ÉCOLOGIE D'UN TORRENT PYRÉNÉEN DE HAUTE MONTAGNE

I. — CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

par P. LAVANDIER¹.

Les caractéristiques physiques d'un torrent de haute montagne — l'Estaragne et ses affluents —, sont analysées en relation avec les conditions géographiques générales.

La neige recouvre le torrent durant 4 à 7 mois selon l'altitude.

Les débits sont réguliers et faibles sous la neige en hiver, importants pendant la débâcle (avec des vitesses de courant supérieures à 2,50 m/s) ; ils subissent des variations brusques après le déneigement. Lors des crues, l'écoulement reflète la nature et la puissance des perturbations ainsi que les capacités de rétention du bassin-versant.

Les températures sont voisines de 0 °C en hiver. Elles s'élèvent à la fonte des neiges et dès lors fluctuent quotidiennement, l'ensoleillement jouant un rôle prépondérant. Amplitudes thermiques et températures augmentent de l'amont vers l'aval mais restent influencées par l'eau froide d'alimentation. Au cours des trois années de mesure, les températures moyennes hebdomadaires les plus élevées furent de 4,2 °C à 2 350 m et de 9,9 °C à 1 850 m d'altitude, les amplitudes étant respectivement de 1,5 °C et 6 °C. Le nombre annuel de degrés-jours, bien que deux fois plus fort à l'embouchure que près des sources ne dépasse généralement pas 1 000.

Les affluents les plus modestes sont déneigés plus tôt, accusent moins fortement les crues et sont plus chauds que le cours axial.

The ecology of a high mountain stream in the Pyrenees.

I. — Physical conditions.

The physical conditions in a high mountain stream, Estaragne and its tributaries, were analysed in relation to the general geographical conditions.

The snow cover over the stream lasts 4 to 7 months according to altitude.

Flow rates are constant and low under the snow in winter, high during the thaw (with some current velocities up to 2.50 m/s), and show sudden variations after the snow has melted. At the time of floods, the discharge reflects the nature and the force of disturbances as well as the capacities for retention in the catchment area.

Temperatures are close to zero in winter. They rise with the melting of the snow and consequently fluctuate daily, with insolation having the greatest influence on these changes. Both temperature and thermal amplitude increase

1. Ce mémoire constitue une partie d'une thèse présentée à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse en vue de l'obtention du Doctorat ès Sciences Naturelles.

Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31077 Toulouse Cedex.

from source to mouth, but are continuously influenced by the addition of cold water. Over three years, the mean weekly temperatures attained maximum values of 4.2 °C at 2 350 m and 9.9 °C at 1 850 m altitude, with thermal amplitudes of 1.5 °C and 6 °C respectively. Although the annual number of degree-days at the mouth is twice that recorded near the source, it does not generally exceed 1 000.

The smallest tributaries are the earliest to be free of snow cover, they show less strongly the occurrence of floods and are warmer than the main stream.

Introduction	174
1. — Le vallon d'Estaragne	176
1.1. — Situation générale et topographie	176
1.2. — Structure géologique	176
1.3. — Nature du sol et végétation	179
1.4. — Climat général	179
1.4.1. — Enneigement	179
1.4.2. — Pluviosité	181
1.4.3. — Ensoleillement	181
1.4.4. — Température et humidité	183
1.5. — Hydrographie du bassin	183
1.5.1. — Cours principal	183
1.5.2. — Affluents	184
1.6. — Les localités d'étude	185
2. — Étude des caractéristiques physiques du torrent et de ses affluents	186
2.1. — Couverture neigeuse	186
2.2. — Débit	189
2.2.1. — Obtention des données	189
2.2.2. — Résultats	191
2.2.3. — Remarques sur l'intérêt écologique de la connaissance des débits	201
2.3. — Température	203
2.3.1. — Matériel et mesures	203
2.3.2. — Résultats	204
2.3.3. — Remarques sur les facteurs responsables de la température	212
Résumé — Conclusion	214

INTRODUCTION

Le vallon d'Estaragne constitue certainement un milieu montagnard des mieux connus et des plus anciennement prospectés des Pyrénées centrales. L'accès facile, joint à la proximité de la station biologique d'Orédon, la variété géologique du substrat et le carac-

rière alpin typique de la partie haute du vallon, en font un champ privilégié d'observation. Aussi, les travaux qui s'y consacrent ou y font référence sont-ils nombreux et variés. Citons entre autres, dans les domaines suivants :

— Géographie générale et climatologie : Chouard (1949 a, b, c), Cassagnau (1961), Durand (1961), Ingrand (1961).

— Géologie : Barrère (1952).

— Pédologie : Cassagnau (1961), Breuillaud et Grizou (1961).

— Écologie terrestre :

• Zoologique : Vandell (1924), Bonnet (1953), Mauriès (1958), Cassagnau (1961), Laville (1962), Marty (1968), Duguy (1971) ;

• Botanique : Chouard (1949 b et c).

— Écologie aquatique :

• Zoologique : Berthélemy (1966), Mattei (1966), Décamps (1967), Thomas (1970), Décamps et Elliott (1972), Décamps et Lavandier (1972) ;

• Algologique : Verger-Lagadec et Vileret (1963), Besch et al. (1972).

La plupart des études hydrobiologiques considéraient le torrent d'Estaragne en tant qu'élément d'une aire géographique plus vaste, dans laquelle était analysée la répartition d'un ou plusieurs groupes systématiques d'invertébrés. L'ensemble de ces travaux axés sur une même région, leurs apports faunistiques fondamentaux permettaient d'envisager une étude globale de la faune des invertébrés dans divers cours d'eau des Pyrénées centrales. Le torrent d'Estaragne fut choisi en raison de sa situation géographique et de son caractère exemplaire de milieu froid d'altitude. Une note préliminaire (Décamps et Lavandier 1972) basée sur les résultats antérieurs et les observations en cours, a précisé les objectifs de cette étude : caractérisation du milieu, composition qualitative et quantitative de la faune, cycles vitaux, comportement, rapports trophiques et production annuelle des invertébrés du benthos.

Le présent travail répond à la première partie de ce programme :

- il apporte des données géographiques sur le vallon et analyse les composantes physiques (température et débit) du torrent qui le draine — les propriétés chimiques de l'eau feront l'objet d'une publication ultérieure (Lavandier et Mur, en préparation) ;
- il décrit un milieu lotique froid d'altitude — type de milieu particulièrement délaissé en hydrobiologie.

1. — LE VALLON D'ESTARAGNE

1.1. — Situation générale et topographie (fig. 1).

Le vallon d'Estaragne¹ est situé dans la zone axiale des Pyrénées (latitude N : 42° 48' ; longitude E : 0° 9') en bordure du massif granitique de Néouvielle, au sud-ouest du lac d'Orédon. Orienté sud-nord, il s'allonge sur 3 km environ entre 1 850 et 2 500 m d'altitude.

Il offre, en aval et en amont d'un ressaut glaciaire d'une centaine de mètres, deux paysages différents (fig. 2) :

- la partie basse, au-dessous de 1 950 m, descend agréablement sur le lac d'Orédon. Limitée à l'ouest par le barrage de Cap-de-Long et les premières parois du pic de Hèche-Castet, elle s'ouvre largement vers l'est ;
- la partie haute, au-dessus de 2 070 m, est constituée par trois cirques d'origine glaciaire,
 - le cirque inférieur, qui s'étend de 2 130 à 2 200 m ;
 - le cirque moyen, dont l'altitude varie entre 2 190 et 2 300 m ;
 - le cirque supérieur, au-dessus de 2 350 m.

Cet ensemble est dominé par de hautes murailles qui lui confèrent un aspect rude, sauvage, parfois même hostile : à l'est, une crête nord-sud aboutissant au pic Méchant (2 944 m), et le Pic des Toudes (2 930 m) ; au sud, la crête des Cintes Blanches qui atteint 2 896 m et le Pic d'Estaragne (3 006 m) ; à l'ouest une crête moins élevée dont l'altitude varie entre 2 500 - 2 600 m, parallèle à la crête des Alharisses (2 700 - 2 993 m). Les 3/4 de la surface ainsi délimitée sont situés au-dessus de 2 200 m d'altitude, près de la moitié au-dessus de 2 500 m.

1.2. — Structure géologique (fig. 1).

Zone de contact entre schistes et granites, avec en outre un banc de calcschistes qui forme la muraille sud du cirque supérieur, le substrat est relativement varié pour un bassin pyrénéen d'altitude de cette dimension. La limite entre les terrains schisteux et granitiques, nettement dirigée NE-SW, traverse le cirque moyen.

1. Le terme « vallon d'Estaragne » désigne ici, le bassin drainé par le torrent, du cône d'alimentation à l'embouchure dans le lac d'Orédon. Pour la majorité des travaux antérieurs, cette appellation ne s'applique qu'à la partie haute, au-dessus de 2 100 m. Par la suite, le nom « Estaragne » se rapportera suivant le contexte, au vallon ou au torrent.

Altitude (m)

FIG. 1. — Vallon d'Estaragne. (1) Situation générale et nature des terrains ;
(2) Courbe hypsographique.

(1)

(2)

FIG. 2. — Vallon d'Estaragne. (1) Partie haute au-dessus de 2 070 m, a : cirque supérieur ; b : cirque moyen ; r : cirque inférieur ; c : crête des Cintes Blanches. (2) Partie basse au-dessous de 1 950 m, t : torrent ; o : lac d'Orédon.

Au-dessus, la proportion de schistes (dévonien moyen et supérieur) par rapport aux granites est de l'ordre de 60 % ; au-dessous, le granite amphibolique domine à 80 %.

La partie haute du vallon est flanquée :

- à l'ouest par un bassin à dominance granitique (bassin de la Neste de Cap-de-Long) ;
- à l'est par un bassin secondaire essentiellement schisteux (Bassia Gran), drainé par les affluents inférieurs du torrent d'Estaragne.

1.3. — Nature du sol et végétation (fig. 3).

Quand il n'est pas squelettique, le sol est formé d'humus et de terreau. Il reste toujours humide, tout au moins dans ses couches profondes. L'eau pénètre lentement, stagne ou ruisselle suivant la topographie et l'importance de la précipitation.

La végétation, extrêmement réduite sur les versants recouverts d'éboulis schisteux et granitiques, se développe sur les reliefs plus stables et moins accidentés. Une pelouse alpine et des colonies de *Salix reticulata* dominant au cirque supérieur (Chouard 1949 c). Plus bas s'étend une prairie subalpine à Gispet (*Festuka eskia*), avec de nombreux marais à *Hypnacées*. Sous le ressaut glaciaire, quelques tourbières de stagnation se développent sur un replat morainique (1 950 m), à l'orée d'une sapinière. Enfin une rhodopineraie d'ombrée à *Abies pectinata* borde les cent derniers mètres du cours d'eau jusqu'au lac d'Orédon.

L'influence humaine est limitée au pacage estival des moutons, et à l'afflux saisonnier des touristes.

1.4. — Climat général.

Les climats et microclimats de montagne ont fait l'objet dans les Pyrénées d'observations et d'études écologiques précises (Gaussen 1926, 1949 ; Chouard 1933, 1937 a et b, 1949 a et b ; Cassagnau 1961). Nous n'en présentons ici que quelques traits relatifs au vallon, en joignant diverses données complémentaires, nécessaires à la suite de l'exposé.

1.4.1. — ENNEIGEMENT.

La couverture saisonnière de neige, généralement précédée de neiges temporaires à partir de septembre (parfois même d'août) s'établit dès novembre en haut de l'Estaragne. Par la suite elle s'étend à l'ensemble du vallon, nivelle progressivement les reliefs et couvre le torrent. La durée de l'enneigement varie avec l'alti-

(1)

(2)

FIG. 3. — Vallon d'Estaragne. (1) Partie haute dénudée ; cirques moyen et inférieur vus du cirque supérieur, t : torrent ; o : lac d'Orédon. (2) Partie basse boisée, t : torrent au niveau du ressaut ; C : crête des Cintes Blanches.

tude : 6 - 7 mois au cirque supérieur, 3 - 5 mois au niveau du lac. Cette différence est essentiellement due au retard printanier de la fonte des neiges au-dessus de 2 000 m.

Le déneigement n'est jamais total : un névé permanent subsiste au cirque supérieur ; d'autres persistent longtemps, parfois tout l'été, aux cirques moyen et inférieur.

L'abondance réelle des précipitations hivernales est difficilement mesurable. Malgré l'évaporation irrégulière et parfois intense (Ingrand 1961), la comparaison sur plusieurs années consécutives des volumes d'eau écoulés au printemps peut donner une indication relative sur l'importance de la couverture neigeuse.

1.4.2. — PLUVIOSITÉ.

Les pluies ne constituent qu'une faible partie des précipitations annuelles. Elles sont abondantes, souvent prolongées au printemps et à l'automne, irrégulières, orageuses et parfois violentes en été. Leur intérêt essentiel réside dans la réponse du torrent à de telles perturbations intensives et brutales. C'est dans cette optique que nous avons mesuré la pluviosité sur l'ensemble du bassin durant l'été 1972. Installés à quatre altitudes différentes (1 850, 1 950, 2 100 et 2 350 m) les pluviomètres étaient relevés régulièrement.

Les hauteurs d'eau ne présentent pas de différences régulières importantes suivant l'altitude, par suite de l'exiguïté du bassin, de la proximité des stations et du caractère des pluies (Tableau I).

TABLEAU I. — Hauteur des précipitations (en mm d'eau) tombées entre deux relevés successifs. Étude à quatre altitudes différentes durant la période du 13-7 au 4-11-1972.

Altitude	Date des relevés												
	13-7	20-7	29-7	16-8	28-8	6-9	13-9	19-9	25-9	2-10	9-10	16-10	24-10
2 350 m	31	8	96	15	24	39	51	25	4	4	21	0	51
2 100 m	27	8	94	15	25	36	53	25	4	4	23	0	51
1 950 m	28	10	90	16	24	37	52	23	4	2	20	0	50
1 850 m	30	9	89	15	25	37	52	24	4	3	20	0	49

1.4.3. — ENSOLEILLEMENT.

Du fait de la raréfaction de l'air, la proportion de la radiation solaire reçue au niveau du sol est beaucoup plus importante en montagne qu'en plaine. Aussi l'insolation constitue-t-elle une des composantes essentielles du climat de montagne. D'une façon

A

PB

B

R

C

D

FIG. 4. — Héliogrammes relatifs à une localité (PB) située à 2 285 m d'altitude dans un proche vallon orienté au sud (d'après Capblancq 1972) et à 5 localités du vallon d'Estaragne : A - cirque supérieur 2 350 m ; B - cirque moyen 2 190 m ; R - cirque inférieur 2 150 m ; C - 1 920 m ; D - 1 850 m d'altitude.

générale, son rôle est fonction de sa durée et de son efficacité, inversement proportionnelle à l'obliquité des rayons. Les héliogrammes de la figure 4, tracés pour diverses altitudes à partir de la carte IGN au 25/1 000, donnent le temps d'insolation théorique aux différentes périodes de l'année. Ils soulignent l'importance de l'exposition et de la topographie :

- le cirque supérieur d'Estaragne, exposé au nord, est beaucoup moins ensoleillé qu'un vallon largement ouvert au sud à altitude équivalente ;
- c'est au niveau des cirques moyen et inférieur, dominés à l'est et à l'ouest par des parois élevées que la durée d'insolation est la plus courte. Le rayonnement y présente cependant une efficacité saisonnière toujours forte — le soleil étant toujours voisin de son point de culmination.

1.4.4. — TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ.

Ces deux composantes climatiques, étroitement liées, dépendent de la précédente. Du fait de la situation générale, les températures du haut du vallon sont plus basses qu'ailleurs au même niveau (Cassagnau 1961, p. 73), l'humidité plus forte (phénomène de condensation sur parois froides). Des relevés effectués durant les étés 1971 et 1972 montrent qu'entre 1 900 et 2 350 m les différences de température quotidienne (maxima et minima) sont de l'ordre de 2 à 5 °C.

Ainsi les sévères conditions climatiques qui règnent à cette altitude élevée, sont accentuées par l'orientation au nord et les parois rocheuses qui dominent la partie haute du vallon.

1.5. — Hydrographie du bassin.

Le réseau hydrographique est simple et peu ramifié (*fig. 5*).

1.5.1. — COURS PRINCIPAL.

Issu entre 2 450 m et 2 380 m d'altitude, du névé du cirque supérieur et de sources diffuses, il se jette, après un cours peu sinueux de 2,750 km dans le lac d'Orédon, sur la rive SW, à 1 852 m d'altitude. Il présente deux importantes ruptures de pente : au niveau de la muraille calcaire du cirque amont (2 350 - 2 280 m) ; au niveau du ressaut glaciaire (2 000 - 1 930 m).

La pente moyenne est de 20 % dans la partie haute du vallon, de 10 % dans la partie basse. Il traverse d'abord des schistes et des calcschistes puis des granites amphiboliques dans la plus grande partie de son cours. Son lit offre donc un assortiment de

roches de formes et de nature assez variées dont les proportions diffèrent suivant l'altitude.

1.5.2. — AFFLUENTS.

Seuls les affluents permanents, au nombre de six (dénommés **a1** - **a2** - **a3** ... **a6** de l'amont vers l'aval), ont été retenus.

- rive gauche vers 2 180 m, un ruisseau **a2** sourd des éboulis ;
- rive droite : à 2 200 m, **a1**, presque aussi important que le cours principal, descend du cirque SE, où il creuse une petite gorge dans les schistes. Sa pente est très accusée, les cascades et les rapides sont nombreux.

FIG. 5. — Vallon d'Estaragne. (1) Réseau hydrographique et stations d'étude. (2) Profil en long du torrent.

Vers 2 150 m, **a3** et **a4**, nés de zones marécageuses à *Hypnacées* sont des affluents étroits (inférieurs à 0,80 m) à pente faible ; ils rejoignent l'Estaragne après une cinquantaine de mètres.

Dans la partie basse du vallon, deux affluents importants, **a5** et **a6**, semblent constituer après un parcours souterrain les principales voies d'écoulement du bassin secondaire de Bassia Gran. Issus de sources morainiques vers 2 050 m d'altitude ils coulent en cascade dans leur cours supérieur. **a5** emprunte ensuite un étroit sillon (0,50 à 1 m de largeur) et présente une succession de mouilles et de seuils avant de rejoindre l'Estaragne vers 1 920 m. **a6** s'étale largement sur un replat avant sa confluence à 1 850 m d'altitude, créant une vaste zone marécageuse.

A cette brève description, il convient d'ajouter les ruisseaux et rigoles intermittentes surtout nombreux dans la partie supérieure du bassin.

1.6. — Les localités d'étude.

Nous avons analysé les conditions de milieu et le peuplement animal dans les différents cours d'eau du vallon. Onze emplacements ont été choisis : un par affluent, cinq sur le torrent. Chaque affluent est étudié près de son embouchure et la station porte le nom du ruisseau sur lequel elle se trouve. La dénomination et les coordonnées générales des cinq stations du cours principal sont précisées dans le tableau II. La figure 5 situe l'ensemble des stations sur le réseau hydrographique.

TABLEAU II. — Coordonnées générales des 5 stations situées sur le torrent d'Estaragne.

(1) Distance calculée à partir de la source la plus en aval.

(2) Dont 2 km² environ pour le Bassia Gran.

STATION	A	B	R	C	D
ALTITUDE (en m)	2 370	2 190	2 150	1 920	1 850
DISTANCE à la source (en m) (1)	50	575	1 125	2 075	2 775
PENTE entre deux stations consécutives (en %)	34,3	7,3	24	10	
SURFACE du bassin versant à la station (en km ²)	0,82	2,06	2,93	3,70	6,50 (2)

2. — ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU TORRENT ET DE SES AFFLUENTS

Nous étudierons successivement, les conditions d'enneigement, les débits et les températures en différents points du réseau hydrographique. Les résultats, basés sur plusieurs années d'observations et de mesures, seront analysés en fonction des données géographiques générales, exposées précédemment.

2.1. — Couverture neigeuse.

En montagne la neige est un facteur écologique essentiel. Elle recouvre progressivement les cours d'eau vers la fin de l'année, les soustrait plusieurs mois aux influences extérieures, avant de disparaître dans la crue printanière.

2.1.1. — DURÉE DE LA COUVERTURE NEIGEUSE.

La figure 6 indique la durée de la couverture de neige et les dates de réapparition du torrent aux stations A, R et C lors de trois années d'observation. Les différences enregistrées résultent essentiellement de l'importance inégale des précipitations hivernales et de la topographie du bassin.

FIG. 6. — Torrent d'Estaragne. Périodes de recouvrement nival du torrent à trois altitudes différentes. Traits continus : torrent recouvert ; tirets : torrent partiellement recouvert ; pointillés : pas d'information. 1 : 1971 ; 2 : 1972 ; 3 : 1973.

Quelques mesures faites à la station R, lors de prélèvements de faune benthique, donnent un aperçu des hauteurs de neige accumulées : elles étaient voisines de 2 m aux mois de mars et

d'avril 1969, le torrent présentait alors quelques zones déneigées une centaine de mètre en amont ; l'épaisseur de la couche nivale dépassait 4 m l'année suivante au même endroit.

Les conditions d'enneigement semblent homogènes dans la partie basse du vallon ; le torrent déneige légèrement avant le sol. Au-dessus du ressaut glaciaire, congères et neige d'avalanche s'accumulent irrégulièrement dans le thalweg : la neige y est compacte et le torrent, malgré son pouvoir d'érosion, ne réapparaît souvent qu'après la prairie jaunie et couchée par l'hiver.

Les affluents disparaissent en même temps que le torrent à la fin de l'année ; ils déneigent généralement plut tôt au printemps, à l'exception de **a1**, qui est toujours le dernier cours d'eau du vallon à réapparaître — la neige, accumulée dans son lit encaissé, subsiste parfois tout l'été.

2.1.2. — INFLUENCE DE LA COUVERTURE NIVALE SUR LE DÉVELOPPEMENT DES ALGUES.

La neige réduit dans de fortes proportions les quantités de lumière utilisable pour la photosynthèse. De son épaisseur et de sa structure dépendent donc les possibilités d'extension du peuplement algal. Les observations hivernales et printanières effectuées sur le torrent ont montrées que les galets sont apparemment vierges de périphyton sous la neige. Par contre, dans les cinq à huit jours qui suivent la réapparition du cours d'eau, ils se couvrent de cellules plancher puis de longs filaments d'*Hydrurus foetidus*.

2.1.3. — FORMATION ET DISPARITION DE LA COUVERTURE NEIGEUSE.

Le mode de recouvrement du torrent, observé aux diverses stations corrobore les observations de Kühlmann et Kühlmann (1963) et de Kalmer (1965). Pendant les heures froides, les eaux mortes peu profondes gèlent rapidement. Une pellicule de glace transparente se forme sur les blocs et les galets émergés (*fig. 7*). Elle résulte essentiellement des gouttelettes projetées qui gèlent immédiatement à leur contact. Cette pellicule s'épaissit et s'étend de proche en proche au-dessus de l'eau libre, intégrant instantanément toute projection. De la même façon, sur les berges verticales rocheuses (station A) se forment des aiguilles de glace. Inversement, le substrat s'échauffe sous l'effet du rayonnement solaire ; les calottes glaciaires fondent légèrement, et se décollent de quelques millimètres. Du fait de la durée réduite et de la faible efficacité de l'ensoleillement, ce phénomène, qui diminue l'épaisseur de la glace, est limité en Estaragne. Il n'a pas d'influence décelable sur les débits ; son terme ultime, le décrochement de la glace, n'y est que très rarement réalisé, et uniquement aux stations inférieu-

res (stations C et D). Ce sont donc, dans les stations ombragées (ex. B), les eaux calmes des « criques » peu profondes et les cascades parmi les rochers émergés qui se recouvrent de glace les premières (à l'aval de A, en amont de B, entre R et C). De là, le revêtement s'effectue ensuite en fonction de la profondeur et de la turbulence de l'eau, de l'aspersion et des possibilités d'extension de la glace. Ce processus est accéléré par les premières chutes de

FIG. 7. — Mode de recouvrement du torrent : remarquer la lisière de glace qui s'étend au-dessus de l'eau libre et supportera la neige.

neige qui constituent, après tassement et gel, une couche glacée plus opaque et plus friable que la précédente. Par la suite, la neige, supportée par l'« infrastructure » existante, s'étend sur l'ensemble du ruisseau. Entre cette couverture et l'eau libre se développe un espace qui résulte d'une légère fonte de la glace au contact de l'eau et de la baisse de niveau hivernal (Kamler 1965).

Au printemps, cette couverture nivale s'amincit, et la voûte s'effondre, sous l'action conjuguée du rayonnement solaire (sublimation et fusion) et de l'érosion sous-jacente, due au torrent qui grossit. Le déneigement s'effectue fondamentalement de l'aval vers l'amont (*fig. 6*) mais les cascades, où l'érosion torrentielle est prépondérante, réapparaissent souvent en premier. Inversement, de larges ponts de neige compacte peuvent subsister tardivement. Ils résultent en général de congères ou d'avalanches.

2.2. — Débit.

2.2.1. — OBTENTION DES DONNÉES.

2.2.1.1. — Principe — Matériel et méthodes.

A toute variation de débit correspond une variation de hauteur de la lame d'eau. Ces fluctuations sont enregistrées par l'intermédiaire d'un flotteur. Les débits sont calculés pour différents niveaux, soit par intégration des mesures faites au micromoulinet, soit par jaugeage chimique. L'obtention de couples de données permet d'établir une corrélation entre la hauteur d'eau et le débit.

L'infrastructure existante, les difficultés d'accès, la physionomie des cours d'eau nous ont conduit à utiliser trois types d'appareil de mesure :

- à 2150 m d'altitude, nous avons bénéficié des fondations d'une ancienne station limnigraphique de l'E.D.F. bâtie en dur et capable de résister aux conditions hivernales d'enneigement. Ayant fonctionné plusieurs années consécutives, elle nous servira de station de référence (station R). Elle est équipée d'un limnigraphe OTT de type X. Le niveau d'eau est mesuré dans un puits connecté au torrent ; une couche de pétrole évite le gel ;
- trois stations sur le cours principal (stations A, C, D), une sur l'affluent inférieur a6 sont aménagées avec des « installations limnigraphiques » plus sommaires réalisées sur le même principe que la précédente. Dans une zone aux rives relevées, à l'aval d'une cascade, le ruisseau est barré par une large poutre. A la partie amont de la retenue d'eau ainsi créée, une caisse perforée renfermant un appareil enregistreur de niveau de conception simple (fig. 8) est placée sur le fond, si possible dans une dépression faisant office de puits ;

FIG. 8. — Appareil enregistreur de niveau utilisé aux stations A, C, D, a5, a6.

- deux affluents, a5 et a4, de débit plus faible, furent intégralement canalisés dans deux caissons de jaugeage à lame-déversoir triangulaire préalablement étalonnés. Dans l'un d'eux (station a4) la hauteur d'eau au niveau du déversoir est enregistrée comme précédemment. Le second caisson (station a5) a été utilisé pour des mesures instantanées de débit.

L'écoulement des deux autres affluents importants a1 et a3, qui n'ont pu être équipés, a été régulièrement évalué par des jaugeages au micromoulinet. L'évaluation de leurs débits peut être grossièrement reconstituée par compa-

raison avec les enregistrements effectués au même moment sur des cours d'eau de situation et d'alimentation voisines, soit en comparant a3 avec a4, a1 avec l'Estaragne au cirque supérieur (station A).

2.2.1.2. — Validité des mesures.

L'exploitation des stations d'enregistrement en montagne doit être soumise à une surveillance régulière pour que les marges d'erreur ne soient pas trop importantes. En effet, les vitesses de courant élevées, et le transport solide, intense en période de hautes eaux, peuvent transformer le lit du torrent, au niveau des limnigraphes. Les corrélations hauteurs-débits se trouvant modifiées, il faut alors établir de nouvelles courbes de tarage. En 1972, après un tarage printanier, nous avons réalisé à chaque station une nouvelle série de mesures à la suite d'une violente tornade (13-14 août). Au niveau du cirque supérieur le lit avait profondément évolué. Deux courbes ont donc été nécessaires pour estimer les débits à cette station. Des vérifications automnales nous ont montré par la suite la « stabilité » du substrat à tous les niveaux.

FIG. 9. — Relation entre hauteurs d'eau enregistrées et débits — avec les limites de confiance au seuil $P = 0,05$ — aux stations A, R, C, D, a6.

La figure 9 présente les relations hauteurs-débits et donne la valeur du coefficient de corrélation établi pour chaque station — r est toujours hautement significatif, même quand le nombre des couples de données est faible. Les limites de confiance (au seuil $p = 0,05$) indiquent que l'erreur commise sur les estimations est dans tous les cas inférieure à 15 %.

2.2.1.3. — Mesures effectuées.

Station de référence R : le limnigraphe a fonctionné cinq années consécutives durant les périodes suivantes :

— du 1-10 au 22-12-1969 ; du 22-4 au 31-12-1970 ; du 1-1 au 8-2 et du 17-6 au 31-10-1971 ; du 7-7 au 2-11-1972 et du 1-7 au 1-11-1973.

Les interruptions hivernales des deux premières années sont dues aux dégâts causés par les avalanches et à l'impossibilité d'accéder régulièrement à la station à cause de l'enneigement. Les hauteurs d'eau et les débits correspondants ont été reconstitués d'après les mesures effectuées par E.D.F. sur le bassin voisin de la Neste de Cap-de-Long et, antérieurement, sur celui de l'Estaragne.

Aux autres stations : les enregistrements ont été réalisés de juillet à novembre 1972.

2.2.2. — RÉSULTATS.

Ils sont exprimés en litre par seconde (débits moyens et instantanés), et en l/s/km² (modules spécifiques). Les enregistrements réalisés pendant plusieurs années à la station R permettent de dégager l'évolution dans le temps des traits hydrologiques essentiels du torrent.

2.2.2.1. — Régime saisonnier.

Il se caractérise par (fig. 10) :

- un débit hivernal très faible mais jamais nul, l'eau circulant sous la neige ;
- une période principale de hautes eaux en juin - juillet (fonte des neiges - orages) ;
- une décroissance des débits jusqu'en octobre ;
- une période secondaire de hautes eaux en automne et au début de l'hiver.

Cette succession constitue un régime nival, malgré la légère recrudescence d'automne qui le rapproche du « régime nival de transition », type hydrologique le plus répandu dans les hauts massifs pyrénéens (Pardé 1953).

2.2.2.2. — Moyennes et variations quotidiennes (fig. 10).

— En hiver, les débits sont faibles et réguliers ; ils diminuent peu à peu sous la couverture neigeuse : de 40 l/s, à la fin de l'année, ils passent à 20 l/s, avant la débâcle printanière. L'eau s'écoule au milieu du lit et les vitesses de courant restent inférieures à 20 cm/s.

— La crue nivale débute en mai et dure en moyenne deux mois et demi. Les débits moyens journaliers atteignent 600 l/s en trois semaines. Pendant plus d'un mois ils se maintiennent à un niveau élevé, variant alors dans de grandes proportions sous l'influence de conditions météorologiques instables : les vitesses de courant toujours supérieures à 1,50 m/s dépassent 2,50 m/s lors des débits maxima journaliers (1 200 - 1 400 l/s), elles déterminent une forte érosion et un transport solide intense. Les débits diminuent ensuite progressivement et sont encore de 300 l/s environ à la fin du déneigement (fin juillet - début août).

Pendant cette période, on note chaque jour des oscillations de débit, d'allure périodique régulière, consécutives au rythme nycthéral de fusion de la neige. Elles sont importantes lors des journées ensoleillées et peuvent atteindre 30 % du débit maximum quotidien.

FIG. 10. — Torrent d'Estaragne. Régime hydrique saisonnier enregistré à la station R (2 128 m d'altitude). (1) Débits moyens journaliers lors des années hydrologiques 1969-1970 (traits continus) et 1970-1971 (tirets). (2) Variations quotidiennes des débits au cours de l'année : période déneigée, hiver et fonte des neiges.

Il faut cependant préciser qu'à cette époque, compte tenu des valeurs minimales toujours élevées, ces fluctuations journalières, pas plus que les crues secondaires résultant de pluies printanières parfois violentes, ne perturbent fondamentalement la physionomie du cours d'eau.

— Après la débâcle, les variations de débit sont accidentelles, sous la dépendance directe, et en général immédiate, de précipitations atmosphériques irrégulières. Du fait de l'exiguïté et de la topographie du bassin-versant, les fortes averses peuvent engendrer des crues subites et spectaculaires : les débits moyens journaliers sont alors fréquemment multipliés par 3 ou 5, parfois 10. Quant aux débits de pointe, ils sont susceptibles de dépasser en quelques heures, les maxima instantanés enregistrés au printemps.

— L'écoulement élevé d'automne est dû à la reprise des précipitations plus régulières, alors que l'eau n'est pas encore soumise au gel. Des crues rapides et fortes, du même type que celles d'été et aux conséquences semblables, peuvent être enregistrées. A l'approche de l'hiver, nous n'avons jamais observé de « glace de fond » (anchor ice), susceptible d'entraîner par sa formation et sa fusion d'importantes fluctuations quotidiennes de niveau analogues à celles notées par Needham et Jones (1959),

2.2.2.3. — *Comparaison des résultats obtenus entre 1969 et 1973.*

Les mesures réalisées durant quatre années, leur comparaison avec celles faites par E.D.F. sur le bassin limitrophe de la NESTE de Cap-de-Long, montrent la régularité générale du régime, particulièrement nette pour les conditions hivernales et printanières.

Sur cette évolution d'ensemble apparaissent annuellement des différences de détail qui concernent l'époque des crues et des basses eaux, ainsi que leur importance. Les deux années de mesures complètes (octobre 1969 - octobre 1971) présentent des écoulements voisins. Cependant, l'année hydrologique 1970-1971 montre un volume global écoulé légèrement supérieur (d'environ 8 %), à celui de l'année précédente. Cette différence est surtout due à l'abondance des précipitations neigeuses de l'hiver et du début de printemps, en mars notamment, qui s'est traduite par de très forts débits en juillet 1971. Le décalage observé entre les hautes eaux des deux années s'explique de la même façon.

Les conditions d'été et d'automne présentent des variations plus notables. Ainsi, pour la période août - octobre, cinq violents orages se sont succédés en 1972, contre deux en 1971 et 1973, un seul en 1970. Ils ont maintenu un débit élevé — la valeur minimum fut de 67 l/s (4 jours) pour 55 en 1970 (8 jours) et en 1973 (14 jours) —

FIG. 11. — Torrent d'Estaragne. Débits moyens journaliers aux stations A (2 370 m), R (2 128 m), C (1 920 m), D (1 850 m d'altitude). Période du 19-7 au 3-11.1972.

et provoqué un écoulement de 15 à 40 % supérieur à celui enregistré les autres années.

2.2.2.4. — Comparaison des débits aux différentes stations.

* Les enregistrements et les mesures, réalisés dès la fonte des neiges, ont permis d'analyser, au cours de l'été et de l'automne 1972, les conditions d'écoulement sur l'ensemble du réseau hydrographique.

Sur le torrent, les courbes représentatives (fig. 11) des débits aux stations inférieures (stations R, C, D) sont très proches ; elles se confondent parfois à la fin de la fonte des neiges et aux étiages. Cette similitude montre l'importance des cirques supérieurs dans l'alimentation du système, phénomène qui met particulièrement en évidence la représentation graphique des modules hebdomadaires calculés pour chaque station en phase déneigée (fig. 12). Elle sug-

Modules hebdomadaires

FIG. 12. — Torrent d'Estaragne. Modules spécifiques hebdomadaires calculés aux stations A, R, C et D. Période du 25-7 au 29-10-1972.

gère aussi la possibilité d'infiltrations dans la partie basse du vallon. Lors des orages, les courbes se dissocient, leur tracé traduit alors la nature des perturbations et les propriétés de rétention du bassin-versant. Du fait de l'étroitesse du lit au cirque supérieur, les vitesses de courant y sont plus élevées que sur le reste du cours, où elles sont en général du même ordre de grandeur qu'à la station R.

Les affluents se différencient par leur importance respective et leurs modalités d'alimentation et d'écoulement.

— **a1** draine les eaux de la partie S-E du vallon, au-dessus de 2 200 m. Durant l'année de mesure, après un hiver particulièrement enneigé, son débit fut soutenu tout l'été par la fonte progressive des congères accumulées dans le thalweg. Il atteignait 30 % de celui du torrent en juillet et près de 55 % en octobre. Ces proportions s'établirent autour de 50 % en 1973, s'accroissant toujours légèrement à l'approche de l'hiver (47 % en août - 52 % en novembre). La pente accusée, détermine des vitesses de courant (V) toujours fortes, supérieures à 0,80 m/s.

— **a2**, sur la rive gauche, est un ruisseau à écoulement réduit à l'étiage (8 à 14 l/s ; $V < 0,20$ m/s), mais son débit peut dépasser 45 l/s au printemps ($V = 0,50 - 0,60$ m/s).

— **a3** et **a4** (fig. 13) présentent des débits faibles maintenus par des sources diffuses régulières. Les valeurs extrêmes des vitesses

FIG. 13. — Affluents **a4** et **a6**. Débits moyens journaliers. Période du 10-7 au 2-11-1972.

de courant enregistrées furent de 0,25 m/s à l'étiage, de 1,80 m/s lors des crues.

— Enregistré à la confluence (*fig. 13*), le débit de **a6** est important à la fonte des neiges (200 l/s environ, $V = 1 - 1,20$ m/s) ou en période d'orages (180 l/s le 13-8-1972). Il diminue progressivement et s'abaisse à quelques litres/seconde à l'étiage. Dans la partie basse de son cours, ce ruisseau présente une infiltration notable, particulièrement nette en période de sécheresse. Durant l'été 1973, alors qu'il était presque à sec sur le replat précédant sa confluence, il débitait 15 à 20 l/s cinquante mètres plus haut. Quatre à sept fois moins important que **a6** durant la fonte des neiges, **a5** conserve tout l'été un débit non négligeable d'une dizaine de l/s. Le lit étant étroit, peu profond, la vitesse du courant y est toujours forte, susceptible de dépasser 2 m/s durant les hautes eaux.

Lors des crues, les affluents les plus modestes accusent des fluctuations hydriques moins prononcées et plus passagères que celles du cours principal.

* En hiver, les données fournies par la station R, seule installation susceptible de fonctionner, montrent que les débits à ce niveau sont plus faibles sous la neige que lors des basses eaux d'été ; cette baisse de niveau est vraisemblablement générale sur l'ensemble du réseau.

* Au printemps, la montée des eaux est d'abord sensible en aval. Sur le torrent les stations inférieures sont ainsi soumises plus tôt et donc plus longuement à la crue nivale que les stations d'amont.

FIG. 14. — Fluctuations quotidiennes moyennes des débits aux stations C, a6, D lors de la fonte des neiges (explications dans le texte).

Les oscillations quotidiennes enregistrées à la fin de la débâcle diffèrent sensiblement selon les localités. L'évolution journalière, caractérisée par un maximum aux alentours de 18 heures et un minimum vers 9 heures, est modifiée aux trois stations d'aval :

- les mesures instantanées effectuées à cette époque sur a5 suggèrent un régime voisin mais avec un léger retard ;
- dans a6, le décalage atteint une dizaine d'heures. Le niveau maximum s'observe entre 7 et 9 heures le matin, le niveau le plus bas vers 22 heures. Ces phénomènes imputables aux modalités d'écoulement souterrain, se répercutent au niveau de la station D. Ils limitent les fluctuations journalières en élevant le niveau minimum des débits (fig. 14). De même, les précipitations estivales déterminent des périodes de hautes eaux, plus allongées en aval de la confluence de ces affluents, qu'en amont.

2.2.2.5. — Influence de la nature géologique du bassin-versant sur l'écoulement.

Dans l'étude hydrologique de deux torrents des Tatras, Gieysztor 1961, a souligné l'influence des produits de décomposition et de la perméabilité des roches sur les caractéristiques de l'écoulement. Des résultats analogues, bien que la nature des terrains drainés soit différente, ressortent de la comparaison des débits de l'Est-

FIG. 15. — Influence de la nature du bassin-versant sur les débits moyens journaliers de l'Estaragne à 2128 m (bassin-versant essentiellement schisteux) et de la Neste de Cap-de-Long (bassin versant essentiellement granitique) après un orage. Périodes du 20-9 au 15-10-1971 (1) et du 20-9 au 3-10-1972 (2).

ragne et de la Neste de Cap-de-Long. En Estaragne, la partie haut du vallon est essentiellement constituée à part égale de schistes et de granites. Le bassin limitrophe est aux deux tiers granitique et à un tiers schisteux.

Les étiages et les variations des débits moyens journaliers sont moins prononcés en Estaragne que dans le torrent voisin. Pour Durand (1961) ce fait résulte des capacités différentes de rétention des roches et des caractéristiques structurales propres au granite. Les éléments de schistes désagrégés se gorgent d'eau près de la surface et la restituent petit à petit. Il n'y a pas de fort déficit d'écoulement. Sur le granite, les pluies ruissellent rapidement jusqu'au ruisseau. Le déficit d'écoulement peut y être élevé. En effet, Barrère (1952) a souligné la perméabilité parfois très forte du granite fracturé. Cette dernière observation expliquerait l'éventuelle infiltration des eaux dans la partie granitique du vallon d'Estaragne.

La figure 15 illustre la différence de comportement des deux torrents lors d'orages : le débit de la Neste de Cap-de-Long croît et revient plus vite à son niveau initial que celui de l'Estaragne.

2.2.2.6. — *Relations entre précipitations et écoulement.*

Dans ce paragraphe, les lettres R et D affectées d'un indice et placées entre parenthèses, renvoient aux schémas de la figure 16. Elles correspondent aux observations menées respectivement aux stations R et D en 1971 (R4, R5) et 1972 (R1, R2, R3, R6, D1, D2).

Les pluies ont un effet immédiat, souvent brutal (R1, D1, R3, R5). Elles influent plusieurs jours sur le niveau du torrent (R1, R5, D1, D2) sauf à l'entrée de l'hiver où elles n'imprègnent guère le sol imperméabilisé par le gel — l'eau retenue étant en outre rapidement piégée par le gel.

Les neiges provoquent essentiellement des crues différées, progressives, d'importance variable. En été, lorsque après d'importantes chutes de neige, la température ambiante est élevée, les débits présentent des fluctuations quotidiennes régulières, homologues de celles observées lors de la débâcle printanière, mais plus faibles. La fusion de la neige peut s'accélérer sous l'action d'averses orageuses : ainsi entre le 13-9 et le 5-10-1972, les précipitations furent d'abord neigeuses (52 mm le 13 et le 14-9), puis pluvieuses (28 mm du 20 au 25-9). Ces dernières, bien que modestes, activèrent la fonte de la neige engendrant une crue importante (R6). A la fin de l'automne, la neige ne joue qu'un rôle négligeable. Quand elle ne persiste pas, sa disparition est extrêmement progressive et n'a guère d'influence sur les débits.

FIG. 16. — Relations entre précipitations et écoulement aux stations R et D (explications dans le texte).

Illustrée par quelques exemples, la comparaison des hauteurs des précipitations tombées et des lames d'eau écoulées lors des orages de l'été 1972 permet de préciser ces observations :

- à chaque niveau, le quotient d'écoulement immédiat (rapport de la hauteur d'eau de pluie ou de neige écoulée — h_b — à la hauteur totale des précipitations — H —) est fonction de la puissance globale de la perturbation (R_1 , R_3). Il est plus faible aux stations inférieures que supérieures (R_1 , D_1) ;
- le déficit d'écoulement par orage (ou hauteur d'eau de pluie ou de neige non évacuée — h_a) augmente de l'amont vers l'aval. En aval le relief moins redressé, les nombreux replats où se développent des tourbières de stagnation, la végétation plus dense et le substrat de granite fracturé favorisent les pertes par évapo-transpiration, évaporation et infiltrations.

Notons que l'évolution altitudinale de ces deux caractéristiques est souvent inverse au début de l'hiver (D_2 , R_2). En effet, alors que les précipitations sont pluvieuses en bas et ruissellent immédiatement, elles sont neigeuses plus haut et ne grossissent le torrent que le printemps suivant.

- les quantités d'eau (en hachures obliques sur les graphiques) libérées progressivement par le bassin-versant, leur durée de rétention, sont relativement constantes.

2.2.3. — REMARQUES SUR L'INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE DE LA CONNAISSANCE DES DÉBITS.

Le régime d'un cours d'eau est une donnée globale qui reflète les caractéristiques climatiques d'une région déterminée. Schmitz (1961) a souligné la grande importance écologique des variations de l'écoulement qui modifient les conditions de peuplement de la faune aquatique. Cependant, comme le note Hynes (1970 p. 5), le débit en lui-même est rarement pris en considération dans beaucoup d'études hydrobiologiques. Il est délaissé au profit d'une de ses composantes, la vitesse du courant, souvent mesurée lors d'un prélèvement, dans le but de caractériser le milieu au moment de l'échantillonnage. Il semble toutefois difficile de mettre en relation de telles mesures instantanées avec les caractéristiques de l'échantillon qui résultent en partie des conditions de milieu antérieures. Ceci est particulièrement vrai pour les cours d'eau sujets à de brusques variations hydriques.

Dans l'étude d'un milieu lotique, la connaissance du niveau (et du débit correspondant) peut être utilisée :

- soit pour caractériser globalement un cours d'eau (Minshall 1968, Ulfstrand 1968, Minshall et Kuehne 1969, Thibault 1971) ;

les conditions de milieu sont alors d'autant mieux précisées que les résultats sont basés sur des relevés fréquents, ou établis pour des intervalles de temps courts (moyennes journalières par exemple) pendant une longue durée d'observation ; — soit, comme l'ont fait de nombreux auteurs, pour évaluer une quantité d'eau et estimer un transport.

C'est afin d'exploiter cette double possibilité d'application que nous avons entrepris l'étude des débits sur le réseau hydrographique.

A la notion de variation de débit peut être substituée celle de variations simultanées et dans le même sens, de la vitesse du courant, de la hauteur d'eau et souvent de la largeur du cours.

L'étude du courant fait l'objet d'une littérature abondante basée sur de nombreuses observations et expérimentations (cf. Bournaud 1963 et Hynes 1970). Tous les auteurs s'accordent pour lui reconnaître un rôle primordial dans la dynamique des écosystèmes lotiques, — Macan (1963 p. 117) regrettant qu'il ne soit pas enregistré d'une façon continue. D'autre part, si les modifications de la section d'un cours d'eau ont des effets plus modestes, elles ne sont pas négligeables. Les fluctuations de niveau qui inondent et exondent de façon périodique les rochers du centre du lit et les rives, soumettent les communautés algales à des conditions très variables et influent sur le comportement de la faune.

Or toutes ces fluctuations se répercutent globalement au niveau des limnigraphes. Il est aisément concevable que l'observation régulière et suivie d'un cours d'eau permette d'estimer, à partir de la mesure enregistrée en un point (niveau ou débit correspondant), la valeur approchée de chacune des composantes en divers points du ruisseau (*fig. 17*). Il est ainsi possible de reconstituer l'évolution des composantes hydriques du milieu aux différentes stations choisies dans le cadre d'une étude écologique.

FIG. 17. — Évolution de la vitesse du courant à 5 cm du fond (V) et de la hauteur d'eau (H) — mesurées à trois points de prélèvement de la faune benthique — en fonction du débit enregistré 20 m en aval (station D).

Le débit est un volume d'eau en mouvement auquel peut être rattaché une quantité de matière transportée, organique ou minérale, inerte ou vivante, endogène ou exogène. Son appréciation constitue une base de travail pour expliquer et généraliser, dans le temps et l'espace, les données recueillies lors d'expériences de durée nécessairement limitée. Tout bilan chimique, toute analyse quantitative de la faune (Elliott 1967) et des algues transportées nécessite l'évaluation de l'écoulement. Or la dérive des invertébrés, dont l'importance dans les eaux rapides a été soulignée par Ulfstrand 1968, peut jouer un rôle non négligeable dans la dynamique des communautés benthiques du torrent d'Estaragne. De même l'estimation de la quantité d'algues entraînées présente ici un intérêt particulier. En effet, la couverture biologique ne subsiste pas sous la neige. Entre deux hivers, les algues produites disparaissent : elles sont ingérées sur place, se décomposent ou sont entraînées plus ou moins loin vers l'aval. Des filtrages réguliers, effectués à différents niveaux, peuvent apporter d'utiles données sur l'économie du système dans lequel les apports exogènes semblent peu abondants.

2.3. — Température.

2.3.1. — MATÉRIEL ET MESURES.

Entreprise en 1969, l'analyse du régime thermique de l'Estaragne a été menée de façon systématique de 1971 à 1973. Les résultats exposés ci-dessous concernent ces trois dernières années de mesures. Les affluents ont fait l'objet d'observations moins suivies ; les données recueillies permettent néanmoins de caractériser les conditions de température sur l'ensemble du réseau hydrographique.

Le tableau III résume le programme d'étude et indique pour chaque station le type d'appareil utilisé. Il s'agit de thermographes enregistreurs (E.) d'une autonomie de 8 à 15 jours dont les sondes étaient immergées, à l'abri du soleil ; de thermomètres maxima-minima (M. M.) relevés chaque semaine ou deux fois par mois en 1971, irrégulièrement en 1973 ; de thermomètres (T.) à mercure utilisés lors de mesures instantanées pour suivre l'évolution thermique quotidienne ou saisonnière des affluents non équipés, par comparaison avec les valeurs enregistrées ailleurs au même instant.

TABLEAU III. — Température : programme d'étude et type d'appareil utilisé.

E : thermographe enregistreur ; MM : thermomètres à maxima-minima ; T : thermomètre à mercure.

	STATIONS								
	A	B	R	C	D	a1-a2-a3	a4	a5	a6
1971	E		E-MM	E	E	MM	T	MM	MM
1972	E	E	E	E	E	T	E	E	
1973	E	E	E		E	T-MM			T

La période d'observation dépend chaque année des possibilités d'accès au vallon. Elle couvre généralement la quasi totalité de la phase déneigée aux différents niveaux. Quelques relevés hivernaux en 1969 et 1970 complètent ces mesures.

2.3.2. — RÉSULTATS.

2.3.2.1. — *Mode d'expression des résultats.*

L'évolution saisonnière des températures (fig. 18), est présentée sous forme de moyennes hebdomadaires — une semaine constituant l'intervalle de temps séparant deux échantillonnages successifs de la faune benthique en 1971, sur le torrent.

Nous avons reconstitué, par une droite en tirets (fig. 18 et 21), les températures moyennes durant la période qui précède les premiers enregistrements en considérant : a) que la température, initialement de 0 °C s'élève régulièrement sous la couverture de neige dès le début de montée des eaux ; b) que la vitesse d'accroissement thermique est analogue à tous les niveaux. La pente de la droite est déterminée à la station R, où les évaluations de débit permettent de préciser chaque année le début de la crue printanière. Nous avons d'autre part admis que le début du réchauffement des affluents coïncidait avec celui du torrent à la même altitude. Ces différentes estimations sont basées sur le fait que la température est déjà de 2 à 3 °C lors des premiers relevés, même quand ils précèdent la disparition de la couverture neigeuse : l'eau de fonte des neiges constitue, en effet, un apport calorifique non négligeable.

Les variations quotidiennes sont directement analysées à partir des courbes d'enregistrement.

2.3.2.2. — *Régime saisonnier.*

Il est analysé à partir des enregistrements effectués à la station de référence. Les caractères sont généralisables à l'ensemble du réseau. La représentation graphique (fig. 18) des températures moyennes hebdomadaires, maximales et minimales, ainsi que des moyennes, fait apparaître deux périodes distinctes :

- une période froide durant laquelle la température de l'eau est voisine de 0 °C. Elle débute de façon régulière et, quel que soit l'enneigement, vers la fin du mois de novembre. Elle se prolonge sous la neige hivernale et se termine lors de l'arrivée plus ou moins précoce des conditions printanières ;
- une « période plus chaude » matérialisée par une courbe en cloche, d'amplitude variable suivant les années. Presque tous les relevés concernent cette période que l'on peut scinder en trois parties, par analogie avec les débits :
 - * au printemps les températures sont influencées par l'eau nivale. Elles augmentent progressivement au fur et à mesure que diminue l'écoulement ;
 - * la débâcle terminée, le réchauffement se poursuit et les températures atteignent leurs valeurs maximales. Elles s'y maintiennent quelques semaines oscillant en fonction des conditions climatiques journalières ;

FIG. 18. — Torrent d'Estaragne. Évolution saisonnière des températures de l'eau : moyennes et amplitudes hebdomadaires (amplitudes = écart entre la moyenne des maxima et celle des minima) aux stations A, B, R, C, D en 1971, 1972 et 1973.

* l'approche de l'hiver se traduit par une chute générale des températures, qui deviennent alors, mais pour des raisons différentes voisines de celles du printemps.

2.3.2.3. — Rythme quotidien de la température de l'eau au cours des saisons.

En hiver, le torrent disparaît généralement sous une épaisse couverture de neige et sa température est stable. Il arrive cependant que des îlots déneigés subsistent à la faveur d'un faible enneigement. Dans ces conditions, qui semblent rares et éphémères en Estaragne, la température de l'eau peut s'élever de quelques degrés durant le jour (max. : 2,5 °C ; min. : 0 °C entre le 7-3 et le 17-4-1969).

Dès la fonte des neiges, la température de l'eau augmente. Les modalités du réchauffement, estompées par temps couvert, s'accroissent lors des journées ensoleillées. La phase de réchauffement,

FIG. 19. — Fluctuations quotidiennes de la température de l'eau aux stations A, B, R, C et D. Moyennes établies sur une semaine à trois périodes différentes : fin juin, mi-août, fin octobre. Les flèches indiquent l'heure des maxima et des minima journaliers.

toujours plus courte que celle de refroidissement devient de plus en plus tardive avec le lever du jour, et sa durée diminue de juillet à novembre (*fig. 19*).

Au printemps, les conditions météorologiques clémentes ont deux conséquences opposées : d'une part elles tendent à élever la température de l'eau, d'autre part, elles déterminent la fonte de la neige, et provoquent ainsi la libération d'un important volume d'eau froide ; l'augmentation de la température de l'eau suit dès le matin le réchauffement de l'air ; l'accroissement de débit consécutif à la fonte des neiges est plus tardif. Le décalage entre ces deux phénomènes permet ainsi le développement de nettes variations thermiques quotidiennes ; l'apport d'eau froide ne stoppe le réchauffement qu'en fin d'après-midi (*fig. 20*).

FIG 20. — Évolution quotidienne de la température de l'air (a) de la température de l'eau (e) et du débit (d). (1) A la fonte des neiges ; (2) en été.

Les amplitudes quotidiennes de température augmentent lors du réchauffement saisonnier et les écarts les plus importants correspondent aux maxima les plus élevés. C'est alors que l'accroissement des températures est le plus fort. Les périodes de refroidissement présentent une décroissance irrégulière ; elle est rapide dès la disparition brutale du soleil et s'atténue au cours de la nuit.

Par la suite, les variations journalières, de même type, s'affaiblissent avec la durée et l'efficacité décroissantes de l'ensoleillement.

2.3.2.4. — Comparaison des températures aux différentes stations.

Lors des relevés hivernaux réalisés à 2 180 m et 1 950 m d'altitude, la température sous la neige était voisine de 0 °C ; cette

valeur paraît généralisable à tous les cours d'eau du vallon, compte tenu de leur évolution thermique saisonnière. Une restriction semble toutefois s'imposer : des mesures effectuées en fin d'année, avant le recouvrement total du torrent, indiquèrent une température de 2 °C au niveau des sources du cirque supérieur, de 1,5 °C à la station A située une cinquantaine de mètres en aval, de 0,5 °C sur le reste du réseau hydrographique. Il est donc possible que, durant la saison froide, la proximité des sources jointe à la protection de la neige hivernale, déterminent à la station amont, une température sensiblement supérieure à celle estimée aux autres stations.

Le reste de l'année, le rôle de la température de l'air et de l'ensoleillement direct s'affirme avec la distance à la source et se renforce avec l'étiage saisonnier. Les échanges thermiques sont alors favorisés par le faible volume d'eau et leur durée est augmentée par la réduction de la vitesse moyenne entre la source et l'embouchure (Tableau IV).

TABLEAU IV. — Torrent d'Estaragne. Durée moyenne du trajet de l'eau entre les diverses stations pour trois valeurs du débit.

Débits	Stations					Temps total
	A	B	R	C	D	
124 l/s	18 mn	25 mn	40 mn	40 mn		123 mn
260 l/s	12 mn	18 mn	27 mn	29 mn		86 mn
475 l/s	9 mn	14 mn	21 mn	22 mn		66 mn

L'analyse des graphiques et des enregistrements relatifs au torrent principal (*fig.* 18 et 19) entraîne les remarques suivantes :

- les stations d'aval, déneigées les premières, se réchauffent plus tôt que les stations d'amont : un tel décalage est moins accentué lors du refroidissement hivernal qui s'étend à tout le cours d'eau en quelques jours seulement ;
- les températures s'élèvent de l'amont vers l'aval. Cette variation intéresse plus les maxima que les moyennes et les minima ;
- le réchauffement qui se manifeste nettement à partir de la station B se ralentit dans le cours inférieur. En fait, les écarts enregistrés entre les stations C et D traduisent mal l'évolution de la température en fonction de l'altitude. Celle-ci s'élève en réalité jusqu'à l'orée de la sapinière pour diminuer ensuite, surtout sous l'action d'un vent frais venu du lac qui accentue l'évaporation ;

- les amplitudes journalières ont une évolution analogue à celles des températures : inférieures à 1,5 °C au cirque supérieur, elles atteignent 4 °C à 2 180 m et dépassent 8 °C l'été à 1 850 m d'altitude. Durant la journée, l'eau recueillie à l'aval, le bénéfice d'un ensoleillement plus prolongé et les maxima peuvent atteindre des valeurs élevées. Les minima par contre augmentent peu car les températures nocturnes sont faibles sur l'ensemble du torrent. Le réchauffement se produit plus tôt dans la partie basse que dans les sites encaissés du vallon. Sa durée y est plus longue. Au printemps, il est légèrement altéré à la station D par l'apport asynchrone des eaux froides du dernier affluent.

Les affluents présentent des caractéristiques différentes selon leur importance et leur mode d'alimentation et d'écoulement :

- à 2 190 m, **a1** est à peine plus froid que l'Estaragne. Une bonne image de ses variations de température est donnée par l'enregistrement effectué en aval de sa confluence, à la station B (*fig. 18*) ;
- des trois affluents du cirque inférieur, seul **a4** a été suivi régulièrement ; les deux autres ont fait l'objet de mesures instantanées. La comparaison des données montre une évolution similaire des températures mais les valeurs atteintes sont toutefois différentes ;
- les affluents **a2** et **a3** sont les plus froids. Les différences maximales de température, relevées lors des périodes les plus chaudes, étaient respectivement de 3 °C et 4 °C par rapport à **a4** dont le régime thermique est schématisé dans la figure 21. Ce ruisseau, court et alimenté par des sources diffuses, se caractérise par des températures élevées, atteignant 15 °C durant la belle saison. Il devient plus froid que le cours principal lors des rigoureuses journées d'automne. En été, ces amplitudes journalières de température sont du même ordre que celles présentées par le torrent, pourtant nettement moins chaud à la même altitude ;
- dans le cours inférieur, **a5** constitue l'affluent le plus chaud du vallon. Formé par la réunion de ruisselets émissaires de sources froides vers 2 050 m, il se réchauffe rapidement au long de son cours (5 °C à 2 000 m, 8 °C à 1 980 m, 10 °C à 1 960 m, 11 °C à 1 950 m, le 20-6-1973). Comme celles du ruisseau précédent, les températures s'élèvent rapidement dès que l'influence de la fonte des neiges s'atténue. En été, elles atteignent 15 à 17 °C et leurs amplitudes sont fortes (*fig. 21*). Le réchauffement quotidien s'opère ici plus tôt qu'à la station

FIG. 21. — Affluents **a4** et **a5**. Évolution saisonnière des températures de l'eau : moyennes et amplitudes hebdomadaires (amplitude = écart entre la moyenne des maxima et celle des minima).

voisine sur le cours principal. Son évolution saisonnière est analogue à celle observée sur le torrent ;

- **a6** est issu d'une importante source froide dont la température excède rarement 4 °C (Décamps et Lafont 1974). Il coule d'abord en cascade, puis dans un épais tapis de mousses parfois ombragé. A altitude égale, sa température est inférieure de 2 °C en moyenne à celle du torrent ; elle ne dépasse pas 8 °C en été en amont du replat où l'eau stagne, quand elle ne s'infiltre pas totalement en période de sécheresse. Les variations quotidiennes atténuées par la proximité de la source, sont faibles, surtout pendant la fonte des neiges : la source débite alors en effet un maximum d'eau froide quand l'ensoleillement est le plus efficace.

2.3.2.5. — *Sommes thermiques : comparaison des résultats obtenus aux différentes stations lors des trois années de mesure.*

Le nombre de degrés-jours traduit à chaque station les caractéristiques thermiques du cours d'eau ; souvent utilisé pour expli-

quer les phénomènes biologiques (cf. Winberg 1971), il permet en outre des comparaisons approchées, mais pratiques et rapides, entre diverses localités ou périodes de mesure. Cette donnée glo-

TABLEAU V. — Sommes thermiques calculées aux 7 stations équipées de thermographes enregistreurs.

(*) Valeurs ramenées à l'unité la plus proche.

		STATIONS						
		A	B	R	C	D	a4	a5
* Nombre annuel de degrés-jours	> à 0	1971	452		601	874	942	
	> à 0	1972	449	510	598	868	936	1 060
	> à 0	1973	504	591	749		1 159	1 275
* Nombre de de- grés-jours calculé pour la période du 22-6 au 16-11	> à 0		397		524	738	788	
	> à 5	1971			32	109	161	
	> à 10					5	8	
	> à 0		401	459	524	739	781	886
	> à 5	1972		4	19	97	113	217
	> à 10					1	3	8
	> à 15							55
	> à 0		429	507	596		908	2
	> à 5	1973			53		285	
	> à 10				1		14	

bale peut être précisée par la répartition des degrés-jours dans des intervalles de température, ou au-dessus de valeur de base choisies arbitrairement. Les seuils de 0 °C, 5 °C, 10 °C et 15 °C ont été retenus par analogie avec les travaux antérieurs de Macan (1958), Crisp et Le Cren (1970), Hartland-Rowe (1964), Thibault (1971).

Le tableau V indique :

- d'une part, le nombre annuel de degrés-jours supérieurs à 0 °C obtenu à partir des graphiques représentatifs des températures moyennes hebdomadaires. Ces valeurs tenant compte de la période de réchauffement reconstituée à partir des premières mesures, ne peuvent être qu'approchées. Pour les raisons exposées précédemment, elles sont en outre certainement sous-estimées au cirque supérieur ;
- d'autre part, les sommes thermiques excédant les seuils choisis et calculées par intégration des courbes d'enregistrement relatives chaque année à la période du 22-6 au 16-11. Cette période correspond aux dates limites annuelles de fonctionnement simultané de tous les postes de mesure.

Le nombre annuel de degrés-jours supérieur à 0 °C est peu élevé à chaque station. Il faut évidemment tenir compte des éventuelles sous-estimations, et du fait que les affluents ont été étudiés

« durant une année froide » succédant à un hiver particulièrement enneigé. Il est néanmoins certain que sa valeur réelle est faible sur l'ensemble du réseau hydrographique. Sur le torrent d'Estaragne, il n'a dépassé 1 000 qu'en 1973, à la station d'aval. Toutefois, les différences altitudinales sont importantes : les sommes thermiques, calculées en phase déneigée, à 2 350 m et 2 140 m ne représentent en moyenne que 49,5 et 66,3 % de celles accusées au niveau du lac à 1 850 m. Le nombre de degrés-jours supérieur à 5 °C est nul à la station amont; faible à la station B, il augmente régulièrement en cours d'année aux stations inférieures, où le seuil de 10 °C n'est que rarement et faiblement dépassé.

Au cours des trois années de mesure les résultats diffèrent sensiblement. Le nombre total de degrés-jours est nettement plus élevé en 1973 que lors des deux années précédentes pour lesquelles les valeurs sont très voisines. Cependant les sommes thermiques supérieures à 5 °C et 10 °C montrent que l'évolution des températures ne fut pas analogue en 1971 et 1972. L'année 1972 fut d'un point de vue thermique plus stable que 1971.

Les écarts entre les sommes annuelles, peu prononcés à la station supérieure, s'accroissent vers l'aval. Ils traduisent la stabilité des conditions d'alimentation et les variations plus notables que peuvent présenter la durée et l'intensité du réchauffement sous l'influence des conditions météorologiques locales. Les différences entre les rapports des sommes thermiques annuelles relatives aux diverses stations ont la même signification.

2.3.3. — REMARQUES SUR LES FACTEURS RESPONSABLES DE LA TEMPÉRATURE.

Dans la description des différents régimes thermiques, nous avons évoqué les conditions de milieu qui déterminent la température d'un cours d'eau. En fait, cette température évolue sous l'influence directe ou indirecte de paramètres variés, difficilement dissociables : température de l'air, durée et efficacité de l'ensoleillement, processus d'évaporation, précipitations, fluctuations de débits, ... toute température en un point donné d'un cours d'eau est la résultante de l'ensemble des conditions régnant en amont. Or, pour une même valeur de la résultante, l'importance relative des diverses composantes peut varier : nous avons vu que des températures analogues sont obtenues en juillet et en octobre pour des durées d'insolation, des températures extérieures et des niveaux d'écoulement très différents. Lors de l'interprétation des phénomènes biologiques, la température ne doit donc pas être envisagée indépendamment des principales conditions qui l'établissent.

Les particularités du réseau hydrographique étudié résident dans la température froide des sources, dans le rôle de la couverture

nivale qui subsiste jusqu'en été et, dans l'importance que prennent, dès le déneigement, les conditions climatiques du fait de l'altitude et des caractéristiques de l'écoulement.

Décamps (1967), en comparant trois torrents d'origine diverse a montré que leur régime thermique d'été dépend en grande partie de leur température initiale. Celle-ci plus ou moins modifiée pendant la journée, redevient prédominante dès que l'effet de l'ensoleillement disparaît. Ce phénomène est d'autant plus sensible en Estaragne, que l'enregistrement est effectué près de la source (stations A et B du torrent) ou que des sources diffuses alimentent le ruisseau tout au long de son cours (cas des affluents a3 et a4). Les précipitations constituent des cas passagers et particuliers de ce type d'alimentation progressive. Alors que leurs conséquences hydriques sont prolongées, elles n'affectent que peu de temps la température des cours d'eau qui revient en quelques jours à son niveau initial (*fig. 22-1*). L'atténuation thermique semble résulter ici, des mauvaises conditions atmosphériques accompagnant chaque perturbation plutôt que des caractéristiques de l'eau de ruissellement.

Les conditions météorologiques n'ont de conséquences immédiates qu'à partir du déneigement. En hiver, la neige soustrait généralement le cours d'eau aux conditions extérieures (Gard 1963, Hartland-Rowe 1964, Sheridan 1961). Ce rôle d'écran s'atténue lors

FIG. 22. — Évolution comparée des températures de l'Estaragne à la station C et de l'affluent a5 : (1) avant, pendant et après une perturbation ; (2) lors de passages nuageux ; (3) à l'entrée de l'hiver.

de la fonte des neiges mais l'eau libérée limite les températures (Sheridan 1961, Ulfstrand 1968) et les écarts quotidiens. De ce fait, les températures, les amplitudes et les vitesses d'accroissement thermiques les plus fortes ne sont atteintes qu'à la fin de la crue ; elles restent élevées jusqu'à la décroissance automnale des tempé-

ratures. Notons qu'en plaine, une diminution des amplitudes a été constatée au cours de l'année (Edington 1966, Macan 1958, Thibault 1971, Crisp et Le Cren 1970) ; Edington (*ibid.*) a mis ce phénomène en rapport avec l'échauffement progressif du sol au cours de l'été. Il semble qu'en haute montagne, le sol n'ait pas un « effet régulateur » semblable ; il est en effet quotidiennement sujet à de fortes fluctuations thermiques dues à l'efficacité de l'ensoleillement et à l'importance du rayonnement nocturne.

La ténuité de l'atmosphère accentue en outre les contrastes thermiques entre zones illuminées et ombragées. Aussi toute atténuation ou inhibition de l'ensoleillement direct prend-elle ici une importance accrue. L'effet d'écran ou de masque réalisé par les nuages, la neige, le couvert végétal (entre les stations C et D), ou les parois rocheuses (station R par exemple) se traduit par un arrêt immédiat ou un retard du réchauffement.

En montagne, l'écoulement, en général turbulent, favorise les échanges thermiques. Les influences extérieures ont des répercussions d'autant plus prononcées qu'elles s'exercent — directement ou indirectement, par l'intermédiaire du sol — sur un faible volume d'eau. Ainsi, les petits affluents atteignent rapidement des températures élevées, et demeurent les cours d'eau les plus chauds en été ; ils deviennent en fin d'année plus froids que le cours principal (*fig.* 22-3). La figure 22-2 montre que de tels ruisseaux (ici a5) accusent, en outre, plus nettement que le torrent les variations quotidiennes des conditions météorologiques.

RÉSUMÉ. CONCLUSION

Issu de sources rhéocrènes froides vers 2 350 m d'altitude, le torrent d'Estaragne se jette à 1 850 m dans le lac d'Orédon, après un parcours de 2,750 km environ. Il draine un vallon orienté au nord, dont les versants, abrupts dans sa partie supérieure, limitent la durée de l'ensoleillement. Il traverse successivement des schistes métamorphiques, des calcschistes puis des granites amphiboliques dans la majeure partie de son cours. Son bassin-versant est très peu boisé, tapissé par une prairie ou dénudé. Sa superficie est de 6,5 km² environ si l'on tient compte des 2 km² d'un bassin secondaire dont les eaux alimentent les deux derniers affluents du torrent, après un trajet souterrain.

L'évolution saisonnière des caractéristiques physiques du torrent est dominée par l'alternance de deux phases : une phase enneigée stable et une phase déneigée plus variable, que séparent la débâcle printanière et le recouvrement progressif de fin d'année. Leur durée diffère selon l'altitude.

— Sous la couverture de neige protectrice qui peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, le débit est faible et régulier. La température est proche de 0 °C. La luminosité réduite empêche le développement des algues.

— La période printanière est caractérisée par l'importance de la crue. Le débit, qui présente alors des variations importantes, reste cependant toujours élevé (supérieur à 400 l/s à 2 150 m d'altitude) avec des vitesses de courant dépassant 2 m par seconde. Le transport solide intense détermine une véritable redistribution des habitats dans le torrent. Cette « eau de neige » limite le réchauffement que favorise alors l'efficacité de l'ensoleillement. Amplitudes et températures s'accroissent au fur et à mesure que diminue l'écoulement. La couverture algale réapparaît, suivant de quelques jours le recul progressif de la neige.

— La période déneigée est celle des variations :

* le débit (de l'ordre de 50 à 100 l/s) peut, lors de fortes précipitations orageuses, dépasser en quelques heures les maxima enregistrés au printemps. Après une décroissance rapide, il se maintient plusieurs jours au-dessus de sa valeur initiale, soutenu par l'eau de ruissellement que retiennent les éléments de schistes désagrégés. De telles crues subites engendrent souvent de profonds remaniement du substrat couvert d'algues :

* les fluctuations de température sont quotidiennes, régulières, seulement altérées par le passage des perturbations. Elles se développent avec l'accroissement des maxima et s'affirment de la source à l'embouchure. Inférieures à 1,6 °C à 2 380 m, les amplitudes peuvent atteindre 7 °C à 1 850 m d'altitude ;

* ces fluctuations s'atténuent à l'approche de l'hiver. Les chutes de neige n'affectent plus le débit, les écarts quotidiens de température diminuent parallèlement à l'efficacité et à la durée de l'ensoleillement. La glace bientôt recouverte de neige réduit les différences nyctémérales d'éclairement.

Les observations menées à différentes altitudes sur l'ensemble du réseau hydrographique mettent en évidence le rôle primordial des cirques supérieurs dans le déterminisme des propriétés hydriques et thermiques du torrent :

— les modules hebdomadaires, calculés en phase déneigée, diminuent très fortement de l'amont vers l'aval ;

— lors de la fonte des neiges, les stations d'aval sont soumises durant plus de trois mois à des débits et des vitesses de courant élevés, dus en partie au retard important qu'accuse le déneigement en altitude ;

— les eaux d'alimentation maintiennent des températures basses sur l'ensemble du torrent malgré le réchauffement journalier.

Les températures annuelles maximales sont en moyenne de 4,5 °C à 2 350 m. Elles peuvent dépasser 8 °C à 2 180 m et 12 °C à 1 850 m mais les moyennes restent faibles, influencées par les faibles valeurs nocturnes. Elles sont alors de l'ordre de 4,6 à 9 °C aux niveaux précédents. Le nombre de degrés-jours bien que deux fois plus fort à l'embouchure que près des sources reste peu élevé, généralement voisin de 1 000.

Ce schéma évolutif d'ensemble des caractéristiques physiques est analogue sur tout le réseau. Les propriétés et le rôle des affluents dans le système diffèrent selon leur importance et leur situation.

— Le premier affluent, qui draine le cirque sud-ouest au-dessus de 2 200 m, est pour une part responsable des observations exposées plus haut. Il présente à cette altitude un débit élevé et un régime thermique comparable à celui du torrent.

— A 200 m environ de l'embouchure, le dernier affluent rejoint l'Estaragne. Lors des hautes eaux, il en modifie sensiblement les débits quotidiens. Au cours de l'été, sa source froide se tarit peu à peu et il s'infiltre presque totalement avant sa confluence. Sa température est plus stable et légèrement inférieure à celle du torrent.

— Les affluents intermédiaires sont trop modestes pour influencer de façon notable les caractéristiques du cours axial. Leur intérêt réside surtout dans leurs propres particularités : ils sont susceptibles d'un réchauffement précoce et conservent tout l'été des températures élevées (10 - 15 °C). Les crues y sont proportionnellement faibles comparées à celles du ruisseau principal. Leur alimentation leur confère quelques différences dans le détail des variations quotidiennes.

TRAVAUX CITÉS

- BARRÈRE (P.). 1952. — Le relief des massifs granitiques du Néouvielle, de Cauterets et de Panticosa. *Revue Géogr. Pyrénées S.-O.*, 23 : 69-98 + 2 pl.
- BERTHÉLEMY (C.). 1966. — Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (Hydraena et Elminthidae) des Pyrénées. *Annls Limnol.*, 2 (2) : 227-458.
- BESCH (W. K.), BACKHAUS (D.), CAPBLANCQ (J.) et LAVANDIER (P.). 1972. — Données écologiques sur les algues benthiques de haute montagne dans les Pyrénées. I. — Diatomées. *Annls Limnol.*, 7 (3) : 103-118.

- BONNET (L.). 1953. — Sur les Thécamoebiens de la région d'Orédon (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 88 (1-2) : 34-38.
- BOURNAUD (M.). 1963. — Le courant, facteur écologique et éthologique de la vie larvaire. *Hydrobiologia*, 21 : 125-165.
- BREUILLAUD (J.) et GRIZOU (V.). 1961. — Étude microbiologique d'un sol tourbeux de montagne. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 96 (3-4) : 275-280.
- CAPBLANCQ (J.). 1972. — Phytoplancton et productivité primaire de quelques lacs d'altitude dans les Pyrénées. *Annls Limnol.*, 8 (3) : 231-321.
- CASSAGNAU (P.). 1961. — Écologie du sol dans les Pyrénées centrales. Les biocénoses des Collemboles. *Act. Sc. Ind.*, n° 1 283, Hermann, Paris, 235 p.
- CHOUARD (P.). 1933. — Premières observations sur les microclimats de montagne autour du laboratoire d'Orédon et sur leur importance écologique. *66^e cong. Soc. Sav. Toulouse* : 256-259.
- CHOUARD (P.). 1937 a. — Recherches sur les variations caractéristiques de l'humidité atmosphérique dans les divers types de forêts du massif du Néouvielle. *Bull. Soc. Nat. Accl. Fr.*, 134 : 34-40.
- CHOUARD (P.). 1937 b. — Rayonnement solaire et humidité atmosphérique dans les climats de forêts de montagne aux Pyrénées. *70^e Cong. Soc. Sav.* : 179-183.
- CHOUARD (P.). 1949 a. — Caractères généraux des Pyrénées centrales entre Gaves et Nestes. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 96 (10) : 7-15.
- CHOUARD (P.). 1949 b. — Introduction à la biologie montagnarde. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 96 (10) : 21-28.
- CHOUARD (P.). 1949 c. — Démonstrations tirées des excursions (Gavarnie, Pic du Midi de Bigorre, Néouvielle). 76^e session extraordinaire, 1948. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 96 : 29-52 + 4 pl.
- CRISP (D. T.) et LE CREN (E. D.). 1970. — The temperature of three different small streams in North West England. *Hydrobiologia*, 35 (2) : 305-325.
- DÉCAMPS (H.). 1967. — Écologie des Trichoptères de la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées). *Annls Limnol.*, 3 (3) : 399-577.
- DÉCAMPS (H.) et ELLIOTT (J. M.). 1972. — Influence de la mesure chimique du débit sur les invertébrés d'un ruisseau de montagne. *Annls Limnol.*, 8 (2) : 217-222.
- DÉCAMPS (H.) et LAVANDIER (P.). 1972. — La faune d'un torrent de montagne dans les Pyrénées. *Proc. IBP-UNESCO Symposium on Productivity problems of Freshwaters*, Kazimierz-Dolny, Poland, May 6-12, 1970 : 875-881.
- DÉCAMPS (H.) et LAFONT (M.). 1974. — Cycles vitaux et production des Micrasema Pyrénéennes dans les mousses d'eau courante (Trichoptera, Brachycentridae). *Annls Limnol.*, 10 (1) : 1-32.
- DUGUY (R.). 1971. — Notes sur les reptiles observés dans la région du lac d'Orédon (massif du Néouvielle, Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 107 (12) : 93-95.
- DURAND (M.-C.). 1961. — L'influence des glaciers sur les cours d'eau pyrénéens (Bassins du Gave de Pau et de la Neste d'Aure). *Rev. Geog. Pyrénées S.-O.*, 32 : 289-318.
- EDINGTON (J. M.). — 1966. — Some observations on stream temperature. *Oikos*, 15 (2) : 265-273.
- ELLIOTT (J. M.). 1967. — Invertebrate drift in a Dartmoor stream. *Arch. Hydrobiol.*, 63 (2) : 202-237.

- GARD (R.). 1963. — Insolation of a Sierra stream by snow cover. *Ecology*, 44 (1) : 194-197.
- GAUSSEN (H.). 1926. — Végétation de la moitié orientale des Pyrénées (sol, climat, végétation). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 15 : 5-563.
- GAUSSEN (H.). 1949. — Les conditions climatiques aux Pyrénées centrales et les étages de végétation. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, (96 10) : 16-21.
- GIEYSZTOR (I.). 1961. — Étude hydrologique des torrents des Tatras. Précipitations et écoulements sur le terrain des bassins des torrents La Bialka et le Koscieliski. *Pr. geogr. Pan* n° 6 (Polish, French summary) : 1-80.
- HARTLAND-ROWE (R.). 1964. — Factors influencing the life histories of some stream insects in Alberta. *Verh. int. Verein. theor. angew. limnol.*, 15 (2) : 917-925.
- HYNES (H. B. N.). 1970. — *The ecology of Running waters*. Liverpool university press.
- INGRAND (R.). 1961. — L'aménagement hydroélectrique de la vallée d'Aure et ses conséquences géographiques. *Rev. Géog. Pyrénées S.-O.*, 32 : 35-62 + 2 pl.
- KAMLER (E.). 1965. — Thermal conditions in mountain waters and their influence on the distribution of Plecoptera and Ephemeroptera larvae. *Ekol. Pol.*, A, 13 : 377-414.
- KÜHLMANN (D. H. H.) et KÜHLMANN (I.). 1963. — Eisbildungsprozesse an einem gebirgsbach bei geringen kältegraden. *Acta hydrophys.*, 8 : 97-111.
- LAVANDIER (P.) et MUR (C.). — Écologie d'un torrent pyrénéen de haute montagne. II. Caractéristiques chimiques (en préparation).
- LAVILLE (H.). 1962. — Les Coléoptères du vallon d'Estaragne (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 97 : 184-200.
- MACAN (T. T.). 1958. — The temperature of a small stony stream. *Hydrobiol.*, 12 : 89-106.
- MACAN (T. T.). 1963. — *Freshwater Ecology*. x + 338 p., London.
- MARTY (R.). 1968. — Recherches écologiques et biochimiques sur les Orthoptères des Pyrénées. *Thèse Doctorat*, n° 326, Toulouse.
- MATTEI (G.). 1966. — Les Hydracariens du massif de Néouvielle. *D.E.S. Fac. Sc. Univ. Toulouse* : 36 p.
- MAURIÈS (J.-P.). 1958. — Les Diplopodes du massif de Néouvielle. *Actas del Tercer Congreso internacional de estudios pirenaicos. Gerona* : 105-108.
- MINSHALL (G. W.). 1968. — Community dynamics of the benthic fauna in a Woodland springbook. *Hydrobiologia*, 32 (3-4) : 305-339.
- MINSHALL (G. W.) et KUEHNE (R. A.). 1969. — An ecological study of invertebrates of the Duddon, an english mountain stream. *Arch. Hydrobiol.*, 66 (2) : 169-191.
- NEEDHAM (P. R.) et JONES (A. C.). 1959. — Flow temperature, solar radiation, and ice in relation to activities of fishes in Sugehen Greek, California. *Ecology*, 40 : 465-474.
- PARDÉ (M.). 1953. — Le régime des cours d'eau pyrénéens. *Pirineos*, 27 : 5-16.
- SCHMITZ (W.). 1961. — Fliessgewässerforschung. Hydrographie und botanik. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, XIV : 541-586.
- SHERIDAN (W. L.). 1961. — Temperature relationships in a pink salmon stream in Alaska. *Ecology*, 42 : 91-98 et 29-31.

- THIBAUT (M.). 1971. — Écologie d'un ruisseau à truites des Pyrénées-Atlantiques, le Lissuraga. I. Étude critique du milieu. *Ann. Hydrobiol.*, 2 (2) : 209-239.
- THIBAUT (M.). 1971. — Écologie d'un ruisseau à truites des Pyrénées-Atlantiques, le Lissuraga. II. Les fluctuations thermiques de l'eau. Répercussion sur les périodes de sortie et la taille de quelques Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères. *Ann. Hydrobiol.*, 2 (2) : 241-274.
- THOMAS (A.). 1970. — Taxonomie et répartition des Éphéméroptères et de quelques Diptères aquatiques (Tipulidae et Psychodidae) des Pyrénées. *Thèse 3^e cycle. Fac. Sc. Toulouse.*
- ULFSTRAND (S.). 1968. — Benthic animal communities on Lapland streams. A field study with particular reference to Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera and Diptera Simuliidae. *Oikos*, suppl. 10.
- VANDEL (A.). 1924. — Description d'une nouvelle espèce d'Isopode terrestre : *Trichoniscus* (*Critoniscus*) *despaxi*, n. sp. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 49 : 1-10.
- VERGER-LAGADEC (F.) et VILLERET (S.). 1963. — Les algues d'eau douce du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 98 (3-4) : 501-519.
- WINBERG (G. G.). 1971. — *Methods for the estimation of production of aquatic animals*. Academic Press. London.