

Écologie milieux aquatiques de montagne

MACRO-INVERTÉBRÉS DE TORRENTS ET RUISSEAUX DE MONTAGNE. LES INDICES BIOLOGIQUES DE QUALITÉ COMPLÉTÉS PAR INTRODUCTION D'UN NOUVEAU CRITÈRE SIMPLE

par

Jacques BOUCHARD

et Christiane BOUCHARD-MADRELLE¹

On utilise depuis des décennies le calcul d'un indice IBGN (Indice Biologique Global Normalisé), établi par VERNEAUX dès 1980, pour déterminer « l'hospitalité » des cours d'eau afin de surveiller l'état et l'évolution d'un patrimoine faunistique préexistant. C'est l'affaire de biologistes bien entraînés, capables de déterminer des macro-arthropodes aquatiques au niveau de la famille, ce qui n'est pas toujours facile, et capables de fournir les données nécessaires à la gestion des sites pour les fédérations de pêche départementales ou nationales, voire de l'INRA.

Or, l'indice IBGN, très utilisé, est souvent considéré comme devant être complété par d'autres, plus récents. Mais ces derniers sont en général complexes et impliquent des investissements financiers et humains considérables, car il s'agit de mettre en commun les résultats qu'obtiennent plusieurs spécialistes connaissant chacun un aspect de la grande diversité de la faune aquatique, en particulier s'il est question de la détermination au genre et surtout à l'espèce, et cela de façon quantitative !

Il faut souligner le fait que, en montagne, les torrents et ruisseaux à cours rapide et susceptibles, par exemple, d'être alevinés en truite fario dépendent bien entendu de l'abondance et de la diversité des proies. Or, la diversité et surtout l'abondance sont généralement délicates à mesurer compte tenu des difficultés de récolte permettant d'évaluer la ressource alimentaire. C'est un point que VERNEAUX a souligné dès 1973 ! Mais l'alevinage n'est pas le but essentiel pour les scientifiques.

Les estimations que nous avons établies avec la méthode VERNEAUX, en partant des observations basées sur des calculs IBGN, peuvent être nuancées selon des

1. UPS Orsay, rue Saint Nicolas, 91940 Gometz-le-Châtel (bouchard-madrelle@dbmail.com).

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

critères personnels relativement simples. Or, nous travaillons à contre-courant : certains spécialistes contestent la notation IBGN, trop imprécise, et préconisent l'emploi des techniques récentes, Cb2, MAG20 et I2M2, de plus en plus complexes et d'application lourde. Nous cherchons à faire apparaître un signal simple et logique en complément des relevés IBGN qualitatifs, cela en nous basant sur ce que l'on sait de la rhéophilie et du degré de saprophilie des taxons d'invertébrés repérés dans les différents sites, taxons qui peuvent être plus ou moins polluo-résistants.

Dans un deuxième temps, rien n'interdirait à de petites équipes d'entreprendre une estimation des effets de certains facteurs perturbateurs (autoroutes, incinérateurs, usines diverses...), facteurs de plus en plus importants en montagne, et cela jusqu'en haute altitude (mais c'est une autre histoire !). Des équipes existent, initiées par celles de VERNEAUX.

Mots-clés : torrents ; montagnes ; indices hospitalité ; IBGN ; Cb2 ; rhéophilie ; saprophilie ; vivacité écologique.

Macro-invertebrates of mountain rivers and streams. Introduction of a new criterion to improve biological water quality indices

Technical problems frequently appear when specialists try to study the macrobenthos fauna, crustacean development or fish growth in rivers and torrents. The quality of running-water can be extremely variable and is not always sufficiently high to permit a real faunal balance.

In order to characterize "river hospitality" in terms of suitability for fish health and vitality, it is necessary to estimate water invertebrate populations. For this, the IBGN test ("Indice Biologique Global Normalisé"), established by VERNEAUX (1980), is currently employed. It involves the identification of macro-arthropod to the level of families. This can be done using certain well-known documents (e.g. TACHET *et al.*, 1980; MELLANBY, 1956), but it requires a certain amount of zoological experience.

The IBGN test (norm AFNOR T-90350, 1992), which has been widely employed in France and elsewhere, furnishes clear-cut results that are useful for the general understanding of biological life in rivers and streams. GENIN *et al.* have provided a clear account of the technical methods usually employed, giving also very detailed examples, which are important references (1997). However, this test has been sometimes criticized; and variants have appeared in countries all over the world (10-12 have been employed). Moreover, more recent tests have been devised. VERNEAUX described a complex new method, Cb2, which gives the best accuracy (1982). However, this test is difficult to apply currently. MAG 20 and I2M2 are other examples of modern tests that are onerous in terms of the expertise and work required.

As early as 1973, when studying arthropod torrential fauna, VERNEAUX outlined some technical problems that remained to be solved. For example, it is difficult to harvest really complete samples of small elements of the fauna in mountain running streams. The substrate is frequently very complex, when pebbles, stones and rocks partly hide sandy or muddy bottoms. VERNEAUX noted that it would be necessary to study this point in mountains whose geological nature is clearly original, partly constituted of calcareous or crystalline rocks. We have tried to do this at some crystalline sites in the Alps, essentially at altitude.

Here we briefly describe the methods we employed (IBGN approach), detailed enough to obtain a clear composition of small faunal elements harvested in mountain torrents. We introduce a new concept to improve the accuracy of the test. The idea that

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

crossed our minds was extremely simple. Rheophily and saprophily are two behavioural opposite aspects of life in streams and it is tempting to evaluate them for every taxon observed. But difficulties exist and it is necessary to weigh up such conclusions with caution. We therefore established simple scales of values, which gave us the possibility to arrive at a classification corresponding to every taxon and to give an overall evaluation of the local quality of the biotope, site after site, of a torrent. Based on this, we talk in terms of the vigour or vivacity, "Viv", of a water site. The value of "Viv", which depends on the diversity of rheophilic and saprophilic taxa, can be used to refine the IBGN evaluation. This method is relatively easy to apply.

Having briefly explained the principle of this work, we now give some technical details about the study proper and some conclusions.

We explored segments of five clearly different streams. They were chosen in order to "test" biotopes as different as possible, in the hope of providing some answers to VERNEAUX's remarks and to give clear bases to our new method. We studied 24 stations and obtained a list of 55 taxa.

Ponturin; Savoie; originating in the crystalline massif of Mont Pourri, and running on gneiss and schists. Studied between 1700 and 2200 m.

Arc; Savoie; arising from Levanna and Iseran massif, and running on crystalline substratum; studied between 1900 and 2300 m.

Rancure; torrent of the Provence; arising from the Riez-Valensole plateau (900 m) and running on a calcareous and crystalline substratum; studied only near 500 m but on a yearly basis.

Allier; Massif Central; a rapid river studied between 1200 and 1300 m, two kilometers downstream of the spring and running on a crystalline (granite) bottom.

Valserine; Jura; a rapid river flowing on a calcareous bottom; already studied 13 years ago; new tests at about 600 m.

The aquatic fauna of each river was studied, taking into account several simple physicochemical and biological factors (topography, geological substratum, temperature, speed of flow, pH, oxygen concentration, cattle pollution, aquatic and surrounding vegetation).

Initially, for a given station, we determine the IBGN value, taking our sampling method into account. Then, we assess the degree of rheophily *Rh* or saprophily *Sa* for each taxon of a station, based on our appreciation of their ecology. These opposing ecological values are weighted according to simple scales summarized in a table.

The second step was to add up all *Rh* and *Sa* values of a given station, to obtain a Vigour or Vivacity index (*Viv*). The *Viv* index is a good reference point for making comparisons of quality between different stations of a river or torrent, providing a complement to the IBGN. As a test correction, it provides the simplest interpretation, though by no means the only one. It should be also useful for evaluating the Cb2 index, over which it has the advantages of being clearer and simpler to establish, as shown by examples described in an appendix to the present work.

We present the new method in the hope that it will be found useful. No doubt it would be possible to refine it, such as by improving the scales *Rh* and *Sa*.

Keywords: torrents; mountains; hospitality indices; IBGN; Cb2; rheophily; saprophily; ecological vivacity.

Introduction

Selon nous, il n'est pas inutile, pour les eaux vives de montagne, dans l'ensemble négligées, d'appliquer un nouveau moyen simple permettant d'estimer et d'évaluer la qualité du milieu en serrant d'aussi près que possible les réalités éco-éthologiques.

Nous croyons qu'il n'est pas faux de s'en tenir à une analyse qualitative de la biodiversité – ce qui est déjà relativement complexe –, analyse effectivement porteuse d'informations essentielles. À condition d'introduire des nuances écologiques qu'il nous paraît nécessaire de souligner ici.

Pour les eaux courantes non torrentielles, l'indice de qualité IBGN est reconnu, appliqué, mais aussi discuté en France et à l'étranger. Conçu par VERNEAUX *et al.* (1982), il a fait l'objet d'une norme AFNOR T-90 350 en 1992. Il traduit l'aptitude d'un cours d'eau au développement de la macrofaune d'Invertébrés (voire des Poissons) et conduit à des bilans standardisés.

Il est essentiel de souligner que, dans le système IBGN habituel, cette qualité est établie à partir de plus de 130 taxons qui constituent la variété taxonomique (généralement des familles), certains d'entre eux constituant par ailleurs une « grille » de 38 taxons indicateurs, autrement dit sélectionnés pour leur importance pratique, car étant plus ou moins polluo-résistants selon les utilisateurs ayant échantillonné à la suite de VERNEAUX.

GENIN *et al.* (1997) ont admirablement analysé les méthodes permettant d'appliquer le système. Et ils ont donné toute une série de relevés correspondant à l'étude d'un cours d'eau bourguignon, l'Ouche, rivière de plus de 90 km. Leurs résultats, qualitatifs et quantitatifs permettent d'approfondir les avantages de la technique, d'autant qu'ils sont présentés dans leur intégralité.

Mais la notion d'IBGN a entraîné nombre de réflexions dans divers pays. Si l'Agence de l'Eau a repris et renforcé la méthode (GAY, 2000), de nombreuses variantes sont apparues, répondant ainsi à des conditions sans doute spécifiques. VERNEAUX lui-même a introduit un nouveau protocole de calcul, baptisé Cb2, conduisant à une méthode d'analyse (complexe) de la qualité de l'habitat. Pour ce faire, il établit une « nouvelle grille » de 92 taxons indicateurs. Mais il serait revenu au système avec 38 taxons, jugeant le nouveau « trop complexe ». Quoiqu'il en soit, plus de dix variantes de l'IBGN sont utilisées dans le monde. BEAUGER (2008) les a répertoriées (BBI en Belgique ; IBG adapté par Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse ; IBE en Italie ; Danish Stream Fauna Index ; BMWP en Angleterre ; IBMWP en Espagne ; SASS en Afrique du Sud ; SIGNAL en Australie ; NEBPIOS au Népal), sans compter les « nouvelles méthodes rapides » de Bioévaluation (RBA) et leurs dérivés US, australiens ou européens.

En 2003, en appliquant la méthode IBGN (sans prétendre à respecter toutes les précautions de récolte classiques requises pour une « normalisation »), nous avons publié à la Société zoologique de France un travail (effectué en 1999) dans le

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Haut-Jura sur une rivière au cours rapide, la Valserine. Nous recherchions une influence éventuelle de pollutions provoquées par l'élevage bovin, mais aussi par les divers produits utilisés sur des terrains de golf adjacents. Ce vaste programme nous avait permis de mesurer nos limites d'analyse, cela malgré l'abondance des données récoltées et l'aimable participation des éleveurs et des techniciens aux activités diverses.

Comme nous nous demandions, par ailleurs, pourquoi divers auteurs renonçaient à analyser la faune du crénon et de l'épirhitron, c'est-à-dire des secteurs situés très en amont pour des ruisseaux et torrents de montagne (ILIES & BOTOSANEANU, 1963), nous avons tenté d'en savoir plus dans divers sites des Alpes que nous fréquentions déjà depuis des décennies et qui nous paraissaient être assez négligés. Seule référence remarquée pour la haute montagne, dans le massif du Mont Blanc : VIGIER (2009).

Nous étions loin de pratiquer des « ratissages » tels que les bons auteurs en effectuaient vers l'aval, et souvent à grands frais. Petit à petit, nos récoltes, qui pouvaient friser l'artisanat, nous ont conduits à réfléchir à une méthode complémentaire destinée à y voir plus clair, en nuancant les résultats type IBGN (aussi bien en altitude que loin des sources).

Nous analysons ici deux notions-clé : la rhéophilie des taxons qui recherchent de forts courants et, par opposition, ce que nous appelons la saprophilie éventuelle. Il nous est apparu souhaitable de déterminer, à partir des taxons saprophiles, des valeurs complémentaires permettant d'apprécier avec plus de sûreté les notes IBGN, de façon à révéler un éventuel signal d'alerte.

Principes de notre réflexion

Notre réflexion conduit à des remarques que nous pensons être de bon sens. Peut-on travailler efficacement grâce à une approche plus simple que celles que préconisent les tenants de nouvelles normes européennes, sans tomber dans le simplisme (et en même temps à moindre coût) ?

Dans une liste d'animaux, il est relativement aisé de distinguer des espèces ou plus généralement des taxons rhéophiles. Mais il y a des degrés, des adaptations spécifiques plus ou moins marquées. En conséquence, au niveau de taxons nécessairement plus vastes, la rhéophilie n'est pas toujours facile à estimer. Nous nous limiterons à distinguer trois degrés de rhéophilie, selon une échelle simple mais suffisante : +1, +0,5 et +0,25. Il est peut-être plus délicat d'évaluer la saprophilie. Nous basons cette notion essentiellement sur la localisation par rapport au fond et par rapport à la rive plutôt que sur le seul mode d'alimentation, toujours assez mal connu – les animaux opportunistes sont notre casse-tête –, le mode d'alimentation dépendant bien entendu de la localisation. Pour ces repères, on peut tenter une approche par familles, mais sans se leurrer quant à la diversité biologique réelle des espèces récoltées : cette idée est une cote mal taillée (déjà implicite dans la méthode IBGN ou, selon nous,

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

pour Cb2 !). Dans un taxon donné, des espèces fouisseuses dans un fond meuble plus ou moins vaseux seront dites saprophiles, comme celles qui fouissent dans le sédiment des berges ou qui, dans une plus faible mesure, vivent cachées dans une végétation muscinale ou d'algues filamenteuses (dans ce dernier cas, les animaux se trouvent donc dans une situation où ils sont plus ou moins à l'abri de la violence des courants, sans être proprement rhéophiles) ; ils peuvent alors y récolter des particules alimentaires, des débris ou des proies sédimentées ou piégées. Les saprophiles ne sont pas toujours pour autant des saprophages (voire des coprophages), ils peuvent même être prédateurs. Ces points peuvent apparaître évidents sur un plan didactique, mais ils le sont moins dans la pratique, cela même si on se limite aux familles. Or, on sait que, dans une même famille, les « préférendums spécifiques » peuvent être différents. Certains auteurs, se basant sur ce point, contestent la valeur diagnostique de l'IBGN. La saprophagie, rappelons-le, dépend de la capacité à se nourrir de débris en décomposition, animaux ou végétaux. Or, il est généralement difficile de l'évaluer et même de l'estimer, d'autant que l'étude du contenu des tubes digestifs n'apporte rien chez des animaux broyeurs – sauf exceptions. C'est pourquoi nous parlerons seulement de saprophilie en nous basant, comme nous l'avons dit, sur la localisation et sur certains traits du comportement des animaux, examinés *in situ* ou en laboratoire et sur les indications, pas toujours concordantes, de divers auteurs *a priori* bien informés. Et si la rhéophilie est assez facile à souligner, la saprophilie est plus délicate à mettre en évidence. Mais cela n'est pas rhédibitoire : nous tenterons de l'évaluer en estimant les degrés, selon une échelle, négative cette fois, comprise entre -0,25 et -1 avec les approximations nécessaires.

Cela nous a conduits à établir dans un tableau récapitulatif (cf. annexe 1, p. 248-249) une liste des taxons que nous avons observés, liste qui pourrait être différente pour d'autres chercheurs et d'autres conditions écologiques. Cette liste étant à chaque fois – pour chaque station – un document de référence essentiel et la matérialisation d'un principe, elle sera l'essentiel de notre discussion.

Méthodes d'analyse d'un site et des stations

Les relevés :

- situation géographique ; coordonnées Lambert ;
- altitudes ;
- axe d'écoulement ;
- situation géologique ;
- nature du cours d'eau : torrent ou ruisseau ; xénon ou épirhitron ;
- nature du fond et de la rive. Caractères granulométriques essentiels ;
- vitesse d'écoulement vers le milieu du cours d'eau. Nous soulignons parfois le débit, difficile à évaluer sur fonds complexes ;
- température de l'eau ; pH ; oxygénation ;
- végétation éventuelle du fond ;
- importance d'une éventuelle ripisylve. Polluants éventuels : NO₃ ; NO₂ ; PO₄ ;

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

- présence éventuelle de bovins ou d'ovins sur les terrains avoisinants ;
- habitations.

Nous employons un pH-mètre Mettler-Toledo MP 120, avec sonde IP 67 et un Oxymètre-Thermomètre Mettler-Toledo MO 128-2M, avec sonde à oxygène IP 67. Des bandelettes – test *Quantofix* (Machery-Nagel, Düren) – sont utilisées pour estimer les concentrations en nitrates, nitrites ou phosphates (Contrôle DIN-EN ISO 9001).

Les animaux sont récoltés au *troubleau* en pleine eau ou en effleurant la surface du sédiment s'il est meuble. Une abondance de pierres, galets ou blocs ne permet pas l'utilisation rationnelle d'un engin de pêche. Et nous ne bouleversons pas « au pied » le sédiment (ce qui impliquerait de tuer, d'écraser et de perdre une partie de la faune). Au contraire, nous déplaçons systématiquement les pierres en examinant chaque face et récoltons, si possible, toute la faune qui s'y trouve ainsi que les animaux que nous dérangeons dans la couche superficielle du sédiment. Très lentement et minutieusement, nous cherchons à « épuiser » à la main chaque place étudiée. Pour une station donnée nous effectuons en général nos récoltes dans trois ou quatre « placettes » voisines. On ne peut pas parler de normalisation *sensu-stricto* dans cette façon de procéder : on parlera d'IBGN approché – en conservant malgré tout le sigle IBGN dans nos tableaux. Il ne s'agit jamais de récoltes faites pour évaluation quantitative, inutile pour notre propos.

Les animaux peuvent être examinés d'emblée dans l'eau des bocal et ensuite dans des cuvettes ou des cristallisoirs ; puis les déterminations sont faites précisément à la loupe binoculaire. Mais la plupart du temps, ils sont fixés (formol 5-6 %) pour le transport et destinés à une analyse plus fine. Nous nous arrêtons, dans la pratique, au niveau des familles (ou des sous-familles) tout en notant, si besoin est, l'existence de certains genres, voire de certaines espèces symptomatiques. Mais, tout comme pour la méthode IBGN classique, il est inutile de détailler à l'extrême, compte tenu du principe de notre méthode : il faut savoir adapter la précision d'une technique au but que l'on poursuit (VERNEAUX soulignait ce point dès 1973).

Pour les déterminations, nous utilisons le manuel de TACHET *et al.* (1980). Très pratique, il nous servait depuis longtemps pour notre enseignement (option Alimentation animale dont nous étions responsables à Orsay et en Écologie second cycle). Nous nous référons aussi aux ouvrages de R. PERRIER, en particulier à celui qui concerne les Diptères (*Faune de la France illustrée*, Paris, Delagrave, 1937, vol. VIII) où SEGUY, le spécialiste du groupe, donne une classification très fouillée – même si elle a subi nombre de modifications depuis 1937, comme nous le disait le regretté Loïc MATILE. Ce qui ne rend pas leur usage désuet... Il s'y trouve d'utiles précisions écologiques. Et nous nous servons beaucoup du livre de H. MELLANBY (1956), qui est remarquablement précis sur ce dernier plan comme pour l'illustration. Mais les sources modernes, voire de très bons guides naturalistes, sont multiples et apportent des détails utiles. Nous tentons de compléter en nous référant par ailleurs à diverses sources, anciennes ou non, par exemple BERTRAND, 1954 ; CHINERY, 1988 ; PAULIAN, 1990 ; OLSEN *et al.*, 2000. Quant à MOISAN *et al.*, 2008, ils

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

nous donnent, avec la faune du Québec, d'intéressants éléments de comparaison. Nous insistons sur les remarquables documents présentés sur le web par Georges CHAUVIN (avec le concours de MAUCHAMP) dans un vaste cours d'entomologie où l'on trouve des repères systématiques et biologiques illustrés par ses très nombreuses photographies, ainsi que par celles d'autres auteurs, et qu'il complète avec bonheur par ses dessins personnels minutieusement détaillés.

Les calculs effectués

Nous effectuons systématiquement le calcul de la note IBGN/20 (approchée comme nous l'avons signalé) qui est notre base de réflexion.

Nous calculons, par ailleurs, en complément de la note IBGN, une valeur reflétant à la fois la tendance rhéophile de tous les habitants d'une station et la tendance saprophile de l'ensemble des taxons de cette station. Ce sont deux notions écologiques fondamentalement subjectives qui dépendent plus ou moins de l'observateur. Quoiqu'il en soit, nous l'avons souligné, elles peuvent être traduites selon deux échelles chiffrées convenues. Elles sont inverses, donc opposables et susceptibles, par simple comparaison, de fournir une valeur indicative nouvelle, *Viv*.

A priori, on pourrait se contenter de signaler la rhéophilie, *Rh*, d'un taxon, en utilisant un système de croix (voir tableau synoptique initial) ; mais pour les calculs, station par station puis site par site, il faut lui substituer une échelle simple – une sorte de bonus – allant de +1 à +0,25 suivant le caractère plus ou moins rhéophile d'un taxon. De même, la saprophilie, *Sa*, d'un taxon, est estimée grâce à la même échelle, négative cette fois ; ce « malus », compris entre -0,25 et -1, suivant le caractère plus ou moins net de saprophilie, constitue une valeur écologique directement opposable à la rhéophilie. Cela permet une évaluation de la vigueur ou vivacité ponctuelle, *Viv*, au niveau de chaque station puis de chaque site du cours d'eau. La pratique nous a montré que les deux échelles étaient suffisantes pour arriver à des conclusions nettes, station par station et pour l'ensemble d'un site. Cela permet, en complément de la note IBGN, de repérer un éventuel signal de perturbation écologique local. Il est clair que cette valeur, *Viv*, est généralement positive si la rhéophilie des taxons repérés est supérieure à la saprophilie ; ce qui est le cas pour tous les exemples que nous décrivons puisque cela concerne la partie amont de nos cours d'eau.

Mais, influencés par certaines publications récentes, nous calculons aussi, « pour voir », l'indice Cb2, secondaire pour nous et dont les bases nous paraissent encore étonnantes ; il en sera très brièvement question en annexe.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Présentation des repères écologiques et des résultats chiffrés

Nous rappelons que nous avons seulement travaillé sur le crénon et l'épirhiron (ILIES & BOTOSANEANU, 1963) de nos torrents ou ruisseaux.

Le **tableau récapitulatif** (cf. annexe 1, p. 248-249) correspond à la liste de tous les taxons observés (55 familles) dans les 24 stations que nous avons étudiées. C'est notre base de travail.

Dans la première colonne de ce tableau synoptique, pour chaque taxon nous indiquons par des croix sa tendance rhéophile (*Rh*) ainsi que l'équivalent chiffré compris entre 0,25 et 1 suivant l'adaptation de chacun d'entre eux. Nous signalons ensuite quelques caractères écologiques essentiels. Et nous chiffrons d'emblée la tendance saprophile (*Sa*) indiquée dans la dernière colonne de ce tableau. Pour chacune des familles, la valeur du malus lié à la saprophilie peut être comprise entre -0,25, et -1 dans le pire des cas. La « pénalisation » atteint un point pour une famille très saprophile (ex. : Lumbricidés trouvés dans l'eau en rive), -0,5 point si la saprophilie est nette, même en pleine eau ou au fond (ex. : cas des Stratiomyidés, Enchytréidés ou Planorbidés, voire des Psychodidés) ; enfin, le malus est seulement de -0,25 point pour la majorité des saprophiles moins nets. Il peut aussi être nul.

Les tableaux qui suivent (tableaux de 1 à 5) ne sont que des résumés des listes faunistiques que nous avons établies et que nous allons commenter. Les résultats détaillés ne pouvaient être exposés dans le présent document.

Pour chaque station, les listes faunistiques établies selon notre méthode nous conduisent à calculer d'abord des notes IBGN approchées sur 20.

Pour chaque station, nous comparons les deux valeurs repères comptabilisées taxon par taxon et consignées dans le tableau initial, la rhéophilie *Rh* et la saprophilie *Sa*, valeurs écologiquement opposées et opposables. Le calcul nous donne une valeur, *Viv*, qui est notre nouveau repère indiquant un degré de vivacité ou de vigueur écologique de l'eau, au niveau de chaque station. Cela indique l'état de la faune arthropodienne dans un biotope précis. *Viv* est compris entre 10,5 pour une eau de très bonne qualité, et 1,5 si la saprophilie est très notable. Aucune valeur négative pour les sites que nous avons choisis sur leur aspect *a priori* convenable. *Viv* calculé apparaît dans la dernière colonne des cinq tableaux.

Diversité des résultats soulignée site par site

Il ne s'agissait pas d'établir des linéaires, mais plutôt de centrer notre attention sur des endroits qui nous semblaient être particulièrement intéressants, dans l'amont de vallées bien différentes les unes des autres, en considérant plusieurs facteurs et initialement la nature géologique du substratum, donc le pH de l'eau.



Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

1. Haute vallée du Ponturin et affluents, au-dessus de Peisey-Nancroix (Savoie). Socle cristallin. Schéma de localisation (Figure 1) et résultats (Tableau 1)

Remarques générales : ce torrent longe immédiatement le bord N.O. du Parc National de la Vanoise, entre les crêtes de Bellecôte (3 400 m) au Sud et celles de la Sache et du mont Pourri (3 700 m) à l'Est. À 2 150 m, il sort du petit lac de la Plagne qui reçoit l'eau de rigoles multiples. Nous l'étudions vers le N-NO sur seulement sept kilomètres, parmi des roches très variées d'un socle micaschisteux charrié (nombreuses références passionnantes, mais superflues pour ce texte dans les travaux de DEBELMAS, 1974, ELLENBERGER, 1954 à 1967, GUILLOT, 1982 ; pour l'ensemble des sites de haute montagne, on trouve de nombreux documents mis en ligne par GIDON depuis des années).

Le débit de ce torrent est, depuis les années 50, fortement réduit par les prises d'eau EDF destinées à l'alimentation du lac du Chevril en amont de l'énorme barrage de Tignes sur l'Isère, lequel contrôle le débit utile pour l'usine électrique de Malgovert près de Bourg Saint Maurice. En effet, situé au nord du massif du Mont

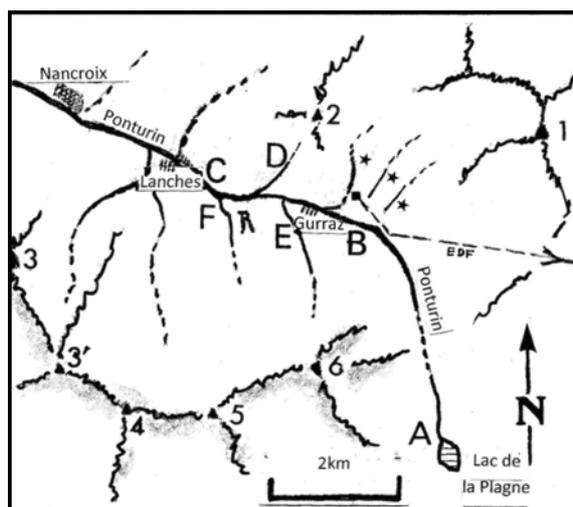


Figure 1

Schéma de localisation des stations étudiées le long du Ponturin, de A à F et indication des sommets bordant la vallée. **1** Mt Pourri - 3679 m ; **2** Crête des Lanchettes - 2636 m ; **3** et **3'** Crête du Friolin - 2678 m ; **4** Sommet de Bellecôte - 3417 m ; **5** Dôme des Pichères - 3324 m ; **6** L'Aliet - 3109 m.

Map showing sampling sites (A-F) along the Ponturin river and the summits bordering the valley. **1** Mt Pourri, 3679 m; **2** Crête des Lanchettes, 2636 m; **3** et **3'** Crête du Friolin, 2678 m; **4** Sommet de Bellecôte, 3417 m; **5** Dôme des Pichères, 3324 m; **6** L'Aliet, 3109 m.

Planche 1 (Ponturin) (p. 224)

A : Ponturin. Fond de vallée, massif du Mont Pourri vu des Lanches. **B** : Massif de Bellecôte, versant sud du Ponturin. **C** : Ponturin, station A. *Proportional abundance*

A : Ponturin valley, Mont Pourri seen from Lanches village. **B** : Bellecôte massif, southern face of Ponturin valley. **C** : Site A of Ponturin river.

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

Pourri, ce lac reçoit, en particulier, une partie importante de l'eau du Ponturin qui est situé au sud. L'eau est prélevée au niveau de plusieurs fortes cascades et drainée par gravité grâce à une longue galerie qui traverse ce massif (Planche I, A, p. 224).

Méconnue, sinon négligée, la faune du Ponturin constitue un élément essentiel d'analyse qui a retenu notre attention dès 1976, puis surtout en 2000 et jusqu'à maintenant.

• **Station A - Ponturin au débouché du lac de La Plagne**, 50,4 gr / 5,1 gr-E. 2 114 m. Substrat au débouché du lac : chaos de blocs cristallins épars décimétriques, micaschistes et gabbros ; sur sable non vaseux. Vitesse d'écoulement 45 cm/s (débit estimé 2 200 l/s, ce qui est fort et très perturbateur pour la petite faune) Temp. 14,5°, pH 7,5, Ox. 98 à 103 % suivant agitation près du bord (18,5 mg/l). NO₃ < 10 mg. Mousses *Fontinalis* sur blocs. Présence de truites.

IBGN approché 13/20, *a priori* moyen selon tous les spécialistes du système de notation. Parmi les indicateurs très rhéophiles, abondance d'Heptagénidés (*Ecdyonurus*) ainsi que de Plécoptères Chloroperlidés et de Perlodidés. On trouve les saprophiles au fond, dans les Mousses voire en rive (Haplotaxidés). Rhéophilie, *Rh* : 6.

Tableau 1

Stations du Ponturin et affluents

A, Ponturin-la Plagne ; **B**, Ponturin amont, débit très réduit par EDF ; **C**, Ponturin les Lanches ; **D**, réserve de pêche affluent rive droite ; **E**, torrent rive gauche, Nant Tumelet ; **F**, « Duche du pré d'envers » rive gauche.

Rh : degré de Rhéophilie moyen calculé par Station – explications dans le texte. **Sa** : degré de Saprophilie moyen calculé par Station – explications dans le texte. **Viv** : Degré de Vivacité ou de Vigueur par Station. C'est une estimation écologique où le degré de rhéophilie *Rh* est éventuellement tempéré par le degré de saprophilie *Sa*. C'est une valeur relative, une indication pratique nouvelle, un correctif pour l'interprétation de IBGN, et l'occasion d'un ré-examen de Cb2. *Viv* est compris, dans nos évaluations, entre 1,5 et 10,5.

Sampling sites of Ponturin and its tributaries

A, Ponturin-la Plagne; **B**, upper Ponturin, flow greatly reduced by hydroelectric company (EDF); **C**, Ponturin les Lanches; **D**, fishing reserve, affluent of right bank; **E**, torrent of left bank, Nant Tumelet; **F**, "Duche du pré d'envers" left bank.

Rh: average degree of rheophily calculated for each site (explanations in text). **Sa**: average degree of saprophily calculated for each site (explanations in text). **Viv**: degree of Vivacity or Vigour for each site. This is an ecological estimate in which the degree of rheophily (*Rh*) may be tempered by the degree of saprophily (*Sa*). This is a relative value, providing a new and practical indication, acting as a corrective for the interpretation of IBGN and providing a means of reassessing Cb2. In our evaluations, *Viv* has a value between 1.5 and 10.5.

Valeurs	V cm/s	pH	Ox %	IBGN/20	Sa	Rh-Sa = Viv
A Ponturin	44	7,5	98-103	13	-2,5	6 - 2,5 = 3,5
B Ponturin	25	7,45	81	12	-1,25	7,5 - 1,25 = 6,25
C Ponturin	40	7,07	83,6	09	-1,5	6,5 - 1,5 = 5
D réserve	85-70	6,85	70	15	-2,5	8,5 - 2,5 = 6
E torr. r. g.	83	7,3	100	13	-2,25	8 - 2,25 = 5,75
F Duche r.g.	23	7	60-65	14	-2,75	7 - 2,75 = 4,25

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Le correctif total *Sa* (négatif, rappelons-le) -2,5. Le degré de vigueur *Viv* est donc très moyen, à 3,5 (si on le compare à l'ensemble des autres résultats).

On note la présence du Cincle plongeur – sans doute attiré par l'abondance des Trichoptères Limnéphilidés, mais aussi des larves d'éphémères Heptagénidés dans une eau relativement profonde et très claire.

Notons que, compte tenu du fait que l'espace disponible pour les grands herbivores est très considérable, ceux-ci ne peuvent entraîner une charge azotée notable des terrains et des eaux de ruissellement qui parviennent au lac de la Plagne, site touristique fréquenté. Cela mériterait, éventuellement, une analyse précise pour effectuer une comparaison solide avec les résultats suivants, qui sont meilleurs.

• **Station B - Ponturin en amont de la Guraz.** Écoulement devenant E.O., sous le GR 5. 50,42 gr / 4,98 gr E. Environ 1 700 m. Situation géologique complexe [Le Ponturin commence alors à longer le massif très dur du Sapey (gneissique), en creusant gypse et carneules de bordure] ; substrat du torrent : cailloux et blocs variés sur plages sablo-vaseuses. L'écoulement, très complexe, se fait un peu en aval de ce qui est décrit sous le nom de pertes du Ponturin et à un niveau où il existe des résurgences... Les faibles débits sont aussi les conséquences de captures EDF participant à l'alimentation du lac du Chevril, au N-E. : débit du Ponturin très réduit, formation de petits bras et vitesse estimée seulement à 25 cm/s. Temp. 14,5°C, pH 7,3 à 7,6, Ox. 81 %. NO₃ < 10 mg. Pas de végétation notable.

IBGN approché 12/20. *Rh* : 7,5. *Sa* est modeste, -1,25. Degré de vigueur *Viv* 6,25, ce qui est très bon, plus élevé qu'en A. On remarque là, non seulement des Éphémères Siphonuridés, qui sont de bons indicateurs nettement rhéophiles, mais aussi et surtout des Plécoptères Perlodidés (*Isoperla*), très abondants, au grade 9 du système IBGN et qui sont à ce même grade 9 de qualité du « système des 92 » utilisé par VERNEAUX pour son calcul du Cb2. Même remarque pour les Chloroperlidés, prédateurs très rhéophiles. Et il y a seulement quelques Chironomidés pratiquement incolores de la S.F. des Orthocladinae, dont la saprophilie ne semble pas frappante (-0,25 de notre système). B est clairement de bonne qualité : les taxons rhéophiles dominants sont responsables du degré *Viv* élevé qui est une amélioration par rapport à IBGN.

• **Station C - Ponturin, niveau du petit hameau des Lanches,** 50 m en amont du pont de Beaupraz, à 2,5 km en aval de B. 50,43 gr / 4,97 gr E. 1 524 m. Blocs cristallins (schistes et gneiss). Galets 10/25 cm sur sable très fin, gris et à muscovite en rive. Vitesse importante, 40 cm/s pour un débit approximatif de 600 l/s, dû surtout à deux affluents assez modestes. Temp. 11,6°C, pH 7,07, Ox. 83,6 %, NO₃ env. 10 mg. Pas de végétation notable.

IBGN approché 09/20, assez médiocre, *Rh* 6,5 et *Sa* -1,5. Le degré de vigueur, *Viv*, est de 5 (valeur moyenne de tous les sites étudiés). À l'analyse de la faune, c'est une situation *a priori* médiocre puisque nous ne trouvons que 9 taxons au total. Mais on s'étonne que 7 d'entre eux soient rhéophiles et, à l'évidence, bien représentés : ce sont des Trichoptères et des Heptagénidés (qui attirent les cincles et permettent leur reproduction) et surtout des Plécoptères Némouridés (*Protonemura*) et des

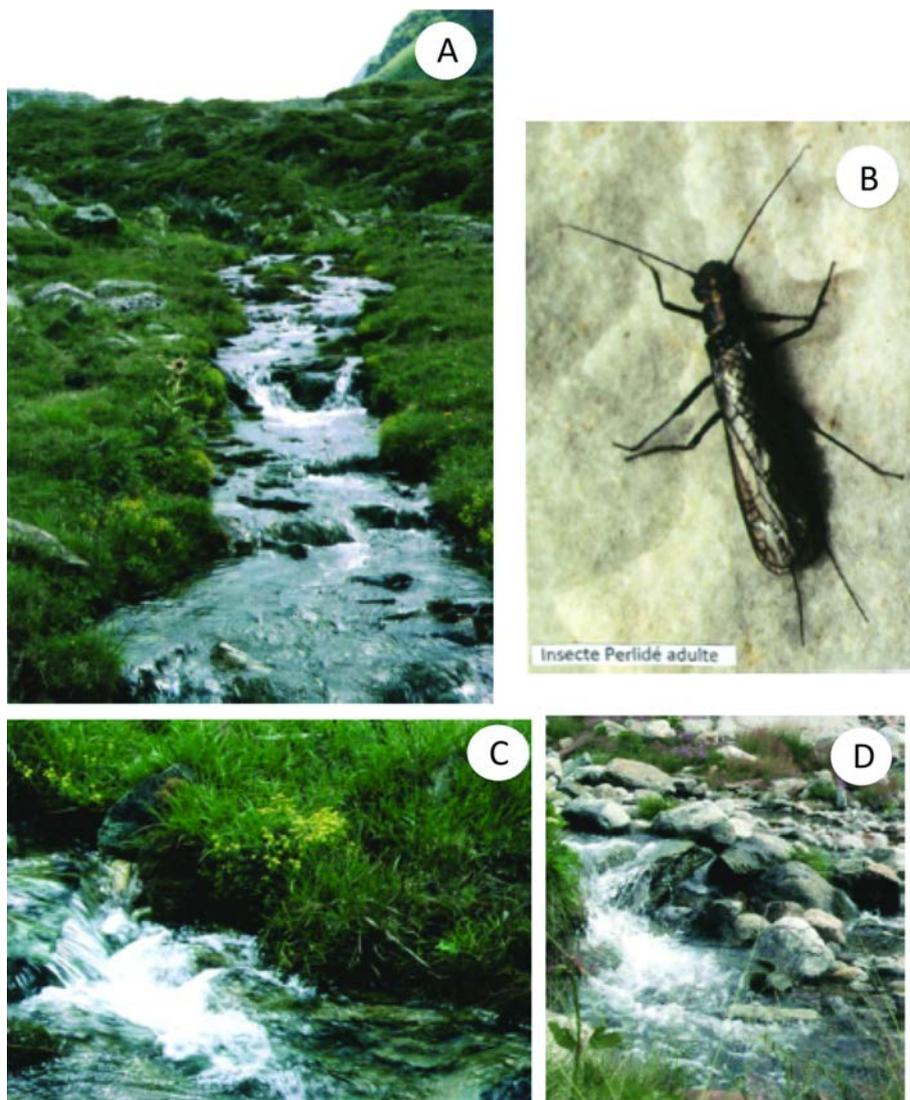


Planche 2 (Ponturin)

A : Ponturin station **B** : Insecte Perlidé adulte. **C** : Affluent rive droite Ponturin, station **D**.
D : Affluent rive gauche Ponturin, station **E**.

A: Station B of Ponturin river. B: Adult of the family Perlidae. C: Site D of Ponturin river; tributary of right bank. D: Station E of Ponturin river; tributary of left bank.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Leuctridés (à deux stades de développement très distincts), ces derniers au grade 7 pour les 38 taxons IBGN, mais dégradés à 6 dans la liste des 92. *Viv*, est une valeur moyenne de tous les sites étudiés dans ce texte, ce qui est bon et qui dépend de la faible diversité des saprophiles, même s'il y a quelques Diptères Stratiomyidés (-0,5 dans notre système de correctif). Compte tenu des perturbations EDF (variations vraisemblables des besoins en eau pour le Chevril) et de la violence du courant, nous nous demandons si les Plécoptères Filicéphales en question, espèces vigoureuses mais essentiellement microphages, sinon détritivores, ne concurrencent pas des saprophiles plus nets mais entraînés vers l'aval. Nous aurons l'occasion de repérer un phénomène voisin en Maurienne (Torrent d'Avérole, Tableau 2 H).

• **Station D - Affluent-rive droite - Réserve de pêche.** Confluence un peu en aval du point Rosuel de la Figure 1. Ce ruisseau, relativement puissant, est issu du très grand éboulis de la combe du Trovet : 50,43 gr / 4,98 gr E. Alt. environ 1 570 m. Écoulement NE/SO. Plusieurs segments lotiques-lentiques. Substrat variable : en amont petits blocs cristallins en rive avec végétation variée, dont *Fontinalis*, et plus volumineux vers l'aval (grès-arkoses) sur fond sableux localement vaseux dans les portions lentiques ; le torrent sort, selon GUILLOT (1982), d'une « coulée boueuse » ; nous soulignons qu'elle est bordée en bas par une décharge ancienne de fumier qui nous est apparue extrêmement instable et qui fait suite à une ripisylve dense à *Alnus*.

Avant la confluence, il parcourt une zone marécageuse à *Carex*, Sphaignes, Prêles et *Chara*. D'emblée courant très fort : 85 et au moins 70 cm/s pour un débit avoisinant 600 à 700 l/s. Temp. 10°C, pH 6,8 à 6,9, Ox. 70 %. NO₃ > 10 mg/l.

IBGN calculé en groupant les portions lotiques et lentiques : 15/20. Cette valeur, correspondant à 19 taxons – ce qui est cependant modeste – indique une bonne qualité de l'eau. *Rh* : 8,5 ; *Sa* est relativement faible, -2,5. Le degré de vigueur, *Viv* est très bon, 6, ce qui confirme IBGN. Il y a 9 taxons rhéophiles avérés. On repère ainsi des Chloroperlidés (*Chloroperla*), des Perlodidés (*Isoperla*) et de très abondants Némouridés (*Nemoura* ; *Nemourella*) Mais les saprophiles correspondent à 6 familles, dont celle du Lombricidé *Eiseniella*, en rive, et entre autres, des Diptères Psychodidés, spécialistes des eaux usées... Notons pourtant la présence en amont des restes d'un fumier abandonné. Il est clair que la valeur obtenue pour *Viv* est un critère essentiel nouveau. Quelle peut être la compensation éventuelle due au fait que le ruisseau traverse – et alimente – une vaste zone humide pouvant tamponner la pollution azotée en favorisant la dénitrification ?

• **Station E - Premier affluent en rive gauche ; Nant Tumelet ; torrentiel ; tombe de la falaise d'Aliet, sommet à 3 109 m.** 50,43 gr / 4,97 gr E. Vers 2 200 m, deux bras larges de 1 m chacun. Substrat : fond sableux avec débris rocheux souvent plats (schistes sombres), galets et graviers. Eau très claire. Sans végétation. Vitesse 83 cm/s (débit d'un bras environ 124 l/s – en étiage marqué). Temp. 9,5 à 10°C, pH 7,3, Ox. 100 %, NO₃ 0.

IBGN approché 13 /20. Assez bonne qualité de l'eau suivant ce critère. *Rh* : 8. Qui plus est, *Sa* est faible, -2,25. *Viv* 5,75, valeur élevée pour « l'ensemble Ponturin » amont. Les taxons rhéophiles sont diversifiés, depuis les planaires *Crenobia alpina*

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

jusqu'aux Plécoptères Perlodidés (*Perlodes*) Némouridés (*Protonemura*) et Leuctridés, tous abondamment représentés, avec en outre, de nombreux Éphémères Heptagénidés (*Ecdyonurus* et *Rhitrogena*), etc. Par contre, parmi les divers saprophiles, il n'y a que 2 taxons qui le soient nettement : des Lumbricidés (*Eiseniella*) en rive et, moins frappants, des Diptères Athéricidés, ces derniers étant considérés, malgré tout, comme assez rhéophiles... (*Atherix*). *Viv* élevé est-il aussi en rapport avec la violence du courant alliée à une excellente oxygénation dans un biotope non fréquenté par des bovins ?

Notons que l'indice Cb2 est de 7,6/20... Ce qui nécessitera une explication.

• **Station F - Second affluent en rive gauche ; Duche du Pré d'Envers ;** parvient au Ponturin 300 m en aval du refuge de Rosuel. Source en pied de falaise. 50,43 gr / 4 gr E. ; 1 550 m. Sort d'un éboulis : quartzite à filons de quartz sur sable vaseux. Largeur initiale environ 4 m. Vitesse à la source 23 cm/s, mais débit voisin de 550 l/s. Temp. 10°C à la source et 6,6°C 20 m plus bas, pH 6 à la source et 7,8 plus bas, NO₃ = 10 mg. Ripisylve dense vers l'aval (bouleaux). Forte végétation dans le courant : *Fontinalis* sur pierres immergées ; sphaignes et *Marchantia* en rive ; à quelque distance de la source, chevelu racinaire fin correspondant, selon nous, à de la végétation rivulaire broutée ; aspect floconneux dû à un mycelium (*Saprolenia* selon GARNETT ?) ; le pré voisin est spongieux et sert de pâturage en 2000 à des ânes en juillet. C'est aussi un lieu où des bovins sont rassemblés en nombre à certaines périodes de l'année... Sol pavé de bouses jusqu'en plein été. Un peu en aval, le ruisseau s'étale au niveau d'un marais très richement fleuri en juillet-août et qui jouxte immédiatement le Ponturin.

IBGN 14/20. Ce qui est bon. *Rh* : 7. *Sa* est seulement de -2,75. *Viv* 4,25. Cette valeur juste convenable dépend cependant de plusieurs taxons généralement clairement rhéophiles. Outre certains Baetidés dont l'activité natatoire est très remarquable à ce niveau du torrent, on trouve des Perlodidés au grade maximum, mais aussi des Némouridés franchement microphages plus ou moins détritivores ; on observe aussi des Trichoptères Glossosomatidés, Ecnomiidés, Polycentropidés et Odontocéridés, petits individus considérés comme carnivores et microphages. Saprophiles bien connus, les Lumbricidés sont observables en rive et les Psychodidés au fond. Mais les autres saprophiles sont moins caractéristiques car plus ou moins rhéophiles ! Et leurs préférences écologiques ne sont pas clairement définies dans la littérature au niveau de la famille (Dugesiidés, voire Limnéphilidés). Quand on sait les discussions portant sur les Limnéphilidés, on peut penser que les conditions de vie dans ce ruisseau sont assez équivoques mais adéquates pour la truite, comme le suggère *Viv*. Notons qu'il est clairement qualifié de Réserve de Pêche (Natura 2000). Et la portion aval de ce puissant ruisseau traverse une vaste zone marécageuse qui permet vraisemblablement de réhabiliter un milieu qui permet l'alevinage.

Nota : on voit qu'il n'est pas inutile de tenir compte à la fois de l'IBGN, du *Sa* et du degré de vivacité *Viv* de chacune des stations qui, dans l'ensemble, évoquent une assez bonne qualité du Ponturin, lequel est *a posteriori* variable selon les segments.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

2. Haute-Maurienne : ce sont des biotopes de Savoie, en Vanoise sud – haute vallée de l'Arc et affluents (Figure 2 et Tableau 2)

Là encore, situation géologique complexe, mais on soulignera, localement, la présence de roches vertes, roches magmatiques basiques pouvant jouer sur le pH. Torrent notablement perturbé par une prise d'eau EDF au niveau du petit barrage régulateur de l'Écot vers 2 040 m. Par gravité, sur environ 40 km, une longue galerie – très complexe contrairement à l'indication schématique du plan n°2 – aboutit au lac du Mont Cenis (1 974 m) et récolte, au passage, une partie de l'eau dans tous les torrents de rive gauche de l'Arc. Enfin, à partir du barrage du Mont Cenis, l'eau est drainée jusqu'aux centrales de l'Isère, plus à l'Ouest.

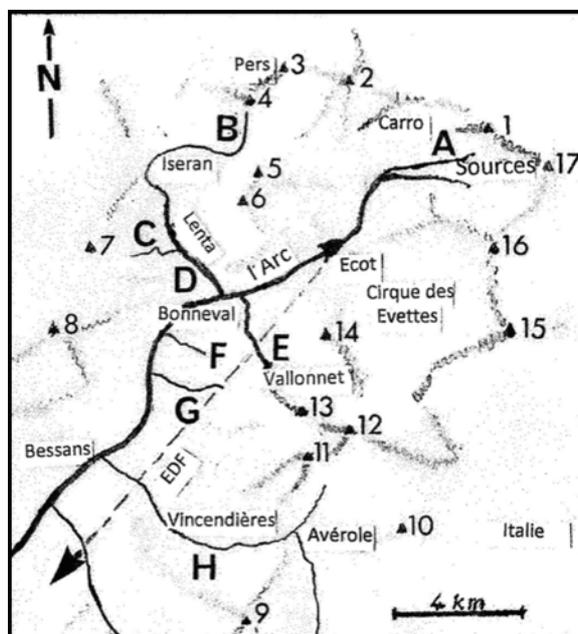


Figure 2

Schéma de localisation des stations étudiées le long de l'Arc, de A à H et indication des sommets bordant la vallée. **1** Levanna Centrale – 3619 m ; **2** Aiguille Grande Rousse – 3482 m ; **3** Aiguille Pers – 3386 m ; **4** Rochers de Pers – 3227 m à 3009 m ; **5** Ouille Noire – 3357 m ; **6** Pointe des Arses – 3187 m ; **7** Pointe des Fours – 3072 m ; **8** Pointe de Méan Martin – 3330 m ; **9** Pointe du Charbonnel – 3752 m ; **10** Bessanese – 3592 m ; **11** Pointe de l'Ouillarse – 3435 m ; **12** Pointe de l'Albaron – 3637 m ; **13** Dôme du Grand Fond – 3460 m ; **14** Ouille du Midi – 3042 m ; **15** Cîme de Montfret – 3374 m ; **16** Roc du Mulinet – 3442 m ; **17** Levanna Orientale – 3619 m.

*Map showing sampling localities studied along the Arc, with indications of summits bordering the valley. **1** Levanna Centrale, 3619 m; **2** Aiguille Grande Rousse, 3482 m; **3** Aiguille Pers, 3386 m; **4** Rochers de Pers, 3009 to 3227 m; **5** Ouille Noire, 3357 m; **6** Pointe des Arses, 3187 m; **7** Pointe des Fours, 3072 m; **8** Pointe de Méan Martin, 3330 m; **9** Pointe du Charbonnel, 3752 m; **10** Bessanese, 3592 m; **11** Pointe de l'Ouillarse, 3435 m; **12** Pointe de l'Albaron, 3637 m; **13** Dôme du Grand Fond, 3460 m; **14** Ouille du Midi, 3042 m; **15** Cîme de Montfret, 3374 m; **16** Roc du Mulinet, 3442 m; **17** Levanna Orientale, 3619 m.*

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

Tableau 2

Stations de Haute Maurienne : Arc et affluents

A, Arc sources ; **B**, torrent de Pers, rive droite ; **C**, torrent affluent de la Lenta rive droite ; **D**, torrent de la Lenta rive droite ; **E**, torrent du Vallonnet rive gauche ; **F**, ruisseau du Tuf rive gauche ; **G**, ruisseau d'Andagne rive gauche ; **H**, torrent d'Avérole rive gauche. (En aval de **A**, le barrage de l'Écot correspond à la première prise d'eau EDF, la seule sur l'Arc proprement dit. Toutes les autres stations correspondent à des affluents ; et celles de la rive gauche, de **E** à **H**, sont partiellement captées, près de l'amont, par EDF, pour alimenter le lac du Mt Cenis).

Localities in Haute Maurienne: Arc and its tributaries

A, sources of Arc; B, Pers torrent, right bank; C, affluent torrent of Lenta, right bank; D, Lenta torrent, right bank; E, Vallonnet torrent, right bank; F stream of Tuf, left bank; G, stream of Andagne, left bank; H, Avérole torrent, left bank. (Downstream of A is the Ecot dam. All other localities correspondent to tributaries of the left bank; those of E to H are partially captured near their sources by the electricity company EDF to feed Mt Cenis Lake.)

Valeurs	V cm/s	pH	Ox %	IBGN/20	Sa	Rh-Sa = Viv
A Arc- sces.	40	5,5	57	12	-1,75	7 - 1,75 = 5,25
B Pers	variable	7,4	64	13	-2,5	6,5 - 2,5 = 4
C Lenta aff.	50	7,5	72,5	12	-1,75	5 - 1,25 = 4,25
D Lenta	fort	7	70	09*	-1,75	6,5 - 1,75 = 4,75
E Vallonnet	60	7	90	13	-1,75	6,5 - 1,75 = 4,75
F Tuf	faible	8,3	31,5	11	-2,75	6 - 2,75 = 3,25
G Andagne	40	6,8	55	03	-1 5	3 - 1,5 = 1,5
H Avérole	30	7,5	70	09	-1,25	5 - 1,25 = 4,25

• **Station A. Source supérieure de l'ARC prélèvements à 2300 m (située côté Nord – il y a aussi une source Sud, non étudiée).**

Issue de la moraine frontale du Glacier des Sources de l'Arc, au pied de la Levanna Orientale (3 285 m). Socle cristallin gneissique + nappes de schistes lustrés. « Source » prospectée vers 2 300 m. 50,43 gr / 5,35 gr E. Écoulement *grosso modo* E. O. Substrat : débris de roches anguleuses ; peu de sable. Vitesse 40 cm/s, Temp. 9°5, Ox. 57 %, curieusement faible, pH compris entre 5 et 6. NO₃ : 0. Mousses en rives.

IBGN approché 12/20. Rh : 7. Sa : 1,75. degré de vigueur Viv 5,25. Cette dernière valeur, intéressante, souligne la relative diversité des taxons rhéophiles, même s'il s'agit d'un torrent d'altitude où l'eau est nettement acide, Éphémères Trichoptères (plusieurs sous-familles) et Plécoptères Perlodidés (Sétipalpes) et Némouridés (Filipalpes) sont abondants (Ex. *Nemoura variegata*). Quant aux saprophiles il s'agit surtout de Chironomides à faible malus, presque incolores (S.F. Orthocladinés, Tribu Tanitarsini) installés dans des fourreaux de soie sur substrats divers).

Nota : sur presque tout son parcours supérieur, le torrent de l'Arc est tumultueux, encombré par des blocs de toutes tailles. La retenue (à l'Écot à 2 040 m) permet de réguler partiellement le débit. Ces blocs, en s'accumulant, menacent le barrage. Les vannes sont ouvertes périodiquement (lâchers EDF hebdomadaires selon

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

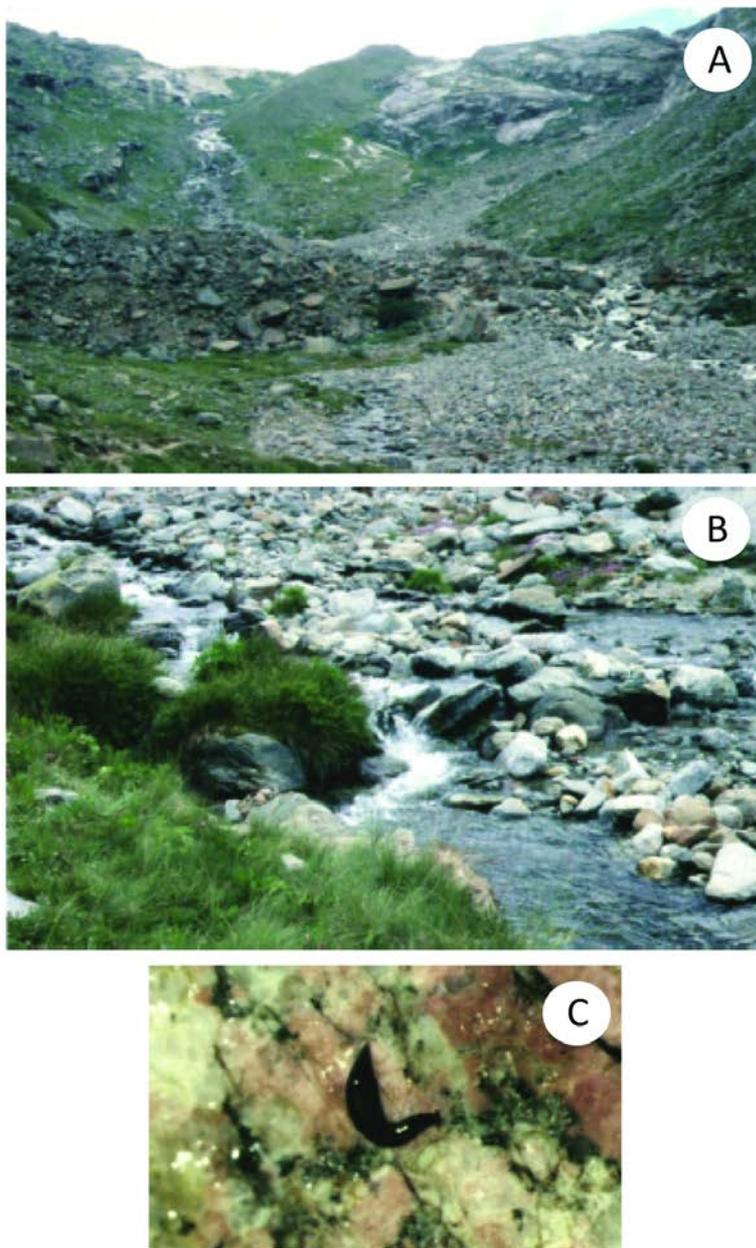


Planche 3 (Arc)

A : Arc. Fond de vallée de Maurienne. **B** : Arc. Station A, juste en aval de la source nord.
C : Planaire très rhéophile : *Crenobia alpina*.

*A: Valley of Maurienne, just around springs. B: Site A just below northern source.
 C: Crenobia alpina, the most rheophilic planarian.*

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

J.M. BERNARD, Ingénieur en Chef à St Jean de M.) et le niveau peut varier considérablement, entraînant un surcreusement du lit et la formation d'énormes chaos – appréciés des adeptes de canyoning ; mais ces conditions nous empêchent de travailler efficacement. D'autant que les violents lâchers ou les crues provoquent un affouillement des rives, concaves ou non. S'il reste de petites plages sableuses, ou des rigoles annexes du torrent, on note seulement la grande abondance des Phryganes – essentielles dans le menu des Cincles plongeurs – et la présence, face au courant, de petites truites qui gobent les larves nageuses de Baetidés. À partir de Bonneval, toujours dans les violents courants, la faune est plus ou moins perturbée, semble-t-il, et cela d'autant plus qu'un énorme fumier a été entassé en bordure de rive gauche.

• **Station B - Affluent en rive droite : ruisseau de Pers, au bas de la cascade des rochers de Pers (3 009 m).** C'est un affluent d'altitude qui, s'unissant à plusieurs autres, dont la Lenta, ne rejoint l'Arc que vers Bonneval, à 1 800 m.

Plusieurs ruisseaux étudiés au bas de la cascade, vers 2 760 m. 50,47 gr / 5,29 gr E. Écoulement NE-SO, sur glacis de schistes lustrés. Se réunissent en formant le ruisseau Cema qui se joint à la Lenta. Substrat : schistes micacés ou calcaires (beiges), cargneules et roches vertes, pierres sur vase fine. Vitesse très variable suivant ruisseau. Temp. 10°C, pH 7,4, Ox. env. 64, ce qui est faible. Végétation aquatique peu abondante – *Fontinalis*. Rives spongieuses riches en végétation muscinale et florale localement broutée. NO₃ : 10 mg ; PO₄ : 10 à 25 mg.

IBGN approché 13/20. *Rh* 6,5 ; *Sa* -2,5. Degré de vigueur *Viv* 4. Ces valeurs sont moyennes, dans l'ensemble. En faciès lotiques, les Heptagénidés sont très abondants comme les Leuctridés qui se trouvent sous les pierres plus ou moins envasées et qui s'enfuient prestement dans le courant lorsqu'on les découvre. En faciès lentiques, les Némouridés sont très communs. On y trouve par contre des Oligochètes en rive. Ce milieu, d'aspect remarquablement sain au premier abord, s'avère quand même assez pauvre en faune, peu diversifiée. Ce qui nuance clairement la valeur IBGN. Par rapport à la station A, la présence notable des saprophiles est nouvelle. Mais les Plécoptères sont remarquables en taille et en nombre.

• **Station C - Ruisseau des Fonds de la Lenta : torrent perpendiculaire à la Lenta où il se déverse ; pente très forte – 30-35° – écoulement O.-E.**

2 200 m. 50,435 gr / 5,21 gr E. Substrat complexe : schistes lustrés avec cargneules et roches vertes. Vitesse 50 cm/s, Ox. 72,5 %, pH 7,48. Pas de végétation notable. NO₃ et NO₂ : 0, PO₄ : 10+ mg/l.

IBGN 12/20. *Rh* 5 ; *Sa* -1,25. Degré de vigueur *Viv* 3,75. Malgré la présence de Perlodidés (*Isoperla*) et de Némouridés, on note la présence de 2 taxons clairement saprophiles et de trois autres douteux qui entraînent un *Viv* médiocre. Cette station n'offre guère d'intérêt écologique compte tenu de la forte pente qui ne permet pas l'installation d'une faune diversifiée. Cela souligne la valeur assez modeste de l'IBGN.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

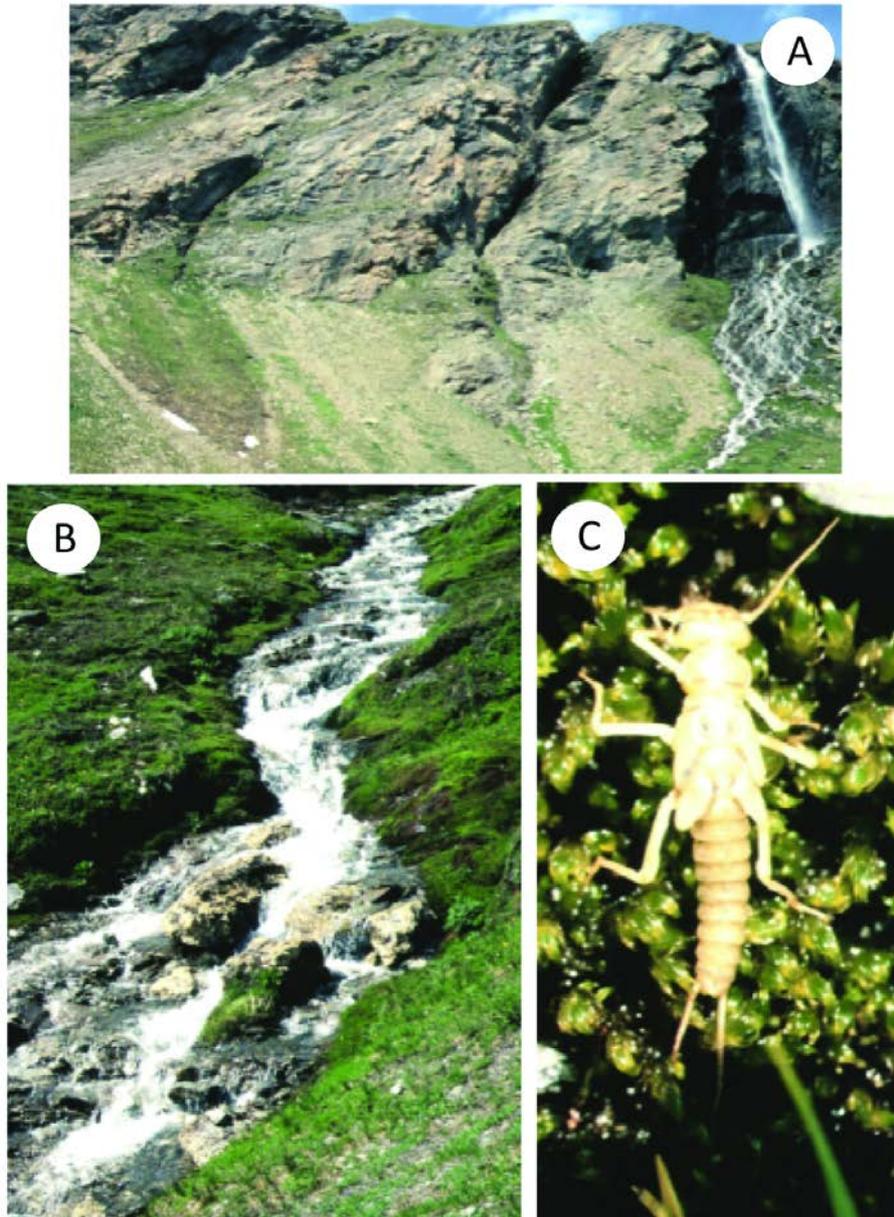


Planche 4 (Arc)

A : En rive droite de l'Arc : falaise de Pers et cascade.

B : Elle forme un bras de la Lenta. Station B. **C** : Larve de Plécoptère, très rhéophile, station B.

A: The cliff of Pers and its waterfall: tributary of right bank of Arc.

B: The waterfall gives rise to a small tributary of the Lenta.

C: Station B: Plecoptera larva, example of a strong rheophile.

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

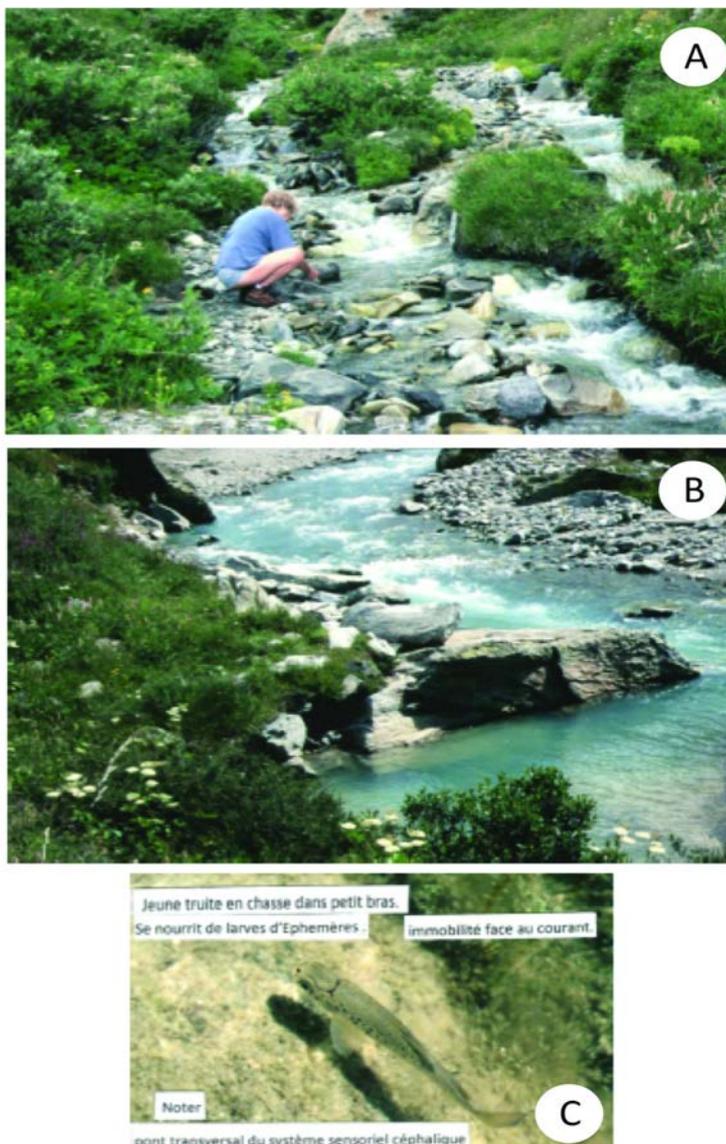


Planche 5 (Arc)

A : En rive droite de l'Arc : bras adjuvent de la Lenta, station D.

B : L'Arc en aval de Bonneval : cours principal violent et petit bras lentique.

C : Jeune truite en chasse dans petit bras. Noter pont transversal du système sensoriel céphalique assurant immobilité face au courant. Se nourrit de larves d'Éphémères.

A: Site D: tributary of Lenta above right bank of Arc.

B: The Arc near Bonneval: torrential main stream with a very quiet side arm (lentic portion).

C: Facing into slow current, a young trout (3 cm) waiting for small prey carried away by the current. Clearly visible is the cephalic sensory system that allows it to swim in place for long periods.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

• **Station D - Petit bras de la Lenta proprement dite, avant qu'elle n'atteigne l'Arc, 200 m plus bas.** 2 140-2 150 m. Substrat : micaschistes à muscovite. Ni cargneules ni roches vertes. Vitesse variable, forte. Ox. 70 %, pH 6,96. Pas de végétation notable. NO₃ et PO₄ : 10 mg/l ; NO₂ : 0. Cela ne représente pas une pollution organique bien notable.

IBGN 09/20. *Rh* 6,5 ; *Sa* -1,75. Degré de vigueur *Viv* 4,75, ce qui est assez bon. Les taxons saprophiles sont tous affectés du malus de -0,25. Les rhéophiles sont un peu supérieurs à C. Abondance de *Crenobia alpina* et Limnephilidés à fourreau minéral résistant au courant. Très nombreux Heptagénidés (*Heptagenia*) nageurs puissants, avec plusieurs types de Némouridés très bien représentés. Ce sont eux qui sont clairement responsables du « bon » degré *Viv* qui « corrige » IBGN.

• **Station E - En rive gauche de l'Arc : ruisseau de Chalançon dit du Vallonnet.** Résurgence issue de la moraine du glacier supérieur du Vallonnet (sous les pointes du Grand Fond). 2 300 m. 50,38 gr / 5,23 gr E. Torrent de 2-3 m de large. Substrat : schistes lustrés à biotite ; roches vertes et cargneules peu abondantes (tomant parfois l'été avec des séracs). Temp. 6°C, Vitesse 60 cm/s. O₂ : 90 %, pH 6,98. Pas de végétation aquatique notable. Berges boueuses avec riche végétation herbacée florale. Présence périodique de bovins errant sur un vaste territoire. Pourtant pas de pollution organique notable : les vaches fréquentent plutôt les zones voisines un peu surélevées, plus sèches (mais percolation vraisemblable).

IBGN 13/20. *Rh* 6,5 ; *Sa* -1,75, ce qui est très faible. Degré de vigueur *Viv* 4,75. Cet ensemble est intéressant. On pouvait s'attendre à mieux pour IBGN, compte tenu de la belle clarté de cette eau très froide provenant directement du glacier et de la nette abondance de *Crenobia alpina*, de grandes larves de Perlodidés (*Perlodes*) et de Leuctridés. Or, des bovins pâturent dans les vastes herbages. Pourtant, ils n'entraînent pas la présence de saprophages variés. La vitesse du courant nous paraît être un frein à la diversité faunistique.

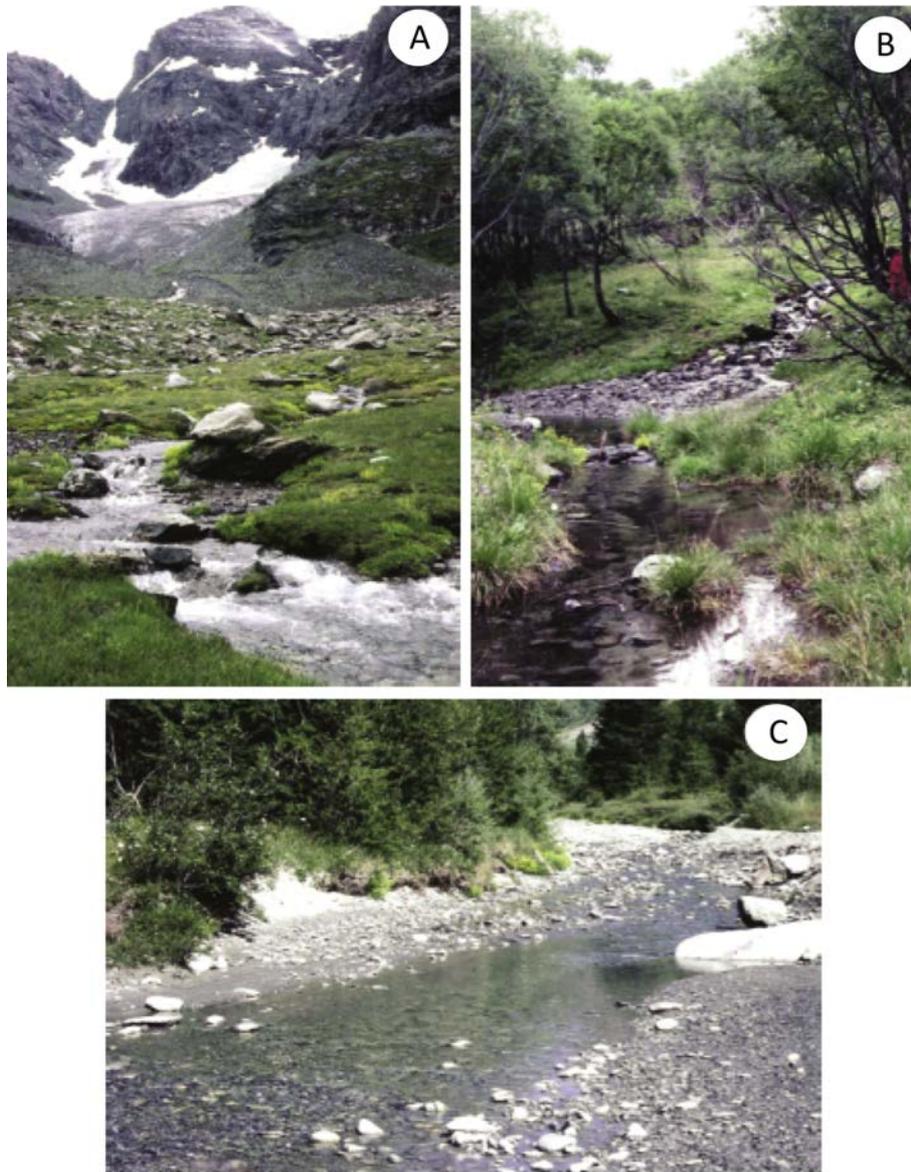
• **Station F - En rive gauche de l'Arc : ruisseau du Tuf, au droit de Bonneval (indication locale « les sources »).**

1 760 m. 50,38 gr / 5,21 gr E. Substrat : graviers divers, surtout calcaires. Vitesse très faible, non mesurée. Ox : 31,5 %, pH 8. Végétation : beaucoup de mousse ; cyanobactéries en boules ; champignons (non déterm.). De vastes surfaces herbeuses sont parcourues tout l'été par des bovins nombreux. Ce niveau jouxte une pente instable extrêmement boueuse à faciès de marécage.

IBGN 11/20. *Rh* 6 ; *Sa* -2,75. Degré de vigueur *Viv* 3,25. Des groupes peu communs : Béraéidés, Hydroptilidés. Les Plécoptères sont notables (Némouridés et Leuctridés). Mais aussi Lymnéidés fréquents sur les mousses, parmi d'autres saprophiles. C'est un ruisseau très aberrant pour la région, sur substrat peu propice à autre chose que des formes « végétales » de milieux pollués, d'ailleurs exubérantes.

• **Station G - En rive gauche de l'Arc : ruisseau d'Andagne, à 2 500 m en aval de Bonneval.** Né 1 000 m plus haut, mais essentiellement capté à près de

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

**Planche 6 (Arc)**

- A** : Affluent rive gauche de l'Arc : torrent du Vallonnet, station E.
B : Affluent rive gauche de l'Arc : torrent d'Andagne, station G.
C : Affluent rive gauche de l'Arc : un bras du torrent d'Avérole, station H.

A : Site E: Vallonnet torrent; left bank of the Arc.

B : Site G: Andagne torrent; left bank of Arc.

C : Site H: arm of Avérole torrent, left bank of Arc.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

2 000 m, avant la station G, par la conduite EDF qui draine beaucoup d'eau en direction du lac du Mont Cenis.

1 747 m. 50,36 gr / 5,21 gr E. Substrat siliceux : éboulis de gneiss. Quelques roches vertes. Vitesse 40 cm/s. Ox : 55 %. pH 6,8. Pas de végétation aquatique notable. Ripisylve dense. Le sol bordant le ruisseau est parsemé de bouses de bovins ; piétinement périodique évident.

Faune réduite à 5 taxons. IBGN 4/20. *Rh* 3 ; *Sa* -1,5 ; Degré de vigueur *Viv* 1,5. Les Trichoptères Limnephilidés (2 esp.) sauvent ce milieu de la comparaison avec un quelconque émissaire.

• **Station H - En rive gauche de l'Arc, très en aval, niveau de Bessans : affluent torrentiel d'Avérole (ou « la Lombarde ») qui s'écoule vers l'Arc à Bessans.**

On note sur ce torrent l'existence d'un petit barrage et d'une prise d'eau EDF située juste sous le refuge d'Avérole et reliée elle aussi au lac de barrage du Mont Cenis, comme les autres torrents de rive gauche de l'Arc. Lâchers EDF fréquents. On étudie un bras du torrent en période d'étiage. Prélèvements à 1 850 m, à Vincendières. 50,33 gr / 5,26 gr E.

Grandes variations de débit en été, fin juillet ; exemple en 2001, vitesse >100 cm/s : en 2002, vitesse 30 cm/s. Substrat roches vertes essentiellement et schistes calcareux noirs à cristaux de calcite. À Vincendières, en 2002, ce bras du torrent apparaît comme une résurgence née 100 m plus en amont. Temp. 9,5 à 10°C, Ox. 70 %, pH 7,48.

IBGN 9/20, ce qui est médiocre. *Rh* 5 ; *Sa* -1,25. Degré de vigueur *Viv* 3,75, ce qui est médiocre comme l'IBGN si l'on compare les chiffres relevés et les calculs que nous avons effectués sur l'ensemble des stations de l'Arc supérieur. Peu de taxons saprophiles, mais rhéophiles assez diversifiés. C'est le cas des espèces de Baetidés vigoureux nageurs, mais surtout des Heptagénidés (*Rhitrogena*). Par ailleurs, les Plécoptères Leuctridés et surtout Némouridés (*Protonemura*) ne sont pas rares. Et les simules qui apprécient les eaux très claires et vives soulignent le fait que le milieu évoque, au moins momentanément, un crénon caractérisé, entre autres, par sa faible richesse taxonomique. En fait, les conditions de ce milieu dépendent étroitement des lâchers EDF.

3. Biotope calcaire dans les alpes du sud (Figure 3 et Tableau 3)

Cas du torrent de Rancure (Haute-Provence). Selon la terminologie classique dans les Alpes du Sud, ce cours d'eau est qualifié de « torrent » car son débit est très fluctuant, ravageur en périodes de crues. En été, nous analysons sa faune sur environ moins d'un kilomètre, mais sur plusieurs années.

Ses multiples sources sont difficiles à localiser, entre 1 000 m et 800 m, sur le flanc nord du plateau conglomératique calcaire de Riez-Valensole à quelque distance de fermes (Tante Rose et la Boucharde) : certaines sources sont souvent taries en été. Le lit du cours d'eau, qui est creusé en direction E-S.O, aboutit à la Durance, juste

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

Tableau 3

Série du torrent de Rancure (Entrevennes), Alpes de Haute-Provence.
1996 (pluies d'été) ; 07/2000 et 08/2000 (après pluies de printemps) ; 08/2001 très pluvieux ;
08/2002 très pluvieux ; 08/2003 sec ; 09/2003 sec et chaud.

Series for the Rancure torrent (Entrevennes), Alpes de Haute-Provence.
1996 (summer rains) ; 07/2000 and 08/2000 (after spring rains) ; 08/2001 high rainfall ;
08/2002 high rainfall ; 08/2003 dry ; 09/2003 dry and hot.

Valeurs	V cm/s	pH	Ox %	IBGN/20	Sa	Rh-Sa = Viv
1996	50	7,1	-	14	-3,25	9 - 3,25 = 5,75
07/2000	35	7,1	100	13	-2,25	11 - 2,25 = 8,75
08/2000	27	7,2	100	12	-1,5	5,5 - 1,5 = 4
08/2001	70	6,91	78	15	- 5,25	11 - 5,25 = 5,75
08/2002	78-80	7	80	16	-3,5	14 - 3,5 = 10,5
08/2003	10	7,3	70	12	-3,5	5,5 - 3,5 = 2
09/2003	10	7,3	70	11	-3	6 - 3 = 3

au-delà de la ville d'Oraison (topographie cf. BOUCHARD & BOUCHARD-MADRELLE, 2003). En été, sauf crues importantes, l'eau ne parvient pas à la Durance et disparaît dans le calcaire en amont du village du Castellet, c'est-à-dire après un parcours d'environ 5 km. Elle s'écoule vers l'aval du plateau à partir de résurgences généralement médiocres et qui apparaissent à une altitude comprise entre 600 et 500 m. En conséquence, nos observations concernent seulement un tronçon permanent, mais très fluctuant, situé au pied du village perché d'Entrevennes.

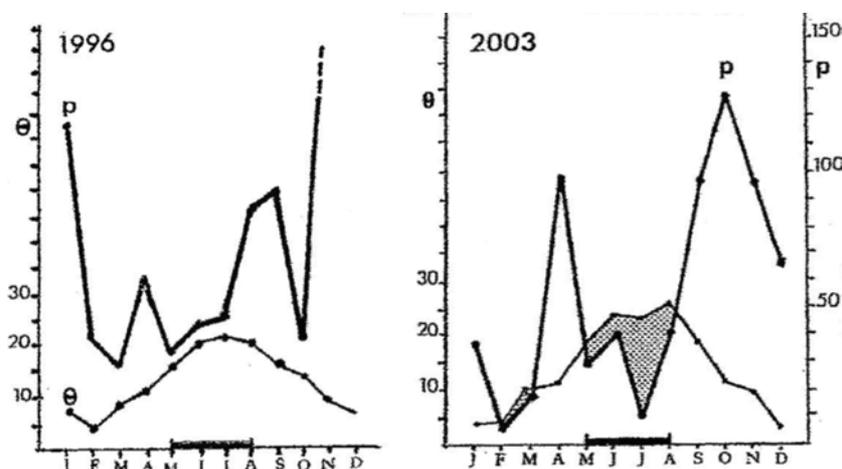


Figure 3

Graphiques ombro-thermiques (suivant la méthode de GAUSSEN) correspondant à deux années (1996 et 2003) choisies comme exemples pour l'étude de la faune du Rancure.

La bande noire indique la période de végétation optimale en ripisylve et dans l'eau.

Ombrothermic graphs (following GAUSSEN's method) for the years 1996 and 2003, showing strong contrasts between the optimal period of riparian and aquatic vegetation (black bars).

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Entrevennes : 43,938°N / 6,022° E (93) ou 48,82 gr / 6,691 gr E.

Le tableau 3 résume nos estimations faunistiques depuis 1996 jusqu'en 2003. Deux graphiques ombro-thermiques (méthode OZENDA-GAUSSSEN) correspondant à ces périodes extrêmes (figure 3) permettent de donner une idée de l'importance des variations climatiques régionales, lesquelles conditionnent le débit du Rancure lors de la période d'étiage, entre juillet et septembre. En 1996, la température extérieure moyenne était de 20,5°C, contre 24,8°C en 2003 à cette même époque. L'analyse qui suit est un résumé (un article de fond sur la vallée et le Rancure a été publié en 2003).

Les flancs du plateau sont des accumulations de poudingues essentiellement calcaires à ciment également calcaire mais aussi à ciment siliceux dans les strates supérieures. Le substrat du torrent lui-même est clairement à dominante calcaire. Il est constitué pour une part de galets préalpins charriés par les multiples torrents de fin du tertiaire depuis les crêtes montagneuses au nord de la nappe de Digne et, d'autre part, d'une minorité de galets provenant de zones plus internes, cristallines. Dans les portions lenticules, il se dépose un sable fin, siliceux. En conséquence, sur 200 m, le pH de l'eau peut varier entre 6,9 et 7,3. Le fond du lit est concrétionné, mais de manière variable en fonction du travail d'érosion des crues. Ce fond concrétionné s'oppose à une disparition rapide de l'eau en profondeur – avant le Castellet. Des travaux liés à l'essartage, ou plus localement à l'extraction de matériau, entraînent la disparition totale de l'eau plus en aval, sauf crues exceptionnelles (phénomène semblable à ce qui se passe en Crau selon notre camarade J. Guittet).

Le tableau 3 indique des variations saisonnières de la vitesse d'écoulement ; nous soulignons le débit de ce ruisseau très peu profond ; exemple : 75 l/s puis 89 l/s 15 jours plus tard en 1996 ; 120 l/s à la même période vers 2001-2002 ; 15 l/s en 2003. NO₃ proche de 0 la plupart du temps.

La végétation aquatique est très pauvre, sauf au débouché de quelques résurgences pérennes sinon abondantes (algues filamenteuses, essentiellement là où NO₃ atteint et souvent dépasse 10 mg/l).

Certaines plages lenticules accueillent des espèces animales que l'on ne trouve pas, en général, dans nos ruisseaux de montagne déjà décrits : Odonates, Coléoptères, Diptères et surtout Hétéroptères Notonectidés voire Népidés. Ces animaux paraissent être secondaires pour les techniciens de l'IBGN.

La disposition, le « pavement » et la densité régulière des galets du fond nous ont permis d'effectuer des évaluations IBGN plus précises qu'ailleurs, et nous remarquons la diversité plus considérable des taxons. Des résultats satisfaisants correspondent aux années où les pluies ont été abondantes au printemps : IBGN et surtout *Viv* de juillet 1996 et 2000. En 2001 et 2002, des pluies estivales fortes ou violentes ont donné de bons résultats. En 2002, on atteint pour IBGN = 16/20. *Rh* de 14 pour *Sa* de -3,5, conduisant à un degré *Viv* de 10,5, très remarquable ; et, cette fois, nous notons que le Cb2 est bon, 14,5/20 – nous le verrons en annexe, ce point est essentiel.

Par opposition, l'été 2003, très sec, n'a donné que deux valeurs IBGN modestes, 12/20 puis 11/20, avec des *Rh* de 5,5 puis 6 et des *Sa* de -3,5 et -3. Enfin le degré



Planche 7 (Rancure)

A : Torrent de Rancure : aspect 1996. **B** : Torrent de Rancure : aspect 2003.

A : Rancure torrent, summer 1996.

B : Rancure torrent, summer 2003. The weak flow covers only a small area of the pebbles.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

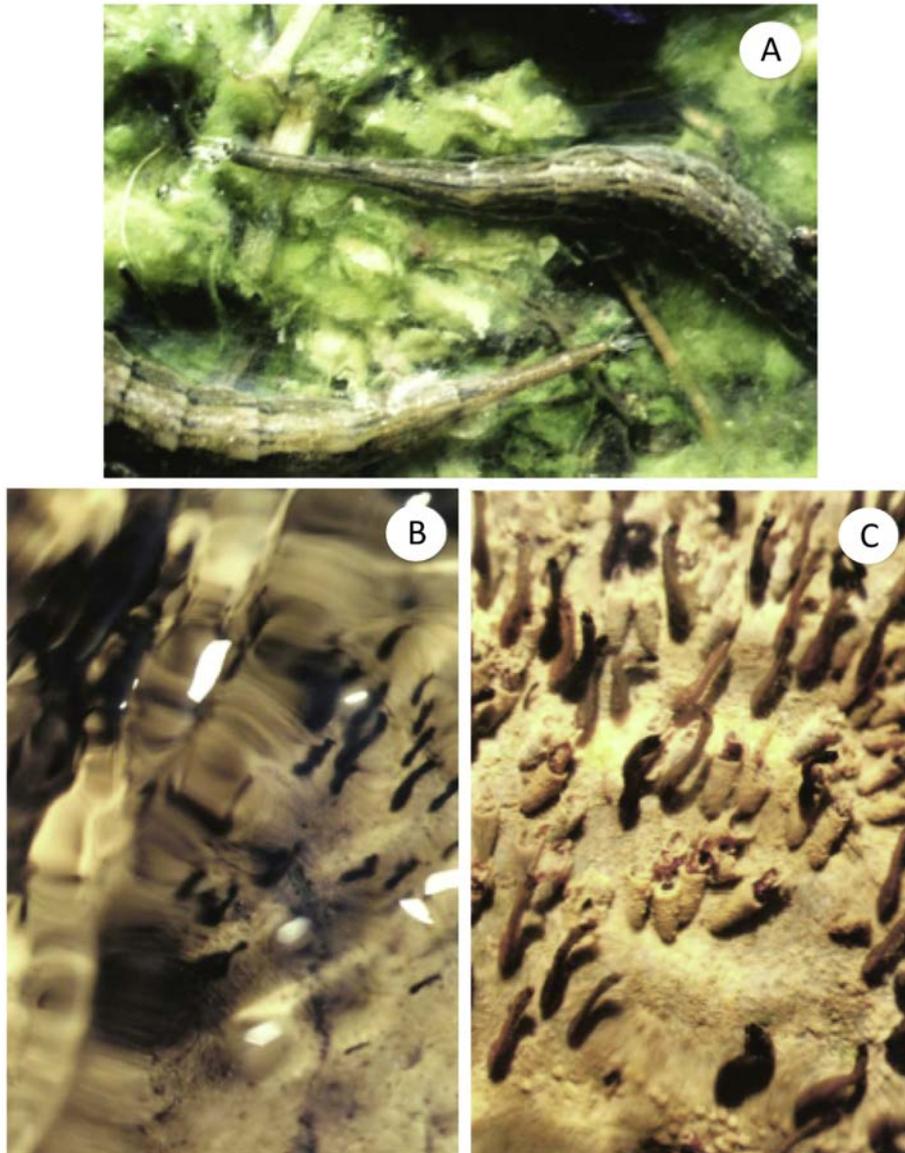


Planche 8 (Rancure)

- A** : Larves de Diptère Stratiomyidé, saprophiles et non rhéophiles.
B : Larves de Simulies, très rhéophiles, fixées sur galet en plein courant.
C : Larves et nymphes de Simulies observées en déviant le courant.
A: Diptera larvae, Stratiomyidae; saprophilic and non-rheophilic species.
B: Larvae of Simulium, clearly rheophilic and fixed to stones in current.
C: Simulium larvae and nymphs observed by deviating the stream.

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

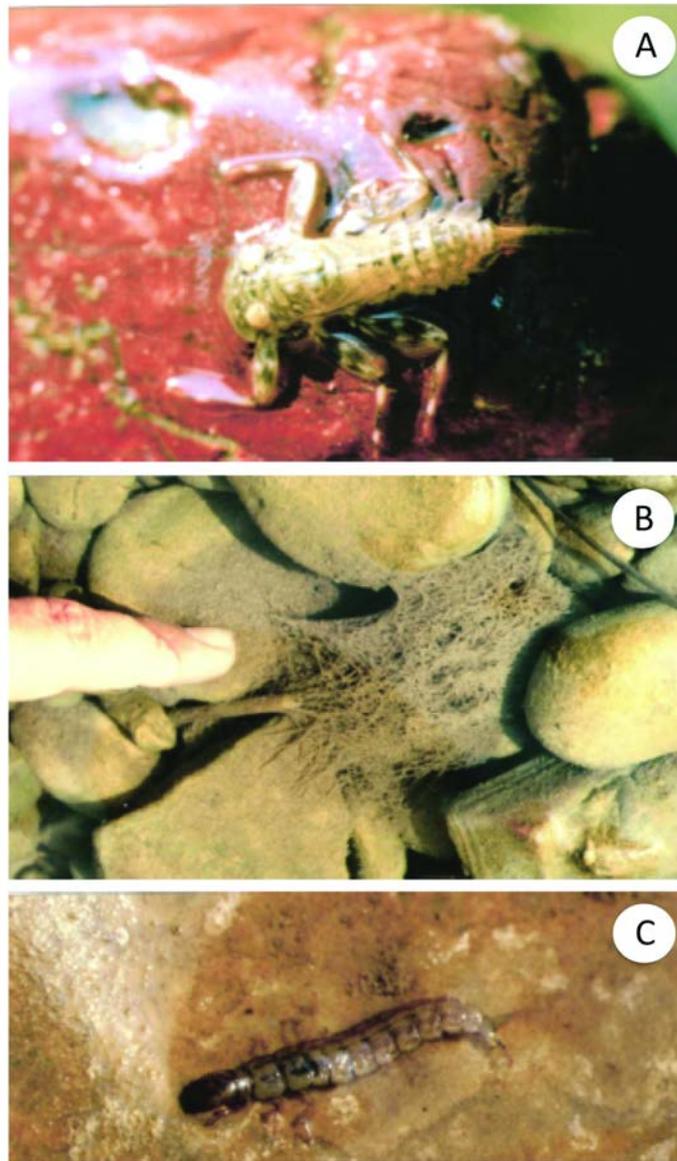


Planche 9 (Rancure)

A : Rancure, larve d'Insecte Epheméroptère, Heptagénidé très rhéophile.

B : Filet de capture d'un Insecte Trichoptère Polycentropidé rhéophile.

C : Dérangée, la larve change de piège pour construire un autre filet.

A: Ephemeropteran larva, Heptagenidae, clearly rheophilic.

B: Web trap of a Trichoptera, Polycentropidae; clearly rheophilic.

C: When disturbed, a polycentropid larva crawls away in order to build a new web-trap.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

de vigueur, *Viv*, est d'abord particulièrement faible, 2, même s'il remonte curieusement à 3 en septembre grâce à un groupe supplémentaire de rhéophiles. On remarque la faible diversité des rhéophiles (Odontocéridés, Polycentropidés, Elmidés et Simuliidés, pour nous très symptomatiques). Dans l'ensemble, quelques taxons sont clairement saprophiles (Planorbidés, Tabanidés) et par ailleurs, le cas des Chironomidés, des Simuliidés et des Nèpes fera l'objet de remarques dans la discussion, car leur adaptation écologique, donc le malus, peut paraître « discutable » (même si les simulies sont parmi les rhéophiles les plus frappants).

En fait, au niveau du torrent de Rancure, le calcul du degré *Viv*, élevé seulement lors des années de pluies abondantes, s'est avéré fort intéressant. Mais si la présence de vairons n'est pas exceptionnelle, celle de jeunes truites peut cependant paraître étonnante compte tenu de l'absence quasi constante de continuité avec la Durance (contrairement à l'Asse, cours d'eau plus long qui est *grosso-modo* parallèle au Rancure, un peu plus au sud, et largement alimenté comme nous l'avons constaté plusieurs fois). Le Rancure ne pourrait, en aucune façon, convenir pour un alevinage utile !

4. Un site montagnard granitique du massif central : les sources de l'Allier (septembre 2000) (Tableau 4)

Cette partie du massif correspond au flanc Est, non volcanique, entièrement cristallin.

Origine des sources sur les pentes Est du Moure de la Gardille (1 503 m). Plusieurs sources dans un substratum acide, granit à orthose et gneiss à biotite et sillimanite. L'une d'elles sort à 1 485 m ; 49,28 gr 3,86 gr E., une autre vers Chabalière, à environ 1 300 m.

Observations faites au « lieu-dit » de Chabalière, à 1 150 m, à 1 km après la confluence avec la source précédente ; niveau du pont conduisant à la D6.

Tableau 4

Sources Allier 2000 – début septembre.
Sources of the Allier, values for beginning of September.

Valeurs	V cm/s	pH	Ox %	IBGN/20	Sa	Rh-Sa = Viv
	14-15	5,24	97,2	15	-2,75	9,5 - 2,75 = 6,75

pH de l'eau 5,24, vitesse 14-15 cm/s, Ox. 97,2 % ; NO₃ < 10 mg/l. Algues filamenteuses et mousses *Fontinalis* ; ripisylve importante. Allure générale de ruisseau très « vif », sur fond de cailloux rougeâtres de forme et de taille variables, de 10 à 40 cm ; le débit atteint ainsi 200 à 250 l/s, compte tenu de la largeur du lit mineur (5 à 6 m). IBGN approché 15/20 ; *Rh* 9,5 ; *Sa* -2,75 ; *Viv* 6,75, valeurs soulignant la bonne qualité biologique du cours d'eau près de sa source.

Il y a plusieurs taxons rhéophiles très notables, bien représentés, les Trichoptères Rhyacophilidés, très abondants, comme les petits Béraéidés vigoureux

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

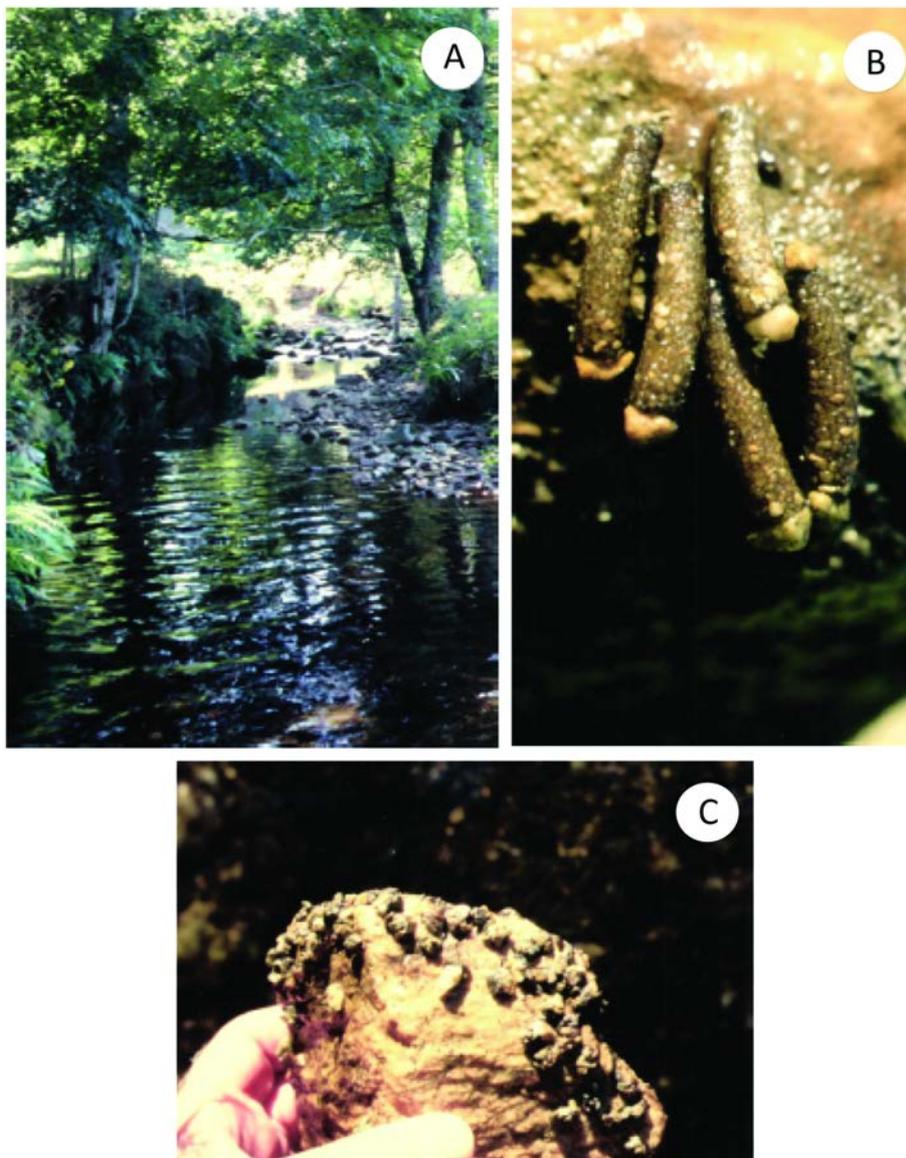


Planche 10 (Allier)

A : Source de l'Allier.

B et C : Deux exemples de fourreaux de métamorphose
de deux espèces de larves d'Insectes Trichoptères.

A : Source of the Allier.

B and C: Examples of metamorphosis sheaths of larvae of two species of Trichoptera.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

nageurs, les Plécoptères Leuctridés et surtout Némouridés, un peu surprenants dans cette eau acide. On note la présence d'un taxon de Trichoptères que l'on n'a pas trouvé dans les Alpes, celui des Thremmatidés dont le fourreau larvaire, fait de grains de sable assez fins, a la forme d'une coquille d'*Ancylus* (en plus gros) ; cette larve est particulièrement sombre (descriptions détaillées dans JACQUEMART & COINEAU, 1966 et GIUDICELLI, 1971).

Par opposition, nous notons seulement la présence de 3, voire 4 taxons plus ou moins nettement saprophiles – voir discussion – (Chironomidés, Athéricidés avec de rares Mollusques Ancylidés). On remarque exceptionnellement quelques Chaoboridés.

5. Quelques observations complétant notre travail de 1999 (BOUCHARD & BOUCHARD-MADRELLE, 2003) sur la Valserine (Haut-Jura). Substrat calcaire (Tableau 5)

Nous commentons brièvement le tableau établi pour une étude de faune faite en 2001 et publiée en 2003 sans le tableau. Nos repères topographiques sont ceux de 1999, en nous limitant à deux stations.

Tableau 5

Valserine Jura 2001.
Valserine Jura, 2001.

Valeurs	V cm/s	0x %	IBGN/20	Sa	Rh-Sa = Viv
V1	70	80	16	-6	12,5 - 6 = 6,5
V3	30-35	90	11	-2	8,5 - 2 = 6,5

Près de la source, station V1 ; conditions physicochimiques très satisfaisantes, mais $\text{NO}_3 = 10 \text{ mg/l}$. Nous passons au milieu des bovins dans les prés très humides de l'épirhitron. IBGN 16/20, contre 14/20 en 1999 ; Rh 12,5 ; Sa est très mauvais, -6 ; Mais le Viv est bon : 6,5, compte tenu de la diversité des rhéophiles.

Il y a 25 taxons, 14 rhéophiles, mais aussi 8 saprophiles avérés – ce point expliquant le Sa -. Soulignons le cas des Haplotaxidés, la présence de Tipulidés, de Cératopogonidés et de Psychodidés.

Station V3, avant Mijoux. L'IBGN est seulement de 11/20 ; la note était de 13/20 en 1999. Rh : 8,5 ; Sa est de -2 et le Viv est de 6,5 ce qui est encore bon, supérieur à ce que l'on pourrait attendre compte tenu de la présence dans les champs de bovins qui ne s'y trouvaient pas en 1999, mais il est vrai que le terrain n'est pas détrempé comme en V1 et que ces animaux broutent à quelque distance ; ils ont peut-être une certaine influence, le terrain étant en pente... Quoiqu'il en soit, nous notons que le total des malus des saprophiles est bas, indiquant *a priori* une bonne qualité de l'eau. De plus, on doit tenir compte du fait que la très belle végétation aquatique joue vraisemblablement un rôle protecteur sur l'environnement... Viv nous paraît être le critère dominant et qui nuance la note IBGN. Cette fois de façon positive.

En somme, par rapport à la notation IBGN-approchée, nos calculs de Viv indiquent 7 améliorations et, par contre, 7 cas de diminution. Cela représente plus que des nuances.

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

Annexe 1

Tableau initial, base d'évaluation utilisée dans les tableaux 1 à 5.

Essai de classement écologique des taxons répertoriés dans ce travail.

Rh : Degré de rhéophilie d'un taxon T : valeur positive, comptée de 0,25 à 1.

Sa : Degré de saprophilie ou malus pour un taxon T : valeur négative, comptée de -0,25 à -1.

NB : certains rhéophiles peuvent être plus ou moins saprophiles..

Initial table, serving as basis for evaluation in Tables 1-5.

Attempted ecological classification of taxa recorded in present work.

Rh: Degree of rheophily of a taxon T: positive value, ranging from 0.25 to 1.

Sa: Degree of saprophily for a taxon T: negative value ranging from -0.25 to -1.

Note than some rheophiles can be more or less saprophilic.

Taxons	Rh rhéophilie	Biotope préférentiel	Carnivore prédateur	Phyto- phages	Micro- phages	Sapro- phages	Sa
Dugesiidés Planariidés	Rh +++ (1)	fond végét. cailloux	++			+	- 0,25
Eiseniellidés Enchytréidés Lumbriculidés Naididés Tubificidés		en rive fouisseurs en rive surf./algues fouisseurs			++ ++ + + +	+++ ++ +++ ++	- 1 - 0,5 - 1 - 0,25 - 1
Limnéidés Planorbiidés Sphaeridés		surf./algues fond./algues fond		++ + +	++ ++ ++		- 0,25 - 0,5 - 0,5 ?
Gammaridés	Rh ++ (0,5)	fond/algues		++	+++		- 0,25
Hydracariens	indiffér.	indifférents	+	+ ?	+	?	?
Baetidés Ephémérellidés Heptagénidés	Rh ++ (0,5) Rh +++ (1)	galets fouiss. filtr. galets		? +	++ ++		- 0,25 - 0,5 ?
Leuctridés Némouridés Perlidés Perlodidés Taenioptérygidés	Rh +++ (1) Rh +++ (1) Rh +++ (1) Rh +++ (1) Rh +++ (1)	galets – fond idem galets idem idem		+	+		- 0,25 - 0,25 ?

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Taxons (<i>suite</i>)	Rh rhéophilie	Biotope préférentiel	Carnivore prédateur	Phyto- phages	Micro- phages	Sapro- phages	Sa
Béraéidés	Rh +++ (1)	idem	+++	++	?		
Brachycentridés	Rh ++ (0,5)	fonds	++	++	++		
Glossosomatés	Rh ++ (0,5)	fonds		+	+++		- 0,25 ?
Hydroptilidés	Rh + (0,25)	fonds		+	+		
Hydropsychidés	Rh +++ (1)	sur blocs	++	+			- 0,25 ?
Limnéphilidés	Rh ++ (0,5)	fond sableux		+	++		- 0,25
Odontocéridés	Rh +++ (1)	galets-végét.	++		+		
Polycentropidés	Rh +++ (1)	sur blocs	++	+			- 0,25 ?
Rhyacophilidés	Rh +++ (1)	variable	+++				
Séricostomatidés	Rh +++ (1)	pierres		+	++		
Thremmatidés	Rh ++ (0,5)	pierres		++	++		
Aeschnidés		variable	+++				- 0,5 ?
Caloptérygidés		idem	+++				- 0,5 ?
Gomphidés		idem	+++				- 0,5 ?
Dryopidés	Rh + (0,25)	bois pourris		++		+	- 0,25 ?
Dytiscidés		indifférents	+++				
Elmidés	Rh + (0,25)	végétaux		++	++		
Gyrinidés	Rh + (0,25)	indifférents	+++			+	- 0,5 ?
Hélodidés	Rh + (0,25)	?			++	+	?
Hydrophilidés		cailloux	++				- 0,5 ?
Nèpîdés		sable vaseux	+++				- 0,25 ?
Vélidés		végétaux	++				- 0,25
Cératopogonidés		mousses	+ ?	+		++	- 0,25 ?
Chironomidés		végét./pier.			++	++	- 0,25
Psychodidés		fond vaseux		++	++	++	- 0,5
Ptychoptérid.		idem		+	++	++	- 0,5
Simuliidés	Rh ++ (1)	pierres			+++	+	- 0,25
Tipulidés		fond vaseux			++	+++	- 0,5 - 1
Anthomyidés	Rh ++ (0,5)	mousses			++	++	- 0,25
Athéricidés	Rh ++ (0,5)	sable (vas.)	++		+	++	- 0,25
Dixidés	Rh ++ (0,5)	idem			++	++	- 0,5
Empididés	Rh ++ (0,5)	variable	++				
Sciomiidés		en rive	+		++	++	- 0,5
Stratiomyidés		fond vaseux	+		++	++	- 0,5
Tabaniidés		idem			++	++	- 0,5

Discussion

Avant de discuter des principes de notre nouvel indice, *Viv*, il faut avancer quelques remarques sur des options choisies par VERNEAUX et adoptées, semble-t-il, sans modifications par les spécialistes. Sur 138 taxons répertoriés pour le calcul de l'IBGN, il nous a semblé que la répartition des 38 taxons de la grille des indicateurs tenait compte implicitement de la grande variété des adaptations écologiques. On a pu cependant s'étonner, dans un deuxième temps, du petit nombre de taxons saprophiles répertoriés dans les 9 cases ou grades de cette grille.

On a pu, ensuite, s'étonner des aménagements, ou plutôt des bouleversements introduits pour l'établissement de la « grille des 92 » de ce même auteur pour ses calculs du coefficient d'aptitude biologique (= indice Cb2). En effet, il nous a semblé, en analysant méthodiquement cette grille, qu'il prenait en compte un grand nombre de taxons « oubliés » dans la grille précédente, au nombre de 51, lesquels apparaissaient, cette fois, dans huit des neuf meilleures cases de la grille des 92. Et certains de ces taxons (14) avaient une place de choix dans les quatre cases accueillant les plus gradés (de 9 à 6). Par contre, il avait « dégradé » de une case 5 des bons ou très bons indicateurs de la grille des 38. Enfin, plusieurs cas de dégradation nous ont paru sévères ; nous y reviendrons. Ignorant les motivations biologiques détaillées que VERNEAUX ne nous a pas indiquées, et n'étant pas en mesure de bien peser cette situation complexe, il nous a semblé récemment qu'il était possible de faire plus simple.

N'ayant répertorié que 55 taxons au total dans les eaux plus ou moins torrentielles de montagne, nous avons cherché à déterminer le « poids » de chacun d'eux (positif ou négatif).

Nous en sommes venus, après longue hésitation, à ce qui, pour nous, est une nouvelle façon d'aborder (sinon de résoudre ?!), à côté des méthodes modernes et sophistiquées, le problème d'une approche franche et mesurée de la qualité biologique des eaux courantes – torrentielles ou non.

Logiquement, il est essentiel d'évaluer la rhéophilie, mais il faut, en parallèle, évaluer la saprophilie des composants de la faune, ce qui est particulièrement délicat. Cela nous a conduits à un système bonus-malus dont nous avons indiqué les bases dans notre introduction.

À vrai dire, nous nous sommes préoccupés, d'abord, de déterminer le malus des différents taxons, car nous pensions qu'il devait conduire à estimer, à lui seul, quelle pouvait être l'influence de facteurs d'anthropisation sur certains milieux aquatiques. Nous pensions, en particulier, à des élevages bovins, mais aussi à des pesticides éventuels et à la densité des habitations. Mais ce programme dépassait de beaucoup nos très modestes moyens ! Cela eut nécessité une équipe de spécialistes en agronomie, le travail acharné de gens aux potentiels multiples, ayant non seulement la vision des experts rompus à l'analyse et à la synthèse des problèmes économiques – et financiers – mais aussi celle d'experts en systématique dévoués à l'écologie de terrain (un spécialiste, au moins, par grand taxon, selon VERNEAUX, soit dix-huit à vingt).

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Comment déterminer l'importance du malus à appliquer à un taxon saprophile, et à l'ensemble des taxons saprophiles d'une station, afin de nuancer une note IBGN (approchée selon nos principes) ? On a analysé, successivement, le cas des différents taxons saprophiles que nous avons observés en montagne. Et l'importance de la rhéophilie nous est apparue peu à peu tout aussi essentielle, même chez des animaux à comportement plus ou moins saprophile.

Prenons les taxons dans l'ordre de notre tableau récapitulatif (p. 248-249) où le malus de chacun est donné – avec réserves ! – et sert de référence pour établir les cinq tableaux correspondant aux différents sites et aux différentes stations. Voici l'essentiel.

Plus ou moins polyphages, les **planaires** Triclares Dugésiides, peu fréquentes en eaux vives, impliquent un correctif faible. Et les Planariidés *Planaria alpina*, carnivores, très abondants dans les torrents froids, sont clairement dépourvus de caractères saprophiles. Par contre, tous les **Oligochètes** observés sont, comme on le constate aisément en les observant dans de petites quantités d'eau, en « aquarium », saprophiles à des degrés divers, en particulier les Lumbriculidés et les Tubificidés.

L'observation attentive du milieu dans lequel vivent les **Mollusques**, surtout présents en Rancure, suffit à confirmer la position que divers auteurs leur attribuent dans les listes classiquement utilisées, et nous avons pourtant hésité au sujet des malus : les Planorbidés étant peut-être les plus « polluo-tolérants » ou polluo-résistants. Notons que la conformation de leur coquille ne permet pas, par ailleurs, une réelle adaptation dans les eaux vives.

Le cas des **Crustacés** Gammariidés est particulièrement intéressant. Ils peuvent passer pour être a priori saprophiles. Pour nous, ils sont très clairement rhéophiles dans toutes les stations où nous les avons vus, même en Haute-Provence. Ils abondent aussi bien dans les fins débris végétaux tourbillonnant en eau claire que dans les plantes recouvrant des pierres au voisinage immédiat des sources. Nous ne les repérons pas dans des débris plus ou moins putréfiés, dans des feuilles pourrissantes (qui seraient un bon milieu pour des Assellidés). Ils ne sont caractéristiques d'aucun biotope mais seulement d'un faciès ou d'un habitat dépendant de la nature d'un dépôt éventuel. Ils n'ont rien à voir avec une éventuelle pollution du milieu. Pourtant, VERNEAUX les place assez bas, seulement dans la classe 3 de sa grille des 92 indicateurs répartis en 9 classes ou grades. Rhéophiles, ils sont aussi, pour nous, faiblement saprophiles, d'où le correctif de - 0,25.

Parmi les **Éphéméroptères**, les comportements sont très différents. Le cas des Baetidés, espèces potentiellement nageuses, est complexe. Tous sont placés au grade 2 dans la liste des 92 ou des 38. Mais leur saprophilie est à notre avis variable. Certes, les Cloeons de Provence affectionnent de faibles courants, voire des zones particulièrement lenticules, mais ça n'est pas le cas de *Baetis*, *Centropilum* ou *Siphonurus* dont la rhéophilie est remarquable. En haute montagne, certes plus ou moins cachés sous des galets, de nombreux individus nagent très activement dans le courant avant de se cacher de nouveau, mais sans s'enfouir. Ici, le malus de -0,25 nous paraît être suffisant. Mais il y a d'autres familles fouisseuses et plus nettement saprophiles ; et pourtant VERNEAUX attribue le grade 7 aux Éphéméridés (que nous

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

n'avons certes pas trouvés) et encore le grade 4 aux Éphémérellidés dont les larves (des nymphes ?) très plates sont pourtant très rhéophiles ; c'est confirmé par MELLANBY et autres, et nous leur attribuons un malus de -0,5, ce qui est peut-être excessif. Objectivement, il est bien difficile de connaître clairement le comportement *in situ* de ces Insectes, ce qui, cette fois, relativise notre jugement. Par opposition, le cas des Heptagénidés est sans équivoque, vu leur comportement prédateur en pleine eau (classe 7 de la liste des 92).

Quant aux **Plécoptères**, qui sont tous rhéophiles – à des degrés divers –, on envisage seulement une saprophilie pour les Leuctridés, lesquels peuvent être observés tout au long des ruisseaux étudiés ; pour nous, le malus doit être limité à -0,25 ; et le cas des autres Sétipalpes, les Némouridés, est sans doute équivoque car on les trouve en abondance en amont de l'épirhithron. Quant aux Filopalpes, tous prédateurs, ils atteignent aussi pour nous les grades supérieurs de la liste des 92.

C'est un peu plus compliqué pour les **Trichoptères**, qui ont fait l'objet de bien des études. La plupart des taxons sont rhéophiles. Mais chacun s'accorde à dire que les larves de Limnephilidés paraissent être assez fragiles, seulement protégées dans de minces fourreaux de nature diverse, souvent végétale, mais parfois sableux selon les espèces, et qui recherchent des portions lenticulaires et des plages calmes, même le long des torrents les plus violents (cas de l'Arc au niveau des rapides de Tralenta-Bonneval) ; ils sont modérément rhéophiles en aval de l'épirhithron, où ils consomment divers débris végétaux non décomposés. Un malus de -0,25 paraît être suffisant. D'ailleurs VERNEAUX qui les plaçait initialement en grade 3 pour l'IBGN, les place en 4 dans sa liste pour le Cb2. Le même malus -0,25 paraît aussi convenir pour les Hydropsychidés et les Polycentropidés que nous trouvons dans des courants vigoureux, seulement protégés par leurs fines toiles soyeuses où ils piègent divers débris, mais aussi de petites proies vivantes ou mortes. Quand on les observe *in situ*, on voit qu'ils ne méritent pas de dépréciation et surtout ce grade 3 des Hydropsychidés dans la liste des 92. Pour les Polycentropidés, le grade 6 de cette liste – meilleur que le grade 4 du système IBGN – est une confirmation du faible malus que nous leur attribuons (est-il même nécessaire ?).

Les larves d'**Odonates**, que nous avons seulement signalées dans le torrent provençal de Rancure, vivent toutes au contact du fond où elles bouleversent le sédiment fin pour passer inaperçues, mais sans s'enfouir. Aucune n'est véritablement rhéophile, même si toutes nagent très facilement et capturent des proies vivantes. Quatre familles sont en grade 5 pour le calcul de Cb2 et deux autres en grade 4. Pourtant, aucune n'est prise en compte dans la liste des 38 d'IBGN... Pourquoi ? Quoi qu'il en soit, nous attribuons le même malus -0,5 à au moins trois familles (sans préciser le cas des Cordulidés). Chez les Anisoptères, comme en Rancure, leur résistance à une température de l'eau plus élevée qu'en haute montagne, dépend-elle, même sur le fond, du vigoureux mode de respiration des larves qui profitent, là encore, de la très bonne oxygénation de l'eau ? Mais le cas des deux familles de Zygoptères est beaucoup plus complexe (comme le montrent des observations histologiques personnelles non encore publiées).

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

Le cas des **Coléoptères** ne manque pas d'intérêt. Chaque taxon a des larves dont les habitudes alimentaires et respiratoires sont originales. D'où leur localisation particulière dans l'échelle des 92. La technique IBGN les néglige. Ce que nous indiquons dans notre tableau ne peut être qu'une approximation. On doit donc quand même souligner trois cas de rhéophilie plus ou moins notables. En particulier les larves d'Elmidés sont aussi pourvues d'un très beau système de fines branchies tout le long du corps (G. CHAUVIN, <http://aramel.free.fr/INSECTES>) ; la vitesse du courant leur est indifférente.

Les **Hémiptères** ne sont représentés qu'en Haute-Provence. Et le cas, secondaire, des Népidés est à nos yeux fort original. Nulle n'est plus amateur de sable ou de vase que la larve ; elle se recouvre entièrement de sédiment fin, dans les zones lenticulaires les plus calmes, les moins profondes et, devenue invisible, elle respire l'air en surface grâce à un siphon, tout en guettant les proies vivantes. Un malus, même modeste, est-il utile ?

C'est bien différent pour les **Diptères**. Certes nous repérons quatre taxons rhéophiles. Mais Nématocères et Brachycères sont presque tous plus ou moins saprophiles et ont fait l'objet d'observations nombreuses. Observations souvent difficiles en milieu aquatique naturel mais généralement possibles en laboratoire durant de très courtes périodes et dans un « milieu » approximativement reconstitué. Quoiqu'il en soit, on peut accéder à quelques caractères portant sur la respiration – le besoin en oxygène dissous – ou la locomotion ; mais il est clair que tous les taxons sont les facteurs principaux de l'établissement de notre malus stationnel et du calcul du degré de vivacité ou de vigueur *Viv*. Prenons deux exemples bien distincts parmi les Nématocères. VERNEAUX attribue seulement le grade 1 aux Chironomides. Cela convient bien aux espèces enfouies, riches en hémoglobine (S.F. Chironominae), mais sans doute pas à d'autres sous-familles que nous avons déterminées dans les eaux vives de montagne et en Provence : Tanypodinae, g. *Tanypus*, Diamesinae ou Orthocladinae ; leurs larves, installées dans la végétation muscinale ou algale tissent des fourreaux soyeux très ténus. Et leur rhéophilie est soulignée par leur ondulation propre : le fourreau est parcouru par un courant ambiant toujours notable qui augmente l'apport de nourriture dû au milieu lui-même. Il est parfois revêtu de sédiment sableux très fin : cas de *Rheotanytarsus*. D'où notre malus limité à -0,25. Plus net encore, le cas des Simuliariidés, éminemment rhéophiles sont placés en grade 4 par VERNEAUX, en quelque sorte intermédiaires dans la liste des 92 ; GRENIER, en 1946, a montré que leur alimentation, essentiellement basée sur la capture de fins débris, de micro-organismes, de pollens et surtout de Diatomées est entièrement tributaire de la vigueur des courants et n'implique pas une pollution organique mais, au contraire, une excellente oxygénation (nos mesures le confirment) ; notre correctif -0,25 est sans doute encore trop important ; notons, si les conditions ne sont pas optimales, que les simulies se détachent de la pierre où elles se tiennent pour se fixer sur une autre où le courant est supérieur. Pour les autres Nématocères, il semble que le correctif de -0,5 puisse être basé sur leur recherche essentiellement alimentaire de fonds « vaseux » qui impliquent généralement une respiration aérienne périodique. Quant aux Brachycères, leur écologie est particulièrement complexe. Trois taxons

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

sont rhéophiles dont deux paraissent être modérément saprophiles alors que le troisième, les Empididés, est seulement présent dans une eau de bonne qualité ; VERNEAUX place ce dernier au niveau 7 de sa liste pour Cb2. Les autres taxons que nous avons observés impliquent un malus de -0,5 voire même -1 pour les Sciomiidés et surtout les Tabanidés, deux taxons fouisseurs en rive. Remarque : les Stratiomyidés dont les préférences alimentaires dépendent de l'espèce, mais qui tous respirent l'air en nature, sont certainement saprophiles à des degrés divers ; ceux que nous avons disséqués n'ont pas confirmé leur caractère prédateur éventuel...

À partir de ces bases qui nous ont conduits à la mise au point d'un nouveau système d'estimation de la vigueur ou vivacité de torrents et de ruisseaux à cours rapide, on peut mieux mesurer certains résultats obtenus ces dernières années par des spécialistes du peuplement benthique des rivières.

Remarquons que plusieurs chercheurs évoquent la notion de robustesse dans leurs écrits. Ainsi, pour BEAUGER (2008), travaillant sur le linéaire Loire, après calcul de l'IBGN, il y aurait un parallèle entre la richesse taxonomique totale N d'une station et la richesse taxonomique en EPT (Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) même si les effectifs en EPT sont deux fois inférieurs aux effectifs de l'ensemble des taxons. On peut aussi tenir compte des Coléoptères (EPTC). Le principe était déjà évoqué, mais non retenu, dans la thèse de VERNEAUX (1973). Par ailleurs, VIGIER (2009) en vient à dire que la robustesse du milieu peut être estimée en supprimant le premier, c'est-à-dire le meilleur groupe indicateur de la liste faunistique lors du calcul IBGN. On trouve aussi cette notion chez BOLOGNESI (FDP 70, 2012-2013).

Il nous semble que ces principes d'élimination vont à l'encontre de l'esprit écologique. Aussi, après avoir hésité, nous avons préféré nuancer d'une autre façon en analysant nos récoltes de manière raisonnée : on ne supprime rien, mais nous cherchons à tenir compte de la « valeur » relative, ou du poids, autrement dit de la signification qualitative écologique des taxons.

Tel qu'il est présenté, ce système simple, mais motivé, est lui aussi discutable. Mais le principe nous paraît solide et modulable si l'on repère et tient compte de taxons auparavant négligés (parmi les planaires ou les Oligochètes, voire les Crustacés...). Cela pourrait être affiné par de plus savants que nous.

Comme conséquence logique, si l'on établit, pour chaque station, un bonus, une valeur correspondant à l'ensemble des taxons plus ou moins rhéophiles, Rh , et si l'on soustrait le malus Sa qui est, localement, le reflet chiffré de la saprophilie estimée, on apporte une valeur Viv qui évoque, au plus près, le degré de vigueur ou de vivacité biologique d'un cours d'eau. Pour nous, cette valeur Viv est le complément indispensable de la note IBGN.

Un point nous paraît être essentiel : l'ensemble de nos 55 taxons « couvre » assez bien l'ensemble des taxons pris en compte par VERNEAUX pour son Cb2. Si l'on pointe, dans la liste des 92, les 55 taxons de notre étude, observés dans des conditions écologiques bien définies, bien délimitées, on s'aperçoit que près de la moitié d'entre eux – 20 – se répartissent dans les quatre meilleures cases de la liste

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

des bons indicateurs, de 9 à 6 ; 19 autres se trouvent dans les trois cases inférieures, de 5 à 3 ; auxquelles il faut ajouter 3 taxons faisant partie des cases 2 et 1 de la liste des 92. Cependant, 13 taxons que nous avons observés n'ont pas été comptabilisés parmi les 92 et, en particulier 5 taxons d'Oligochètes – plus ou moins saprophiles – et 8 taxons d'Insectes – plus ou moins saprophiles également (rappelons que les truites, par exemple, ne passent pas tout leur temps à gober les Insectes qui s'agitent en surface ou sont entraînés en pleine eau, mais qu'elles ne négligent pas les larves ou les adultes de taxons saprophiles qui déambulent en rive, parmi les fouillis radiculaires ou parmi les débris en transit, qu'il s'agisse de vers et autres « mouches », là où nous les prenons nous-mêmes, localement à la main, dans des trous).

En somme, mais plus discrètement que dans les systèmes EPT ou EPTC, il est clair que la liste des 92 minimise la prise en compte de taxons pouvant déprécier la valeur de l'indice Cb2. Le calcul de l'indice IBGN où l'on se base seulement sur une grille de 38 taxons « indicateurs » est paradoxalement plus équilibré – et surtout plus simple.

Nous pensons que la prise en compte de nos 55 taxons permet de considérer comme étant très significatif le calcul de *Viv* basé sur un ensemble très équilibré.

Soulignons les problèmes abordés en montagne. Compte tenu de nos observations et des limites que nous avons données à nos interprétations, il est possible de commenter certains résultats répondant à plusieurs intéressantes remarques de VERNEAUX.

Il faut dire que, dans un premier temps, sur la Valserine, rivière jurassienne au cours supérieur très vif, et en nous limitant au test IBGN, nous avons travaillé il y a quelques années dans un milieu rappelant ce que VERNEAUX et ses collaborateurs avaient pu observer dans les années 80 (JB et CBM ; public. en 2003).

Pourquoi travailler en montagne ? VERNEAUX l'envisageait, en particulier sur terrains cristallins.

Tout d'abord, il pensait que des analyses ne pouvaient pas être exploitables au niveau crénon-épirhitron. Idée reprise par GAY (2000). Pourtant, et compte tenu de ses observations dans le Jura, il estimait ensuite qu'il fallait travailler aussi à plus haute altitude, sur des terrains cristallins. Enfin, il pensait qu'il serait possible de mesurer les effets de l'élevage et d'éventuelles pollutions liées ou non à l'agriculture. Il nous l'a dit.

Les conditions de vie dans des ruisseaux montagnards bien distincts les uns des autres, nous paraissent devoir varier en fonction de situations inhérentes au biotope et de perturbations physico-chimiques éventuelles. Nous avons travaillé en Savoie : haute vallée du Ponturin, en Vanoise septentrionale, et Haute-Maurienne juste plus au Sud. Cette fois, il s'agissait de substrats essentiellement cristallins et très variés de par leur nature et leur origine. De plus, pour argumenter, il pouvait être utile de compléter avec l'étude de quelques autres sites choisis pour leur originalité.

En altitude, près des sources ou un peu en aval, les conditions de récolte de la faune étaient partout complexes, il fallait en convenir. En conséquence, il apparut

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

clairement qu'il serait difficile d'appliquer à la lettre le système IBGN. Près des sources (crénon) et dans l'épirhitron, l'abondance des pierres éboulées et charriées, celle des multiples cailloux polymorphes et de blocs plus ou moins volumineux, rendait la « normalisation » aléatoire. L'utilisation du troubleau était délicate, non homogène et celle du Surber encore plus, d'autant que nous considérions d'emblée que la récolte « au pied », qui prévaut depuis quelques années, était une méthode grossière, bien peu satisfaisante. Dans différentes stations, le fond ne comporte que de faibles surfaces de sédiment sablo-vaseux mêlées de graviers. Donc nous avons parlé d'IBGN « approché ». Nos prélèvements sont pourtant méthodiques et soutenus : pour chaque station, sur une longueur d'au moins 50 m, nous retournons les pierres, les blocs décimétriques en étudiant les faces et les fissures et fouillons à la main les graviers et le sable.

Nos résultats, appelés « IBGN approchés », *a priori* moins précis que ceux qui sont publiés suivant la méthode classique, aux rigueurs un peu décourageantes, évoquent pourtant ceux de VIGIER (2009) obtenus dans le massif du Mont Blanc pour des torrents et des ruisseaux à peu de distance des sources.

La nature cristalline de l'environnement géologique du cours d'eau et la nature minérale du fond ont-elles une influence claire sur la diversité faunistique ? Basés sur le pH de l'eau, nos relevés faunistiques ne permettent pas de constater une influence sensible de la nature géologique plus ou moins cristalline du terrain. Pourtant, nous avions initialement pensé que des eaux acides pouvaient influencer la répartition des groupes de macro-invertébrés observés, en particulier des Plécoptères. GUEROULD *et al.* (1991) avaient souligné l'importance de l'acidification d'un certain nombre de cours d'eau des Vosges. Ils constataient la régression ou la disparition d'espèces d'Éphéméroptères, de Trichoptères et surtout des taxons de Plécoptères Sétipalpes, disparition liée à l'acidité. Phénomène non remarqué par AUBERT (1963). En fait, ils ont conclu à un effet néfaste des pluies acides de plus en plus toxiques, entraînant des pH compris entre 4,6 et 5,6. AUBERT estimait en 1963 que les rivières des Vosges, sur un substratum acide, « étaient relativement peu altérées par l'Homme en altitude » (45 espèces de perles sur le massif). Mais les temps ont changé... Quoi qu'il en soit, pour nous, l'étude de la faune, même au niveau des familles, masque sans doute bien des désordres... Certes, en Haute-Maurienne le pH peut descendre à 5,5 et même à 5,34 dans l'Allier. On peut noter par ailleurs que les torrents d'altitude dont nous avons étudié des portions sur roches franchement cristallines acides s'écoulent aussi sur des schistes lustrés contenant localement des minéraux alcalins voire des cargneules qui tamponnent les milieux, ce qui limite l'acidité générale du substrat géologique. En somme, il y aurait bien des précisions à apporter si l'on voulait tenter d'établir une relation entre la faune et le pH local de l'eau...

Quelle peut être, par elle-même, l'influence de l'altitude ? En Haute-Savoie, VIGIER (2009) a effectué des prélèvements sur le Bon Nant et ses affluents, entre 2 700 m et son confluent avec l'Arve. Cette étude, très complexe mais très coûteuse, a été faite sans tenir compte de la nature géologique du substrat, ni du pH, ni de la présence vraisemblable d'un cheptel bovin, mais essentiellement en estimant

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

L'influence de la pente sur les possibilités d'installation des macro-Invertébrés et des truites. C'est la note IBGN qui a été utilisée, sans doute dans des conditions difficiles comme nous l'avons dit. Les notes sont bonnes ou assez médiocres (selon la pente ?), comprises entre 14 et 8,5. Certes, la dégradation est liée à la diminution de diversité totale des taxons les plus polluo-sensibles (ou peut-être leur remplacement par des taxons résistants ? Cela n'est pas dit). Il y a des variantes suivant les affluents. Les résultats ont sans doute paru insuffisants à l'auteur, car elle a entrepris le calcul de l'indice biogène, Cb2 (formule en annexe de notre texte). L'indice « nature » *In* correspond à une bonne ou très bonne qualité de l'eau [...], mais « l'hospitalité », *Iv* (indice lié au nombre de taxons), serait médiocre. Compte tenu de ces observations qui, telles quelles, ne nous paraissent pas faciles à interpréter, il n'est pas déraisonnable de réfléchir, comme nous l'avons fait, à l'introduction d'une notion simple dans l'estimation de l'IBGN, basée sur la recherche d'un rapport bonus-malus, notion plus simple que le calcul de Cb2 qui est basé sur des considérations complexes, sinon étonnantes. Il n'est pas question ici de discuter les multiples méthodes modernes, mais nous reviendrons en annexe sur certaines données de spécialistes.

Cela dit, le fait de « mettre en balance » des taxons rhéophiles et des taxons saprophiles permet d'introduire une valeur qui indique directement la qualité de l'eau, le degré de vigueur ou de vivacité. Nous ne désespérons pas de son utilité.

Ajoutons, sans insister, que l'emploi de nos méthodes pourrait (peut-être et même très vraisemblablement) venir en complément des résultats d'autres auteurs qui ont employé les techniques IBGN voire Cb2. On peut se demander quel serait le point de vue des spécialistes qui, ayant établi – et pour quelques-uns publié en détail – des relevés IBGN, voudraient bien « tester » l'application de notre système simple et déterminer des degrés de vigueur portant sur les cours d'eau, ruisseaux et fleuves qu'ils ont analysés. Apporteraient-ils des développements et lesquels ?

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)**Annexe 2****Réflexions concernant les tests modernes
destinés à évaluer la qualité d'une eau courante**

Quelques remarques portant sur des résultats présentés dans la littérature en utilisant le test IBGN – voire des variantes – et les tests Cb2 (coefficient d'aptitude biologique), MAG20 (analyse générique du macrobenthos sur 20 placettes ; pour une prospection fine de l'espace fluvial) et I2M2 (indice multimétrique ; dépend des pressions diverses, chimiques et autres). Nous avons pensé, dans un premier temps, qu'il était inutile de dire ici ce qui nous paraissait poser quelques problèmes dans les techniques post-IBGN. Mais la lecture de quelques publications plus ou moins récentes appelle des remarques.

Le test Cb2 est important

Le test Cb2, lancé par VERNEAUX (1982) a été rapidement considéré par cet auteur comme « trop compliqué ». Nous nous sommes demandé si la méthode de calcul ne faisait pas intervenir des critères par trop « délicats », basés sur la détermination de deux composantes d'accès inégal. Certes, la première correspond à la valeur taxonomique totale N (comme pour l'IBGN), mais pour l'autre composante, qui concerne les seuls taxons indicateurs, c'est la prise en compte d'une partie seulement des indicateurs qui peut poser un problème, lequel n'est pas explicité dans les textes de spécialistes. En effet, le calcul du Cb2 implique de « choisir » seulement le quart des meilleurs indicateurs. Qui plus est, le calcul final des deux composantes fait intervenir des coefficients. Ce qui peut apparaître un peu arbitraire aux yeux d'observateurs incomplètement rompus à ce qui pourrait passer pour des subtilités de calcul. Or, la détermination d'indices de qualité doit être simple, facile à interpréter puisqu'ils conduisent à préconiser ou non des protections écologiques essentielles voire à des alevinages. Travaux qui sont des préoccupations coûteuses pour des gestionnaires [Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) ; après adoption de la Directive Cadre sur l'Eau-DCE ; et, très directement, Fédérations de Pêche départementales – par ex. Fédération 74 et INRA de Thonon, pour VIGIER (2009) ; Fédération 01 pour GERET & BULLE (2010) – ou nationales].

Le texte de VIGIER (2009), déjà cité, est un exemple basé sur IBGN et Cb2. Le diagnostic permet de souligner plusieurs points utiles. Nous l'avons dit, en montagne, ses résultats IBGN sont comparables aux nôtres. Elle constate aussi que la détermination des indices Cb2 n'apporte rien de plus. Elle remarque, par contre, qu'ils soulignent le fait que la variété faunistique N dépend de la diversité de l'habitat. Nous sommes bien d'accord. Le « parallèle » des résultats indiciaires est aussi notable dans le travail de FIRMIGNAC *et col.* (2008) effectué sur le Cousin, ruisseau de tête de bassin du Parc du Morvan, où la présence des moules perlières *Margaritifera margaritifera* est intéressante.

Il y a deux techniques plus récentes, mais qui étaient pour nous hors de portée puisque nous avons effectué notre travail en « éclaireurs », en repérant seulement

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

les familles de macro-invertébrés pour déterminer des indices IBGN – et accessoirement Cb2 –, sans effectuer de relevés quantitatifs. Des méthodes intensives, réservées aux chercheurs constitués en équipes de spécialistes peuvent s'avérer payantes ; déjà en 1973, VERNEAUX avait insisté sur la nécessité de tels bataillons spécialisés. Nous nous limitons à quelques remarques sur l'indice MAG20 et sur l'indice I2M2

Le MAG20 correspondant aux travaux de l'Université de Franche-Comté, est un protocole qui permet une analyse semi-quantitative des communautés benthiques ; protocole décrit par DECOURCIÈRE (cf. TELEOS, 2000). Il s'agit d'obtenir « une prospection beaucoup plus fine de l'espace fluvial, etc. ». Si les modalités temporelles d'application paraissent classiques, le niveau de détermination de la faune au genre et à l'espèce implique néanmoins, pour certains taxons, une combinaison avec la limite taxonomique IBGN [...]. On pourrait attendre des avancées par application de cette méthode décrite comme semi-quantitative, mais les auteurs semblent dire qu'il faut tenir compte, par exemple, des diverses exigences écologiques des 28 espèces de Linnéphilidés répertoriées en Franche-Comté. Nous ne voyons pas comment ces auteurs envisagent de tirer parti d'une vaste « palette de nuances constituée par les variations d'abondance de chacun des 16 genres » de cette seule famille dont ils envisagent de définir avec précision les « exigences écologiques » ; même s'il faut convenir du fait que les principes de l'IBGN, basé sur la détermination à la famille, sont par opposition trop schématiques. D'autant que la même démarche devrait être faite pour les autres familles.

L'autre indice, I2M2, ou indice invertébrés multimétrique élaboré par les spécialistes de l'Université de Lorraine (ex : MONDY & USSEGLIO-POLATERA, 2011) est encore plus nettement hors de notre portée. Il est basé sur la récolte de 3X4 prélèvements par placette effectués selon la norme XPT90-388 ou, mieux, XPT90-333 adaptée aux rivières peu profondes (2009). Cet indice correspond à 5 « métriques » : l'indice de Shannon (impliquant du quantitatif total), la valeur de « l'Average Score par Taxon » de ARMITAGE *et al.* (1983), la fréquence des espèces polyvoltines, celle des ovovivipares (inutile pour nous) et la richesse taxonomique. Ce qui permettrait la possible prise en compte de « 10 catégories de pressions » sur la faune en relation avec la qualité physico-chimique de l'eau. Au moins quatre d'entre elles concernent des micropolluants, en particulier chimiques et même des HAP. Chacune des pressions étant effectivement notable dans les résultats présentés, il s'agit, pour ces auteurs, d'effectuer une sélection des métriques les plus pertinentes. Certes, on comprend bien que I2M2 apparaît beaucoup plus sensible que l'IBGN aux perturbations anthropiques. Mais ces raffinements ne pouvaient pas nous concerner, et les résultats présentés par MONDY & USSEGLIO-POLLATERA (2011) outrepassent de beaucoup nos modestes observations brutes de récolte. Notons que leurs « boîtes à moustaches » (boîtes de TUKEY) qui permettent de calculer l'écart à un état dit de référence, montrent que des perturbations dépendent essentiellement des composés phosphorés, des pesticides et des HAP, alors que les nitrates et autres micro-polluants organiques azotés ne sont pas des perturbateurs aussi néfastes. Voilà qui ne s'oppose pas à nos modestes déductions liées à la présence des bovins et de fumiers au voisinage de nos torrents et ruisseaux.

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

Annexe 3

Application du test Cb2 dans certains cas symptomatiques

Nous avons joué le jeu en déterminant des notes Cb2 concernant nos observations et nous allons commenter certains de nos résultats.

Pour Cb2, rappelons, d'abord, le principe de la formule qui permet d'évaluer la compétence biogène d'un cours d'eau qui, pour une station, héberge N taxons correspondant à la variété taxonomique totale, y compris ceux qui sont représentés dans la liste des 92 de VERNEAUX et qui ne seraient pas indiqués dans le système IBGN. N devient v pour le calcul... (ce qui pourrait entraîner confusion).

On connaît la formule brute telle qu'elle apparaît dans la littérature récente : $Cb2 = Iv + In$, où l'indice variété est Iv alors que l'indice nature In dépend de la qualité physicochimique de l'eau...

Il faut souligner que si Iv est directement « en rapport » avec N, variété taxonomique totale de la station, In est un choix (nous dirons négocié), considéré comme représentatif, du quart de tous les taxons indicateurs (d'un ensemble N, alias v, ou variété taxonomique totale) d'une station ; c'est un choix des meilleurs taxons.

Qui plus est, pour calculer les deux indices, les valeurs v et n sont affectées d'un coefficient qui nuance le système... (trop complexe selon VERNEAUX lui-même).

D'autres ont formulé cela autrement. Voici en quels termes REHANY & GROUBATCH (2007) définissent les calculs : « $Iv = 0,22 \times N$ et $In = 1,21 \times (\sum \text{imax} / K)$ où n est le nombre de taxons représentatifs, K étant une variable, fonction du rapport n/4 rapprochée à l'entier par excès et $\sum \text{Imax}$ équivaut à la somme des indices (I) les plus élevés, en fonction de la variable K ».

En bref, on peut traduire la méthode en analysant des tableaux présentés par FIRMIGNAC *et al.* qui concernent des prélèvements effectués en 2008 sur le Cousin (Morvan) : v (cf. N) est la variété taxonomique totale d'une station ; $Iv = N \times 0,22$ (c'est l'indice variété) et $In = n \times 1,21$ (c'est l'indice « nature »), n étant un choix parmi les 92 indicateurs de VERNEAUX d'une station, choix négocié au 1/4 des meilleurs indicateurs de la station. C'est clair, même si ce travail garde des ambiguïtés (cf. notions de choix et de coefficients).

Quoi qu'il en soit, nous nous demandons encore quelle est la pertinence de la règle du quart utilisée « mécaniquement » pour le calcul de Cb2. Dans quelle mesure cela peut-il dépendre de la sensibilité des taxons les moins tolérants vis-à-vis de la matière organique ?

C'est le texte de VIGIER (2009), déjà cité, lequel concerne un torrent de montagne, le Bon Nant, en Haute-Savoie ainsi que ses affluents, qui nous a poussés à calculer, à titre indicatif, l'indice Cb2 de plusieurs stations de montagne déjà étudiées dans notre travail avec le système IBGN ; nous préconisons quelques exemples qui résument notre réflexion sur la valeur indicative de Cb2 :

• **données Rancure Haute-Provence 1996**, avec IBGN approché 14/20. Calcul indice Cb2 : variété taxonomique totale $N = 23$, donc indice variété $Iv : 0,22 \times 23 = 5,06$; et 20 est le total taxons indicateurs dans la liste des 92 de VERNEAUX ; on en choisit le quart parmi les mieux classés, soit 5 ; donc l'indice « nature » $In : 5 \times 1,21 =$

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

6,05 ; l'indice Cb2 = 5,06 + 6,05 = 11,1/20. Il est juste convenable alors que notre degré de vigueur Viv est bon, 5,75. C'est déjà une nuance.

- **données Rancure Haute-Provence 2002**, avec IBGN 16/20 . Calcul indice Cb2 : variété taxonomique totale N = 32 ; indice variété Iv : $0,22 \times 32 = 7,04$; 25 est le total taxons indicateurs dans la liste des 92 de VERNEAUX ; on en choisit le quart parmi les mieux classés, soit 6 ; donc « indice nature », In : $6 \times 1,21 = 7,26$; l'indice Cb2 = $7,04 + 7,26 = 14,3/20$. Si la variété taxonomique est importante, comme ici, les valeurs IBGN et Cb2 sont bonnes. Et notre degré de vigueur, Viv, est maximal, 10,5, ce qui s'accorde bien avec IBGN.

- **données affluent rive droite Ponturin – D**, avec IBGN 15/20. Calcul Indice Cb2 : N = 22 ; indice variété Iv : $0,22 \times 22 = 4,84$; et total taxons indicateurs 16 ; choix du quart : 4 ; donc « indice nature », In : $4 \times 1,21 = 4,84$; Indice Cb2 = $4,84 + 4,84 = 9,68/20$. Dans ce cas, N est moins importante et la note Cb2 est à peine moyenne même si la note IBGN est bonne. Mais notre indice de vigueur est très convenable : Viv = 6, ce qui est bon pour le Ponturin où le maximum est seulement de 6,25 (en B). C'est une bonne tendance qui corrige très positivement Cb2 et modère discrètement IBGN. Elle est due à une certaine diversité des taxons et à un équilibre comportemental qui est propre à ce segment du torrent.

- **données affluent torrentiel rive gauche du Ponturin – E**, avec IBGN 13/20. Calcul Cb2 : N = 15, ce qui est modeste ; indice variété, Iv : $0,22 \times 15 = 3,3$; total taxons indicateurs 13, ce qui est modeste ; choix du quart : 3,5 ; indice nature In, $3,5 \times 1,21 = 4,2$; indice Cb2 = $3,3 + 4,3 = 7,6/20$, ce qui pourrait être alarmant : selon nous, si Cb2 est mauvais, cela semble être dû à la modestie de N et des indicateurs ; on note, par ailleurs, que le contingent de saprophiles est proportionnellement faible, ce qui nous donne un indice de vivacité, Viv atteignant le maximum pour la vallée du Ponturin : 6,75. Donc, avec notre système, il semble bien qu'un mauvais Cb2 ne soit pas un signe « d'alerte » suffisant.

Les trois exemples qui suivent sont présentés en bref, avec de bons ou assez bons Viv.

- **données sources de l'Arc – A**, avec IBGN 12/20. Calcul Cb2 : N = 10 avec total taxons indicateurs 10 ; choix du quart : 2,5 ; indice Cb2 = $5,2/20$. N étant faible, Cb2 est très mauvais ; pourtant le contingent de saprophiles est très faible ; et Viv atteint 5,25, ce qui est convenable pour la vallée de l'Arc ; comme dans le cas précédent, le très mauvais Cb2 n'est pas un signe d'alerte suffisant.

- **données rive gauche de l'Arc, torrent du Vallonet-Chalaçon – E**, avec IBGN 13/20. Calcul Cb2 : N = 13 ; total taxons indicateurs 12 ; choix du quart : 3 ; indice Cb2 = $6/20$, très mauvais. Suivant l'estimation du contingent de saprophiles, assez faible, Viv atteint 4,75, ce qui est convenable pour l'Arc, comme l'IBGN approché, alors que l'indice Cb2, franchement mauvais, n'est pas un signal d'alerte suffisant.

- **données sources Allier 2000**, avec IBGN 15/20. Calcul Cb2 : N = 21 ; total taxons indicateurs 17 ; choix du quart : 4 ; indice Cb2 = $10/20$, valeur moyenne, apparemment « inquiétante » par rapport à IBGN. Mais Viv atteint 6,75, ce qui est bon et dépend du faible contingent de saprophiles. Et, pour nous, Cb2, pris isolément, n'est pas suffisant (confirmation en 2012).

Bulletin de la Société zoologique de France 141 (4)

RÉFÉRENCES

- ARMITAGE, P.D., MOSS, D., WRIGHT, J.F. & FURSE, M.T. (1983).- The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unrunning-water sites. *Water Res.*, **17** (3), 333-347.
- AUBERT, J. (1963).- Les Plécoptères des Vosges. *Assoc. Philomatique Alsace-Lorraine (Centenaire)*, 287-292.
- BEAUGER, A. (2008).- *Bioévaluation de la qualité de l'eau : établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié, basé sur la collecte des macro-invertébrés benthiques sur les seuils des rives à charge de fond graveleuse*. Doctorat Univ. Auvergne, Blaise Pascal, Écologie (Loire-Allier), 151 p et annexes.
- BERTRAND, H. (1954).- *Les Insectes aquatiques d'Europe*. Vol. II, *Les Diptères*. P. Lechevalier Éd., 547 p., 14-27.
- BOLOGNESI, B. (2012).- À Fougerolles, suivi après travaux/reconnexion du ruisseau des Cerisiers à l'Augronne. *Fédérat. Départ. de Pêche*, 70, 12 p. (rubrique 15-11-2013).
- BOUCHARD, J. & BOUCHARD-MADRELLE, C. (2002).- Quelques facteurs d'instabilité dans une vallée de Haute-Provence - Leurs effets sur la diversité faunistique observée durant 25 ans. *Bull. Soc. Linn. Provence*, **53**, 45-58.
- BOUCHARD, J. & BOUCHARD-MADRELLE, C. (2003).- Diversité faunistique et pollutions dans des cours d'eau du Haut-Jura. *Bull. Soc. zool. de France*, **128** (3), 201-226.
- CHAUVIN, G. (2014).- *Les larves aquatiques d'Insectes*. *Cours Insectes 32 bis*. <http://aramel.free.fr/INSECTES32bis.shtml>.
- CHINERY, M. (1988).- *Insectes de France et d'Europe occidentale*. Paris, Arthaud Éd., 320 p.
- DECOURCIÈRE, H., DEGIORGI, F. (non daté).- Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques : le MAG20. *Note technique interne, TELEOS et LBE*, Univ. de Franche-Comté.
- FIRMIGNAC, F., LASCAUX, J.M. & VANDEWALLE, F. (2008).- *Analyse des peuplements de macro-invertébrés benthiques sur les stations à moules perlières (Margaritifera margaritifera) du Cousin. Ruisseaux de tête de bassins et faune patrimoniale associée*. Parc National du Morvan, site Natura 2000 -FR 2600992, 67 p.
- GARNETT, W.J. (1953).- *Freshwater microscopy*. London, Constable & Co. Ltd, 300 p.
- GAY, C. (2000).- Indice biologique global normalisé. NF-T90-350. Guide technique. *Agences de l'eau* (2^e édition), 36 p.
- GENIN, B., CHAUVIN, C. & MÉNARD, F. (1997).- *Cours d'eau et indices biologiques. Pollutions-Méthodes-IBGN*. Dijon, ENESAD-CINERTA Éd., 194 p.
- GERET, C. & BULLE, B. (2010).- Étude hydrobiologique du Furans. *Rapport d'Étude de Fédér. Départ. de Pêche de l'Ain*, 86 p.
- GIUDICELLI, J. (1971).- Monographie du genre *Thremma*, Trichoptera, Thremmatidae. *Ann. de Limnologie*, **7** (1), 125-139.
- GRENIER, P. (1946).- La vie aquatique des larves et nymphes de Simulidés. L'intérêt possible de ces Diptères en économie piscicole. *Bull. Fr. Piscic.*, **142**, 15-20.
- GUEROLD, F., VEIN, D. & JACQUEMIN, G. (1991).- Les peuplements d'Éphéméroptères, de Plécoptères et de Trichoptères des ruisseaux acides et non acides du massif vosgien : première approche. *Revue des Sciences de l'eau*, **4**, 299-314.
- GUILLOT, F. (1982).- *La vallée du Ponturin (Vanoise septentrionale, Alpes françaises)*. DEA Géologie dynamique et pratique. Univ. Sc. Techn., Lille, 45 p.

Un nouveau critère pour le calcul des indices biologiques

- ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. (1963).- Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. Int. Verein. theor. Angew. Limnol.*, **12**, 1-57.
- JACQUEMART, S. & COINEAU, Y. (1966).- À propos de *Thremma gallicum* Mac Ladelan (Trichoptera). *Bull. Institut Royal Sci. Nat. Belg.*, **42** (17), 1-14.
- MELLANBY, H. (1956).- *Animal life in fresh water*. Methuen & Co. LTD ed., London, 296 p.
- MOISAN, J., GAGNON, E., PELLETIER, L. & PIEDBOEUF, N. (2008 ; Bibli. et Arch. Nat. Québec, publié en 2013).- *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds*. Minist. Développ. Durable, Environnement et Parcs, ISBN (PDF), 88 p. incluant 6 annexes.
- MONDY, C. & USSEGLIO-POLATERA, P. (2011).- *Développement et optimisation de l'indice invertébrés multimétrique (I2M2) pour les cours d'eau*. Rapport technique, Univ. de Lorraine, 129 p.
- OLSEN, L.H., SUNESEN, J. & PEDERSEN, B.V. (2000).- *Les petits animaux des lacs et rivières*. Lausanne-Paris, Delachaux et Niestlé Éd., 230 p.
- PAULIAN, R. (1990).- *Atlas des larves d'Insectes de France*. Paris, Boubée Éd., 222 p.
- REHANY, S. & GROUBATCH, T. (2007).- *Diagnose écologique de deux affluents du Doubs franco-suisse et de leurs bassins versants*. Master 2, Syst. Aquat. et bassins versants. UFC (Univ. Fr. Comté), 79 p + annexes.
- SEGUY, E. (1937).- Les Diptères (216 p.) in Perrier R., *La faune de France*, Paris, Delagrave Éd.
- TACHET, H., BOURNAUD, M. & RICHOUX, P. (1980).- *Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces : systématique élémentaire et aperçu écologique*. Biologie animale et écologie. Assoc. Franç. Limnologie ; Ministère Environ. ; Comité eau / Villeurbanne – Univ. Lyon I.
- TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. & USEGLIO-POLATERA, P. (2010).- *Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie*. CNRS Éd., 590 p.
- VERNEAUX, J. (1973).- *Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie*. Thèse d'Etat, Besançon, CTGREF (Centre technique du génie rural des eaux et forêts), 257 p.
- VERNEAUX, J. (1982).- *Expression biologique qualitative et pratique de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique. Un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2. Protocole expérimental*. Trav. Lab. Hydrobiol. Univ. Fr.-Comté, Besançon, 19 p.
- VIGIER, L. (2009).- *Diagnostic de la qualité du milieu aquatique et des peuplements piscicoles sur le bassin versant du Bon Nant (Hte Savoie)*. Rapport FDP 74. 09/ 04. 78 p. et annexes.

(reçu le 16/10/2016 ; accepté le 25/01/2017)