en jeu doit en être rendu responsable. Ainsi peut-on citer l'augmentation et la diminution du débit des ruisseaux de surface, le fonctionnement des pertes, la mise en charge du drain et des systèmes annexes.

3. — L'entraînement des animaux en profondeur résulte de la présence de pertes importantes mais aussi, et cela de façon non négligeable, de pertes diffuses provenant du ruissellement de surface.

4. — Les crues de printemps surviennent à une époque pendant laquelle la densité du benthos atteint son maximum dans les ruisseaux de surface. Elles entraînent en profondeur un nombre accru d'organismes aquatiques d'origine épigée. Cet apport abondant est d'un grand intérêt quant à l'économie des systèmes souterrains car il se produit juste avant le début de la période quiescente d'été.

5. — Toutes les larves entraînées ne sont pas immédiatement rejetées à l'extérieur au niveau des exutoires. Certaines d'entre elles peuvent demeurer quelque temps en profondeur, tandis que d'autres s'y trouvent définitivement prisonnières. Ainsi peuvent s'expliquer la recrudescence de la dérive d'Insectes aquatiques lors de certaines décrues et plusieurs dissemblances que l'on relève entre les sorties du Moulou de Jaur et de Las Hountas. Les larves âgées semblent être les plus aptes à s'agripper en profondeur.

Pour des raisons évidentes, le sort des Invertébrés entraînés en profondeur ne peut être qu'imparfaitement connu. Quel est le temps de survie des individus ainsi piégés dans le karst ? Au moins pour les détritivores, rien ne s'oppose à ce que des larves entraînées lors des crues de printemps ne demeurent en vie, une partie de l'été, dans le milieu souterrain.

Ainsi pourrait être assurée la jonction entre les derniers apports de printemps et les premiers apports d'automne. La survie est plus aléatoire pour les espèces à régime alimentaire strict. Quoi qu'il en soit, après leur mort, toutes ces formes enrichissent le milieu souterrain en matières organiques.

Plus précisément, l'importance numérique des transits étant établie, et la possibilité d'un piégeage en profondeur retenue, le rôle des invertébrés aquatiques d'origine épigée peut désormais être abordé. Quelle proportion d'Insectes demeure en profondeur ? Quel apport d'énergie en résulte-t-il pour le karst ? Quelle est, en définitive, l'incidence de la dérive au niveau de l'écosystème karstique ? La multiplicité des transits rend certes difficile un bilan global des entrées et des sorties. Une évaluation est cependant réalisable pour un système tel que le Baget, aux débits constamment suivis pendant l'année, aux mécanismes hydrologiques connus dans le détail, avec des pertes, trop-pleins et exutoires permettant l'étude quasi-expérimentale du phénomène.

BIBLIOGRAPHIE.

- ANDRIEUX (C.) — 1972 — Recherches sur les eaux souterraines — 18 — Le système karstique du Baget (Ariège). I. Sur la thermique des eaux au niveau de l'exutoire principal (note préliminaire). *Ann. Spéléol.*, 27, 3, p. 525-541.
- BAILEY (R. G.) — 1966 — Observations on the nature and importance of organic drift in a Devon river. *Hydrobiologia*, 27, p. 353-67.
- BARR (T. C.) — 1968 — Cave ecology and the evolution of troglobites. In : *Evolutionary Biology*, Th. Dobzhansky, M. K. Hecht and W. C. Steere eds. *North Holland Publishing Company, Amsterdam*, vol. 2, p. 35-102.
- BARR (T. C.) et KUEHNE (R. A.) — 1971 — Ecological studies in the Mammoth Cave System of Kentucky. II. The Ecosystem. *Ann. Spéléol.*, 26, 1, p. 47-96.
- BERNER (L. M.) — 1951 — Limnology of the lower Missouri river. *Ecology*, 32, p. 1-12.
- BISHOP (J. E.) et HYNES (H. B. N.) — 1969 — Downstream drift of the invertebrate fauna in a stream ecosystem. *Arch. Hydrobiol.*, 66, p. 56-90.
- ELLIOTT (J. M.) — 1970 — Methods of sampling invertebrate drift in running water. *Annls Limnol.*, 6, 2, p. 133-159.
- ELLIOTT (J. M.) — 1971 — Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Freshwater Biological Association, Scientific publication n° 25*, 144 p.
- ELLIOTT (J. M.) et CORLETT (J.) — 1972 — The ecology of Morecambe Bay IV. Invertebrate drift into and from the River Leven. *J. appl. Ecol.*, 9, p. 195-205.
- ELLIOTT (J. M.) et MINSHALL (G. W.) — 1968 — The invertebrate drift in the River Duddon, English Lake District. *Oikos*, 19, p. 39-52.
- GINET (R.) — 1960 — Ecologie, Ethologie et Biologie de *Niphargus* (Amphipodes, Gammarides hypogés). *Ann. Spéléol.*, 15, 1-2, 254 p.
- HAWES (R. S.) — 1939 — The flood factor in the ecology of caves. *J. Anim. Ecol.*, 8, p. 1-5.
- KOFOID (C. A.) — 1899 — The plancton of Echo River, Mammoth Cave. *Trans. Amer. Micr. Soc.*, 21, p. 113-126.