LE SYSTEME KARSTIQUE DU BAGET.
VIII. LA COMMUNAUTE DES HARPACTICIDES.
LES APPORTS
AU SEIN DU SYSTEME PAR DERIVE CATASTROPHIQUE

par R. ROUCH¹

La dérive des Harpacticides a été étudiée au niveau d'un ruisseau temporaire qui alimente le karst noyé du système du Baget (Ariège). Ce ruisseau entre en activité après de forts épisodes pluvieux et fonctionne, au total, deux à trois mois par an. Quatorze périodes de crues ont été échantillonnées entre les mois de mars 1976 et de mai 1978. La dérive observée, de type catastrophique, est caractérisée par plusieurs faits : les Harpacticides entraînés sont d'origine allochtone ; la dérive de comportement ne semble jouer aucun rôle ; la densité de dérive n'est pas constante pour une période donnée (24 heures ou plusieurs jours) ; il n'existe pas de relation d'interdépendance stricte entre les valeurs de la densité de dérive et celles des débits ; cette dérive apparaît comme un phénomène structuré.

Chaque année, 7 à 14 millions d'Harpacticides sont ainsi entraînés dans le milieu souterrain dont ils sont des colonisateurs potentiels.

The Baget karstic system. VIII. The Harpacticoid community.
Input in the system by catastrophic drift.

Drift of Harpacticoidea has been studied in an intermittent stream which supplies the saturated zone of the Baget karstic system (Ariège, France). The stream is draining flowing waters only after periods of heavy rain (2 or 3 months every year). Fourteen spates have been sampled from march 1976 to may 1978. This catastrophic drift can be summarized as follows : the Harpacticoidea carried downstream are allochthonous ; there is no evidence of a diel periodicity, resulting from a behavioural pattern ; drift density is not constant for a short period of time (24 hours or several days) ; consistent correlation cannot be assessed between drift density and discharge ; drift is to be considered as a structured phenomenon.

Thus every year, seven to fourteen millions of Harpacticoidea are discharged into subterranean waters as potential colonizers.

La communauté souterraine des Harpacticides du système karstique du Baget (Rouch et Bonnet, 1976 a et b, 1977) est composée pour une assez large part d'espèces d'origine épigée. L'étude des échantillons de populations récoltés pendant les crues au niveau des différents exutoires de ce système fournit un certain nombre d'indications sur leur origine.

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

1. Plus les exutoires sont situés à proximité de la perte de la Peyrère et plus l'image qu'ils fournissent de la fraction d'origine épigée est voisine. Ce type de réponse diffère fondamentalement de celui enregistré pour les formes hypogées dont le peuplement est sous la dépendance étroite de la structure interne du milieu.

2. Le pourcentage du peuplement constitué par les espèces épigées est d'autant plus important que le ruissellement de surface est abondant au moment de la prise des échantillons.

Ces résultats prouvent que les apports par le ruissellement jouent un rôle fondamental puisque, indépendamment de la source d'énergie qu'ils constituent, ils influent directement sur la composition de la communauté souterraine. Afin de préciser l'influence de ces apports exogènes sur la structure du peuplement souterrain du Baget, il convenait de décrire la dérive en amont de la perte de La Peyrère. C'est l'objet de ce travail qui se limite au seul groupe des Harpacticides. Il fait suite à deux études concernant d'autres invertébrés (Décamps et Rouch, 1973 et Décamps et Laville, 1975).

1. — LE RUISSELLEMENT DE SURFACE SUR LE SYSTEME KARSTIQUE DU BAGET

Le bassin versant de ce système, de forme allongée (sa largeur n'excède pas 1 km), présente une superficie de 13,25 km² (Mangin, 1975). A six kilomètres en amont de l'exutoire pérenne, Las Hountas, débute une vallée d'abord largement ouverte et qui s'encaisse ensuite profondément. Elle est habituellement sèche. Cependant, deux zones

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

de couverture imperméable nettement distinctes, l'une au nord (Lachein), l'autre au sud (Cayssau), sont à l'origine de ruissellements de surface qui se perdent ordinairement au contact des calcaires (*fig. 1*). Après des épisodes pluvieux assez importants, ces ruissellements empruntent l'axe de la vallée sèche pour se perdre de plus en plus bas. Au niveau de La Hille existe une troisième arrivée d'eau qui a pour origine l'exutoire d'un aquifère épikarstique, la source de Gers. Les eaux issues de cet exutoire alimentent un maigre ruisseau pérenne dont le débit, en étiage, est de quelques litres/seconde. Si les précipitations sont très abondantes, ces trois arrivées d'eau se conjuguent pour donner lieu à un écoulement important qui vient se perdre encore plus en aval, au niveau de la perte de la Peyrère. Celle-ci peut absorber jusqu'à 500 l/s. Pour des précipitations encore plus élevées, la surface piézométrique recoupe la surface topographique et la perte n'est alors plus absorbante. A ce moment-là, le ruissellement suit le cours de la vallée, ses eaux venant se mélanger à celles issues des exutoires.

2. — LA STATION DE RECOLTES : CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES, THERMIQUES ET CHIMIQUES

Située à 522 mètres d'altitude, soit une dénivellation de 24 mètres par rapport à l'exutoire principal du système (Las Hountas : 498 m), la station P_3 est implantée 200 mètres en amont de la perte de La Peyrère (*pl. 1* et *fig. 1*). Dans cette zone, le lit du ruisseau est recouvert de galets et sa largeur n'excède pas 2 mètres.

Du point de vue hydrométrique, l'équipement est le suivant : seuil artificiel, échelle limnimétrique et limnigraphe. De ce fait, les débits sont connus à tout moment, soit à partir de la lecture d'échelle, soit après le dépouillement des limnigrammes ; en outre, il est possible de déterminer l'hydrogramme des différentes crues. Le débit le plus important observé en P_3 a atteint 1 300 l/s le 19 mai 1977. Le plus souvent, le débit maximal des crues se situe entre 500 et 600 l/s. Pour ces valeurs élevées, toujours atteintes après de fortes pluies, le système karstique est suffisamment en charge pour que la perte n'absorbe plus comme cela a été souligné plus haut. Au-dessous de ces valeurs, la perte est fonctionnelle.

La durée totale des écoulements en P_3 est variable selon les cycles : 60 jours en 1975 ; 39 jours en 1976 ; 76 jours en 1977 ; 87 jours en 1978. Ce sont les fortes précipitations hivernales (novembre et décembre) et printanières (mars à mai) qui, le plus souvent, entraînent le ruissellement de surface au-delà de la station P_3 . Chaque épisode plu-

PLANCHE I. 1. Station de mesure de la dérive en (P_s). a) Seuil de béton évidé en son centre pour recevoir un tube en matière plastique qui canalise la totalité des écoulements jusqu'à 29 l/s ; b) Echantillonneur de dérive pour les débits supérieurs à 29 l/s ; le venturi peut coulisser le long de deux barres fixées dans le lit du ruisseau. c) échelle limnimétrique. d) limnigraphe. 2. Echantillonneur de dérive. On remarquera en a et b les électrovannes qui permettent d'associer le manomètre différentiel au venturi pour des mesures instantanées.

vieux se solde alors par des écoulements qui peuvent durer soit quelques heures soit atteindre 5 à 6 jours. Au printemps toutefois, à précipitation égale, le ruissellement dure toujours beaucoup plus longtemps qu'en hiver. C'est ainsi qu'en 1978, les écoulements n'ont pas cessé durant tout le mois d'avril. Ceci reste l'exception et, la plupart du temps, les périodes de ruissellement sont brèves, nettement scindées les unes par rapport aux autres, donnant des enregistrements limni-graphiques très caractéristiques (*fig. 2*) : les montées de crues sont extrêmement rapides et la fin du ruissellement est également très brutale.

FIG. 2. — Enregistrements limni-graphiques des crues étudiées en P_3 . Les zones hachurées correspondent aux périodes d'échantillonnage. 1976 : crues 3 à 9 ; 1977 : crues 10 à 13 ; 1978 : crues 14 à 16.

Il y a eu 14 crues distinctes en 1975, 10 crues en 1976, 19 crues en 1977, 16 crues en 1978.

Les données de pluviométrie indiquées dans cette note ont été enregistrées au niveau de la station de Lachein implantée à 830 m d'altitude, soit à peu près à l'altitude moyenne du bassin versant du Baget. Selon Andrieux et Bakalowicz (1974), elles sont représentatives de l'ensemble des précipitations qui affectent le système (dans ce travail, elles sont exprimées en mm d'eau/24 heures).

Les eaux, bicarbonatées calciques, sont généralement peu minéralisées (200 à 250 mg/l) ; elles diffèrent de celles issues des résurgences dont la teneur oscille entre 350 et 450 mg/l ; leur pH, élevé, est toujours compris entre 8 et 8,20.

La température des eaux de ruissellement varie quotidiennement et saisonnièrement ; elle est comprise entre 6 et 8 °C lors des crues hivernales, 8 et 10 °C au début du printemps, 10 et 12 °C à l'approche de l'été.

3. — TECHNIQUES DE RECOLTES

Afin d'échantillonner la dérive, deux types d'aménagements ont été réalisés (pl. I).

Le premier concerne les faibles débits. Un barrage en béton a été construit sur le fond du ruisseau quelques mètres en amont de la station limnigraphique. Il est évidé en son centre afin de permettre le logement d'un tube en matière plastique de 40 cm de diamètre au travers duquel passe la totalité du débit jusqu'à 29 l/s. Il suffit de fixer un filet à l'extrémité du tube pour connaître la dérive totale.

Le second a trait aux débits supérieurs à 29 l/s. Deux barres d'acier ont été fixées dans le lit du ruisseau, 1 mètre en aval du barrage en béton évidé. Elles permettent de guider et d'immobiliser à la profondeur désirée un échantillonneur de dérive.

a) *L'échantillonneur de dérive*

Décrit par Décamps, Laville et Trivellato (1973), cet échantillonneur comprend deux éléments distincts, un filet de 110 microns de maille et un appareil de mesure des débits. Ce dernier est constitué d'un venturi dont les deux prises de pression sont reliées à un manomètre différentiel. Celui-ci possède deux vannes, l'une qui permet d'aspirer l'eau à l'intérieur des conduits jusqu'à la plage de lecture, l'autre destinée à égaliser les niveaux dans les deux branches du manomètre. Cet appareil robuste et facile à utiliser présentait néanmoins l'inconvénient de nécessiter de fréquents réamorçages du système manométrique. Afin de pallier cet inconvénient, deux électrovannes ont été montées au débouché des deux prises de pression du venturi. Avant que ne débute l'échantillonnage, le tube est immergé et, les électrovannes étant ouvertes, les deux conduits reliant le venturi au manomètre différentiel sont remplis d'eau par aspiration.

En position fermée les électrovannes isolent l'ensemble de mesure manométrique des filets d'eau circulant dans le venturi. En position ouverte au contraire, elles permettent au manomètre d'enregistrer la différence de pression existant dans le venturi. Grâce à ce procédé, il est possible d'obtenir une série de mesures instantanées des différences de pression¹.

1. Je remercie MM. C. Andrieux et R. Téchené qui ont conçu et réalisé ce nouveau dispositif.

b) *Précision des mesures*

Le débit (en l/s) Q passant dans le venturi est donné par la formule $Q = k \sqrt{h}$ où h correspond à la dépression causée par le rétrécissement du dispositif venturi ; h est lu à l'aide du manomètre à eau et est exprimé en cm. Le coefficient k est caractéristique du venturi utilisé ; sa valeur déterminée expérimentalement est de 3,85 (il s'agit de l'un des trois prototypes employés par Décamps, Laville et Trivellato). Pour un débit total du ruisseau égal à 100 l/s, cet appareil a été fixé à proximité de la surface ; huit mesures de h ont été réalisées auxquelles correspondent, d'après la formule, les huit débits suivants :

15,874 - 15,921 - 15,303 - 15,780 - 15,921 - 15,967 - 16,289 - 16,197.

D'après la théorie des erreurs, la valeur probable du débit à partir d'une série de mesures est définie comme suit :

$$Q \text{ probable} = \bar{Q} \pm st$$

où Q est la valeur moyenne, s l'erreur standard (racine carrée du quotient de la variance S^2 par le nombre n de mesures), t la variable de Student à $(n-1)$ degrés de liberté.

L'incertitude relative δ sur le débit est égale à :

$$\delta = \frac{[Q + st] - \bar{Q}}{\bar{Q}} = \frac{st}{\bar{Q}}$$

Pour la valeur de t , on a choisi 95 % comme intervalle de confiance. D'après les mesures réalisées $\bar{Q} = 15,907$, $S^2 = 0,088$; t lu sur une table est égal à 2,36.

$$\delta = \frac{\frac{0,297}{15,907} \times 2,36}{\sqrt{8}} = 0,0155 \text{ soit } 1,6 \%,$$

c'est-à-dire une incertitude absolue de 0,25 l/s pour 15,907 l/s.

Si l'on suppose que la dispersion obtenue avec les 8 mesures est la dispersion réelle et qu'elle est donc indépendante du nombre de mesures, il est possible, dans ce cas, de définir l'incertitude relative pour une seule mesure.

$$\delta = \frac{\frac{0,297}{15,907} \times 2,36}{1} = 0,0438 \text{ soit } 4,4 \%.$$

Donc, pour une seule mesure, la valeur du débit de l'eau s'écoulant dans le venturi ne comporte que deux chiffres exacts. Cependant l'expression des résultats peut se faire avec une décimale arrondie à 5 ou à 10, celle-ci étant considérée comme significative. C'est sous cette forme qu'ont été transcrites les valeurs de débits.

c) *Mesures sur le terrain*

La dérive étant échantillonnée toutes les heures, la durée des prélèvements a été déterminée en fonction de l'abondance des détritiques transportés. En montée de crue notamment, lorsque la turbidité était extrêmement élevée, certains filtrages n'ont pas excédé 1 minute. Afin d'estimer le débit moyen passant dans l'échantillonneur, trois mesures étaient réalisées, l'une au début, l'autre au milieu et la dernière en fin de filtrage. Lors de chaque prélèvement, une lecture de l'échelle limnimétrique permettait de connaître le débit total du ruisseau. Le filtrat, fixé sur le terrain dans l'alcool à 80 %, a été trié dans sa totalité au laboratoire.

d) *Expression des résultats*

Les résultats ayant trait à la dérive sont exprimés sous deux formes : la densité de dérive d et la dérive totale par heure D . Connaissant le débit Q passant

[illegible]

J	H	t	QP ₃	QV	n. i.	d	D
16.30	10	230	15	175	19,4	16083	
17.30	10	210	14,5	194	22,2	16783	
18.30	10	180	14	171	20,3	13154	
19.30	10	165	14,5	153	17,5	10395	
20.30	10	165	14	125	14,8	8791	
21.30	10	147	14	124	14,7	7779	
Total 152145							
16.30	10	130	13	116	14,8	6926	
17.30	10	125	13	89	11,4	5130	
18.30	10	120	12	80	11,1	4795	
19.30	10	115	14,5	80	9,1	3767	
20.30	10	115	15,5	115	12,3	5092	
21.30	10	107	16,5	109	11	4237	
4.30	10	100	16	142	14,7	5292	
5.30	10	100	15	146	16,2	5832	
Total 124506							
16.30	5	165	13	161	41,2	24472	
17.30	5	180	12,5	131	34,9	22615	
18.30	4	230	13,5	91	28	23184	
19.30	3	252	14	95	37,7	34201	
Total 49098							
20.30	3	295	14	92	36,5	38763	
21.30	4	285	15,5	93	25	25600	
22.30	4	285	16	113	29,4	20164	
23.30	5	275	14,5	156	35,8	35442	
0.30	5	267	16	125	26	24991	
1.30	5	260	15	119	26,4	24710	
2.30	5	245	15	88	19,5	17199	
3.30	5	237	14,5	90	20,6	17575	
4.30	5	230	16	117	24,3	20120	
5.30	5	210	15,5	106	22,7	17161	
Total 106430							
6.30	5	195	15,5	117	25,1	17620	
7.30	5	180	16,5	94	18,9	12247	
8.30	5	172	15,5	76	16,3	10092	
9.30	5	172	15,5	72	15,4	9555	
10.30	5	172	16	92	19,1	11826	
11.30	5	172	15	98	21,7	13456	
12.30	5	172	14,5	67	15,4	9555	
13.30	5	172	14,5	72	16,5	10276	
14.30	5	210	15	100	22,2	16783	
15.30	5	245	15	130	26,6	35461	
Total 106430							

TABLEAUX I à V. — Résultats des filtrages au niveau de la station P₃. — J = date des prélèvements (le nombre entre parenthèses indique le numéro de la crue). — H = heure du prélèvement. — t = durée du prélèvement (en minute). — QP₃ = débit total du ruissellement en l/s. — QV = débit filtré en l/s. Les nombres en italique correspondent aux débits du tube en plastique. Les nombres en caractères droits représentent les valeurs mesurées par le venturi. — n. i. = nombre d'individus récoltés. — d = densité de dérive (nombre d'individus/m³). — D = dérive totale; estimation du nombre total d'individus dérivant en une heure au niveau de P₃. — Les flèches indiquent les valeurs retenues pour l'étude de la liaison entre la densité de dérive et les débits.

à l'intérieur du venturi, on en déduit le volume filtré au cours de l'échantillonnage. La densité de dérive correspond au nombre d'individus capturés divisé par ce volume : elle est exprimée en nombre d'individus par m^3 . La plupart des prélèvements ayant été effectués avec un pas de temps de 1 heure, les densités de dérive qui leur correspondent sont considérées comme constantes pendant l'intervalle de temps qui sépare un échantillon du suivant. La dérive totale par heure est alors estimée en multipliant la densité par le volume d'eau (exprimé en m^3) écoulé en une heure au niveau de P_3 . Là encore, le débit a été estimé constant pendant l'heure considérée.

4. — RESULTATS

De mars 1976 à mai 1978, 14 périodes de crue ont été étudiées. Toutes les données relatives à ces crues (numérotées chronologiquement de 3 à 16) sont rassemblées dans les tableaux I à V. Les périodes d'échantillonnage telles qu'elles apparaissent sur la figure 2 montrent que deux objectifs ont été poursuivis.

— recherche de différences éventuelles entre les dérives diurnes et nocturnes : crues 13, 14, 15 et 16.

— étude de l'évolution de la dérive au cours d'une crue : crues 6, 7, 9, 10, 11 et 12.

Les données relatives aux crues 3, 4, 5 et 8, plus fragmentaires, ont cependant été utilisées pour l'étude de la liaison débit/densité de dérive.

4.1. Les dérives diurnes et nocturnes

Les quatre exemples décrits ont trait à des périodes de 24 heures étudiées en continu avec un échantillonnage horaire.

1) *Crue 13* (29-30 juin 1977)

Un fort orage dans la nuit du 28 au 29 juin (45 mm d'eau) ainsi que les pluies du 29 (19,2 mm) sont à l'origine d'un ruissellement qui atteint 350 l/s le 29 à 12 heures (*fig. 3*). Des prélèvements de 10 minutes ont été réalisés toutes les heures de 16 h 30 le 29 ($Q P_3 = 230$ l/s) au lendemain 15 h 30 ($Q P_3 = 54$ l/s).

Parallèlement à la décroissance des débits, on assiste, jusqu'au milieu de la nuit, à une diminution de la densité de dérive qui, de l'ordre de 20 individus/ m^3 au départ atteint 9 individus/ m^3 à 1 h 30. Par la suite, la densité croît, passe par un maximum à 6 h 30 (17 individus/ m^3), puis décroît à nouveau (9 individus/ m^3 à 15 h 30).

La dérive totale calculée est de 152 000 individus pour les 24 heures.

FIG. 3. — Crue 13. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux), des débits (trait continu) et de la dérive totale (ligne brisée).

2) Crue 14 (3-4 février 1978)

Des précipitations très abondantes se succèdent du 31 janvier au 3 février (25,9 mm le 31 ; 46,6 mm le 1 ; 31,1 mm le 2 ; 7,3 mm le 3) produisant un des plus forts écoulements enregistrés en P_3 (1 200 l/s le 1, 800 l/s le 2). Du 3 février à 7 h 45 (Q_{P_3} : 530 l/s) au 4 février à 6 h 30 (Q_{P_3} : 245 l/s) les débits n'ont pas cessé de décroître (fig. 4).

FIG. 4. — Crue 14. Evolution de la densité de dérive, des débits et de la dérive totale (même représentation que pour la fig. 3).

24 prélèvements de 5 minutes chacun ont été réalisés. La densité de dérive a progressivement baissé au cours de ces 24 heures, passant de 63 individus/m³ à 25 individus/m³. La dérive totale pour cette journée est de 1 250 000 individus.

3) *Crue 15* (30-31 mars 1978)

La période étudiée est située au sein d'un long épisode pluvieux qui débute le 21 mars (31,6 mm) et se poursuit le 23 (15 mm), le 24 (26,9 mm), le 25 (3,1 mm), le 26 (5,2 mm), le 30 (29,5 mm) et le 31 (20,2 mm). Les écoulements qui ont commencé le 21 mars se poursuivront sans discontinuer durant le mois d'avril. Au cours des 24 heures étudiées (*fig. 5*), le débit a d'abord augmenté jusqu'à 295 l/s, puis il a diminué jusqu'à un palier de 170 l/s avant de croître à nouveau (245 l/s). Dans le même temps, la dérive décroît passant de 30-40 individus/m³ lors des premières heures à 15-20 individus/m³ lors du palier de 170 l/s. A l'augmentation des débits en fin de période correspond une faible recrudescence de la densité.

FIG. 5. — *Crue 15*. Evolution de la densité de dérive, des débits et de la dérive totale (même représentation que pour la *fig. 3*).

La dérive totale au cours de ces 24 heures a été estimée à 490 000 individus.

4) *Crue 16* (2-3 mai 1978)

Deux jours de pluie sur le bassin (8,8 mm le 30 avril et 25,9 mm le 1^{er} mai) provoquent une augmentation des écoulements en P₃ qui, rappelons-le, n'ont pas cessé depuis un mois. Du 2 au 3 mai on assiste

à une lente décroissance (130 à 87 l/s) au cours de laquelle la densité de dérive décroît légèrement (*fig. 6*). Pour l'ensemble des 24 heures la dérive totale est de 106 000 individus.

Fig. 6. — Crue 16. Evolution de la densité de dérive, des débits et de la dérive totale (même représentation que pour la *fig. 3*).

5) Discussion

L'évolution de la densité de dérive lors de ces quatre périodes de 24 heures est caractérisée par deux faits. Le premier a trait à l'absence de deux sortes de dérive fondamentalement différentes, l'une diurne, l'autre nocturne. La seule observation qui va à l'encontre de cette constatation concerne la crue 13 au cours de laquelle, pendant la nuit, apparaît une légère augmentation de la densité qui se poursuit jusqu'à l'aube pour s'atténuer ensuite progressivement.

Or, aucun événement hydrologique n'est à son origine puisque les débits n'ont pas cessé de diminuer pendant la période étudiée. Nous reviendrons ultérieurement sur ce problème. Il convient toutefois de remarquer que lors de la crue 16 dont les débits sont comparables à ceux de la 13, ce phénomène ne s'est pas reproduit.

Le second fait concerne les valeurs de la densité de dérive au cours de chacune des périodes considérées. Elles ne sont pas constantes et diminuent environ de moitié entre le début et la fin des prélèvements. Cette décroissance est progressive bien que l'on observe des oscillations pseudo-périodiques assez bien marquées par rapport à la tendance générale manifestée par la densité de dérive.

Afin de vérifier si l'évolution de la densité était ou non structurée, nous avons utilisé l'analyse géostatistique de Matheron (Delhomme,

1976) en déterminant le demi-variogramme qui donne une description synthétique de la structure du phénomène (fig. 7).

FIG. 7. — Demi-variogramme de l'évolution de la densité durant 24 heures. Crues 13, 14, 15 et 16.

Si le variogramme est horizontal on admet qu'il s'agit d'un phénomène aléatoire pur. Si, au contraire, il croît indéfiniment, le phénomène est entièrement structuré: c'est le cas des crues 14 et 15. En revanche, les crues 13 et 16 sont nettement moins structurées et approcheraient d'un phénomène aléatoire pur.

On peut tenter d'expliquer ces différences. Le débit moyen des crues 13 et 16 (116 l/s et 101 l/s) est très inférieur à celui des crues 14 et 15 (314 l/s et 220 l/s).

Ceci tendrait à prouver que plus les débits sont élevés et donc la crue forte, plus le phénomène de dérive est structuré. Plus les débits seraient faibles moins les densités de dérive horaires seraient dépendantes les unes des autres.

Ainsi le processus de dérive déclenché par l'événement crue perdrait de son déterminisme avec le temps laissant la place soit à une dérive de comportement soit à une dérive constante (Waters, 1965).

Le cas de la crue 13 peut être examiné à nouveau en fonction de cette interprétation. De 230 l/s (16 h 30) à 120 l/s (1 h 30), l'évolution de la densité de dérive serait déterminée par le processus engendré par la crue, alors que, à partir de 2 h 30, la densité pourrait être liée à un phénomène comportemental.

Il ressort de l'ensemble de ces observations que la dérive des Harpacticides enregistrée au niveau de P_3 suit essentiellement un processus déclenché par le mécanisme de crue d'où est exclu tout aspect de dérive comportementale sauf, éventuellement, pour les débits relativement bas rencontrés en fin de décrue. Elle correspond ainsi en tout point à la définition d'une dérive catastrophique.

Cette dérive est caractérisée par le fait que sa densité n'est pas constante au cours de chacune des périodes étudiées ce qui la distingue de ce que Elliott (1967), Anderson et Lehmkuhl (1968) et Clifford (1972 a) ont observé dans des cours d'eau pérennes.

Bien évidemment la dérive totale change dans des proportions considérables au cours d'une même journée puisqu'elle dépend à la fois de la densité de dérive et du débit global du cours d'eau : ainsi, 120 000 individus ont dérivé le 3 février 1978 entre 7 et 8 heures et 2 100 seulement le lendemain entre 6 et 7 heures. Dans le même temps les débits avaient diminué de moitié et la densité de dérive de 2,5 fois.

4.2. Etude de la dérive au cours d'une période de crue

Afin de rendre compte de l'évolution de la dérive sur l'ensemble d'une crue, il a été procédé à une série d'échantillonnages quotidiens portant chacun sur une période de huit heures environ. Bien que les prélèvements nocturnes fassent défaut, on peut penser, à la lumière des résultats relatifs aux phases de 24 heures étudiées, que la densité de dérive a évolué selon les tendances générales manifestées durant la journée.

1. SOMMETS DE CRUES ET DÉCRUES

a) Crue 6 (28-30 avril 1976)

Plusieurs jours de pluie du 20 au 24 avril (22,8 mm ; 0 mm ; 17,6 mm ; 19,7 mm ; 1 mm) provoquent une première crue dont les

débits culminent à 335 l/s le 23 et ne sont plus que de 74 l/s le 26 (voir détail des captures du 23 et 24 avril sur le tableau I). De nouvelles pluies le 25 (17,6 mm), le 26 (15 mm), le 27 (11,9 mm) et le 28 (14,5 mm) vont déterminer une seconde crue qui atteint 390 l/s le 28 avril à 11 h. Le 30 avril au soir, les débits sont de l'ordre de 70 l/s (fig. 8).

FIG. 8. — Crue 6. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

Les échantillons du 28 concernent le sommet de crue et le début de la décrue. Les eaux, très turbides au début, imposent une durée des prélèvements extrêmement brève (45 s pour le premier, 1 mn pour le second) ; assez rapidement cependant, le temps d'échantillonnage a pu être augmenté et atteindre 5 minutes à partir de 16 h.

Après être passée par un maximum à 11 h (133 individus/m³), la densité de dérive décroît très rapidement pour n'être plus que de 17 individus/m³ à 17 h ; elle est donc, à ce moment-là, 8 fois inférieure au maximum observé alors que, dans le même temps, les débits ont diminué 1,16 fois. Le 29 avril, la densité de dérive baisse régulièrement et passe de 8 à 4 individus/m³ ; parallèlement les débits chutent de 232 l/s à 156 l/s soit une réduction de 1,48 fois. Le 30 avril, la densité de dérive est assez uniforme ; elle a peu diminué par rapport à la dernière valeur de la veille bien que les débits aient chuté de moitié.

La densité de dérive qui diminue donc beaucoup plus rapidement que les débits au début de la décrue a tendance à baisser moins vite que ceux-ci en fin d'écoulement. On notera que les temps d'échantillonnage très courts au plus fort des débits n'en rendent pas moins compte de façon satisfaisante du déroulement du phénomène.

b) *Crue 7* (11 au 14 mai 1976)

Des précipitations abondantes (68,4 mm le 10 mai et 5,2 mm le 11) déclenchent une crue qui atteint son maximum le 11 mai à 1 h (265 l/s). La décrue se poursuit ensuite jusqu'au 14 mai (*fig. 9*). Le 11 mai, pendant la période d'échantillonnage, la densité de dérive passe de 22 à 11 individus/m³ alors que les débits diminuent 1,5 fois.

FIG. 9. — Crue 7. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

Le lendemain, la densité, bien qu'elle décroisse en cours de journée, est, en moyenne, plus de deux fois inférieure aux valeurs les moins fortes de la veille. Dans le même temps les débits ont chuté de moitié. Le 13 et le 14 témoignent d'une diminution progressive de la densité qui est cependant moins marquée que celle des débits. On retrouve donc les mêmes caractéristiques que pour la crue précédente.

c) *Crue 9* (3-4 décembre 1976)

Les pluies du 1^{er} (5,2 mm), du 2 (47,4 mm) et du 3 décembre (20,7 mm) provoquent une crue brutale en P₃ qui atteint 465 l/s le 3 à 7 h 30. Le 4 à 16 h, les débits ne sont plus que de 47 l/s. Le 5, P₃ est à sec (*fig. 10*). Le 3 décembre, au cours de la période étudiée, la densité de dérive, malgré des variations assez importantes, diminue envi-

FIG. 10. — Crue 9. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

ron de moitié pendant que les débits décroissent 1,45 fois. Le lendemain, la dérive demeure constante (5 individus/m³) ; dans le même temps, les débits passent de 100 l/s à 50 l/s.

d) *Crue 10* (12-15 avril 1977)

Les pluies du 11 avril (20,7 mm) déclenchent une crue qui atteint 325 l/s le 12 ; cette valeur de débit restera constante pendant une

FIG. 11. — Crue 10. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

grande partie de la journée. De nouvelles précipitations le 12, quoique peu importantes (3,7 mm), vont se traduire par une légère recrudescence des débits le 13 avril. Le 14 et le 15 avril, les écoulements diminuent rapidement et cessent le 15 au soir (*fig. 11*).

Les prélèvements réalisés toutes les 1/2 heures dans la journée du 12, montrent que la densité de dérive croît d'abord jusqu'à 14 h 45 puis décroît. Le 13 avril, la densité de dérive est en moyenne trois fois inférieure à celle de la veille ; dans le même temps les débits n'ont pas baissé de moitié. Les prélèvements du 14 et 15 avril traduisent une diminution lente et progressive de la densité de dérive qui, d'un jour à l'autre, décroît de moitié, alors que les débits baissent beaucoup plus rapidement.

Deux faits intéressants doivent être soulignés. Pendant la journée du 12, bien que les débits demeurent constants, la densité de dérive évolue pour son propre compte. Le 13, pendant que les débits augmentent, la densité de dérive continue de diminuer. A ce niveau, on observe donc une relative indépendance du processus de dérive par rapport aux débits.

2. MONTÉES DE CRUES ET DÉCRUES

a) *Crue 11* (18-19 avril 1977)

Les écoulements qui avaient cessé le 15 avril (*crue 10*) reprennent le 18 avril à la suite des pluies du 17 (11,4 mm) et du 18 (18,6 mm). L'échantillonnage débute pratiquement avec l'arrivée des eaux en P₃ (*fig. 12*). Au cours des deux premières heures, la densité est quasi sta-

FIG. 12. — *Crue 11*. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

tionnaire. Le maximum de dérive (22,9 individus/m³) apparaît dès la troisième heure pour 31 l/s soit environ au 2/3 de la montée de crue.

Par la suite, bien que les débits croissent jusqu'à 47 l/s, la densité diminue régulièrement. Le lendemain, pour des débits deux fois moins importants que ceux de la veille, les valeurs de la densité de dérive sont environ huit fois plus basses.

b) *Crue 12* (4-6 mai 1977)

Un épisode pluvieux débute le 2 mai (12,5 mm) et se poursuit le 3 (20,7 mm), le 4 (44,5 mm), le 5 (2,1 mm) et le 6 (1 mm). Les écoulements en P₃ débutent le 3 et atteignent leur maximum le 4 entre 16 et 17 heures (390 l/s). Le 6 mai au soir les débits sont de l'ordre de 80 l/s (fig. 13).

FIG. 13. — Crue 12. Evolution de la densité de dérive (traits verticaux) et des débits (trait continu).

Pendant la montée de crue, en raison de la turbidité des eaux, la durée des prélèvements a été limitée à 1 minute. La densité de dérive, bien qu'elle montre, au début, quelques fluctuations par rapport à la tendance générale, augmente de façon spectaculaire passant de 20 à 25 individus/m³ en moyenne au cours des deux premières heures (11 à 13 h) à 79 individus/m³ à 16 h 45. Dès le lendemain, la densité de dérive a considérablement diminué et continue de le faire entre 9 et

17 h où elle chute de 17 à 9 individus/m³. Le 6 mai, la densité oscille entre 6 et 10 individus/m³.

Cette crue est très caractéristique quant à son déroulement, car elle met bien en évidence l'évolution de la dérive aussi bien au cours de la montée de crue que lors de la décrue. L'échantillonnage réalisé pendant la montée des eaux montre que la densité est multipliée par le facteur 4 quand les débits ne s'accroissent que 1,7 fois.

Dès le 5 mai, pour des débits environ 2 fois inférieurs à la pointe de crue, la densité de dérive est en moyenne 6 fois plus faible que lors du maximum de la veille. Le 6 mai, les débits sont moitié moindres que le 5 et la dérive a décru 1,7 fois.

Ces résultats conduisent à remarquer que si dans son évolution générale, la densité de dérive suit celle des débits, elle n'en montre pas moins des modalités qui lui sont propres. On remarquera en outre que, comme pour la crue 6, des temps d'échantillonnage très courts fournissent cependant des informations satisfaisantes sur la dérive.

3. CONCLUSIONS

L'évolution de la densité de dérive au cours d'une crue affectant un ruissellement temporaire est caractérisée par plusieurs phénomènes. Le premier vient confirmer les données relatives aux périodes de 24 heures étudiées. La densité de dérive n'est pas constante pendant la durée du ruissellement : ainsi, pour la période du 28 au 30 avril 1976, les valeurs extrêmes observées ont été de 133 et 2 individus/m³. Le second a trait à l'évolution de la densité de dérive pendant la décrue. Dans un premier temps, la densité décroît beaucoup plus rapidement que les débits ; ensuite elle a tendance à diminuer plus lentement que ceux-ci. Le troisième point concerne la montée de crue. On constate que la densité de dérive croît rapidement au fur et à mesure que les débits augmentent. Son maximum peut soit coïncider avec la pointe de crue (crues 6, 10 et 12) soit la précéder (crue 15 et 11) soit la suivre (crue 8 — voir tableau II). Lorsque des débits élevés sont stationnaires, la densité de dérive n'est pas constante (crue 10). Une recrudescence momentanée des débits lors de la décrue n'entraîne pas forcément une augmentation de la densité de dérive.

4.3. Relations de la densité de dérive avec les débits

Les différentes crues étudiées montrent que l'évolution de la densité de dérive suit globalement celle des débits. Certaines observations indiquent cependant que la liaison entre les deux paramètres ne paraît pas rigoureuse. Afin de tester cette liaison, des corrélations ont été établies entre la densité de dérive et le débit. Or, les coefficients de

corrélations n'ont un sens que si les différentes valeurs des couples pris en compte peuvent être considérées comme indépendantes et si la relation entre les deux variables est linéaire.

Pour la première condition, on a vu que (fig. 7) l'évolution sur 24 heures, tout au moins dans certains cas, ne correspondait pas à un phénomène aléatoire. En revanche, si l'on ne prend qu'une valeur ponctuelle par jour on peut considérer l'indépendance des valeurs comme étant suffisante. Ainsi, les crues étudiées pendant 24 heures n'ont fourni qu'un seul couple, celles ayant été surveillées pendant 2,3 et 4 jours en donnant respectivement 2,3 et 4. Au total 28 couples ont été retenus ; ils sont indiqués par une flèche dans les tableaux I à V.

En ce concerne la seconde condition, il a d'abord été essayé une régression linéaire, puis deux régressions curvilinéaires après transformation des variables. Les modèles obtenus sont les suivants :

$$d = 0,112 Q - 2,219 \quad \text{modèle linéaire}$$

$$d = 0,117 Q^{0,854} \quad \text{modèle en puissance}$$

$$d = 2,99 e^{0,007 Q} \quad \text{modèle exponentiel.}$$

FIG. 14. — Relations entre la densité de dérivation et des débits en P_3 . Les cercles noirs représentent les valeurs de décrue, les points cerclés celles de la montée de crue.

Le graphique (fig. 14) montre que ces trois modèles peuvent convenir avec cependant une grande dispersion des points. Les coefficients de corrélation pour ces trois ajustements sont respectivement 0,837 — 0,860 — 0,889 ; ils sont par conséquent significatifs au seuil de 1 %.

La densité de dérive, bien qu'elle soit liée aux débits, ne suit pas ceux-ci de façon rigoureuse puisqu'il existe plusieurs possibilités d'ajustement. On remarquera notamment que les points relatifs à la montée de crue, au nombre de 3 sur le graphique, s'écartent assez sensiblement du nuage de dispersion des données relatives à la décrue. Un certain nombre d'observations ponctuelles illustrent cette mauvaise dépendance entre les densités et les débits.

Ainsi, la comparaison de données relatives à la montée de crue montre des différences importantes entre les valeurs observées. Les crues 6 et 12 culminent au même débit (390 l/s) ; les densités maximales n'en sont pas moins différentes : 133 individus/m³ pour la première et 79 individus/m³ pour la seconde. On note 21 individus/m³ pour un débit de 31 l/s lors de la crue 11 et 8 individus/m³ pour un débit de 43 l/s pendant la crue 8. Alors que les écoulements du 13 avril 1976 sont stationnaires pendant plusieurs heures (325 l/s) la densité de dérive, comme on l'a déjà souligné, évolue pour son propre compte.

De même, les valeurs de densité enregistrées au cours des décrues indiquent des différences notables pour des débits comparables. Pour 210 l/s, les densités de dérive observées le 24 avril 1976, le 5 mai 1977 et le 31 mars 1978 sont dans l'ordre 7,1 — 13,9 et 22,7 individus/m³. Le 4 décembre 1976, le 6 mai 1977 et le 3 mai 1978, pour 100 l/s, les valeurs suivantes ont été obtenues : 5,1 — 7,9 et 13,2 individus/m³.

FIG. 15. — Evolution de la densité de dérive en fonction du temps, pendant les décrues 6, 7, 9, 10 et 12.

Pendant les décrues 6, 7, 9, 10 et 12, la décroissance de la densité de dérive par rapport au temps suit, une fonction du type $y = ax^k$. Bien que les coefficients relatifs à chacune des courbes obtenues (*fig. 15*) soient différents, celles-ci n'en offrent pas moins une ressemblance certaine due à la diminution importante de la densité au cours des 10 premières heures de la décrue.

Ainsi, la densité de dérive, si elle dépend incontestablement des conditions d'écoulements, n'en est pas pour autant liée de façon stricte à ce paramètre. Tous deux ont pour origine le même facteur, le phénomène de crue, mais chacun d'entre eux suit une évolution qui lui est propre. En ce sens, les conclusions relatives à ce type de dérive rejoignent celles concernant les transports solides dans les eaux continentales exprimées par plusieurs auteurs (*in Symposium Erosion et Transports solides dans les eaux continentales, 1977*).

4.4. La dérive totale

a) Au cours des crues

Afin d'estimer le transit total d'Harpacticides au cours des séquences étudiées, la dérive totale relative aux périodes non échantillonnées a été interpolée à partir des données les précédant et les suivant immédiatement. Dans tous les cas, le total a été estimé à partir du premier échantillonnage réalisé (tableau VI).

Dans ces conditions, seuls les nombres concernant les crues 11 et 12 approchent la quantité réelle d'Harpacticides ayant transité en P_3 ; pour les crues 6 et 10 l'évolution de la dérive débute peu avant que la densité maximale ait été atteinte alors que seule la décrue est prise en compte pour les crues 7 et 9.

N° de la crue	Dérive totale	Durée (en h)
6	834 000	54
7	207 000	75
9	432 000	31
10	669 000	74
11	27 000	28
12	1 205 000	54

TABLEAU VI. — Estimation du transit global d'Harpacticides en P_3 .

Les valeurs estimées sont élevées, exception faite pour la crue 11 dont le débit maximum, il est vrai, n'a atteint que 47 l/s. Rappelons que, 24 heures après le début de l'échantillonnage, 80 à 97,5 % des été respectivement de l'ordre de 100 000, 150 000, 500 000 et 1 200 000

individus. La façon dont le transit s'effectue dans le temps est également très caractéristique de ce type de dérive catastrophique par ruissellement. Si l'on porte en ordonnées les pourcentages cumulés de la dérive horaire et en abscisses le temps en heures (*fig. 16*), on constate que, 24 heures après le début de l'échantillonnage, 80 à 97,5 % des Harpacticides entraînés pendant la période considérée ont transité en P_3 , le seuil de 80 % étant atteint entre la dixième et la vingt-quatrième heure.

FIG. 16. — Pourcentages cumulés de la dérive totale en fonction du temps. Les crues 11 et 12 (traits pleins) sont considérés dans leur totalité ; pour les crues 6, 10, 7 et 9 (tirets) n'entrent en compte que les valeurs de la décrue.

Il convient de remarquer que ces courbes ne sont pas directement comparables puisque certaines crues (11 et 12) rendent compte de la presque totalité du phénomène de dérive alors que les autres ne débutent qu'au sommet de la crue ou juste après. Le fait que la décroissance de la dérive totale soit extrêmement rapide lorsque l'échantillonnage débute au sommet de la crue montre bien que l'essentiel de la dérive s'effectue au cours de la première journée.

Au cours de la période de 24 heures étudiée du 29 au 30 juin 1977 (crue 13), des variations de la densité sont apparues en fin de décrue, qui pourraient être dues à une dérive comportementale. Les interpolations réalisées ne tiennent pas compte de ce phénomène éventuel car, en vérité, les changements engendrés ne compteraient que pour peu de choses, au moment où ils se produisent, par rapport à la dérive massive qui intervient au cours des premières heures de crue.

b) *Au cours des cycles*

L'estimation de la dérive totale pour un cycle hydrologique demeure difficile puisque les relations entre la densité de dérive et les valeurs des débits ne sont pas rigoureuses. La connaissance du volume écoulé en P_3 lors de chaque cycle n'implique donc pas celle de la dérive des Harpacticides.

Comme n'ont été étudiées que des crues au cours desquelles la perte était absorbante, plutôt que de rechercher la dérive totale par cycle, nous avons tenté d'évaluer quelle était la quantité d'animaux introduite chaque année dans le karst au niveau de la perte de la Peyrère.

Les résultats obtenus permettent de calculer approximativement quelle a été la dérive totale pour chacune des crues dont la montée des eaux n'a pu être étudiée. En effet, le volume d'eau écoulé avant le premier échantillonnage est connu, et la densité moyenne pour cette période peut être estimée si l'on tient compte de l'évolution de la densité de dérive au cours des heures qui suivent. Ainsi la dérive totale pour les crues 6, 7, 9 et 10 aurait été de l'ordre de 1 180 000, 440 000, 578 000 et 740 000 individus, celle des crues 11 et 12 étant indiquée dans le tableau VI.

Sachant qu'il existe 10 à 20 épisodes pluvieux par an qui déterminent des écoulements importants en P_3 , et considérant que les six crues étudiées représentent un échantillonnage au hasard de la dérive pour de tels épisodes, le nombre d'individus entraîné dans le karst serait compris entre 7 000 000 et 14 000 000 d'individus. Ces chiffres s'inscrivent bien entre une valeur minimale qui serait égale à 10 crues du type 7 (4 400 000 individus) et 20 crues du type 12 (24 000 000 d'individus).

Les apports au karst noyé par la perte de la Peyrère sont donc considérables et il ne fait pas de doute que la communauté des Harpacticides de ce système est fortement influencée par la présence d'un important contingent d'espèces d'origine épigée.

5. — DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Cette étude consacrée à la dérive des Harpacticides au niveau d'un ruisseau temporaire qui naît et se perd dans le système karstique du Baget avait pour but initial de quantifier les apports que représentent les espèces épigées de ce groupe au sein d'un aquifère karstique. Les résultats sont de deux sortes, les uns ayant trait au phénomène de dérive, les autres concernant le peuplement du karst et, d'une façon plus générale, la notion même d'écosystème karstique.

a) *Le phénomène de dérive*

Un premier point réside dans la présence constante des Harpacticides parmi le matériel entraîné. Ceci est assez inhabituel pour être souligné. En effet, le plus souvent, ce sont les Cyclopidés et les Diaptomides qui, chez les Copépodes, sont signalés dans la dérive. Ceci tient au fait qu'un grand nombre d'études ont été consacrées à des cours d'eau alimentés par des lacs ; toutes ont montré qu'une partie du plancton de ces lacs, entraînée au niveau des émissaires, dérivait ensuite le long des cours d'eau (Chandler 1937, Ruttner 1956, Müller 1956, Elliott et Corlett 1972, Chutter 1975, Neveu et Echaubard 1975, Rey et Capblancq 1975, Ward 1975, Armitage 1977). Cependant quelques auteurs signalent également la présence d'Entomostracés dans des rivières dépourvues de ce type d'alimentation (Bishop et Hynes 1969, Clifford 1972 a et b, J. D. Hynes 1975). Les données sur les Harpacticides n'en sont pas moins rares. Crisp et Gledhill (1970) indiquent la présence de *Canthocamptus staphylinus* parmi les Copépodes repeuplant un bras de rivière en Angleterre. Au Natal, Chutter (1975) signale des exuvies d'Harpacticides parmi les nombreux Cyclopidés qui dérivent. Clifford (1972 b) apporte les premières données précises sur le groupe en montrant qu'il est un constituant régulier de la dérive d'un ruisseau temporaire de l'Alberta ; dans ce cas, comme pour le Baget, il convient de souligner les conditions particulières dans lesquelles s'effectue cette dérive des Harpacticides : s'agissant de ruisseaux temporaires, les animaux sont importés d'autres milieux, zones marécageuses dans l'Alberta, terrains imperméables avec leurs collections d'eau sur le Baget. Clifford indique que le cours d'eau étudié ne fonctionne que pendant le dégel (avril à octobre) avec un débit d'une dizaine de litres par seconde. Sur le Baget, au contraire, les écoulements n'apparaissent qu'à l'occasion de forts épisodes pluvieux : les périodes d'activité y sont donc brèves et brutales.

Un deuxième point a trait aux modalités de la dérive des Harpacticides dans ce type d'écoulement par ruissellement. Les 14 périodes de crues étudiées sur le Baget s'étendent entre les mois de mars 1976 et de mai 1978. Au total 36 062 Harpacticides ont été capturés. Les faits suivants peuvent être énoncés.

1. Les prélèvements effectués pendant 24 heures ne permettent pas de distinguer deux types de dérive, l'une diurne, l'autre nocturne.
2. La densité de dérive n'est pas constante pour une période donnée qu'elle soit de 24 heures ou de plusieurs jours.
3. Il n'existe pas des relations d'interdépendance stricte entre les valeurs de la densité de dérive et celles des débits ce qui n'exclut pas une certaine corrélation entre ces deux paramètres.
4. Le processus de dérive observé apparaît comme un phénomène

structuré ayant les mêmes causes à l'origine que les écoulements, mais évoluant ensuite de façon autonome.

5. Par son déroulement, ce type de dérive rappelle les phénomènes mis en évidence pour les transports solides dans les eaux continentales.

6. 80 % au moins de la dérive totale transitent au cours des premières 24 heures.

7. Au cours d'un cycle hydrologique le nombre d'individus entraînés à l'intérieur du karst serait compris entre 7 et 14 millions.

Les conditions dans lesquelles cette dérive s'effectue, ses caractéristiques, permettent de penser qu'il s'agit là d'une dérive de type catastrophique. Elle diffère des autres exemples cités dans la littérature (Müller 1954, Waters 1962 et 1965, Elliott 1967, Bishop et Hynes 1969, Elliott et Corlett 1972, Pearson et Franklin 1968, Anderson et Lehmkuhl 1968) parce qu'elle n'apparaît pas, comme cela a été indiqué, au niveau d'un cours d'eau pérenne et que le matériel qui y est soumis est d'origine allochtone. Ce phénomène d'entraînement passif des Harpacticides ne paraît lié à aucun rythme d'activité des animaux ; en fait, il correspond à un lessivage d'habitats ordinairement caractérisés par des eaux peu ou non courantes ; toutefois il ne peut être considéré comme exceptionnel, puisque, sur le système du Baget, une vingtaine de crues ont lieu chaque année. Contrairement aux observations effectuées dans les cours d'eau pérenne où, bien que la dérive catastrophique tende à masquer la dérive de comportement, il semble que la densité de dérive reste constante pour une période donnée (Elliott 1967) et ceci indépendamment des variations du débit, la densité de dérive sur le Baget varie pendant la durée de la crue mais de façon structurée. On retiendra donc le rôle important que jouent ces écoulements par ruissellement au niveau des échanges qui s'effectuent régulièrement entre différentes zones d'un même bassin versant et son drainage. Il semble que, à ce jour, peu d'études aient été consacrées à ce type de dérive.

Un troisième point concerne la distance parcourue par les Harpacticides au cours de ces périodes de crues. On sait que les Cyclopides et les Diaptomides peuvent être entraînés assez loin de leur lieu d'origine puisque Chandler (1937) les rencontre sur la rivière Huron (Michigan) à 8 km de l'émissaire qui alimente cette rivière. En Suède, Müller (1956) les signale à 30 km en aval de leur point de départ. Elliott et Corlett (1972) indiquent que, en période de hautes eaux, le plancton issu du lac Windermere, parcourt 5,5 km. Neveu et Echaubard (1975) capturent dans la Couze Pavin des Copépodes originaires du lac Pavin (4 km) ou du lac de Super Besse (8 km).

Ward (1975) récolte des Copépodes 8,5 km en aval du lac Cheesman (Colorado). Au niveau du Baget, la distance parcourue par les Harpac-

ticides avant qu'ils ne pénètrent sous terre varie de un à trois kilomètres selon les terrains dont ils sont issus (voir *fig. 1*).

b) *Le peuplement du karst, la notion d'écosystème karstique*

On sait depuis longtemps que, parmi les micro-crustacés, de nombreuses formes épigées sont présentes sous terre (Kofoed 1899, Scott 1909, Graeter 1910, Chappuis 1920, Ginet 1960, Rouch 1968, Lescher-Moutoué et Gourbault 1970, Barr et Kuehne 1971, Lescher-Moutoué 1973), sans qu'il ait été toujours possible de quantifier leur importance, sinon ponctuellement, en raison de l'absence d'un système de référence clairement défini sur le plan écologique.

Jusqu'à récemment encore, ce qui constituait un réel progrès, on a pu penser que cette unité fonctionnelle de base était représentée par l'aquifère karstique (Rouch 1968). Toutefois, en passant à la notion de système karstique (Mangin 1975) dont découle celle d'écosystème karstique (Rouch, 1977), l'entité de référence ne se limite plus à l'aquifère *sensu-stricto*. En effet, de même que sur le plan physique on est obligé, dans la notion de système, de comprendre à la fois l'aquifère karstique proprement dit et l'ensemble du bassin versant drainé par cet aquifère, de même, sur le plan écologique, l'écosystème représente à la fois le milieu souterrain karstique, l'aquifère) et toute la zone de surface qui l'alimente. Ce bassin versant, comme sur le Baget, peut comprendre des terrains non karstifiés.

Il s'agit là, sur le plan conceptuel, d'une démarche tout à fait comparable à celle effectuée par les hydrobiologistes qui, après avoir considéré la rivière comme unité de travail, ont été conduits à envisager « le cours d'eau et sa vallée » (Hynes 1975) comme un tout indissociable. La seule différence entre les deux approches réside dans le fait que, dans un cas, la structure drainante est représentée par la rivière, alors que dans l'autre, elle correspond à l'aquifère karstique. Cette définition de l'écosystème karstique qui correspond à une réalité physique (il est circonscrit par des limites précises qui déterminent un espace tri-dimensionnel) permet d'envisager désormais une approche quantitative de tous les phénomènes d'échange entre la surface et le milieu souterrain. Parallèlement aux apports par infiltration rapide ou retardée (Mangin 1975) il faut prendre en compte le ruissellement de surface qui se perd massivement. C'est ce dernier aspect qui a été étudié. Sur le Baget, ces écoulements par ruissellement se répartissent généralement entre les mois de novembre et de juin et représentent, pour chaque cycle hydrologique, 60 à 90 jours d'apports par dérive. Il s'agit là d'un phénomène régulier qui est intégré dans le fonctionnement du système. Les conséquences de cette dérive catastrophique sont capitales quant à leur influence sur le peuplement de l'aquifère karstique du Baget. Chaque année, 7 à 14 millions d'Harpacticides sont ainsi introduits au niveau du karst

noyé. Beaucoup d'entre eux ne feront que transiter, d'autres au contraire, se fixeront et se développeront. Le peuplement de ce système ne peut donc plus être envisagé en fonction des seules formes hypogées, mais comme le résultat d'un équilibre dynamique qui s'instaure entre des espèces parfaitement adaptées et d'autres qui le sont moins, les premières étant beaucoup moins opportunistes que les secondes.

La composition taxinomique de même que les structures d'abondance des échantillons récoltés seront examinées dans un travail ultérieur.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide de Madame A. Descouens qui a trié le matériel récolté et réalisé l'iconographie de cette note, de A. Mangin et P. Decremps qui ont participé aux séances d'échantillonnage de 24 heures ; je les remercie bien vivement. Je remercie également C. Andrieux, M. Bakalowicz et A. Mangin non seulement pour les nombreux renseignements qu'ils ont bien voulu me fournir mais aussi pour la part active qu'ils ont prise, avec R. Téchené, dans l'aménagement de la station P₃.

TRAVAUX CITÉS

- ANDERSON (N. H.) et LEHMKULL (D. M.). 1968. — Catastrophic drift of insects in a woodland streams. *Ecology*, 49 (2) : 198-206.
- ARMITAGE (P. D.). 1977. — Invertebrate drift in the regulated River Tees, and an unregulated tributary Maize Beck, below Cow Green dam. *Freshwater Biology*, 7 : 167-183.
- ANDRIEUX (C.) et BAKALOWICZ (M.). 1974. — Le système karstique du Baget (Ariège). Les éléments du climat. *Ann. Spéléol.*, 29 (3) : 267-282.
- BARR (T. C.) et KUEHNE (R. A.). 1971. — Ecological studies in the Mammoth Cave System of Kentucky. II. The ecosystem. *Ann. Spéléol.*, 26 (1) : 47-96.
- BISHOP (J. E.) et HYNES (H. B. N.). 1969. — Downstream Drift of the invertebrate fauna in a stream Ecosystem. *Arch. Hydrobiol.*, 66 (1) : 56-90.
- CHANDLER (D. C.). 1937. — Fate of typical lake plankton in streams. *Ecol. Monogr.*, 7 : 445-479.
- CHAPPUIS (P. A.). 1920. — Die Fauna der Unterirdischen Gewässer der Umgebung von Basel. *Arch. Hydrobiol.*, 14 (1) : 1-88.
- CHUTTER (F. M.). 1975. — Variation in the day-time drift of a Natal riv.r. *Vehr. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1728-1735.
- CLIFFORD (H. F.). 1972 a. — A year's study of the drifting organisms in a brown-water stream of Alberta, Canada. *Canad. J. Zool.*, 50 (7) : 975-983.
- CLIFFORD (H. F.). 1972 b. — Drift of invertebrates in an intermittent stream draining marshy terrain of west-central Alberta. *Canad. J. Zool.*, 50 (7) : 985-991.
- CRISP (D. T.) et GLEDHILL (T.). 1970. — A quantitative description of the recovery of the bottom fauna in a muddy reach of a mill stream in southern England after draining and dredging. *Arch. Hydrobiol.*, 67 : 502-541.
- DÉCAMPS (H.) et ROUCH (R.). 1973. — Le système karstique du Baget. I. Premières estimations sur la dérive des invertébrés aquatiques d'origine épigée. *Ann. Spéléol.*, 28 (1) : 89-110.

- DÉCAMPS (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 (3) : 287-296.
- DÉCAMPS (H.), LAVILLE (H.) et TRIVELLATO (D.). 1973. — Utilisation d'un venturi pour un échantillonneur de dérive en eau courante. *Annls. Limnol.*, 9 (2) : 177-182.
- DELHOMME (J. P.). 1976. — Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Thèse Doc. Ing. Université P. et M. Curie, Paris 6, 160 p.
- ELLIOT (J. M.). 1967. — Invertebrate drift in a Dartmoor stream. *Arch. Hydrobiol.*, 63 (2) : 202-237.
- GINET (R.). 1960. — Ecologie, Ethologie et Biologie de *Niphargus* (Amphipodes Gammaridés hypogés). *Ann. Spéléol.*, 15 (1-2) : 1-254.
- GRAETER (E.). 1910. — Die Copepoden der Unterirdischen Gewässer. *Arch. Hydrobiol.*, 6 : 1-87.
- HYNES (H. B. N.). 1975. — The stream and its valley. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1-15.
- HYNES (J. D.). 1975. — Downstream drift of invertebrates in a river in southern Ghana. *Freshwat. Biol.*, 5 : 515-532.
- KOFOID (C. A.). 1899. — The plancton of Echo River, Mammoth Cave. *Trans. Amer. Micr. Soc.*, 21 : 113-126.
- LESCHER-MOUTOUÉ (F.). 1973. — Sur la biologie et l'écologie des Copépodes Cyclopides hypogés (Crustacés). *Ann. Spéléol.*, 28 (3) : 429-502 et 28 (4) : 581-674.
- LESCHER-MOUTOUÉ (F.) et GOURBAULT (N.). 1970. — Etude écologique du peuplement des eaux souterraines de la zone de circulation permanente d'un massif karstique. *Ann. Spéléol.*, 25 (5) : 765-848.
- MANGIN (A.). 1975. — Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Ann. Spéléol.*, 30 (1) : 21-124.
- MÜLLER (K.). 1954. — Investigations on the organic drift in north Swedish streams. *Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm*, 35 : 133-148.
- MÜLLER (K.). 1956. — Das produktionsbiologische Zusammenspiel zwischen See und Fluß. *Ber. Limn. Flußst. Freudenthal*, 7 : 1-8.
- NEVEU (A.) et ECHAUBARD (M.). 1975. — La dérive estivale des invertébrés aquatiques et terrestres dans un ruisseau du Massif Central : la Couze Pavin. *Ann. Hydrobiol.*, 6 (1) : 1-26.
- PEARSON (W. D.) et FRANKLIN (D. R.). 1968. — Some Factors affecting drift rates of *Baetis* and Simuliidae. *Ecology*, 49 : 75-81.
- REY (J.) et CAPBLANCO (J.). 1975. — Dynamique des populations et production du Zooplancton du lac de Port-Bielh (Pyrénées Centrales). *Annls Limnol.*, 11 (1) : 1-45.
- ROUCH (R.). 1968. — Contribution à la connaissance des Harpacticides hypogés (Crustacés - Copépodes). *Ann. Spéléol.*, 23 (1) : 5-167.
- ROUCH (R.). 1977. — Considérations sur l'écosystème karstique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 284 : 1101-1103.
- ROUCH (R.) et BONNET (L.). 1976 a. — Le système karstique du Baget. IV. Premières données sur la structure et l'organisation de la communauté des Harpacticides. *Ann. Spéléol.*, 31 : 27-41.
- ROUCH (R.) et BONNET (L.). 1976 b. — Le système karstique du Baget. V. La communauté des Harpacticides. Sur la constance du peuplement. *Ann. Spéléol.*, 31 : 43-53.
- ROUCH (R.) et BONNET (L.). 1977. — Le système karstique du Baget. VI. La communauté des Harpacticides. Sur la constance du peuplement. *Ann. Spéléol.*, crues au niveau de deux exutoires du système. *Annls. Limnol.*, 13 (2) : 227-249.
- RUTTNER (F.). 1956. — Einige Beobachtungen über das Verhalten des Planktons in Secabflüssen. *Ost. bot. Z.*, 103 : 98-109.

- SCOTT (W.). 1909. — An ecological study of the plancton of Shawnee Cave, with notes on the cave environment. *Biol. Bull.*, 17 : 386-407.
- WARD (J. V.). 1975. — Downstream fate of zooplankton from a hypolimnial release mountain reservoir. *Vehr. Internat. Verein. Limnol.*, 19 : 1798-1804.
- WATERS (T. F.). 1962. — Diurnal periodicity in the drift of stream invertebrates. *Ecology*, 43 : 316-320.
- WATERS (T. S.). 1965. — Interpretation of invertebrate drift in streams. *Ecology*, 46 (3) : 327-334.
- Symposium Erosion and solid matter transport in inland waters. AISH publication, n° 122, 352 p.
-

Février 1980.