

**LE SYSTEME KARSTIQUE DU BAGET.  
XIII. COMPARAISON DE LA DERIVE DES HARPACTICIDES  
A L'ENTREE ET A LA SORTIE DE L'AQUIFERE**

par R. ROUCH<sup>1</sup>

Les valeurs maximales de la dérive des Harpacticides, à l'entrée et à la sortie de l'aquifère karstique du Baget, sont définies pour un certain nombre de crues. Les densités de dérive du signal de sortie, mélange d'espèces hypogées et épigées, peuvent atteindre 4 individus/m<sup>3</sup>, la dérive totale étant le plus souvent comprise entre 10<sup>4</sup> et 20 × 10<sup>3</sup> i/heure, mais pouvant dépasser 10<sup>5</sup> i/heure. Pour le signal d'entrée, composé uniquement d'espèces épigées, les densités de dérive peuvent dépasser 500 i/m<sup>3</sup>, la dérive totale étant de plusieurs dizaines de milliers d'individus par heure et pouvant atteindre 1,4 × 10<sup>6</sup> i/heure. 70 % au moins des Harpacticides entraînés par le ruissellement de surface sont piégés dans l'aquifère. Le terme de dérive par ruissellement est proposé et les conséquences de cette dérive examinées.

**The Baget karstic system.  
XIII. Comparison of the Harpacticoidea drift at the input  
and the output of the aquifer.**

Maximum values of the Harpacticoidea drift at the input and the output of the Baget karstic aquifer are defined for several spates. The drift density at the output can reach 4 i/m<sup>3</sup>; the total drift ranges from 10<sup>4</sup> to 20 × 10<sup>3</sup> i/h, the greatest value exceeding 10<sup>5</sup> i/h. At the input, drift density can exceed 500 i/m<sup>3</sup>; most often, the drift rate varies from 10<sup>4</sup> to 50 × 10<sup>3</sup> i/h, but it can reach, 1,4 × 10<sup>6</sup> i/h. More than 70 % of the Harpacticoidea swept along by the surface run-off are trapped inside the aquifer. The term of "drift by run-off" is proposed and consequences of these results discussed.

Pendant les crues, le système karstique du Baget, dans les Pyrénées, est caractérisé par une importante dérive des Harpacticides (Rouch 1974). Le transit observé à la sortie du système (exutoires pérenne et de trop-plein) correspond à un mélange d'espèces hypogées et épigées. Ces dernières ont pour origine le ruissellement de surface qui, lors des forts épisodes pluvieux, vient se perdre dans la perte de la Peyrère après avoir lessivé les zones imperméables du bassin versant de ce système (Rouch 1979, 1980 a). Il y a identité, sur le plan taxinomique, entre les signaux d'entrée et de sortie des formes épigées. Cependant, en l'absence de ruissellement, l'analyse des sorties (Rouch 1980 c) indique que la dérive des espèces épigées est souvent importante ce qui pourrait impliquer que certaines d'entre elles colonisent l'aquifère en permanence.

---

1. Laboratoire souterrain du C.N.R.S., 09410 Moulis, France.

La dérive, à l'entrée comme à la sortie de l'aquifère, évolue lors de chaque crue, passant par un maximum durant la montée et la pointe de crue pour décroître ensuite rapidement sans qu'apparaissent jamais les manifestations d'une dérive de type nyctéméral (Rouch *loc. cit.*).

Dans le travail qui suit, après que les valeurs maximales de cette dérive, tant des espèces hypogées qu'épigées, aient été définies, on tente d'analyser comment s'effectue le transit du matériel d'origine épigée depuis l'entrée jusqu'à la sortie de l'aquifère.

Les données utilisées concernent l'exutoire pérenne du système, Las Hountas, un exutoire de trop-plein, HR 121, et la station P<sub>3</sub>, en amont de la perte de La Peyrière, qui rend compte du ruissellement de surface (*fig. 1*).

### 1. — METHODES

Le système karstique du Baget possède un important équipement hydrologique (Mangin 1975). Les différentes stations limnimétriques implantées permettent de connaître à tout moment : le débit global du système (station B<sub>1</sub>), celui de l'exutoire principal (QB<sub>1</sub> — QB<sub>3</sub>),

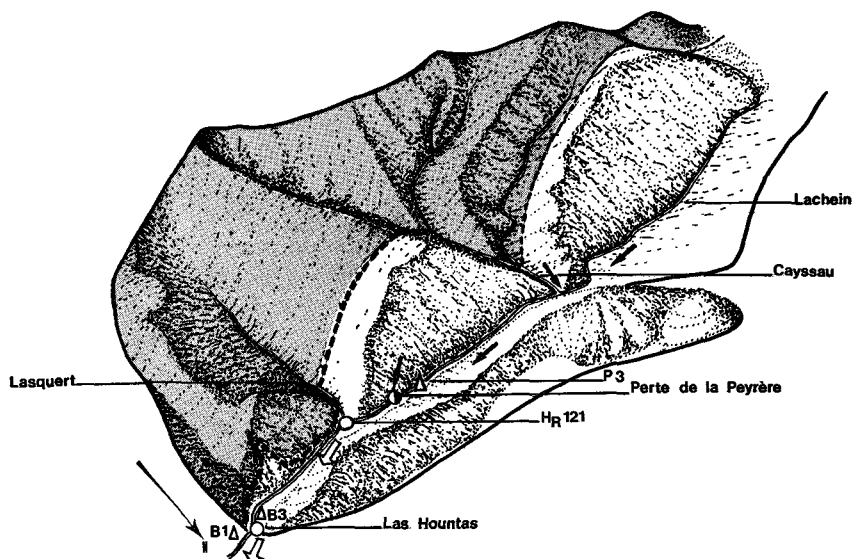


FIG. 1. — Système karstique du Baget (aval). La zone en grisé correspond à des terrains imperméables, celle en blanc à des calcaires. Le ruissellement de surface qui se déverse dans la perte de la Peyrière est alimenté par le Cayssau et par le Lachein ; ce dernier draine des terrains imperméables situés beaucoup plus en amont. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et P<sub>3</sub> sont des stations limnigraphiques.

celui de l'ensemble des trop-pleins (station B<sub>3</sub>) dès qu'ils fonctionnent et celui du ruissellement de surface (station P<sub>3</sub>) lorsqu'il apparaît.

A Las Hountas, un griffon a été aménagé qui permet de filtrer le 1/34 du débit total de cet exutoire. Après une série de jaugeages, les débits de HR 121 peuvent être connus par simple lecture d'une échelle limnimétrique ; les eaux de ce trop-plein sont canalisées vers un tube de plastique à l'extrémité duquel est fixé le filet de dérive. Jusqu'à 28 l/s, la totalité du débit est filtrée. De 28 l/s à 128 l/s, le débit filtré demeure constant et égal à 28 l/s. De 128 l/s à 200 l/s, la quantité d'eau filtrée représente 21 % des débits. Pour 250 l/s, elle atteint 25 % des débits. La station P<sub>3</sub> où est mesurée la dérive due au ruissellement de surface a fait l'objet d'une description détaillée (Rouch 1979). C'est à son niveau que passe, avant de s'infiltrer, le ruissellement issu de terrains imperméables drainés par deux vallées (Lachein et Cayssau). En période de crue, les eaux d'une autre vallée (Lasquert), située plus en aval, viennent se mêler à celles des exutoires de trop-plein ; elles ne participent donc pas aux apports à l'aquifère. La station P<sub>3</sub> est équipée d'un limnigraphe et d'une échelle limnimétrique ; la quantité d'eau filtrée est mesurée à l'aide d'un Venturi.

Dans toutes les stations, les filets utilisés ont une maille de 110 micromètres. Les prélèvements effectués au cours d'une journée couvrent en général une période de 8 heures. Aux exutoires du système, où les eaux sont rarement turbides, les filets sont relevés toutes les heures. En P<sub>3</sub>, selon la turbidité des eaux, la durée des filtrages varie de 30 s à 10 mn toutes les heures.

Connaissant le nombre d'individus capturés et le volume d'eau filtré lors de chaque prélèvement, il est facile de calculer la densité de dérive,  $d$ , exprimée en nombre d'individus par m<sup>3</sup>. La dérive totale par heure, ou taux de dérive horaire,  $D$ , nombre total d'individus dérivant par heure en un point donné, est obtenue en multipliant la densité de dérive par le volume d'eau écoulé en une heure en ce point.

Afin de pouvoir établir des comparaisons, les différentes crues étudiées sur le système du Baget ont été caractérisées par une unique valeur de la densité de dérive et de la dérive totale pour chacune des stations étudiées. On a vu, cependant, que ces paramètres ne cessent d'évoluer lors de chaque crue que subit le système. C'est pourquoi n'ont été retenues que les valeurs correspondant à la journée au cours de laquelle la dérive était maximale. Comme les prélèvements effectués au cours d'une journée couvrent en général une période de 8 heures, les données qui figurent dans les tableaux I, II, III, IV, correspondent à la moyenne des différentes valeurs obtenues pendant cette période d'observation.

Ainsi, le 17 septembre 1974, 8 filtrages d'une heure chacun, à Las Hountas, ont donné les densités de dérive suivantes :  $d = 2,71 - 3,22$

— 3,26 — 3,11 — 3,32 — 3,21 — 3,15 — 2,88  $i/m^3$ , d'où la valeur moyenne indiquée dans le tableau I,  $d = 3,11 i/m^3$ . Il faut enfin faire une dernière remarque concernant l'expression des résultats. La dérive totale par heure indiquée dans les tableaux correspond à la moyenne des valeurs calculées pour chaque heure d'observation. Comme la densité de dérive et les débits varient d'une heure à l'autre, cette moyenne diffère légèrement de la valeur qui serait obtenue en multipliant directement la densité de dérive moyenne par la quantité d'eau moyenne écoulee en une heure.

## 2. — LA DERIVE A LA SORTIE ET A L'ENTREE DU SYSTEME

Les données étudiées concernent 53 crues, chacune d'entre elles étant repérée dans les tableaux soit par une lettre (1971 — février 1976) soit par un chiffre (mars 1976 — 1981).

### a) LES DENSITÉS DE DÉRIVE A L'EXUTOIRE PÉRENNE

Il n'existe pas une bonne relation (*fig. 2*) entre les densités de dérive et les débits de Las Houtas ( $r = 0,113$  pour 28 données). Les valeurs extrêmes de  $d$  sont égales à 0,46 et 4  $i/m^3$  (tableau I) ; elles diffèrent

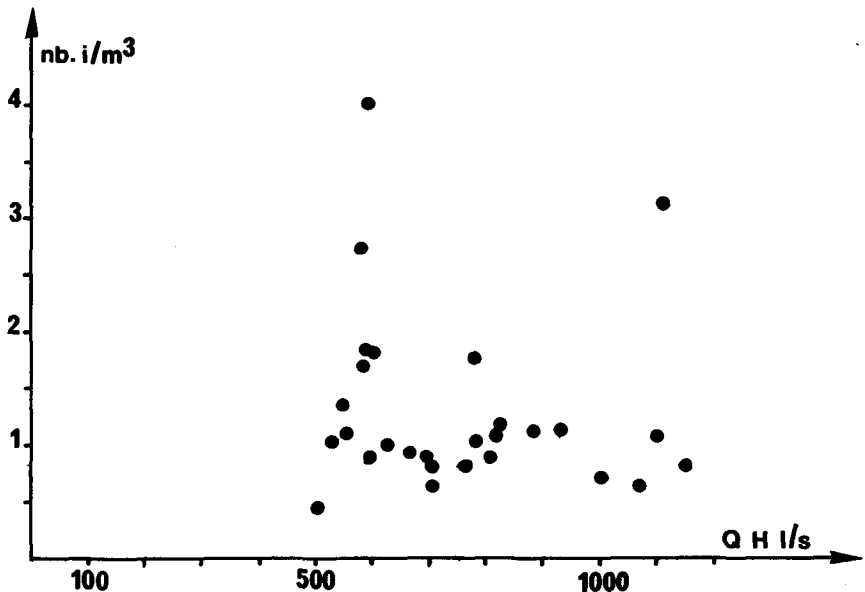


FIG. 2. — Las Houtas : relation entre les débits à Las Houtas et les densités de dérive maximales observées.

TABLEAU I. — Las Hountas : densités de dérive (d) et dérivés totales par heure (D). Q = débit moyen de l'exutoire pendant la durée des prélèvements ; d et D correspondent à la moyenne des différentes valeurs obtenues à partir des filtres, d'une durée d'une heure chacun, effectués au cours de la journée.

crues		durée filtr. (H)	$\bar{Q}$ m <sup>3</sup> /s	ind. capt.	d n.i./m <sup>3</sup>	D n.i/H	Hypogées			Epigées		
n°	date						i. capt.	d	D	i. capt.	d	D
a	6 I 71	7	0,592	1755	4,01	8441	890	2,03	4280	865	1,98	4161
b	20 I 71	9	0,587	1518	2,72	7378	714	1,28	3471	804	1,44	3907
c	17 II 71	9	0,785	1264	1,76	4774	894	1,25	3377	370	0,51	1397
d	30 V 71	8	0,507	224	0,46	626	171	0,35	478	53	0,11	148
e	22 XI 71	7	0,886	740	1,12	3599	492	0,75	2393	248	0,37	1206
f	12 I 72	12	0,599	690	0,91	1956	476	0,63	1350	214	0,28	606
g	18 I 72	9	0,663	599	0,95	2259	458	0,73	1727	141	0,22	532
h	12 IV 72	9	1,155	918	0,84	3468	702	0,64	2652	216	0,20	816
i	1 XII 72	9	0,556	583	1,10	2199	319	0,60	1203	264	0,50	996
j	29 I 73	5	0,931	560	1,13	3811	301	0,61	2048	259	0,52	1763
k	24 II 73	8	1,006	622	0,71	2645	425	0,49	1807	197	0,22	838
l	11 V 73	9	0,705	449	0,67	1694	190	0,28	717	259	0,39	977
m	30 XI 73	9	0,608	1055	1,82	3981	680	1,17	2566	375	0,65	1415
n	5 II 74	7	0,817	663	1,08	3215	394	0,64	1911	269	0,44	1304
o	17 IX 74	8	1,112	2925	3,11	12432	1130	1,20	4802	1795	1,91	7630
p	27 XI 74	8	1,076	586	0,63	2488	320	0,35	1359	266	0,28	1129
q	17 XI 75	5	0,589	527	1,69	3585	284	0,91	1932	243	0,78	1653
r	14 II 76	8	0,767	525	0,81	2226	272	0,42	1153	253	0,39	1073
8	18 X 76	6	0,785	501	1,01	2836	300	0,60	1698	201	0,41	1138
9	3 XII 76	8	1,103	1015	1,08	4319	789	0,84	3357	226	0,24	962
10	12 IV 77	5	0,821	514	1,18	3497	310	0,71	2109	204	0,47	1388
12	4 V 77	8	0,808	625	0,89	2652	454	0,64	1926	171	0,25	726
23	10 XI 79	8	0,548	618	1,33	2628	162	0,35	689	454	0,98	1939
27	24 IV 80	8	0,532	465	1,03	1975	122	0,27	518	343	0,76	1457
34	31 III 81	8	0,699	530	0,90	2249	191	0,32	810	339	0,58	1439
35	17 IV 81	8	0,627	542	1,02	2298	176	0,33	746	366	0,69	1552
36	24 IV 81	8	0,706	477	0,81	2026	166	0,28	705	311	0,53	1321
37	28 X 81	8	0,595	919	1,82	3904	458	0,91	1946	461	0,91	1958

d'un facteur d'ordre 10. La plupart d'entre elles sont comprises entre 0,5 et 1,5 i/m<sup>3</sup>. Les densités les plus fortes (> 1,5) concernent des crues de début de cycle (a, b, c, m, o, q, 37), au moment où le système n'a encore subi que fort peu d'impulsions. Les valeurs les plus faibles caractérisent au contraire des crues qui apparaissent après des périodes fortement perturbées : crues de printemps (d, h, l, 36) ou survenant après de longs épisodes pluvieux d'automne (p) ou d'hiver (k, r)<sup>1</sup>. Les densités de dérive des espèces hypogées sont comprises entre 0,27 et 2,03 i/m<sup>3</sup>. Elles sont généralement supérieures, lors de chaque crue,

1. On sait, en effet, que lorsque des perturbations se succèdent rapidement, les réponses biologiques de l'aquifère n'ont aucune ampleur (Rouch 1974).

à celles des formes épigées ( $0,11 < d < 1,98 \text{ i/m}^3$ ). Il faut remarquer que les trois crues pour lesquelles la densité de dérive des espèces épigées est particulièrement élevée (a, b, o) correspondent à des crues de début de cycle au cours desquelles le ruissellement n'a pas eu beaucoup d'influence (Rouch 1980 b) ; l'essentiel de l'information provient alors de l'intérieur de l'aquifère où *Bryocamptus (L.) echinatus*, espèce troglophile, développe d'importantes populations pendant l'étiage estival. Les crues de printemps ne traduisent pas des densités de dérive élevées des espèces épigées.

#### b) LES DENSITÉS DE DÉRIVE EN HR 121

Bien que la corrélation entre les densités de dérive et les débits soit significative ( $r = 0,670$  pour 18 données), les valeurs des densités de dérive montrent une grande dispersion par rapport à celles des débits (fig. 3). Les valeurs extrêmes de  $d$ , égales à  $0,04$  et  $4,55 \text{ i/m}^3$ , diffèrent

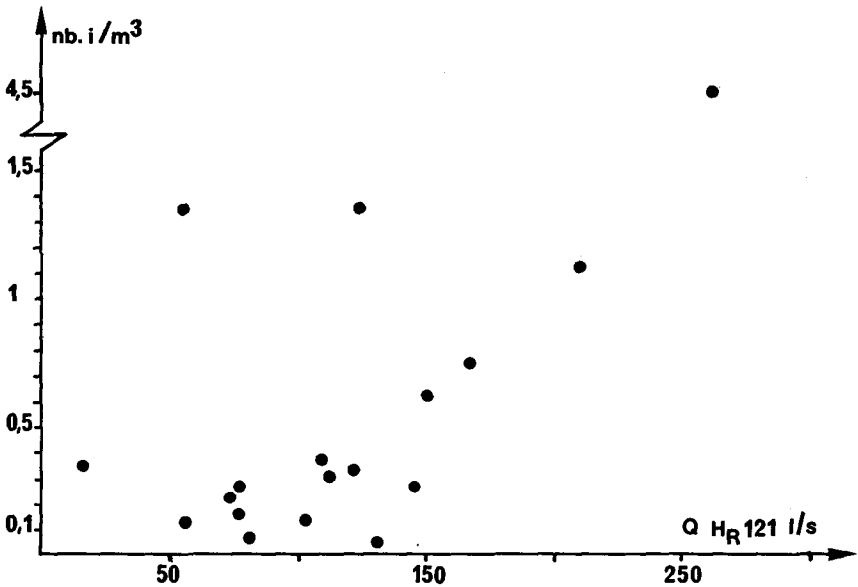


FIG. 3. — HR 121 : relation entre les débits en HR 121 et les densités de dérive maximales observées.

d'un facteur d'ordre 100 et présentent ainsi une moins grande homogénéité qu'à Las Hountas (tableau II). Les densités de dérive des espèces hypogées, comprises entre  $0,016$  et  $2,18 \text{ i/m}^3$ , sont le plus souvent inférieures à celles des espèces épigées ( $0,025$  et  $2,37 \text{ i/m}^3$ ) au cours de chaque crue. Cette variabilité des densités de dérive est due au fait que, lors de certaines crues, la réponse des trop-pleins est médiocre, soit que l'impulsion ait été faible (débits peu élevés des

TABLEAU II. — HR 121 : densités de dérive (d) et dérivées totales par heure (D). Q = débit moyen de HR 121 pendant la durée des prélèvements ; d et D représentent la moyenne des différentes valeurs obtenues à partir de filtrages, d'une durée d'une heure chacun, effectués au cours de la journée. Pour la crue 26, 9 échantillons de 10 minutes toutes les heures et pour la crue 33, 3 échantillons de 4 minutes et 7 de 8 minutes pour une période de 8 heures ont été prélevés.

crues		durée filtr. (H)	$\bar{Q}$ m <sup>3</sup> /s	ind. capt.	d		Hypogés			Épigés		
n°	date				n.i/m <sup>3</sup>	n.i/H	i.capt.	d	D	i.capt.	d	D
18	5 II 79	8	0,168	398	0,75	472	109	0,21	129	289	0,54	343
19	15 III 79	8	0,078	118	0,15	41	46	0,06	16	72	0,09	25
20	17 IV 79	7	0,081	41	0,06	17	27	0,04	11	14	0,02	6
21	24 IV 79	5,5	0,122	172	0,33	128	42	0,08	31	130	0,25	97
22	29 X 79	7	0,153	528	0,62	352	62	0,07	42	466	0,55	310
24	15 XI 79	8	0,104	105	0,13	49	41	0,05	19	64	0,08	30
25	19 XII 79	8	0,057	104	0,12	25	35	0,04	8	69	0,08	16
26	2 I 80	1,5	0,210	310	1,12	819	108	0,40	285	202	0,72	534
28	5 V 80	8	0,057	1088	1,35	275	127	0,16	32	961	1,19	243
29	27 V 80	8	0,110	297	0,37	147	34	0,04	17	263	0,33	130
30	8 XII 80	8	0,074	177	0,22	53	72	0,09	22	105	0,13	31
31	16 XII 80	8	0,133	33	0,041	20	13	0,016	8	20	0,025	12
32	19 XII 80	7	0,146	213	0,27	144	65	0,08	44	148	0,19	100
33	16 I 81	1	0,262	905	4,55	4470	425	2,18	2099	480	2,37	2371
34	31 III 81	8	0,113	244	0,31	126	55	0,07	28	189	0,24	98
35	17 IV 81	7	0,078	185	0,26	75	30	0,04	12	155	0,22	63
36	24 IV 81	8	0,125	1090	1,35	603	151	0,19	85	939	1,16	518
37	28 X 81	8	0,017	171	0,35	21	81	0,17	10	90	0,18	11

crues 19, 20, 25), soit que la crue étudiée apparaisse au sein d'une période très perturbée (crues 24, 31). Cependant, des petites crues peuvent provoquer de bonnes réponses : c'est le cas de la crue 28, survenue au mois de mai, et au cours de laquelle ce sont les densités de dérive des espèces épigées qui constituent l'essentiel de l'information, ou de la crue 37 qui correspond à la première impulsion du cycle 1981-1982.

### c) ESTIMATION DES DÉRIVES TOTALES A LA SORTIE DU SYSTÈME

La meilleure estimation des dérivées totales horaires maximales consisterait à additionner les taux de dérive partiels calculés à partir des débits moyens et des densités de dérive moyennes observées à chacun des exutoires. Or, le plus souvent, seul un exutoire a été testé. La seule évaluation possible revient à multiplier la densité de dérive

moyenne de cet exutoire par le volume d'eau moyen écoulé en une heure à la sortie du système. Les débits de  $B_1$  étant connus,

$$\bar{D} = \bar{Q}B_1 \times \bar{d} \text{ Hountas} \times 3\,600 \text{ ou } \bar{D} = \bar{Q}B_1 \times \bar{d} \text{ HR 121} \times 3\,600.$$

Lorsque les densités de dérive de Las Hountas et de HR 121 ont été mesurées de façon synchrone (crues 34, 35, 36, 37), le taux de dérive horaire a été calculé selon la formule :

$$\begin{aligned} \bar{D} &= (\bar{Q} \text{ Hountas} \times \bar{d} \text{ Hountas} \times 3\,600) \\ &+ [(\bar{Q}B_1 - \bar{Q} \text{ Hountas}) \times \bar{d} \text{ HR 121} \times 3\,600]. \end{aligned}$$

Les calculs réalisés à partir des données d'un seul exutoire ne fournissent donc que des valeurs approchées des sorties puisque, lorsque Las Hountas et HR 121 ont été filtrés de façon synchrone, ces exutoires ont donné des valeurs de densité différentes, encore que du même ordre de grandeur. Ainsi, pour la crue 34, la meilleure estimation des sorties est de 3 400 i/h avec la dernière formule proposée ; cette valeur aurait été de 5 600 i/h avec les seules données de Las Hountas et de 1 900 i/h avec celles de HR 121.

Les dérives totales moyennes de 42 crues figurent dans le tableau III ; rappelons que ces valeurs concernent des périodes de dérive maximale. 5 crues sont caractérisées par une dérive peu importante ( $D < 1\,000$  i/h), due davantage aux densités peu élevées qu'aux valeurs de débit (19, 20, 24, 25, 31). Les dérives de la plupart (26 crues) sont comprises entre 1 000 et 10 000 individus/h. Neuf crues offrent des valeurs comprises entre 10 000 et 20 000 i/h. Deux enfin, où sont conjugués forts débits et densités élevées (0 et 33), donnent lieu à un flux important d'individus (46 000 et 113 000 i/h).

#### d) LA DÉRIVE A L'ENTRÉE DU SYSTÈME

Les valeurs moyennes des densités de dérive maximales en  $P_3$  sont incontestablement liées au débit ( $r = 0,652$  pour 34 données) encore que, jusqu'à 400 l/s, la variabilité soit importante (fig. 4). Les valeurs extrêmes observées, égales à 3,01 et 578 i/m<sup>3</sup>, diffèrent d'un facteur d'ordre 200 (tableau IV). Les valeurs très fortes que peut atteindre la dérive sont toujours dues à des crues très importantes. Ainsi, le 11 janvier 1979 (crue 17), pour un débit moyen en  $P_3$  de 700 l/s, 8 prélèvements de 30 s réalisés de 11 à 17 heures ont donné les densités suivantes : 485 — 545 — 674 — 588 — 552 — 565 — 668 — 546 i/m<sup>3</sup>. Le volume d'eau filtré lors de chaque prélèvement a été de 660 l (valeur moyenne) et le nombre total d'Harpacticides capturés égal à

→  
TABLEAU III. — Densités de dérive moyennes à Las Hountas et en HR 121 et dérives totales horaires à la sortie du système. Les valeurs de  $QB_1$  correspondent à la moyenne des débits de l'ensemble du système pendant la durée des prélèvements.



cruces		$\bar{Q} B_1$ $m^3/s$	d		D
n°	date		Las Hountas	H <sub>R</sub> 121	
a	6 I 71	1,061	4,01		15317
b	20 I 71	1,042	2,72		10203
c	17 II 71	2,276	1,76		14421
d	30 V 71	0,675	0,46		1118
e	22 XI 71	2,762	1,12		11136
f	12 I 72	1,139	0,91		3731
g	18 I 72	1,532	0,95		5239
h	12 IV 72	4,358	0,84		13179
i	1 XII 72	0,590	1,10		2336
j	29 I 73	3,094	1,13		12586
k	24 II 73	3,386	0,71		8655
l	11 V 73	1,775	0,67		4281
m	30 XI 73	1,240	1,82		8124
n	5 II 74	2,429	1,08		9444
o	17 IX 74	4,138	3,11		46329
p	27 XI 74	3,905	0,63		8857
q	17 XI 75	1,008	1,69		6133
r	14 II 76	2,138	0,81		6234
8	18 X 76	2,252	1,01		8188
9	3 XII 76	4,038	1,08		15700
10	12 IV 77	2,443	1,18		10378
12	4 V 77	2,352	0,89		7536
18	5 II 79	2,843		0,75	7676
19	15 III 79	1,293		0,15	698
20	17 IV 79	1,284		0,06	277
21	24 IV 79	1,881		0,33	2235
22	29 X 79	2,351		0,62	5247
23	10 XI 79	0,731	1,33		3500
24	15 XI 79	1,533		0,13	717
25	19 XII 79	1,250		0,12	540
26	2 I 80	5,138		1,12	20716
27	24 IV 80	0,811	1,03		3007
28	5 V 80	1,281		1,35	6226
29	27 V 80	1,653		0,37	2202
30	8 XII 80	1,521		0,22	1204
31	16 XII 80	1,941		0,04	280
32	19 XII 80	2,412		0,27	2344
33	16 I 81	6,932		4,55	113546
34	31 III 81	1,743	0,90	0,31	3430
35	17 IV 81	1,344	1,02	0,26	2973
36	24 IV 81	1,835	0,81	1,35	7546
37	28 X 81	1,120	1,82	0,35	4560

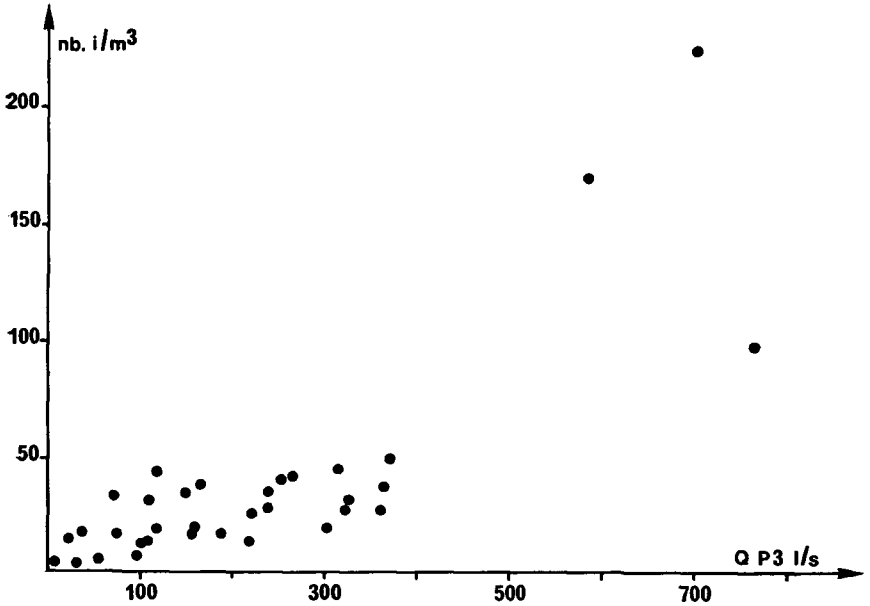


FIG. 4. —  $P_3$  : relation entre les débits du ruissellement de surface et les densités de dérive maximales observées.

3 069 individus. Hormis ces valeurs qui correspondent aux grandes crues hivernales survenues en janvier 1979, 1980 et 1981 (voir les valeurs des crues 26 et 33), la plupart des densités de dérive sont comprises entre 5 et 50  $i/m^3$ .

Les taux de dérive horaires varient en général de 1 000 à 50 000  $i/heure$ . Ils peuvent atteindre 300 000  $i/h$  (crues 26 et 33), le chiffre le plus élevé étant de 1 400 000  $i/h$ . Pour ces débits élevés, l'aquifère est en charge et la perte de la Peyrère devient émissive, l'essentiel du ruissellement de surface suit alors l'axe de la vallée sans passer sous terre.

TABLEAU IV. — Ruissellement de surface en  $P_3$  : densités de dérive (d) et dérivées totales par heure (D). Q = débit moyen du ruissellement pendant la durée des prélèvements. d et D représentent la moyenne des valeurs obtenues à partir d'échantillons prélevés toutes les heures. t = durée effective des filtrages au cours de la période d'étude T (en heure). Pour la crue n° 4 lire : t = 8 H et T = 8.

crues		$\overline{Q}$ m <sup>3</sup> /s	durée du filtrage		ind. capt.	d n.i./m <sup>3</sup>	D n.i./H
n°	date		t	T en H			
3	15 III 76	0,031	5 H	5	841	3,01	336
4	7 IV 76	0,017	6 H	5	1608	3,77	201
5	23 IV 76	0,322	40 mn	8	652	26,1	30395
6	28 IV 76	0,369	22 mn	7	557	49,1	67393
7	11 V 76	0,218	45 mn	8	498	13,6	10769
8	18 X 76	0,055	45 mn	7	464	5,85	1146
9	3 XII 76	0,362	21 mn	8	498	26,6	35609
10	12 IV 77	0,325	20 mn	5	489	30,1	35237
11	18 IV 77	0,037	70 mn	7	936	16,9	2309
12	4 V 77	0,314	11 mn	6	408	44	49724
13	29 VI 77	0,107	240 mn	24	2987	13,7	6295
14	3 II 78	0,365	235 mn	24	9393	37,1	51387
15	30 III 78	0,220	120 mn	24	2456	25	20233
16	2 V 78	0,102	240 mn	24	2318	12,5	4600
17	11 I 79	0,702	240 s	8	3046	578	1443049
18	5 II 79	0,251	16 mn	8	618	40	36829
19	15 III 79	0,074	65 mn	8	2964	16,9	4364
20	17 IV 79	0,098	80 mn	8	444	7,04	2524
21	24 IV 79	0,239	24 mn	8	560	26,8	23195
22	29 X 79	0,239	29 mn	8	956	35	29976
23	10 XI 79	0,023	120 mn	8	2353	13,8	1177
24	15 XI 79	0,148	24 mn	8	781	33,7	17975
25	19 XII 79	0,108	24 mn	8	746	31,9	12508
26	2 I 80	0,585	8 mn	8	1797	168,6	357335
27	24 IV 80	0,071	64 mn	8	2103	33,9	8776
28	5 V 80	0,117	26 mn	8	1056	42,1	18536
29	27 V 80	0,165	24 mn	8	744	37,7	22403
30	8 XII 80	0,159	40 mn	8	591	18,2	10657
31	16 XII 80	0,187	38 mn	8	550	16,3	11048
32	19 XII 80	0,301	20 mn	7	444	18,6	17691
33	16 I 81	0,763	240 s	8	618	97,7	279179
34	31 III 81	0,156	24 mn	8	347	16,8	9835
35	17 IV 81	0,117	24 mn	8	427	18,3	7759
36	24 IV 81	0,265	11 mn	8	388	41,4	41049

### 3. — COMPARAISON DU SIGNAL D'ENTREE ET DE SORTIE

La comparaison entre les signaux d'entrée et de sortie porte uniquement sur les espèces épigées puisque seules ces dernières font l'objet d'un transit depuis la surface du bassin versant jusqu'à la sortie de l'aquifère. Comme la dérive (à l'entrée et à la sortie) est extrêmement variable dans le temps, n'ont été retenues, pour cette comparaison, que les valeurs obtenues lorsque des prélèvements étaient réalisés de façon synchrone en  $P_3$  et à l'un ou à plusieurs des exutoires du système. En effet, plusieurs traçages à la fluoescéine effectués lorsque la perte est fonctionnelle, ont montré que ce colorant atteint HR 121 en 1 h 30 et Las Hountas en 3 heures (Mangin, *in litt.*). Les prélèvements à l'entrée et à l'une des sorties de l'aquifère portant en général sur une période de 8 heures au cours d'une même journée, doivent donc permettre d'estimer la façon dont l'information d'entrée est transmise au sein de l'aquifère.

Cette comparaison ne peut se faire directement à partir de l'examen des densités de dérive. En effet, le débit du ruissellement de surface est toujours très inférieur à celui enregistré en  $B_1$ . Si le signal d'entrée était transmis dans sa totalité, on n'en observait pas moins une dilution de ce signal, se traduisant, à la sortie, par un abaissement de la densité de dérive. Il convient donc de raisonner en terme de flux et seule l'analyse des dérives totales horaires permet d'aborder ce problème (Fjellheim 1980, a également insisté sur ce point).

Les valeurs comparées concernent 24 crues ; elles sont présentées dans le tableau V. Les flux d'entrée correspondent aux données du tableau IV. Ceux de sortie ont été calculés selon le même procédé que lors de l'étude de la dérive totale (voir ci-dessus) mais en ne prenant en compte que les densités de dérive des espèces épigées.

En l'absence de ruissellement (crue 37), les sorties d'Harpacticides épigés peuvent être abondantes (2 000 i/h) ce qui prouve que l'aquifère est peuplé en permanence par des espèces d'origine épigée. Ceci est confirmé lors des crues (8 et 23) où, bien que le ruissellement de surface soit peu important ( $Q < 60$  l/s) et les apports faibles ( $D \approx 1\ 000$  i/h), les sorties du système n'en sont pas moins élevées ( $D > 2\ 500$  i/h), le pourcentage des sorties par rapport aux entrées étant supérieur à 200 %. Ces crues apparaissent en début de cycle hydrologique (octobre et novembre) où le ruissellement de surface est toujours moins important qu'au printemps.

→  
TABLEAU V. — Comparaison des dérives totales horaires à l'entrée et à la sortie de l'aquifère du Baget.

crues		$\bar{Q}_{B_1}$	$\bar{Q}_{P_3}$	D	D	%
n°	date	$\frac{3}{m/s}$	$\frac{3}{m/s}$	Entrée	Sortie	sortie/ entrée
8	18 X 76	2,252	0,055	1146	3324	290
9	3 XII 76	4,038	0,362	35609	3489	9,8
10	12 IV 77	2,443	0,325	35237	4134	11,7
12	4 V 77	2,352	0,314	49724	2117	4,3
18	5 II 79	2,843	0,251	36829	5527	15
19	15 III 79	1,293	0,074	4364	419	9,6
20	17 IV 79	1,284	0,098	2524	92	3,7
21	24 IV 79	1,881	0,239	23195	1693	7,3
22	29 X 79	2,351	0,239	29976	4655	15,5
23	10 XI 79	0,731	0,023	1177	2579	219
24	15 XI 79	1,533	0,148	17975	442	2,5
25	19 XII 79	1,250	0,108	12508	360	2,9
26	2 I 80	5,138	0,585	357335	13318	3,7
27	24 IV 80	0,811	0,071	8776	2219	25,3
28	5 V 80	1,281	0,117	18536	5488	29,6
29	27 V 80	1,653	0,165	22403	1964	8,8
30	8 XII 80	1,521	0,159	10657	712	6,7
31	16 XII 80	1,941	0,187	11048	175	1,6
32	19 XII 80	2,412	0,301	17691	1650	9,3
33	16 I 81	6,932	0,763	279179	59144	21,2
34	31 III 81	1,743	0,156	9835	2362	24
35	17 IV 81	1,344	0,117	7759	2125	27,4
36	24 IV 81	1,835	0,265	41049	6062	14,8
37	28 X 81	1,120	0	0	2280	

Dès que le ruissellement et les apports à l'aquifère deviennent abondants, le pourcentage des sorties ne dépasse jamais 30 % des entrées. Plusieurs cas peuvent être distingués :

— des crues à fort débit en  $B_1$  et  $P_3$ , avec des dérives d'entrée et de sortie élevées donnant un pourcentage des sorties (S) par rapport aux entrées (E) de 10 à 15 % (crues 9, 10, 18, 22, 36).

— des crues à fort débit en  $B_1$  et  $P_3$ , avec des dérives d'entrée élevées mais des sorties faibles, le pourcentage de S par rapport à E étant inférieur à 10 % (crues 12, 21, 32).

— des crues à débits moins élevés en  $B_1$  et  $P_3$ , des dérives d'entrée moins fortes, celles des sorties restant faibles, le pourcentage de S par rapport à E demeurant inférieur à 10 % (crues 19, 20, 24, 25, 29, 30, 31).

— des crues à faible débit en  $B_1$  et  $P_3$ , des dérives d'entrée faibles mais des sorties élevées, le pourcentage de S par rapport à E étant compris entre 25 et 30 % (crues 27, 28, 34, 35).

Lors des très fortes crues (26 et 33), les taux de dérive du ruissellement de surface peuvent atteindre des valeurs très élevées ( $D > 20 \times 10^4$  i/h). Toutefois, comme la perte est émissive ( $QP_3 > 400$  l/s), les sorties devraient être peu influencées par ce ruissellement. C'est le cas, semble-t-il, pour la crue 26 où la dérive de sortie des épigés, bien qu'abondante, ne représente que 4 % du flux de la surface. En revanche, lors de la crue 33, la dérive des épigés équivaut à 21 % du flux de surface. Il faut enfin souligner que, dans quelques cas, bien que le signal d'entrée soit compris entre 10 000 et 20 000 i/h (crues 24, 25, 31), le système ne donne pratiquement pas de réponse, les sorties représentant respectivement 2,5-2,9 et 1,6 % des entrées.

#### 4. — DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les crues déclenchent dans l'aquifère karstique du Baget une dérive des Harpacticides tant souterrains qu'épigés.

1. — A la sortie du système, les valeurs moyennes des densités de dérive maximales peuvent atteindre 4 i/m<sup>3</sup>. A Las Hountas, ces densités sont le plus souvent comprises entre 0,5 et 1,5 i/m<sup>3</sup> alors que, en HR121, elles sont généralement inférieures à 0,5 i/m<sup>3</sup>. La dérive des espèces hypogées est, dans la plupart des cas, supérieure à celle des espèces épigées à Las Hountas, alors que c'est plutôt l'inverse en HR 121. Ainsi est confirmé le rôle joué par la position de la perte de la Peyrère sur les réponses fournies par les exutoires (Rouch et Bonnet 1976). Les taux de dérive horaire maximaux, pour l'ensemble des sorties du système, sont le plus souvent compris entre 10 000 et

20 000 i/h. Lors des crues les plus fortes de chaque cycle, ils peuvent atteindre des valeurs plus élevées et dépasser 100 000 i/h. Ces données qui correspondent à des valeurs maximales enregistrées lors des crues, traduisent l'ampleur que revêt ce phénomène de dérive qui soumet régulièrement la communauté des Harpacticides occupant l'aquifère à des pertes considérables. Rappelons toutefois que ces pertes ne remettent pas en cause l'équilibre de cette communauté (Rouch 1980 b).

2. — Les apports en Harpacticides à l'aquifère se font essentiellement par le ruissellement de surface. Les densités de dérive maximales sont comprises entre 3 et 578 i/m<sup>3</sup>. Les taux de dérive horaire dépassent couramment plusieurs dizaines de milliers d'individus, le maximum observé étant de 1 400 000 i/h.

3. — L'étude synchrone des flux d'entrée et de sortie montre que 70 % au moins des Harpacticides entraînés par le ruissellement de surface sont piégés au sein de l'aquifère, des valeurs de l'ordre de 90 % étant observées dans plus de la moitié des cas.

Ces résultats appellent quelques commentaires.

Le groupe des Harpacticides est rarement cité dans la littérature consacrée aux phénomènes de dérive (Rouch 1979), les filets habituellement utilisés possédant une maille trop large (Chutter 1975, Clifford 1972). Les chiffres concernant ce groupe de Copépodes sont peu élevés contrairement à ceux relatifs aux Cyclopidés et Diaptomides qui dérivent en aval de certains lacs. Dudley Williams (1980) observe sur une période de cinq jours, dans un petit cours d'eau côtier en basses eaux ( $1,5 < Q < 2,21/s$ ), une dérive d'Harpacticides dont les densités sont comprises entre 0,12 et 4,57 i/m<sup>3</sup>, les taux de dérive quotidiens étant respectivement de 16, 80, 868, 272 et 448 individus. Ces densités de dérive, voisines de celles enregistrées à la sortie du système du Baget, sont nettement inférieures à celles observées dans le ruissellement de surface de ce système. Mais les observations de Dudley Williams correspondent à des conditions de basses eaux et non de crues.

Il faut souligner ici que la dérive en période de crue dans les cours d'eau permanents a conduit à des conclusions souvent opposées. Il ne fait pas de doute que la dérive totale augmente dans des proportions notables lorsque les débits s'accroissent (Muller 1954, Waters 1965, Elliott 1967, Anderson et Lehmkuhl 1968, Pearson et Franklin 1968, Clifford 1972, Lehmkuhl et Anderson 1972, Pearson et Kramer 1972, Mackay et Kalff 1973, Marsh 1980, Bird et Hynes 1980, Fjellheim 1980, Victor, Dances et Hynes 1981). Cependant, alors que certains auteurs estiment que les densités de dérive ne changent pas à ce moment là (Elliott 1967, Anderson et Lehmkuhl 1968), d'autres, au contraire,

observent une nette augmentation de celles-ci (Neveu 1974, Zelinka 1976, Armitage 1977, Brooker et Emsworth 1978).

Une étude très détaillée a été consacrée à ce problème par Crisp et Robson (1979). Lors d'une crue, ces deux auteurs observent les faits suivants. La densité de dérive augmente rapidement en début de crue ; elle passe par un maximum qui précède celui des débits pour baisser ensuite beaucoup plus rapidement que ceux-ci. Ce schéma est à peu près valable pour tous les groupes examinés. De même Neveu (1974) distingue plusieurs phases pendant une crue : les densités de dérive, après avoir augmenté au cours d'une période de lessivage, diminuent considérablement pendant le sommet de la crue et reviennent ensuite à la normale.

Ainsi s'explique que, pour des valeurs égales de débits, mais selon que l'on est en montée ou en descente de crue, les densités de dérive soient très différentes d'où la difficulté, souvent signalée, d'observer une bonne corrélation entre ces deux paramètres. De même Crisp et Robson insistent sur le fait que les valeurs de dérive dépendent de la saison, de l'intensité des précipitations et des conditions hydrologiques et climatiques précédant la crue. Ils obtiennent des résultats encore plus nets avec les transports de débris organiques à base de tourbe. 80 % du transport annuel seraient dus à des crues qui ne représentent que 3 % du temps.

Les caractéristiques de la dérive d'un ruisseau permanent en période de crue définies par Crisp et Robson sont donc tout à fait analogues à celles qui ont été mises en évidence pour le ruissellement de surface sur le système du Baget (Rouch 1979). Ce résultat ne doit pas surprendre puisque, pour le transport de tourbe, Crisp et Robson sont conduits à considérer que l'essentiel du matériel transporté pendant les crues provient du bassin versant lessivé par le ruissellement engendré par les pluies.

On retrouve donc, aussi bien dans le cas d'un cours d'eau pérenne que dans celui d'un écoulement temporaire, le même phénomène de lessivage d'un bassin versant par le ruissellement.

En ce sens, il conviendrait de distinguer *la dérive par ruissellement* de la dérive « catastrophique » ou « exceptionnelle » (Bournaud et Thibault, 1973). En effet, si ce phénomène de ruissellement intervient pendant de brefs moments et à des intervalles plus ou moins réguliers, il n'en représente pas moins une constante du fonctionnement des bassins versants ; il n'est donc pas exceptionnel. D'un point de vue général, cette dérive par ruissellement, peu étudiée à ce jour, doit retenir notre attention en tant que mécanisme d'échange entre les différentes zones des écosystèmes. Dans le cas de systèmes karstiques qui, comme le Baget, possèdent des terrains imperméables sur leur bassin versant, il est clair que c'est par son biais que sont réalisés les



échanges les plus importants entre la surface et la profondeur. Les chiffres obtenus pour les seuls Harpacticides témoignent de l'ampleur de ce phénomène. L'aspect catastrophique que peut revêtir exceptionnellement le lessivage de biotopes de la surface ne doit donc pas masquer l'importance du transit de matière et d'énergie que le ruissellement représente.

Il faut enfin souligner la complexité de la relation entrée-sortie de l'aquifère du Baget. Les réponses enregistrées à la sortie du système montrent que le transit n'est pas direct depuis la perte de La Peyrière jusqu'aux différents exutoires du Baget. L'essentiel des Harpacticides en dérive (70 % au moins) reste piégé au sein de l'aquifère. Ce phénomène paraît général puisqu'il concerne également la dérive d'autres invertébrés ainsi que celle de la matière organique (Decamps et Laville 1975). Ce résultat présente un double intérêt. Sur le plan hydrologique, il prouve que la structure du karst noyé ne peut être réduite à un réseau de drainage constitué de conduits qui transmettent directement l'information. Sur le plan biologique, il montre la façon dont les ressources peuvent être stockées dans le karst à l'occasion des crues qui rythment la période de hautes eaux de chaque cycle hydrologique. Il montre également que l'envahissement du milieu souterrain aquatique par des espèces épigées n'est pas un phénomène occasionnel voire accidentel, mais qu'il correspond à un phénomène régulier et d'une très vaste ampleur.

#### TRAVAUX CITÉS

- ARMITAGE (P. D.). 1977. — Invertebrate drift in the regulated River Tees, and an unregulated tributary Maize Beck, below Cow green Dam. *Freshwat. Biol.*, 7 : 167-183.
- ANDERSON (N. H.) et LEHMKUHL (D. M.). 1968. — Catastrophic drift of insects in a woodland stream. *Ecology*, 49 : 198-206.
- BIRD (G. A.) et HYNES (H. B. N.). — 1981. — Movement of immature aquatic insects in a lotic habitat. *Hydrobiologia*, 77 : 103-112.
- BOURNAUD (M.) et THIBAUT (M.). 1973. — La dérive des organismes dans les eaux courantes. *Ann. Hydrobiol.*, 4 : 11-49.
- BROOKER (M. P.) et HEMSWORTH (M. P.). 1978. — The effect of the release of an artificial discharge of water on invertebrate drift in the R. Wye, Wales. *Hydrobiologia*, 59 : 155-163.
- CHUTTER (F. M.). 1975. — Variation in the day-time drift of a Natal river. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1728-1735.
- CLIFFORD (H. F.). 1972. — Drift of invertebrates in an intermittent stream draining marshy terrain of west-central Alberta. *Canad. J. Zool.*, 50 : 985-991.
- CRISP (D. T.) et ROBSON (S.). 1979. — Some effects of discharge upon the transport of animals and peat in a north pennine headstream. *J. Appl. Ecol.*, 16 : 721-736.
- DECAMPS (H.) et LAVILLE (H.). 1975. — Invertébrés et matières organiques entraînés lors des crues à l'entrée et à la sortie du système karstique du Baget. *Annls Limnol.*, 11 : 287-296.

- ELLIOTT (J.M.). 1967. — Invertebrate drift in a Dartmoor stream. *Arch. Hydrobiol.*, 63 : 202-237.
- FJELLHEIM (A.). 1980. — Differences in drifting of larval stages of *Rhyacophila nubila* (Trichoptera). *Holarct. Ecol.*, 3 : 99-103.
- LEHMKUHL (D.M.) et ANDERSON (N.H.). 1972. — Microdistribution and density as factors affecting the downstream drift of mayflies. *Ecology*, 53 : 661-666.
- MACKAY (R. J.) et KALFF (J.). 1973. — Ecology of two related species of caddis fly larvae in the organic substrates of a woodland stream. *Ecology*, 54 : 499-511.
- MANGIN (A.). 1975. — Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Ann. Spéléol.*, 30 : 21-124.
- MARSH (P. C.). 1980. — An occurrence of high behavioral drift for a stream gastropod. *Amer. Midl. Nat.*, 104 : 410-411.
- MULLER (K.). 1954. — Investigations on the organic drift in north swedish streams. *Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm*, 35 : 133-148.
- NEVEU (A.). 1974. — La dérive des stades aquatiques de quelques familles de Diptères torrenticoles. *Ann. Hydrobiol.*, 5 : 15-42.
- PEARSON (W. D.) et FRANKLIN (D. R.). 1968. — Some factors affecting drift rates of *Beatis* and Simuliidae in a large river. *Ecology*, 49 : 75-81.
- PEARSON (W. D.) et KRAMER (R. H.). 1972. — Drift and production of two aquatic insects in a mountain stream. *Ecol. Monogr.*, 42 : 365-385.
- ROUCH (R.). 1974. — Le système karstique du Baget. III. Etude des sorties d'Harpacticides au niveau de Las Hountas lors de plusieurs crues des cycles hydrologiques 1971-1972 et 1972-1973. *Ann. Spéléol.*, 29 : 351-372.
- ROUCH (R.). 1979. — Le système karstique du Baget. VIII. La communauté des Harpacticides. Les apports au sein du système par dérive catastrophique. *Annls Limnol.*, 15 : 243-274.
- ROUCH (R.). 1980 a. — Le système karstique du Baget. IX. La communauté des Harpacticides. Richesse spécifique, diversité et structures d'abondances des échantillons de dérive au niveau du ruissellement de surface. *Vie et Milieu*, 30 : 229-241.
- ROUCH (R.). 1980 b. — Le système karstique du Baget. X. La communauté des Harpacticides. Richesse spécifique, diversité et structures d'abondances de la nomocénose hypogée. *Annls Limnol.*, 16 : 1-20.
- ROUCH (R.). 1980 c. — Le système karstique du Baget. XI. La communauté des Harpacticides. Sur l'évolution de la nomocénose épigée au sein de l'aquifère. *Annls Limnol.*, 16 : 299-314.
- ROUCH (R.) et BONNET (L.). 1976. — Le système karstique du Baget. IV. Premières données sur la structure et l'organisation de la communauté des Harpacticides. *Ann. Spéléol.*, 31 : 27-41.
- VICTOR (R.), DANCE (R. W.) et HYNES (H. B. N.). 1981. — Drift of ostracod crustaceans in adjacent intermittent and permanent streams. *Hydrobiologia*, 80 : 219-223.
- WATERS (T. F.). 1965. — Interpretation of invertebrate drift in streams. *Ecology*, 46 : 327-334.
- WILLIAMS (D. D.). 1980. — Invertebrate drift lost to the sea during low flow conditions in small coastal stream in western Canada. *Hydrobiologia*, 75 : 251-254.
- ZELINKA (M.). 1976. — Mayflies (Ephemeroptera) in the drift of trout streams in the Beskydy mountains. *Acta ent. Bohemoslov.*, 73 : 94-101.