

Étude de la macrofaune aquatique benthique dans les sites d'alimentation hivernale du Cincle plongeur (*Cinclus cinclus*), sur la rivière du Chéran, au cœur du Parc Naturel Régional du Massif des Bauges (73-74)

Par **Cédric JACQUIER** (c.jacquier.espaces.naturels@gmail.com)
Avec la collaboration de : Pascal MIGUET et Stéphane BARBIER

Contexte de l'étude

Dans le cadre d'un suivi pluriannuel mené sur le Cincle plongeur par Pascal MIGUET, et commandité par le Parc Naturel Régional du Massif des Bauges, une réflexion a été engagée sur la relation entre la densité des individus de cette espèce et les communautés de macrofaune aquatique benthique, assurant leur cycle larvaire sur les sites de nourrissage hivernal du Cincle plongeur.

Cette étude a été réalisée en 2006, grâce au réseau des naturalistes du PNR du Massif des Bauges.



1. Localisation des tronçons étudiés

La présente étude a été menée au cœur du massif des Bauges, dans la partie sud-ouest du département de la Savoie, sur la rivière torrentielle du Chéran, sous-affluent du Rhône. Ce cours d'eau, dont le débit n'est pas régulé (aucune production hydroélectrique), possède un régime pluvio-nival mais est aussi alimenté par les eaux issues du massif karstique (eaux calcaires). Désormais labellisé « rivière sauvage », le Chéran possède un bon état écologique.

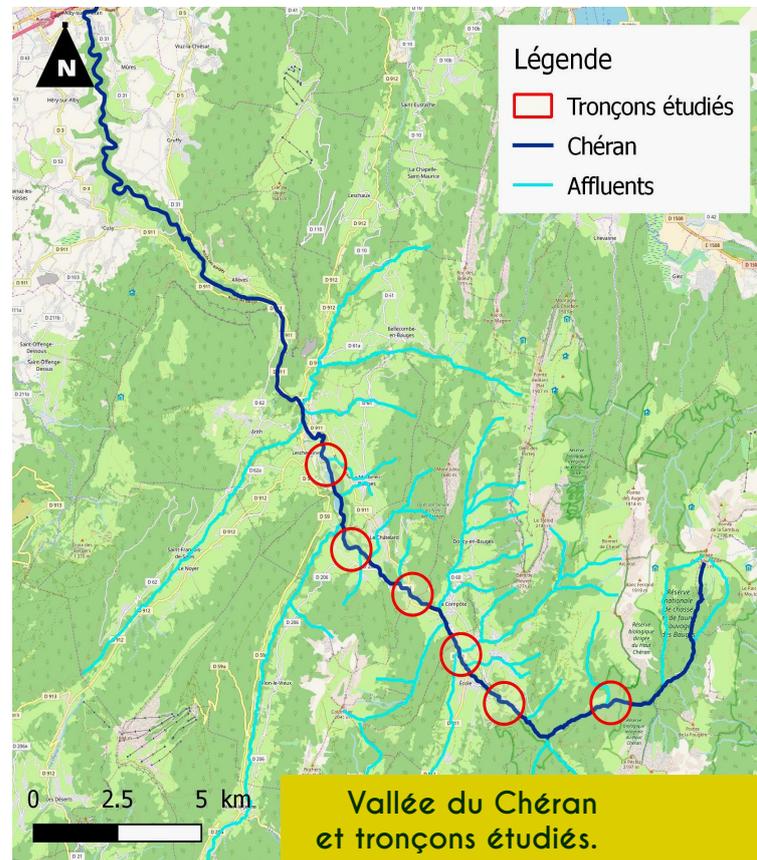
Le régime alimentaire du Cincle a été analysé sur la partie amont du Chéran (d'École jusqu'à Lescheraines) sur 6 tronçons.

2. Écologie du Cincle plongeur

De la famille des Cinclidae, le Cincle plongeur (*Cinclus cinclus*) est l'espèce typique des cours d'eau de moyenne montagne, bien oxygénés, exempts de pollution (ORMEROD & TYLER, 2005) et présentant une forte diversité granulométrique (BOITIER, 1998).

C'est l'unique passereau plongeur et nageur du paléarctique occidental (GÉROUDET, 2010). Il se nourrit, au fond de l'eau, d'espèces de la macrofaune aquatique benthique (ensemble des larves et/ou des adultes d'insectes, de vers, de mollusques et de crustacés peuplant le fond des rivières).

L'alimentation du Cincle plongeur est principalement composée de larves de Trichoptères, de Plécoptères, d'Éphéméroptères, de Crustacés et de petits poissons (ORMEROD & TYLER, 2005). Ce régime alimentaire dépend de l'âge des individus. En effet, les jeunes oisillons sont essentiellement nourris de larves de *Baetis* spp. (Éphéméroptère), puis alimentés avec les larves de Limnephilidae



et Hydropsychidae (Trichoptère) en grandissant.

Les cincles deviennent plus opportunistes dans le choix de leurs proies en hiver pour les adultes, ou après le sevrage pour les juvéniles (ORMEROD & TYLER, 2005). Ils élargissent ainsi leur régime alimentaire aux proies plus petites, telles que les larves de Baetidae (Éphéméroptère) et de Simuliidae (Diptère).

3. Objectifs de l'étude

L'objectif initial de cette étude correspondait à dresser l'inventaire des communautés de la macrofaune aquatique sur les différents sites favorables à l'alimentation hivernale du Cincle plongeur, sur les tronçons du Chéran suivis par Pascal MIGUET en 2006.

Ce travail se poursuit par une réflexion sur les hypothèses de corrélation entre la densité des effectifs hivernaux de Cincle et celle des communautés macrofaunistiques aquatiques (et leurs affinités écologiques associées), sur les tronçons inventoriés.

Matériels et méthodes

1. Description des tronçons étudiés

Dans la présente étude, chaque tronçon de cours d'eau est défini comme une localisation géographique précise sur laquelle se nourrit une population de cincles en saison hivernale.

Le suivi des couples de Cincle plongeur était réalisé par Pascal MIGUET, sur 12 tronçons. Sur l'ensemble de ces tronçons de suivi, 6 sites ont été retenus pour y effectuer :

- la capture, le comptage puis le relâcher des individus de Cincle plongeur ;
- une collecte des pelotes de réjection ;
- des prélèvements (IBGN) de la macrofaune aquatique benthique.

2. Capture des Cincles plongeurs

Les captures ainsi que le comptage des cincles ont été réalisés par Pascal MIGUET (février 2006).

3. Collecte des pelotes de réjection des Cincles plongeurs

Les pelotes de réjection ont été récupérées par Pascal MIGUET (février 2006).

4. Prélèvements de la macrofaune aquatique benthique

Les prélèvements ont été réalisés par Pascal MIGUET (février 2006).

La technique d'échantillonnage s'inspire des méthodes de prélèvement de l'IBGN (Indice Biologique Général Normalisé). Cette méthode normalisée (NF T 90-350) permet d'évaluer l'aptitude globale du milieu au développement de la macrofaune aquatique et d'exprimer ainsi la qualité écologique générale du cours d'eau (les

organismes, vivant dans le cours d'eau, intègrent de façon permanente les conditions du milieu).

Les prélèvements ont été effectués avec un filet fabriqué (de mailles de 0,5 mm) correspondant au type SURBER.

Sur chacun des 6 tronçons étudiés, les prélèvements de la macrofaune benthique ont été réalisés dans le cours d'eau, sur les faciès hydrauliques et géomorphologiques typiques des zones de nourrissage des cincles. Ensuite, les individus de la macrofaune récoltés ont été fixés dans de l'alcool dilué.

5. Tri et détermination de la macrofaune aquatique

Le tri et la détermination faunistique ont été réalisés par Cédric JACQUIER, bénévole du réseau du PNR du massif des Bauges.

La classification des êtres vivants est organisée hiérarchiquement : les espèces sont regroupées en embranchements, eux-mêmes regroupés en classes puis en ordres, ces derniers déclinés en familles puis en genres. La détermination commence au niveau de l'embranchement et procède progressivement vers des niveaux de plus en plus fins.

Le niveau de détermination retenu pour la présente étude est la famille (unité taxonomique), à l'exception de quelques groupes faunistiques où la détermination s'arrête à la classe ou à l'ordre (pour les Oligochètes et les Hydracariens).

Les échantillons, conditionnés sur le terrain, subissent un tri différentiel, à l'aide d'une colonne de tamis de différentes mailles, qui permet d'extraire totalement la faune du substrat.

Un premier tri, effectué à l'œil nu, dans des bacs en plastique, permet de séparer et donc de différencier les grands groupes

faunistiques. Chaque individu appartenant au même groupe faunistique (famille, classe ou embranchement) est stocké dans une boîte de Pétri.

Par la suite, chacune des boîtes de Pétri est alors observée à la loupe binoculaire afin d'identifier puis de dénombrer les différents taxons de la macrofaune aquatique (comptage des formes larvaires, nymphales ou adultes si ce stade a une vie immergée).

La clé de détermination retenue pour l'identification de la macrofaune, correspond à l'ouvrage « Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie » de Henri TACHET *et al.* (2000).

Cette étape permet alors de dresser une liste faunistique pour les 6 tronçons étudiés.

6. Interprétation des affinités écologiques de la macrofaune aquatique

Les traits biologiques et écologiques ont été extraits des tableaux de données de l'ouvrage de TACHET *et al.*, précisant les affinités de chaque taxon (ou groupe faunistique) par des coefficients de pondération.

Les traits biologiques et écologiques, utilisés dans la présente étude sont renseignés ci-dessous :

- **Nombre de générations par année**
 - inférieur à 1 ;
 - égal à 1 ;
 - supérieur à 1 .
- **Affinités thermiques :**
 - sténotherme psychophile : être vivant présentant une faible tolérance aux variations de température, se développant dans des eaux inférieures à 15°C ;
 - sténotherme thermophile : être

vivant présentant une faible tolérance aux variations de température et se développant dans des eaux supérieures à 15°C ;

- eurytherme : êtres vivants présentant un intervalle de tolérance élevée aux variations de température.

- **Affinités hydrauliques :**

- courant nul : inférieure à 2 cm/s ;
- courant lent : de 2 à 25 cm/s ;
- courant moyen : de 25 à 75 cm/s ;
- courant fort : supérieure à 75 cm/s.

- **Affinités trophiques :**

- oligotrophe : milieu aquatique pauvre en éléments minéraux nutritifs ;
- mésotrophe : milieu dont la teneur en éléments est de valeur moyenne ;
- eutrophe : milieu riche en sels minéraux nutritifs (nitrates et phosphates notamment).

- **Régime alimentaire :**

- limnivore : nourriture constituée de débris organiques contenus dans le limon ;
- saprophage (= détritivore) : régime alimentaire à base d'éléments d'origine végétale ou animale déjà transformés ou en voie de décomposition ;
- phytophage (= herbivore) : nourriture constituée de végétaux vivants (micro et macrophytes) ;
- nécrophage : nourriture constituée d'organismes animaux morts ;
- zoophage : régime alimentaire constitué d'animaux vivants (micro et macro-invertébrés).

- **Mode de déplacements :**

- vol ;
- nage ;
- reptation ;
- enfouissement ;
- fixation.

- **Habitats préférentiels :**

- dalles, blocs, galets : granulométrie supérieure à 20 centimètres ;

- graviers : granulométrie comprise entre 2 centimètres et 2 millimètres ;
 - sable : granulométrie comprise entre 2 millimètres et 20 micromètres ;
 - limon : granulométrie inférieure à 20 micromètres (vase compris) ;
 - microphytes : ensemble des plantes aquatiques microscopiques (= végétaux minuscules composés d'une ou quelques cellules) ;
 - macrophytes : ensemble des plantes aquatiques macroscopiques (= végétaux composés de nombreuses cellules) dont les algues filamenteuses ;
 - litière ;
 - branches et racines.
- **Résistance à la pollution :**
 - xénosaprobe : espèce très sensible à la pollution ;
 - oligosaprobe : espèce faiblement polluo-résistante ;
 - β-mésosaprobe : espèce relativement polluo-résistante ;
 - α-mésosaprobe : espèce polluo-résistante ;
 - polysaprobe : espèce très polluo-résistante.

7. Calculs des variables biotiques de la macrofaune aquatique

Les variables biotiques ont été calculées par Stéphane BARBIER, docteur en écologie. Les variables biotiques représentent les caractéristiques biologiques internes des communautés animales aquatiques se développant sur les différents tronçons :

- **Richesse taxonomique (RT)** : nombre de taxons (= familles dans le cadre de cette étude) dans chaque groupe faunistique (ordre, classe ou embranchement) ; selon RAMADE (1984), elle représente l'un des paramètres fondamentaux caractéristiques d'un peuplement.

- **Abondance des ordres (Abo)** : nombre d'individus dans chaque ordre.
- **Abondance des familles (AbF)** : nombre d'individus dans chaque famille (plus celle des Oligochètes et Hydracariens, non identifiés à la famille) .
- **Diversité de Shannon (H')** : nombre d'individus de chaque taxon dans chaque ordre. Cet indice de diversité correspond à la résultante de 2 paramètres biotiques : la richesse taxonomique et la régularité (ou équitabilité) de la distribution des taxons. Il mesure ainsi le degré d'équirépartition des individus dans les différents taxons. Selon RAMADE (1984), c'est un indice qui permet d'évaluer la diversité réelle d'un peuplement dans un biotope.

Pour chaque taxon, la diversité de Shannon s'exprime selon le calcul suivant :

$$H' = [-\sum (p_i \times \log_2(p_i))],$$

où p_i représente la fréquence du taxon i dans le prélèvement concerné.

La diversité de Shannon totale (pour chacun des sites échantillonnés) se calcule de la manière suivante :

$$H'_{\text{totale}} = [-\sum (p_i \times \log_2(p_i)_{\text{tot}})]. .$$

8. Analyses statistiques entre le Cincle et la macrofaune aquatique

Le traitement statistique a été réalisé par Stéphane BARBIER, docteur en écologie.

Cette analyse statistique permet de dresser des hypothèses de corrélation entre le Cincle plongeur (effectifs et densité d'individus) et les communautés de la macrofaune aquatique benthique (variables biotiques / affinités biologiques et écologiques).

La méthodologie retenue pour le calcul des coefficients de corrélations utilise le

coefficient de Pearson (corrélation linéaire), réalisé avec les programmes Excel puis S-Plus.

Dans ce type de calcul de corrélation, une valeur seuil est choisie arbitrairement afin de connaître si la corrélation est significative ou non. Les seuils de corrélation, choisis de manière arbitraire, sont les suivants :

- [0,75] pour les variables biotiques,
- [0,75] pour les affinités biologiques et écologiques de la macrofaune.

Plus la valeur de corrélation calculée tend vers [1] (entre les effectifs des cinctes et un paramètre choisi), plus la corrélation peut être considérée comme importante. Les valeurs de corrélation inférieures au seuil choisi sont écartées car non-significatives pour suspecter une relation entre la variable concernée et les effectifs de cinctes.

Synthétiquement, un coefficient de corrélation élevé (0,90 par exemple) laisse supposer qu'il existe une forte relation linéaire entre effectif de cinctes et la variable choisie. Par ailleurs, un coefficient de corrélation négatif mais fort en valeur absolue (-0,87 par exemple) laisse supposer qu'il y a une forte relation linéaire négative entre l'effectif de cinctes et la variable analysée. Un coefficient de corrélation faible en valeur absolue (entre -0,5 et 0,5 par exemple) laisse supposer qu'il n'y a pas de lien entre l'effectif de cinctes et la variable analysée.

Il est cependant nécessaire de rester prudent par rapport à ce type de calcul via le coefficient de corrélation de Pearson. En effet, étant donné la faible quantité de tronçons échantillonnés, les corrélations ne peuvent rester qu'au stade de la supposition.

Néanmoins, une hypothèse sera d'autant plus justifiée et d'autant plus probable que

le coefficient de corrélation sera élevé. Pour pouvoir affirmer la supposition, il aurait fallu effectuer un test de significativité des coefficients de corrélations, irréalisable actuellement avec si peu de données.

Résultats

1. Dénombrement des cinctes

Le nombre de cinctes capturés (**Figure 1**) est compris entre 9 et 16 individus, hormis le site 6 sur lequel aucun cincte n'a été recensé.

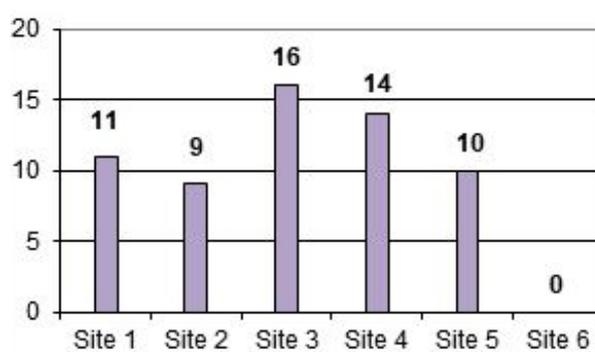


Figure 1.
Nombre de cinctes capturés sur les tronçons étudiés.

2. Détermination des pelotes de réjection des cinctes plongeurs

Quatre pelotes de réjection ont été récoltées lors de la phase de terrain. Après dissection, les restes chitineux de la macrofaune aquatique n'ont pu être identifiés de manière précise, aussi bien d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Cette analyse n'a donc pas été utilisée dans la suite de l'étude.

Tableau 1. Liste faunistique des tronçons étudiés.

	Tronçons étudiés	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
	Effectif de cincles	11	9	16	14	10	0
ORDRE	PLÉCOPTÈRES	16	47	39	69	214	94
Famille	Leuctridae	10	36	12	28	5	4
Famille	Nemouridae	2	6	11	30	131	31
Famille	Perlidae	1	1	0	0	1	1
Famille	Perlodidae	3	2	2	5	17	4
Famille	Taeniopterygidae	0	2	14	6	60	54
ORDRE	TRICHOPTÈRES	5	47	33	7	96	27
Famille	Glossosomatidae	0	1	2	0	31	18
Famille	Hydropsychidae	1	0	1	3	6	3
Famille	Limnephilidae	0	35	18	1	45	0
Famille	Odontoceridae	0	1	0	0	0	0
Famille	Polycentropodidae	0	1	0	0	0	0
Famille	Psychomyidae	1	0	0	0	0	0
Famille	Rhyacophilidae	0	1	3	0	2	3
Famille	Sericostomatidae	3	8	8	3	12	3
Famille	Thremmatidae	0	0	1	0	0	0
ORDRE	ÉPHÉMÉROPTÈRES	233	188	242	229	170	105
Famille	Baetidae	175	118	228	146	66	29
Famille	Heptageniidae	58	68	14	83	92	67
Famille	Leptophlebiidae	0	2	0	0	12	9
ORDRE	COLÉOPTÈRES	1	3	0	4	2	7
Famille	Elmidae	1	1	0	1	0	5
Famille	Hydraenidae	0	2	0	3	2	2
ORDRE	DIPTÈRES	13	10	61	28	10	44
Famille	Athericidae	1	0	1	1	5	3
Famille	Blephariceridae	0	0	0	0	0	3
Famille	Ceratopogonidae	0	0	1	0	0	0
Famille	Chironomidae	8	7	33	20	1	1
Famille	Empididae	0	1	1	1	0	0
Famille	Limonidae	4	2	4	5	0	2
Famille	Psychodidae	0	0	2	0	0	0
Famille	Simuliidae	0	0	18	1	4	35
Famille	Stratomyidae	0	0	1	0	0	0
ORDRE	AMPHIPODES	9	25	94	103	1	2
Famille	Gammaridae	9	25	94	103	1	2
CLASSE	BIVALVES	0	0	2	0	0	0
Famille	Sphaeriidae	0	0	2	0	0	0
CLASSE	GASTÉROPODES	0	1	2	0	1	0
Famille	Limnaeidae	0	0	2	0	0	0
Famille	Valvatidae	0	1	0	0	1	0
CLASSE	OLIGOCHÈTES	4	23	45	66	40	23
EMBRANCHT	TRICLADES	0	5	1	12	2	0
Famille	Dugesiidae	0	2	1	0	0	0
Famille	Planariidae	0	3	0	12	2	0
CLASSE	HYDRACARIENS	0	0	1	1	0	0
Abondance totale		281	349	520	519	536	302
Nombre d'ordres		7	9	9	8	9	7
Richesse taxonomique		15	24	25	19	21	21

3. Analyse de la richesse taxonomique (RT) et de l'abondance des ordres (AbO) de la macrofaune

Les différents tronçons étudiés montrent un effectif de la macrofaune aquatique compris entre 281 et 536 taxons (**Tableau 1** en page précédente), respectivement répartis dans 7 à 9 ordres, pour une richesse taxonomique variant de 15 à 21 familles. Les tronçons 2, 3 et 5 présentent le plus grand nombre d'ordres, contrairement aux sites 1 et 6 possédant l'effectif minimal.

Une analyse a été menée sur l'abondance des ordres (AbO) possédant les plus fortes densités taxonomiques, excluant ainsi les groupes des Coléoptères, des Bivalves, des Gastéropodes et des Tricladés (**Figures 3 et 4**). La macrofaune du tronçon 1 est majoritairement représentée par l'ordre des Éphéméroptères (233 individus, soit 83 % du peuplement total).

Les communautés du site 2 sont dominées par l'ordre des Éphéméroptères (188 ind.), des Plécoptères (47 ind.) et des Trichoptères (47), correspondant à 80 % du peuplement.

Le tronçon 3 (16 cinctes) est dominé par l'ordre des Éphéméroptères (242 ind.) puis composé par les Amphipodes (94 ind.) et les Diptères (61 ind.), soit 76 % du peuplement.

La macrofaune du tronçon 4 est représentée par l'ordre des Éphéméroptères (229 ind.), des Plécoptères (69 ind.), des Amphipodes (103 ind.) et des Oligochètes (66 ind.), soit 90 % du peuplement total.

Les communautés du site 5 sont co-dominées par l'ordre des Éphéméroptères (170 ind.) et des Plécoptères (214 ind.), puis par les Trichoptères (96 ind.), correspondant à 90 % du peuplement total.

La macrofaune du tronçon 6, sur lequel aucun cincte n'a été recensé, est composée par l'ordre des Éphéméroptères (105 ind.),

des Plécoptères (94 ind.) et des Diptères (44 ind.), soit 90 % du peuplement total. La comparaison des effectifs de cincte et de la macrofaune est exposée dans la **Figure 2**.

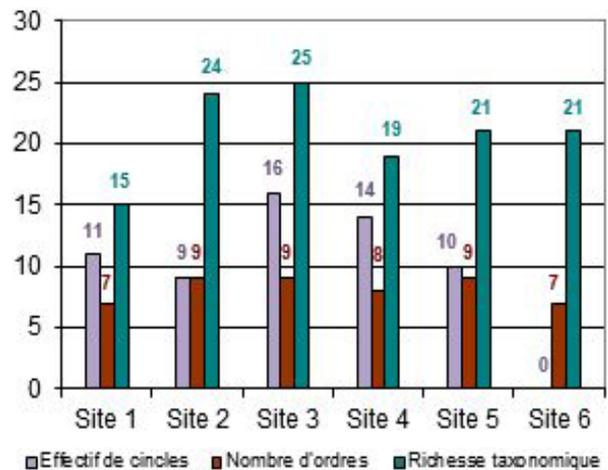


Figure 2. Comparaison des effectifs de cincte et de macrofaune.



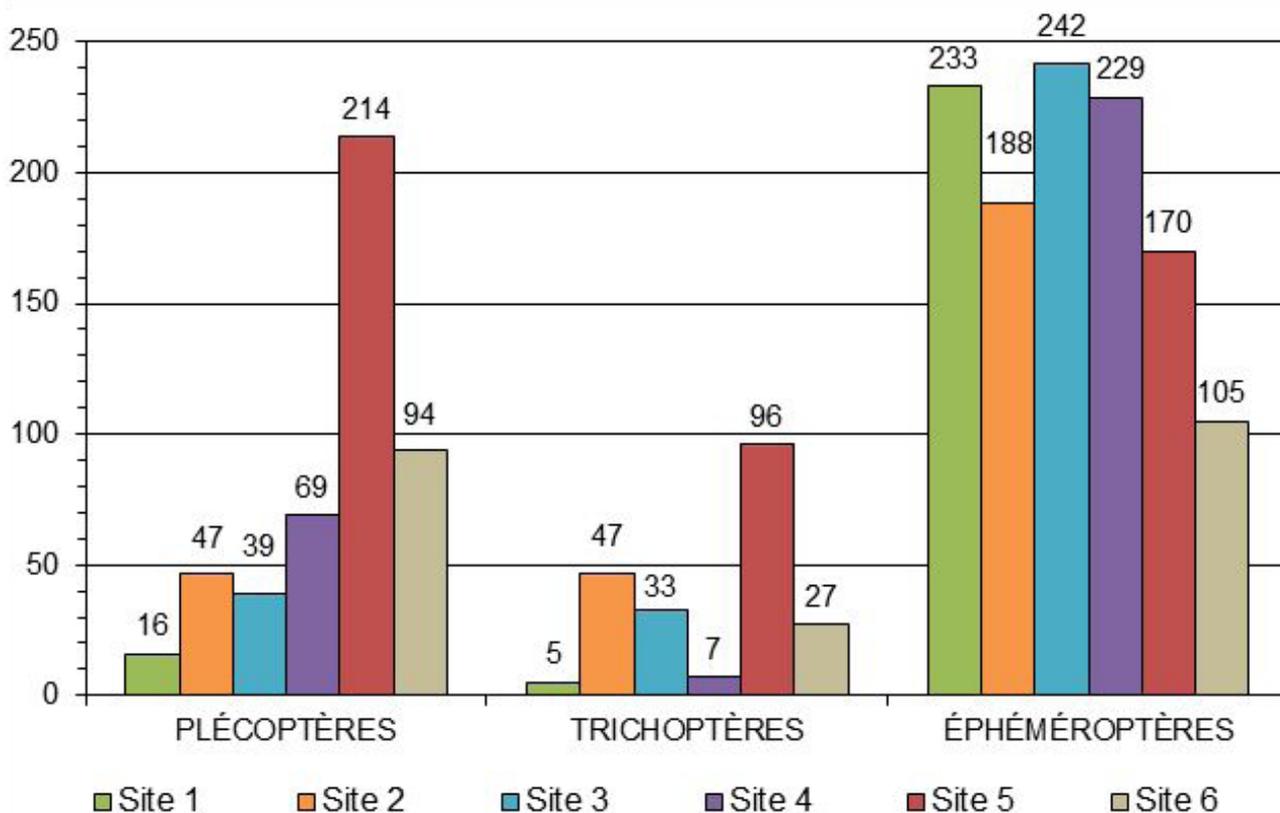


Figure 3.

Abondance taxonomique (AbO) des tronçons échantillonnés (Plécoptères, Éphéméroptères et Trichoptères).

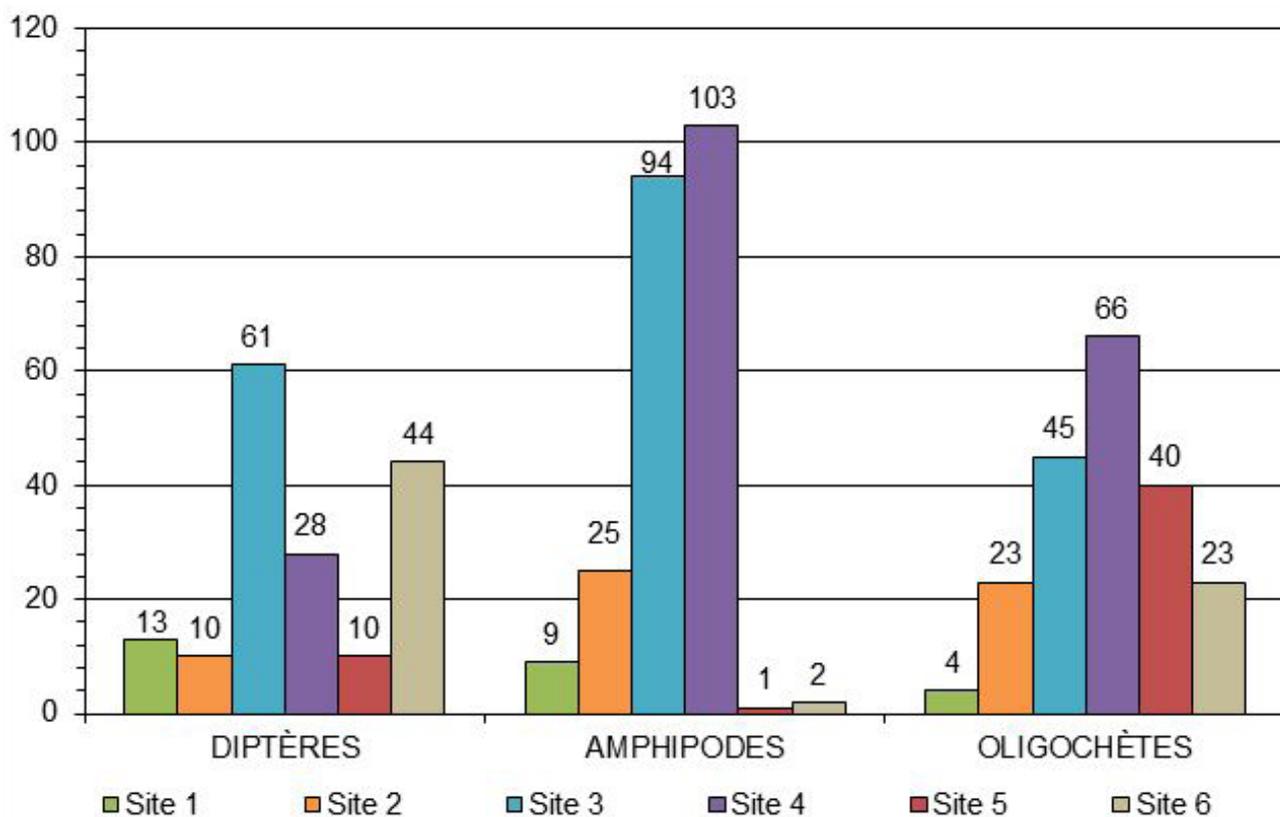


Figure 4.

Abondance taxonomique (AbO) des tronçons échantillonnés (Diptères, Amphipodes et Oligochètes).

4. Analyse de l'abondance des familles (AbF) de macrofaune

Le dénombrement de la macrofaune aquatique correspond aux calculs des abondances des familles (AbF) de chaque tronçon étudié. Seuls les cortèges entomologiques ont fait l'objet de cette analyse car les autres ordres possèdent des taxons mono-familiaux.

- **Ordre des Plécoptères (Figure 5)**

Le tronçon 5 comporte l'effectif le plus important avec 214 individus, majoritairement représenté par la famille des Nemouridae et des Taeniopterygidae.

Les autres sites possèdent une densité globalement homogène (de 39 à 94 individus), hormis le tronçon 1 comptabilisant seulement 16 individus de Plécoptères.

Les familles les mieux représentées, au sein des sites échantillonnés, correspondent aux Leuctridae, aux Nemouridae, et aux Taeniopterygidae, respectivement 20 %, 44 % et 28 % de la population moyenne de Plécoptères. Le site 6, sur lequel aucun cingle n'a été recensé, possède un peuplement similaire aux autres tronçons, avec une densité au-delà de cette moyenne.

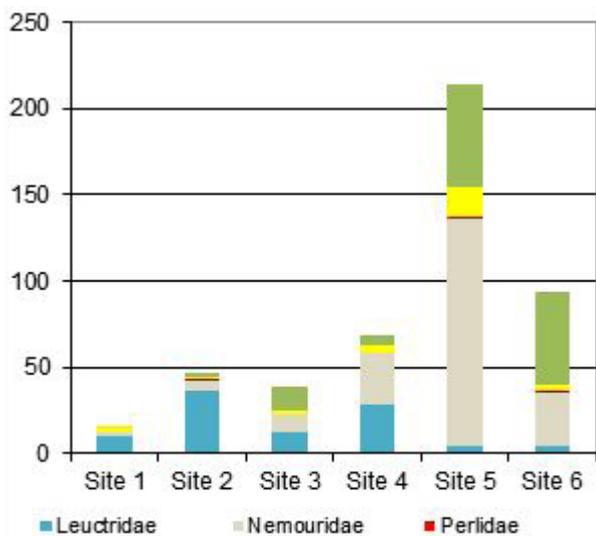


Figure 5. Abondance des individus (AbF) de l'ordre des Plécoptères sur les tronçons échantillonnés.

- **Ordre des Trichoptères (Figure 6)**

Le tronçon 5 comporte encore l'effectif le plus important avec 96 individus, majoritairement représentés par la famille des Limnephilidae et des Glossomatidae.

Les sites 2, 3 et 6 possèdent une densité globalement homogène (de 27 à 47 individus) alors que les tronçons 1 et 4 comptabilisent peu de taxons de Trichoptères (5 et 7 ind. respectivement).

Le taxon majoritaire correspond à la famille des Limnephilidae (46 % du peuplement de Trichoptères en moyenne), suivi par la famille des Glossomatidae (24 % du peuplement) et des Sericostomatidae (17 %).

Le site 6, sur lequel aucun cingle n'a été recensé, ne possède aucun taxon de Limnephilidae, à l'instar du tronçon 1 où 11 cingles ont été observés.

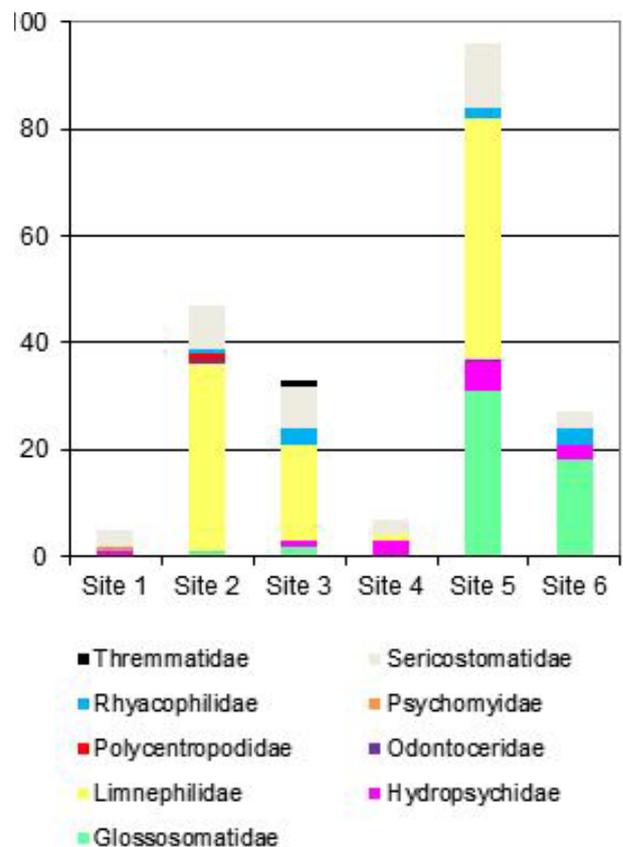


Figure 6. Abondance des individus (AbF) de l'ordre des Trichoptères sur les tronçons échantillonnés.

- **Ordre des Éphéméroptères (Figure 7)**

Hormis le site 6, l'ensemble des tronçons étudiés possèdent une densité globalement homogène (de 39 à 94 individus), dominée par la famille des Baetidae (65 % du peuplement total) puis par les Heptageniidae (33 % du peuplement).

Le site 6, sur lequel aucun cingle n'a été recensé, possède une densité plus faible en Éphéméroptères que les autres tronçons, et notamment en effectif de Baetidae (29 ind. recensés contre une moyenne de 127 sur les autres sites).

- **Ordre des Diptères (Figure 8)**

Les densités de taxons de Diptères sont très hétérogènes entre les tronçons étudiés.

Les sites 3 et 6 possèdent les effectifs les plus importants (respectivement 61 et 44 individus identifiés), suivis du tronçon 4 (28 ind.). Les autres sites présentent une densité moindre (une dizaine d'individus environ).

Les taxons majoritaires du peuplement sont représentés par la famille des Chironomidae (42 %) et la famille des Simuliidae (35 %), suivis par les Limoniidae (10 %).

Le site 6, sur lequel aucun cingle n'a été recensé, possède une densité nettement plus forte en Simuliidae (35 individus recensés contre une moyenne de 10 ind. sur les autres tronçons).

C'est aussi le seul tronçon dans lequel la famille des Blephariceridae a été recensée.

- **Ordre des Coléoptères (Figure 9)**

Peu de Coléoptères ont été recensés sur les tronçons étudiés. Deux taxons sont représentés : les Elmidae et les Hydraneidae.

Le site 6 possède les effectifs les plus importants. Les autres tronçons présentent une densité moindre.

Le site 6, sur lequel aucun cingle n'a été recensé, possède la densité la plus importante (5 individus recensés contre une moyenne de 1 ind. pour les autres tronçons).

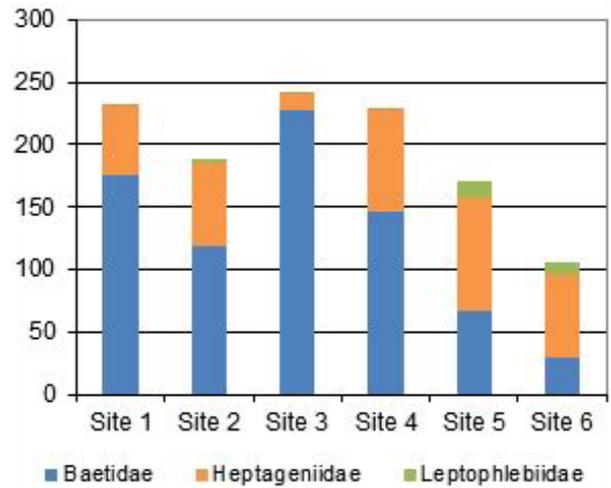


Figure 7. Abondance des individus (AbF) de l'ordre des Éphéméroptères sur les tronçons échantillonnés.

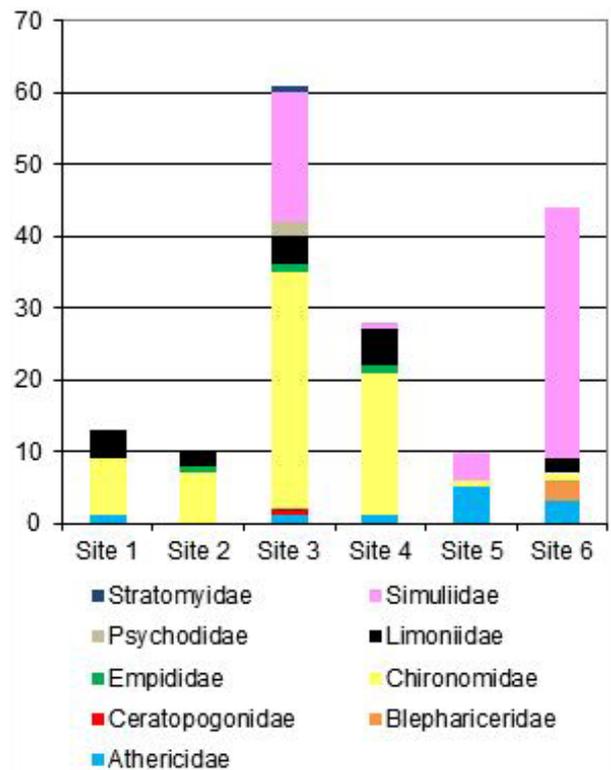


Figure 8. Abondance des individus (AbF) de l'ordre des Diptères sur les tronçons échantillonnés.

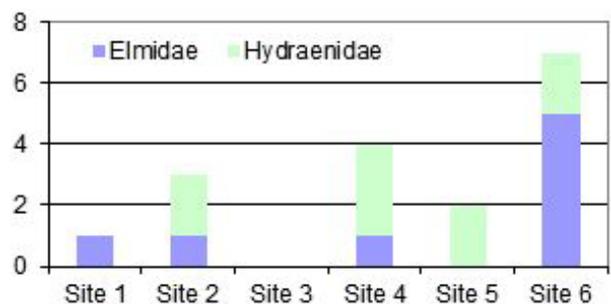


Figure 9. Abondance des individus (AbF) de l'ordre des Coléoptères sur les tronçons échantillonnés.

5. Analyse de la diversité de Shannon H'

En ce qui concerne l'ordre des Plécoptères, les diversités de Shannon sont comprises entre 1,18 (site 2) et 1,79 (site 3). H' varie entre 1,22 (site 2) et 1,84 (site 3) pour l'ordre des Trichoptères (Figure 10).

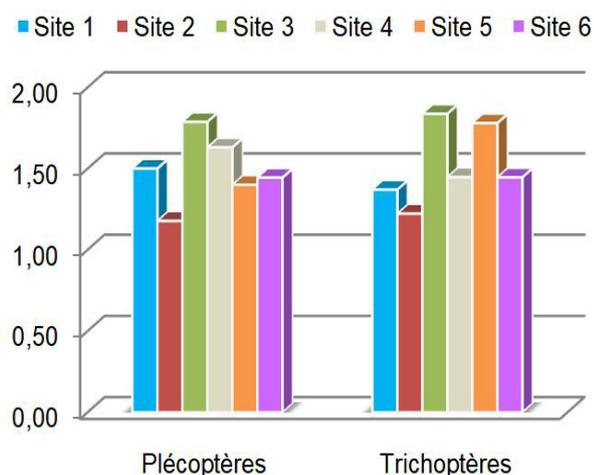


Figure 10.

Diversité de Shannon (H') des tronçons échantillonnés (Plécoptères et Trichoptères).

Contrairement aux ordres précédents, le site 3 présente la diversité de Shannon la plus faible (0,32) pour les Éphéméroptères ; la diversité maximale (1,28) étant atteinte par le site 5.

Pour les Coléoptères, la diversité de Shannon est comprise entre 0 (sites 1, 3 et 5) et 0,92 (tronçon 2).

En ce qui concerne les Diptères (Figure 11), H' est compris entre 1,12 (site 1) et 1,81 (tronçon 3).

La diversité de Shannon est nulle pour l'ordre des Amphipodes, des Bivalves, des Tricladés, des Gastéropodes, des Hydracariens et des Oligochètes (sauf pour le site 2 où $H' = 0,97$).

La diversité de Shannon totale (H'totale) oscille entre 1,88 (tronçon 1) et 3,42 (site 6) sur l'ensemble des tronçons étudiés, avec une moyenne de 2,92. La valeur la plus haute appartient au site 6, sur lequel aucun cicle n'a été recensé ; elle exprime

une équirépartition des individus dans les différents taxons identifiés (à noter aussi que H' est très dépendante de l'effort d'échantillonnage).

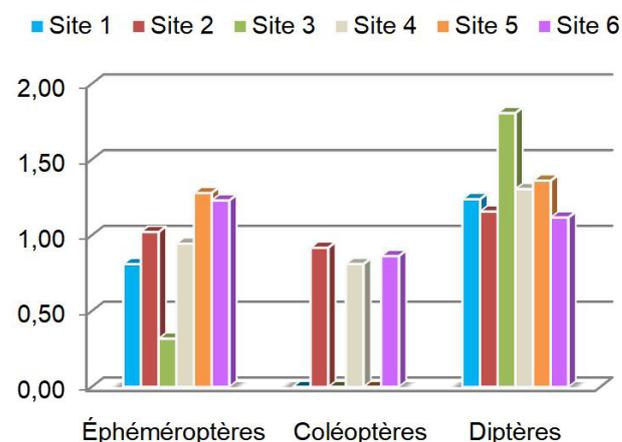


Figure 11.

Diversité de Shannon (H') des tronçons échantillonnés (Éphéméroptères, Coléoptères et Diptères).

6. Interprétation des traits biologiques et écologiques des taxons de la macrofaune aquatique

Les taxons possèdent des affinités biologiques et écologiques spécifiques.

L'ouvrage de TACHET *et al.* (2000) définit des coefficients de pondération pour chacune de ces affinités. Ainsi, la composition faunistique des tronçons étudiés a été traduit en effectifs de taxons, calculés en fonction de ces coefficients.

Les traits bio-écologiques permettent ainsi d'évaluer l'état géomorphologique, physico-chimique et écologique des tronçons étudiés en fonction des affinités des taxons échantillonnés, assurant leur cycle larvaire dans ces sites.

L'analyse de ces affinités passe par une illustration graphique, exprimée en pourcentage, dans un but de lisibilité.

- **Nombre de générations annuelles (Figure 12)**

Les tronçons 3 et 4 sont prédominés par les taxons possédant plus d'une génération annuelle (respectivement 58 et 50 % des taxons).

En ce qui concerne les autres sites, les taxons monovoltins restent prédominants. Le nombre de générations par année inférieur à 1 ne représente que 13 % au maximum et 3 % au minimum, tous sites confondus.

Concernant le tronçon 6 (aucun cingle recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique.

- **Affinités thermiques (Figure 13)**

Les sites échantillonnés présentent une majorité de taxons possédant des affinités eurythermes, pourcentages oscillant entre 64 % (site 1) et 82 % (site 5).

Le caractère sténotherme psychrophile est représenté par 10 % des taxons (site 1) à 33 % des taxons (site 5).

Les taxons sténothermes thermophiles demeurent en très faible quantité sur les tronçons étudiés : seulement 4 % (site 5) à 11 % (sites 3 et 4). Concernant le tronçon 6 (aucun cingle recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique.

- **Affinités hydrauliques (Figure 14)**

Les taxons identifiés présentent une dominance pour un courant lent à moyen.

En effet, seulement 8 % (site 6) à 16 % (site 3) des taxons présentent des affinités pour un courant nul (ou très faible).

Au contraire, 28 % (site 6) à 37 % (site 3) des taxons possèdent des affinités pour un courant lent. En ce qui concerne les affinités pour un courant moyen, 32 % (sites 2 et 3) à 39 % (site 6) des taxons y sont représentés.

La préférence pour le courant rapide est comprise entre 16 % (site 3) et 24 % (site 6) des taxons.

Concernant le tronçon 6 (aucun cingle recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait écologique.

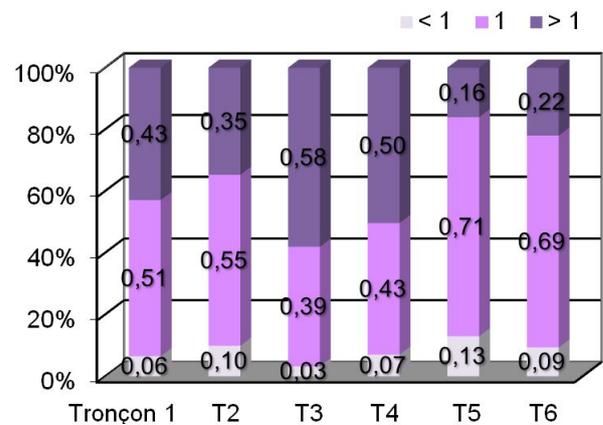


Figure 12. Nombre de générations annuelles, exprimé en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

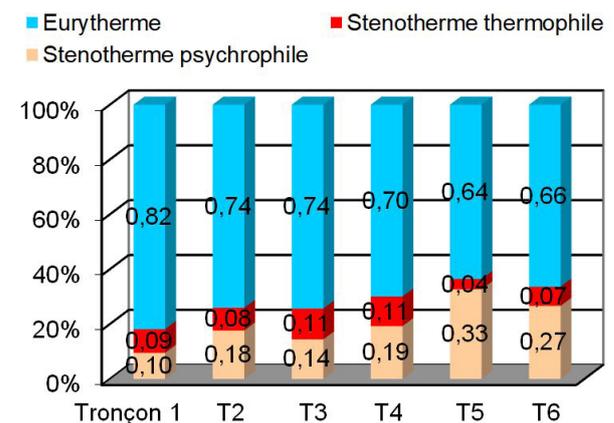


Figure 13. Affinités thermiques, exprimées en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

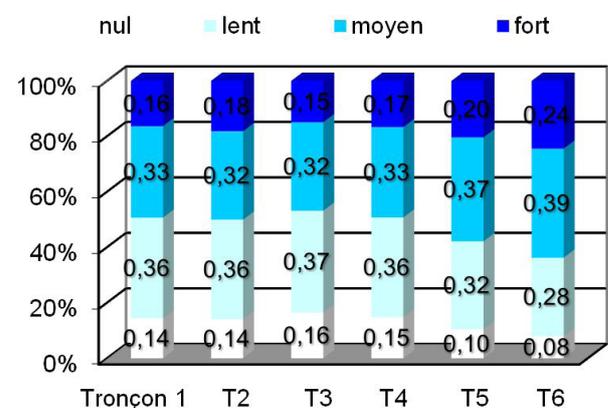


Figure 14. Affinités hydrauliques, exprimées en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

• **Affinités trophiques (Figure 15)**

Les tronçons 5 et 6 comportent des taxons à affinité majoritairement oligotrophe. Les affinités au caractère oligotrophe du milieu aquatique sont comprises entre 32 % (site 1) et 53 % (site 5).

Les sites 1, 3 et 4 possèdent des taxons à affinité majoritairement mésotrophe. Les affinités au caractère mésotrophe du milieu aquatique est comprise entre 35 % (site 5) et 50 % (site 1).

Le site 2 comporte des effectifs taxonomiques équilibrés entre affinités oligotrophes et mésotrophes.

En ce qui concerne le caractère eutrophe, les pourcentages de taxons oscillent entre 12 % (site 5) et 18 % (sites 1 et 3).

Concernant le tronçon 6 (aucun crible recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait.

• **Régime alimentaire (Figure 16)**

Deux régimes alimentaires sont prédominants sur les sites échantillonnés. En effet :

- les saprophages représentent de 37 % (site 4) à 48 % (site 5) des taxons ;
- les phytophages représentent de 37 % (site 4) à 45 % (site 1) des taxons ;

Par ailleurs, les zoophages représentent de 7 % (site 6) à 16 % (sites 3 et 4) du peuplement échantillonné.

Par contre, les régimes alimentaires suivants demeurent relativement faibles :

- les nécrophages représentent 0 % (site 6) à 4 % (site 3) des taxons;
- les limnivores représentent de 0 % (site 4) à 3 % (sites 2 et 6) du peuplement.

Concernant le tronçon 6 (aucun crible recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique.

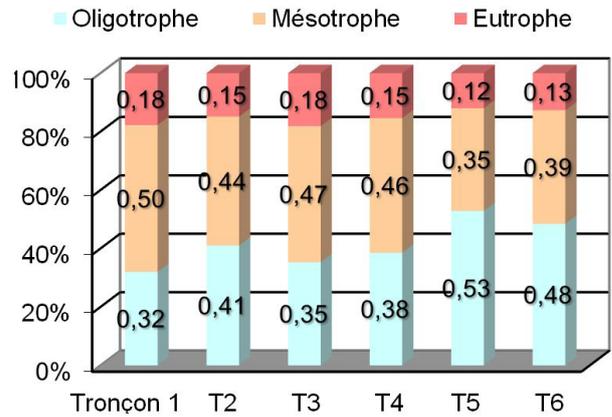


Figure 15. Affinités trophiques, exprimées en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

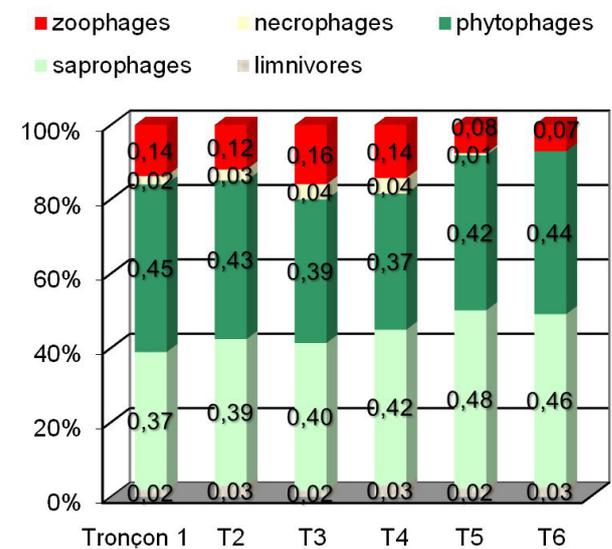


Figure 16. Type de régime alimentaire, exprimées en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

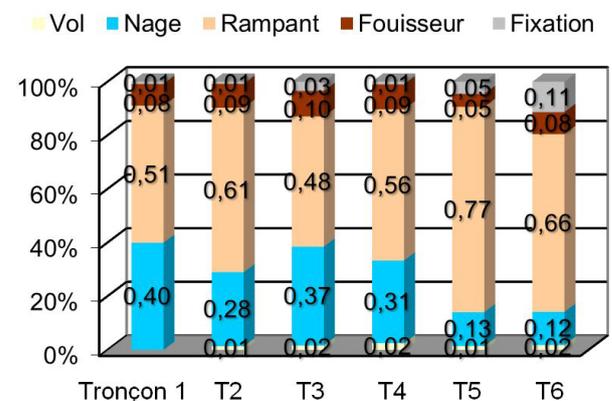


Figure 17. Modes de déplacements, exprimés en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

• **Modes de déplacements (Figure 17)**

Les modes de locomotion dominants chez les taxons correspondent à :

- la reptation (sur le substrat minéral et les matières végétales) pour 48 % (site 3) à 77 % (site 5) ;

- la nage pour 12 % (site 6) à 40 % (site 1).

Les taxons possédant d'autres modes de locomotion restent faibles sur les tronçons ;

- le vol, pour 0 % (site 1) à 2 % (sites 3, 4 et 6) ;

- l'enfouissement, pour 5 % (site 5) à 10 % (site 3) ;

- la fixation, pour 1 % (sites 1, 2 et 4) à 11 % (site 6).

Concernant le tronçon 6 (aucun cincte recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait écologique.

• **Habitats préférentiels (Figure 18)**

Les habitats prédominants des taxons échantillonnés concernent :

- les dalles, blocs et galets de 22 % (site 3) à 36 % (site 6) ;

- les macrophytes représentant 18 % (site 2) à 22 % (site 3 et 10).

Les habitats secondaires distinguent les 5 catégories suivantes :

- les graviers représentant 9 % (site 5) à 12 % (sites 1, 2 et 4) ;

- les sables représentant 7 % (site 6) jusqu'à 14 % (site 1) ;

- la litière représentant 9 % (site 1) à 12 % (site 5) ;

- les branches et racines représentant 8 % (sites 1 et 5) jusqu'à 10 % (site 4) ;

- les limons représentant 7 % (sites 5 et 6) à 9 % (sites 3 et 4) .

Les microphytes restent des habitats très faiblement représentés : 0 % (site 1) à 3 % (site 4).

Concernant le tronçon 6 (aucun cincte recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique, hormis l'effectif plus important

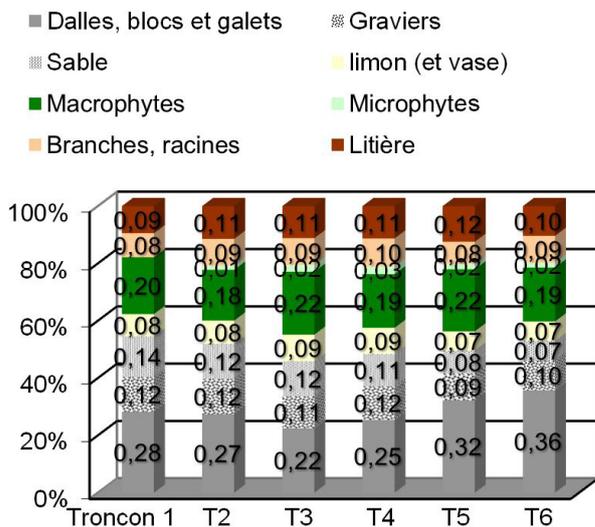


Figure 18. Biotopes préférentiels, exprimés en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

de taxons possédant des affinités pour les dalles, les blocs et les galets.

• **Résistance à la pollution (Figure 19)**

Chacune des stations est caractérisée par des taxons présentant des différents degrés de sensibilité à la pollution.

Le caractère xénosaprobe est représenté par 9 % (sites 1 et 3) à 22 % (site 5) des taxons échantillonnés.

L'oligosaprobie représente 26 % (site 1) jusqu'à 39 % (site 5) des taxons.

Les taxons α-mésosaprobies représentent 9 % (sites 5 et 6) à 21 % (site 1).

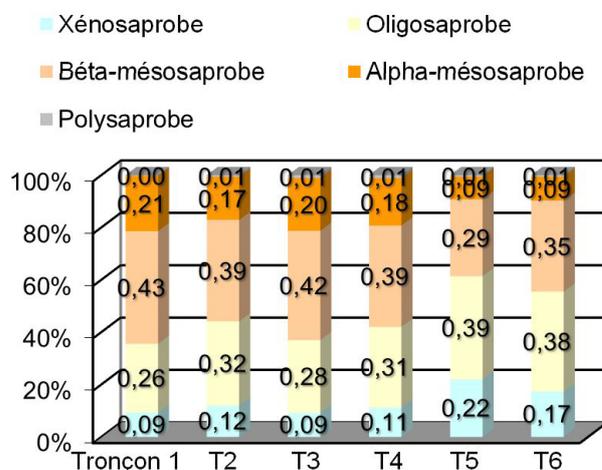


Figure 19. Résistance à la pollution, exprimés en pourcentage de taxons, sur les tronçons étudiés.

Le caractère β -mésosaprobe est présent, dans les différentes stations de 29 % (site 5) à 43 % (site 1).

La polysaprobie est présente sur tous les tronçons, hors site 1, à un très faible pourcentage (1 %). Concernant le tronçon 6 (aucun cincte recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique.

Discussions et interprétations

Étant donné le faible nombre de données (et les difficultés statistiques associées), les coefficients de corrélation élevés (en valeur absolue) ne signifient pas qu'il existe une relation de cause à effet entre l'effectif de cincte et une variable biotique.

Elles nous renseignent uniquement sur les fluctuations parallèles entre les effectifs de cincte et la variable analysée, dont le lien de cause à effet ne peut être affirmé avec si peu de données.

Ainsi, seules des hypothèses de corrélation peuvent être proposées, la valeur significative n'étant pas représentative.

1. Corrélations entre l'effectif de cinctes et les variables biotiques intrinsèques aux communautés de la macrofaune aquatique

Les corrélations ont été établies par calculs matriciels et effectués avec le coefficient de Pearson. Les calculs de corrélation se basent sur les effectifs calculés à partir des coefficients pondérés et non pas sur les pourcentages des taxons.

Pour rappel, la corrélation est importante lorsque la valeur corrélatrice calculée tend vers [1] (valeur absolue de 1). Ainsi, les valeurs de corrélation sont retenues puis discutées lorsqu'elles dépassent le seuil de [0,75].

Tableau 2.
Richesse taxonomique - RT.

Ordre	Corrélation	p	Signif.
Plécoptères	-0,72	0,104	ns
Trichoptères	0,13	0,805	ns
Éphéméroptères	-0,72	0,104	ns
Coléoptères	-0,57	0,234	ns
Diptères	0,33	0,525	ns
Amphipodes	0	1	ns
Bivalves	0,53	0,28	ns
Gastéropodes	0,33	0,524	ns
Oligochètes	0	1	ns
Tricladés	0,38	0,454	ns
Hydracariens	0,69	0,123	ns

Légende valable pour les tableaux 2,3,4 et 5 :

Signif. = Significativité	
***	très fortement significatif ($p < 0,001$)
**	très significatif ($p < 0,01$)
*	significatif ($p < 0,05$)
(*)	presque significatif ($p < 0,1$)
ns	non significatif ($p \geq 0,1$)
Variables constantes donc corrélation nulle	
Résultats significatifs - corrélation $> 0,75$	
Résultats non-significatifs - corrélation $\geq 0,70$	

• Richesse taxonomique (RT)

Le **Tableau 2** synthétise les calculs de corrélation sur la richesse taxonomique. Pour rappel, la richesse taxonomique RT représente le nombre de taxons (la famille, en l'occurrence pour cette étude) de chaque ordre de la macrofaune aquatique.

Ces résultats ne montrent **aucune correspondance significative entre la densité de cinctes et le nombre de taxons de la macrofaune** de chaque ordre étudié, sur l'ensemble des stations suivies. En effet, les valeurs de corrélation restent toutes inférieures à [0,75].

Trois ordres présentent une valeur de corrélation supérieure ou égale à [0,70] : les Plécoptères (-0,72) et les Éphéméroptères (-0,72).

En conséquence, par hypothèse, une forte densité de cinctes serait corrélée à une faible richesse taxonomique (donc un ordre peu diversifié en familles).

•Diversité de Shannon (H')

Le **Tableau 3** synthétise les calculs de corrélation sur la diversité de Shannon.

Tableau 3.
Diversité de Shannon - H'.

Ordre	Corrélation	p	Signif.
Plécoptères	0,54	0,265	ns
Trichoptères	0,38	0,464	ns
Éphéméroptères	-0,7	0,118	ns
Coléoptères	-0,48	0,337	ns
Diptères	0,72	0,109	ns
Amphipodes	0	1	ns
Bivalves	0	1	ns
Gastéropodes	0	1	ns
Oligochètes	0	1	ns
Tricladés	-0,09	0,868	ns
Hydracariens	0	1	ns

Pour rappel, la diversité de Shannon représente le nombre moyen d'individus de chaque taxon (= famille) dans chaque ordre faunistique. Cet indice permet d'évaluer la diversité réelle d'un peuplement dans un biotope (RAMADE, 1984).

Ces résultats ne montrent aucune correspondance significative entre la densité de cincles et la diversité de Shannon, sur l'ensemble des stations suivies. En effet, les valeurs de corrélation restent toutes inférieures à [0,75].

Deux ordres présentent une valeur de corrélation supérieure ou égale à [0,70]. En effet, la diversité de Shannon, calculée pour les Éphéméroptères, renseigne un seuil de corrélation de -0,70. Elle correspond à 0,72 pour l'ordre des Diptères.

En conséquence, par hypothèse, une forte densité de cincles serait corrélée, d'une part, à un peuplement de Diptères possédant une équirépartition des différents taxons qui le composent, et d'autre part, à un peuplement déstructuré d'Éphéméroptères (irrégularité de la distribution des taxons).

•Abondance des ordres Abo

Le **Tableau 4** synthétise les calculs de corrélation sur l'abondance des ordres.

Tableau 4.
Abondance des ordres - AbO.

Ordre	Corrélation	p	Signif.
Plécoptères	-0,23	0,655	ns
Trichoptères	-0,09	0,862	ns
Éphéméroptères	0,94	0,005	**
Coléoptères	-0,81	0,049	*
Diptères	0,07	0,895	ns
Amphipodes	0,72	0,106	ns
Bivalves	0,53	0,28	ns
Gastéropodes	0,49	0,329	ns
Oligochètes	0,48	0,339	ns
Tricladés	0,38	0,456	ns
Hydracariens	0,69	0,123	ns

Pour rappel, l'abondance des ordres Abo représente le nombre d'individus dans chaque ordre faunistique.

Ces résultats présentent une corrélation significative entre la densité de cincles et l'abondance des ordres, pour les Éphéméroptères (0,94) et les Coléoptères (-0,81*).**

L'ordre des Amphipodes montre une valeur légèrement plus faible (0,72).

En conséquence, une forte densité de cincles serait corrélée à une forte densité d'individus de l'ordre des Éphéméroptères, toutes familles confondues.

Au contraire, une importante densité de cincles serait liée à un faible nombre d'individus de Coléoptères.

Dans une moindre mesure, par hypothèse, une densité accrue d'Amphipodes (Gammaridae en l'occurrence) favoriserait le nombre de cincles.

Tableau 5.

Abondance des familles - Ab_F.

Ordre	Famille	Corrélation	p	Signif.
Plécoptères	<i>Leuctridae</i>	0,32	0,531	ns
	<i>Nemouridae</i>	-0,1	0,858	ns
	<i>Perlidae</i>	-0,7	0,123	ns
	<i>Perlodidae</i>	-0,04	0,934	ns
	<i>Taeniopterygidae</i>	-0,58	0,23	ns
Trichoptères	<i>Glossomatidae</i>	-0,47	0,347	ns
	<i>Hydropsychidae</i>	-0,18	0,728	ns
	<i>Limnephilidae</i>	0,14	0,79	ns
	<i>Odontoceridae</i>	-0,09	0,868	ns
	<i>Polycentropodidae</i>	-0,09	0,868	ns
	<i>Psychomyidae</i>	0,09	0,868	ns
	<i>Rhyacophilidae</i>	-0,34	0,51	ns
	<i>Sericostomatidae</i>	0,24	0,648	ns
	<i>Thremmatidae</i>	0,53	0,28	ns
Éphéméroptères	<i>Baetidae</i>	0,85	0,03	*
	<i>Heptageniidae</i>	-0,35	0,497	ns
	<i>Leptophlebidae</i>	-0,62	0,185	ns
Coléoptères	<i>Elmidae</i>	-0,89	0,017	*
	<i>Hydraneidae</i>	-0,29	0,571	ns
Diptères	<i>Athericidae</i>	-0,37	0,466	ns
	<i>Blephariceridae</i>	-0,88	0,02	*
	<i>Ceratopogonidae</i>	0,53	0,28	ns
	<i>Chironomidae</i>	0,77	0,072	(*)
	<i>Empididae</i>	0,59	0,216	ns
	<i>Limonidae</i>	0,51	0,301	ns
	<i>Psychodidae</i>	0,53	0,28	ns
	<i>Simulidae</i>	-0,6	0,203	ns
<i>Stratomyidae</i>	0,53	0,28	ns	
Amphipodes	<i>Gammaridae</i>	0,72	0,106	ns
Bivalves	<i>Sphaeridae</i>	0,53	0,28	ns
Gastéropodes	<i>Limnaeidae</i>	0,53	0,28	ns
	<i>Valvatidae</i>	-0,07	0,896	ns
Oligo.	Oligochètes	0,48	0,339	ns
Tricladés	<i>DugesIIDae</i>	0,17	0,744	ns
	<i>Planariidae</i>	0,35	0,5	ns
-	Hydracariens	0,7	0,123	ns

• **Abondance des familles Ab_F**

Le **Tableau 5** synthétise les calculs de corrélation sur l'abondance des familles. Pour rappel, l'abondance des familles Ab_F représente le nombre d'individus dans chaque famille.

Ces résultats présentent **une corrélation significative entre la densité de cincles et l'abondance des familles**, pour les Éphéméroptères *Baetidae* (0,85*), les Coléoptères *Elmidae* (-0,89*) puis les Diptères *Blephariceridae* (-0,88*) et *Chironomidae* (0,77*).

Des valeurs de corrélation plus faibles sont observées sur les familles des Plécoptères *Perlidae* (-0,70), des Gammaridae (0,72) et des Hydracariens (0,70).

Les Diptères *Blephariceridae* et les Hydracariens ont été écartés de la présente analyse en raison du nombre trop faible d'individus échantillonnés sur les stations (respectivement 3 et 2 individus).

En conséquence, une forte densité de cincles serait corrélée à une forte densité d'individus de la famille des *Baetidae* et des *Chironomidae* puis, par hypothèse, à une densité importante de *Gammaridae*.

Au contraire, une importante densité de cincles serait influencée par un faible nombre d'individus d'*Elmidae* puis, par hypothèse, à une faible densité de *Perlidae*.

• **Synthèse pour l'ordre des Plécoptères**

En ce qui concerne les Plécoptères, aucune corrélation significative n'a été établie lors du traitement statistique.

Deux informations non significatives, renseignant une forte densité de cincles pour une faible richesse taxonomique, semblent corroborer les résultats de BOITIER (1998) précisant une abondance plus faible de Plécoptères dans les prélèvements de la macrofaune aquatique réalisés en rivière.

• Synthèse pour l'ordre des Trichoptères

En ce qui concerne les Trichoptères, aucune corrélation significative n'a été établie lors du traitement statistique.

Ces résultats demeurent très étonnants au regard de la bibliographie disponible, selon les auteurs ayant étudié le régime alimentaire du Cincle plongeur :

- ORMEROD & TYLER (1986) indiquant un régime alimentaire du Cincle composé entre 12 et 26 % de Trichoptères ;

- BERTRAND (1988) révèle la dominance des individus de Trichoptères (Hydropsychidae, Rhyacophilidae puis Limnephilidae) dans les 521 pelotes de réjection analysées ;

- BOITIER (1998) renseigne la forte abondance de Trichoptères (Beraeidae et Sericostomatidae puis Rhyacophilidae et Hydropsychidae) dans les prélèvements de la macrofaune aquatique réalisés.

L'absence de corrélation pourrait s'expliquer par la disponibilité alimentaire des sites de suivi. En effet, ORMEROD & TYLER (1991) précise que les larves de Trichoptères (notamment les Hydropsychidae) sont probablement chassées en raison de leur disponibilité plus que par choix actif de l'oiseau. Les sites de suivi du Chéran possèdent une richesse taxonomique importante, laissant une grande sélection alimentaire au cincle.

• Synthèse pour l'ordre des Éphéméroptères

Deux corrélations significatives ont été établies pour l'ordre des Éphéméroptères : l'abondance des individus de cet ordre (AbO) ainsi que l'abondance des individus de la famille des Baetidae (AbF) semblent influencer sur la densité de cincles.

Les Éphéméroptères Baetidae, famille assez peu sensibles à la pollution, se développent lorsqu'il existe une diversité

importante des habitats. Avec un cycle biologique présentant plusieurs générations annuelles, les populations se développent si elles répondent positivement aux perturbations de type abiotique.

Par hypothèse, les densités Cincle-Éphéméroptères sont corrélées par la présence d'une communauté stable se développant dans un milieu aquatique productif et diversifié.

• Synthèse pour l'ordre des Diptères

Une corrélation significative a été établie pour l'ordre des Diptères : l'abondance des individus de la famille des Chironomidae (AbF) semble influencer sur la densité de cincles.

L'ordre des Diptères est abondant si la diversité des habitats est importante. Cependant, ce groupe biologique n'est pas caractéristique des milieux exempts de pollution car ces taxons demeurent relativement polluo-résistants.

Parallèlement, la famille des Chironomidae représente un taxon généraliste, par excellence, et eurytope (développement dans divers types de biotopes). Ce taxon présente, par ailleurs, plusieurs générations annuelles.

Par hypothèse, la corrélation de densité Cincle-Diptères semble liée à un peuplement organisé et possédant des cortèges taxonomiques bien développés, vivant dans un milieu, méso à eutrophe, offrant une diversité de niches écologiques.

• Synthèse pour l'ordre des Amphipodes

Une corrélation non significative a été établie pour l'abondance des individus de la famille des Gammaridae (AbF).

Cette hypothèse corrélatrice est renforcée

par les observations de SPITZNAGEL (1985), affirmant que le Cincle se rabat en hiver sur le Gammare, espèce sclérifiée dédaignée en conditions normales par les adultes au profit de proies plus énergétiques (larves d'Éphéméroptères, de Plécoptères et de Trichoptères).

- **Synthèse pour l'ordre des Coléoptères**

Concernant les Coléoptères, l'absence de cincles, sur les stations échantillonnées, est corrélée indirectement à l'abondance (AbO) des Elmidae, taxon généraliste possédant une génération annuelle et des affinités pour les milieux pauvres en matières nutritives. Par hypothèse, le cincle paraît absent des sites oligotrophes.

2. Corrélation entre l'effectif de cincles et les affinités bio-écologiques de la macrofaune aquatique

Les corrélations sont établies par calculs matriciels et effectués avec le coefficient de Pearson. Les calculs de corrélation se basent sur les effectifs calculés à partir des coefficients pondérés et non sur les pourcentages des taxons. La corrélation est importante lorsque la valeur corrélative calculée tend vers [1] (valeur absolue de 1). Ainsi, les valeurs de corrélation sont retenues puis analysées lorsqu'elles dépassent le seuil de [0,70].

En ce qui concerne le nombre de générations annuelles, les taxons possédant plusieurs générations montrent une valeur de corrélation de 0,81(*). Par ailleurs, pour les taxons eurythermes, la valeur de corrélation est de l'ordre de 0,81(*) alors que les taxons sténothermes thermophiles présentent une valeur de corrélation de 0,73(*).

En ce qui concerne les affinités hydrauliques, les taxons préférant le courant faible (< 2 cm/s) montrent une importante valeur de corrélation (0,90*), parallèlement aux taxons fréquentant les milieux à courant lent (< 25 cm/s) avec une valeur de 0,81 (*).

La richesse en éléments nutritifs joue aussi un rôle important dans la corrélation entre Cincle et macrofaune aquatique. En effet, les taxons possédant des affinités pour les milieux eutrophes (0,87*) et les milieux mésotrophes (0,85*) demeurent bien représentés.

En ce qui concerne le régime alimentaire, les taxons zoophages montrent une valeur de corrélation de 0,89* alors que les nécrophages ont une valeur de 0,79 (*).

Les taxons nageurs (0,90*) et les fouisseurs (0,70) restent les familles présentant des importantes valeurs de corrélation. Par ailleurs, les taxons fixés montrent une valeur de corrélation moyenne mais négative (-0,59).

La résistance à la pollution est représentée par des valeurs de corrélation relativement importantes pour les taxons α -mésosaprobies (0,90*) et β -mésosaprobies (0,84*).

Les habitats indiquant les valeurs de corrélation les plus importantes sont : le sable (0,96**), le limon (0,86*) et les graviers (0,80*).

Les corrélations reliant les effectifs de cincle aux affinités bio-écologiques de la macrofaune sont récapitulées dans le **Tableau 6** où seuls les paramètres significatifs sont présentés. Nota : Le facteur "stabilité du système aquatique" n'est pas énoncé à cause des facteurs hydrauliques et géomorphologiques très variables, en milieu montagnard. Le système ne peut donc être considéré comme stable,

Tableau 6.

Synthèse des corrélations significatives des affinités bio-écologiques de la macrofaune aquatique.

Affinités	Coefficients de corrélation		
	0,85	0,75	- 0,75
Nombre de générations par année		> 1	
Température		eurytherme	
Courant	nul + lent		
Trophie	eutrophe + mésotrophe		
Locomotion	nage	fouissage	fixation (-0,59)
Régime alimentaire	zoophage	nécrophage	
Pollution	α -mésosaprobe	β -mésosaprobe	
Habitats	sable + limon	graviers	

notamment à cause des crues et des étiages. Sur les stations échantillonnées, les populations dites stables présentent hypothétiquement une importante résilience (capacité de la population à recouvrer son fonctionnement, sa structure et son organisation suite à une perturbation).

Le nombre de générations de la macrofaune nous renseigne sur la stabilité du système ainsi que sur la disponibilité de nourriture pouvant être récoltée par le Cincle. En effet, la corrélation est importante pour un nombre de générations supérieur à 1 par année, impliquant ainsi, par hypothèse, une stabilité des populations faunistiques sur les stations échantillonnées mais aussi un stock de nourriture en période hivernale.

Les affinités thermiques de la macrofaune démontrent une corrélation pour les taxons eurythermes. Ces taxons généralistes, en termes d'affinités thermiques, se développent sur les stations d'étude car les sites sont localisés en montagne (climat montagnard à forte amplitude thermique). La corrélation Cincle-taxons sténothermes thermophiles est écartée à cause de la faible quantité de taxons échantillonnés.

La corrélation Cincle-affinités thermiques s'explique par la localisation des stations. En effet, seuls les taxons résistants à ce type de conditions climatiques peuvent survivre sur les stations échantillonnées.

Bien que le Cincle évolue, selon les observations, dans les zones lotiques (où le courant est rapide), il affectionne, selon l'analyse des corrélations, les stations plus calmes, voire lenticues (vitesse du courant comprise entre 2 et 25 cm/s).

Cette analyse présuppose 2 interprétations différentes.

En premier lieu, l'échantillonnage a été réalisé en époque hivernale, période pendant laquelle l'étiage est important sur les cours d'eau de montagne, impliquant inévitablement des caractéristiques hydrauliques de faible puissance.

En second lieu, malgré la résistance du Cincle face au courant, par hypothèse, l'affinité hydraulique des taxons échantillonnés peut montrer une recherche des proies par l'oiseau dans des zones protégées par des blocs (microstations de faible courant) ainsi que dans des zones lenticues *stricto sensu* où il possède alors plus d'aisance à trouver sa nourriture.

Par rapport aux affinités trophiques, les populations de cincles sont influencées par la présence de taxons se développant dans des zones eutrophes puis mésotrophes.

Les éléments nutritifs peuvent avoir différentes sources : écosystèmes aquatiques productifs, ripisylves à forte productivité de biomasse et présence de rejets domestiques ou agricoles.

Par ailleurs, la quantité disponible en matières nutritives accroît la densité en phytophages et en saprophages, bases du réseau trophique, influençant (théoriquement) alors la densité en prédateurs. Ainsi, la corrélation positive entre les cincles et les affinités trophiques de la macrofaune implique des stations riches en éléments nutritifs, confirmant ainsi les résultats obtenus dans le paragraphe précédent sur les variables biotiques. Par compilation de ces résultats, le Cincle semble être influencé par un degré trophique important de ces stations de nourrissage.

En ce qui concerne son régime alimentaire, par hypothèse, le Cincle sélectionne sa nourriture en pleines eaux (taxons nageurs) ou dans le benthos (taxons fouisseurs). Au contraire, les espèces fixées semblent rebutantes : soit le Cincle ne va pas chasser à la surface des rochers ou alors il ne les distingue pas sur le couvert minéral.

Les corrélations sur le régime alimentaire montrent une influence du nourrissage des cincles sur les groupes zoophages puis nécrophages. Les taxons zoophages demeurent le groupe sommital du réseau trophique alors que les nécrophages se situent au bas de la chaîne alimentaire, éléments indissociables d'un écosystème de qualité fonctionnelle. Les nécrophages se nourrissent d'animaux morts s'accumulant logiquement dans des zones lenticques (de faible courant).

Ainsi, par hypothèse, la corrélation Cincle-régime alimentaire existe sous condition d'un réseau trophique macrofaunistique diversifié et équilibré.

Par ailleurs, le calcul de corrélation sur le régime alimentaire démontre à nouveau la présence nécessaire de secteurs à faible courant, favorables au dépôt d'animaux morts emportés par le courant (groupe des nécrophages) ainsi qu'une structure de la communauté impérativement stable (ensemble zoophages-nécrophages).

En ce qui concerne la pollution organique (saprobie), provenant en majorité des rejets domestiques et agricoles sur le territoire d'étude, la corrélation influençant la densité de cincles passe par la présence de taxons α -mésosaprobies puis β -mésosaprobies, soit respectivement moyennement polluo-résistants et polluo-résistants.

Par hypothèse, la population de Cincle peut être potentiellement considérée comme indépendante du facteur pollution organique (qualité des eaux) sur ses stations de nourrissage.

En ce qui concerne les habitats de la macrofaune, les stations échantillonnées se situent majoritairement en tête de bassin versant. Ainsi, la granulométrie fine, représentée par les sables et les limons, est majoritairement sur des zones de sédimentation ou protégées par des blocs où le courant est alors plus faible.

Ces résultats présentent encore une influence des zones majoritairement lenticques sur l'importance des populations de cincles, ainsi que la présence de familles d'arthropodes de type fouisseur (éléments décrits précédemment).

« La diversité des combinaisons de traits bio-écologiques, dans une communauté, est directement liée à la diversité des niches

écologiques offertes par l'écosystème » (USSEGLIO-POLATERA & BEISEL, 2003).

Sur les stations de suivi, les populations déterminées présentent des traits biologiques et écologiques diversifiés, démontrant ainsi que la corrélation entre le Cincle et la macrofaune implique une disponibilité et une diversité importante de ressources alimentaires.

En ce qui concerne la communauté de la macrofaune aquatique benthique, les hypothèses de corrélation influençant la densité de cincles résident dans les paramètres suivants :

- une abondance d'Éphéméroptères, et plus spécifiquement de Baetidae ;
- une abondance de Chironomidae ;
- une communauté aquatique structurée, organisée et résiliente (ensemble des peuplements) ;
- l'existence d'un réseau trophique macrofaunistique diversifié et équilibré.

Alors qu'en écologie de la conservation, on parle beaucoup de la conservation de la biodiversité à toutes les échelles, il semblerait d'après ces résultats que les effectifs de cincle ne soient pas favorisés par la richesse ou la diversité des taxons de la macrofaune aquatique, mais plutôt par certaines caractéristiques bio-écologiques, qui sembleraient déterminantes pour sa présence (S. BARBIER, com.pers.). Par conséquent, les caractéristiques suivantes des stations de nourrissage hivernal pourraient influencer la densité de cincles :

- un milieu aquatique possédant une importante diversité de niches écologiques (disponibilité de ressources avec stock alimentaire en hiver) ;
- un milieu aquatique productif, possédant des secteurs riches en éléments nutritifs (mésotrophe à eutrophe) ;

- la présence de microbiotopes calmes (ombre hydraulique), voire lenticules, dans lesquels une granulométrie fine existe.

Un autre élément, et de taille, n'a pas été pris en compte dans la présente étude. Il correspond au degré d'anthropisation des rivières ainsi qu'à la fréquentation humaine, comme le présente BOITIER (1998), précisant que la variation de densités de cincles est liée au facteur de dérangement.

Conclusion et perspectives de l'étude

Le présent document n'a pas la prétention d'être un article scientifique mais plutôt de rendre compte de l'influence des caractéristiques biologiques des tronçons échantillonnés sur les densités de cincles recensés en période hivernale.

Les corrélations demeurent hypothétiques... Cependant, le présent rapport permet d'aborder la relation entre la densité de Cincles et la composition et les traits bio-écologiques des communautés aquatiques.

Pour obtenir des résultats robustes et significatifs, il serait nécessaire d'étudier un minimum de 30 stations sur lesquelles les populations de cincles seraient dénombrées, en parallèle d'un échantillonnage et d'une détermination de la macrofaune aquatique.

Ainsi, les résultats pourraient être interprétés par régression multiple et permettraient de classer les variables biotiques (selon un niveau de corrélation croissant) et les effectifs de Cincle. Cette analyse nous donnerait également la significativité des corrélations.

Les suites logiques de cette étude afin d'obtenir des corrélations significatives sont :

- un échantillonnage de la macrofaune sur plusieurs stations (> 30) où les populations de Cincle seraient suivies ;
- un relevé descriptif détaillé de chaque station suivie ;
- une mesure des facteurs abiotiques pour suggérer de nouvelles corrélations (géomorphologie, pente, granulométrie...).

Remerciements

Merci à Jean-Paul Reding pour sa relecture en 2006 et Blandine Doligez pour la transmission d'éléments bibliographiques en 2018.



Bibliographie

AFNOR .1992. Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN), Association française de normalisation, Norme homologuée T 90-350.

BERTRAND, A . 1998. Le régime alimentaire et la sélection des proies par le Cincle plongeur (*Cinclus cinclus*) dans un cours d'eau des Pyrénées Centrales (Ariège) - Actes du 16ème Colloque Francophone d'Ornithologie- *Alauda* 56 (4) : 407-408

BOITIER, E . 2004. Biologie de reproduction du Cincle plongeur *Cinclus cinclus* dans le nord du Massif central : phénologie et importance des pontes. *Alauda*. Volume 72. Numéro 1. Pages 1-10.

BOITIER, E .1998. Densité et facteurs de répartition du Cincle plongeur *Cinclus cinclus* dans le Pays des Couzes (Puy-De-Dôme). *Alauda*. Volume 66. Numéro 3. Pages 185-194.

D'AMICO, F . 2004. Utilisation d'un hydrosystème de montagne par les oiseaux de rivière : variations d'abondance et connectivité. *Alauda* 72, 173-185.

D'AMICO, F . & HÉMERY, G . 2003. Calculating census efficiency for river birds: a case study with the White-throated Dipper *Cinclus cinclus* in the Pyrénées. *Ibis* 145, 83-86.

D'AMICO, F . MANEL , S. MOUCHES, C. ORMEROD, S.J. 2000. River birds in regulated rivers: cost or benefit ? Verh. Internat. Verein. *Limnol.* 27, 167-170.

D'AMICO, F . BOITIER, E . MARZOLIN, G . 2003. Timing of onset of breeding in three different Dipper (*Cinclus cinclus*) populations in France. *Bird Study*. 50, 189-192.

D'AMICO, F . 2014. Le comportement de plongée du Cincle plongeur *Cinclus cinclus* face aux variations de niveau - *Ornithos* 21-1 : 2-13

GEROUDET, P . 2010. *Les passereaux d'Europe*. Tome 1 – Des Coucous aux merles. Éditions Delachaux & Niestlé. Paris, France. 512 pages.

ORMEROD, S.J. & TYLER, S.J. 1986. The diet of Dippers *Cinclus cinclus* wintering in the catchment of the River Wye, Wales, *Bird Study*, 33:1, 36-45

ORMEROD, S.J . ALLENSON, N . HUDSON, D . & TYLER, S.J . 1986. The distribution of breeding dippers (*Cinclus cinclus* (L.) ; Aves) in relation to stream acidity in upland Wales. *Freshwater Biology* 16 : 501-507.

ORMEROD, S.J . & TYLER, S.J . 1993. Birds as indicators of changes in water quality. In: Furness, R.W., Greenwood, J.J.D. (Eds.), *Birds as Indicators of Environmental Change*. Chapman and Hall, London, pp. 179-216.

ORMEROD, S.J . & TYLER, S.J . 2005. Family Cinclidae (Dippers). In: del Hoyo, Josep, Elliott, Andrew, Christie, David (Eds.), *Handbook of the Birds of the World. Cuckoo Shrikes to Thrushes*, vol. 10. Lynx Edicions, Barcelona, pp. 332-355.



© G Bourderiomnet

ROCHÉ, J. & D'ANDURAIN, P. 1995. Écologie du Cincle plongeur *Cinclus cinclus* et du Chevalier Guignette *Tringa hypoleucos* dans les gorges de la Loire et de l'Allier. *Alauda*. Volume 63. Numéro 1. Pages 51-66. : 383-389.

SORDELLO, R. 2012. Synthèse bibliographique sur les traits de vie du Cincle plongeur (*Cinclus cinclus* (Linnaeus, 1758)) relatifs à ses déplacements et à ses besoins de continuités écologiques. Service du patrimoine naturel du Museum national d'Histoire naturelle. Paris. 14 pages.

SPITZNAGEL, A. 1985. Jahreszeitliche Veränderungen im Nahrungsangebot und in der Nahrungswahl der Wasserramsel (*Cinclus c. aquaticus*). *Ökologie der Vögel* 7: 239-325.

TACHET, H. RICHOUX, P. BOURNAUD, M. & USSEGLIO-POLATERA, P. 2000. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie - CNRS éd. Paris - 588 p.

USSEGLIO-POLATERA, P. & BEISEL, J.N. 2003. Biomonitoring de la Meuse : analyse spatio-temporelle des peuplements

macro-invertébrés (1998-2001) - Université de Metz - LBFE - Équipe de Démocologie

YEATMAN-BERTHOLOT, P. & JARRY, P. 1994. *Atlas des oiseaux nicheurs de France 1985-1989*. Société ornithologique de France. Paris, France. 775 pages.

Pour citer cet article :

JACQUIER, C. 2018.

Étude de la macrofaune aquatique benthique dans les sites d'alimentation hivernale du Cincle plongeur (*Cinclus cinclus*), sur la rivière du Chéran, au cœur du Parc Naturel Régional du Massif des Bauges (73-74). *Plume de Naturalistes* 2 : 131-156

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes*:
www.plume-de-naturalistes.fr

ISSN 2607-0510