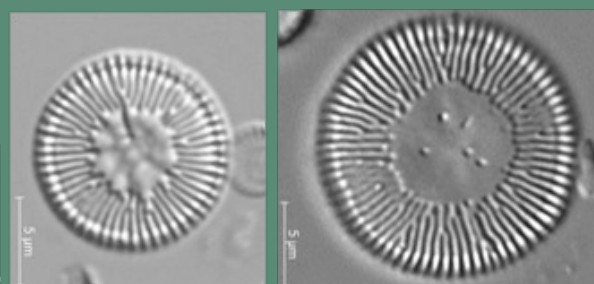
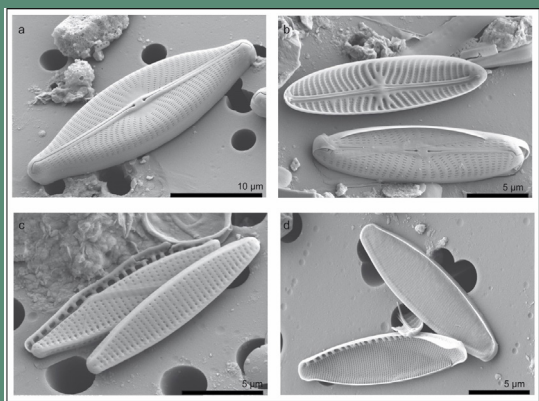


3 - 2022



BIOM

Revue scientifique pour la biodiversité
du Massif central



BIOM

Revue scientifique pour la biodiversité
du Massif central



Numéro 3 - 2022

Rédacteurs en chef

Camille Roux- camille.roux@uca.fr ; Gilles Thébaud - gilles.thebaud@uca.fr
UniVegE - Heriers Universitaires CLF - 3 Bd Lafayette 63000 Clermont-Ferrand - 0473406220

Mise en page

Camille Roux

Comité de rédaction

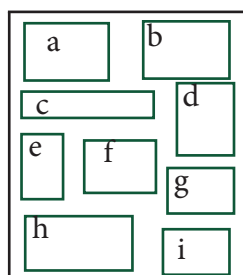
Philippe Bachelard
Hervé Cubizolle
Arnaud Delcoigne
André-Marie Dendievel
Thibaut Delsinne
Philippe Geniez
Yves Meinard

Comité scientifique

Aude Beauger
Luc Belenguier
Emmanuel Boitier
Vincent Boulet
Guillaume Choynet
Vincent Hugonnot
Mario Kleszczewski

Jean-Paul Mandin
Céline Sacca
Alexandre Teynié
Antoine Thouvenot

Illustration de couverture



- a) *Navicula salinarum* (a), *Navicula meulemansii* (b), *Nitzschia inconspicua* (c), *Nitzschia pusilla* (d).
b) Ruisseau de la Croix Morand (63) (cliché F. Labat).
c) Primocanne anguleuse à faces planes, avec des poils, des aiguillons dits hétéracanthes et des glandes stipitées..
d) *Erigeron blakei* Cabrera : échantillon récolté sur la commune de Beaumont.
e) *Cruciata pedemontana* (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana* (chapelle Saint-Antoine (Cantal) (cliché C. Roux).
f) *Tettigettalna argentata* ♂ - Chouvigny – Landes de Peraclos (Allier) (cliché L. Bélenguier).
g) Ambrette amphibie - *Succinea putris*.
h) Vue sur le plateau du Devès depuis la Garde des Ceyssoux (Le Brignon, 43).
i) Observations au microscope optique d'*Aulacoseira subarctica* ; *Pantocsekiella kuetzingiana* ; *Pantocsekiella comensis* ; *Pantocsekiella* cf. *delicatula* ; *Pantocsekiella minuscula*.

ISSN 2727-8131

<https://revues.bu.uca.fr/index.php/BIOM>

BIOM

Numéro 3 - 2022

SOMMAIRE

Duboc P. - Le genre <i>Rubus</i> : un défi pour les botanistes contemporains	1
Roux C., Brocard L., Cheuvart N. & Godot A. - <i>Cruciata pedemontana</i> (Bell.) Ehrend var. <i>pedmontana</i> nouveau pour le Cantal	10
Madi F. - Addition à la flore vasculaire du Puy-de-Dôme : <i>Erigeron blakei</i> Cabrera (<i>Asteraceae</i> , subtrib. <i>Conyzinae</i>)	15
Belenguier L. - <i>Tettigettalna argentata</i> (Olivier 1790) (Hemiptera: Cicadidae), une nouvelle cigale pour le département de l'Allier	23
Duboc P. - Eléments sur la malacofaune du nord-ouest du Massif central	30
Baker L.-A., Beauger A., Wetzel C., Voldoire O., Blavignac C., Allain E., Ector L. & Biron D. - Espèces de diatomées saumâtres observées à la source bitumineuse du Puy de la Poix : un îlot de curiosité	40
Labat F. - Les Diptères comme outil d'évaluation de l'état du corridor rivulaire – premières expérimentations sur des cours d'eau du Massif central, et comparaison avec des cours d'eau de Bretagne et des Pyrénées	52
Tahri A., Beauger A., Voldoire O., Allain E., Raynal J.-P. & Defive E. - Diatomées fossiles et actuelles du lac d'Issarlès (Ardèche, France) : premiers enseignements	68
Meinard Y, Thébaud G. & Roux C. - Végétations et successions végétales dans les monts du Devès (Haute-Loire, France) : esquisse phytosociologique et symphytosociologique d'un secteur volcanique méconnu	82

Le genre *Rubus* : un défi pour les botanistes contemporains

Pascal Duboc

17 Grande Rue 23110 Evaux-les-bains - dubocpa@wanadoo.fr

Soumis le 21 septembre 2021

Accepté le 28 octobre 2021

Publié le 19 janvier 2022

Résumé

Le genre *Rubus* est en botanique un groupe totalement délaissé depuis des décennies en raison de sa complexité, de son immense variabilité liée à son fort taux d'hybridation et du nombre très restreint de botanistes nationaux s'y intéressant. L'article tente de donner un aperçu du travail à accomplir à partir de 3 zones tests de prospection du nord du Massif central. Une approche historique locale est traitée en introduction, puis des éléments de taxonomie et d'identification sont abordés, et enfin des données statistiques simples basées sur les prospections contemporaines sont exposées.

Mots-clés

Batologie
Clé d'identification
Massif central

Abstract

The genus *Rubus* is in botany a group that has been totally neglected for many decades because of its complexity, of its immense variability linked to its high rate of hybridization and the very small number of national botanists interested in it. The article attempts to provide an overview of the work to be done from 3 test prospecting areas in the north of the Massif central. A local historical approach is discussed in the introduction, then elements of taxonomy and identification are discussed, and finally simple statistical data based on contemporary prospecting are exposed.

Keywords

Batology
Identification key
Massif central

Introduction : histoire de la batologie (ou rubologie) locale

La batologie (ou rubologie) est la discipline botanique qui étudie les ronces, batologues (ou rubologues) étant les pratiquants de cette science. S'il est un genre botanique totalement délaissé par les botanistes locaux depuis un siècle, c'est bien celui des ronces. Il faut remonter à la fin du XIX^{ème} siècle et début du XX^{ème} siècle pour trouver des écrits régionaux plus ou moins élaborés sur ce groupe et depuis plus rien ou quasiment ! A cette époque, deux botanistes français faisant parti des batologues de référence, Henri Sudre et Gaston Genévier, ont consacré une partie de leurs travaux aux ronces du Massif central. Si Sudre est venu en 1904 prospecter une partie de l'Auvergne (gorges de la Dordogne, Livradois, Sancy), Genévier n'y est jamais venu et s'est uniquement basé sur des récoltes de quelques botanistes locaux : Héribaud, Lamotte ou encore Lamy. C'est d'ailleurs en retenant les conseils de Genévier que Lamotte (1877) les a intégrées dans son « Prodrôme de la Flore du Plateau central de France », et que Héribaud (1891) a rédigé une clef des ronces du Plateau central. Genévier lui-même traite une partie de ces ronces du Plateau central en se contentant en fait d'intégrer les récoltes des précédents dans ses publications (*in* Genévier 1869, 1873 ou 1880). Pour être complet, l'abbé Cariot a transmis quelques très rares récoltes à Gandoger (1884), un batologue dont la classification taxonomique particulière n'a semble-t-il pas fait école.

Au milieu du XX^{ème} siècle, Chassagne (1956), dans son inventaire analytique, consacre certes un nombre non négligeable de pages à ce groupe mais malheureusement ses identifications restent trop imprécises. Quant à Grenier (1992), il néglige totalement le genre *Rubus*. Dans la Flore du Limousin (CREN 2001), on retrouve nombre de données de ronces qui émanaient essentiellement de Robert Lugagne ou Charles Legendre (1914/1922) mais dont les identifications sont trop souvent sujettes à caution.

En recoupant ces différentes sources historiques, on obtient plus de 220 noms différents de ronces pour le Plateau central. Ce chiffre peut apparaître d'emblée comme très important et pourtant il est très probablement bien loin de la réalité pour une si vaste région ! Mais cette liste est entachée d'un défaut majeur de l'époque : la batologie était surtout pratiquée dans le grand nord-est de la France, en continuité du travail des botanistes allemands très en avance sur les connaissances françaises ; les botanistes locaux ont alors trop souvent voulu rattacher leurs récoltes à des espèces de ces régions qui en fait sont absentes du Massif central. D'ailleurs les quelques examens d'herbiers locaux ont confirmé un grand nombre d'erreurs d'identification. Il est donc peu envisageable de s'appuyer sur une très large majorité de ces déterminations.

Dans le début des années 2000, j'ai commencé à aborder très modestement ces plantes, mais le manque cruel de références fiables rendait la tâche très complexe, voire décourageante. Bien heureusement, j'ai eu la chance de rencontrer David Mercier qui est le botaniste français contemporain qui consacre son temps sans compter à ce groupe végétal si particulier. Nos échanges réguliers ont permis par exemple d'organiser une journée d'initiation pour quelques botanistes locaux à la réserve naturelle

nationale de l'étang des Landes à Lussat en Creuse en 2012, puis les rencontres batologiques françaises en 2019 dans la forêt de Tronçais avec une dizaine de batologues nationaux. David Mercier est venu à quelques reprises en Auvergne. Personnellement, j'ai nettement accru mes prospections batologiques à partir de 2010 et consacre depuis 2019 quasi exclusivement toutes mes sorties botaniques aux ronces...

Taxonomie : un premier défi

Un certain nombre de ronces ont trouvé par le passé un nom scientifique reconnu et stabilisé ; mais ces ronces restent en fait largement minoritaires tant la diversité de ces plantes est énorme.

Il faut retenir également qu'il y a encore peu, l'école batologique allemande (sous la houlette de H.E. Weber†) avait des principes qui conduisaient à une nette réduction du nombre de taxons nommés : une espèce n'était considérée valide que si on pouvait la trouver en continu ou en populations séparées sur une distance d'au moins 50 kilomètres, et ils ne s'attardaient pas sur les ronces poussant en milieu trop ombragé sous prétexte qu'elles auraient trop souvent un développement les rendant difficilement identifiables ! Mais ces principes sont dorénavant abandonnés par nombre de batologues européens car on comprend bien en prospectant le terrain que l'on se prive d'une quantité considérable de taxons. D'ailleurs ces principes n'existaient pas à l'époque historique des débuts de la batologie et il est donc à ne pas douter que nombre d'espèces des auteurs anciens n'auraient pas été nommées et retenues par l'école allemande contemporaine. Pour illustrer ce dernier propos, on peut citer l'exemple de *Rubus brachythyrsoïdes* décrite par Sudre en 1904 d'une unique station près de Bort-les-Orgues (19), mais récemment nous l'avons répertoriée en plusieurs stations des hauts plateaux limousins, Combrailles, Sancy, forêt de Tronçais : elle est donc passée du statut de biotype local à espèce valide nationale !

Si l'on ne se met pas de barrière au recensement de terrain, on se retrouve face à 4 situations :

- Espèce valide nationale ou européenne nommée et reconnue depuis de nombreuses années ;
- Espèce « régionale » présente sur une vaste zone géographique du territoire mais sans nom, donc à typifier et nommer, ou alors il est possible qu'elle ait déjà un nom mais pour le moment il n'a pas été possible de faire la relation entre récolte de terrain et noms anciens... ;
- « Micro-espèce locale » présente sur au moins 2 stations locales plus ou moins éloignées, qui pourrait être typifiée et nommée ;
- Biotype local qui est un taxon, en l'état actuel des recherches, présent sur une seule station. Mais parmi cette quantité de taxons, il n'est pas à douter que dans l'avenir certains s'avéreront des espèces valides avec l'augmentation de la pression d'observation.

Enfin pour les amateurs de noms vernaculaires, il faut avouer immédiatement qu'il n'y a quasi aucun nom français pour les ronces et ce n'est peut-être pas la priorité du travail à accomplir pour ces plantes.

Ce problème de nomination des taxons impose donc un principe de travail transitionnel en adoptant des « noms provisoires de

travail », souvent en se basant sur un lieu géographique ou un aspect très particulier de la plante, en attendant un travail de nomination standardisé. La nomination complète d'un taxon demande actuellement le dépôt d'une part d'herbier (en général en musée) d'un spécimen issu de la localité type de découverte, une description détaillée (protologue) et la proposition d'un nom scientifique en latin suivi du nom des découvreurs et de l'année.

Comment étudier une ronce

Comprendre une ronce demande un protocole précis et standardisé qui peut paraître fastidieux mais obligatoire si l'on veut progresser. Tout d'abord on ne peut les étudier que sur une période finalement très courte de l'année, au plus tôt à partir de mi-juin et jusque début septembre, la période optimale étant juillet-août. La difficulté majeure est, lorsque l'on est face à un buisson qui visiblement est composé de plusieurs taxons, de bien attribuer à chaque espèce les parties stériles feuillées et les parties fertiles fleuries...

On se doit donc de regarder avec précision les éléments suivants (voir figures 1 à 6) :

- La primocanne (ou turion) qui est une tige feuillée de l'année ne portant aucune inflorescence : on notera son port, sa forme, la présence ou non et la densité de la pilosité (nombre de

poils par centimètre de tige), la présence ou non et leur densité de glandes stipitées (= petits aiguillons assez souples terminés par une petite glande sphérique) par centimètre de tige, la forme, taille et densité par 5 centimètres de tige des aiguillons. Pour ces derniers éléments on tiendra compte de la partie médiane de la tige.

- La florissante : c'est la tige qui porte en son extrémité l'inflorescence ; elle est en général différente de la primocanne dans son aspect et porte des feuilles le plus souvent à 3 folioles, mais son étude ne me semble pas vraiment essentielle et discriminatoire (avis personnel).

- Les feuilles : on notera le nombre de folioles, la présence ou non et l'aspect de la pilosité sur les faces de la foliole terminale, la forme de celle-ci avec l'aspect de l'apex et la denture périphérique, la taille du pétiole et des pétioles des folioles et leur type d'implantation au sommet du pétiole.

- L'inflorescence : sa forme générale, la présence ou non de feuilles et bractées, l'aspect (poils, glandes, aiguillons) de l'axe central et des pédicelles floraux.

- La fleur : couleur, forme des pétales et sépales, couleurs des étamines et pistils avec leur rapport de hauteur.

- Le fruit : composé de carpelles que l'on examinera encore verts pour noter la présence ou non de poils, leur couleur ; on pourra aussi examiner la pilosité du réceptacle, mais là aussi avis personnel, je ne suis pas certain que cela soit essentiel.



Figure 1 – Exemple d'une primocanne dite anguleuse à faces planes, avec des poils (ici peu denses), des aiguillons dits hétéracanthes (c'est-à-dire de taille hétérogène ; on les nomme homolacanthés quand ils sont de même taille) et des glandes stipitées.



Figure 2 – Exemple de feuille à 5 folioles et 3 folioles.



Figure 3 – Pour apprécier la pilosité des faces il faut les effleurer avec un doigt et pour les visualiser on replie la foliole.



Figure 4 – L'inflorescence a des formes différentes : ici on peut la qualifier de pyramidale, interrompue avec présence de feuilles trifoliolées et simples.



Figure 5 – La couleur des pétales des ronces se résume au blanc ou au rose plus ou moins vif ; dans ce cas les sépales sont tomenteux veloutés sans glandes ni acicules.



Figure 6 – Carpelles présentant des poils au sommet, à noter aussi le positionnement des sépales sous le fruit qui dans ce cas sont étalés.

Techniques d'identification

Il faut avouer d'emblée qu'il n'y a ce jour aucun document complet pour identifier les ronces de France tout simplement pour la raison déjà évoquée dans cet article : la trop faible connaissance du nombre de taxons présents sur le territoire national. Les batologues anciens ont assez rapidement découpé les ronces en diverses sections et séries en se basant sur différents éléments morphologiques. Décrite par certains, cette première étape semble pourtant judicieuse pour « dégrossir » une première approche. Personnellement j'utilise cette méthode avant de me diriger vers l'établissement de clefs plus spécifiques de chaque groupe.

Ci-après une proposition pour déterminer les différents groupes.

A – Plante basse, de haute montagne, à tige herbacée annuelle non pruiteuse, mûres rouge vif à maxi 8 drupéoles, stipules très minces implantées sur la tige et non sur le pétiole des feuilles à 3 folioles, fleur blanc verdâtre à pétales très courts bien < aux sépales

.....sous-genre *Cylactis* : une seule espèce locale *Rubus saxatilis* L. 1753

A' – Plante ± élevée, à tige ligneuse, mûres à + de 8 drupéoles en général, stipules ± larges toujours implantées à la base du pétiole.....**B**

B – Fruits mûrs rouge clair, feuille à 5 folioles pennées (2 paires et une foliole terminale), à dessous blanc tomenteux, pétales très courts < aux sépales.....sous-genre *Idaeobatus* : une seule espèce locale *Rubus idaeus* L. 1753

B' – Fruits mûrs rouge foncé à noirs, feuilles à 3-5 (exceptionnellement 6 ou 7) folioles digitées ou pédalées, pétales bien développés > sépales.....sous-genre *Rubus*

a – Fruits noirs, pruneux, bleutés à maturité à < 20 drupéoles ; primocanne cylindrique pruiteuse, glabre à sub-glabre, glandes stipitées présentes ; feuilles trifoliolées (rarement celles de la base des primocannes avec 4-5 folioles) ; fleurs à pétales blancs larges ; anthères, carpelles et réceptacles glabres (tous ces caractères réunis)Section *Caesii* : une seule espèce locale *Rubus caesius* L. 1753

(l'hybridation de cette espèce avec celles de la section *Fruticosus* est à l'origine de la section *Corylifolii*)

a' – Fruits non pruneux à maturité ; primocanne anguleuse ou non, glabre à fortement poilue, avec ou sans glandes stipitées ; feuilles avec 3 à 5 (6-7) folioles ; pétales blancs à roses ; anthères, carpelles, réceptacle : en général au moins un des 3 poilus **b**

b – Pétiole de toutes les feuilles à face supérieure canaliculée sur toute sa longueur ou sur plus de la moitié de sa longueur.....**c**

b' – Pétiole à face supérieure sans canalicule ou canaliculée sur moins de la moitié de la longueur ; fruits noir luisant à maturité ; toutes ou la plupart des feuilles bien développées et régulièresSection *Fruticosus* (p. 6)

c – Fruits rouge foncé à maturité, à goût rappelant la framboise ; primocanne dressée juste incurvée au sommet, peu anguleuse à faces planes à convexes, glabre, sans glande stipitée, à aiguillons fins et droits violacés ; feuilles digitées à 5 (7) folioles ; sépales à face externe vert et glabre, pétiole à face supérieure canaliculée sur toute la longueur ; fleurs blanches (tous ces caractères réunis)

.....Section *Nessenses* : une seule espèce locale *Rubus nessensis* Hall 1794



c' – Fruits noir mat à maturité (parfois avortés) ; feuilles régulières ou très irrégulières.....**d**

d – Feuilles à nombre variable de folioles ± imbriquées, au moins les basales sessiles ou sub-sessiles ; dessus des feuilles glabres ou à poils peu denses non tomenteux ; fruits à drupéoles en partie avortées, irrégulières ; anthères et/ou carpelles tous ou au moins pour certains poilus. Cette section regroupe un nombre conséquent d'hybrides entre *Rubus caesius* et les ronces de la section *Fruticosus* (les hybrides entre *caesius* et *ulmifolius* sont séparés par certains auteurs de la section *Corylifolii* sous le nom générique *Rubus x uncinellus*). D'une grande variabilité, ces ronces sont souvent mal développées, peinant parfois à fleurir, bien souvent très localisées

.....Section *Corylifolii* (= section *Nemorosus*)

d' – Feuilles à 5 folioles régulières toutes pétiolulées, à face inférieure toujours blanche tomenteuse**e**

e – Dessus des folioles vert cendré tomenteux velouté au toucher.....**f**

e' – Dessus des folioles glabre (hybrides *ulmifolius x canescens*).....Section *Collinus* (= section *Subtomentosi*)

- f** – Fruits à drupéoles généralement toutes développées ; foliole terminale sans apex distinct, ou très court ; primocanne à faces canaliculées, verte à pourpre, à aiguillons assez faibles (< 6 mm) ; sépales réfléchis ; inflorescence allongée à fleurs odorantes, pétales blanc-jaunâtre ; anthères et carpelles tous glabres : **section Canescentes**. Une seule espèce (?) dans nos régions, mais très variable, souvent ± hybridée (voir section *Collinus* = *Subtomentosi*).....**Rubus canescens De Candolle 1813**
- f'** – Fruits à drupéoles ± bien développées ; foliole terminale à apex distinct ; carpelles en général ± poilus ; primocanne à aiguillons ± puissants, à pilosité toujours présente ± fournie. Section hybride entre **Rubus canescens** et les ronces de la section **Fruticosus** : hybrides très variables, mais à inflorescence spiciforme allongée (comme *canescens*) à fleurs blanches.....**Section Collinus (= Subtomentosi)**

Section Fruticosus

- 1** – Sépales verts à face externe non ou peu tomenteuse (sauf sur la marge), sans glandes stipitées ni micro-aiguillons ; primocanne glabre à sub-glabre (< 40 poils par cm de primocanne) sub-érigée, ne se recourbant pas vers le sol au cours de la saison ; feuilles caduques**Subsection Rubus (= Suberecti)**
- 1'** – Sépales à face externe ± entièrement tomenteux, avec ou sans glandes stipitées ou micro-aiguillons ; primocanne glabre à très poilue ayant tendance à se recourber vers le sol au cours de la saison ; feuilles persistantes.....**Subsection Hiemales 2**
- 2** – Primocanne sans glande stipitée (exceptionnellement 1 ou 2 isolées/cm de face), pédicelles floraux sans ou à moins de 5 glandes stipitées.....
- 3**
- 2'** – Primocanne présentant toujours des glandes stipitées (parfois rares et cachées dans la pilosité) ; en général plus de 5 glandes stipitées sur les pédicelles floraux.....**5**
- 3** – Folioles très profondément lobées laciniées, à dessous vert tomenteux ; fleur blanc rosée à pétales trilobés, sépales longuement acuminés (espèce exogène rarement subspontanée).....**Rubus laciniatus (Weston) Willd. 1806**
- 3'** – Folioles entières à marge denticulée, parfois folioles basales (notamment pour les espèces à feuille trifoliolée) avec un lobe ± net ; marge des pétales entière ou encochée.....**4**
- 4** – Folioles à face inférieure nettement discolore de vert pâle à blanche, tomenteuse ; aiguillons en général ≥ 6 mm ; aucune glande stipitée dans l'inflorescence ou très éparses ; folioles à face supérieure souvent glabre**(incluse série Rhamnifoli) série Discolores (= morphotype Bifrons)**
(choix personnel de regrouper les séries *Rhamnifoli* et *Discolores* qui étaient séparées sur une différence de teinte du tomentum, mais ce dernier pouvant varier en fonction de la luminosité ne facilite pas toujours la séparation aisée des 2 groupes).
- 4'** – Folioles à face inférieure verte, jamais de tomentum, primocanne à faces planes ou convexes, ± poilue (en général > 50 poils/cm), à aiguillons médiocres (< 6 mm) ; folioles à face supérieure en général velue (> 2 poils/cm²)**(incluse série Sprengeliani) série Sylvatici (= morph. Sylvaticus)**
- 5** – Primocanne à aiguillons homolacanthés, c'est-à-dire à taille quasi égale, mais possibilité de micro-aiguillons épars non glanduleux conformes aux glandes stipitées de taille assez uniforme, pilosité ±dense**6**
- 5'** – Primocanne à aiguillons hétéracanthés c'est-à-dire à taille nettement disparate, glandes stipitées de taille variable.....**10**
- 6** – Primocanne poilue de manière assez dense (> 15 poils/cm de face = > 75 poils/cm de primocanne, Fig. 8) **ET** face inférieure des folioles à pilosité épaisse nettement perceptible, douce au toucher ; glandes stipitées en général rares (1 à 10 / cm de primocanne) et ne dépassant pas ou peu les poils**série Vestiti (= morph. Vestitus)**



- 6'** – Primocanne sub-glabre ou à pilosité peu dense (< 15 poils/cm de face = < 75 poils/cm de primocanne), **mais attention si pilosité plus dense**, alors face inférieure des folioles à pilosité non épaisse : rase, non ou peu perceptible au toucher ou épars, perceptible assez rude au toucher.....**7**

- 7 – Toujours plus de 15 glandes stipitées par cm de primocanne8
7' – Moins de 15 glandes stipitées par cm de primocanne.....9
- 8 – Dessous des feuilles vert sans aucun tomentum, plus pâle que la face supérieure ; primocanne souvent bassement arquée à rampante.....série *Pallidi* (= morph. *Pallidus*)
8' – Dessous des feuilles vert gris à léger tomentum ne voilant pas entièrement la face inférieure des folioles, discolore à la face supérieure ; primocanne en général assez hautement arquée.....série *Radula* (= morph. *Radula*)
- 9 – Dessous des feuilles ± tomenteux.....série *Micantes* (= morph. *Micans*)
9' – Dessous des feuilles sans aucun tomentum, apex des feuilles souvent nettement cuspidé, feuilles majoritairement à 3 folioles..... série *Mucronati* (= morph. *Condensatus*)
- 10 – Primocanne glabre à ± poilue, à moins de 40 glandes stipitées/cm et moins de 15 micro-aiguillons/5 cmsérie *Micantes* (= morph. *Micans*)
10' – Primocanne à pilosité éparse, à plus de 40 glandes stipitées/cm et plus de 15 micro-aiguillons/5 cm.....11
- 11 – Primocanne avec les plus gros aiguillons minces < 5 mm de long et de large à leur base peu développée, micro-aiguillons et glandes stipitées très abondants, difficiles à dénombrer car de plus primocanne souvent ronde (Fig. 9)
.....(inclus les morph. *Elegans* et *Guentheri*) série *Glandulosi*



- 11' – Primocanne avec les plus gros aiguillons assez robustes ≥ 5 mm et / ou largeur de la base ≥ 5 mm, base nettement étalée comprimée (Fig. 10).....série *Hystrix* (= morph. *Koehleri*)



Grâce à cette clef sectionnelle, il est rare de ne pas pouvoir classer une ronce dans l'une des catégories. Mais ce n'est qu'une introduction à l'identification spécifique. Des clefs par sections / séries régionales sont petit à petit établies en attendant d'atteindre une possible exhaustivité spécifique pour chacune des zones...

Il est bon de noter qu'avec l'altitude augmentant, certaines séries sont très rares voire absentes : *Discolores*, *Corylifolii*, *Canescentes*, *Subtomentosi*. Par contre, la diversité de la série *Hystrix* augmente avec l'altitude, tout comme la présence de *Rubus idaeus* et plus encore pour la rare et en voie de raréfaction *Rubus saxatilis* confinée au-dessus des 1400 m d'altitude. Les séries *Pallidi*, *Sylvatici* et *Glandulosi* sont les ronces de base des sous-bois, la série *Pallidi* semblant très diversifiée mais n'est pas simple d'abord. Les *Discolores* sont le contingent majeur des ronces du bocage ; les *Corylifolii* peuvent être qualifiées d'anthropiques car, dans leur très large majorité, elles colonisent les biotopes en relation directe avec les activités humaines.

Approche locale de recensement

Afin de tester une méthode de recensement des ronces régionales, il a été choisi trois secteurs tests qui semblent représentatifs des zones biogéographiques du nord du Massif central :

- La zone A « Futaies bourbonnaises » : l'altitude y varie entre 200 et 300 m ; Tronçais, Dreuille, Lespinasse, Soulongis sont prospectées et représentent environ 17000 ha. L'organisation en 2019 des journées batologiques nationales à Tronçais a considérablement amélioré mes modestes connaissances antérieures.
- La zone B « Basse Combraille » : située entre 300 et 700 m d'altitude, elle couvre environ 70000 ha de bocage, petits massifs forestiers, gorges boisées occupant le bassin versant de Tardes et Cher.
- La zone C « Sancy / Dômes » : j'ai ciblé mes prospections au-dessus des 900 m d'altitude afin d'aborder la ruboflore typique d'altitude. Cette zone couvre environ 20000 ha.

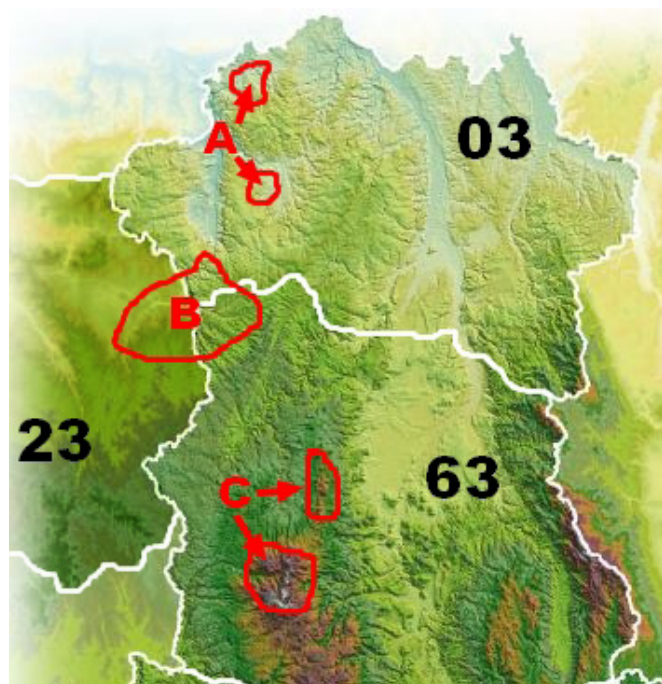


Figure 11 – Localisation des zones tests.

Le principe de recensement adopté sur le terrain est de noter systématiquement tous les taxons rencontrés, de les photographier dans toutes leurs parties pour établir des parts « d'herbier numérique » puisque j'ai fait le choix de ne pas faire d'herbier matérialisé. Une première phase de recherche bibliographique pouvant concerner ces zones a donc été effectuée, des parts d'herbiers historiques ont pu être consultées directement ou par obtention de scans auprès des organismes dépositaires. Malheureusement comme exposé dans la partie introductive, la fiabilité des écrits anciens est fort sujette à caution. Je n'ai donc choisi de retenir parmi ces ouvrages que les espèces types ayant été décrites localement et les quelques espèces suffisamment précisément localisées pour pouvoir éventuellement les retrouver.

Il n'est pas question ici de donner des listes d'espèces puisqu'il s'agit d'un instant T d'une étude qui demandera sûrement quelques années avant d'arriver à une certaine exhaustivité et des documents de référence pour l'identification future de tous

les taxons de ces zones tests. On peut toutefois déjà en tirer plusieurs éléments.

Tableau 1 – Nombre d'espèces par zones.

Zones tests	Zone A Futaies bourbonnaises	Zone B Basse Combraille	Zone C Sancy/Dômes
Nombre d'espèces types décrites localement	0	(3)	5 ou 6
Nombre total d'espèces recensées dans le cadre de l'étude	66	123	43

La variété de biotopes en Basse Combraille ainsi qu'une superficie d'étude plus vaste permet d'obtenir un chiffre important de taxons. En « Futaies bourbonnaises », on retrouve une kyrielle d'espèces qui semblent donc inféodées aux grands massifs forestiers. Enfin, ceci étant bien connu, l'altitude réduit la diversité et la présence de ronces d'où un nombre de taxons notablement inférieur en Sancy / Dômes, cette diversité se réduisant même à 2 ou 3 taxons au-dessus de 1400 m d'altitude.

Il est d'autre part logique de ne trouver mention d'espèces types que dans la zone Sancy / Dômes puisque c'est la seule qui fut historiquement visitée par H. Sudre. En ce qui concerne les 3 éventuelles espèces types de Basse Combraille, la situation n'est pas claire car elles furent initialement récoltées par Cariot avec des identifications apparemment non valides. Puis elles furent peut-être renommées par Gandoger sur la base de ces parts d'herbiers, mais pour le moment une seule de ces 3 espèces a été retrouvée et en fait il apparaît que Gandoger ne l'aurait pas étudiée.

Tableau 2 – Répartition infra-spécifique des taxons.

Zones tests	Zone A Futaies bourbonnaises	Zone B Basse Combraille	Zone C Sancy/Dômes
Espèces valides nationales	17 (25,75%)	36 (29,3%)	15 (35%)
Espèces nationales à valider	2 (3%)	5 (4,1%)	2 (4,5%)
Micro-espèces locales	11 (16,65%)	16 (13%)	6 (14%)
Biotypes locaux	36 (54,5%)	66 (53,6%)	20 (46,5%)

On remarque une notable similitude des taux des zones A et B révélateurs probablement d'une certaine équivalence de pression d'observation. Plus globalement, on constate que quasiment les trois quarts sont « des inconnues de la science ». Certaines pourraient, pour une partie encore non cernée, être typifiées et validées.

La part importante de biotypes sera à modérer dans l'avenir car nombre seront probablement trouvés sur d'autres stations, les validant en tant que micro-espèces locales voire régionales ou pourquoi pas espèces nationales.

Tableau 3 – Corrélation spécifique inter-zones.

	Nombre
Espèces communes aux 3 zones	5
Espèces communes zones A et B	13
Espèces communes zones A et C	1
Espèces communes zones B et C	2

Les très faibles taux de corrélation spécifique inter-zones démontrent que les populations de ronces sont en fait très localisées géographiquement. Si l'on retenait le principe des 50 kilomètres pour valider une espèce, on constate immédiatement que dans le cas de cette étude seuls 30 % des taxons rencontrés auraient valeur d'espèces valides puisqu'aucune des zones ne dépasse 30 kilomètres ! Ce principe ne peut donc être raisonnablement acceptable au risque de se priver d'une quantité notable de connaissances.

Conclusion et perspectives

Cette première phase de travail confirme bien que la diversité en ronces est immense et que la tâche pour les recenser et identifier l'est tout autant. Les ronces semblent réparties par îlots géographiques dont la spécificité varie en quelques dizaines de kilomètres, les espèces ayant une large répartition étant en fait minoritaires. Ceci est lié à leur reproduction qui n'est sexuée que pour peu d'espèces, l'apomixie étant par contre très fréquente chez les ronces ; à cela il faut ajouter une forte propension à l'hybridation (voir partie introductive sur la reproduction des ronces in [Mercier 2012](#)).

On pourrait en conclure qu'il est illusoire de vouloir cerner exhaustivement ces plantes régionalement, plus encore au niveau national, surtout avec si peu de botanistes s'y intéressant ; de plus il est fort possible que le séquençage ADN « se démocratisant » puisse bien venir bouleverser tous nos acquis ? Mais si on aime les défis et la découverte, la batologie est sans conteste un immense terrain de jeu aisé à arpenter puisque les ronces sont là un peu partout autour de nous, ne demandant pas de matériel spécifique, juste patience et méthode pour les étudier. Autre argument, c'est le plaisir de parfois retrouver des espèces décrites il y a plus d'un siècle.

En ce qui concerne plus particulièrement les zones tests étudiées ici, on peut espérer approcher une certaine exhaustivité dans un futur proche, d'en tirer des clefs d'identification, d'établir des fiches iconographiques les plus complètes possibles pour chaque taxon. Par contre, la sanction de chacune de ces ronces par un nom scientifique n'est pas à l'ordre du jour, tout au plus cela pourrait être tenté pour les quelques espèces (moins d'une dizaine) bien reconnues et cernées régionalement.

Remerciements

Mes remerciements vont tout particulièrement à David Mercier pour sa disponibilité à partager son grand savoir de ce groupe botanique, mais aussi aux quelques trop rares membres du groupe national **Rubus** avec lesquels on peut échanger via le site web Atelier Rubus de Télabotanica (<https://www.tela-botanica.org/projets/atelier-rubus/>).

Références

- Chassagne M., 1956. Inventaire analytique de la Flore d'Auvergne et contrées limitrophes des départements voisins. *Ed. Lechevallier - Paris*, 458p.
- C.R.E.N., 2001. Atlas de la flore vasculaire du Limousin. *Ed. Espaces naturels du Limousin*, 863p.
- Gandoger M., 1884. *Rubus* nouveaux avec un essai de classification du genre. *Librairie Savy - Paris*, 145p.
- Genévier G., 1869. Essai monographique sur les *Rubus* du bassin de la Loire. *Imprimerie Lachèse, Belleuvre & Dolbeau - Angers*, 364p.
- Genévier G., 1873. Premier supplément à l'essai monographique sur les *Rubus* du bassin de la Loire ; Mémoires de la société académique du Maine-et-Loire. *Imprimerie Lachèse, Belleuvre & Dolbeau - Angers*, tome XXVIII, 97p.
- Genévier G., 1880. Monographie des *Rubus* du bassin de la Loire. *Librairie Savy - Paris*, 395p.
- Grenier E., 1992. Flore d'Auvergne. *Société linnéenne de Lyon*, 656p.
- Héribaude J., 1891. Analyse descriptive des *Rubus* du Plateau central de la France. *Librairie J.B. Rousseau - Clermont-Ferrand*, 30p.
- Lamotte M., 1877. Prodrôme de la flore du Plateau central de la France. *Ed. Masson - Paris*, 374p.
- Le Gendre C., 1914 & 1922. Catalogue des plantes du Limousin. *Société Botanique et Études Scientifiques du Limousin. Ducourtieux et Bontemps - Limoges*, 2 vol., 312 et 410p.
- Mercier D., 2012. Le genre *Rubus* L. (Rosaceae) dans le Massif armoricain et ses abords : une nouvelle approche, et une première espèce à réviser, *R. caesioides* L.. *ERICA* 25 : 97-116.
- Mercier D., 2020. Compte rendu de la sixième rencontre batologique française du 27 juin au 1er juillet 2019 à Tronçais (03). *Non publié*, 27p.
- Sudre H., 1904. Contributions à la flore batologique du Plateau central. *Bulletin de la Société Botanique de France*, quatrième série – tome IV : 10-28.

Cruciata pedemontana (Bellardi) Ehrend. var. pedemontana nouveau pour le Cantal

Camille Roux, Léa Brocard, Noémie Cheuvart & Ariane Godot

Université Clermont Auvergne, UniVegE, F-63000 Clermont-Ferrand - camille.roux@uca.fr, l.brocard@icloud.com, noemie.cheuvart@gmail.com, ariane.godot@uca.fr

Soumis le : 21 septembre 2021, accepté le : 3 novembre 2021, publié le : 19 janvier 2022

BIOM/<https://doi.org/10.52497/biom.v3i1.295>

Introduction

Dans le cadre du programme IHMAGES (Informatisation des herbiers historiques du Massif central pour l'analyse globale de l'évolution des écosystèmes, financement européen FEDER), des sites connus depuis longtemps par les botanistes sont prospectés par l'équipe d'UniVegE, de l'Université Clermont Auvergne, afin d'avoir une meilleure connaissance des changements de la végétation et de la flore végétale du Massif central. Ce programme se base sur l'exploitation des données historiques et actuelles des herbiers et consiste en un suivi diachronique d'espèces végétales bio-indicatrices, en rapport avec les changements globaux, climatiques et anthropiques. En 2021, plusieurs sites ont fait l'objet de recherche de taxons bio-indicateurs et des localités d'anciens relevés de végétation ont été revisitées : mont Aigoual, monts Dore, monts du Cantal, pelouses xérothermiques du Puy-de-Dôme, de la Haute-loire et du Cantal. C'est dans cette dernière station qu'a été vu pour la première fois dans le Cantal *Cruciata pedemontana* (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana*.

Description

La Croisette du Piémont (*Cruciata pedemontana* (Bellardi) Ehrend.) est une plante annuelle de la famille des Rubiacées. Elle mesure entre 20 à 40 cm, la tige est grêle, scabre, hérissée de poils étalés et porte sur les angles des aiguillons courts rétrorses (photo 1). Les feuilles, vert-jaunâtre, sont velues et verticillées par 4. Les pédoncules sont sans bractées, les fructifères sont très recourbés et velus et cachent les fruits sous les feuilles réfléchies (photo 2). Les fleurs sont jaune pâle, en cyme axillaire, à 1-3 fleurs (Coste 1937 ; Tison & de Foucault 2014 ; Tison et al. 2014). Il existe deux variétés : var. *pedemontana* à tige à aiguillons et poils rétrorses prédominants, port dressé et élané à entrenœuds très longs ; var. *procumbens* à tige à poils étalés prédominants, plus trapue et condensée que la précédente (Natali & Dutartre 1995 ; Tison et al. 2014). Dans la station du Cantal nous avons trouvé *Cruciata pedemontana* var. *pedemontana*.

Répartition

Cruciata pedemontana est une espèce euryméditerranéenne au sens large (carte 1). En France on la trouve dans la partie sud-est, dans les Cévennes et en Corse (carte 2).

La var. *pedemontana* se trouve dans des stations thermophiles de basse altitude, tandis que la var. *procumbens* est montagnarde et non thermophile, c'est la variété la plus fréquente dans la zone méditerranéenne (Tison et al. 2014).

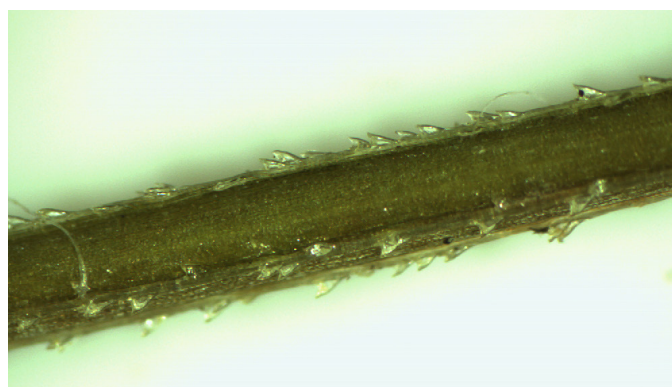


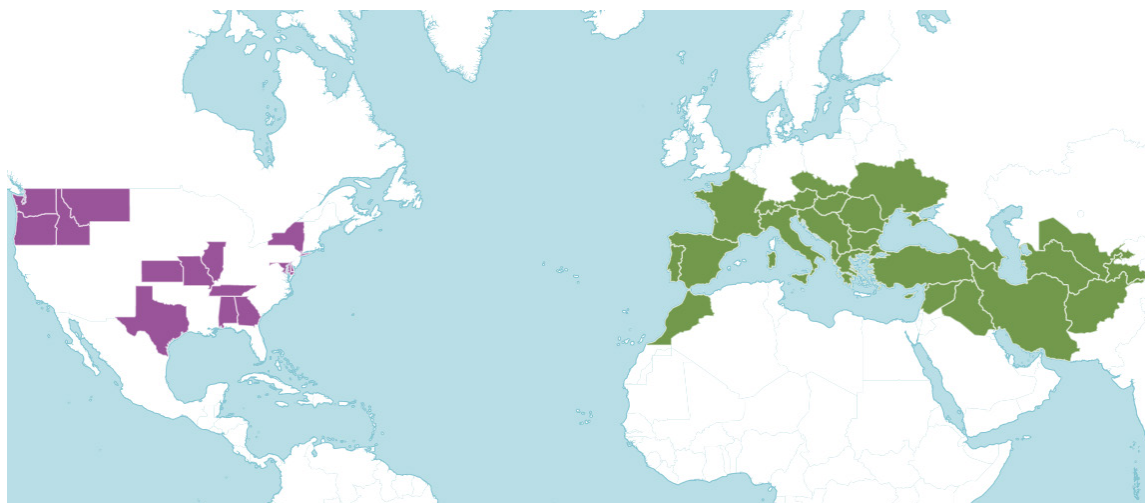
Photo 1 - Aiguillons courts rétrorses sur la tige de *Cruciata pedemontana* (photo prise sous la loupe binoculaire).



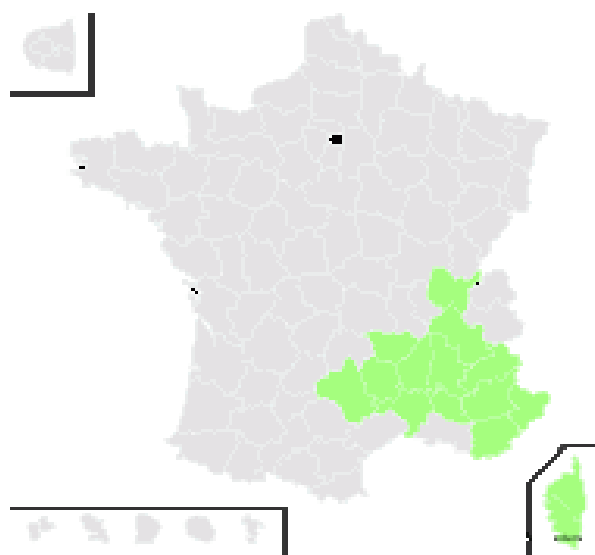
Photo 2 - Pédoncules fructifères recourbés et velus cachant les fruits sous les feuilles (photo prise sous la loupe binoculaire).

Elle a été trouvée en 1995 par E. Grenier en Haute-Loire (Antonetti et al. 2006 ; Tort et al. 2008), c'est la première mention pour l'Auvergne.

Nous avons consulté la bibliographie (Chassagne 1956 ; Sapaly 1982, Grenier 1992, Chloris web @2) et les collections d'herbiers (Herbiers de l'université de Clermont-Ferrand (CLF) ; plateforme Recolnat @4) afin de voir si cette espèce avait déjà été trouvée dans le Cantal, aucune de ces sources ne mentionnent la découverte de la Croisette du Piémont dans ce département.



Carte 1 - Carte de répartition de *Cruciana pedemontana* (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana* dans le monde, en vert indigène et en violet introduite (Kew, plants of the World Online @1).



Carte 2 - Carte de répartition de *Cruciana pedemontana* (Bellardi) Ehrend. en France (Tela Botanica @3).



Photo 3 - Pelouse xérothermophile à Fétuque d'Auvergne, localisée sur le plateau de la chapelle Saint-Antoine, dans laquelle se trouve une des stations de *Cruciana pedemontana* (Bellardi) Ehrend var. *pedemontana* (photographie : Camille Roux).

Station du Cantal : localisation et écologie

Cruciana pedemontana (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana* a été trouvé sur la commune de Chastel-sur-Murat, sur le plateau où se situe la chapelle Saint-Antoine. Elle se trouve sur basalte, à une altitude de 1080 m, dans des pelouses xérothermophiles à Fétuque d'Auvergne (photo 3), la population y est assez importante, au moins un millier de pieds (photo 4).

D'un point de vue phytosociologique cette pelouse ouverte à *Festuca ovina* se situe dans l'alliance du *Koelerio-Phleion phleoidis* Korneck 1974, qui représente les communautés plus ou moins xérophiles, acidoclines à acidiphiles et souvent montagnardes.

Dans le relevé de Luquet (1937) ce taxon n'était pas présent (ni d'ailleurs *Cruciana laevipes* Opiz). On peut penser que, soit la plante était déjà présente mais peu abondante, ou bien totalement absente en 1937.

Un échantillon a été déposé dans l'herbier de l'université de Clermont-Ferrand sous le numéro CLF137966 (photo 5).



Photo 4 - *Cruciata pedemontana* (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana* observée le 15 juillet 2021 à la chapelle Saint-Antoine (Chastel-sur-Murat, Cantal). A) Fleurs. B) Pédoncules fructifères recourbés et velus cachant les fruits sous les feuilles réfléchies. C) Tige avec aiguillons courts rétroscés. D) Plantes entières dans une touffe de Fétuque d'Auvergne (photographies : Camille Roux).



Photo 5 - Planche d'herbier de *Cruciana pedemontana* (Bellardi) Ehrend. var. *pedemontana* observée et déposée aux herbiers universitaires de Clermont-Ferrand (UniVegE - Herbiers CLF) sous le code barre CLF137966.

Remerciements

Le projet IHMAGES est cofinancé par l'Union européenne et le Fonds National de l'Aménagement et du Développement du Territoire. L'Europe s'engage dans le Massif central avec le fonds européen de développement régional.

Références

- Antonetti Ph., Brugel E., Kessler F., Barbe J.P. & Tort M., 2006. *Atlas de la Flore d'Auvergne*. Conservatoire botanique national du Massif central, 984 p.
- Chassagne M., 1957. *Inventaire analytique de la flore d'Auvergne et contrées limitrophes des départements voisins*, Tome 2. Paul Lechevalier Ed., Paris, 542 p.
- Coste H., 1937. *Flore descriptive et illustrée de la France*. Librairie des sciences et des arts, Paris, Tome 2, 627 p.
- Grenier E., 1992. *Flore d'Auvergne*. Société Linéenne de Lyon, 655 p.
- Luquet A., 1937. *Recherches sur la géographie botanique du Massif Central - Les colonies xéothermiques de l'Auvergne*. Imp. Moderne, Aurillac, 328 p.
- Natali A. & Dutartre G., 1995. *Cruciata pedemontana* (Bell.) Ehrend. var. *procumbens* (Ascherson) Natali & Dutartre comb. nov., nouveau pour la Corse. *Candollea*, **50** : 578-583.
- Sapaly J., 1982. *Atlas de la flore du Cantal*. Paris, Secrétariat de la Faune et la Flore, Fascicule 16, 85 p. + 188 planches.
- Tison J.-M., Jauzein P. & Michaud H., 2014. *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Naturalia publications, 2078 p.
- Tison J.-M. & de Foucault B., 2014. *Flora Gallica - Flore de France*. Éd. Biotope, Mèze, 1196 p.
- Tort M., Antonetti P., Belin B. & Portal R., 2008. *Guide de la flore de Haute-Loire*. Éditions Jeanne d'Arc, Tome 1, 512 p.

- @1 Kew, <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:77168030-1> (28/07/2021)
- @2 CBNMC, http://cbnmc.fr/cartoweb3/Chloris/atlas_auv/menu_auv.php (28/07/2021)
- @3 Tela Botanica, https://www.tela-botanica.org/eflore/?referentiel=bdtdfx&module=fiche&action=fiche&num_nom=19965&onglet=synthese (28/07/2021)
- @4 Recolnat, <https://explore.recolnat.org/> (28/07/2021)

Addition à la flore vasculaire du Puy-de-Dôme : *Erigeron blakei* Cabrera (Asteraceae, subtrib. Conyzinae)

Franck A. Maddi

Musée Henri-Lecoq, 15 rue Bardoux, 63000 Clermont-Ferrand ; fmaddi@clermontmetropole.eu

Soumis le 16 novembre 2021

Accepté le 28 janvier 2022

Publié le 11 mars 2022

Mots-clés

Auvergne
Adventice
Espèce envahissante
Conyza spp.
Erigeron spp.

Keywords

Auvergne
Weed
Invasive species
Conyza spp.
Erigeron spp.

Résumé

La Vergerette de Blake, *Erigeron blakei* Cabrera, est signalée pour la première fois dans le département du Puy-de-Dôme (Auvergne, France), en plusieurs stations de la métropole clermontoise.

Abstract

Blake's Fleabane, *Erigeron blakei* Cabrera, is reported for the first time in the department of Puy-de-Dôme (Auvergne, France), in different places of the metropolis of Clermont-Ferrand.

Introduction

Les milieux rudéralisés du département du Puy-de-Dôme comptabilisent six Vergerettes (*Erigeron* spp.) communes : *Erigeron acris* L., *E. annuus* L., *E. bonariensis* L., *E. canadensis* L., *E. karvinskianus* DC. et *E. sumatrensis* Retz. (Grenier 1992 : 335; Billy et al. 1994 ; Billy 2002 : 197 ; Antonetti et al. 2006 ; Biodiv'AURA 2021a ; CBNMC 2021 ; UniVegE 2021) ; une septième espèce, *E. floribundus* (Kunth) Sch. Bip., est parfois citée mais reste sujette à caution car reposant sur une seule mention faite en 2005 d'une identification qualifiée de probable (Biodiv'AURA 2021a). Sur

la foi de nos prospections et herborisations menées en 2021 sur le territoire de la métropole clermontoise, nous confirmons la présence de la Vergerette de Buenos Aires, *E. bonariensis*, jusqu'alors établie sur l'unique citation faite par Chassagne (1957 : 411) et non étayée par une récolte (Gilles Thébaud & Arnaud Delcoigne (CLF), comm. pers., septembre 2021). À cette liste, il convient désormais d'ajouter une huitième espèce. En effet, durant l'été 2021, nous avons découvert une nouvelle espèce non répertoriée dans ce territoire : la Vergerette de Blake, *Erigeron blakei* Cabrera (Fig. 1 et 2).



Figure 1 - *Erigeron blakei* Cabrera : (a) aspect général de la plante, (b) feuilles basales, caulinaires inférieures et médianes, (c) feuilles caulinaires supérieures, (d) capitules montrant leurs fleurs périphériques à hémiligules blanches subnulles et fleurs du disque à corolle tubuleuse jaune, (e) capitules avec stigmates des fleurs périphériques exserts, (f) capitule en fructification et akènes.

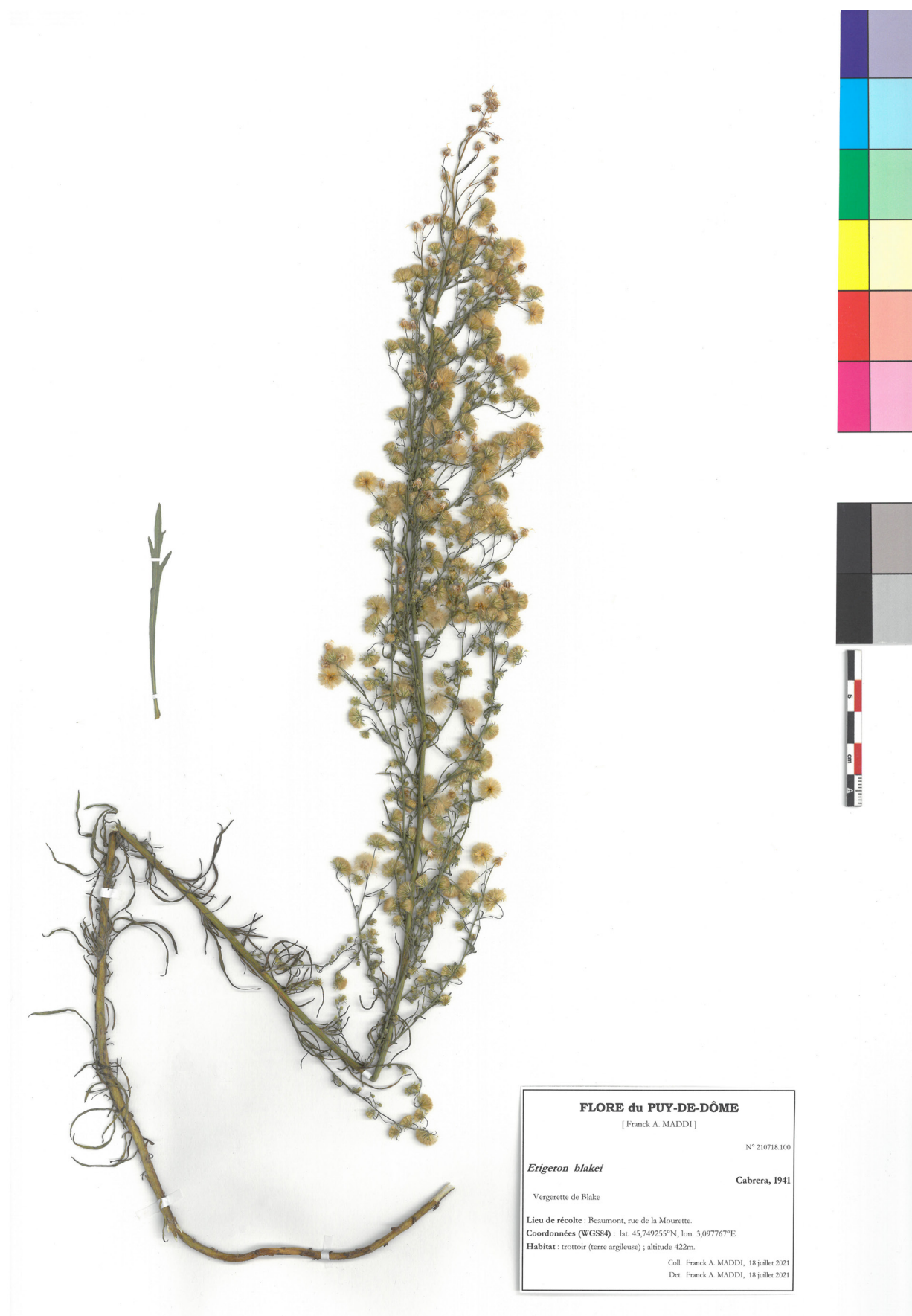


Figure 2 - *Erigeron blakei* Cabrera : échantillon récolté sur la commune de Beaumont le 18 juillet 2021 (Maddi F.A. n°210718.100), déposé aux Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand (CLF366350).

Nomenclature

Erigeron blakei Cabrera, 1941, *Revista del Museo de La Plata, sección botánica* 4(17) : 90, Fig. 25.

Synonymes :

Erigeron montevidensis Baker, 1882, *Flora Brasiliensis* (Martius) 6(3) : 30 (non Spreng. 1826).

Conyza blakei (Cabrera) Cabrera, 1953, *Manual de la Flora de los Alrededores de Buenos Aires* : 481.

Conyza bonariensis f. *filifolia* Chodat & Hassler, 1903, *Bulletin de l'Herbier Boissier, série 2*, 3 : 714.

Erigeron montevidensis var. *dunensis* Malme, 1931, *Arkiv för botanik*, 24A, 6 : 48.

Erigeron spiculosus var. *minor* Hook.f., 1846, *Botany of the Antarctic voyage of H.M. Discovery ships Erebus and Terror, in the years 1833-1843*, 1(2) : 307.

Remarque : Bolòs & Bolòs (1987:18) citent *Erigeron coronopifolius* Sennen comme synonyme, mais le protologue de ce taxon publié par Sennen (1929 : 66), ainsi que les échantillons mentionnés par l'auteur (exs. Plantes d'Espagne (F. Sennen) n°1104, 3413, 4837), correspondent à la description d'*E. floribundus*.

Nom français : Vergerette de Blake ; espèce dédiée à Sydney Fay Blake (1892-1959), botaniste taxonomiste nord-américain qui étudia notamment les astéracées sud-américaines (Blake 1960).

Description (d'après nos échantillons et complétée d'après Cabrera 1941 ; Jauzein 1998 ; Tison & Foucault 2014 ; Diez De Ulzurrun et al. 2018 ; Fig. 1 et 3)

Plante herbacée annuelle à tige simple, érigée, striée mais à côtes à peine saillantes et à pilosité épars, souvent anthocyanée dans sa partie basale, H.15-100 cm ; feuilles à pilosité épars laissant voir l'épiderme, à marges bordées de soies, sur les 2/3 supérieurs très courtes et nettement arquées, longuement ciliées sur leur 1/3 inférieur ; présence d'un bourgeon florifère feuillé à l'aisselle des feuilles caulinaires médianes et supérieures leur donnant un aspect fasciculé ; feuilles basales entières à marge \pm grossièrement dentée (L.45-50 mm, l. 6-8 mm) ; feuilles caulinaires inférieures profondément pennatifides à rachis linéaire (L.40-80 mm, l.1-3 mm), à lobes alternes, linéaires et apex aigu (L.5-10 mm, l.1-1,5 mm) ; feuilles caulinaires médianes et supérieures étroitement linéaires, apex aigu, limbe glabre à une nervure visible (L.20-50 mm, l.1-1,5 (3) mm) ; synflorescence en panicule dense, allongée, cylindrique et étroite (L.15-30 (35) cm, l.<6 cm majoritairement) ; involucre campanulée, à bractées linéaires-lancéolées et apex subobtus, marge scarieuse, glabres ou avec quelques poils épars (L.3,5-4,5 mm, l.3,5 mm) ; fleurs périphériques plurisériées (\pm 50 fleurs ; L.2,5-3,5 mm), femelles, filiformes, à hémiligule blanche, très courte (L.<0,5 mm), plus courte ou dépassant à peine l'involucre, apex courtement bidenté ; fleurs du disque (5-8 fleurs ; L.3-4 mm), androgynes, corolle tubuleuse jaune, apex pentadenté ; styles bifides exserts à l'anthèse ; akènes (50-80/capitule) oblongs, comprimés, faiblement pubescents (L.1,2-1,5 mm), pappus blanc-jaunâtre à soies lisses (L.2 mm).

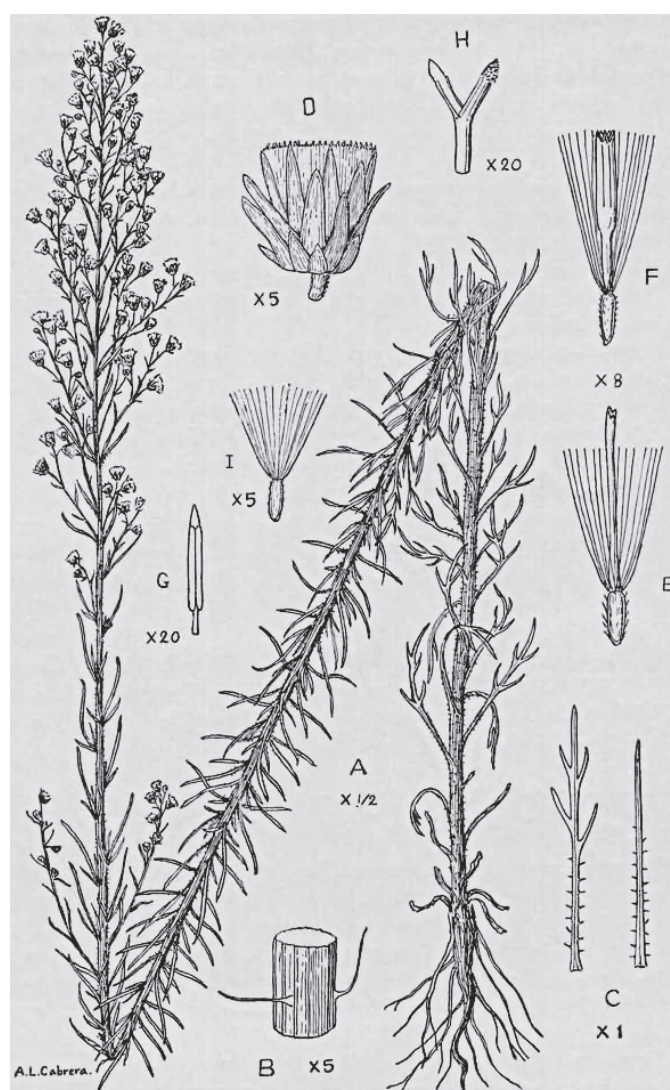


Figure 3 - *Erigeron blakei* Cabrera : iconotype avec analyse tel que publié par Cabrera (1941). A, plante entière ; B, tronçon de tige ; C, feuilles caulinaires ; D, capitule ; E, fleur du disque ; F, fleur périphérique ; G, anthère ; H, stigmate bifide ; I, akène.

Biologie

Floraison et fructification : de juin à octobre (novembre).

Fécondation : pollinisation autogame et entomogame.

Cytologie : $2n = 6x = 54$ (Thébaud & Abbott 1995 ; Urdampilleta et al. 2005).

En termes phylogénétiques, *E. blakei* se montre proche de *E. sumatrensis*, tous deux distants de *E. bonariensis* et plus encore de *E. canadensis* (Nesom 2008a ; Diez de Ulzurrun et al. 2018). Des hybridations entre *E. blakei* et *E. sumatrensis* ($2n = 54$), ainsi qu'avec *E. bonariensis* ($2n = 54$) seraient-elles possibles ? Des hybridations entre taxons éloignés dans la sous-tribu des *Conyzinae* ont été décrites, documentées et discutées (Pau 1905 ; Mundell 2016), à l'instar des combinaisons *E. canadensis* x *E. bonariensis* (= *E. x flahaultiana* Sennen), *E. sumatrensis* x *E. bonariensis* (= *E. x barcinonense* Sennen) et *E. sumatrensis* x *E. canadensis* (= *E. x rouyana* Sennen). En raison de leur proximité phylogénétique, de leurs caryotypes et des présences des trois espèces *E. blakei*, *E. bonariensis* et *E. sumatrensis* au sein de mêmes stations, de telles hybridations paraissent donc concevables, mais elles restent encore à prouver et à trouver.

Écologie

Herbacée thérophyte, mésohéliophile, rudérale notamment des friches eutrophiles, bords des routes et pieds de murs.

Distribution

Originaire d'Amérique du Sud, introduite en France, naturalisée. Croît de 0 à 600m d'altitude (Tison & Foucault 2014 : 398).

Présence mondiale (6 pays) : Argentine, Brésil, Paraguay, Uruguay, France, Espagne (source GBIF 2021). La mention faite par Clement & Forster (1994 : 331) pour les îles Britanniques relève d'une présence occasionnelle non confortée par de récentes observations ; la présence en Italie consignée par Nesom (2018b) est actuellement erronée car elle repose sur des références bibliographiques qui ne traitent nullement de la flore italienne.

Présence en France métropolitaine : Sud-Ouest, Languedoc-Roussillon (Tison & Foucault 2014) ; 21 départements : Aude, Bouches-du-Rhône, Cantal, Charente-Maritime, Corrèze, Côtes-d'Armor, Dordogne, Gard, Gironde, Haute-Garonne, Haute-Vienne, Hérault, Loire, Lot-et-Garonne, Lozère, Morbihan, Pyrénées-Orientales, Rhône, Tarn, Tarn-et-Garonne, Vaucluse (MNHN & OFB 2003-2021).

La présence de l'espèce est ainsi attestée dans 3 des 6 départements mitoyens du Puy-de-Dôme.

Avant nos découvertes de nouvelles stations sur la métropole clermontoise, sa présence en Auvergne se limitait à un seul département, le Cantal, où plusieurs stations ont été signalées (Antonetti et al. 2006 : 274 ; Biodiv'AURA 2021b ; CBNMC 2021). Les premières observations remontaient à 1995 et 1996 dans deux communes du sud-ouest de ce département (Antonetti et al. 2006). Les observations publiques communiquées les plus récentes datent de 2005 et se situaient dans l'ouest du Cantal (Biodiv'AURA 2021b).

À propos de sa présence dans le Puy-de-Dôme

La Vergerette de Blake a été observée et échantillonnée (échantillons conservés dans l'herbier de l'auteur) en plusieurs stations des communes de Beaumont, Clermont-Ferrand et Nohanent. Notre inventaire des Vergerettes rudérales de ce territoire, mené de mai à octobre 2021, a permis de reconnaître *Erigeron blakei* dans sept stations réparties sur trois mailles (Fig. 4), soit 4% des 69 des mailles prospectées (mailles RGF93 1km × 1km) : [les coordonnées renseignées ci-après sont exprimées dans le système géodésique WGS84]

- Commune de Beaumont : rue de la Mourette [(1) 45,749325°N, 3,097365°E ; (2) 45,749317°N, 3,098553°E ; (3) 45,74956°N, 3,096918°E ; (4) 45,749255°N, 3,097767°E (Fig. 1a) d'où proviennent les échantillons déposés aux Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand (CLF366350 ; Fig. 2), ainsi qu'au Musée Henri-Lecoq (MHLCLF)] ;

- Commune de Clermont-Ferrand : rue Barbier-Daubrée [(5) 45,788163°N, 3,095341°E] ; rue Rolle [(6) 45,786879°N, 3,094638°E ; Fig. 1b] ;

- Commune de Nohanent : route de Clermont [(7) 45,802894°N, 3,055945°E].

Nos relevés montrent donc qu'elle reste encore très rare, surtout comparativement aux Vergerettes du Canada et de Sumatra que l'on retrouve très communément dans la plupart des habitats rudéralisés.

Tenter d'expliquer l'origine de cette présence nouvelle ouvre sur bien des conjectures. Si l'on exclue des semis ou plantations volontaires (l'espèce n'ayant pas d'attrait ornemental ni d'enjeux scientifiques particuliers), deux modalités de dispersion peuvent être avancées : l'anémochorie et l'agochorie depuis les départements limitrophes (alentours de Mauriac et Saint-Martin-Valmeroux dans le Cantal, Boisset-lès-Montrond près de Saint-Galmier et Souternon près de Roanne dans la Loire ; Biodiv'AURA 2021b), voire de plus loin encore. Par analogie aux observations modélisées chez *E. canadensis* (Dauer et al. 2007) ou *E. bonariensis* (Bastida et al. 2021), il paraît très peu probable que la dispersion des diaspores de la Vergerette de Blake par anémochorie ne se fasse au-delà de quelques centaines de mètres depuis la plante émettrice. Sa propagation devrait donc se traduire par une relative continuité dans la distribution territoriale des populations, or les observations connues témoignent d'une grande discontinuité couvrant de vastes distances.

De plus, un élément important est à considérer : le sens du vent. Durant la période de fructification (juin à octobre), la direction dominante du vent est à Roanne orientée est-nord-est (Windfinder 2021a), à Clermont-Ferrand elle a pour cap nord à nord-ouest (Windfinder 2021b) et ouest à nord-ouest à Aurillac (Windfinder 2021c), donc des orientations défavorables à une dispersion depuis les départements du Cantal et de la Loire vers le Puy-de-Dôme et la métropole clermontoise cernée par le Cézallier, les monts Dore et ceux du Livradois-Forez. La dispersion par agochorie, par exemple dans la terre collée aux chaussures des randonneurs, sur le pelage des chiens ou même dans la boue projetée sur les véhicules automobiles, est une hypothèse séduisante pour expliquer une dispersion des diaspores sur de très longues distances et justifier la grande discontinuité des populations, d'autant que les sites de la métropole clermontoise où nous avons observé la Vergerette de Blake sont distants les uns des autres, situés sur des axes de passages piétonniers, de parcours canins et de stationnement de véhicules, ce qui conforterait cette seconde hypothèse. Cependant, les discontinuités dans les répartitions des populations cantaliennes, ligériennes et puydômoises pourraient aussi bien être les conséquences de simples manques d'observations, notamment liés à :

- Des signalements lacunaires d'observations faites sur le terrain et communiquées dans les bases de données en accès public.

- Une carence d'observations menées sur le réseau routier et en situation urbaine, particulièrement dans les zones denses d'habitations et secteurs fréquentés où les désherbages d'entretien réguliers ne permettent guère les observations au-delà du stade plantule ou avant anthèse, ce qui réduit d'autant les observations.

- Une confusion avec des taxons proches. Parmi ceux-ci, *E. canadensis*, mais même dans ses formes grêles, la Vergerette du Canada est nettement différente de celle de Blake, en particulier pour 1) ses fleurons périphériques à hémiligules courtes (<2mm

long) dépassant l'involucre mais nettement visibles à l'œil nu, 2) ses feuilles caulinaires toutes lancéolées bordées de cils étalés ; *E. floribundus*, mais pour ce dernier, les feuilles caulinaires inférieures sont plus larges, pennatilobées avec des lobes également plus larges, les caulinaires médianes et supérieures étant nettement lancéolées et à nervures secondaires visibles, l'inflorescence en corymbe s'élargissant vers son sommet et sa tige à côte saillante hérissée de soies très raides.

- Une absence d'habitats favorables. Ceci est peu probable car *E. blakei* est une espèce rudérale qui partage les mêmes habitats que trois autres Vergerettes communes, *E. bonariensis*, *E. canadensis* et *E. sumatrensis*.

Cette présence avérée de la Vergerette de Blake dans le Puy-de-Dôme, en plusieurs stations distantes du territoire de la métropole clermontoise est-elle ponctuelle ou témoigne-t-elle d'une naturalisation effective ? Avant de conclure sur la permanence de cette nouvelle espèce sur ce territoire, il conviendrait d'effectuer encore pendant au moins deux années consécutives un suivi de ces stations et de réaliser de nouvelles prospections, y compris pour préciser les éventuelles connectivités avec les stations proches des départements voisins.

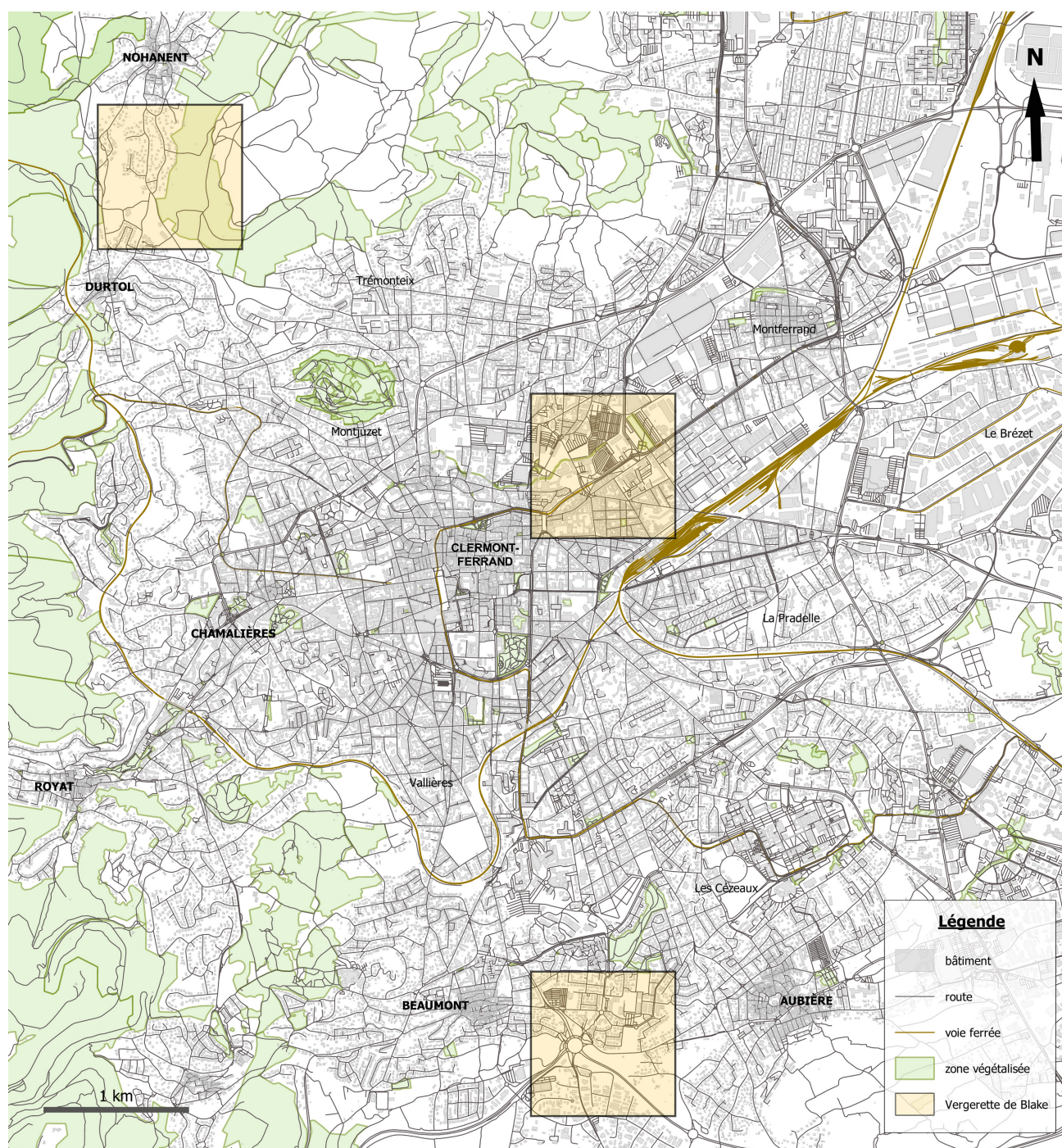


Figure 4 - Carte de la distribution de la Vergerette de Blake, *Erigeron blakei* Cabrera, établie d'après nos observations faites durant l'été 2021 sur le territoire de la métropole clermontoise (maillages RGF93 1km x 1km).

Une nouvelle espèce envahissante ?

À l'instar de quatre autres Vergerettes communes, *E. annuus*, *E. bonariensis*, *E. canadensis* et *E. sumatrensis*, connues pour leur potentiel colonisateur, voire envahissant, la Vergerette de Blake pourrait-elle s'imposer comme une nouvelle espèce envahissante sur la métropole clermontoise et dans le Puy-de-Dôme ? Avec une synflorescence dense, un mode de reproduction autogame, une production de graines viables importante et une dispersion anémophile de ses diaspores, le tout associé à son caractère rudéral et naturalisé dans les départements limitrophes, elle présente en effet de nombreux atouts compétitifs. L'évaluation du risque d'envahissement peut être estimé suivant le test de Weber & Gut (2004). Avec un score total de 21, nous estimons la Vergerette de Blake comme étant actuellement une espèce à risque d'envahissement faible à modéré sur le territoire de la métropole clermontoise. Cette perception est conforme au score de 19 points selon Bart *et al.* (2014) ou le CBNMC (2017) en Auvergne, et même les 22 points estimés par Caillon & Lavoué (2016) en Aquitaine.

Conclusion

Si l'observation de la Vergerette de Blake est ici annoncée comme une première citation pour le Puy-de-Dôme, il est possible que la présence de cette espèce dans ce département soit plus ancienne et plus largement répandue au-delà de la métropole clermontoise. Un effort d'inventaire serait nécessaire pour en préciser l'étendue territoriale et les connexions éventuelles avec les stations proches du Cantal, de la Lozère et de la Loire, mais aussi savoir si elle est présente dans les autres départements d'Auvergne et ceux limitrophes non encore documentés pour ce taxon. De telles observations permettraient de statuer sur l'expansion territoriale vers le nord de cette espèce méridionale, dans le contexte du réchauffement climatique global.

Remerciements

Nous renouvelons ici notre gratitude à Gilles Thébaud et Arnaud Delcoigne (Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand [CLF]) pour leur accueil et m'avoir grandement facilité, par leur assistance dans les recherches de spécimens, leur disponibilité et leurs conseils, la consultation des parts consacrées aux érégérons de l'Herbier CLF.

Références

- Antonetti P., Brugel E., Kessler F., Barbe J.-P. & Tort M., 2006. *Atlas de la Flore d'Auvergne*. Conservatoire botanique national du Massif central, 984 p.
- Bart K., Antonetti P. & Chabrol L., 2014. *Liste actualisée et hiérarchisée des espèces exotiques envahissantes. Bilan de la problématique végétale invasive en Auvergne*. CBNMC, DREAL Auvergne, 34 p.
- Bastida F., Menéndez J., Camacho D. & González-Andújar J.L., 2021. Season-long seed dispersal patterns of the invasive weed *Erigeron bonariensis* in south-western Spain. *Crop Protection* **148**, 105720. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105720>
- Billy F., 2002. Végétations pionnières en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société botanique du Centre-Ouest*, nouvelle série, numéro spécial **22**, 197 p.
- Billy F., Frain M., Lamaison J.-L. & Loiseau J.-E., 1994. Complément floristique auvergnat. *Revue des Sciences naturelles d'Auvergne* **58** : 19-22.
- Biodiv/AURA, 2021a. Espèces observées pour le taxon *Erigeron* (Genre). [En ligne] <https://atlas.biodiversite-auvergne-rhone-alpes.fr/liste/192282> (15 octobre 2021).
- Biodiv/AURA, 2021b. Vergerette de Blake, *Erigeron blakei* Cabrera, 1941. [En ligne] <https://atlas.biodiversite-auvergne-rhone-alpes.fr/espece/96745> (15 octobre 2021).
- Blake D.H., 1960. Sidney Fay Blake (1892-1959). *Taxon* **9**(5) : 129-141. [En ligne] <http://www.jstor.org/stable/1217380> (15 octobre 2021).
- Bolòs i Vayreda A. de & Bolòs i Capdevila O. de, 1987. *Plantes vasculaires del quadrat Santa Pau*, 31T DG66. ORCA : catàlegs florístics locals, 1. Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències Biològiques, Barcelona, 61 p.
- Cabrera A.L., 1941. *Compuestas bonaerenses. Revisión de las compuestas de la provincia de Buenos Aires la capital federal y la Isla Martín García*. *Revista del Museo de La Plata, sección botánica* **4**(17) : 90-92.
- Caillon A. & Lavoué M., 2016. *Liste hiérarchisée des plantes exotiques envahissantes d'Aquitaine, version 1.0*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, Audenge, France, 47 p.
- CBNMC, 2017. *Liste hiérarchisée des plantes exotiques envahissantes d'Auvergne*. [En ligne] <http://ee-auvergnerhonealpes.fr/wordpress/wp-content/uploads/2017/10/liste-EEE-v20170913.pdf> (15 octobre 2021).
- CBNMC, 2021. Chloris-web. [En ligne] http://cbnmc.fr/cartoweb3/Chloris/atlas_auv/plantes_vasculaires_menu.php (15 octobre 2021).
- Chassagne M., 1957. *Inventaire analytique de la flore d'Auvergne et contrées limitrophes des départements voisins*. Tome 2. Ed. Lechevalier, Paris, 542 p.
- Clement E.J. & Forster M.C., 1994. *Alien plants of the British Isles*. Botanical Society of the British Isles, London, 590 p.
- Dauer J.T., Mortensen D.A. & Vangessel M.J., 2007. Temporal and spatial dynamics of long-distance *Conyza canadensis* seed dispersal. *Journal of Applied Ecology* **44** : 105-114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01256.x>
- Diez De Ulzurrun P., Acedo M.B., Garavano M.E., Gianelli V. & Ispizúa V.N., 2018. Caracterización morfológica de *Conyza blakei*, *Conyza bonariensis* var. *bonariensis*, *Conyza sumatrensis* var. *sumatrensis* y *Conyza lorentzii* en el sudeste Bonaerense (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **53**(3) : 359-373. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n3.21311>
- Grenier E., 1992. *Flore d'Auvergne*. Société Linnéenne de Lyon, 655 p.
- Jauzein P., 1998. *Flore des champs cultivés*. INRA Éditions, Paris, 898 p.
- MNHN & OFB [éds.], 2003-2021. Fiche de *Erigeron blakei* Cabrera, 1941. Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). [En ligne] https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/96745 (15 octobre 2021).
- Mundell A.R.G., 2016. The genus *Conyza* in Britain and a name for the hybrid between *Erigeron acris* and *Conyza floribunda* (Asteraceae). *New Journal of Botany* **6** : 1, 16-20. <https://dx.doi.org/10.1080/20423489.2016.1173806>

- Nesom G.L., 2008a. Classification of subtribe Conyzinae (Asteraceae: Astereae). *Lundellia* **11** : 8-38. <https://doi.org/10.25224/1097-993X-1.11.8>
- Nesom G.L., 2018b. *Erigeron floribundus* and *E. sumatrensis* (Asteraceae) in the USA and Mexico. *Phytoneuron* **27** : 1-19.
- Pau C., 1905. Plantes observées dans l'Ampourdán (surtout aux environs de Figueras) pendant l'année 1905 par le frère Sennen. *Boletín de la Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales* **4**(10) : 303-320.
- Sennen F., 1929. Plantes d'Espagne. *Boletín de la Sociedad Ibérica de Ciencias Naturales* **28**(3-4) : 66-67.
- Thébaud C. & Abbott R.J., 1995. Characterization of invasive *Conyza* species (Asteraceae) in Europe: quantitative trait and isozyme analysis. *American Journal of Botany* **82**(3) : 360-368.
- Tison J.-M. & Foucault B. (coords.), 2014. *Flora Gallica - Flore de France*. Biotopé éditions, Mèze, 1196 p.
- UniVegE, 2021. E-flore 63, la flore du département du Puy-de-Dôme. Université Clermont Auvergne. [En ligne] <https://e-flore-puydedome.herbiers.uca.fr> (15 octobre 2021).
- Urdampilleta J.D., Amat A.G. & Bidau C.J., 2005. Karyotypic studies and morphological analysis in some reproductive features in five species of *Conyza* (Astereae: Asteraceae) from northeastern Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **40**(1-2) : 91-99.
- Weber E. & Gut D., 2004. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation* **12** : 171-179.
- Windfinder, 2021a. Statistiques mensuelles sur la vitesse et la direction du vent pour Roanne. [En ligne] <https://fr.windfinder.com/windstatistics/roanne> (15 octobre 2021).
- Windfinder, 2021b. Statistiques mensuelles sur la vitesse et la direction du vent pour Aéroport Clermont-Ferrand. [En ligne] <https://fr.windfinder.com/windstatistics/clermont-ferrand> (15 octobre 2021).
- Windfinder, 2021c. Statistiques mensuelles sur la vitesse et la direction du vent pour Aéroport d'Aurillac. [En ligne] <https://fr.windfinder.com/windstatistics/aurillac> (15 octobre 2021).

***Tettigettalna argentata* (Olivier, 1790) (Hemiptera : Cicadidae), une nouvelle cigale pour le département de l'Allier**

Luc Belenguier

123 Avenue Joseph Claussat, 63400 Chamalières - l.belenguier@gmail.com

Soumis le 16 novembre 2021

Accepté le 18 février 2022

Publié le 11 mars 2022

Mots-clés

Allier

Cigale

Tettigettalna argentata

Résumé

La première mention de *Tettigettalna argentata* dans le département de l'Allier est rapportée. Une synthèse des connaissances des cigales de l'Allier est dressée. Actuellement, trois espèces sont considérées comme partie intégrante de la cicadofaune de ce département.

Keywords

Allier

Cicada

Tettigettalna argentata

Abstract

The first mention of *Tettigettalna argentata* in the Allier department is reported. A synthesis of the knowledge of the cicadas of the Allier is drawn up. Currently, three species are considered as part of the cicadofauna of this department.

Observation

Les landes de Peraclos (coordonnées : 46,108845° ; 3,035123° ; Altitude : 380 m) constituent un secteur de landes sèches à Callune et Bruyère cendrée avec de larges plages de sol nu, ponctué de Chêne pédonculé notamment. Le sous-sol est constitué de gneiss. Le site est globalement exposé au sud et domine la vallée de la Sioule sur la commune de Chouvigny dans le département de l'Allier (région Auvergne-Rhône-Alpes). Le coteau est pâture par des ovins.

Le 4 juillet 2020 à l'occasion de prospections entomologiques des landes de Peraclos, un son, sorte de cliquetis, attire mon attention à l'est du site. Il provient d'un fourré et après recherche j'aperçois une petite cigale cymbalisant sur une branche de Chêne. Il s'agit de *Tettigetta argentea* (Olivier, 1790). Sa cymbalisation est aisément audible et peut être facilement reconnue en France et en Suisse où n'est connue qu'une seule espèce dans le genre (Hertach 2008 ; Puissant 2006 ; Puissant & Sueur 2010). Excepté le domaine ibérique, aucune autre espèce de cigale européenne n'émet un chant d'appel de structure similaire (Boulard 1995 ; Gogala 2002 in Hertach 2008 ; Puissant & Sueur 2010). Au total, cinq individus sont entendus cymbalisant dans la végétation buissonnante, uniquement sur la partie est du site. Deux

individus sont vus aux jumelles mais aucun n'est capturé, ces derniers étant agiles et fuyant rapidement. Ils sont par ailleurs souvent localisés dans des zones encombrées où le filet s'avère peu efficace.

Le 11 juillet 2021, afin de confirmer la présence pérenne de l'espèce et effectuer des enregistrements, une nouvelle prospection du site est réalisée. Un mâle est capturé (Fig. 1). Des mesures morphométriques sont effectuées. La longueur (du front à l'extrémité de l'abdomen) est égale à 17,5 mm et la longueur de l'homéolytre (de la base de l'aile à son apex) à 18,5 mm. Les individus se localisent principalement dans le même secteur que les contacts de 2020 (est du site) mais également quelques individus sont entendus sur des arbres (chênes et frênes) dans le thalweg au centre du site. À l'est du site, les individus se localisent sur des chênes ou des arbustes isolés (*Rosa sp.* notamment) au sein des landes où la roche affleure parfois ou encore dans un secteur arbustif mêlant Prunellier et Bruyère cendrée (Fig. 2). Environ une quinzaine de mâles cymbalisant sont contactés et plusieurs enregistrements effectués (Fig. 3) à l'aide d'un enregistreur ZOOM Zoom™ H2next (fréquence d'échantillonnage 96 kHz ; réponse de fréquences : 0,02-22 kHz \pm 2,0 dB, numérisation de 24 bits). Les micros de l'enregistreur ont été placés à une distance d'un mètre du mâle émetteur, en position principalement latérale.

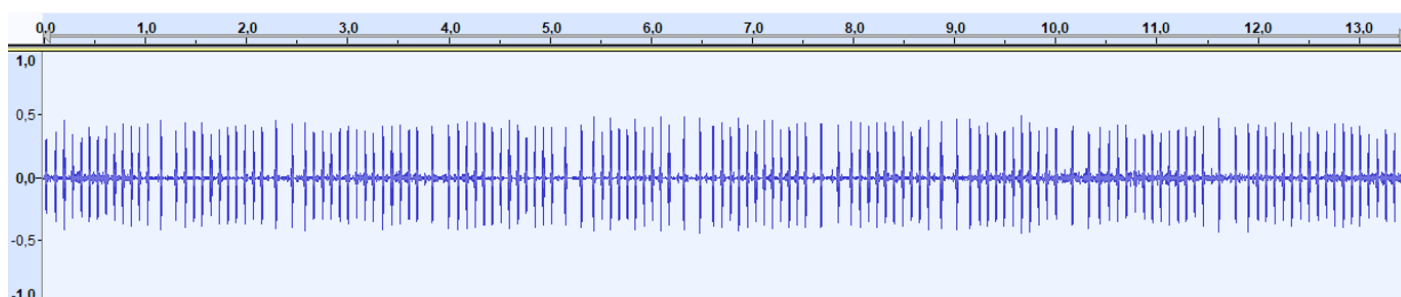


Figure 1 - Spécimen ♂ prélevé - Chouvigny - Landes de Peraclos (Allier), 10 juillet 2021.

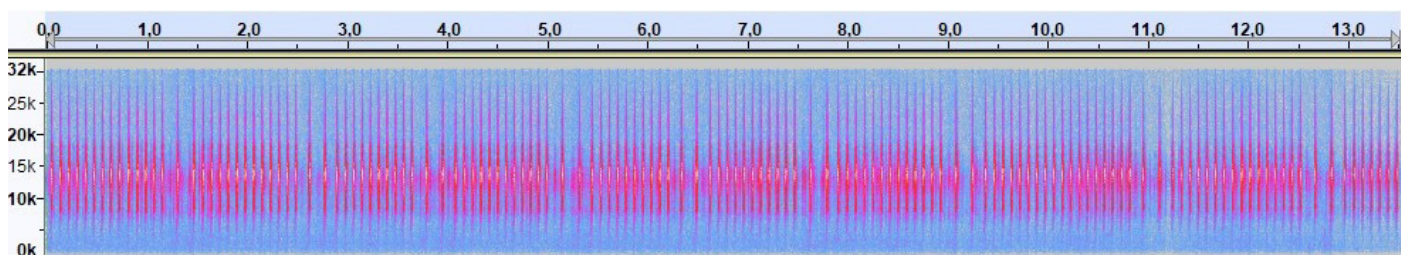


Figure 2 - Vues des habitats où *Tettigetta argentata* a été entendu (Landes de Peraclos, 11 juillet 2021).

A



B



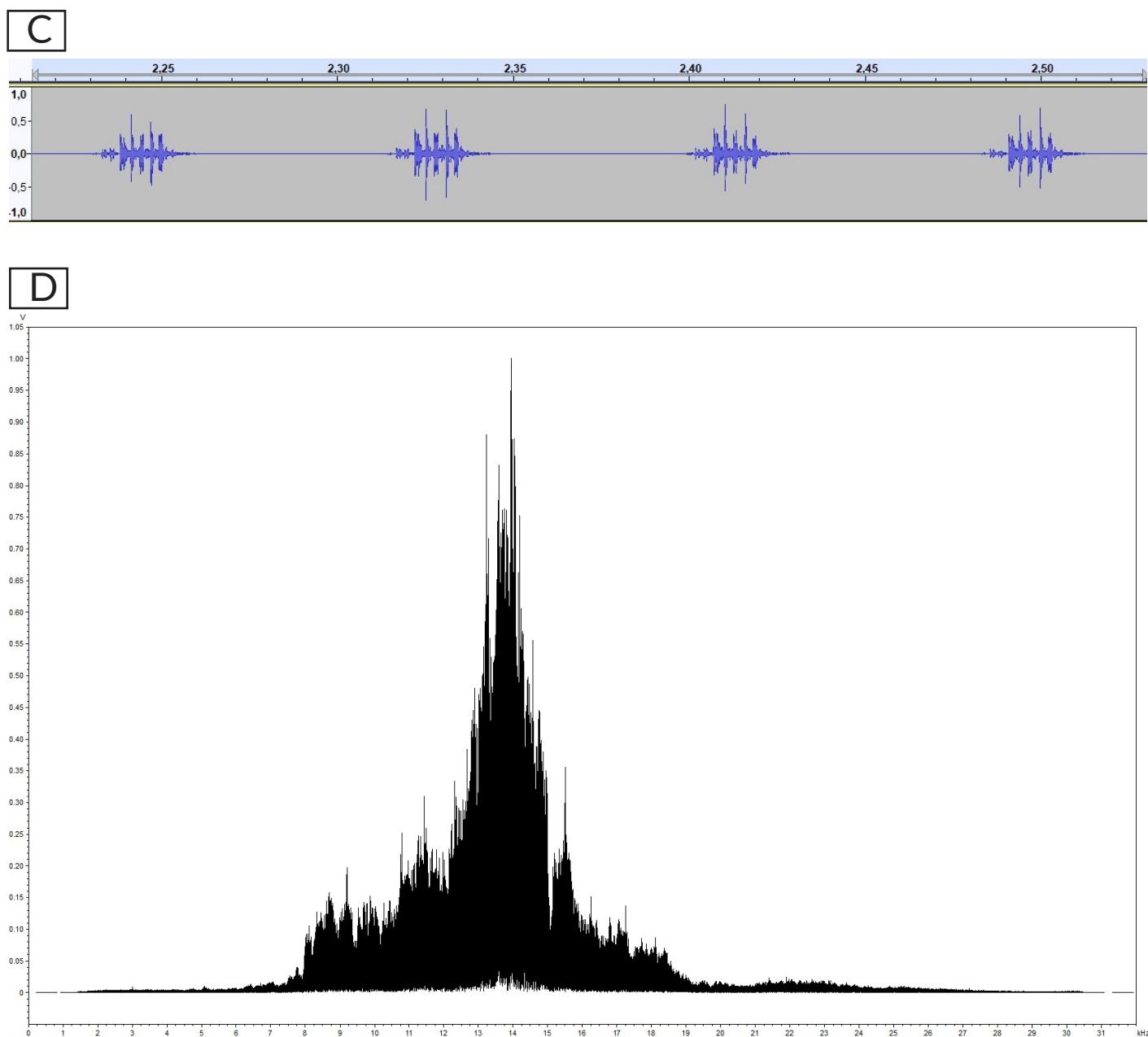


Figure 3 - Visualisation d'une cymbalisation de *Tettigetta argentata* sur les Landes de Peraclos – Chouvigny – Landes de Peraclos (Allier), 10 juillet 2021, température environ 23° C (logiciel acoustique : Audacity sauf D). Numérisation de 24 bits à 64 kHz. Taille de la fenêtre de la transformée de Fourier de 1024 points, résolution fréquentielle de 62,5 Hz. Un filtre passe-haut de 2 kHz a été appliqué afin de réduire les bruits de fond.

A) Oscillogramme (abscisses = secondes) d'une séquence d'appel d'une durée de 13,5 secondes ;

B) Spectrogramme de la séquence d'appel de 13,5 secondes (abscisses = secondes, ordonnée = kHz) ;

C) Oscillogramme détaillé de 4 modules pris au cœur du signal pour un laps de temps de 0,3 secondes ;

D) Spectre de la fréquence moyenne généré par Stéphane Puissant à l'aide du logiciel d'analyse acoustique Avisoft-SASLab Pro[™] (abscisses = fréquence en KHz, ordonnées = enveloppe d'amplitude). Maximum de fréquence vers 13900 - 13950 KHz.

Répartition et éléments d'écologie

À l'échelle de l'hexagone, Puissant (2006) montrait une répartition méditerranéenne et atlantique pour *T. argentata*, dont la limite nord se situait en Charente-Maritime. Il précisait qu'elle n'était connue que d'une seule station au nord de la Loire, dans l'Yonne. Du fait du peu de stations alors connues, *T. argentata* présentait un caractère fortement patrimonial pour la moitié nord de la France (Puissant 2006). Delorme *et al.* (2015) précisent qu'elle a été observée jusque dans le Maine-et-Loire, sur des coteaux schisteux thermophiles. Baeta (2016) la signale de l'Indre-et-Loire puis Gurcel (2019) rapporte sa découverte en Savoie et Puissant (2018) in Gurcel (2019) confirme sa présence dans l'Yonne.

En Auvergne, Boitier & Brugel (2006) signalaient l'espèce seulement dans l'extrémité sud-ouest du Cantal. La découverte de l'espèce dans l'Allier complète la connaissance de sa répartition à l'échelle métropolitaine. *T. argentata* reste une espèce rare et patrimoniale pour la moitié nord de la France (Fig. 4). La station la plus proche connue de celle des landes de Peraclos se situe à Givors (Gurcel 2021). La recherche d'exuvies sur les landes de Peraclos permettrait de localiser et décrire une partie des habitats des juvéniles. Plus globalement, de nouvelles prospections sur les coteaux thermophiles de la zone (gorges de la Sioule...) permettraient de préciser la présence éventuelle de l'espèce dans d'autres stations du département de l'Allier ou du Puy-de-Dôme (le site de découverte dans l'Allier se situe à la frontière immédiate du Puy-de-Dôme) et également d'affiner la connaissance de sa phénologie.

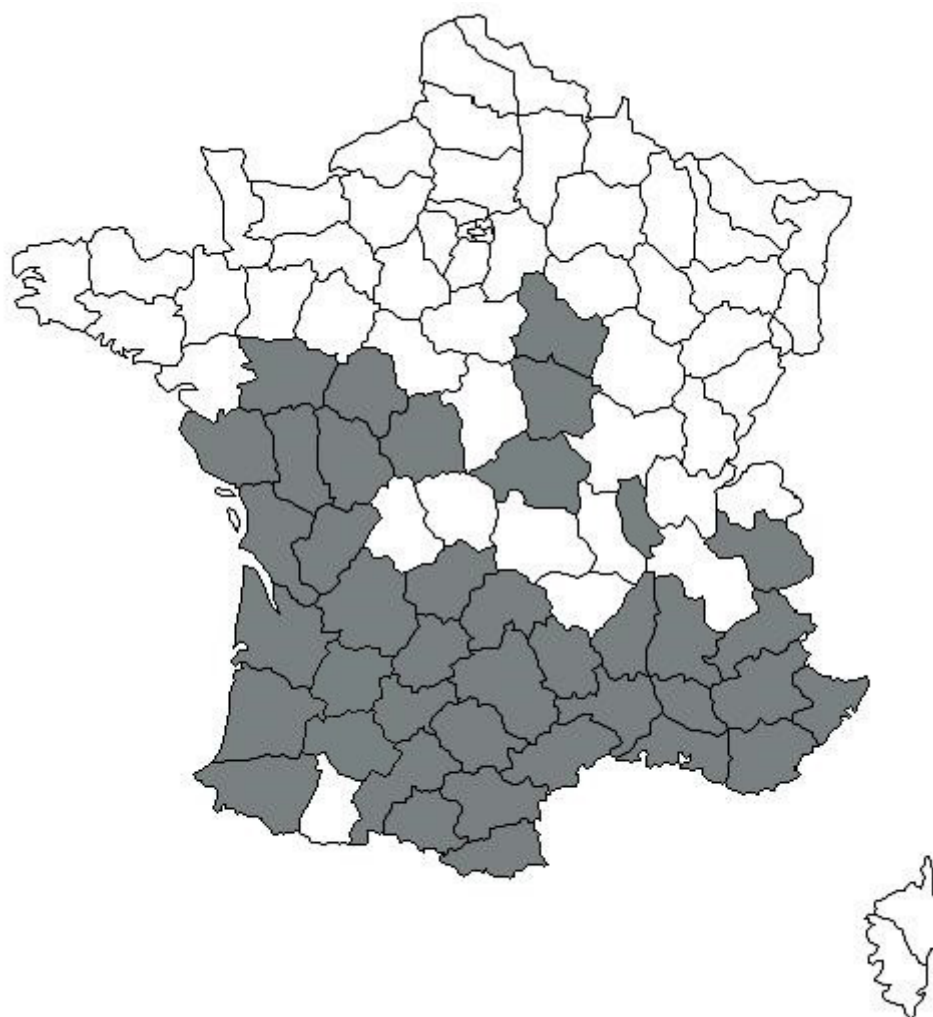


Figure 4 - Carte de répartition métropolitaine actualisée de *Tettigetta argentata* (sources : Gurcel 2019, Gurcel 2021, INPN consultation juillet 2021, Belenguier 2022).

Du point de vue bioclimatique, Puissant (2006) a trouvé *T. argentata* dans l'intégralité des étages de végétation pour lesquels des cigales ont pu être observées en France. L'espèce se rencontre dans les prairies, broussailles, garrigues et pré-bois (Puissant & Sueur 2010). Delorme et al. (2015) l'ont observée majoritairement au niveau de fruticées, mais aussi au niveau des vignes et dans la strate herbacée de terrains enrichés. Pour Delorme et al. (2015), l'espèce semble indifférente à la nature des sols. Elle s'accommode très bien d'un substratum entièrement rocheux : ses populations sont plus fréquentes sur sols durs que sur sols meubles (Puissant 2006). Une strate arbustive à arborescente, ensoleillée, comportant des branches mortes pour la ponte est un biotope idéal pour *T. argentata* (Puissant 2006).

T. argentata se place sur des petites branches, des buissons ou sur les tiges des plantes herbacées pour cymbaliser (Boulard 1995). Les mâles cymbalisent principalement sur des perchoirs

de quelques millimètres de diamètre (Puissant 2006). À l'inverse, ils peuvent être occasionnellement observés sur des branches et même sur des troncs de fort diamètre. Ils sont insensibles à la hauteur du poste de cymbalisation puisqu'ils se tiennent aussi bien dans la strate herbacée que dans la strate arborescente, soit une hauteur comprise entre quelques centimètres et environ dix mètres du sol (Puissant 2006).

Les cigales de l'Allier

Pour disposer d'une vision globale des espèces de cigales mentionnées du département de l'Allier, plusieurs sources de données ont été consultées : Olivier (1904), Perreau (1938), Boulard & Puissant (2001), Boitier & Brugel (2006), Puissant (2006) ainsi que les données rassemblées sur le site de l'Observatoire Naturaliste des Écosystèmes Méditerranéens (Bernier et al. en ligne) (Tab. 1).

Tableau 1 - Synthèse des mentions de cigales pour le département de l'Allier.

Taxon	Olivier (1904)	Perreau (1938)	Boulard & Puissant (2001)	Puissant (2006)	Boitier & Brugel (2006)	Bernier et al. Site ONEM (consultation avril 2021)	Présent article
<i>Cicadatra atra</i> (Olivier, 1790)* ?	X (mentionné <i>Cicadatra atra</i> Oliv.)						
<i>Cicada orni</i> Linnaeus, 1758 **						X	
<i>Cicadetta petryi</i> Schumacher, 1924 ***			X (mentionné <i>Cicadetta montana</i>)		X (mentionné <i>Cicadetta brevipennis</i>)	X	
<i>Tibicina haematodes</i> (Scopoli, 1763)	X (mentionné <i>Cicada haematodes</i> L. <i>Tibicina haematodes</i>)			X	X	X	
<i>Tettigettalna argentata</i> (Olivier, 1790)							X

*La description donnée par Olivier (1904) est : « Noir, deux taches brunes à l'extrémité des élytres ; dessous du corps jaunâtre. Un seul exemplaire pris à Chassignet, près Chareil (du Buysson) ». Elle convient à *C. atra* qui a deux taches noires au bout des ailes. *Cicada. orni* a plusieurs taches brunes sur les ailes. Aussi, à partir de cette description il n'est pas possible de statuer clairement sur l'espèce concernée. Si la présence de *C. atra* dans l'Allier est improbable (l'espèce est pour la France typiquement méditerranéenne (Puissant 2006), la description ne permet pas de l'exclure. L'observation de cette espèce typiquement méditerranéenne, si elle est exacte, correspond soit à une erreur d'étiquetage ou de transcription de l'information, soit à une introduction passive sans lendemain (Puissant, com. pers.). En l'état, la mention *C. atra* est notée avec un point d'interrogation. Elle n'est donc pas constitutive de la cicadofaune de l'Allier.

***Cicada orni*, dans la moitié nord de la France, dont l'Allier fait partie, est relativement fréquemment entendue et notée. Mais

elle ne s'y installe pas, disparaissant après une ou deux années des zones où quelques mâles ont été entendus. Jusqu'à preuve du contraire, ces spécimens ne sont pas représentatifs d'une population autochtone installée. Ils sont le fruit d'introduction passive, notamment consécutive à l'introduction de plantes en provenance du bassin méditerranéen. Ces plantes peuvent abriter dans leurs racines des juvéniles qui peuvent accomplir leur transformation imaginale, les adultes étant alors détectés par les émissions sonores des mâles (Puissant, com. pers.). Cette espèce méridionale n'est donc pas, en l'état, considérée comme faisant naturellement partie de la cicadofaune de l'Allier.

***Le genre *Cicadetta* Kolenati, 1857 a fait l'objet d'évolutions rapides et récentes des connaissances taxonomiques dont l'historique détaillé est présenté dans Puissant & Gurcel (2018). Jusqu'à la fin des années 1990, de par leur morphologie très proche, les espèces du genre *Cicadetta* n'étaient, pour le continent, pas différenciées de *Cicadetta montana* (Scopoli,

1772). Des recherches bioacoustiques ont permis d'identifier un certain nombre d'espèces jumelles à l'échelle européenne (Gogala & Trilar 2004 ; Puissant & Boulard 2000 ; Sueur & Puissant 2007 ; Hertach 2007 ; Hertach et al. 2016). Le taxon le plus largement répandu dans une grande moitié sud de la France, qui était considéré comme appartenant à *Cicadetta brevipennis* Fieber, 1876, correspond à *Cicadetta petryi* Schumacher, 1924 (Hertach et al. 2016). Les anciennes mentions de l'Allier de *C. montana* et *C. brevipennis* sont à rapporter aujourd'hui à *C. petryi* dont la présence dans ce département fut attestée par l'écoute des cymbalisations d'appel nuptial (S. Puissant, com. pers.). Des investigations bio-acoustiques sont cependant encore nécessaires dans le département de l'Allier afin de pouvoir préciser si d'autres espèces du genre *Cicadetta* ne seraient également pas présentes.

Cette synthèse permet ainsi de préciser que la cicadofaune de l'Allier est composée de trois espèces et que deux autres espèces y sont mentionnées sans pouvoir être considérées comme partie intégrante de la cicadofaune départementale. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour affiner la répartition des différentes espèces et pour préciser le nombre d'espèces appartenant au genre *Cicadetta*.

Remerciements

Merci à Bruno Schirmer pour la transmission de données sur le site des landes de Peraclos. Merci à Julien Barataud pour sa relecture de l'article. Merci également à Stéphane Puissant pour sa relecture, ses conseils portant sur l'analyse acoustique et la réalisation de la figure 3D.

Références

Baeta R., 2016. Première observation de la Cigale argentée en Centre-Val de Loire. *Recherches naturalistes*, (n.s.), **3** : 10-12.

Bernier C., Gurcel K. & Delorme Q. (Coord.), en ligne. Enquête nationale Cigales. Site de l'ONEM (Observatoire Naturaliste des Écosystèmes Méditerranéens). Disponible sur internet : <<http://www.onem-france.org/cigales>> (consulté le 16/04/2021).

Boitier E. & Brugel, E. 2006. Les Cigales en Auvergne : un essai de synthèse des connaissances (Hemiptera : Cicadidae). *Arvernensis*, **37-38** : 7-12.

Boulard M., 1995. Postures de cymbalisation, cymbalisations et cartes d'identité acoustique des cigales. Généralités et espèces méditerranéennes (Homoptera, Cicadoidea). *École pratique des hautes Études, Biologie et Évolution des Insectes* **7/8** : 1-72.

Boulard M. & Puissant S., 2001. Cicadogéographie de la France européenne. Premières cartes de répartition. pp. 175-187. In : Robert J.-C., Guilbot R., Dommange J.-L. & Maurin H. - Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français. Actes du séminaire tenu à Besançon les 8, 9 et 10 juillet 1999. MNHN, IEGB, SPN & OPIE. Patrimoines naturels, **46** : 1-336.

Delorme Q., Cury D. & Bernier C., 2015. *Tettigetalna argentata* (Olivier, 1790) et les Cigales du groupe *Cicadetta cf. montana* (Scopoli, 1772) dans la moitié nord de la France : nouveaux éléments de répartition et d'écologie impliquant la conservation

des espèces (Hemiptera Cicadidae). *L'Entomologiste*, **71** : 31-40.

Gogala M., 2002. Gesänge der Singzikaden aus Südost- und Mittel-Europa. *Denisia*, **04** : 241-248.

Gogala M. & Trilar T., 2004. Bioacoustic investigations and taxonomic considerations on the *Cicadetta montana* species complex (Homoptera : Cicadoidea: Tibicinidae). *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, **76** : 316-324.

Gurcel K., 2019. Contribution à la connaissance des Cigales de France : *Tibicina steveni* (Krynicky, 1837), nouvelle espèce pour le département de la Loire ; *Tibicina quadrisignata* (Hagen, 1855) et *Tettigetalna argentata* (Olivier, 1790), nouvelles espèces pour le département de la Savoie (Hemiptera Cicadidae). *L'Entomologiste*, **75**(3) : 129-142.

Gurcel K., 2021. Contribution à la connaissance des Cigales de France : *Tibicina steveni* (Krynicky, 1837) et *Tettigetalna argentata* (Olivier, 1790), nouvelles espèces pour le département du Rhône (Hemiptera Cicadidae). *L'Entomologiste*, **77**(3) : 161-171.

Hertach T., 2007. Three species instead of only one: Distribution and ecology of the *Cicadetta montana* species complex (Hemiptera: Cicadoidea) in Switzerland. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, **80** : 37-61.

Hertach T., 2008. A new cicada species for Switzerland: *Tettigetalna argentata* (Olivier, 1790) (Hemiptera: Cicadoidea). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, **81** : 209-214.

Hertach T., Puissant S., Gogala M., Trilar T., Hagmann R., Baur H. et al. 2016. Complex within a Complex: Integrative Taxonomy Reveals Hidden Diversity in *Cicadetta brevipennis* (Hemiptera: Cicadidae) and Unexpected Relationships with a Song Divergent Relative. *PLoS ONE*, **11**(11) : 1-41.

Olivier E., 1904. Cicadides. In : Faune de l'Allier, Ordre des Hémiptères, Sous-Ordre II. Homoptères. *Revue de la Société scientifique du Bourbonnais*, **16**, année 1903 : 89-95.

Perreau A., 1938. Sur la présence de cigales en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Auvergne*, **3-4** : 148-150.

Puissant S., 2006. Contribution à la connaissance des cigales de France : Géonémie et écologie des populations (Hemiptera, Cicadidae). Bedeilhac-et-Aynay, Association pour la caractérisation et l'étude des entomocénoses, 193 p.

Puissant S. & Boulard M., 2000. *Cicadetta cerdaniensis*, espèce jumelle de *Cicadetta montana* décryptée par l'acoustique (Auchenorrhyncha, Cicadidae, Tibicinidae). *EEcole pratique des hautes Études, Laboratoire de Biologie et d'Evolution des Insectes*, **13** : 111-117.

Puissant S. & Gurcel K., 2018. *Cicadetta sibillae* Hertach & Trilar, 2015, nouvelle espèce de cigale pour la France (Hemiptera, Cicadidae) et premières analyses des sons complexes émis durant la cymbalisation d'appel nuptial. *Zoosystema*, **40**(8) : 143-158.

Puissant S. & Sueur J., 2010. A hotspot for Mediterranean cicadas (Insecta: Hemiptera: Cicadinae): new genera, species and songs from southern Spain. *Systematics and Biodiversity* (2010), **8**(4) : 555-574.

Sueur J. & Puissant S., 2007. Similar look but different song: a new *Cicadetta* species in the *montana* complex (Insecta, Hemiptera, Cicadidae). *Zootaxa*, **1442** : 55-68.

Éléments sur la malacofaune du nord-ouest du Massif central

Pascal Duboc

17 Grande Rue 23110 Evaux-les-Bains - dubocpa@wanadoo.fr

Soumis le 5 février 2022

Accepté le 7 mai 2022

Publié le 20 juin 2022

Résumé

Mots-clés
Malacofaune
Moules
Limaces
Escargots

L'étude des mollusques n'est pas une discipline couramment pratiquée dans une large partie du territoire du Massif central. Mes prospections personnelles ont débuté il y a une demi-douzaine d'année sur un secteur couvrant la basse Combraille, la vallée du Cher, le pays de Tronçais, le bocage bourbonnais de l'ouest, le bassin de Gouzon. Cette note est une synthèse des observations personnelles de terrain et donne quelques notions d'abondance et évolution des diverses espèces.

Abstract

Keywords
Malacofauna
Mussels
Slugs
Snails

The study of mollusks is not a discipline commonly practiced on a large part of the Massif central territory. My personal surveys started half a dozen years ago on a sector covering the basse Combraille, the Cher valley, the Tronçais country, the western bourbonnais bocage, the Gouzon basin. This note is a synthesis of personal field observations and gives some notions of abundance and evolution of various species.

Éléments historiques de la malacologie locale

Les données bibliographiques concernant la zone d'étude manquent cruellement. Il faut remonter à 1895 et 1901 avec les écrits de l'abbé E. Dumas pour trouver nombre d'observations concernant la basse vallée du Cher et le pays de Tronçais. Il s'en suit un vide « sidéral » pour cette discipline presque tout au long du XX^{ème} siècle. Sylvain Vrignaud est quasiment le seul malacologue contemporain qui parcourt ensuite essentiellement le nord de l'Auvergne. À partir de son expérience de terrain, il élabore quelques documents d'identification (Vrignaud 2004, 2005, 2007a, 2007b, 2010, 2013) pour certains groupes en Auvergne qui aboutiront à la rédaction d'une intéressante clef générale illustrée d'identification des différentes familles de mollusques terrestres et aquatiques (Vrignaud 2011). Ce premier document de synthèse sera le point de départ pour rédiger une clef complète illustrée de tous les mollusques d'Auvergne et Limousin (Duboc & Vrignaud 2019). Côté Limousin, les connaissances malacologiques ont fait un bond considérable avec la création de la Société Limousine d'Étude des Mollusques en 2015, puisqu'auparavant, en dehors des macro-bivalves, les connaissances historiques sur les gastéropodes étaient très rares et partielles.

Taxonomie

Les auteurs anciens utilisaient une taxonomie non « stabilisée », multipliant bien souvent les noms sur la base de quelques différences morphologiques mineures des coquilles. C'est seulement en 2002 que Falkner *et al.* établissent une liste des noms scientifiques de référence des mollusques de France. Puis en 2010, Fontaine *et al.* rédigent la liste des noms français des mollusques continentaux de France. Mais depuis certains noms ont déjà changé !

En Auvergne / Limousin, un peu moins de 250 espèces ont été détectées à ce jour (Duboc & Vrignaud 2019, base de données de la SLEM).

Zone et méthodes d'étude

La zone de prospection de la présente étude couvre la basse Combraille (partie de cette vaste région sous les 700 mètres d'altitude à cheval sur les départements de l'Allier, de la Creuse et du Puy-de-Dôme), le bocage bourbonnais de l'ouest situé à l'ouest de la vallée du Cher dans l'Allier, la vallée du Cher, le bassin de Gouzou et le pays de Tronçais, soit environ 1800 km². Le nombre d'espèces citées pour chaque groupe provient quasi exclusivement d'observations personnelles de terrain.

La méthode d'étude se base sur diverses techniques (une vidéo très didactique sur ces méthodes a été tournée par la SLEM : <https://www.youtube.com/watch?v=TtKAE4G0zLM>) :

- L'observation à vue sur le terrain ;
- Le prélèvement de litières et leur examen sous loupe binoculaire pour les espèces dites millimétriques (moins de 5 millimètres de long ou de large) ;
- Le filet troubleau pour les espèces aquatiques mais peu utilisé car cela perturbe trop les biotopes ;
- La technique du battage a également été peu utilisée car souvent peu productive.

La diversité malacologique est très nettement accrue en terrain calcaire, malheureusement, en dehors de quelques affleurements calcaires du pays de Tronçais ou peu acides de la région montluçonnaise, le socle granitique de la zone d'étude limite nettement la diversité. Toutefois cet aspect géologique ne joue que peu sur des groupes comme les limaces et les bivalves. Les zones humides et cours d'eau sont encore assez nombreux mais souvent altérés.

Dans les tableaux récapitulatifs en annexes, les notions de fréquence sont représentées par : TR = très rare, R = rare, AR = assez rare, AC = assez commun et C = commun.

Sur les images, la mire rouge correspond à un centimètre.

Les bivalves

Les bivalves sont divisés en 2 groupes empiriques :

- Les macro-bivalves sont les grandes moules d'eau douce incluant les familles des Unionidae, des Margaritiferidae, des Dreissenidae et des Veneridae (genre *Anodonta*, *Unio*, *Potomida*, *Margaritifera*, *Dresseina*, *Corbicula*...) dont la taille varie de 3 cm à quasi 20 cm pour les plus imposantes.

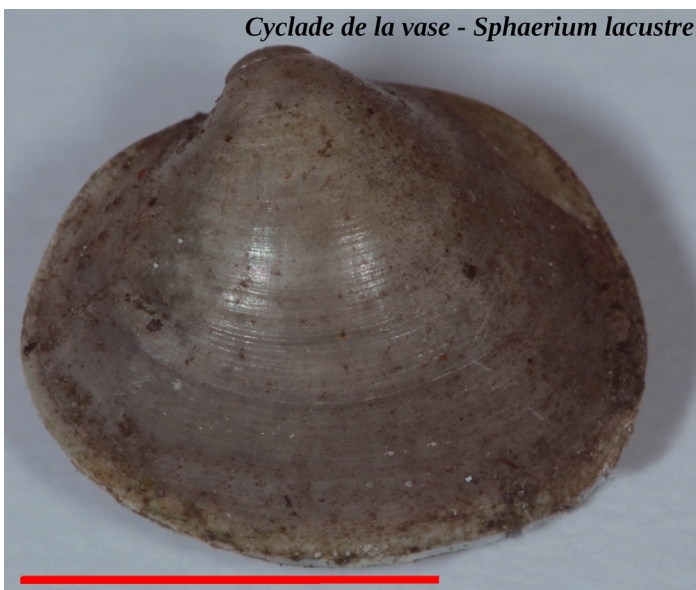
- Les micro-bivalves comprennent une série de minuscules moules à taille parfois inférieure à quelques millimètres dont l'étude reste ardue et nécessite le passage obligatoire sous loupe binoculaire. Il s'agit de la famille des Sphaeriidae. Le spécialiste français de ces minuscules animaux, Jacques Mouthon, a été d'un grand secours pour confirmer mes premières tentatives de détermination.

Les macro-bivalves sur la zone d'étude connaissent malheureusement une nette régression spécifique et numérique à l'image de ce qu'il se passe au niveau national. Des espèces ont déjà totalement disparu : c'est le cas de l'*Anodonte* comprimée de la Loire (*Pseudanodonta complanata ligerica*), de la Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) et de la Grande Mulette (*Pseudunio auricularius*). Deux autres espèces n'ont quasiment plus de population vivante viable : la Mulette épaisse (*Unio crassus*) et la Mulette des rivières (*Potomida littoralis*). Ces différentes naïades étaient présentes par le passé en vallées du Cher, de l'Aumance, de la Tardes et de la Voueize ou encore dans le canal du Berry. L'*Anodonte* des étangs (*Anodonta cygnea*) se rencontre encore assez souvent dans les étangs de toute taille et dans le canal du Berry, exceptionnellement en zone calme de cours d'eau. L'*Anodonte* des rivières (*Anodonta anatina*) préfère les eaux courantes, étant rare en eaux stagnantes ; elle est régulièrement notée mais moins que la précédente. En vallée du Cher on observe encore régulièrement la Mulette des peintres (*Unio pictorum*) qui possède en outre une curieuse population à l'étang de Goule – Valigny (03), particularité reposant sur le fait que cette moule est surtout inféodée aux eaux courantes. Notons que pour cette dernière, la différenciation visuelle avec la Mulette méridionale (*Unio mancus*), normalement plus trapue, n'est pas toujours possible. Il faudrait soumettre les individus à des analyses génétiques pour différencier ces espèces. Les naïades présentes dans la zone d'étude sont possiblement des deux espèces. Enfin deux moules exotiques ont envahi plus ou moins durablement la vallée du Cher. La Corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*) a totalement réussi à s'implanter depuis les années 2000 en vallée

du Cher comme dans plusieurs rivières auvergnates et limousines (Allier, Loire, Vienne, Gartempe, Creuse, Vézère...). Par contre, la Moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), qui fut abondante dans une partie du canal du Berry selon Dumas (1895), a totalement disparu à ce jour. Cette dernière, avait sûrement été introduite par le biais de la navigation commerciale fluviale d'une époque révolue (le canal du Berry a été déclassé il y a plus de 70 ans).

Les micro-bivalves sont difficiles à découvrir et fournissent nettement moins de données. On peut parfois les trouver en nombre sur les zones d'exondation des marais et étangs. L'étang des landes de Lussat (23) offre une remarquable diversité. Parmi ces petites moules, certaines n'ont pas été retrouvées depuis près de 100 ans (erreurs d'identification ou réelle disparition peut-être liée à la dégradation des milieux aquatiques !?) : Pisidie des gardons (*Euglesa henslowana*), Pisidie septentrionale (*Euglesa hibernica*), Pisidie des rives (*Euglesa milium*), Pisidie des plaines

(*Euglesa supina*), Grande Cyclade (*Sphaerium rivicola*) et Cyclade des fleuves (*Sphaerium solidum*), et enfin Pisidie de vase (*Pisidium amnicum*). À ce jour 7 espèces ont été répertoriées : Pisidie robuste (*Euglesa casertana*) qui ne semble pas rare en étangs, mares, marais ; Pisidie ubiquie (*Euglesa nitida*) citée uniquement des grands étangs (bassin de Gouzon et pays de Tronçais) ; Pisidie de Lamarck (*Euglesa obtusalis*) du bassin de Gouzon ; Pisidie des sources (*Euglesa personata*) et Pisidie des chiens (*Euglesa subtruncata*) citées du bassin de Gouzon et basse Combraille mais cette dernière semble assez fréquente en Auvergne / Limousin ; Cyclade commune (*Sphaerium corneum*) et Cyclade ovale (*Sphaerium ovale*) (tout comme la Cyclade cerise - *Sphaerium nucleus*) seraient en fait selon J. Mouthon une seule et même espèce variable, notées en bassin de Gouzon, basse Combraille et vallée du Cher ; Cyclade de la vase (*Sphaerium lacustre*) notée dans des plans d'eau du bassin de Gouzon, pays de Tronçais et basse Combraille.


Mulette des peintres - *Unio pictorum*

Cyclade de la vase - *Sphaerium lacustre*

Pisidie des sources - *Euglesa personata*

Les limaces

Ces animaux sont dans leur grande majorité facilement repérables à vue, même les plus petites, arpentant tout biotope, et il est facile d'en découvrir en retournant pierres et autres écorces : 17 espèces ont été répertoriées récemment. Ces espèces sont presque toutes assez facilement identifiables, mais la dissection semble conseillée dans quelques cas (com. pers. X. Cucherat) : par exemple pour la Loche glandue (*Arion distinctus*) et la Loche noire (*Arion hortensis*) ou pour la Grande loche (*Arion rufus*) et la Loche méridionale (*Arion vulgaris*) compliqué par le fait que ces 2 dernières espèces s'hybrident entre elles.

Notons une espèce exogène envahissante, la Loche conquérante (*Deroceras invadens*) qui a envahi jardins et cultures dont la provenance est possiblement le sud de la péninsule italienne (Reise et al. 2011). Des espèces comme la Limace des caves (*Limacus flavus*) ou la Testacelle commune (*Testacella haliotidea*), vivant souvent dans l'environnement immédiat des activités humaines, sont pourtant mal connues en raison de leurs mœurs discrètes, surtout nocturnes, et souterraines pour la seconde. Enfin quelques espèces liées aux vieux boisements ont un statut qui pourraient se fragiliser dans l'avenir avec l'exploitation intensive de ces boisements, même si à ce jour elles ne semblent pas en régression sur le territoire d'étude : Grande Limace (*Limax cinereoniger*), Limace jaune (*Malacolimax tenellus*) et peut-être Loche hérisson (*Deroceras intermedius*).

Loche conquérante - *Deroceras invadens*



Limace jaune - *Malacolimax tenellus*



Limace des arbres - *Lehmania marginata*



Limace léopard - *Limax maximus*



Testacelle commune - *Testacella haliotidea*

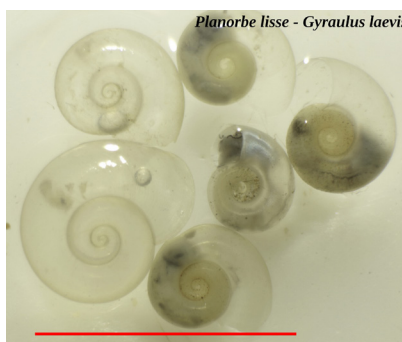

Les escargots

Ils sont classiquement divisés en 2 grands groupes : les espèces aquatiques ne pouvant vivre que dans l'eau, et les espèces terrestres.

Parmi les 25 escargots aquatiques détectés, on remarquera 3 espèces par leur forme en « chapeau chinois » et non en coquille spiralée : Patelline d'Europe (*Acroloxus lacustris*), Patelline des fleuves (*Ancylus fluviatilis*) et Patelline fragile (*Ferrissia fragilis*) une espèce exogène originaire d'Amérique. Outre cette dernière espèce, il y a 2 autres escargots exogènes invasifs : Planorbine américaine (*Menetus dilatatus*) en eaux stagnantes et Hydrobie des antipodes (*Potamopyrgus antipodarum*) originaire de Nouvelle-Zélande plutôt en eaux courantes. Dans le groupe des Limnées, les *Stagnicola* sont assez complexes et quasi inséparables sans dissection. Le statut de nombre d'espèces millimétriques est mal connu, mais il est probable que la dégradation des milieux aquatiques soit à l'origine de leur raréfaction, voire de leur disparition comme pour la Limnée cristalline (*Myxas glutinosa*) citée au début du siècle passé du val de Cher (Dumas loc. cit.). La Planorbine cloisonnée (*Segmentina nitida*) n'a qu'une seule population locale et régionale aux étangs de Lussat (23), espèce rare en France.

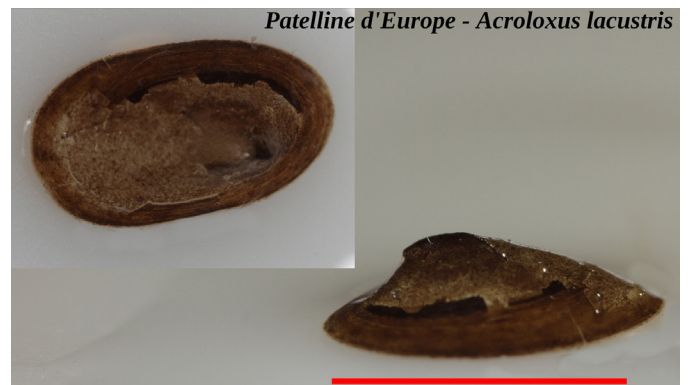
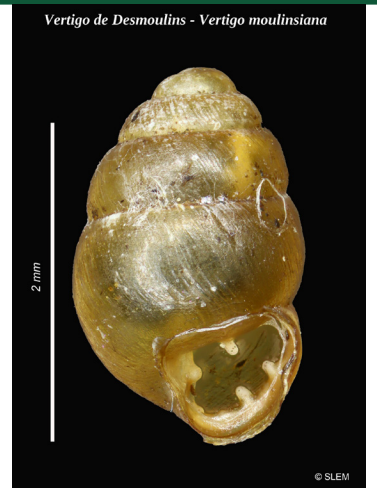
Les escargots terrestres ne sont représentés localement que par 58 espèces. Comme signalé précédemment, la diversité est limitée par la quasi absence de secteurs calcaires. Il n'y a que très peu d'espèces d'intérêt régional car la plupart ont une vaste répartition. L'Hélicette du thym (*Candidula unifasciata*) et la Caragouille semblable (*Ceruella aginnica*) sont calcicoles donc logiquement très rares sur zone d'étude (pays de Tronçais) mais également régionalement. Le Luisant étroit (*Morlina glabra*) est rare, aussi bien localement (pays de Tronçais) que régionalement. Le Maillot de Dordogne (*Pagodulina pagodula*) est à répartition nationale très morcelée et n'est présent ici qu'en gorges du Cher. Le Vertigo de Desmoulins (*Vertigo moulinsiana*) est dans la liste des espèces d'intérêt communautaire, appréciant les marais à carex, ayant localement quelques stations dispersées en vallée du Cher, Combraille, bassin de Gouzon. À la consultation du tableau 4, on pourrait en tirer une conclusion hâtive sur la rareté de nombreuses autres espèces, mais il s'agit de micro-escargots difficiles à détecter : genres *Vertigo*, *Vitrea*, *Carychium*, *Euconulus*, *Paralaoma*, *Pupillum*, *Truncatellina* ou encore *Vallonia*. On peut remarquer la Semilimace atlantique (*Semilimax pyrenaicus*) atteignant localement une de ses limites orientales de répartition.

Planorbe de Linnée - *Anisus spirorbis*

Planorbe lisse - *Gyraulus laevis*

Planorbine cloisonnée - *Segmentina nitida*

Escargotin hérisson - *Acanthinula aculeata*

Vallonie costulée - *Vallonia costata*

Conclusion

Au total un minimum de 113 espèces a été répertorié, ce qui semble peu au regard des 732 espèces recensées en France métropolitaine (Gargominy *et al.* 2021) mais logique en raison du substrat majoritairement acide de la zone d'étude. On déplore la disparition certaine par exemple de *Myxas glutinosa*, *Pseudunio auricularius* et *Pseudanodonta complanata ligetica*, *Sphaerium solidum* et *rivicola*, leur redécouverte locale paraissant bien peu probable au vu de leur statut de régression nationale (UICN *et al.* 2021), ou très probable de plusieurs autres essentiellement pour celles vivant en milieu aquatique en relation avec la dégradation / destruction de nombre de biotopes humides. Enfin la malacofaune n'échappe pas à l'arrivée de quelques espèces « exotiques » qui ont quasiment toutes réussi leur implantation locale, devenant même invasives (Corbicule asiatique ou Loche conquérante par exemple) ; il ne faut pas oublier que le mal nommé Escargot de Bourgogne (*Helix pomatia*) est un envahisseur venu il y a bien longtemps d'Europe centrale et du Sud-Est et n'a donc pas grand-chose de bourguignon !

Remerciements

Ils vont à Sylvain Vignaud qui a fourni quelques données et pour son aide précieuse à mes débuts dans cette discipline, à Jacques Mouthon pour ses conseils précieux dans l'identification des micro-bivalves, et enfin à Ellen Le Roy et la SLEM pour l'autorisation d'utilisation de certaines des images illustrant cette note.

Références

Les notes de Sylvain Vignaud sont téléchargeables sur le site de Faune-Auvergne (Margaritifera : Bulletin de liaison des Mollusques de l'Allier – www.faune-auvergne.org). La clef illustrée des mollusques d'Auvergne et Limousin est épuisée mais le texte en PDF est disponible auprès de l'auteur.

- Duboc P. & Vignaud S., 2019. *Malacologie d'Auvergne et Limousin : Clef d'identification des gastéropodes et bivalves*. Ed. Société Limousine d'Étude des Mollusques, 130 p.
- Dumas E., 1895. *Conchyologie bourbonnaise, première partie : mollusques aquatiques*. Impr. Étienne Auclair, Moulins, 147 p.
- Dumas E., 1901. *Conchyologie bourbonnaise, deuxième partie : mollusques terrestres testacés*. Impr. Étienne Auclair, Moulins, 77 p.
- Falkner G., Ripken T.E.J. & Falkner M., 2002. *Mollusques continentaux de la France : liste de référence annotée et bibliographie*. Patrimoines Naturels Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 52 p.
- Fontaine B., Bichain J.M., Cucherat X., Gargominy O. & Prié V., 2010. Les noms scientifiques français des mollusques continentaux de France : processus d'établissement d'une liste de référence. *Revue d'écologie la Terre et la Vie*, vol. 65, p. 293-317.
- Gargominy O., Tercerie S., Régnier C., Dupont P., Daszkiewicz P., Antonetti P., Léotard G., Ramage T., Idczak L., Vandell E., Petitville M., Leblond S., Boullet V., Denys G., De Massary J.C., Dusoulier F., Lévêque A., Jourdan H., Touroult J., Rome Q., Le Divelec R., Simian G., Savouré-Soubelet A., Page N., Barbut J.,

- Canard A., Haffner P., Meyer C., Van Es J., Poncet R., Demerges D., Mehran B., Horellou A., Ah-Peng C., Bernard J.-F., Bounias-Delacour A., Caesar M., Comolet-Tirman J., Courtecuisse R., Delfosse E., Dewynter M., Hugonnot V., Lavocat Bernard E., Lebouvier M., Lebreton E., Malécot V., Moreau P.A., Moulin N., Muller S., Noblecourt T., Pellens R., Thouvenot L., Tison J.M., Robbert Gradstein S., Rodrigues C., Rouhan G. & Véron S., 2021. TAXREF v15.0, référentiel taxonomique pour la France. UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Archive de téléchargement contenant 8 fichiers. <https://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentielEspece/taxref/15.0/menu>
- Reise H., Hutchinson J.M.C., Schunack S. & Schlitt B., 2011. *Deroceras panormitanum* and congeners from Malta and Sicily, with a redescription of the widespread pest slug as *Deroceras invadens*. n. sp. *Folia Malacologica*, 19(4) : 201-223. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10125-011-0028-1>
- UICN Comité français, OFB & MNHN, 2021. La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mollusques continentaux de France métropolitaine. Paris, France, 16 p.
- Vignaud S., 2004. Les naïades d'Auvergne. *Margaritifera* n°4, 6 p.
- Vignaud S., 2005. Les *Vertiginidae* d'Auvergne. *Margaritifera* n°5, 7 p.
- Vignaud S., 2007a. Corbicules. *Margaritifera* n°6, 5 p.
- Vignaud S., 2007b. Succinées. *Margaritifera* n°7, 3 p.
- Vignaud S., 2010. Les *Aciculidae* d'Auvergne. *Margaritifera* n°8, 3 p.
- Vignaud S., 2011. Clef d'identification des différentes familles de mollusques continentaux de France. *Margaritifera* n°9, 15 p.
- Vignaud S., 2013. Les *Vertiginidae* de France. *Margaritifera* n° 10, 8 p.

Annexes : Tableaux spécifiques

Tableau 1 : Bivalves

Espèces	Statut local	Statut régional Auvergne / Limousin
<i>Anodonta cygnea</i>	AC	AC
<i>Anodonta anatina</i>	AC	AC
<i>Pseudanodonta complanata ligerica</i>	Disparue	Disparue
<i>Margaritifera margaritifera</i>	Disparue	R, en diminution
<i>Potomida littoralis</i>	TR quasi éteinte	R, en diminution
<i>Pseudunio auricularius</i>	Disparue	Disparue
<i>Unio crassus</i>	TR quasi éteinte	R, en diminution
<i>Unio pictorum / mancus</i>	AR	AR
<i>Corbicula fluminea</i>	AC	C, exogène invasive
<i>Dreissena polymorpha</i>	Disparue	TR, exogène non invasive
<i>Euglesa henslowana</i>	Disparue ?	TR
<i>Euglesa hibernica</i>	Disparue ?	TR
<i>Euglesa milium</i>	Disparue ?	TR
<i>Euglesa nitida</i>	Disparue ?	TR
<i>Euglesa casertana</i>	AC	Probablement AC
<i>Euglesa nitida</i>	AR	AR
<i>Euglesa obtusalis</i>	AR	AR
<i>Euglesa subtruncata</i>	AC	Probablement AC
<i>Euglesa personata</i>	AR	AR
<i>Pisidium amnicum</i>	Disparue	TR
<i>Sphaerium lacustre</i>	AC	AC
<i>Sphaerium rivicola</i>	Disparue	Disparue
<i>Sphaerium solidum</i>	Disparue	Disparue
<i>Sphaerium corneum / ovale</i>	AR	AR

Tableau 2 : Limaces

Espèces	Statut local	Statut régional Auvergne / Limousin
<i>Arion rufus</i>	C	C
<i>Arion vulgaris</i>	C	C
<i>Arion subfuscus</i>	C	C
<i>Arion hortensis</i>	C	C
<i>Arion fasciatus</i>	AR	AC
<i>Arion distinctus</i>	AR	AC
<i>Arion intermedius</i>	AR	AR
<i>Deroceras invadens</i>	C	C, espèce exogène invasive
<i>Deroceras laeve</i>	AR	AR
<i>Deroceras reticulatum</i>	C	C
<i>Lehmania marginata</i>	C	C
<i>Limacus flavus</i>	AR	AR mais sous prospectée
<i>Limax maximus</i>	C	C
<i>Limax cinereoniger</i>	AC	AC
<i>Malacolimax tenellus</i>	AR	AR
<i>Tandonia rustica</i>	R	R
<i>Testacella haliotidea</i>	R	AR mais sous prospectée

Tableau 3 : Escargots aquatiques

Espèces	Statut local	Statut régional Auvergne / Limousin
<i>Acroloxus lacustris</i>	TR	TR
<i>Ancylus fluviatilis</i>	C	C
<i>Ferrissia fragilis</i>	R	AR, espèce exogène peu invasive ?
<i>Galba truncatula</i>	C	C
<i>Gyraulus albus</i>	TR	R
<i>Gyraulus crista</i>	TR	TR
<i>Gyraulus laevis</i>	TR	TR
<i>Hippeutis complanatus</i>	TR	TR
<i>Lymnaea stagnalis</i>	TR	AR
<i>Menetus dilatatus</i>	TR	AR, espèce exogène invasive
<i>Myxas glutinosa</i>	Disparue	Disparue
<i>Physella acuta</i>	AC	AC
<i>Planorbis planorbis</i>	TR	TR
<i>Planorbis carinatus</i>	TR (obs S. Vrignaud)	TR
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	AR	AR, espèce exogène invasive
<i>Radix auricularia</i>	R	AR
<i>Ampullaceana balthica</i>	AC	AC
<i>Radix labiata</i>	AC	AC
<i>Segmentina nitida</i>	TR	TR et très localisée
<i>Anisus leucostoma</i>	TR	TR
<i>Anisus spirorbis</i>	TR	TR
<i>Bythinia tentaculata</i>	AR	AC
<i>Omphiscola glabra</i>	R	AR
<i>Stagnicola corvus</i>	R	R
<i>Stagnicola fuscus</i>	R	R
<i>Stagnicola palustris</i>	TR	TR
<i>Viviparus viviparus</i>	TR	TR

Tableau 4 : Escargots terrestres

Espèces	Statut local	Statut régional Auvergne / Limousin
<i>Acanthinula acuta</i>	R	AC
<i>Aegopinella nitida</i>	AC	AC
<i>Aegopinella pura</i>	TR	AC
<i>Balea perversa</i>	AR	AC
<i>Candidula gigaxii</i>	R	AC
<i>Candidula intersecta</i>	AC	AC
<i>Candidula unifasciata</i>	TR	R
<i>Carychium minimum</i>	R	AR
<i>Carychium tridentatum</i>	R	AR
<i>Ceciliodes acicula</i>	TR	AC
<i>Cepaea hortensis</i>	C	C
<i>Cepaea nemoralis</i>	C	C
<i>Cernuella aginnica</i>	TR	TR
<i>Cernuella neglecta</i>	R	AC
<i>Clausilia bidentata</i>	C	C

Espèces	Statut local	Statut régional Auvergne / Limousin
<i>Clausilia rugosa</i>	AR	AC
<i>Cochlicopa lubrica</i>	AC	C
<i>Cochlicopa lubricella</i>	AC	AC
<i>Cochlodima laminata</i>	C	C
<i>Columella aspera</i>	R	AR
<i>Cornu aspersum</i>	C	C
<i>Discus rotundatus</i>	C	C
<i>Euconulus alderi</i>	TR	AR
<i>Euconulus fulvus</i>	AR	AC
<i>Helicella itala</i>	AR	AC
<i>Helicigona lapicida</i>	AC	C
<i>Helicodonta obvolvata</i>	R	AC
<i>Helix pomatia</i>	C	C
<i>Hygromia cinctella</i>	R	AR
<i>Hygromia limbata</i>	AR	AC
<i>Lauria cylindracea</i>	R	AC
<i>Merdigera obscura</i>	R	AC
<i>Monacha carthusiana</i>	R	AC
<i>Morlina glabra</i>	TR (obs. S. Vrignaud)	TR
<i>Oxychilus alliarus</i>	R	AR
<i>Oxychilus draparnaudi</i>	C	C
<i>Oxychilus cellarius</i>	TR	AR
<i>Oxyloma elegans</i>	AC	C
<i>Pagodulina pagodula</i>	TR	R
<i>Pomatia elegans</i>	TR	AC
<i>Paralaoma servilis</i>	TR	AR
<i>Phenacolimax major</i>	AC	AC
<i>Punctum pygmaeum</i>	AR	C
<i>Pupilla muscorum</i>	TR	AR
<i>Semilimax pyrenaicus</i>	R	R
<i>Succinea putris</i>	C	C
<i>Succinella oblonga</i>	TR	AR
<i>Trochulus hispidus</i>	AC	AC
<i>Truncatellina cylindrica</i>	TR	AR
<i>Vallonia costata</i>	AC	AC
<i>Vallonia excentrica</i>	R	AC
<i>Vallonia pulchella</i>	R	AR
<i>Vertigo moulinsiana</i>	R	AR
<i>Vertigo pygmaea</i>	R	AC
<i>Vitrea contracta</i>	TR	AR
<i>Vitrea crystallina</i>	R	AC
<i>Vitrina pellucida</i>	R	AC
<i>Zonitoides nitidus</i>	AC	AC

Brackish diatom species observed at the bituminous Poix spring: an island of curiosity

Lory-Anne Baker^{1,2}, Aude Beauger^{2,3}, Carlos E. Wetzel⁴, Olivier Voldoire³, Christelle Blavignac⁵,
Elisabeth Allain³, Luc Ector⁴† & David Biron^{1,2}†

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, LMGE, F-63000 Clermont-Ferrand, France ;

²LTSER "Zone Atelier Territoires Uranifères", 63000 Clermont-Ferrand, 63178 Aubière Cedex, France ;

³Université Clermont Auvergne, CNRS, GEOLAB, F-63000 Clermont-Ferrand, France ;

⁴Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Environmental Research and Innovation department (ERIN), Environment and Biodiversity (OCEB), 4422 Belvaux, Luxembourg ;

⁵Centre Imagerie Cellulaire Santé, UCA PARTNER, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

Corresponding author : Lory-Anne Baker, l-anne.baker@doctorant.uca.fr, Université Clermont Auvergne, CNRS, LMGE, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

Soumis le 22 mars 2022

Accepté le 30 mai 2022

Publié le 20 juin 2022

Résumé

La source de la Poix est une particularité géologique du Massif central français car elle est connue pour être bitumineuse associée à de l'eau salée, du méthane et des traces d'hydrogène sulfuré. Entre mars 2017 et juin 2020, trois prélèvements ont été effectués en raclant les diatomées sur la couche de bitume. De plus, les conditions physiques et chimiques ont été examinées. Il apparaît que la conductivité de l'eau salée est supérieure à celle de l'océan, entraînant le développement de certaines espèces de diatomées saumâtres, observées pour certaines d'entre elles sur les sédiments intertidaux ou dans les estuaires. Même si les conditions abiotiques étaient extrêmes pour ces algues, la biodiversité était élevée et révèle des espèces ayant une grande capacité à supporter des concentrations et des fluctuations de salinité élevées.

Abstract

The Poix spring is a geological particularity of the French Massif central as it is known to be bitumen associated with salt water, methane and traces of hydrogen sulphide. Between March 2017 and June 2020, three samples were taken by scraping the diatoms on the layer of bitumen. Moreover, the physical and chemical conditions were examined. It appears that the conductivity of the saline water is higher than the one of the ocean leading to the development of some brackish diatom species observed for some of them on the intertidal sediments or estuaries. Even if the abiotic conditions were extreme for these algae, the biodiversity was high and reveals species with high ability to withstand in high salinity concentrations and fluctuations.

Mots-clés

Eau saumâtre
Biodiversité
Communautés de diatomées
Sources minérales

Keywords

Brackish water
Biodiversity
Diatoms communities
Mineral springs

Introduction

Brackish water is defined as having a chloride content more than 400 mg.L^{-1} or an electrical conductivity greater than 1.5 dS.m^{-1} (Shevah 2014). Brackish environments are classically observed on coastal areas, estuary but also in inland habitats. When considering inland areas, these are habitats under the influence of saline waters that accompany the salt deposits, as well as areas exposed to water deficit in dry climate (Reimold & Queen 1974; Poljakoff-Mayber & Gale 1975). These brackish environments are relatively widespread throughout the world and cover ca. 10% of the land (O'Leary & Glenn 1994; Piernik 2012). Inland salt environments occur in limited areas, mostly on "fossil salt deposits and around salty springs" (Waisel 1972; Piernik 2012).

Among the springs, there a wide range of physical and chemical conditions with conductivity ranging from 10 to $70,000 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ (Sabater & Roca 1992; Angeli et al. 2010; Želazna-Wieczorek 2011; Wojtal 2013; Beauger et al. 2015, 2016, 2017, 2019). When the conductivity is the highest with high sodium concentration, springs are associated with halophyte vegetation or micro-organisms adapted to high osmotic pressure. Among these micro-organisms, diatoms are present and distributed in this particular habitat. These microscopic algae are known to

have ecological preferences for most of them. So, brackish diatom species are associated and grow in salty springs (Rakowska 1997; Wojtal 2013; Lai et al. 2016).

In the French Massif central, there are many salt marshes and among the 500 inventoried mineral springs (Lecoq 1864), some are salty springs that induced this brackish ecosystem. Indeed, an on-going survey on diatoms that began in 2015, reveals that the conductivity of the mineral springs ranges between 37 and $123,200 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ with an average of $4800 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ (Beauger, personal communication). The Poix spring at Clermont-Ferrand is the mineral spring with the highest conductivity and salinity of this region. Since at least antiquity, this spring has drawn attention particularly for the occurrence of bitumen with water. In 1575, the French author François de Belle-Forest described the area as a hill where bitumen and spring water flow in the book "La cosmologie universelle de tout le monde". Later, this spring was also mentioned by the doctor Jean Banc in 1604, the chemist Joseph de Tournefort in 1734, the geologist Jean-Etienne Guettard in 1759 and the famous naturalists Antoine Delarbre in 1749, Georges-Louis Leclerc de Buffon in 1799 and Henri Lecoq in 1864 (Nivet 1846; Truchot 1878; Legrand 2019). Focusing on the mineral Poix spring, the main aim of the study was to estimate the biodiversity associated with these harsh conditions by studying diatom communities during different seasons.

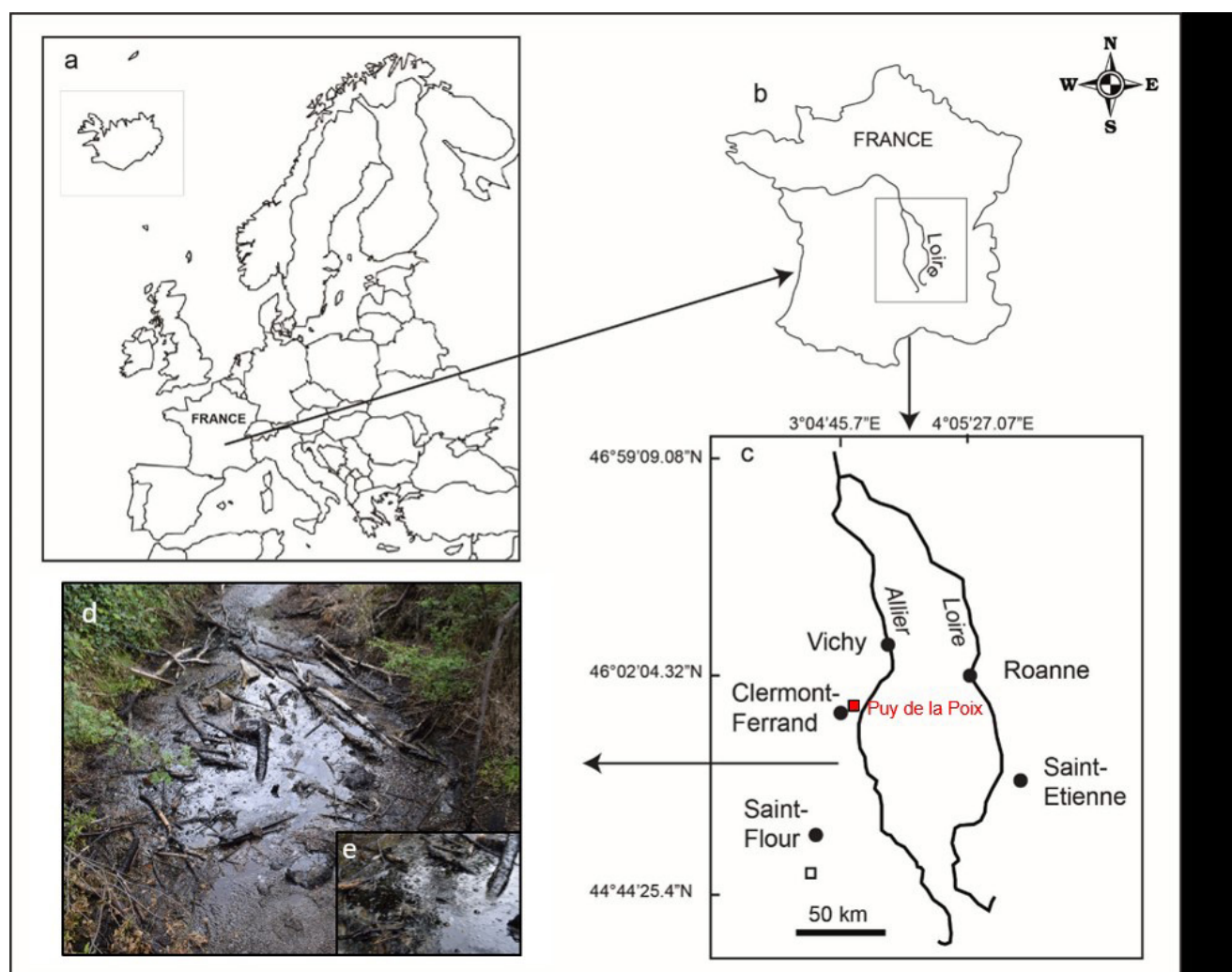


Figure 1 – Map of the studied mineral spring. a: map of Europe; b and c: position location of the Poix spring; d: photo of the Poix spring and the bitumen.

Materials and methods

Study site

The Poix spring is situated in the French Massif central and more particularly in the plain of Limagne near Clermont-Ferrand (Fig. 1) (E Lambert 93: 711392.04; N Lambert 93: 6520283.61; altitude: 337m). In the Limagne plain, the Oligocene sediments are naturally rich in hydrocarbons. Indeed, the former lake of Limagne was very rich in life, and the conditions of sedimentation preserved a large part of the organic matter. This organic matter has undergone diagenesis and has partly become bitumen. These hydrocarbons (less dense than the water and the surrounding rocks) rise through the rocks of the Limagne, by following the volcanic vents of the peperitic mini-volcano situated in the area (Thomas 2008). Moreover, this bitumen is associated with salt water, methane and traces of hydrogen sulphide (Gonnard 1906). Lecoq (1864) underlined that out of 82 g of material there is 70 g of sodium chloride, 7 g of de sodium sulphate, 0.1 g of bitumen and organic matter, a small amount of other salts, carbonate of lime, carbonate of magnesia, etc. and finally only traces of sulfur and silica. The place where the spring emerges is not shaded and takes full advantage of the sunshine, which is favourable for the development of diatoms.

Physical and chemical analyses and diatom sampling

The sampling survey was carried out on the 16th March 2017, on the 22nd October 2019 and on the 8th June 2020 (table 1) in order to make an inventory of the diatom flora of the site. The geographical position of the sampling site was georeferenced using a DGPS Trimble Geo7x, in Lambert 93. *In situ*, conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH (pH units), water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and the dissolved oxygen (%) were measured using respectively a multi-parameter WTW FC probe 340i and an oximeter Ysi ProODO. A water sample was collected for further chemical analysis in the laboratory and was analysed using the high-pressure ion chromatography technique. First, these samples were filtered using Whatmann GF/C filters. For the cation analysis, a Thermo Scientific Dionex ICS1100 system was used, whereas for the anions, a Thermo Scientific Dionex Aquion system was used. The concentrations (mg L^{-1}) in lithium (Li^{+}), sodium (Na^{+}), ammonium (NH_4^{+}), potassium (K^{+}), magnesium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), fluorine (F^{-}), chloride (Cl^{-}), nitrite (NO_2^{-}), nitrate (NO_3^{-}), phosphate (PO_4^{3-}) and sulphate (SO_4^{2-}) were measured in the laboratory. In addition, carbonate concentration (HCO_3^{-}) was measured using a Hach Carbonate AL-DT kit (Hach, Loveland, CO, USA).

Diatom sampling was possible at certain locations where the bitumen was submerged at the emergence of the spring. The sampling area was equivalent to a 30x30 cm area. Diatoms were collected by scraping the bituminous deposit at the bottom of the spring using a toothbrush and a pipette (Fig. 1d). Then, vial was named and dated.

Slide preparation, microscopy and analysis

For each sample collected at the Poix spring, a small fraction of the sample (2 ml) was prepared for light microscopy (LM) observation following the method described in Prygiel & Coste

(2000). Samples were cleaned using hydrogen peroxide (H_2O_2 , 35%) and hydrochloric acid (HCl, 37%), and rinsed several times with distilled water. A drop of the diluted cleaned material was dried on coverslips and mounted in Naphrax. LM observations and morphometric measurements were done using a Leica® DM2700M microscope with a 100x oil immersion objective using a differential interference contrast. For each slide, 400 valves were counted. Once the counting was complete, the relative abundances of diatom species were calculated.

Diatom species were identified according to Krammer & Lange-Bertalot (1997a, 1997b, 2000a, 2000b, 2004), Krammer (2000, 2002, 2003), Lange-Bertalot (2001), Werum & Lange-Bertalot (2004), Żelazna-Wieczorek (2011), Wojtal (2013), Levkov et al. (2016), Lange-Bertalot et al. (2017), associated to further articles (Spaulding & Stoermer 1997; Spaulding et al. 1999; Beauger et al. 2015, 2016, 2017, 2019; Wetzel et al. 2015).

For the scanning electron microscopy (SEM), parts of the oxidized suspensions were filtered with additional deionized water through a 3 or 0.2 μm Isopore polycarbonate membrane filter (Merck Millipore). Filters were mounted on stubs using adhesive carbon tabs and coated with carbon (Quorum Q150 TES). An ultrahigh-resolution analytical field emission (FE) scanning electron microscope, Hitachi SU-70 for the sample taken in 2017 and Hitachi Regulus 8230 (Hitachi High-Technologies Corporation, Japan) for the two other samples, was operated at 2 or 5 kV and 10 mm distance for image analysis. SEM images were taken using the lower (SE-L) and upper (SE-U) detector signal.

Shannon index and evenness were calculated using “vegan” package version 2.6-2 (Oksanen et al. 2022) in R version 4.1.2. Ecological traits were calculated according to Van Dam et al. (1994) using OMNIDIA 6.0.8 software (Lecointe et al. 1993) and Lange-Bertalot et al. (2017).

Results

Physical and chemical environment

The physico-chemical data of the Poix spring measured during the three campaigns are presented in table 1. On the whole the conductivity and all ionic concentrations were very high contrary to the dissolved oxygen. In March 2017, the conductivity was the highest with $123,200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and at this period, the concentration in sodium and chloride was the double compared to 2019 and 2020 with 44,295.2 and 60,477.2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. In 2019 and 2020, the conductivity was 46,260 and 53,300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ respectively and other ionic concentrations were comparable except magnesium and calcium.

Diatom communities

On the whole, thirty-one different species were observed at the Poix spring (Table 2) with many species of *Navicula* and *Nitzschia*. The *Navicula* species sampled were *N. cincta* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard, *N. gregaria* Donkin, *N. meulemansii* A.Mertens, Witkowski & Lange-Bertalot (Figs 2a-e, 3b), *N. salinarum* Grunow in Cleve & Grunow (Figs 2f-i, 3a), *N. salinicola* Hustedt (Figs 2j-o, 4a) and *N. veneta* Kützinger. The *Nitzschia* species observed

were *Nitzschia inconspicua* Grunow (Fig. 3c), *Nitzschia* aff. *lacuum* Lange-Bertalot, *Nitzschia pusilla* Grunow (Fig. 3d), *Nitzschia* cf. *epithemioides* Grunow in Cleve & Grunow and *Nitzschia* aff. *liebethruthii* Rabenhorst.

As it is shown in Table 3, biodiversity was the lowest in 2017 and 2019 with 11 species and there were 26 species in 2020. Shannon index was 1.41 in 2017, 0.75 in 2019 and 2.51 in 2020. Evenness varied between 0.39 and 0.77. In March 2017, the dominant species were *Navicula salinarum* (54.4%) (Fig. 3a), *Nitzschia pusilla* (Fig. 3d) (20.5%) and *Navicula veneta* (9.7%). In October 2019, it was *Navicula salinicola* (84.0%) (Fig. 4a). At last, in June 2020, *Navicula veneta* (22.5%), *Navicula cincta* (Fig. 4b) (16.7%), *Nitzschia* cf. *liebethruthii* (11.4%), *Pinnularia jocolata* (Manguin) Krammer (10.7%) (Fig. 4c), *Navicula meulemansii* (6.8%) (Fig. 3a) and *Crenotia thermalis* (Rabenhorst) Wojtal (4.7%). Some individual of *Muelleria terrestris* (J.B.Petersen) S.A.Spaulding & Stoermer were observed (Fig. 5). Some unknown species were also observed such as *Halamphora* sp. and two species of *Pinnularia* undetermined.

Related to the ecological trait “salinity”, the community was dominated by brackish water species such as *Navicula salinarum* in 2017 (Fig. 6). In 2019, marine-brackish taxa dominated such as *Navicula salinicola*. At last, in 2020, it was a mix of halophilous, brackish and marine-brackish water species such as *Navicula veneta*.

Table 1 – Ionic concentrations (mg.L⁻¹), physical and chemical results of the measures done in-situ at the Poix spring.

Sampling date	3/16/2017	10/22/2019	6/8/2020
Li ⁺	171.3	56.4	59.5
Na ⁺	44,295.2	13,748.7	10,583.7
NH ₄ ⁺	2.9	5.4	17.1
K ⁺	228.0	146.8	107.8
Mg ²⁺	658.0	548.7	294.0
Ca ²⁺	622.1	1,072.9	504.4
F ⁻	2.5	1.2	0.2
Cl ⁻	60,477.2	22,929.4	17,417.5
NO ₂ ⁻	0.0	0.0	0.0
Br ⁻	230.5	73.8	56.4
NO ₃ ⁻	1.3	0.1	0.1
PO ₄ ³⁻	0.1	0.1	1.3
SO ₄ ²⁻	5,417.8	2,570.0	2,121.3
HCO ₃ ⁻	4,290.0	2,320.0	1,360.0
Conductivity (μS.cm ⁻¹)	123.2	46.26	53.3
pH (pH units)	7.2	6.8	7.5
O ₂ (%)	6.3	2.8	7.8
Water temperature (°C)	10.6	12.9	13.6

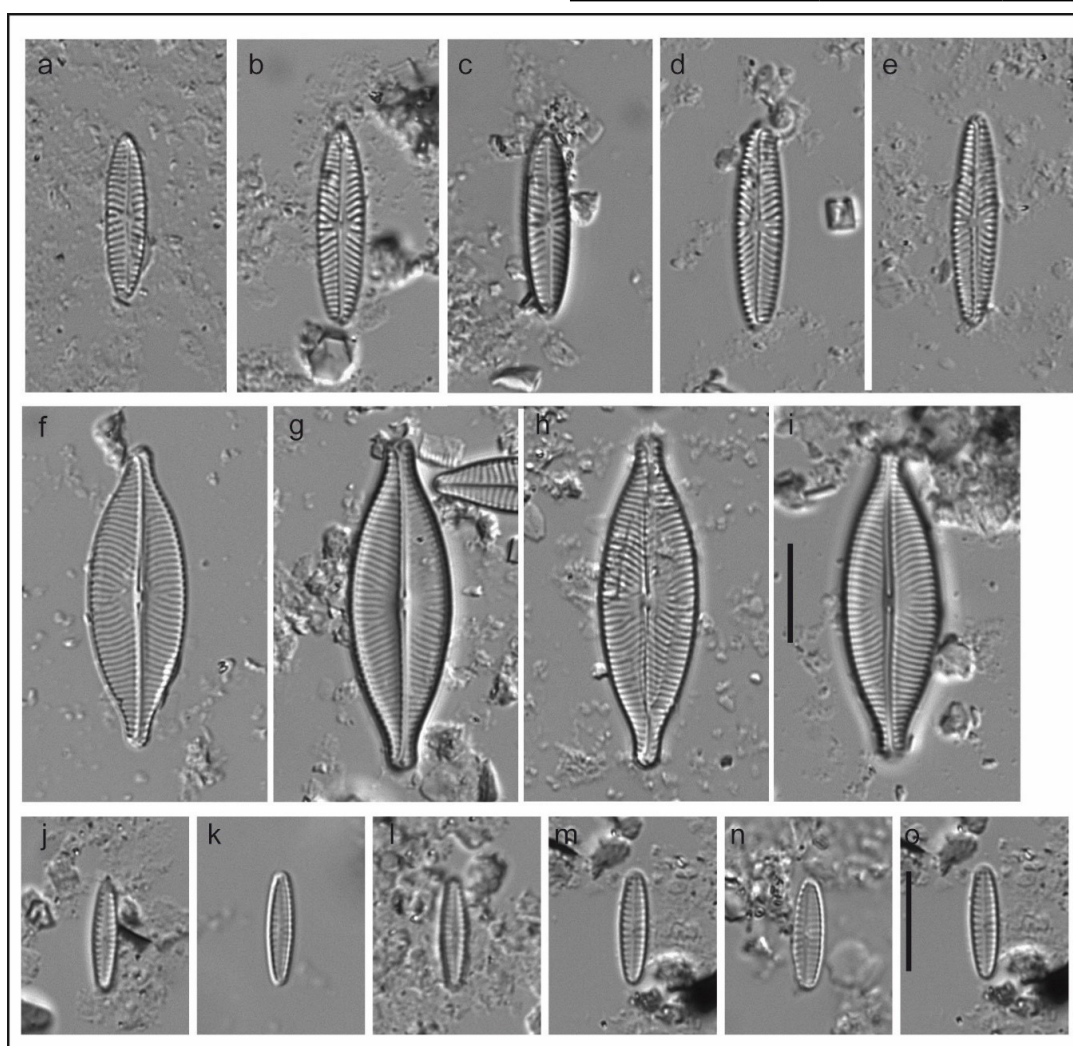


Figure 2 – Some *Navicula* species observed at the Poix spring. *Navicula meulemansii* (a-e), *Navicula salinarum* (f-i), *Navicula salinicola* (j-o). Scale bar = 10 μm.

Table 2 – Relative abundances of the diatom species observed at each sampling period.

Sampling date	3/16/2017	10/22/2019	6/8/2020
<i>Caloneis fontinalis</i> (Grunow in Van Heurck) A.Cleve	0	0	1.1
<i>Crenotia thermalis</i> (Rabenhorst) Wojtal	0	0	4.7
<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing	0	0	0.21
<i>Halamphora</i> sp.	0.71	0	0
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow	0	2.73	2.5
<i>Hippodonta subtilissima</i> Lange-Bertalot. Metzeltin & Witkowski	0	1.74	0
<i>Humidophila brekkaensis</i> (J.B.Petersen) R.L.Lowe. Kociolek. J.R.Johansen.Van deVijver. Lange-Bertalot & Kopalová	0	0	0.21
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) R.L.Lowe. Kociolek. J.R.Johansen. Van de Vijver. Lange-Bertalot & Kopalová	0.23	0.75	1.31
<i>Luticola</i> aff. <i>frequentissima</i> Levkov. Metzeltin & A.Pavlov	0	0	0.7
<i>Luticola ventricosa</i> (Kützing) D.G.Mann in Round et al.	0	0	0.6
<i>Muelleria terrestris</i> (J.B.Petersen) S.A.Spaulding & Stoermer	0	0	0.65
<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard	0.24	0.25	17.13
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	5.25	0	0.21
<i>Navicula meulemansii</i> A.Mertens. Witkowski & Lange-Bertalot	4.53	0	7.01
<i>Navicula salinarum</i> Grunow in Cleve & Grunow	54.42	0	1.94
<i>Navicula salinicola</i> Hustedt	0	84.08	5.7
<i>Navicula veneta</i> Kützing	9.79	5.22	23.07
<i>Nitzschia</i> aff. <i>lacuum</i> Lange-Bertalot	0	0	1.97
<i>Nitzschia</i> aff. <i>liebethuthii</i> Rabenhorst	1.67	0	11.5
<i>Nitzschia</i> cf. <i>epithemioides</i> Grunow in Cleve & Grunow	0	0	1.1
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	2.39	0	0
<i>Nitzschia pusilla</i> Grunow	20.53	1.99	2.14
<i>Pinnularia joculara</i> (Manguin) Krammer	0	1.74	10
<i>Pinnularia</i> sp.1	0	0	2.2
<i>Pinnularia</i> sp.2	0	0	1.2
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	0.24	0	0
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	0	0.75	0.21
<i>Pseudofallacia monoculata</i> (Hustedt) Y.Liu. Kociolek & Q.Wang in Liu et al.	0	0	1.32
<i>Pseudofallacia</i> sp.	0	0	0.88
<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehrenberg) D.G.Mann	0	0.5	0
<i>Stauroneis tackei</i> (Hustedt) Krammer & Lange-Bertalot in Kusber et al.	0	0.25	0.44

Table 3 – α -diversity of samples showing species richness, Shannon's index diversity and evenness.

	Richness	Shannon	Evenness
2017	11	1.41	0.59
2019	11	0.75	0.31
2020	26	2.51	0.77

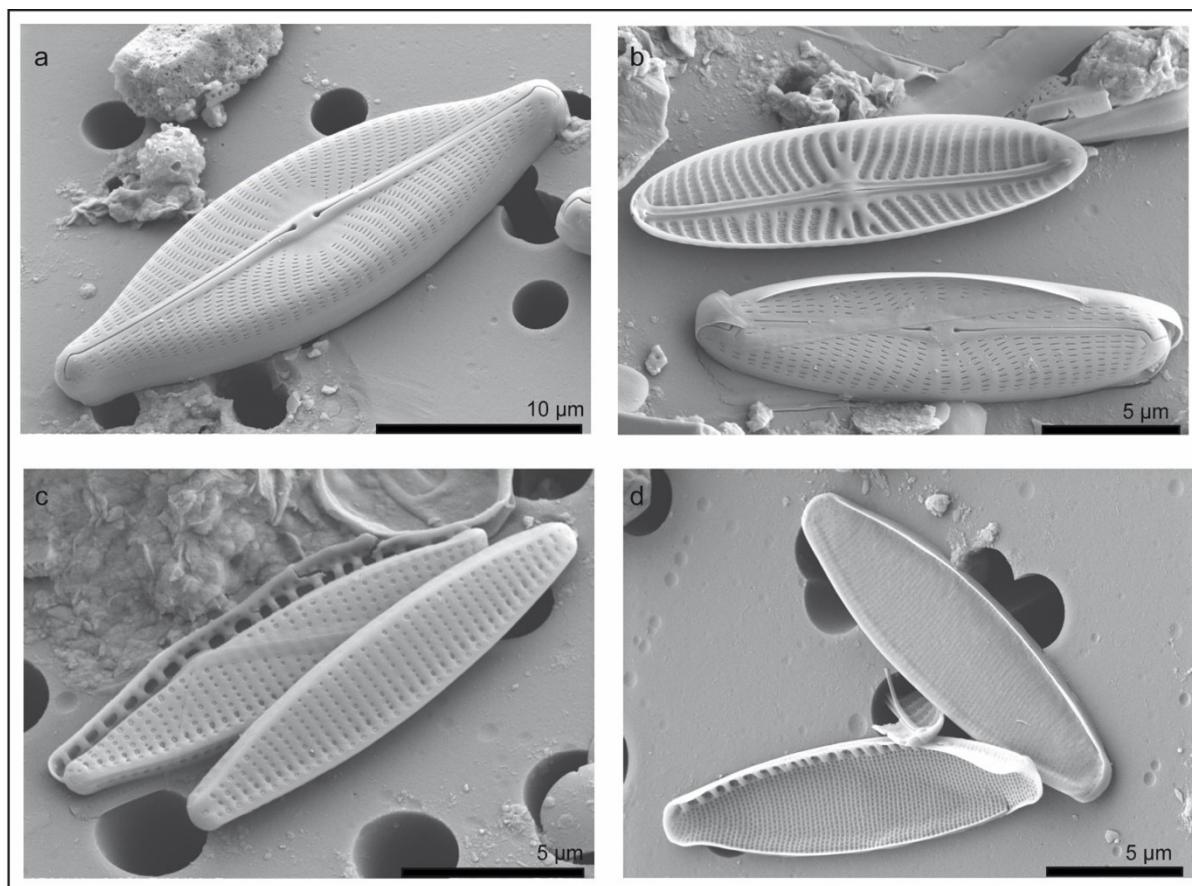


Figure 3 – Photographs at the scanning electron microscopy of some species: *Navicula salinarum* (a), *Navicula meulemansii* (b), *Nitzschia inconspicua* (c), *Nitzschia pusilla* (d).

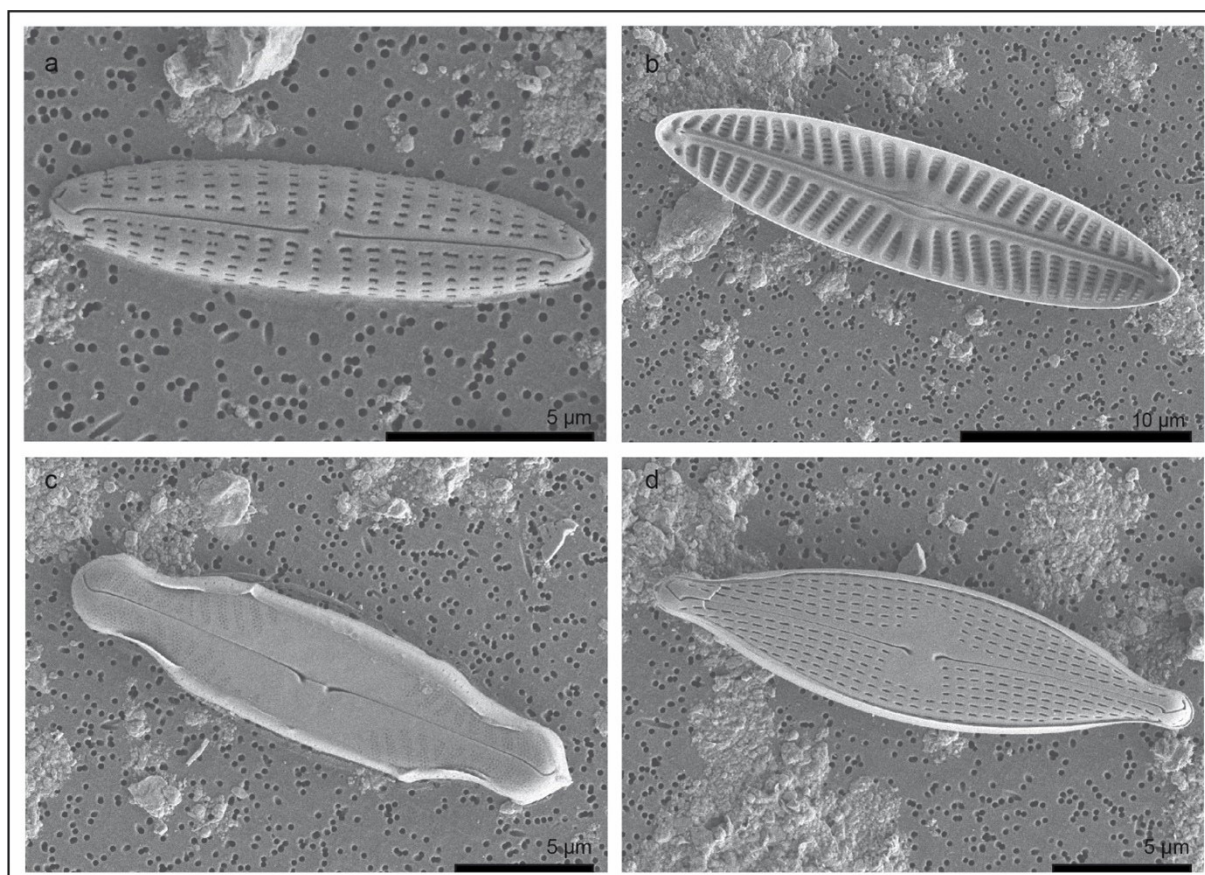


Figure 4 – Photographs at the scanning electron microscopy of some species: *Navicula salinicola* (a), *Navicula cincta* (b), *Pinnularia jocolata* (c), *Navicula gregaria* (d).

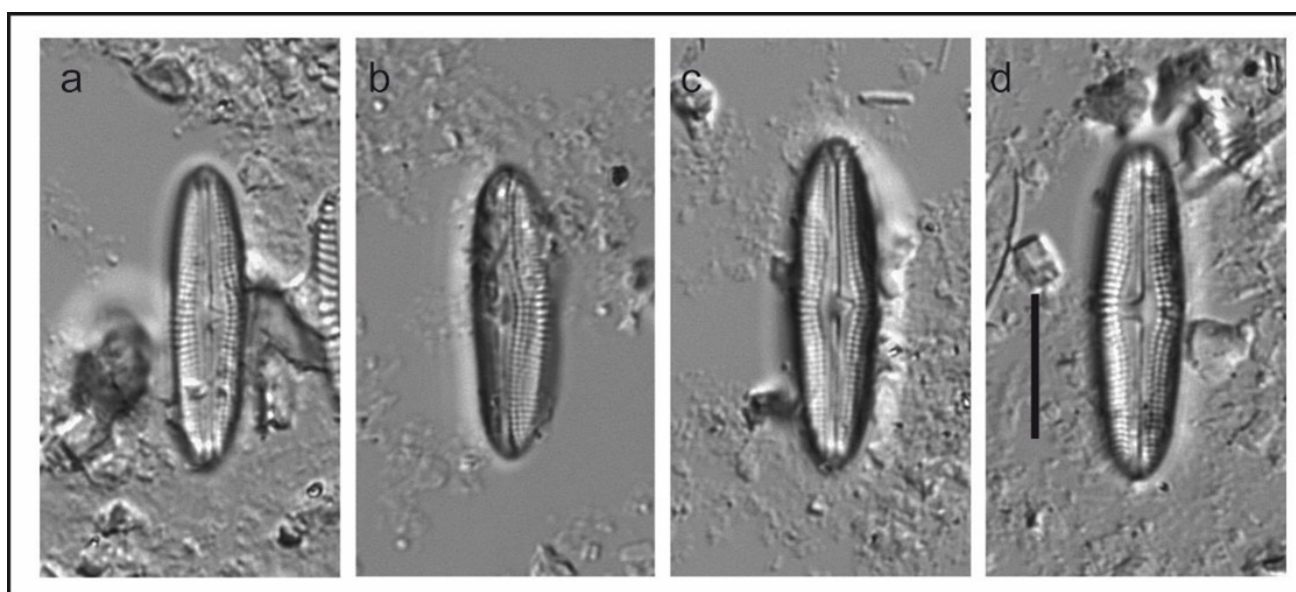


Figure 5 (a-d) – *Muelleria terrestris* observed at the Poix spring. Scale bar = 10 μm .

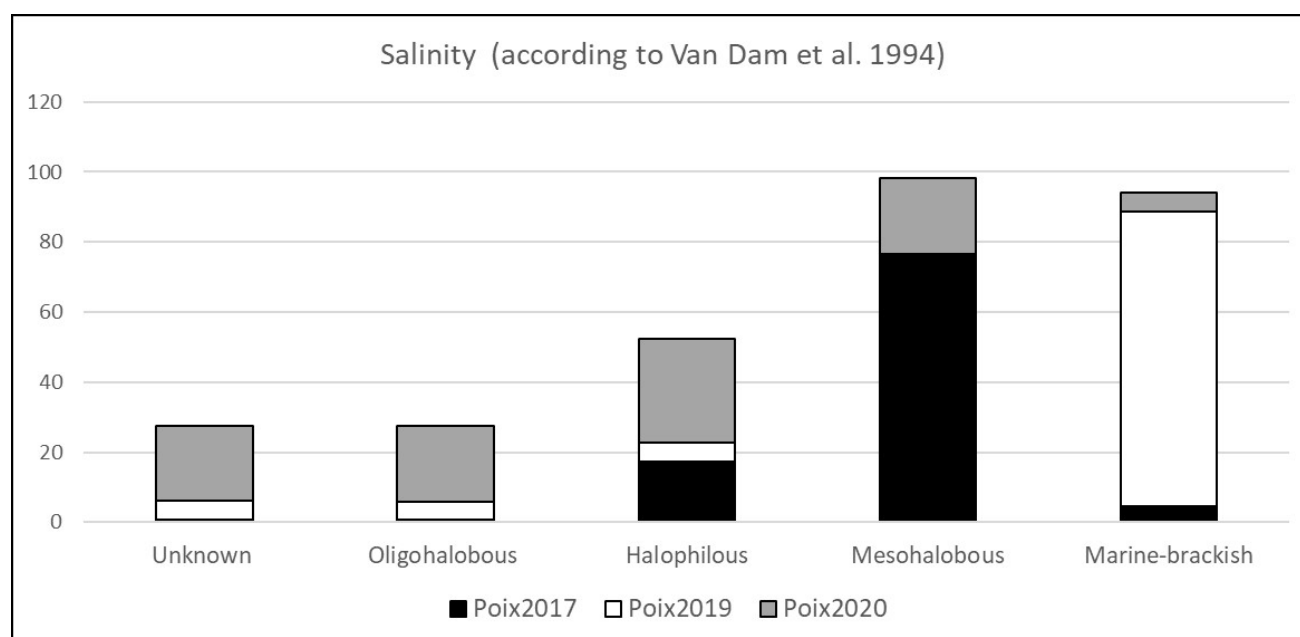


Figure 6 – Ecological traits retained: salinity at the Poix spring for the three samples.

Discussion

In the Poix spring, characterized by a high mineralization as underlined the high conductivity and salinity, the pH is about 7 and the oxygenation is low. Moreover, the concentration in Lithium and Bromine underlined the deep origin of the water (Michard 1990). The conductivity ranged between 46,260 and 123,200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and is consequently higher than ocean that was evaluated as 32,000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ by some authors (Schnepf et al. 2014; Sabaka et al. 2015). Thus, the abiotic conditions lead to an extreme environment where diatoms were living. In such environment, only species with ecological preferences in adequation with the properties of the water could be encountered. Species richness in 2017 and 2019 was 11 and reached 26 in 2020. The estimated richness varies greatly depending on the

spring. In Lai et al. (2019a), the species richness of mineral springs sampled in Auvergne and Sardinia varied between 2 and 14. Also in Beauger et al. (2020), 17 springs of the Auvergne region were sampled with a richness ranging between 2 and 21 (mean: 9). Lai et al. (2019c) sampled several Mediterranean karst springs, the richest spring was Sa Vena Manna-Sedini with 26 species detected while the mean of richness of the 8 springs sampled was 8. When Cantonati et al. (2012) collected diatoms in 110 springs of the Alps during summer, species richness ranged between 3 and 36 (mean: 13). These observations suggest that diatoms richness is high during 2020 in the mineral spring of the Poix. Shannon diversity was higher in 2020 and 2017 when evenness was higher also.

Diatom species richness is about twice as high in 2020 as in 2017 and 2019. The first hypothesis made to explain these

observations is that it is a seasonal effect, as species richness is classically higher in the warmer seasons (Lavoie et al. 2003). Indeed, in 2020 diatoms were sampled in spring whereas in 2017 and 2019 they were sampled in winter and autumn respectively. The second hypothesis is that the stress conditions in the spring have decreased because the conductivity in the spring has decreased from 123,200 to 53,300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. However, in 2019, a decrease in conductivity did not lead to an increase in species richness.

The community was mainly dominated by different species of *Navicula* such as *N. cincta*, *N. gregaria*, *N. meulemansii*, *N. salinarum*, *N. salinicola* and *N. veneta* and also by different species of *Nitzschia* such as *N. inconspicua*, *N. aff. lacuum*, *N. pusilla*, *Nitzschia cf. epithemioides* and *Nitzschia aff. liebethuthii*. Moreover, *Crenotia thermalis* in 2020 and *Pinnularia jocolata* at the three campaigns, were also well represented in the diatom community.

The physical and chemical conditions encountered by diatoms in this spring induced the presence of several halophilous to brackish species such as *Crenotia thermalis* and the cosmopolitan *Navicula salinarum*, *N. salinicola* and *N. veneta* (Van Dam et al. 1994; Lange-Bertalot 2001). Indeed, the synthetic ecological spectra highlighted the dominance of species that prefer high concentrations of dissolved salts. *Crenotia thermalis* occurred in electrolyte-rich inland habitats, particularly thermal and mineral springs (Wojtal 2013; Lange-Bertalot et al. 2017). *Navicula salinarum* was abundant on the coasts, in inland brackish waters, including inland brackish lakes where salts are supplied mainly by rocks and soil weathering (athalassic ecosystems) such as in Slovenia, where it occurred in the only brackish lake (Krivograd Klemenčič et al. 2006). Even if this taxon is not classically encountered in springs, it was observed in some salt springs in Poland (Lange-Bertalot 2001; Wojtal 2013; Żelazna-Wieczorek et al. 2015). In athalassic habitats in Poland, *N. salinarum* was observed associated with *N. veneta* and *N. meulemansii* (Żelazna-Wieczorek et al. 2015). *Navicula veneta* is common in electrolyte rich to brackish waters (Lange-Bertalot 2001). In Poland, it was observed in the sulphide spring of slightly alkaline water of high specific conductivity but very low dissolved oxygen (Wojtal 2013). Moreover, *N. meulemansii* has a wide geographical distribution in coastal brackish waters (The Netherlands and Germany), European estuaries (Portugal), and the San Francisco Bay (U.S.A.) (Mertens et al. 2014). Indeed, it has been identified in samples collected from intertidal sediments from the Jadebusen near Dangast (Witkowski et al. 2004), the Tagus estuary (Ribeiro 2010), the San Francisco Bay area, and from inland brackish waters in the Netherlands (Mertens et al. 2014).

Among the other dominant species, *N. salinicola* was collected along the coast in brackish waters, in river estuaries, in inland salt springs and in freshwaters with a high electrolyte content (Targett et al. 1983; Lange-Bertalot 2001; Guiry & Guiry 2022). *Navicula gregaria* was also observed at the Poix spring (Fig. 4d). It is a species that was found on coasts and inland salt springs of different countries (Lange-Bertalot 2001; Owen et al. 2008; Żelazna-Wieczorek et al. 2015; Leira et al. 2017; Angel et al. 2018; Lai et al. 2019a, 2019b).

Navicula cincta was also present in the samples. It is considered

as oligohalobous in Van Dam et al. (1994) whereas this species lives in electrolyte rich to brackish waters (Lange-Bertalot 2001). *Navicula cincta* was observed in athalassic habitats in Poland and also in mineral springs of a very high specific conductivity, in thermo-mineral springs in Sardinia and in Slovenia (Krivograd Klemenčič et al. 2006; Wojtal 2013; Żelazna-Wieczorek et al. 2015; Lai et al. 2019a, 2019b).

Nitzschia pusilla was observed in brackish waters (Krammer & Lange-Bertalot 1997b), saline ponds (Trobajo et al. 2011), a hypersaline coastal lagoon (Sylvestre et al. 2001), and a saline lake (Taukulis & John 2006).

At last, some taxa living in a wide amplitude of ecological conditions were present at the Poix spring, such as *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, *P. lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot and *Nitzschia inconspicua* (Lange-Bertalot et al. 2017) (Fig. 3c) that is also known to extend into brackish waters (Kelly et al. 2015). *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow that lives in prolongedly dry and only temporarily wetted (aerial) biotopes, such as soils and rock crevices, underlined that the level of water was low at this site (Lange-Bertalot et al. 2017). *Muelleria terrestris* was observed in soils (Petersen 1915; Spaulding et al. 1999; Foets et al. 2021), and on wet mosses in an intermittent spring of a village in Macedonia (Levkov et al. 2019). *Muelleria terrestris* was also present in a petrifying *Cratoneurion* spring in Belgium (Denys & Oosterlynck 2015). *Pinnularia jocolata* was described in freshwater (Bourrelly & Manguin 1952; Krammer 2000) and was also observed in mineral springs (Quintela et al. 2013; Lai et al. 2019b).

Eight species *Humidophila contenta* (Grunow) R.L.Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová, *Navicula cincta*, *N. gregaria*, *N. meulemansii*, *N. salinarum*, *N. veneta*, *Nitzschia aff. liebethuthii*, and *Pinnularia jocolata* were present during the three periods of sampling. These species seem to have great capacity to maintain in extreme environments with high fluctuations of conductivity and ion concentrations suggesting the presence of high salinity tolerance mechanisms named osmoregulation. These mechanisms allow cells to compensate osmotic and ionic stress.

Furthermore, the presence of the eight species and the majority of brackish species in the Poix spring as an isolated environment is remarkable and allows the emergence of a question on the origin of these species. This question was already addressed in the literature. Since 1940s, Remane proposed the idea that brackish species are freshwater or marine species adapted to brackish conditions or descendants of these two categories of species (Remane 1940). He also suggested that there are identifiable brackish assemblages (Cognetti & Maltagliati 2000; Potapova 2011). In contrast, Barnes (1989) suggested the inexistence of specific brackish assemblages but the presence of some populations of thalassogenous species in brackish environments (Cognetti & Maltagliati 2000). Each argument has its value depending on the environment studied. To go further, Round & Sims (1981) support the marine origin of diatoms and the colonisation of freshwaters by some lineages because of the high number of fossils and genera of marine diatoms found

in the early Pliocene (Sims et al. 2006). The reconstruction of phylogeny of Thalassiosirales by Alverson et al. (2007) revealed more complicated schema and no unidirectional colonization. Indeed, in their study three lineages of Thalassiosirales seems to have colonized freshwater habitats independently. Another interesting result of this study is that there were at least three recolonizations of marine habitats by these lineages that led to speciation events resulting in the presence of these lineages in marine and freshwater habitats. The genus *Navicula* sensu stricto and *Nitzschia* found in the Poix spring are among the species of raphid diatoms that are found in marine and freshwater environments which agrees with Barnes propositions (Barnes 1989).

Thus, to explain the ability of some diatom taxa to live in high salinity concentration and fluctuation environments, Potapova (2011) made the hypothesis of the innate ability of diatoms to adapt to changing salinity or high salinity and the better conservation of this ability by some lineages. Indeed, ocean salinity was not modelled as stable (Hay et al. 2006), a great decrease of salinity was estimated during the Mesozoic because of the younger basin after the Pangée breaking. But it seems to have several other decreasing salinity events in the past that suggests that diatoms and other micro-organisms were confronted to several fluctuations of salinity in their evolution.

Conclusion

The studied of the Poix spring is known to be bitumen and associated with salt water, methane and traces of hydrogen sulphide. This environment with a conductivity higher than the ocean could be considered as extreme for diatom species. Moreover, this spring, as others, could be also considered as isolated aquatic ecosystem in the landscape whose conditions have certainly changed very little over the past millennia. The Poix spring showed a relatively high species richness with 31 taxa observed during the three sampling campaigns. The diatom community was mainly dominated by different *Navicula* and *Nitzschia* species. The species are mainly halophilous to brackish such as *Crenotia thermalis*, *Navicula meulemansii*, *N. salinarum*, *N. salinicola* and *N. veneta* observed for some of them in coastal brackish environments or estuaries. Because of their living environment, these species maintain high ability of adaptation of high salinity concentrations and fluctuations which could be the result of well conserved ability of ionic and osmotic stress resistance. This inland brackish environment is a geological and also ecological particularity of the French Massif central. For these arguments, this type of environment needs to be preserved.

Acknowledgements

This study was funded by a grant from the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS, NEEDS, project Acronym: DISCOVER). Funding for this research was also partly provided by Clermont Auvergne Métropole and in the framework of the DIATOMS project (LIST - Luxembourg Institute of Science and Technology). We thank the Conservatoire des espaces naturels d'Auvergne, which manages the spring.

References

- Alverson A.J., Jansen R.K. & Theriot E.C., 2007. Bridging the Rubicon: Phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **45**(1): 193-210. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024>
- Angel A., Vila I., Díaz C., Molina X. & Sepúlveda P., 2018. Geothermal diatoms: seasonal variability in the El Tatio geothermal field (Altiplano, Chile). *Advances in Microbiology*, **8**(3): 211-234. <https://doi.org/10.4236/aim.2018.83015>
- Angeli N., Cantonati M., Spitale D. & Lange-Bertalot H., 2010. A comparison between diatom assemblages in two groups of carbonate, low-altitude springs with different levels of anthropogenic disturbances. *Fottea*, **10**(1): 115-128. <https://doi.org/10.5507/fot.2010.006>
- Barnes R.S.K., 1989. What, if anything, is a brackish-water fauna? *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* **80**(3-4): Environments and Physiology of Fossil Organisms: 235-240. <https://doi.org/10.1017/S0263593300028674>
- Beauger A., Voldoire O., Mertens A., Le Cohu R. & Van de Vijver B., 2015. Two new *Navicula* species (Bacillariophyceae) from Western Europe. *Phytotaxa*, **230**(2): 172-182. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.230.2.4>
- Beauger A., Wetzel C.E., Voldoire O., Garreau A. & Ector L., 2016. *Sellaphora labernardierei* (Sellaphoraceae, Bacillariophyta), a new epilithic species from French spring and four new combinations within the genus *Sellaphora*. *Phytotaxa*, **260**(3): 235-246. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.260.3.3>
- Beauger A., Wetzel C.E., Voldoire O., Garreau A. & Ector L., 2017. Morphology and ecology of *Craticula lecohui* sp. nov. (Bacillariophyceae) from hydrothermal springs (Puy-de-Dôme, Massif Central, France) and comparison with similar *Craticula* species. *Nova Hedwigia, Beiheft*, **146**: 7-22. <https://doi.org/10.1127/1438-9134/2017/007>
- Beauger A., Wetzel C.E., Voldoire O. & Ector L., 2019. *Pseudostaurosira bardii* (Fragilariaceae, Bacillariophyta), a new species from a saline hydrothermal spring of the Massif Central (France). *Botany Letters*, **166**(1): 3-13. <https://doi.org/10.1080/23818107.2018.1460278>
- Beauger A., Voldoire O., Carlos W., Allain E., Millan F., Breton V., Kolovi S. & Ector L., 2020. Biodiversity and ecology of diatoms in mineral springs of the area of Sainte Marguerite (Saint-Maurice-ès-Allier, Massif central, France). *BIOM*, **1**(1): 21-34. <https://dx.doi.org/10.18145/biom.v1i1.250>
- Bourrelly P. & Manguin E., 1952. *Algues d'eau douce de la Guadeloupe et dépendances*. Centre National de la Recherche Scientifique, Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris, 281: 1952 p.
- Cantonati M., Angeli N., Bertuzzi E., Spitale D. & Lange-Bertalot H., 2012. Diatoms in springs of the Alps: spring types, environmental determinants, and substratum. *Freshwater science*, **31**(2): 499-524. <https://doi.org/10.1899/11-065.1>
- Cognetti G. & Maltagliati F., 2000. Biodiversity and adaptive mechanisms in brackish water fauna. *Marine Pollution Bulletin*, **40**(1): 7-14. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00173-3](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00173-3)
- Denys L. & Oosterlynck P., 2015. Diatom assemblages of non-living substrates in petrifying *Cratoneurion* springs from lower Belgium. *Fottea*, **15**(2): 123-138. <http://dx.doi.org/10.5507/fot.2015.006>

- p. fot.2015.014
- Foets J., Stanek-Tarkowska J., Teuling A.J., Van de Vijver B., Wetzel C.E. & Pfister L., 2021. Autecology of terrestrial diatoms under anthropic disturbance and across climate zones. *Ecological Indicators*, **122**: 107-248. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107248>
- Gonnard F., 1906. Sur le quartz du calcaire bitumineux de la Limagne. *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, **29**(7): 362-365. <https://doi.org/10.3406/bulmi.1906.2792>
- Guiry M.D. & Guiry G.M., 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 2 February 2022.
- Hay W.W., Migdisov A., Balukhovskiy A.N., Wold C.N., Flögel S. & Söding E., 2006. Evaporites and the salinity of the ocean during the Phanerozoic: Implications for climate, ocean circulation and life. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **240**(1-2): 3-46. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.03.044>
- Kelly M.G., Trobajo R., Rovira L. & Mann D.G., 2015. Characterizing the niches of two very similar *Nitzschia* species and implications for ecological assessment. *Diatom Research*, **30**(1): 27-33. <http://doi.org/10.1080/0269249X.2014.951398>
- Krammer K., 2000. *The genus Pinnularia. Diatoms of Europe* 1, A.R.G. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Königstein: 1-703.
- Krammer K., 2002. *Cymbella. Diatoms of Europe* 3, A.R.G. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Königstein: 1-584.
- Krammer K., 2003. *Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella. Diatoms of Europe* 4, A.R.G. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Königstein: 1-530.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1997a. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2**(1), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 876 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1997b. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2**(2), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 611 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2000a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2**(3), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 576 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2000b. Bacillariophyceae. 5. Teil: English and French translation of the keys. In: Büdel B., Gärtner G., Krienitz L. & Lokhorst G.M. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2**(5), Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 599 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2004. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2**(4), Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2th ed., 468 p.
- Krivograd Klemenčič A., Vrhovšek D. & Smolar-Žvanut N., 2006. Contribution on the algal flora of Slovenia, with emphasis on newly recorded algal taxa. *Acta Musei Nationalis Pragae, Series B, Historia Naturalis* **62**, (1-2): 71-80.
- Lai G.G., Padedda B.M., Wetzel C.E., Lugliè A., Sechi N. & Ector L., 2016. Epilithic diatom assemblages and environmental quality of the Su Gologone karst spring (central-eastern Sardinia, Italy). *Acta Botanica Croatica*, **75**(1): 129-143. <https://doi.org/10.1515/botcro-2016-0008>
- Lai G.G., Beauger A., Wetzel C.E., Padedda B.M., Voldoire O., Lugliè A., Allain E. & Ector L., 2019a. Diversity, ecology and distribution of benthic diatoms in thermo-mineral springs in Auvergne (France) and Sardinia (Italy). *PeerJ*, **7**: e7238. <https://doi.org/10.7717/peerj.7238>
- Lai G.G., Padedda B.M., Wetzel C.E., Cantonati M., Sechi N., Lugliè A. & Ector L., 2019b. Diatom assemblages from different substrates of the Casteldoria thermo-mineral spring (Northern Sardinia, Italy). *Botany Letters*, **166**(1): 14-31. <https://doi.org/10.1080/23818107.2018.1466726>
- Lai G.G., Padedda B.M., Ector L., Wetzel C.E., Lugliè A., Cantonati M., 2019c. Mediterranean karst springs: Diatom biodiversity hotspots under the pressure of hydrological fluctuations and nutrient enrichment, *Plant Biosystems*, **154**(5): 673-684. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1674402>
- Lange-Bertalot H., 2001. *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato* *Frustulia. Diatoms of Europe* 2, A.R.G. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Königstein: 1-526.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M. & Cantonati M., 2017. *Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessments. English edition with updated taxonomy and added species*. Koeltz Botanical Books, Schmitt-Oberreifenberg, 942 p.
- Lavoie I., Vincent W.F., Pienitz R. & Painchaud J., 2003. Dynamique temporelle des algues périphytiques dans une rivière influencée par les activités agricoles. *Revue des sciences de l'eau*, **16**: 55-77. <https://doi.org/10.7202/705498ar>
- Lecointe C., Coste M. & Prygiel J., 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, **269**: 509-513. <https://doi.org/10.1007/BF00028048>
- Lecoq H., 1864. *Les eaux minérales du massif central de la France, considérées dans leurs rapports avec la chimie et la géologie*. J. Rothschild, Paris, 256 p.
- Legrand R., 2019. *Note synthétique de gestion. Puy de la Poix (Clermont-Ferrand). Bilan des enjeux, objectifs et actions*. Conservatoire d'espaces naturels. CEN Auvergne, Riom, 16 p.
- Leira M., Meijide-Failde R. & Torres E., 2017. Diatom communities in thermo-mineral springs of Galicia (NW Spain). *Diatom Research*, **32**(1): 29-42. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1286266>
- Levkov Z., Mitić-Kopanjan D. & Reichardt E., 2016. The diatom genus *Gomphonema* from the Republic of Macedonia. *Diatom of Europe* **8**: 1-552.
- Levkov Z., Vidaković D., Cvetkoska A., Mitić-Kopanjan D., Krstić S., Van de Vijver B. & Hamilton P.B., 2019. Observations of the genus *Muelleria* (Bacillariophyceae) from the Republic of North Macedonia. *Plant Ecology and Evolution*, **152**(2): 293-312. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1611>
- Mertens A., Witkowski A., Lange-Bertalot H., Ribeiro L. & Rhiel E., 2014. *Navicula meulemansii* sp. nov., (Bacillariophyceae) from brackish waters in Europe and the U.S.A. *Nova Hedwigia*, **98**(1-2): 201-212. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2013/0152>
- Michard G., 1990. Behaviour of major elements and some trace elements (Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, W, F) in deep hot waters from granitic areas. *Chemical Geology*, **89**(1-2): 117-134. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90062-C](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90062-C)
- Nivet V., 1846. Suite du dictionnaire des eaux minérales du

- département du Puy-de-Dôme. *Annales scientifiques, littéraires et industrielles de l'Auvergne*, **19**: 17-208.
- Oksanen J., Simpson G.L., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchin P.R., O'Hara R.B., Solymos P., Stevens M. H. H., Szoecs E., Wagner H., Barbour M., Bedward M., Bolker B., Borcard D., Carvalho G., Chirico M., De Caceres M., Durand S., Antoniazzi Evangelista H. B., FitzJohn R., Friendly M., Furneaux B., Hannigan G., O. Hill M., Lahti L., McGlinn D., Ouellette M.-H., Ribeiro Cunha E., Smith T., Stier A., Ter Braak C. J.F. & Weedon J., 2022. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- O'Leary J.W. & Glenn E.P., 1994. Global distribution and potential for halophytes. In: Squires V.R. & Ayoub A.T. (eds.), *Halophytes as resource for livestock and rehabilitation of degraded lands. Tasks for Vegetation Science*, **32**: 7-17. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0818-8_2
- Owen R.B., Renaut R.W. & Jones B., 2008. Geothermal diatoms: a comparative study of floras in hot spring systems of Iceland, New Zealand, and Kenya. *Hydrobiologia*, **610**: 175-192. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9432-y>
- Petersen J.B., 1915. Studier over danske aërofile alger. *Det Kongelige Danske videnskabernes selskabs skrifter. Naturvidenskabelig og matematisk afdeling*, ser. 7, **12**: 272-379, 4 pls.
- Piernik A., 2012. *Ecological pattern of inland salt marsh vegetation in central Europe*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 229 p.
- Poljakoff-Mayber A. & Gale J. (eds.), 1975. *Plants in saline environments. Ecological Studies*, **15**. Springer, Berlin, Heidelberg, 219 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-80929-3>
- Potapova M., 2011. Patterns of diatom distribution in relation to salinity. In: Seckbach J. & Kociolek P. (eds), *The Diatom World. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, **19**: 313-332. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1327-7_14
- Prygiel J. & Coste M., 2000. *Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'indice Biologique Diatomées NF T 90-354*. Etude Agences de l'Eau-Cemagref Bordeaux, mars 2000. Douai: Agences de l'Eau; 134 p. + clés de détermination (90 planches couleurs) + cdrom bilingue français-anglais (Tax'IBD).
- Quintela A., Almeida S., Terroso D., Ferreira da Silva E., Forjaz V. & Rocha F., 2013. Diatom assemblages of thermal and mineral waters from volcanic environments in São Miguel Island, Azores. *Diatom Research*, **28**(4): 407-417. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2013.822833>
- Rakowska B., 1997. Diatom communities in a salt spring at Pełczyska (Central Poland). *Biologia*, **52**(4): 489-493.
- Reimold R.J. & Queen W.H. (eds), 1974. *Ecology of halophytes*. Academic Press, INC, New York-London, 607 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-586450-3.X5001-X>
- Remane A., 1940. Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. In: Grimpe G. & Wagler E. (eds.), *Die Tierwelt der Nord- und Ostsee*. vol. 1 (1a). Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig, 238 p.
- Ribeiro L., 2010. *Intertidal benthic diatoms of the Tagus estuary: Taxonomic composition and spatial-temporal variation*. PhD Thesis, Universidade de Lisboa, 311 p.
- Round F.E. & Sims P.A., 1981. The distribution of diatom genera in marine and freshwater environments and some evolutionary considerations. In: Ross, R. (ed.), *Proceedings of the Sixth Symposium on Recent and Fossil Diatoms*. Budapest, September 1-5, 1980. *Taxonomy Morphology Ecology Biology*. Otto Koeltz, Koenigstein, 301-320.
- Sabaka T.J., Olsen N., Tyler R.H. & Kuvshinov A., 2015. CM5, a pre-Swarm comprehensive geomagnetic field model derived from over 12 yr of CHAMP, Ørsted, SAC-C and observatory data. *Geophysical Journal International*, **200**(3): 1596-1626. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu493>
- Sabater S. & Roca J.R., 1992. Ecological and biogeographical aspects of diatom distribution in Pyrenean springs. *British Phycological Journal*, **27**(2): 203-213. <https://doi.org/10.1080/00071619200650201>
- Schnepf N.R., Manoj C., Kuvshinov A., Toh H. & Maus S., 2014. Tidal signals in ocean-bottom magnetic measurements of the Northwestern Pacific: observation versus prediction. *Geophysical Journal International*, **198**(2): 1096-1110. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu190>
- Shevah Y., 2014. 1.4 - Adaptation to Water Scarcity and Regional Cooperation in the Middle East. In: *Comprehensive Water Quality and Purification 1*, Satinder Ahuja, Elsevier, 40-70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00004-9>.
- Sims P.A., Mann D.G. & Medlin L.K., 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, **45**(4): 361-402. <https://doi.org/10.2216/05-22.1>
- Spaulding S.A. & Stoermer E.F., 1997. Taxonomy and distribution of the genus *Muelleria* Frenguelli. *Diatom Research*, **12**(1): 95-113 <https://doi.org/10.1080/0269249X.1997.9705405>
- Spaulding S.A., Kociolek J.P. & Wong D., 1999. A taxonomic and systematic revision of the genus *Muelleria* (Bacillariophyta). *Phycologia*, **38**(4): 314-341. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-4-314.1>
- Sylvestre F., Beck-Eichler B., Duleba W. & Debenay J.-P., 2001. Modern benthic diatom distribution in a hypersaline coastal lagoon: the Lagoa de Araruama (R.J.), Brazil. *Hydrobiologia*, **443**: 213-231. <https://doi.org/10.1023/A:1017558914971>
- Targett N.M., Bishop S.S., McConnell O.J. & Yoder J.A., 1983. Antifouling agents against the benthic marine diatom, *Navicula salinicola* Homarine from the gorgonians *Leptogorgia virgulata* and *L. setacea* and analogs. *Journal of Chemical Ecology*, **9**(7): 817-829. <https://doi.org/10.1007/BF00987807>
- Taukulis F.E. & John J., 2006. Diatoms as ecological indicators in lakes and streams of varying salinity from the wheatbelt region of Western Australia. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, **89**(1): 17-25.
- Thomas P., 2008. Source et ruisseau d'hydrocarbures, Puy de la Poix, Limagne de Clermont-Ferrand (Puy de Dôme). <https://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmg220-2008-01-07.xml>
- Trobajo R., Rovira L., Mann D.G. & Cox E.J., 2011. Effects of salinity on growth and on valve morphology of five estuarine diatoms. *Phycological Research* **59**(2): 83-90. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1835.2010.00603.x>
- Truchot P., 1878. *Dictionnaire des eaux minérales du département du Puy-de-Dôme*. Delahaye A., Paris, 320 p.
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **28**: 117-133. <https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Waisel Y., 1972. *The Biology of Halophytes*. Academic Press, New York and London, 395 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-730850-0.X5001-6>

- Werum M. & Lange-Bertalot H., 2004. Diatoms in springs from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. *Iconographia Diatomologica*, **13**: 1-417.
- Wetzel C.E., Ector L., Van de Vijver B., Compère P. & Mann D.G., 2015. Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). *Fottea*, **15**(2): 203-234. <https://doi.org/10.5507/fot.2015.020>
- Witkowski A., Pilzen M., Kort R., Rhiel E., Wawrzyniak-Wydrowska B., Lange-Bertalot H., Bak M. & Daniszewska G., 2004. Investigations on the seasonal succession of Wadden Sea inhabiting diatoms at Dangast (North Sea, German Bight) over a one year period. *Vie et Milieu*, **54**(2-3): 181-189.
- Wojtal A.Z., 2013. Species composition and distribution of diatom assemblages in spring waters from various geological formations in southern Poland. *Bibliotheca Diatomologica*, **59**: 1-436.
- Żelazna-Wieczorek J., 2011. Diatom flora in springs of Łódź Hills (Central Poland). Biodiversity, taxonomy, and temporal changes of epipsammic diatom assemblages in springs affected by human impact. *Diatom Monographs*, **13**: 1-419.
- Żelazna-Wieczorek J., Olszyński R.M. & Nowicka-Krawczyk P., 2015. Half a century of research on diatoms in athalassic habitats in central Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, **44**(1): 51-67. <https://doi.org/10.1515/ohs-2015-0006>

Les Diptères comme outil d'évaluation de l'état du corridor rivulaire : études préliminaires effectuées dans le Massif central, en Bretagne et dans les Pyrénées

Frédéric Labat

41, rue des frères Lumière 63100 Clermont-Ferrand ; frederic.labat@aquabio-conseil.com

Soumis le 9 mars 2022

Accepté le 28 juin 2022

Publié le 12 octobre 2022

Résumé

Les corridors rivulaires sont les habitats les plus diversifiés et complexes du globe, sièges de nombreux processus indispensables au maintien de la qualité de l'eau et de la biodiversité. Les Diptères, second plus vaste groupe d'espèces d'insectes dans le monde, possèdent des exigences écologiques susceptibles d'exprimer la complexité des habitats rivulaires et des échanges hydriques de subsurface. De plus, il s'agit du groupe le plus abondant et le plus diversifié de nos corridors rivulaires. Ils occupent donc un rôle majeur dans les réseaux trophiques des cours d'eau et des écosystèmes terrestres riverains. Une méthode rapide d'échantillonnage des imagos de Diptères rivulaires ou aquatiques a été appliquée sur onze stations dont cinq du Massif central, tandis que la qualité de leur corridor rivulaire a été caractérisée à partir de l'indice IBCR. Les relations entre communautés de Diptères et caractéristiques du corridor rivulaire ont été analysées. Pour cela, une approche taxonomique traditionnelle et une approche fonctionnelle basée sur les traits bio-écologiques de leurs larves (alimentation et affinité à l'eau) ont été utilisées. 252 taxons de Diptères, dont sept espèces citées pour la première fois en France ont été identifiés. Le climat, l'état de conservation et la diversité des écoulements des cours d'eau du Puy-de-Dôme semblent particulièrement favorables aux communautés de Diptères rivulaires. Nos résultats indiquent qu'un corridor rivulaire plus ancien, plus large et disposant d'une dynamique fluviale favorisant une mosaïque complexe d'habitats accueille une plus grande diversité d'espèces et de modes alimentaires et d'affinités à l'eau des larves. De plus, l'échantillonnage des Diptères donne des indications sur la capacité d'accueil des habitats hygropétriques et intertidaux, permettant de mieux valoriser les travaux de restauration hydromorphologique.

Abstract

Riparian corridors are the most diverse and complex habitats in the world, the site of many processes essential to maintaining water quality and biodiversity. Diptera, the second largest group of insect species in the world, have ecological requirements that can express the complexity of riverine habitats and subsurface water exchanges. Moreover, they are the most abundant and diverse group in our river corridors. They therefore occupy a major role in the food webs of rivers and riparian terrestrial ecosystems. A rapid sampling method of riverine or aquatic Diptera imagos was applied on 11 stations, including 5 in the Massif central, while the quality of their river corridor was characterised using the IBCR index. The relationships between dipteran communities and riparian corridor characteristics were analyzed. For this, I used a traditional taxonomic approach and a functional approach based on the ecological traits of their larvae (feeding and water affinity). 252 dipteran taxa, including seven dipteran species cited for the first time in France, were identified. The climate, the state of conservation and the flow diversity of the streams in the Puy-de-Dôme seem to be particularly favourable for the communities of riverine Diptera. Our results indicate that an older, wider river corridor with river dynamics favoring a complex mosaic of habitats hosts a greater diversity of species and larval feeding modes and water affinities. In addition, the sampling of dipterans gives indications on the carrying capacity of marginal habitats, making it possible to better valorize hydromorphological restorations.

Mots-clés

Ripisylve
Traits fonctionnels
Ruisseaux
Limoniidae
Empidoidea
Mycetophilidae

Keywords

Riparian
Functional traits
Streams
Limoniidae
Empidoidea
Mycetophilidae

Introduction

Les corridors rivulaires, à l'interface des écosystèmes aquatiques et terrestres, sont les habitats les plus diversifiés, dynamiques et complexes du globe (Naiman *et al.* 1993). Ils sont influencés par l'eau douce, qui peut s'étendre naturellement du bord des cours d'eau jusqu'à la limite du lit majeur. Ils remplissent de nombreux services écosystémiques tels que filtrer les polluants des cours d'eau, séquestrer le carbone, contrôler les phénomènes d'érosion, réguler les inondations, et servir de zone refuge, d'alimentation et de nurserie pour de nombreux êtres vivants (Riis *et al.* 2020).

La dynamique fluviale joue un rôle majeur dans le maintien d'une diversité d'habitats lenticques, lotiques et semi-aquatiques (Ward *et al.* 1999). L'eau du cours d'eau s'échange ainsi continuellement avec les eaux interstitielles du lit et les sédiments de la berge dans une mosaïque de patches d'échanges de subsurface (Naiman *et al.* 2005). Cette mosaïque constitue un habitat souvent invisible mais fondamental dans les réseaux trophiques. Siège de processus biogéochimiques assurant le recyclage des nutriments (Naiman *et al.* 2005), c'est également un habitat privilégié pour les Diptères.

En effet, les Diptères ont développé des stratégies qui leur permettent d'occuper presque tous les microhabitats des hydrosystèmes, en testant les limites de la définition d'« aquatique ». La majorité des larves occupent ainsi une série presque continue de milieux humides, allant de ceux immergés, strictement aquatiques, aux substrats humides (Adler & Courtney 2019). Ils peuvent constituer la biomasse la plus importante (Thomas 1969) et le groupe le plus diversifié (Wagner *et al.* 2008) de nos hydrosystèmes.

Les Diptères pourraient donc être de bons indicateurs pour évaluer la qualité des échanges (hydriques et biologiques) du cours d'eau avec son lit majeur, mais également la qualité de sa ripisylve. Les Diptères ont d'ailleurs permis de mettre en évidence un gradient hydrique et de minéralisation dans des tourbières en Auvergne (Brunhes & Villepoux 1990 ; Brunhes & Dufour 1992), et dans des sources marécageuses (Omelková *et al.* 2013). Dans les hydrosystèmes, la présence ou l'absence d'une canopée influence très fortement les communautés de Diptères (Ivković *et al.* 2015). Ainsi, les Diptères rivulaires comme les Dolichopodidae ou les Empididae requièrent à la fois des gîtes larvaires humides et un corridor rivulaire hétérogène (Plant 2004 ; Vilks 2007).

Enfin, en raison de leur extraordinaire abondance, les Diptères sont des contributeurs majeurs des échanges de flux de matières et d'énergie au sein des méta-écosystèmes (Gounand *et al.* 2018), car ils servent de ressource alimentaire pour les poissons (Burbank *et al.* 2022) et de nombreux prédateurs terrestres comme les araignées, les oiseaux (Jackson *et al.* 2021) et les chauves-souris (Vaughan *et al.* 1997). Ils fournissent des acides gras rares dans les écosystèmes terrestres (Mathieu-Resuge 2022), notamment aux périodes froides, pendant lesquelles les écosystèmes terrestres fournissent peu de ressources alimentaires (Iwata *et al.* 2010).

Afin de vérifier que les Diptères sont de bons candidats pour évaluer l'état du corridor rivulaire, une méthode d'échantillonnage rapide, basée sur le fauchage de la végétation et la capture à vue a été appliquée sur 5 petits cours d'eau du Massif central avec des

contextes et des fonctionnements hydrologiques très différents, qui vont du cours d'eau de « référence » dans les contreforts du massif du Sancy au cours d'eau rectifié périurbain dans l'agglomération Clermontoise, en passant par un petit cours d'eau temporaire ardéchois. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus sur 3 stations échantillonnées dans le Massif armoricain, aux ripisylves plus récentes, et deux stations des Pyrénées-Orientales, à influence méditerranéenne.

Les listes faunistiques obtenues ont été analysées en utilisant une approche fonctionnelle basée sur les traits bio-écologiques, largement utilisée en écologie (Martini *et al.* 2021). Cette approche permet d'identifier des mécanismes écologiques généraux malgré des différences de communautés observées entre régions biogéographiques ou écosystèmes (Violle *et al.* 2014) et limite les effets de la stochasticité de l'occurrence des espèces (Céréghino *et al.* 2011). L'utilisation des traits peut également permettre de s'affranchir de la variabilité temporelle (Statzner *et al.* 2005), les émergences d'imagos étant soumises à une forte saisonnalité (Brunhes & Dufour 1992 ; Hagen & Sabo 2014), et l'activité de vol des insectes dépendant de la température de l'air, de l'humidité relative, de la vitesse du vent ou encore de la pression atmosphérique (Vebrová *et al.* 2018).

Deux traits bio-écologiques ont été considérés : l'affinité à l'eau des larves, et le régime alimentaire larvaire. Ces traits peuvent traduire respectivement la complexité des gradients hydriques et la diversité des sources alimentaires du corridor rivulaire.

Les hypothèses de travail étaient alors les suivantes : (1) une plus grande richesse faunistique devrait être observée sur les cours d'eau aux corridors rivulaires humides, larges et anciens, (2) une plus grande richesse d'affinités à l'eau des larves devrait être observée dans les cours d'eau hydromorphologiquement préservés, et (3) une plus forte proportion de larves xylophages, opophages et mycétophages est attendue dans les corridors rivulaires anciens avec des bois suintants ou morts favorables au développement de ces espèces. Par conséquent, (4) les cours d'eau du Puy-de-Dôme que nous avons échantillonnés devraient être plus accueillants pour les Diptères que ceux des Pyrénées-Orientales et d'Ardèche cévenole, au climat plus sec, et que ceux de Bretagne, aux ripisylves plus récentes.

Matériel et méthodes

Description des sites étudiés et caractérisation de leur corridor rivulaire

Tous les sites sont situés sur des petits cours d'eau, de 7 m au plus de largeur plein bord. La localisation des stations est indiquée figure 1. L'aspect général des stations est illustré figure 2.

La capacité d'accueil du corridor rivulaire a été qualifiée à partir de l'indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR, Janssen *et al.* 2021). Cet indice est calculé à partir de scores attribués pour chaque rive à des descripteurs relevés sur 500 m de linéaire, liés au peuplement sylvoicole et à sa gestion (nature du peuplement ligneux, présence de bois morts, de dendromicrohabitats...), au contexte (continuité temporelle de l'état boisé, présence de milieux aquatiques ou minéraux

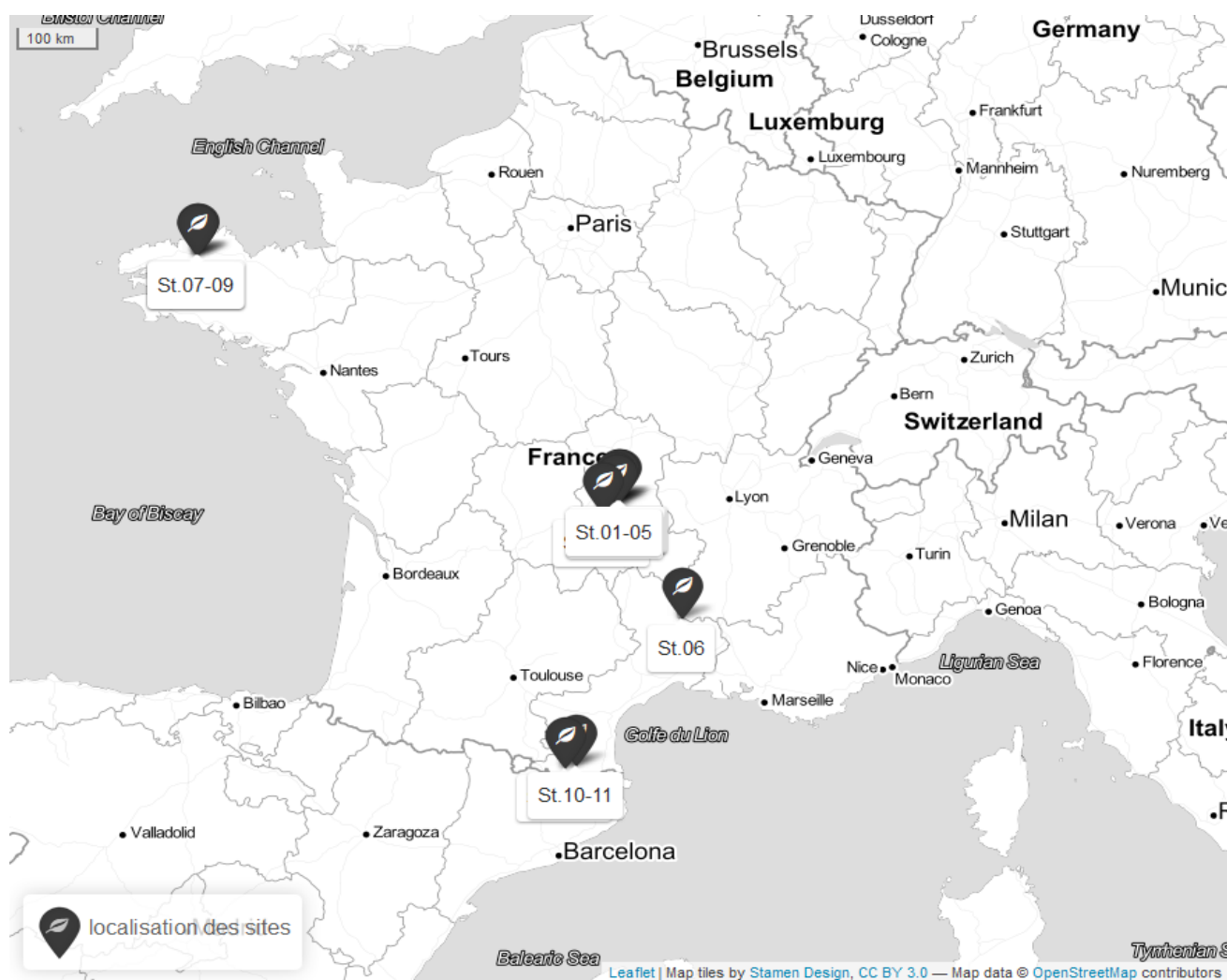


Figure 1 – Localisation des 11 sites. St. 01-05 = Croix Morand amont D983, Rau de Saint-Genès amont Redon bas, Artière au bassin de Beaumont, Artière restaurée à Aubière, Auzon au chaos de Flore. St. 06 = Bulidou, St. 07-09 = Yar amont étang, Yar aval étang, Dour Elégo. St. 10-11 : Rivière de St Vincent à la Cascade des Anglais, Carança en amont du petit pont de pierre.

annexes), aux facteurs de perturbation du milieu (espèces végétales exotiques envahissantes, artificialisation, déchets...) et à la connectivité (longitudinale, transversale et paysagère, d'après l'occupation du sol). Plus le score est élevé, plus la qualité de la ripisylve pour le critère ou l'indice est élevée (France Nature Environnement Auvergne Rhône-Alpes 2022). Les Diptères pouvant circuler d'une rive à l'autre et au-dessus du cours d'eau et afin de faciliter les analyses statistiques, un IBCR global a été calculé en attribuant les scores à l'ensemble des deux rives de chaque station. La complexité de la mosaïque d'habitats et des échanges longitudinaux (amont-aval), latéraux (avec le lit majeur) et verticaux (avec la zone hyporhéique) a été résumée à partir de descripteurs hydromorphologiques tels que la pente, la sinuosité, le % de substrat meuble (sables, graviers, limons) et la nature des faciès d'écoulement définis d'après Montgomery & Buffington (1997) et Malavoi & Souchon (2002). En effet, ces descripteurs déterminent (1) les structures rythmiques du lit (méandres, nature et successions des faciès d'écoulement) qui vont favoriser les échanges au sein de l'hydrosystème, ainsi que la variabilité spatio-temporelle des habitats des lits mineur et majeur (Lambis 2004 ; Datry et al. 2008 ; Thorp et al. 2008), ainsi que (2) les contraintes du lit, qui sont susceptibles de limiter ces échanges (plus la pente

sera forte et la granulométrie grossière, plus il est probable que le cours d'eau s'écoule dans un lit majeur contraint aux échanges réduits et aux microhabitats restreints). Enfin, un score d'état écologique a été défini tel que 5 = très bon état, 4 = bon état, 3 = état moyen, 2 = état passable, 1 = mauvais état. Cet état a été évalué pour les stations de Bretagne et l'Artière à partir des résultats obtenus via l'indice biologique global normalisé (IBGN, AFNOR 2004), et sur l'Auzon à partir d'analyses de qualité de l'eau réalisées dans le cadre des suivis de la directive cadre sur l'eau. Les états écologiques ont alors été définis d'après l'Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement 2010 et l'Arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement 2018. Les autres stations, dépourvues de suivi biologique ou chimique, ont été considérées en très bon état en raison de leur bassin versant exclusivement forestier ou à l'activité d'élevage très faible.



Figure 2 – Photographie des sites échantillonnés. A : la Carança (66), B : la Cascade des Anglais (66), C : le Bulidou (07), D : la Croix Morand (63), E : le Rau de Saint Genès (63), F : l'Auzon (63), G : l'Artière au bassin de Beaumont (63), H : l'Artière à Aubière (63), I : le Yar amont (22), J : le Yar aval, et K : le Dour Elégo (22). Ces photographies n'ont pas toutes été prises à la date d'échantillonnage. Crédit photos : F. Labat (A-H), Aquabio (I-K).

Méthode d'échantillonnage et identification taxonomique

Nous avons appliqué une méthode d'échantillonnage rapide, qui a pour avantage de pouvoir être combinée à un protocole d'échantillonnage classique de cours d'eau utilisé pour les suivis de la Directive Cadre sur l'eau ou d'études d'impact. Les Diptères ont été collectés à l'aide d'un filet-fauchaie dont le manche est suffisamment profond pour éviter au maximum les fuites d'insectes. Le linéaire prospecté sur chaque station correspond à environ douze fois la largeur plein bord (l_{pb}) de chaque cours d'eau, afin d'obtenir une image représentative de la zone rivulaire et des 500 mètres de corridor évalués par l'IBCR. En effet, un facteur de 12*l_{pb} permet de prendre en compte 2 successions de faciès radier-mouille et leurs méandres associés. La végétation rivulaire a été battue avec des allers-retours dans la végétation sur les trois premiers mètres qui longent la rive des cours d'eau. Les anfractuosités, branches, troncs, feuilles d'arbres surplombantes ont également été visités. Les Diptères observés en vol au-dessus des cours d'eau ont également été capturés. L'échantillonnage a été arrêté lorsque tous les mésohabitats potentiels ont été prospectés. Notre fauchage s'est donc concentré sur les strates à « hauteur d'homme » (herbacée et arbustive).

Les échantillons ont été conditionnés dans des flacons contenant de l'éthanol et identifiés au laboratoire.

Traitement et analyse des données

Les listes faunistiques ont été résumées pour chaque station à l'aide de trois descripteurs : la richesse taxonomique, l'abondance

totale des Diptères et l'indice de diversité de Shannon H' [1]. Cet indice donne une image synthétique de la richesse et de la distribution des espèces (Leprêtre & Mouillot 1999).

$$H' = -\sum_{(i=1)}^S p_i \log_2 p_i \quad [1]$$

Les affinités de chaque taxon aux modalités de deux traits bio-écologiques ont été définies à l'aide de la bibliographie (Tab. 1 et Tab. 2). Lorsque, pour une espèce, l'information n'était pas disponible, les affinités ont été définies à partir des affinités des espèces du même genre. Nous avons ainsi attribué à chaque taxon identifié une affinité en codage flou, convertie ensuite en fréquence relative (Chevenet *et al.* 1994) pour les modalités de deux traits : l'habitat larvaire, défini selon l'affinité à l'eau, et le régime alimentaire larvaire. La somme des scores d'une espèce pour un trait donné est donc toujours égale à un. Ainsi, la larve de *Melanogaster hirtella* a été considérée comme 50% aquatique (= 0,5), 25% hygropétrique (= 0,25) et 25% intertidale (0,25), soit un total de 100% (= 1). La table de traits a ensuite été pondérée par les abondances observées de chaque taxon (Community Weighted Mean CWM [Garnier *et al.* 2004]), tel que :

$$CWM_j = \sum_{(i=1)}^S P_i \times T_i$$

Avec P_i l'abondance relative (en log+1) du taxon i et T_i la valeur de la modalité j du trait considéré pour un taxon i .

Les taxons avec une modalité terrestre = 1 (55 taxons) ont été considérés comme non inféodés au corridor rivulaire et ont été supprimés de l'analyse.

Tableau 1 – Traits bio-écologiques analysés, modalités et définitions correspondantes.

Traits	Modalités	Définition
Affinité à l'eau des larves	H01 Aquatique	La larve vit dans l'eau.
	H02 Amphipneustique	La larve se développe dans les zones lentes des cours d'eau, sous l'eau ou sur l'eau, et est équipée d'un siphon respiratoire lui permettant de collecter l'oxygène à l'air libre.
	H03 Hygropétrique	La larve se développe à la surface des roches ou dans les bryophytes sur lesquels l'eau ruisselle en épaisseur inférieure à 2 mm.
	H04 Intertidal	La larve se développe dans les substrats humides de la zone de marnage des cours d'eau.
	H05 Tyrphophile	La larve se développe dans la tourbe humide.
	H06 Hygrophile	La larve se développe dans des milieux plutôt humides.
	H07 Terrestre	La larve n'a pas besoin d'une forte humidité pour se développer.
Régime alimentaire larvaire	C01 Algivore	Se nourrit d'algues.
	C02 Mycétophage	Se nourrit de champignons.
	C03 Prédateur	Se nourrit d'animaux vivants.
	C04 Opophage	Se nourrit de sève s'écoulant des arbres.
	C05 Phytophage	Se nourrit de végétaux.
	C06 Xylophage	Se nourrit de bois.
	C07 Saprophage	Se nourrit de matières organiques en décomposition.

Tableau 2 – Exemple de la distribution de fréquence relative des modalités du trait affinité à l'eau pour deux espèces de Diptères.

Taxons	Aquatique	Amphipneustique	Hygropétrique	Intertidal	Tyrphophile	Hygrophile	Terrestre
<i>Beris geniculata</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Melanogaster hirtella</i>	0,5	0	0,25	0,25	0	0	0

Afin d'étudier les différences entre stations, la racine carrée de l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été calculée (1) sur les scores permettant de calculer l'IBCR, la pente, la sinuosité et le score résumant l'état écologique de chaque station, (2) sur la matrice taxonomique basée sur les abondances relatives et (3) sur celle des traits. Les matrices de dissimilarité obtenues ont été soumises à une analyse de classification hiérarchique en utilisant la méthode de Ward (Ward 1963). Les groupes pour chaque classification ont été identifiés par partitionnement en comparant la matrice de distance de chaque dendrogramme avec les matrices binaires des partitions (Borcard et al. 2011). Les classifications basées sur la taxonomie et les traits ont été comparées à partir de l'indice d'enchevêtrement (Galili 2015). Deux dendrogrammes proposant la même classification ont un indice d'enchevêtrement de 1, et de 0 lorsque les deux classifications sont complètement différentes. Enfin les corrélations entre données biologiques (traits bio-écologiques et richesse taxonomique), état écologique, état du corridor rivulaire (principales métriques de l'IBCR et IBCR) et principales caractéristiques morphologiques (pente, sinuosité,

pourcentage de substrat meuble) ont été étudiées à partir de tests de corrélation de Spearman et un corrélogramme.

Résultats

Description des sites et caractérisation de leur corridor rivulaire

Les caractéristiques principales des sites sont résumées dans le tableau 3. Les résultats complets des relevés IBCR sont indiqués dans le [supplément 1](#). La classification hiérarchique sur les scores détaillés de l'IBCR, caractéristiques hydromorphologiques et score d'état écologique (Fig. 3) met en évidence 3 grands groupes : (1) un groupe de stations en bon ou très bon état, regroupant la majorité des stations du Massif central et des Pyrénées-Orientales, (2) un groupe de stations plus dégradées et aux pentes plus faibles, regroupant les stations de Bretagne et l'Artière à Beaumont, et enfin (3) l'Artière à Aubière, station la plus altérée. Le ruisseau de la Croix Morand en amont de la D983 est la seule station à disposer d'un corridor rivulaire humide ancien.

Tableau 3 – Dates d'échantillonnage et caractéristiques générales des stations échantillonnées. Dpt = département. Peuplement et gestion de la ripisylve, contexte, perturbations du milieu et connectivité = sous métriques de l'IBCR (moyenne des deux rives). Plus le score est élevé, plus la sous-métrique traduit une ripisylve en bon état. IBCR = indice de biodiversité et de connectivité de la ripisylve (moyenne des deux rives). État écologique : état écologique défini d'après des suivis IBGN, chimique, ou l'occupation du bassin versant. Les codes couleurs correspondent à ceux définis pour l'IBCR, avec vert intense : fort, vert clair : assez fort, orange : assez faible, rouge : faible.

Stations	Dpt	Date	Peuplement et gestion de la ripisylve	Contexte	Perturbations du milieu	Connectivité	IBCR	État écologique
St 1 – Croix Morand amont D983		6/29/2019	30	15	10	35	90	Très bon
St 2 – Ruisseau de Saint Genès amont Redon bas		6/19/2021	13	9	10	35	67	Très bon
St 3 – Artière au bassin de Beaumont	63	5/14/2021	4	2	7	22	35	Moyen
St 4 – Artière restaurée à Aubière		6/15/2019	1	0	5	6	12	Moyen
St 5 – L'Auzon au chaos de Flore		6/13/2021	10	6	10	35	61	Bon
St 6 – Bulidou	7	5/16/2019	0	7	10	26	43	Bon
St 7 – Le Yar amont étang du Moulin-Neuf		19/02/2021	7	2	7	26	42	Très bon
St 8 – Le Yar aval étang	22	& 09/04/2021	7	2	7	23	39	Moyen
St 9 – Le Dour Elégo à Pen ar Wern			7	2	7	28	44	Bon
St 10 – Rivière de Saint Vincent à la Cascade des Anglais		7/12/2021	1	7	10	32	47	Très bon
St 11 – La Carança en amont du petit pont de pierre	66	7/13/2021	7	7	10	35	59	Très bon

Toutefois, en raison de l'altitude, les essences rencontrées ne correspondent pas aux ligneux autochtones caractéristiques de la ripisylve selon l'IBCR. Ce ruisseau dispose de nombreux bancs de dépôts minéraux et organiques, résultats d'une dynamique sédimentaire très active, facilitée par un lit majeur avec des pentes très importantes et très érodables. La ripisylve présente une forte hétérogénéité spatiale, avec une répartition de la végétation en larges patchs et de nombreux embâcles, indices de perturbations naturelles hydrologiques fréquentes (White *et al.* 2000). Le bassin versant est dominé par la forêt et des prairies pâturées. Les lits majeurs du Bulidou en Ardèche et des deux stations pyrénéennes ont peu évolué depuis les années 50-65. Les bassins versants de ces stations sont strictement forestiers. Toutefois, leur lit majeur est principalement constitué de gros blocs ou de dalles, limitant les échanges superficiels ainsi que les habitats meubles humides favorables au développement des Diptères. La ripisylve humide y est naturellement très éparse voire absente faute de substrat favorable et d'humidité superficielle, et son développement est contraint par les conditions climatiques à influence méditerranéenne, le profil de leurs vallées et le substratum rocheux. Le Bulidou est ainsi un ruisseau temporaire. Les crues cévenoles ne permettent la présence de substrats favorables au

développement des larves de Diptères que dans des patchs très localisés, le cours d'eau coulant principalement directement sur une dalle rocheuse (faciès de type lit rocheux). La Cascade des Anglais est une chute d'eau, à la conformation peu favorable au développement des Diptères, l'eau aspergeant le socle rocheux plutôt qu'y ruisselant. Enfin, la Carança, en tant que rivière torrentielle montagnarde, est principalement constituée de gros blocs non amovibles. Les échanges avec le lit majeur sont très contraints par une forte pente (9,5%) et un substratum rocheux. Les autres stations en bon état du Massif central présentent des ripisylves limitées dans les années 50-65 à des cordons rivulaires, qui sont aujourd'hui plus larges, en lien probable avec la déprise agricole.

Les stations de Bretagne sur la commune de Plounérin présentent des ripisylves récentes. En effet, leurs ripisylves ont été détruites avant les années 50 pour gagner des espaces agricoles, et après les années 50 par remembrement. Une de ces stations est située à proximité directe de la tourbière de Pen ar Wern, et des échanges hydriques probables s'effectuent avec la tourbière. Le paysage est aujourd'hui bocager, avec des prairies amendées ponctuées de petits secteurs boisés récents.

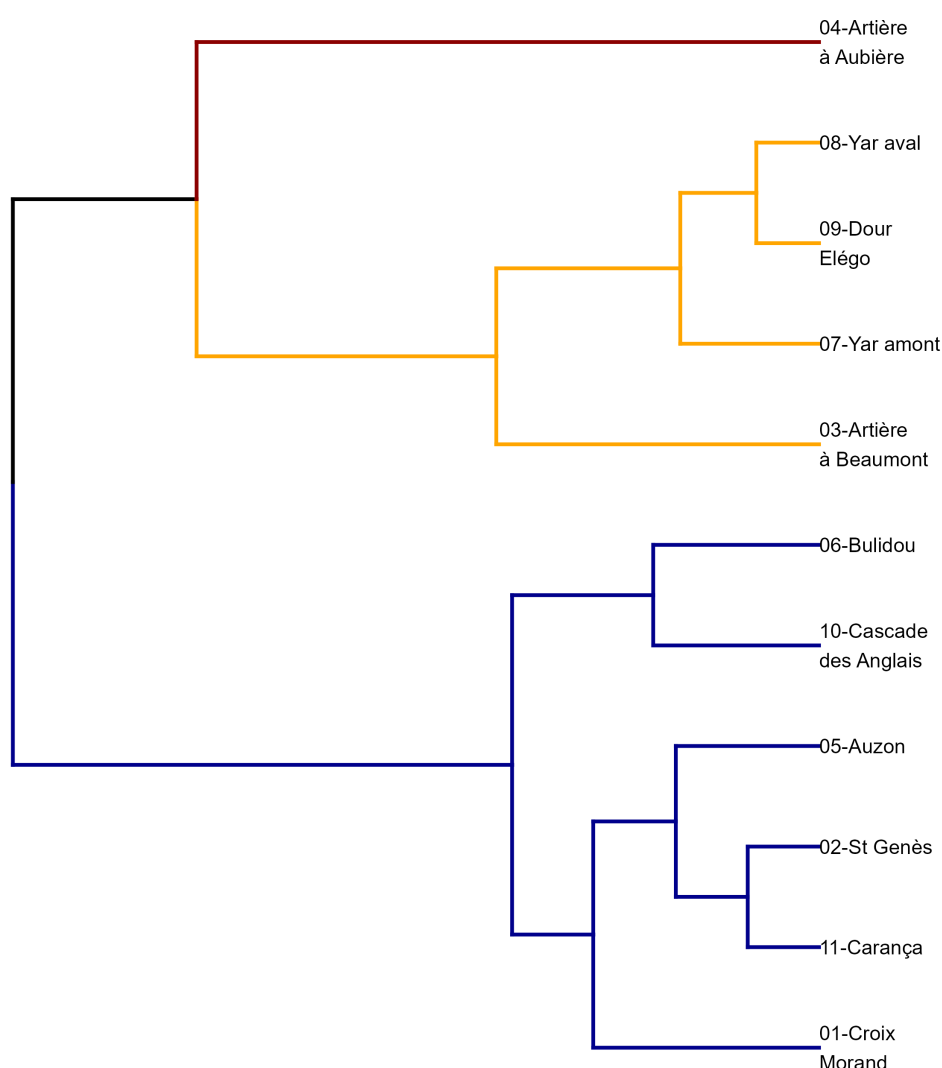


Figure 3 – Dendrogramme des 11 stations obtenu à partir d'une classification hiérarchique basée sur les scores des descripteurs de l'IBCR, leur état écologique et leurs caractéristiques morphologiques. Chaque couleur correspond à un groupe identifié par partitionnement.

Les stations situées sur l'Artière ont fait l'objet de travaux de restauration. L'Artière à Beaumont a été restaurée au début des années 2000. Le lit majeur était historiquement occupé par des jardins aujourd'hui en friche. Le lit majeur a été surcreusé pour former un bassin d'orage inauguré en 2002, et le cours d'eau a été reméandré. Le corridor rivulaire se développe depuis 2004. Les berges et les pentes y sont très douces. La restauration de l'Artière à Aubière, qui a eu lieu en 2017, a consisté en un remodelage et une végétalisation des berges afin de limiter l'effet de l'érosion latérale, et en la création d'une succession de micro-seuils et de déflecteurs centraux et latéraux destinés à diversifier les écoulements et à diminuer l'énergie du cours d'eau. Les hauteurs de berges y sont souvent supérieures à 1m50. La connectivité de l'Artière avec son lit majeur y est donc probablement très faible, et l'impact des crues d'orage est important avec un régime torrentiel dans cette zone contrainte par les jardins et les habitations. La ripisylve sur les 10 premiers mètres de part et d'autre du cours d'eau y est quasi-nulle (quelques jeunes arbres plantés lors de la restauration, ainsi que quelques vieux arbres épars). L'Artière présente des crues assez fréquentes et violentes, en lien notamment avec un bassin versant amont à fortes pentes (entre 9 et 12,5%) et plus fortement arrosé, et des débits d'étiage très faibles, en raison d'un climat relativement sec dû à un effet de foehn (Laurent et al. 2009) probablement aggravés par les prélèvements d'eau pour le jardinage. L'Artière, en raison du contexte péri-urbain, est soumise à de nombreuses sources de perturbations, avec notamment des pollutions accidentelles récurrentes conduisant à des mortalités piscicoles.

Résultat des analyses biologiques

Un total de 252 taxons de Diptères dont 197 taxons avec une affinité à l'eau a été identifié. La richesse en Diptères de ces corridors rivulaires est donc considérable, notamment si on la compare par exemple à celle des autres ordres identifiés sur ces stations : 6 taxons d'Éphéméroptères, 24 taxons de Plécoptères,

14 taxons de Trichoptères et une espèce de Névroptère. La liste complète des identifications, en général à l'espèce, est fournie dans le [supplément 2](#).

Sept espèces sont signalées pour la première fois en France : *Coelophthiria thoracica* (Winnertz, 1863) sur le Yar amont, *Morpholeria dudai* (Czerny, 1924), *Lyciella affinis* (Zetterstedt, 1847), *Empis scotica* (Curtis, 1835), *Hilara diversipes* (Strobl, 1892), sur la Croix Morand, *Rhamphomyia helvetica* (Barták & Kubík, 2012) sur le ruisseau de Saint Genès, et *Palloptera anderssoni* (Rotheray & MacGowan, 1999) sur l'Auzon. *Tipula luridorostri* (Schummel, 1833), capturée sur la Croix Morand, et *Paradelphomyia dalei* (Edwards, 1939), capturée sur l'Auzon, sont citées pour la deuxième fois en France (Tillier 2021 ; Tillier & Quindroit 2022) et *Thaumalea testacea* (Ruthe, 1831) capturée pour la première fois en France en 2015 à la Croix Morand (Labat 2021), a été retrouvée sur la même station.

La famille des Limoniidae est la seule présente sur les onze stations. Les familles les plus fréquentes sont ensuite les Lonchopteridae (dix stations), les Dolichopodidae (huit stations), les Empididae et les Mycetophilidae (sept stations). Les abondances et la richesse taxonomique (Tab. 4) sont plus élevées dans les stations du Puy-de-Dôme (entre 61 et 301 individus capturés, et entre 22 et 81 taxons) que dans les autres stations (entre 11 et 49 individus capturés, pour 4 à 14 taxons). Le ruisseau de la Croix Morand présente une abondance ($n = 301$) en Diptères et une richesse taxonomique ($n = 80$) près de deux fois plus élevées que toutes les autres stations, suivi du ruisseau de Saint Genès, avec 47 taxons pour 179 individus capturés. Le Bulidou est la station avec la plus faible richesse taxonomique ($n = 4$) et les plus faibles abondances ($n = 11$). Les stations les plus diversifiées d'après l'indice de Shannon sont la Croix Morand ($H' = 5,40$), le ruisseau de Saint Genès ($H' = 4,70$) et l'Auzon ($H' = 4,25$), les moins diversifiées le Bulidou ($H' = 1,28$) et le Dour Elégo ($H' = 2,25$).

Tableau 4 – Richesse taxonomique, indice de diversité de Shannon et abondance brute en Diptères capturés sur les onze stations.

Stations	Richesse taxonomiques	Abondance	Indice de diversité de Shannon
St 1 – Croix Morand amont D983	80	301	5,4
St 2 – Ruisseau de Saint Genès amont Redon bas	47	179	4,7
St 3 – Artière au bassin de Beaumont	26	113	4,12
St 4 – Artière restaurée à Aubière	22	61	4,12
St 5 – L'Auzon au chaos de Flore	33	109	4,25
St 6 – Bulidou	4	11	1,28
St 7 – Le Yar amont étang du Moulin-Neuf	14	36	3,4
St 8 – Le Yar aval étang	6	15	2,47
St 9 – Le Dour Elégo à Pen ar Wern	8	49	2,25
St 10 – Rivière de Saint Vincent à la Cascade des Anglais	14	35	3,16
St 11 – La Carança en amont du petit pont de pierre	10	27	2,72

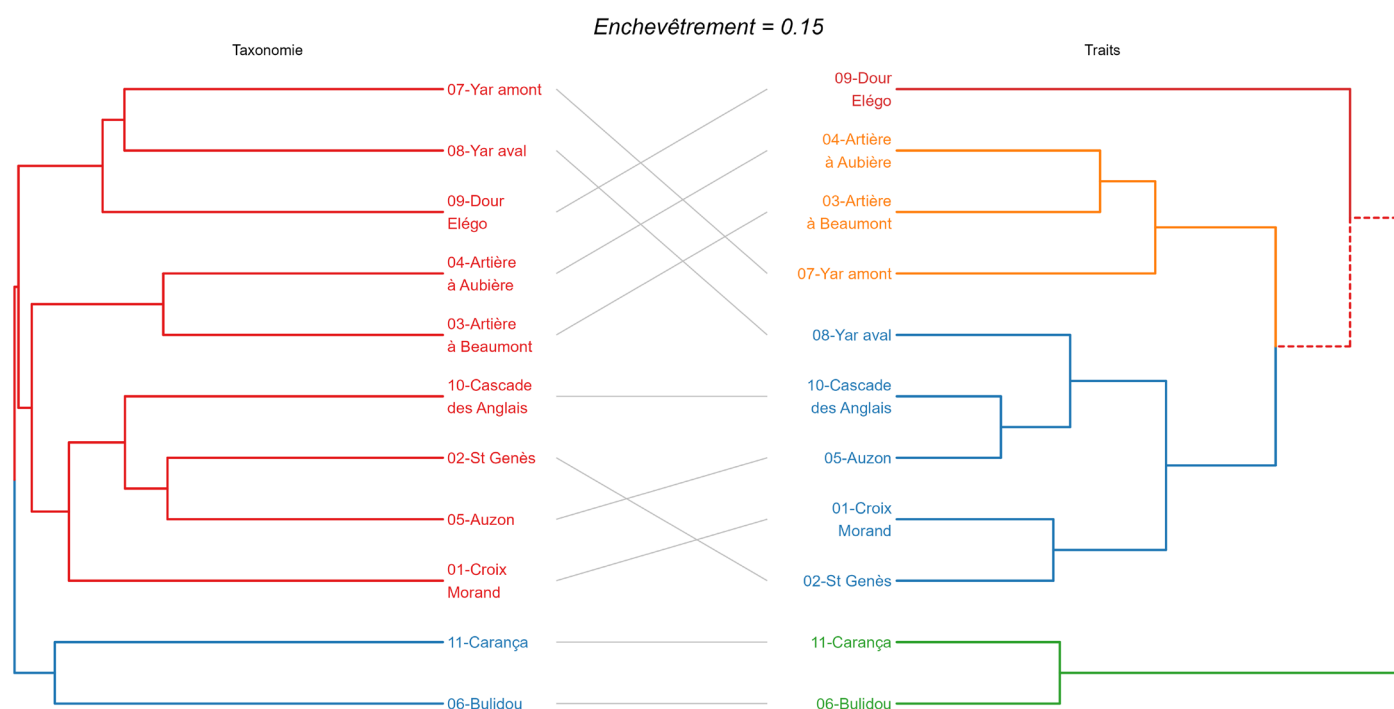


Figure 4 – Dendrogrammes des 11 stations obtenus à partir d'une classification hiérarchique basée sur la liste taxonomique et sur les traits. Chaque couleur correspond à un groupe identifié par partitionnement.

La classification hiérarchique obtenue à partir des listes taxonomiques est très différente de celle obtenue avec les traits (enchevêtrement = 0,15, Fig. 4). L'approche taxonomique distingue deux grands groupes : un groupe de 2 stations à influence méditerranéenne et dépourvue ou quasi-dépourvue de corridor rivulaire (la Carança et le Bulidou), et un deuxième groupe regroupant toutes les autres stations. Au sein de ce dernier groupe, les sites de Bretagne forment une branche distincte du dendrogramme, tout comme les deux stations de l'Artière. L'approche fonctionnelle distingue quatre groupes : un premier T1 où l'on retrouve l'association Carança - Bulidou, un second T2 avec le Dour Elégo, un troisième groupe T3 incluant les deux stations de l'Artière et le Yar amont, et un quatrième T4 regroupant les autres stations du Puy-de-Dôme associées à la

Cascade des Anglais et au Yar aval. Dans ces deux classifications, les stations méditerranéennes sont bien distinctes des autres stations.

Affinités à l'eau des larves

Les résultats sont indiqués tableau 5.

Le ruisseau de la Croix Morand possède la plus forte richesse en affinité à l'eau des larves (7 modalités) suivie de l'Auzon (6 modalités), du ruisseau de Saint Genès de l'Artière à Aubière et du Dour Elégo (5 modalités). Les trois stations de Bretagne se caractérisent notamment par l'absence de larves partiellement terrestres.

Tableau 5 – Valeurs obtenues pour les abondances relatives des modalités du trait d'affinité à l'eau sur les onze stations. H1 = aquatique, H2 = amphipneustique, H3 = hygropétrique, H4 = intertidal, H5 = tyrophophile, H6 = hygrophile, H7 = terrestre.

Groupe	Stations	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
T1	St 6 – Bulidou	0	0	0,16	0,18	0	0,32	0,34
	St 11 – La Carança en amont du petit pont de pierre	0,13	0	0	0,2	0	0,41	0,26
T2	St 9 – Le Dour Elégo à Pen ar Wern	0,11	0,14	0	0,36	0,21	0,18	0
T3	St 3 – Artière au bassin de Beaumont	0,24	0	0	0,32	0	0,27	0,17
	St 4 – Artière restaurée à Aubière	0,3	0	0,05	0,18	0	0,3	0,17
	St 7 – Le Yar amont étang du Moulin-Neuf	0,43	0,1	0	0,23	0	0,24	0
T4	St 1 – Croix Morand amont D983	0,16	0,01	0,08	0,18	0,01	0,44	0,12
	St 2 – Ruisseau de Saint Genès amont Redon bas	0,05	0	0,05	0,2	0	0,53	0,17
	St 5 – L'Auzon au chaos de Flore	0,17	0,04	0,06	0,15	0	0,43	0,15
	St 8 – Le Yar aval étang	0,22	0	0	0,25	0	0,53	0
	St 10 – Rivière de St Vincent à la Cascade des Anglais	0,3	0	0	0,14	0	0,46	0,1

Le Dour Elégo se différencie de toutes les autres stations par une forte proportion d'espèces à larves tyrphophiles H5 (21%). Des espèces à larves tyrphophiles sont également présentes mais en très faible proportion sur la Croix Morand (1%). Le Bulidou est la seule station dépourvue de Diptères aquatiques. Le Yar amont présente la plus forte fréquence relative de Diptères aquatiques H1 (43%). Seules les stations de la Croix Morand, de l'Auzon, du Yar amont et du Dour Elégo présentent des Diptères amphipneustiques H2, en faible fréquence relative (respectivement 1%, 4%, 10% et 14%). Les stations de la Croix Morand (8%), du ruisseau de Saint Genès (5%), de l'Artière à Aubière (5%) de l'Auzon (6%) et du Bulidou (16%) possèdent des Diptères hydropétriques H3.

Toutes les stations montrent des fréquences relatives de Diptères intertidaux H4 autour de 20%, sauf l'Artière à Beaumont (32%) et le Dour Elégo (36%). Les Diptères hygrophiles H6 représentent une proportion élevée du cortège diptérologique sur toutes les stations (>25%), à l'exception du Yar amont (24%) et du Dour Elégo (18%). À l'exception des stations bretonnes, toutes les stations présentent des Diptères à larves partiellement terrestres H7. Seules les stations du groupe T1 dépassent 20% de larves partiellement terrestres.

Affinités alimentaires des Diptères à larves non terrestres

Les résultats sont indiqués tableau 6.

La station de la Croix Morand possède la plus forte richesse de modes alimentaires (7 modalités), suivie des autres stations du Puy-de-Dôme (6 modalités) à l'exception de l'Artière à Aubière (5 modalités). Le Bulidou et le Yar aval sont les stations avec la plus faible diversité alimentaire (3). Les Diptères à larves prédatrices C3 et saprophages C7 semblent co-dominer sur la majorité des stations (entre 17 et 37%), à l'exception du Bulidou, de la Carança, et de l'Artière à Beaumont où les Diptères à larves prédatrices dominant (respectivement 50, 60 et 51%). Les espèces algivores C1 sont représentées sur toutes les stations. En général autour de 15%, elles représentent une plus faible proportion sur l'Artière à Aubière (4%) et l'Artière à Beaumont (8%) et le Yar amont (7%), et une plus forte proportion sur le Dour Elégo (33%). Les Diptères aux larves mycétophages C2 sont présents en proportions assez variables selon les stations (entre 0 et 24%). Des Diptères à larves opophages C4 n'ont été identifiés que sur la Croix Morand (4%). Les ruisseaux du Puy-de-Dôme se caractérisent toutes par des adultes à larves xylophages C6 (entre 1 et 6%), absents sur toutes les autres stations. Les Diptères phytophages C5 sont faiblement représentés (<10%), excepté sur l'Artière à Aubière (13%).

Tableau 6 – Valeurs obtenues pour les abondances relatives des modalités du trait affinité alimentaire sur les onze stations. C1 =algivore, C2 = mycétophage, C3 = prédateur, C4 = opophage, C5 = phytophage, C6 = xylophage, C7 = saprophage.

Groupes	Stations	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
T1	St 6 – Bulidou	0,22	0	0,50	0	0	0	0,28
	St 11 – La Carança en amont du petit pont de pierre	0,10	0,10	0,60	0	0,10	0	0,10
T2	St 9 – Le Dour Elégo à Pen ar Wern	0,33	0	0,25	0	0,01	0	0,41
T3	St 3 – Artière au bassin de Beaumont	0,08	0,01	0,51	0	0,07	0,02	0,31
	St 4 – Artière restaurée à Aubière	0,04	0	0,37	0	0,13	0,02	0,44
	St 7 – Le Yar amont étang du Moulin-Neuf	0,07	0,21	0,36	0	0	0	0,36
T4	St 1 – Croix Morand amont D983	0,15	0,09	0,34	0,05	0,02	0,04	0,31
	St 2 – Ruisseau de Saint Genès amont Redon bas	0,16	0,28	0,33	0	0,04	0,01	0,18
	St 5 – L'Auzon au chaos de Flore	0,21	0,17	0,22	0	0,09	0,06	0,25
	St 8 – Le Yar aval étang	0,17	0,17	0,17	0	0	0	0,49
	St 10 – Rivière de St Vincent à la Cascade des Anglais	0,21	0,20	0,31	0	0,04	0	0,24

Corrélations entre données biologiques, état du corridor rivulaire selon l'IBCR, principales caractéristiques morphologiques et état écologique des cours d'eau.

Les résultats des tests de corrélation de Spearman sont illustrés figure 5.

La richesse taxonomique, l'abondance et l'indice de Shannon sont bien corrélés à la sinuosité du lit ($r = 0,68$, $0,64$ et $0,67$, respectivement), à la qualité du peuplement et de la gestion de la ripisylve ($r = 0,57$, $0,57$ et $0,56$, respectivement), et très fortement corrélés à la modalité C6 (fréquence relative de larves xylophages, $r = 0,88$, $0,84$ et $0,89$, respectivement). Le score de non-perturbation de la ripisylve est négativement corrélé à la

proportion de Diptères à larves aquatiques (H1, $r = -0,72$). Des tendances comparables ont été obtenues avec d'autres métriques de l'IBCR : contexte ($r = -0,58$) et connectivité ($r = -0,49$).

La fréquence relative de larves saprophages C7 est négativement corrélée aux métriques de l'IBCR ($r = -0,62$ à $r = 0,70$), à la pente ($r = -0,84$), et au statut écologique ($r = -0,63$).

La pente est négativement corrélée à la fréquence relative de larves intertidales (H4, $r = -0,67$) et saprophages (C7, $r = -0,84$), et très fortement négativement corrélée au % de substrat fin ($r = -0,9$). L'état écologique est négativement corrélé à la fréquence relative de larves saprophages (C7, $r = -0,63$).

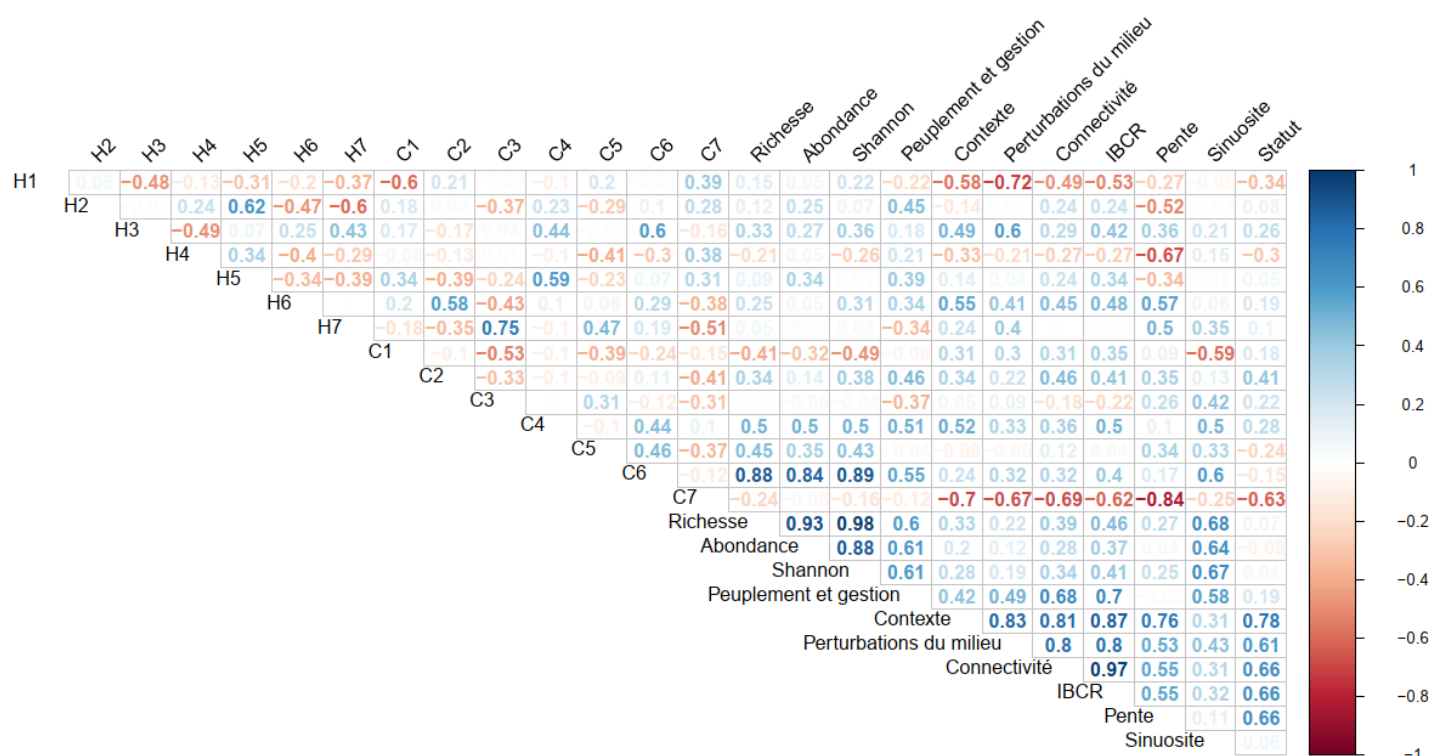


Figure 5 – Corrélogramme illustrant les corrélations de Spearman entre traits bio-écologiques, richesse taxonomique, abondance, indice de diversité de Shannon, principales métriques de l'IBCR (peuplement et gestion, contexte, perturbations du milieu, connectivité et IBCR), pente, sinuosité et statut écologique.

Discussions

Les espèces citées pour la première fois en France rencontrées dans le cadre de cette étude sont des espèces à large répartition européenne. Ces nombreuses découvertes mettent en évidence le faible nombre de suivis naturalistes consacrés à ce groupe en France. *Coelophthina thoracica* est considérée comme rare en Europe (Kurina & Grootaert 2016). Je l'ai également capturée depuis dans la réserve naturelle nationale de Frankenthal-Missheimle (Vosges).

À l'exception de rares études très spécifiques sur les Diptères des bancs de sable des cours d'eau (e.g. Rotheray & Robertson 1993; Drake et al. 2007), les études pour évaluer la qualité du corridor rivulaire utilisent en général les invertébrés non volants (Plachter 1986 ; Popescu et al. 2021). Il s'agit principalement des Carabidae (Sprössig et al. 2022) et moins fréquemment des Aranéides (Reyes-Maldonado et al. 2018). D'autres groupes sont plus rarement étudiés tels que les Staphylinidae (Schatz 2006) ou les Formicidae (Zina et al. 2021).

La majorité de ces invertébrés sont sensibles aux crues (Greenwood 2007 ; Sienkiewicz & Żmihorski 2012) et par extension aux lâchers de barrage (Van Looy et al. 2007). En effet, leurs cycles de vie souvent longs, leur confère une sensibilité particulière à l'instabilité hydrologique qu'elle soit naturelle ou anthropique. Ils peuvent donc ne pas être des candidats idéaux pour évaluer la qualité du corridor rivulaire. Au contraire, les Diptères possèdent souvent des cycles de vie plus courts ou des stratégies leur permettant de survivre aux événements hydrologiques (Drake 2001), et sont donc susceptibles d'apporter

des informations complémentaires sur l'état du boisement, la diversité des habitats rivulaires ou la complexité des échanges hydriques et chimiques entre cours d'eau et lit majeur.

La majorité de ces invertébrés non volants (Carabidae, Aranéides...) est composée de prédateurs principalement dépendants des insectes aquatiques qu'ils peuvent consommer (Hering 1997 ; Marczak & Richardson 2007). Les insectes aquatiques ne représentent toutefois qu'une toute petite part des insectes volants dans le corridor rivulaire. Ainsi, Perla & Stevens (2008) ont montré que les Diptères représentaient plus de 80% de l'abondance totale d'invertébrés sur deux cours d'eau à la zone rivulaire humide, et seulement 20% dans un cours d'eau avec une zone rivulaire sèche. Ces observations mettent en évidence l'importance des Diptères dans l'analyse et la compréhension de l'influence du cours d'eau et de son corridor sur les prédateurs, et à plus forte raison si on s'intéresse aux échanges de biomasse et d'énergie entre cours d'eau, corridors rivulaires et écosystèmes voisins.

Les Diptères sont aujourd'hui généralement étudiés à l'aide de pièges Malaise (e.g. Claude & Cédric 2017). Toutefois cette méthode capture et tue de grandes quantités d'insectes, et implique un temps de traitement important des échantillons, ainsi que des passages fréquents sur site pour relever les pièges (McCravy 2018). C'est une méthode idéale pour réaliser des inventaires, mais peut-être pas indispensable pour évaluer la fonctionnalité d'un écosystème. La technique de fauchage est plus sélective et peut également permettre de mieux mettre en évidence des motifs spatio-temporels que des pièges Malaise (Jamieson 1997), la disposition des pièges Malaise ayant une influence sur la qualité des résultats (Skvarla et al. 2020).

La classification hiérarchique obtenue à partir de nos listes taxonomiques suggère que l'influence de la saisonnalité sur des échantillonnages qui ont lieu entre fin printemps et au cours de l'été est très faible, les stations du Puy-de-Dôme faisant partie du même groupe quel que soit la date d'échantillonnage. Toutefois, l'absence d'espèces plus hygrophiles ou terrestres sur les stations de Bretagne pourrait être liée à l'échantillonnage plus précoce de ces stations, les milieux terrestres fournissant des insectes volants plus tardivement que les milieux aquatiques (Iwata *et al.* 2010).

La plus faible richesse taxonomique des stations de Bretagne pourrait ainsi s'expliquer au moins pour partie par la précocité de leurs échantillonnages. Les classifications hiérarchiques confirment la forte influence des facteurs spatiaux sur la composition taxonomique des Diptères capturés, et la moindre sensibilité des traits bio-écologiques à la géographie. En effet, la classification hiérarchique basée sur les listes taxonomiques met en évidence des communautés différentes en fonction des régions échantillonnées (à l'exception des communautés de la Cascade des Anglais, associée aux stations du Puy-de-Dôme), tandis que la classification hiérarchique basée sur les traits indique uniquement que les stations méditerranéennes sont différentes des autres en termes de fonctionnement, les autres régions étant mélangées. Les approches taxonomiques et fonctionnelles sont donc différentes et nous semblent complémentaires.

L'approche taxonomique distingue deux groupes. Dans le premier groupe, le ruisseau de la Croix Morand, à la capacité d'accueil la plus élevée d'après l'IBCR, présente la plus grande richesse mais également la plus grande abondance et la plus grande diversité en Diptères. Le ruisseau de Saint Genès, avec la deuxième meilleure capacité d'accueil d'après l'IBCR, est la seconde station la plus riche, abondante et diversifiée. Viennent ensuite les stations aux corridors rivulaires plus réduits, les stations dépourvues de ripisylve ancienne ou sans corridor rivulaire humide étant les plus pauvres en espèces. En effet, les corridors rivulaires servent de lieu de refuge contre le vent ou les prédateurs, de ressource alimentaire, mais protègent également les sols de la dessiccation et de l'érosion (Smith & Smith 2004). Les deux premières hypothèses sont donc vérifiées.

Dans le deuxième groupe, les conditions morphologiques et climatiques ne permettent pas l'installation d'un corridor rivulaire humide (cas de la Carança et du Bulidou).

La classification hiérarchique basée sur les traits confirme cette dernière hypothèse, les espèces à plus faible affinité à l'eau dominant sur ces stations. Les espèces à forte affinité à l'eau sont absentes faute de gîte larvaire, ou leurs imagos s'éloignent rapidement de ces gîtes faute de refuge adapté. Les traits fournissent néanmoins des informations complémentaires. Le Dour Elégo se distingue des autres stations principalement par une forte proportion d'espèces tyrophiles, confirmant la connexion avec la tourbière de Penn Ar Wern. Il ne semble pas possible en revanche d'expliquer ce qui distingue les deux autres groupes. Toutefois, on peut observer que les espèces intertidales dominent lorsque le sol est gorgé d'eau comme sur le Dour Elégo connecté à une tourbière et l'Artière à Beaumont, grâce à des hauteurs de berges quasi-inexistantes facilitant l'imprégnation en eau du lit majeur. Ces conditions sont favorisées par des pentes

faibles, susceptibles de faciliter les échanges avec la nappe d'accompagnement dans un substrat plus meuble et plus favorable aux Diptères. Lorsque la ripisylve est très réduite, remplacée par un corridor herbacé continu, la proportion d'espèces phytophages tend à augmenter (cas de l'Artière à Aubière). Une ripisylve ancienne humide, même réduite à quelques arbres, favorise la présence d'espèces xylophages (toutes les stations du Puy-de-Dôme), voire opophage (la Croix Morand), mais pas les espèces mycétophages. La troisième hypothèse n'est donc que partiellement validée. Pourtant, les forêts rivulaires sont souvent plus accueillantes que les autres pour de nombreuses espèces de champignons (Komonen *et al.* 2008 ; Glaeser & Smith 2013). Le comportement alimentaire des espèces mycétophages peut varier très fortement selon les espèces, avec des espèces préférant des mycètes à sporophore, d'autres préférant des micromycètes (Krivoshchina *et al.* 1986). Tous ces champignons nécessitent en général une ambiance humide, mais ne sont pas nécessairement dépendants de l'âge des arbres. Il conviendrait donc probablement de mieux préciser l'alimentation des espèces mycétophages, précision difficile à atteindre car les exigences alimentaires de ces espèces restent en général mal connues, et la plupart d'entre elles semblent généralistes (Hutson *et al.* 1980). L'abondance de sporophores est également très dépendante des variations climatiques saisonnières. Les sporophores sont ainsi plus nombreux pendant les automnes humides qui suivent des étés secs (Eveling *et al.* 1990). Les échantillonnages, réalisés ponctuellement et en dehors de l'automne, ne sont donc peut-être pas représentatifs de la communauté mycétophage des corridors rivulaires.

Les espèces hydropétriques sont défavorisées lorsqu'il n'existe pas de ruissellements importants sur des pierres ou rochers, et plus idéalement sur des bryophytes qui y sont fixés. C'est le cas des ruisseaux de Bretagne et de l'Artière à Beaumont. Les espèces hydropétriques sont également absentes de la Carança, où le régime torrentiel à lit probablement mobile ne permet pas l'installation d'habitats favorables, mais aussi du Bulidou, où les écoulements sont généralement trop faibles, malgré des pentes assez importantes. Aucune espèce hydropétrique n'a été trouvée au droit de la Cascade des Anglais. Les espèces hydropétriques sont très fréquentes au droit des cascades lorsque celles-ci assurent un ruissellement sur des bryophytes ou des anfractuosités permettant le maintien des larves face au courant. Ces ruissellements sont absents à la Cascade des Anglais en raison de la configuration de la chute d'eau.

Malgré la forte contrainte latérale, la diversification des écoulements résultant des travaux de restauration sur l'Artière semble permettre le développement de larves aux affinités à l'eau variées. La présence d'espèces hydropétriques est ainsi probablement liée aux micro-seuils qui assurent des habitats favorables à ces espèces. Toutefois, l'absence d'espèces amphipneustiques suggère l'absence de zones ripariennes végétalisées ou à substrat fin, protégées des crues, malgré la construction d'épis latéraux. De plus, la forte proportion d'espèces saprophages est sans doute à rapprocher d'une possible dégradation de la qualité de l'eau de cette station, qui peut limiter probablement l'efficacité des mesures de restauration engagées.

Comme attendu, les ruisseaux du Puy-de-Dôme échantillonnés

sont plus accueillants pour une communauté de Diptères rivulaires diversifiée, probablement en lien avec un climat plus humide, des ripisylves et une sinuosité mieux préservées et des pentes assurant une multiplicité de microhabitats favorables à certaines espèces de Diptères. La quatrième hypothèse est donc validée.

L'IBCR et ses métriques indiquent qu'une ripisylve en bon état accueille une plus forte proportion de Diptères non aquatiques ainsi qu'une plus grande diversité de Diptères, en particulier d'espèces xylophages. Toutefois, l'IBCR, tout comme les descripteurs hydromorphologiques ou d'état écologique retenus permettent peu de traduire la complexité des microhabitats assurant une plus grande variété d'espèces et de traits de Diptères, comme le suggèrent les différences observées entre les trois classifications hiérarchiques.

L'IBCR ne prend pas en compte la morphologie du chenal, qui détermine les échanges du cours d'eau avec sa zone hyporhéique et son lit majeur, en particulier dans les bassins versants montagneux comme la majorité de ceux étudiés ici (Buffington & Tonina 2009).

L'IBCR ne considère pas les formes et les structures rythmiques du lit qui favorisent les échanges hydriques avec le lit majeur (Thorp *et al.* 2008) ainsi que la répartition de certains microhabitats tels que les zones d'accumulation des débris ligneux (Piégay 1996). Nos résultats indiquent notamment que la sinuosité est déterminante pour une communauté de Diptères riche, abondante et diversifiée. L'IBCR, qui évalue des linéaires de 500 m sans considérer la pente ou les structures rythmiques, peut donc qualifier des tronçons incluant des structures riveraines très différentes, qu'il conviendrait de qualifier séparément.

La qualification de l'état du boisement par l'IBCR est peut-être aussi moins adaptée à certains contextes géographiques. Ainsi, en contexte montagneux, l'IBCR peut sous-estimer la capacité d'accueil en Diptères car la ripisylve est souvent composée d'essences qui ne sont pas caractéristiques d'une ripisylve au sens strict (hêtre, divers résineux), mais qui peuvent se développer sur ou autour de sols qui peuvent être très humides et très favorables aux Diptères. En climat méditerranéen, l'IBCR peut surestimer la capacité d'accueil en Diptères car le boisement peut être ancien mais épars (caractéristique peu prise en compte dans l'IBCR) et semble ne pas garantir la présence de microhabitats favorables au développement des Diptères.

La définition de certains habitats potentiels de l'IBCR semble également plus adaptée aux vertébrés qu'aux invertébrés. C'est par exemple le cas des abris racinaires : pour être pris en compte, ces abris doivent avoir une surface supérieure à 600 cm², un diamètre d'entrée de cavité supérieure à 20 cm et une profondeur supérieure à 10 cm, ce qui dépasse les exigences de nombreux invertébrés qui peuvent occuper des abris racinaires plus petits (e.g. Diptères et Trichoptères).

Les faibles richesses et abondances en Diptères observées sur les cours d'eau à influence méditerranéenne présagent une érosion importante de la diversité diptérologique des corridors rivulaires avec le changement climatique. En dehors de la zone méditerranéenne, les communautés de Diptères attendues dans

un cours d'eau pourvu d'une ripisylve en bon état doivent être composées d'une grande richesse de régimes alimentaires ($N \geq 6$) et d'affinité à l'eau ($N \geq 6$). Les espèces à larves xylophages en particulier doivent être présentes, et les espèces strictement aquatiques ne doivent représenter qu'une faible proportion des captures. Dans les corridors montagneux ou collinaires, les espèces pétricoles, favorisées par un substrat grossier sur lequel l'eau peut ruisseler, doivent être généralement représentées, tandis qu'en plaine, les espèces à larves amphipneustiques seront plus fréquentes, favorisées par des zones littorales très peu profondes aux vitesses d'écoulement faibles favorisant l'installation d'herbiers, de zones de dépôts de sable ou de limon, ou de pierres humides favorables à ces espèces. Un cours d'eau ou une ripisylve altéré aura tendance à favoriser les espèces à larves saprophages.

Les Diptères apportent donc des informations complémentaires à l'IBCR sur la qualité du corridor rivulaire et leur capacité d'accueil, que ce soit en traduisant la complexité des microhabitats et incluant les microhabitats des cours d'eau, ou en intégrant l'état écologique du cours d'eau. Malheureusement ces insectes, difficiles à identifier, sont trop peu étudiés par manque de spécialistes. Les approches fonctionnelles utilisables avec des résolutions taxonomiques plus basses (identification au genre plutôt qu'à l'espèce), ainsi que la création de clés d'identification en langue française plus adaptées aux débutants pourraient permettre de populariser l'identification des Diptères et pourrait favoriser l'émergence d'indicateurs reposant sur les Diptères.

Ces résultats préliminaires mériteraient d'être consolidés par des échantillonnages portant sur un plus grand nombre de cours d'eau.

Remerciements

À l'exception des stations du Puy-de-Dôme et des Pyrénées-Orientales, échantillonnées pendant mon temps libre, les échantillonnages ont été réalisés dans le cadre d'études financées par le Syndicat mixte Trégor-Lannion Communauté (échantillons de Bretagne, Aquabio) et par la Communauté de Communes Pays des Vans en Cévennes dans le cadre d'un inventaire réalisé avec la Société d'Histoire Naturelle Alcide-d'Orbigny (Bulidou). Je remercie Pierre Clarté, Damien Nédélec et Célia Carcéles de l'agence Aquabio Ouest pour les échantillonnages réalisés en Bretagne.

Références

- Adler P. & Courtney G., 2019. Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera. *Insects* 10(3) : 70. <https://doi.org/10.3390/insects10030070>
- AFNOR., 2004. NF T90-350 - Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). La Plaine Saint-Denis : AFNOR, 17 p.
- Borcard D., Gillet F. & Legendre P., 2011. *Numerical Ecology with R*. New York, NY : Springer New York, 318 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>
- Brunhes J. & Dufour C., 1992. Etudes structurales et dynamiques sur les écosystèmes de tourbières acides : 3. Le peuplement des tipulides (Diptera, Tipulidae). *Bulletin d'écologie* 23(1-2) : 17-26.

- Brunhes J. & Villepoux O., 1990. Études structurales et dynamiques sur les écosystèmes de tourbières acides : 2. Le peuplement des Diptères limonides. *Bulletin d'écologie* **21**(4) : 91-104.
- Buffington J.M. & Tonina D., 2009. Hyporheic Exchange in Mountain Rivers II: Effects of Channel Morphology on Mechanics, Scales, and Rates of Exchange: Channel morphology and hyporheic exchange. *Geography Compass* **3**(3) : 1038-1062. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00225.x>
- Burbank J., Drake D. & Power M., 2022. Seasonal consumption of terrestrial prey by a threatened stream fish is influenced by riparian vegetation. *Endangered Species Research* **47** : 15-27. <https://doi.org/10.3354/esr01161>
- Cérèghino R., Oertli B., Bazzanti M., Coccia C., Compin A., Biggs J., Bressi N., Grillas P., Hull A., Kalettka T. & Scher O., 2011. Biological traits of European pond macroinvertebrates. *Hydrobiologia* **689**(1) : 51-61. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0744-y>
- Chevenet F., Dolédec S. & Chessel D., 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology* **31**(3) : 295-309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01742.x>
- Claude J. & Cédric V., 2017. Syrph the Net : une méthode d'évaluation mesurant l'impact de la gestion d'espaces naturels testée par un réseau de gestionnaires. Dans : *Les Invertébrés dans la conservation et la gestion des espaces naturels - Actes du colloque de Toulouse du 13 mai au 16 mai 2015*. Toulouse, p. 105-110.
- Datry T., Dole-Olivier M.-J., Marmonier P., Claret C., Perrin J., Lafont M. & Breil P., 2008. La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau. *Ingénieries* **54** : 3-18.
- Drake C. M., Godfrey A., Hewitt S. M. & Parker J., 2007. *Fly Assemblages of Sandy Exposed Riverine Sediment*. Environment Agency, Natural England, Scottish Environment Protection Agency, John Spedan Lewis Foundation, 184 p.
- Drake M., 2001. The importance of temporary waters for Diptera (true-flies). *Freshwater Forum* **17** : 26-39.
- Eveling D. W., Wilson R. N., Gillespie E. S. & Bataillé A., 1990. Environmental effects on sporocarp counts over fourteen years in a forest area. *Mycological Research* **94**(7) : 998-1002. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)81320-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)81320-8)
- France Nature Environnement Auvergne Rhône-Alpes., 2022. Ripisylves - Biodiversité & Connectivité. *Ripisylves - Biodiversité & Connectivité* <https://www.fne-aura.org/ripisylves/> Consulté le 22/6/2022.
- Galili T., 2015. dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics* **31**(22) : 3718-3720. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv428>
- Garnier E., Cortez J., Billès G., Navas M.-L., Roumet C., Debussche M., Laurent G., Blanchard A., Aubry D., Bellmann A., Neill C. & Toussaint J.-P., 2004. Plant Functional Markers Capture Ecosystem Properties during Secondary Succession. *Ecology* **85**(9) : 2630-2637.
- Glaeser J. A. & Smith K. T., 2013. Decay fungi of riparian trees in the Southwestern U.S. *Western Arborist* **Fall** : 40-50.
- Gounand I., Harvey E., Little C. J. & Altermatt F., 2018. Meta-Ecosystems 2.0: Rooting the Theory into the Field. *Trends in Ecology & Evolution* **33**(1) : 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.10.006>
- Greenwood M., 2007. *The population dynamics of a riparian spider: interactive effects of flow-related disturbance on cross-ecosystem subsidies and spider habitat*. University of Canterbury, 136 p.
- Hagen E. M. & Sabo J. L., 2014. Temporal variability in insectivorous bat activity along two desert streams with contrasting patterns of prey availability. *Journal of Arid Environments* **102** : 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.11.016>
- Hering D., 1997. Riparian ground beetles (Coleoptera, Carabidae) preying on aquatic invertebrates: a feeding strategy in alpine floodplains. *Oecologia* **111** : 261-270.
- Hutson A. M., Ackland D. M. & Kidd L. N., 1980. *Mycetophilidae (Bolitophilinae, Ditomyiinae, Diadocidiinae, Keroplatinae, Sciophilinae and Manotinae) Diptera, Nematocera*. London : Royal Entomological Society of London, 114 p.
- Ivković M., Miliša M., Baranov V. & Mihaljević Z., 2015. Environmental drivers of biotic traits and phenology patterns of Diptera assemblages in karst springs: The role of canopy uncovered. *Limnologia* **54** : 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.09.001>
- Iwata T., Urabe J. & Mitsuhashi H., 2010. Effects of Drainage-Basin Geomorphology on Insectivorous Bird Abundance in Temperate Forests: Stream Channel Networks and Bird Distribution. *Conservation Biology* **24**(5) : 1278-1289. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01493.x>
- Jackson A. K., Eagles-Smith C. A. & Robinson W. D., 2021. Differential reliance on aquatic prey subsidies influences mercury exposure in riparian arachnids and songbirds. *Ecology and Evolution* **11**(11) : 7003-7017. <https://doi.org/10.1002/ece3.7549>
- Jamieson G., 1997. *Development of Methodology to Assess the Spatial Limits of the Terrestrial Environments used by Riparian Fish-Food Invertebrates*. Parksville, BC : Forest Renewal BC, 22 p.
- Janssen P., Evette A., Bergès L., Gonin P., Larrieu L., Dajoux M., Dupont S., Gardien S., Gilles C. & Ladet A., 2021. Évaluer la qualité des boisements riverains avec l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR) : une étude de cas avec les communautés d'oiseaux. *Naturae* (21). <https://doi.org/10.5852/naturae2021a21>
- Komonen A., Niemi M. E. & Junninen K., 2008. Lakeside riparian forests support diversity of wood fungi in managed boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* **38**(10) : 2650-2659. <https://doi.org/10.1139/X08-105>
- Krivosheina N. P., Zaitzev A. I. & Yakovlev E. B., 1986. *Insects as decomposers of fungi in the forest of the European part of USSR [Insects inhabiting fruiting bodies of macrofungi in the forest zone of the European part of USSR]*. Moscow : Nauka, 309 p.
- Kurina O. & Grootaert P., 2016. Fungus gnats in the Botanical garden Jean Massart on the outskirts of Brussels: 52 new country records and a pictorial atlas of the genera (Diptera: Sciarioidea). *Belgian Journal of Entomology* **44** : 1-34.
- Labat F., 2021. Le macrobenthos du bassin de la Dordogne. 6ème note : la rivière Dordogne et quelques affluents, Diptères aquatiques et semi-aquatiques (à l'exclusion des Chironomidae et Ceratopogonidae) [Diptera]. *Ephemera* **22**(2) : 95-112.
- Lambs L., 2004. Interactions between groundwater and surface water at river banks and the confluence of rivers. *Journal of Hydrology* **288**(3-4) : 312-326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.10.013>
- Laurent C., Couturié J.-P., Morel J.-M. & Vincent P., 2009. *Beaumont (Puy-de-Dôme): les mémoires de l'eau : hydrogéologie*,

- hydrologie et hydraulique. Beaumont : Mairie de Beaumont.
- Leprêtre A. & Mouillot D., 1999. A comparison of species diversity estimators. *Population Ecology* **41**(2) : 203-215. <https://doi.org/10.1007/s101440050024>
- Van Looy K., Jochems H., Vanacker S. & Lommelen E., 2007. Hydropeaking impact on a riparian ground beetle community. *River Research and Applications* **23** : 223-233. <https://doi.org/10.1002/rra.975>
- Malavoi J. R. & Souchon Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **365/366** : 357-372. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002040>
- Marczak L. B. & Richardson J. S., 2007. Spiders and subsidies: results from the riparian zone of a coastal temperate rainforest. *Journal of Animal Ecology* **76**(4) : 687-694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01240.x>
- Martini S., Larras F., Boyé A., Faure E., Aberle N., Archambault P., Bacouillard L., Beisner B. E., Bittner L., Castella E., Danger M., Gauthier O., Karp-Boss L., Lombard F., Maps F. et al., 2021. Functional trait-based approaches as a common framework for aquatic ecologists. *Limnology and Oceanography* **66**(3) : 965-994. <https://doi.org/10.1002/lno.11655>
- Mathieu-Resuge M., 2022. Fatty acid composition differs between emergent aquatic and terrestrial insects—A detailed single system approach. *Frontiers in Ecology and Evolution* **10** : 952292. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.952292>
- McCravy K. W., 2018. A Review of Sampling and Monitoring Methods for Beneficial Arthropods in Agroecosystems. *Insects* **9**(4) : 170. <https://doi.org/10.3390/insects9040170>
- Montgomery D. R. & Buffington J. M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* **109**(5) : 596-611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0596:CRMIMD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0596:CRMIMD>2.3.CO;2)
- Naiman R. J., Décamps H. & McClain M. E., 2005. *Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities*. Amsterdam : Elsevier, Academic Press, 430 p.
- Naiman R. J., Decamps H. & Pollock M., 1993. The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity. *Ecological Applications* **3**(2) : 209-212. <https://doi.org/10.2307/1941822>
- Omelková M., Syrovátka V., Křoupalová V., Rádková V., Bojková J., Horsák M., Zhai M. & Helešic J., 2013. Dipteran assemblages of spring fens closely follow the gradient of groundwater mineral richness. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**(5) : 689-700. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0026>
- Perla B. S. & Stevens L. E., 2008. *Biodiversity and Productivity at an Undisturbed Spring in Comparison with Adjacent Grazed Riparian and Upland Habitats*. Dans : *Aridland springs in North America: ecology and conservation*. Tucson : University of Arizona Press and The Arizona-Sonora Desert Museum, p. 230-243.
- Piégay H., 1996. Représentation de la biodynamique fluviale : la forêt alluviale de la moyenne Ardèche. *Mappemonde* **3** : 15-22.
- Plachter H., 1986. Die Fauna der Kies- und Schotterbänke dealpiner Flüsse und Empfehlungen für ihren Schutz. *Berichte der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftsplege* **10** : 119-147.
- Plant A., 2004. *Hilara* Meigen (Diptera: Empididae) in Britain: a provisional synopsis of distribution, habitat preferences and behaviour. *Acta Universitatis Carolinae. Biologica* **48** : 165-196.
- Popescu C., Oprina-Pavelescu M., Dinu V., Cazacu C., Burdon F., Forio M., Kupilas B., Friberg N., Goethals P., McKie B. & Rîsnoveanu G., 2021. Riparian Vegetation Structure Influences Terrestrial Invertebrate Communities in an Agricultural Landscape. *Water* **13**(2) : 188. <https://doi.org/10.3390/w13020188>
- Reyes-Maldonado R., Sánchez-Ruiz J. A., Universidad de Puerto Rico, Ramírez A., Universidad de Puerto Rico, Kelly S. P. & Universidad de Puerto Rico., 2018. Comunidades de arañas ribereñas como indicadores de la condición de los ecosistemas fluviales en la cuenca del Río Piedras de Puerto Rico. *Actualidades Biológicas* **39**(107) : 1-23. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v39n107a07>
- Riis T., Kelly-Quinn M., Aguiar F. C., Manolaki P., Bruno D., Bejarano M. D., Clerici N., Fernandes M. R., Franco J. C., Pettit N., Portela A. P., Tammeorg O., Tammeorg P., Rodríguez-González P. M. & Dufour S., 2020. Global Overview of Ecosystem Services Provided by Riparian Vegetation. *BioScience* **70**(6) : 501-514. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa041>
- Rotheray G. E. & Robertson D., 1993. *Insects from Shingle Banks and Riverside Habitats in Strathspey*. Malloch Society, 28 p.
- Schatz I., 2006. Importance of riparian rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) as indicators for restoration processes. *Natur in Tirol - Naturkundliche Beiträge der Abteilung Ulmweltschutz* **13** : 272-292.
- Sienkiewicz P. & Żmihorski M., 2012. The effect of disturbance caused by rivers flooding on ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *European Journal of Entomology* **109**(4) : 535-541. <https://doi.org/10.14411/eje.2012.067>
- Skvarla M., Larson J., Fisher R. & Dowling A., 2020. A Review of Terrestrial and Canopy Malaise Traps. *Annals of the Entomological Society of America* **114** : 1-21. <https://doi.org/10.1093/aesa/saaa044>
- Smith J. & Smith P., 2004. *Ecological Values, Role and Importance of Riparian Vegetation in the Blue Mountains (report to Residents Against Improper Development)*. DOI : [10.13140/RG.2.2.14495.71843](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14495.71843)
- Sprössig C., Dziok F. & Buchholz S., 2022. Changes in carabid diversity indicate successful restoration of riparian habitats. *International Review of Hydrobiology* **107**(1) : 18. <https://doi.org/10.1002/iroh.202102098>
- Statzner B., Bady P., Dolédec S. & Schöli F., 2005. Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology* **50**(12) : 2136-2161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01447.x>
- Thomas A., 1969. Sur l'importance des Diptères dans l'environnement de quelques cours d'eau des Pyrénées. *Annales de Limnologie* **5**(1) : 61-71. <https://doi.org/10.1051/limn/1969002>
- Thorp J. H., Thoms M. C. & DeLong M. D., 2008. *The riverine ecosystem synthesis: toward conceptual cohesiveness in river science*. 1st ed., Amsterdam Boston : Academic Press.
- Tillier P., 2021. Deux espèces de tipules nouvelles pour la France : *Tipula* (*Pterelachisus*) *pseudopruinosa* Strobl, 1895 et *Tipula* (*Pterelachisus*) *luridorostris* Schummel, 1833 (Diptera, Tipulidae). *L'Entomologiste*. **77** : 41-44.
- Tillier P. & Quindroit C., 2022. Découverte en France d'une espèce de Limoniidae supposée endémique de Grande-Bretagne : *Paradelphomyia dalei* (Edwards, 1939) (Diptera). *Bulletin de*

- la Société entomologique de France **127**(1) : 61-64. https://doi.org/10.32475/bsef_2223
- Vaughan N., Jones G. & Harris S., 1997. Habitat Use by Bats (Chiroptera) Assessed by Means of a Broad-Band Acoustic Method. *The Journal of Applied Ecology* **34**(3) : 716-730. <https://doi.org/10.2307/2404918>
- Vebrová L., Van Nieuwenhuijzen A., Kolář V. & Boukal D. S., 2018. Seasonality and weather conditions jointly drive flight activity patterns of aquatic and terrestrial chironomids. *BMC Ecology* **18**(1) : 19. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0175-y>
- Vilks K., 2007. Correspondence Between Larval Development and Adult Residence Habitats of Dolichopodid Flies (Diptera, Empidoidea: Dolichopodidae) in a Heterogeneous Mosaic of Seacoast Grassland Habitats : 10.
- Violle C., Reich P. B., Pacala S. W., Enquist B. J. & Kattge J., 2014. The emergence and promise of functional biogeography. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**(38) : 13690-13696. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415442111>
- Wagner R., Barták M., Borkent A., Courtney G., Goddeeris B., Haenni J.-P., Knutson L., Pont A., Rotheray G. E., Rozkošný R., Sinclair B., Woodley N., Zatwarnicki T. & Zwick P., 2008. *Global diversity of dipteran families (Insecta Diptera) in freshwater (excluding Simuliidae, Culicidae, Chironomidae, Tipulidae and Tabanidae)*. Dans : Balian EV, Lévêque C, Segers H, Martens K. *Freshwater Animal Diversity Assessment*. Dordrecht : Springer Netherlands, p. 489-519. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_49
- Ward J. H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* **58**(301) : 236-244.
- Ward J. V., Tockner K. & Schiemer F., 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity 1. *Regulated Rivers: Research & Management* **15**(1-3) : 125-139. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199901/06\)15:1/3<125::AID-RRR523>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199901/06)15:1/3<125::AID-RRR523>3.0.CO;2-E)
- White P. S., Harrod J., Walker J. L. & Jentsch A., 2000. Disturbance, Scale, and Boundary in Wilderness Management. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-15 2* : 27-42.
- Zina V., Ordeix M., Franco J. C., Ferreira M. T. & Fernandes M. R., 2021. Ants as Bioindicators of Riparian Ecological Health in Catalanian Rivers. *Forests* **12**(5) : 625. <https://doi.org/10.3390/f12050625>
2010. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement : 55.
2018. Arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement : 98.

Diatomées fossiles et actuelles du lac d'Issarlès (Ardèche, France) : premiers enseignements

Anaïs Tahri¹, Aude Beauger¹, Olivier Voldoire¹, Elisabeth Allain¹, Jean-Paul Raynal² & Emmanuelle Defive¹

¹ Université Clermont Auvergne, CNRS, GEOLAB, F-63000 Clermont-Ferrand, France

² Université de Bordeaux I, CNRS, PACEA, UMR 5199, F-33000 Bordeaux, France

Corresponding author Anaïs Tahri - anaïs.tahri@doctorant.uca.fr

Soumis le 18 juillet 2022

Accepté le 9 novembre 2022

Publié le 14 décembre 2022

Résumé

Cette étude préliminaire porte sur la comparaison des flores diatomiques fossiles et actuelles du lac d'Issarlès (commune Le Lac-d'Issarlès, Ardèche) et de son bassin versant. La flore fossile est étudiée dans une carotte sédimentaire de 1,7 m (partie supérieure d'une carotte de 7 m de long prélevée sous 108 m d'eau), extraite en 2020. La flore actuelle est étudiée dans le lac d'Issarlès ainsi que dans divers points du bassin versant du lac : le ruisseau de la Clède et celui du Ravin des Charbonneyres ainsi que les lacs de barrages du Gage et de la Veyradeyre. La tendance observée de bas en haut de la séquence sédimentaire est marquée par la disparition du genre dominant, *Pantocsekiella*, remplacé par de nouvelles espèces comme *Fragilaria crotonensis* et *Asterionella formosa* qui sont favorisées dans les milieux turbulents et riches en nutriments. Ce bouleversement de la flore est corrélé à l'influence des retenues d'eau connectées au lac d'Issarlès, pièce maîtresse du complexe hydroélectrique de Montpezat mis en service en 1954. Un début d'eutrophisation (augmentation des nutriments et de la matière organique fermentescible) est observé dans le lac actuel. L'étude des diatomées des lacs de barrages et des ruisseaux affluents du lac nous permet de supposer une source d'eutrophisation en provenance du bassin versant naturel du lac, mais également du bassin versant étendu et artificialisé par la mise en place du « complexe hydroélectrique de Montpezat ». La similarité chimique observée entre l'eau du lac et l'eau des retenues souligne la potentielle influence de ces dernières sur la qualité des eaux du lac d'Issarlès. Les données de cette étude préliminaire montrent, d'une part, l'impact de l'exploitation de l'aménagement hydroélectrique de Montpezat sur le lac d'Issarlès et, d'autre part, soulignent une potentielle source de pollution dans le bassin versant du lac, à prendre en compte lors de l'élaboration de futurs plans de gestion. Cette étude livre également des données préliminaires sur l'histoire environnementale récente du lac d'Issarlès, jusqu'à ce jour très peu étudiée.

Abstract

This preliminary study focuses on the comparison of the fossil and current diatom communities of Issarlès lake (commune Le Lac-d'Issarlès, Ardèche) and its watershed. The fossil flora is studied in a 1.7 m sediment core (upper part of a 7 m long core), extracted in 2020. The current flora is studied in Issarlès lake and in various points of the watershed of the lake: the stream of the Clède and the stream "Ravin des Charbonneyres", as well as the Gage and Veyradeyre dams. The evolution observed from the bottom to the top of the sedimentary sequence is marked by the disappearance of the dominant genus, *Pantocsekiella*, replaced by new species such as *Fragilaria crotonensis* and *Asterionella formosa* that are favored by turbulent and nutrient-rich environments. This disruption of the flora is correlated to the influence of the water reservoirs connected to Issarlès lake, the centerpiece of the Montpezat hydroelectric complex commissioned in 1954. An onset of eutrophication (increased nutrients and fermentable organic matter) is observed in the current lake. The study of diatoms in the lake's, dams and streams suggests a source of eutrophication from the lake's natural watershed, but also from the extensive and artificialised watershed through the establishment of the hydroelectric complex. The chemical similarity observed between the lake's water and the dam's water highlights the potential influence of the dams on the water quality of Issarlès lake. The data from this preliminary study show the impact of the hydroelectric complex on Issarlès lake and point to a potential source of pollution in the watershed of the lake that will be important to consider if management plans are developed. Finally, this study has also enabled a preliminary knowledge of the actual environmental history of Issarlès lake which was up to now poorly studied.

Mots-clés

Lac
Diatomées
Paléoenvironnement
Eutrophisation
Lac d'Issarlès

Keywords

Lake
Diatoms
Paleoenvironment
Eutrophication
Issarlès lake

Introduction

Nous connaissons depuis plusieurs années une évolution climatique et environnementale impactant considérablement les écosystèmes à toutes les échelles, ce qui entraîne des modifications du fonctionnement et de la structure des milieux. Les lacs péri-alpins français, tels que les lacs d'Annecy ou du Bourget, ont ainsi connu des épisodes d'eutrophisation très importants au siècle dernier, avec une modification de la dynamique et de la production du phytoplancton et une croissance de la prédation du zooplancton (Jacquet et al. 2012). Dans le but de protéger ces écosystèmes, plusieurs plans de gestion et de protection environnementale sont mis en place. Ces derniers sont conçus à partir de la connaissance de l'évolution des milieux à protéger, permettant, à terme, de produire une modélisation de leur devenir. Différents outils et bio-indicateurs sont utilisés afin de reconstituer l'évolution des milieux, notamment les diatomées.

Les diatomées sont des micro-algues apparues au Jurassique et ayant colonisé tous les milieux aquatiques. Ces organismes sont influencés par les facteurs abiotiques de leur habitat comme la composition physico-chimique de l'eau (température, conductivité, etc.). Ces influences permettent d'affilier à chaque espèce de diatomée des préférences écologiques différentes à l'origine des indices de qualité de l'eau (Langlois 2006). Après la mort des diatomées, leur enveloppe siliceuse, nommée frustule, pourra être incorporée à la séquence sédimentaire en cours de constitution. Grâce au cortège diatomique identifié dans les sédiments à une profondeur (donc à une date) donnée et aux caractéristiques écologiques associées, il est possible de reconstituer les caractéristiques du milieu à cette période et d'envisager la question d'un éventuel impact anthropique. Les enseignements tirés de ces études peuvent contribuer à la mise en place de plans de gestion spécifiques (Miras et al. 2013).

Dans le Massif central français, seules quelques études paléoenvironnementales ont porté sur les diatomées fossiles.

Ces différentes études ont permis une connaissance de la flore diatomique et une reconstitution de l'évolution des différents sites étudiés ainsi que la mise en évidence des impacts anthropiques. Tous les types de milieux ont été étudiés, des maars (gisements de diatomites) tel celui de Senèze (Ehrlich 1968) et des milieux tourbeux (Gandouin et al. 2016 ; Serreyssol et al. 2012). Les archives sédimentaires lacustres à taux de sédimentation élevé permettant un enregistrement à haute résolution des changements environnementaux ont fait l'objet d'une attention particulière (Bradley 1999). Dans le Puy-de-Dôme, nous pouvons citer les travaux de Manguin (1954) sur la zone sublittorale du lac Pavin ou encore les études de Gasse (1969) et Stebich et al. (2005) sur des carottes sédimentaires du même lac. En Ardèche, à proximité du lac d'Issarlès, la séquence de la Narce du Béage couvrant les derniers 18 000 ans a livré une abondante flore diatomique (Dendievel et al. 2022). Le lac du Bouchet a été étudié par Paillès (1989) et le lac d'Aydat plus récemment par Beauger et al. (2022). Enfin, Rioual (2000) a étudié des carottes d'une vingtaine de centimètres prélevées à la partie supérieure de la colonne sédimentaire de plusieurs lacs : lac Chauvet, Gour de Tazenat, lac Pavin et lac d'Issarlès.

Le lac d'Issarlès (Fig. 1), situé dans la partie ardéchoise du très haut bassin de la Loire au sud-est du Massif central, est le moins étudié d'entre eux, malgré son fort potentiel (séquence sédimentaire d'une trentaine de mètres révélée par sismique réflexion et partiellement carottée en 2020 ; Chapron et al. 2022 ; Defive et al., accepté). L'étude de ce lac par Coûteaux (1984) a permis une première analyse pollinique à partir d'une tranchée ouverte dans la plage lacustre du cône du ruisseau de la Clède et d'une carotte de boue lacustre de six mètres prélevée en 1982 mais non localisée. Elle a permis de caractériser des phases de végétation du Dryas supérieur jusqu'à l'actuel, mais a révélé plusieurs phases d'effondrements sous-lacustres, d'affaissements et de contamination pollinique actuelle dans des assemblages polliniques plus anciens.

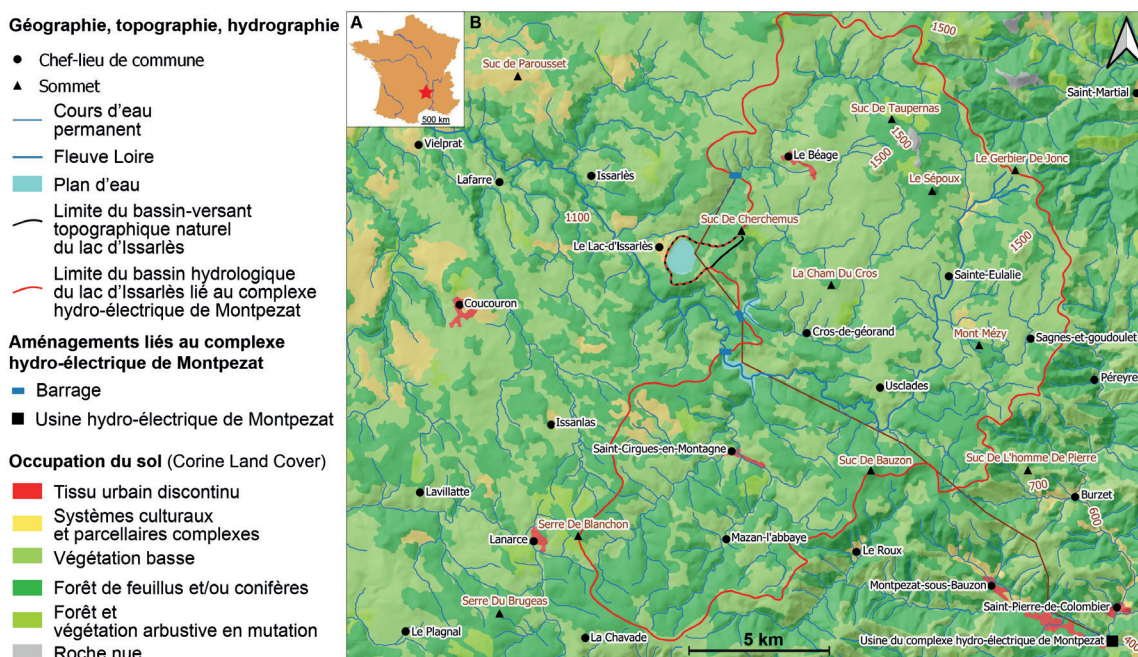


Figure 1 – Localisation du lac d'Issarlès en France (A) et dans le contexte des hauts bassins de la Loire et de l'Ardèche à l'échelle desquels se déploie le complexe de Montpezat (B).

Ce lac maar profond (108 m), aux pentes internes très abruptes, présente ainsi des enregistrements sédimentaires complexes. De plus, c'est un important site touristique estival (baignade principalement). Exploité depuis 1954 par Électricité de France (EDF) pour la production hydroélectrique, il constitue le réservoir principal au sein du « complexe de Montpezat » auquel sont connectés trois barrages construits dans trois vallées voisines et dont les eaux sont injectées dans le lac à plusieurs reprises chaque année. Le lac alimente l'usine de Montpezat, située plus de 600 m en contrebas au sud-est du lac dans le bassin de l'Ardèche, entraînant un abaissement du niveau du lac pouvant atteindre 40 m. Cet abaissement artificiel entraîne des remaniements et des perturbations dans les enregistrements sédimentaires.

Dans ce contexte, la présente étude a pour objectif de comparer la communauté diatomique des sédiments du lac avec la communauté actuellement présente dans la masse d'eau afin de caractériser l'évolution écologique du lac et les facteurs de cette évolution, ce pour quoi nous nous intéressons également à la communauté diatomique actuelle des affluents du lac et des barrages connectés. Cette étude reste néanmoins préliminaire car fondée sur un faible nombre d'échantillons fossiles.

Terrain d'étude et méthodologie

Site d'étude

Le lac d'Issarlès est le lac maar le plus profond de France (108 m). Le maar dont il occupe le cratère, rattaché au volcanisme récent (Pléistocène supérieur) du Bas Vivarais ou « Jeunes volcans d'Ardèche » sur la base de sa position morphostructurale (Mergoïl & Boivin 1993 ; Berger 2007), a fait l'objet en 2020 d'une datation directe par thermoluminescence sur les matériaux du tuff ring (Defive et al., accepté). Il s'est ouvert au sein du socle cristallin du granite migmatitique du Velay, aux confins des provinces volcaniques du Velay oriental (au nord-est, daté du Miocène supérieur) et du Devès (au nord-ouest, d'âge Plio-pléistocène).

Il a perforé un large replat perché 100 à 120 m au-dessus de la zone de confluence des cours d'eau qui l'encadrent à l'ouest (la Loire) et au nord (la Veyraderre).

Le bassin versant topographique du lac est d'extension très réduite (3,4 km² ; Arricau 2020), drainé par les ruisseaux permanents de la Clède et des Charbonneyres au nord-est, et par le ruisseau temporaire du col du Gage au sud-est (Fig. 1). La proximité du versant rhodanien, qui tombe ici abruptement sur les bas pays vivaro-ardéchois, expose ce secteur aux épisodes dits « cévenols », générateurs de ruissellements généralisés et d'écoulements torrentiels à fort pouvoir érosif. Depuis 1954, le fonctionnement hydrologique du lac a été bouleversé par la mise en service du complexe hydroélectrique de Montpezat. Du fait de la connexion avec les barrages construits sur la Veyraderre, le Gage et la Loire en amont du lac, le bassin hydrologique s'est considérablement étendu (plus de 200 km² ; Arricau 2020). Utilisé comme réservoir principal, le lac, auparavant stable autour de 997 m, connaît à plusieurs reprises entre septembre et juin un important marnage (variable, entre 960 et 1001 m) qui provoque une certaine érosion de ses flancs et perturbe son fonctionnement thermique naturel. Les eaux injectées depuis les barrages génèrent une augmentation de la turbidité et de la turbulence de la masse d'eau. Enfin, le lac attire chaque été un important flux de population autour des activités de tourisme et loisirs nautiques (Ingénierie Aménagement du Territoire Environnement IATE 2021).

Prélèvement des échantillons et analyses de la qualité des eaux étudiées

Un carottage a été réalisé en 2020, dans le cadre du programme DAM-2 (MSH 63) par la société ATHOS Environnement dans la partie la plus profonde du lac, à 107,3 m de profondeur, dans la plaine centrale du lac (Fig. 2). Ce carottage a permis de prélever les sept premiers mètres de sédiments, dont le premier tronçon de 1,7 m est présenté ici à travers huit échantillons. La datation de la séquence est en cours.

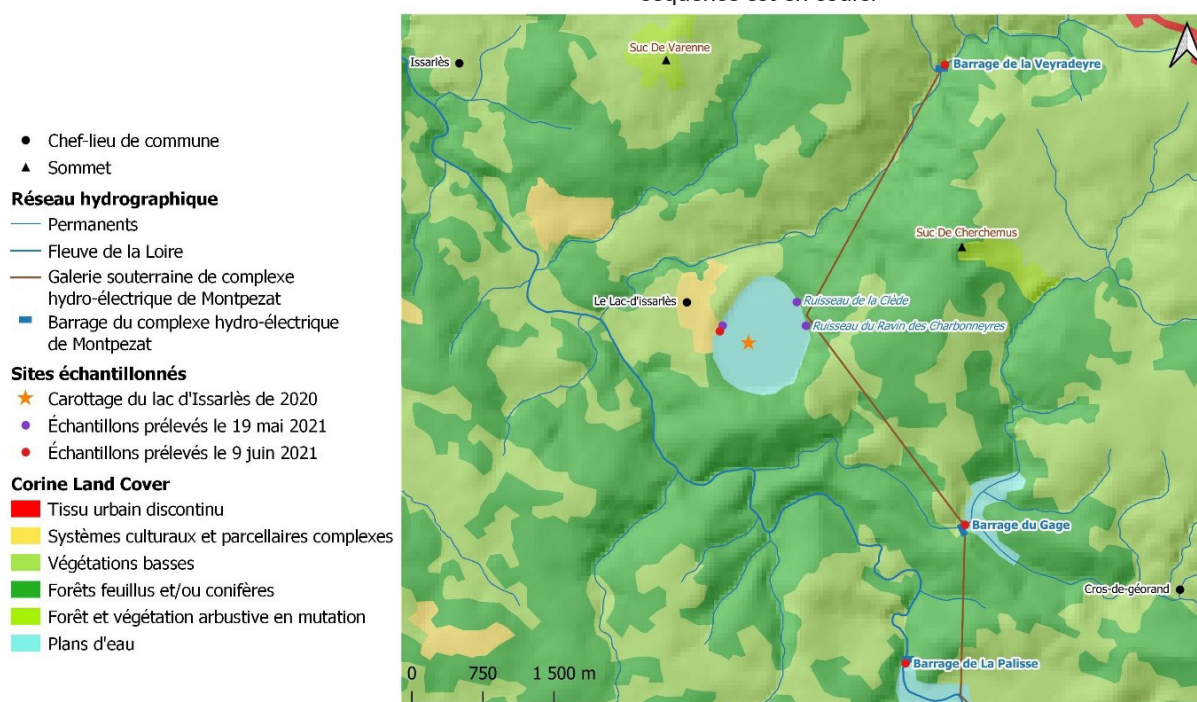


Figure 2 – Localisation des échantillons prélevés pour notre étude au printemps 2021.

Pour identifier la communauté diatomique actuelle, trois litres d'eau du lac ont été récoltés en mai et juin 2021 au niveau de la plage principale, côté ouest. Les diatomées présentes dans les ruisseaux de la Clède et du Ravin des Charbonneyres ont également été prélevées en mai 2021 en brossant les pierres présentes dans les zones courantes. Pour finir, en juin 2021, un litre d'eau a été échantillonné dans chacun des trois barrages connectés au lac d'Issarlès (Fig. 2). En mai, la conductivité, la température de l'eau et le pH ont été mesurés à l'aide d'une multi-sonde WTW Multiline 340i ainsi que l'oxygène dissout à l'aide d'une sonde Ysi ProODO. En juin, les mesures de température et d'oxygène dissout n'ont pu être effectuées. Un échantillon d'eau a été collecté dans tous les sites étudiés afin d'obtenir, en laboratoire, la concentration en ions majeurs à l'aide d'un chromatographe ionique HPLC.

Traitement des échantillons

Échantillons fossiles issus de la carotte

Huit échantillons de 1 cm³ chacun ont été prélevés entre 0 cm et 1,70 m dans la carotte et mis à sécher à 50 °C pendant 24 heures dans une étuve. Ensuite, de l'eau oxygénée (H₂O₂, 35 %) a été ajoutée pendant cinq jours afin de détruire toute matière organique présente dans les échantillons (Remadji 2019). Les échantillons ont ensuite été rincés trois fois à l'eau déminéralisée en éliminant le surnageant (Rioual 2000). Pour finir, une goutte du mélange final a été prélevée et déposée sur une lamelle et mise à sécher. Le montage final entre lame et lamelle a été effectué à l'aide d'une résine (Naphrax, indice de réflexion de 1,7).

Échantillons actuels

Après une journée de repos, le surnageant des échantillons d'eau du lac et des barrages a été éliminé. Ces échantillons, et ceux de diatomées épilithiques prélevés dans les ruisseaux, ont été remis en suspension afin de prélever 2 mL traités à l'eau oxygénée. Les phases de rinçage ainsi que le montage entre lame et lamelle sont identiques à celles des échantillons fossiles.

Les échantillons d'eau prélevés afin de mesurer les concentrations en ions majeurs dans les différents sites ont été filtrés sur des filtres Whatman GF/F de 47 mm de diamètre. Les échantillons filtrés ont ensuite été analysés dans les 24 h suivant le prélèvement à l'aide d'un chromatographe ionique : Dionex ICS 1100 pour les cations et Thermo Scientific Dionex Aquion pour les anions. Ce protocole permet de déterminer la concentration (en mg.L⁻¹) des ions suivants : lithium, sodium, ammonium, potassium, magnésium, calcium, fluorure, chlorure, nitrite, bromure, nitrate, phosphate, sulfate. Les ions hydrogénocarbonates sont titrés en laboratoire avec un kit de mesure d'alcalinité Hach.

Comptage et identification des diatomées

Chaque lame obtenue pour chaque échantillon a été analysée au microscope LEICA DM2700M à l'objectif x 100 à immersion. Pour chaque échantillon, conformément aux prescriptions classiques (Serieyssol & Cubizolle 2011), 300 à 400 valves de diatomées ont été comptées. Dans les échantillons fossiles, les valves cassées dont plus de la moitié est conservée sont comptées

comme un individu. Pour les échantillons actuels, seules les valves entières sont comptabilisées. L'identification des espèces a été réalisée par référence à Krammer & Lange-Bertalot (1997a, 1997b, 2000a, 2000b, 2004), Lange-Bertalot (2001), Krammer (2000, 2002, 2003), Houk et al. (2010), Coste & Rosebery (2011), Bey & Ector (2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), Lange-Bertalot et al. (2011, 2017), Levkov et al. (2016), Peeters & Ector (2017, 2018, 2019).

Traitements statistiques et analyses

Les diagrammes stratigraphiques ont été construits avec le logiciel C2 version 1.7.7 (Juggins 2014) pour les échantillons fossiles. Un cluster a été réalisé à partir de la matrice de distance de Bray-Curtis obtenue avec une analyse CONISS (constrained cluster analysis by sum-of-squares) dans le package rioja de R (Juggins 2009) (logiciel R-studio version 1.3.1093 [R Development Core Team 2006]). Les histogrammes concernant les échantillons actuels ont été réalisés avec le logiciel Excel. Ces figures permettent de visualiser la communauté diatomique des différents échantillons. Seules les diatomées dominantes, c'est-à-dire ayant une abondance relative supérieure à 1 % dans au moins un échantillon, apparaissent dans ces figures. Des diagrammes stratigraphiques et histogrammes relatifs aux traits écologiques des échantillons ont également été réalisés. Les pourcentages des modalités des traits auto-écologiques des diatomées (état trophique, saprobie et pH) (Van Dam et al. 1994) ont été calculés à l'aide du logiciel OMNIDIA 6.0.8 (Lecointe et al. 1993). Les traits écologiques de certaines espèces n'étant pas référencés dans le logiciel, la consultation de la bibliographie a été nécessaire (Tab. 1).

Tableau 1 – Écologie associée à certaines des espèces identifiées lors de notre étude.

Espèces	Écologie associée	Références bibliographiques
<i>Pantocsekiella comensis</i>	Espèce oligo-mésotrophe	Rioual 2000 et Voigt et al. 2008
<i>Pantocsekiella kuetzingiana</i>	Espèce oligo-mésotrophe et β-mésosaprobe	Barinova 2021
<i>Pantocsekiella minuscula</i>	Espèce oligotrophe	Zhang et al. 2015

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide d'XLSTAT 2020.3.1 (Addinsoft 2022). Cette analyse a permis de déterminer les variables physico-chimiques influençant le plus les différents sites échantillonnés en mai et juin 2021. Pour finir, un test de contingence a été réalisé avec le logiciel R-studio, entre les échantillons du lac prélevés en mai et juin et l'échantillon fossile prélevé entre 0 et 1 cm, afin de comparer la structuration de leurs communautés diatomiques. Cette comparaison de distribution a été réalisée avec les espèces ayant une abondance relative supérieure à 5 %.

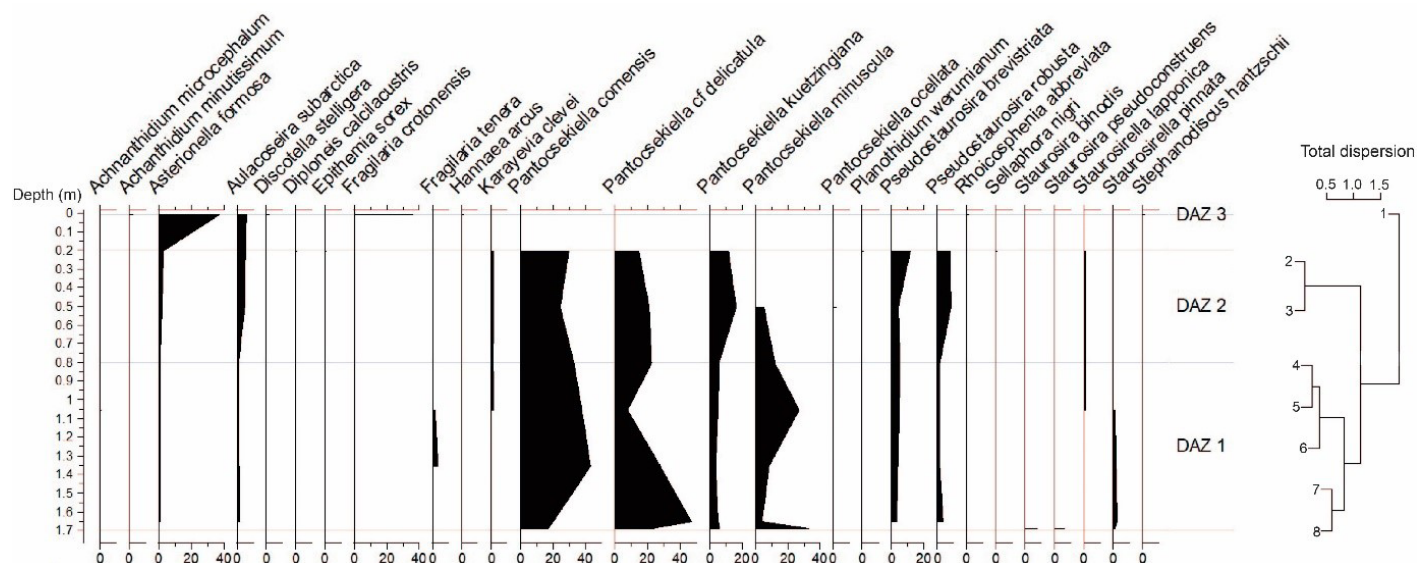


Figure 3 – Diagramme stratigraphique des espèces dominantes (abondance relative > 1 %) dans la carotte sédimentaire du lac d'Issarlès en fonction de la profondeur (en mètres).

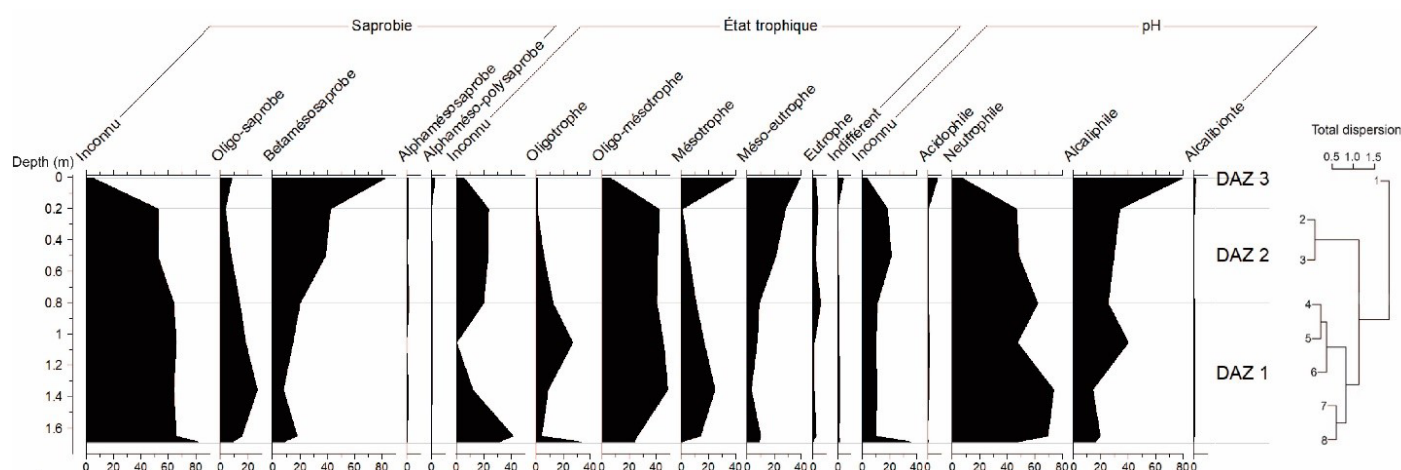


Figure 4 – Diagramme stratigraphique des traits écologiques, selon Van Dam *et al.* (1994), dans la carotte sédimentaire du lac d'Issarlès en fonction de la profondeur (en mètres).

Résultats

Étude de la carotte sédimentaire

153 espèces ont été identifiées dans les huit échantillons, dont 26 sont dominantes ($> 1\%$) (Fig. 3). Grâce au cluster réalisé, trois zones d'assemblages diatomiques (DAZ) ont été identifiées selon la composition de la communauté diatomique (Fig. 3).

Dans la DAZ 1, le genre *Pantocsekiella* domine. Nous observons une alternance de dominance entre *Pantocsekiella comensis* et *Pantocsekiella* cf *delicatula* (Hustedt) K.T. Kiss et Ács. Sont également observés des pics de dominance de *Pantocsekiella minuscula* (Fig. 3). Cette zone est dominée par des espèces oligo-mésotrophes (milieu avec peu de nutriments), neutrophiles et oligo-saprobies (milieu avec peu de matière organique fermentescibles) (Fig. 4).

La DAZ 2 est toujours dominée par *P. comensis* et *P. cf. delicatula*. Nous notons une diminution puis une disparition de *P. minuscula* ainsi qu'une augmentation de *Pantocsekiella kuetzingiana* (Fig. 3). Les espèces oligo-mésotrophes, neutrophiles et β -mésosaprobies (milieu avec une pollution modérée en matière organique) sont présentes (Fig. 4).

La dernière zone, DAZ 3, composée d'un seul échantillon, est caractérisée par un changement total. Le genre *Pantocsekiella* disparaît, remplacé notamment par *Asterionella formosa* Hassall (37 %) et *Fragilaria crotonensis* Kitton (36 %). Cette zone contient également cinq autres espèces dont *Discotella stelligera* (Cleve et Grun.) Houk & Klee et *Stephanodiscus hantzschii* Grunow in Cleve & Grunow (Fig. 3). Cet échantillon est dominé par des espèces mésotrophes et méso-eutrophes (milieu moyennement pollué en nutriments), alcaliphiles et β -mésosaprobies (Fig. 4).

Tableau 2 – Concentration des anions et cations en mg.L^{-1} , conductivité en $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et pH mesurés sur les sites d'études.

	Lac d'Issarlès (mai)	Lac d'Issarlès (juin)	Ruisseau de la Clède	Ruisseau du Ravin des Charbonneyres	Retenue de La Palisse	Retenue du Gage	Retenue de la Veyradeyre
Na^+	2,13	2,54	1,96	2,56	3,37	3,13	3,93
NH_4^+	$7,10^{-3}$	0,06	0,01	$8,10^{-3}$	0,03	$9,10^{-3}$	0,02
K^+	0,55	0,92	0,32	0,2	0,77	0,65	0,95
Mg^{2+}	0,73	1,07	1,3	0,78	0,86	1,79	1,95
Ca^{2+}	2	3,04	2,22	1,46	2,53	4,1	6,01
F^-	0,13	0,03	0,05	0,08	0,16	0,06	0,06
Cl^-	3,29	2,96	1,52	2,5	3,06	2,5	3,34
NO_2^-	0,01	0,01	$8,10^{-3}$	0,01	0,01	0,01	0,01
NO_3^-	1,75	1,25	0,63	0,8	0,69	0,57	1,23
PO_4^{3-}	0,04	0,04	0,02	0,14	0,04	0,03	0,05
SO_4^{2-}	2,05	2,08	2,42	2,62	2,09	1,89	2,37
HCO_3^-	6,6	11,8	11	5,6	13	25	26
Conductivité	42	43	46	37	40	52	70
pH	7,5	8,31	7,72	7,38	7,58	7,47	7,16

Étude des eaux actuelles du lac d'Issarlès et de son bassin versant

Qualité physico-chimique des eaux

Les différentes mesures physico-chimiques *in situ* et *ex situ* montrent des eaux avec une faible conductivité, avec un maximum atteint à $70 \mu\text{S.cm}^{-1}$ dans la retenue de la Veyradeyre (Tab. 2). Toutes les eaux analysées ont un pH neutre à légèrement basique, notamment pour le lac d'Issarlès et le ruisseau de la Clède. Seuls le lac d'Issarlès (mai et juin) et la retenue de la Veyradeyre ont une concentration en nitrates supérieure à 1 mg.L^{-1} .

L'ACP réalisée avec les données physico-chimiques des différents échantillons est caractérisée par une variance totale de 65,44 % (axe 1 : 42,09 % et axe 2 : 23,35 %) (Fig. 5). Cette ACP met en évidence trois groupes : **1)** le lac d'Issarlès (mai et juin) et la retenue de La Palisse sur la Loire, caractérisés par des valeurs élevées en Fluor F^- , en nitrate NO_3^- et un pH supérieur à 7,5 ; **2)** les retenues du Gage et de la Veyradeyre, caractérisés par des eaux à concentration élevée en sodium Na^+ , calcium Ca^{2+} , bicarbonate HCO_3^- , magnésium Mg^{2+} ainsi que par une conductivité de $52 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (Gage) et $70 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (Veyradeyre) ; **3)** les ruisseaux de la Clède et du Ravin des Charbonneyres, caractérisés surtout par des valeurs élevées en phosphates PO_4^{3-} et en sulfates SO_4^{2-} .

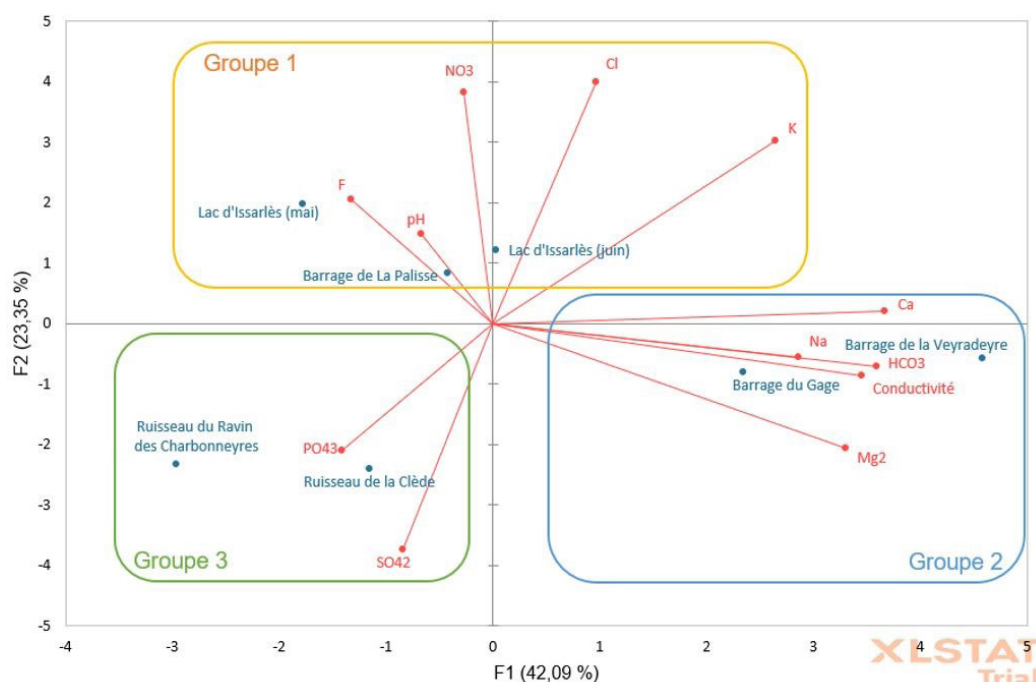


Figure 5 – Analyse en composantes principales des caractères physico-chimiques des eaux du lac d'Issarlès, des retenues (Loire, Veyradeyre et Gage) et des ruisseaux de la Clède et du Ravin des Charbonneyres.

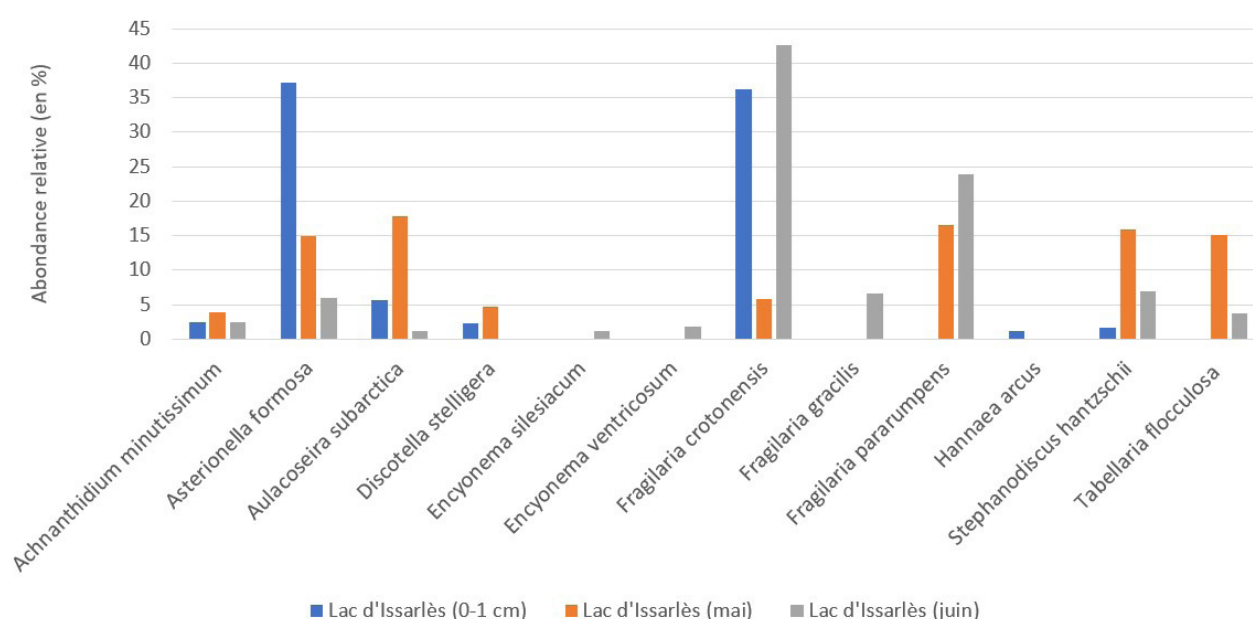


Figure 6 – Histogramme des espèces dominantes (abondance relative > 1 %) dans le lac d'Issarlès (0-1 cm, mai et juin 2021).

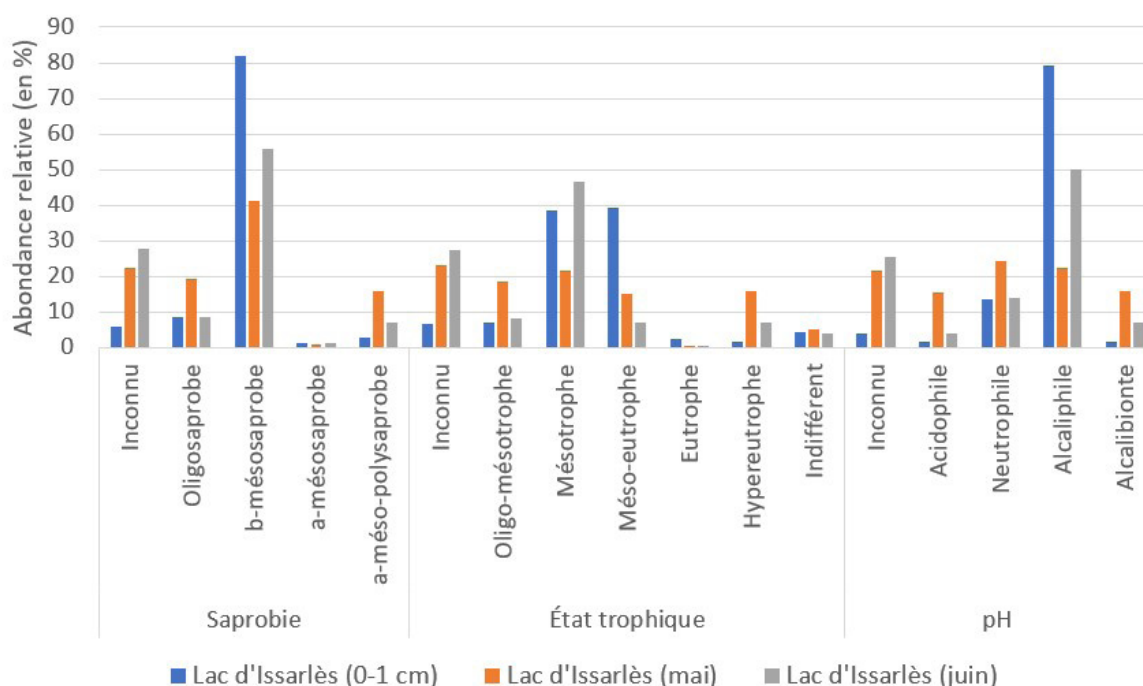


Figure 7 – Histogramme des traits écologiques associés à la communauté diatomique du lac d'Issarlès (0-1 cm, mai et juin 2021).

L'eau du lac d'Issarlès : communauté diatomique et écologie associée

La communauté diatomique du lac d'Issarlès diffère entre le mois de mai et le mois de juin (Fig. 6). Le lac est dominé en mai par *Aulacoseira subarctica* (O. Muller) Haworth (15 %) et *Fragilaria pararumpens* Lange-Bertalot, Hofmann & Werum (17 %), *Stephanodiscus hantzschii* (16 %) et *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing (15 %). En juin, ce sont *Fragilaria crotonensis* (42 %) et *Fragilaria pararumpens* (23 %) qui dominent le lac. Une espèce dominante similaire à l'échantillon fossile le plus récent (0-1cm) est observée au mois de juin : *F. crotonensis*.

Malgré des espèces dominantes différentes, le lac possède une saprobie et un état trophique relativement stable dans les classes β -mésosaprobe et mésotrophe (Fig. 7). Le mois de mai est principalement caractérisé par la présence d'espèces neutrophiles, et le mois de juin d'espèces alcaliphiles. L'échantillon possède des traits écologiques relativement similaires avec néanmoins, des abondances différentes.

Le test du khi2 réalisé entre les échantillons actuels (mai et juin 2021) et fossile (0-1cm) du lac d'Issarlès montre une différence significative dans la structuration de leur communauté diatomique (X-squared 490,78 et df = 16, p-value < $2,2 \cdot 10^{-16}$).

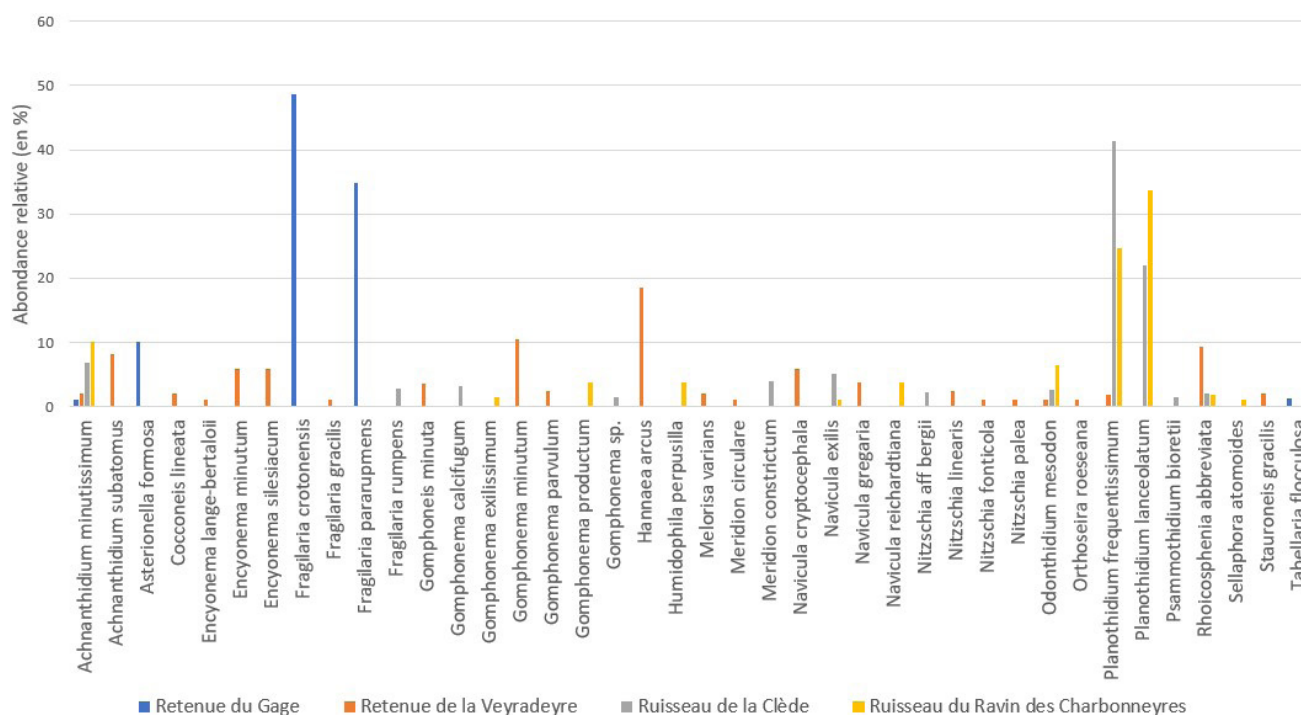


Figure 8 – Histogramme des espèces dominantes (abondance relative > 1 %) dans les barrages et les ruisseaux.

Communauté diatomique et écologie associée dans l'eau des retenues et des ruisseaux

L'échantillon prélevé dans la retenue de la Loire à La Palisse n'a pas pu être utilisé car il était stérile (probable problème de prélèvement). Concernant l'eau des deux autres retenues, celle du Gage est dominée par *Fragilaria crotonensis* et *Fragilaria pararumpens* avec une abondance relative de respectivement 48 % et 34 % (Fig. 8). La retenue de la Veyradeyre est dominée par les espèces *Hannaea arcus* (Ehr.) R.M. Patrick in Patrick & Reimer (8 %) et *Gomphonema minutum* (C.Agardh) (11 %). Les espèces dominantes dans les retenues du Gage et de la Veyradeyre permettent de qualifier ces sites de β -mésosaprobe (Fig. 9). La retenue du Gage est dominée par des espèces mésotrophes et la retenue de la Veyradeyre par des espèces eutrophes (milieux riches en nutriments).

Les espèces dominantes dans les ruisseaux de la Clède et du Ravin des Charbonneyres sont *Planorthis frequentissimum* (espèce principale pour la Clède avec 41 %) et *Planorthis lanceolatum*, (dominante dans le Ravin des Charbonneyres avec 33 %) (Fig. 8). La communauté diatomique présente dans ces ruisseaux permet de qualifier ces milieux d'eutrophes. Le ruisseau de la Clède est caractérisé par une eau α -mésosaprobe – polysaprobe (milieux riches en matière organique fermentescible), et le ruisseau du Ravin des Charbonneyres est qualifié de α -mésosaprobe (Fig. 9).

Une comparaison taxonomique a été réalisée afin d'identifier les espèces de diatomées communes entre le lac d'Issarlès et les autres sites étudiés (Tab.3). Les retenues de la Veyradeyre et du Gage ont le plus d'espèces en commun avec le lac d'Issarlès, respectivement 11 et 8 espèces, contre 3 espèces en commun entre le lac et le ruisseau de la Clède et, 6 espèces entre le lac et le ruisseau du Ravin des Charbonneyres.

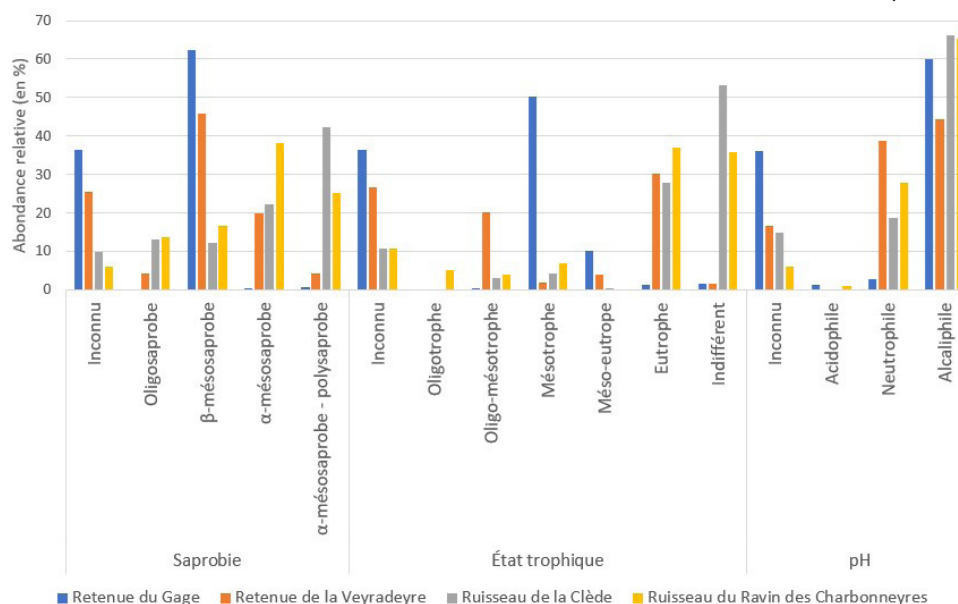


Figure 9 – Histogramme des traits écologiques associés à la communauté diatomique des barrages et des ruisseaux.

Tableau 3 – Similarité taxonomique entre les différents sites étudiés.

Espèces communes entre les sites	Lac d'Issarlès	Retenue du Gage	Retenue de la Veyradeyre	Ruisseau de la Clède	Ruisseau du Ravin des Charbonneyres
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	X	X	X	X	X
<i>Achnanthydium subatomus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	X		X		
<i>Asterionella formosa</i>	X	X			
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	X		X		X
<i>Encyonema minutum</i>	X	X	X		X
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G.Mann	X	X	X		
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow	X		X		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	X			
<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup	X		X		
<i>Fragilaria pararumpens</i>	X	X			
<i>Gomphonema productum</i> (Grunow) Lange-Bertalot & E.Reichardt	X				X
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	X	X	X		
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot	X				X
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	X		X		
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	X		X		
<i>Psammothidium bioretii</i> (H.Germain) Bukhtiyarova & Round	X		X	X	
<i>Tabellaria flocculosa</i>	X	X		X	X

Discussion

Le lac d'Issarlès dans le passé : les diatomées présentes dans la colonne sédimentaire du lac d'Issarlès

DAZ 1 : échantillons prélevés de 1,69 m à 0,805 m de profondeur

La présence des espèces du genre *Pantocsekiella* permet de définir le lac comme un milieu stable, avec peu de perturbations au sommet de la colonne d'eau et la mise en place d'une stratification thermique en période estivale (Voigt et al. 2008). En nous référant aux caractéristiques écologiques de *P. delicatula*, nous pouvons déduire que, lorsque *P. cf delicatula* a dominé, les températures du lac ont augmenté (Alexson et al. 2019). Cette zone est caractérisée par la dominance ponctuelle de *P. minuscula*. La présence de cette espèce a été mise en lien, dans le lac Ohrid, avec l'apport de sédiments clastiques augmentant la concentration en phosphore (Zhang et al. 2015). Cet apport de sédiments peut être causé par l'érosion des sols du bassin versant, en lien avec les activités humaines (défrichements par exemple), ou avec des événements climatiques à forte incidence morphogène (précipitations de forte intensité liées aux orages d'été ou aux événements cévenols). La présence de *P. comensis* dans toute la zone montre que le rapport silice/phosphore (Si/P) est faible (Voigt et al. 2018), ce qui peut être expliqué d'une part, par l'apport de phosphore, comme en témoigne la présence de *P. minuscula*, et, d'autre part, par une faible entrée de silice dans le lac, en lien avec de faibles précipitations hivernales (Voigt et al. 2008).

Cette zone est composée d'espèces vivant dans des milieux oligo-mésotrophes, oligo-saprobies et neutres (Fig. 4). Par conséquent, le lac était un milieu pauvre en nutriments et en matière organique fermentescible et un pH avoisinant 7 (Lavoie et al. 2008).

DAZ 2 : échantillons prélevés de 0,505 m à 0,205 m de profondeur

Cette zone est dominée par *P. comensis* accompagnée d'une augmentation de *P. kuetzingiana* (Fig. 3). Cette dernière, en plus d'apprécier les milieux β -mésosaprobies, est associée à une perturbation anthropique des bassins versants (phénomène observé en Suède) provoquant l'alcalinisation des eaux (Saros & Anderson 2014). Néanmoins, malgré un probable apport de sédiments provenant du bassin versant, l'abondance de *P. minuscula* reste faible (Fig. 3). De ce fait, certaines conditions ont dû rendre le lac défavorable à l'augmentation de *P. minuscula*, comme par exemple une stratification moins importante des eaux du lac. Cette stratification moins importante peut être due à une diminution des températures ou encore à la fréquence de vents intenses (Zhang et al. 2015). L'hypothèse d'une stratification moins importante, et donc d'un lac moins calme, peut être validée par la diminution en abondance de *P. comensis* par comparaison avec la DAZ 3 et par une augmentation d'*A. subarctica*, une espèce appréciant les milieux turbulents (Rioual 2000) (Fig. 3). L'échantillon prélevé à 0,205 m de profondeur est caractérisé par une diminution de l'abondance de *P. cf delicatula* (Fig. 3) et par l'apparition de plusieurs espèces nouvelles : *Diploneis calcilacustris* Lange-Bertalot et *A. Fuhrmann*, une espèce observée dans des

lacs riches en carbonates (Lange-Bertalot & Fuhrmann 2016) et *Planorbulina mediterranensis* Lange-Bertalot et Băk, une espèce vivant dans des milieux eutrophes et β -mésosaprobe (Băk & Lange-Bertalot 2014) (Fig. 3). Nous pouvons donc supposer que l'apport en éléments nutritifs entraîne une diminution de l'abondance de *P. cf. delicatula* dans le lac. Selon les données de Rioual (2000), le lac aurait un taux d'accumulation de sédiments de l'ordre de 0,6 mm par an et la fin de la zone daterait donc de 300 ans environ. Pour cette zone, le lac est qualifié de β -mésosaprobe et oligo-mésotrophe à pH neutre (Fig. 4).

DAZ 3 : échantillon prélevé à 0,01 m de profondeur

Cette zone est composée d'un seul échantillon, de composition diatomique totalement différente de celle des autres zones comme l'illustre le cluster (Fig. 3). Cette différence s'exprime notamment par la disparition du genre *Pantocsekiella*, qui suggère que le lac ne peut plus alors être considéré comme un milieu calme et stratifié thermiquement (Voigt et al. 2008). Cet échantillon est codominé par *F. crotonensis* qui est généralement favorisée par une instabilité du milieu (Rioual 2000) ; sa présence dans les Grands Lacs d'Amérique du Nord a été associée à une augmentation artificielle du phosphore entraînant une eutrophisation (Reavie & Cai 2019) (Fig. 3). La codominance d'*A. formosa* dans cette zone peut être expliquée par deux facteurs : une augmentation des nutriments dans le lac et/ou les effets du réchauffement climatique, entraînant notamment une diminution de la période avec couverture de glace (Sivarajah et al. 2016) (Fig. 3). Ces deux espèces ont également été observées dans des lacs oligotrophes de l'ouest des États-Unis, où l'augmentation de leur abondance relative est en corrélation avec l'augmentation de l'azote (Saros et al. 2011). De plus, *A. formosa* et *F. crotonensis* ont été identifiées dans la retenue de Pareloup (Aveyron) utilisée depuis les années 1950 pour la production d'électricité (Rhodes & Le Cohu 1987).

La prédominance de ces deux espèces dans les eaux du lac d'Issarlès témoignerait donc ici de l'influence du fonctionnement du complexe de Montpezat sur l'écologie du lac. Cette zone est également caractérisée par la présence de *Discotella stelligera* positivement corrélée à l'augmentation de la concentration en nitrates dans le milieu (Saros & Anderson 2014) (Fig. 3). Le lac a donc connu une augmentation des nutriments par rapport à DAZ 3, peut être causée par l'artificialisation du régime du lac depuis 1954. En effet, selon Rioual (2000), à 1 cm de profondeur les diatomées préservées dateraient de 16 ans. De ce fait, le changement observé dans cette zone serait bien causé par l'exploitation hydroélectrique, notamment du fait des injections d'eau entraînant un brassage profond dans le lac et une bonne disponibilité des nutriments dans toute la colonne d'eau. Les traits écologiques associés aux espèces identifiées témoignent, pour cette période, d'un lac méso-eutrophe, β -mésosaprobe et alcalin (Fig. 4). Par conséquent, en plus d'un accroissement des nutriments, le lac a également vu augmenter la quantité de matière organique fermentescible et le pH.

Malgré la proximité géographique entre les deux sites, nos données diatomiques diffèrent de celles produites à la Narce du Béage (Dendievel et al. 2022). Ceci peut résulter de conditions stationnelles différentes mais plus probablement de l'âge plus ancien de la séquence de la Narce.

Le lac d'Issarlès aujourd'hui, son bassin versant et les retenues associées

Caractéristiques physico-chimiques des eaux actuelles du lac d'Issarlès, des ruisseaux et des retenues

L'ACP réalisée sur les échantillons actuels permet de visualiser une proximité physico-chimique entre le lac et les retenues, notamment avec la retenue de La Palisse sur la Loire (Fig. 5). Il est possible de penser que l'eau injectée depuis les retenues influence la chimie du lac. Néanmoins, pour confirmer cette hypothèse, il serait nécessaire de connaître la chimie du lac avant la mise en service du complexe hydroélectrique de Montpezat. Aucune similitude chimique n'est observée entre les ruisseaux et le lac, ce qui témoigne sans doute de l'impact négligeable sur le lac de ces ruisseaux à faible débit.

Les concentrations ioniques mesurées sur les sites d'étude respectent les normes des eaux naturelles (Rodier et al. 1996). Ainsi, aucun site étudié n'est impacté d'un point de vue chimique. Une étude sur la qualité de l'eau du lac d'Issarlès effectuée selon les directives 2006/7/CE (IATE 2021) indique que la qualité microbiologique et piscicole du lac est « excellente » et la qualité écologique « bonne », confirmant les résultats chimiques obtenus. Ce rapport souligne la nécessité de connaître la qualité de l'eau des retenues connectées au lac d'Issarlès pour pouvoir évaluer leur influence sur ce dernier. D'après nos mesures, l'eau des retenues de la Loire et du Gage ont une qualité écologique qualifiée de « bonne » et de « très bonne » pour l'eau de la retenue de la Veyradeyre. Les affluents naturels du lac (ruisseaux de la Clède et du Ravin des Charbonneyres) sont considérés comme n'étant pas une source de pollution possible, car, comme indiqué plus haut, leur débit est trop faible en comparaison du volume d'eau du lac.

Les diatomées dans le lac d'Issarlès

La structuration des communautés diatomiques des eaux du lac d'Issarlès diffère significativement entre les mois de mai et juin 2021 (p-value < 0,05) (Fig. 6). Cette différence est marquée par le changement d'abondance relative des espèces, par exemple *F. crotonensis*, qui peut résulter du fonctionnement du complexe hydroélectrique. En effet, une semaine avant les prélèvements du mois de juin, de l'eau provenant de la retenue de la Veyradeyre a été injectée dans le lac. Cet apport a été favorable à la prolifération de *F. crotonensis*, espèce appréciant les turbulences (Rioual 2000).

D'après les diatomées présentes dans le lac, ce dernier peut être qualifié de mésotrophe. Néanmoins, la communauté diatomique identifiée est également composée d'espèces associées à des conditions hyper-eutrophes (e.g. *S. hantzschii*), méso-eutrophes (e.g. *Achnanthes subatomus* (Hustedt) Lange-Bertalot ou encore oligo-mésotrophes (e.g. *Encyonema ventricosum*) (Bey & Ector 2013a, 2013e). On constate donc la cohabitation de communautés de diatomées vivant normalement dans des eaux caractérisées par des états trophiques différents. Cette situation rappelle celle du lac Pavin, où elle est interprétée comme indicatrice d'un début d'eutrophisation (Gasse 1969). À cela s'ajoute la présence dans les eaux du lac d'Issarlès d'*A. formosa*,

espèce considérée, dans le cas de la retenue de Pareloup, comme épuratrice du phosphore (Salençon & Thébault 1994). La présence de cette dernière pourrait potentiellement expliquer la présence d'espèces proliférant dans des milieux à état trophique différent.

Ce faisceau d'indices tendrait donc à montrer que le lac d'Issarlès serait en phase d'eutrophisation, ce qui diffère des conclusions du rapport d'IATE (2021) et de nos données d'analyses chimiques montrant un lac d'une bonne qualité écologique et chimique. La question de l'influence des retenues à travers les injections d'eau dans le lac d'Issarlès se pose donc pour expliquer ce début d'eutrophisation. Cette potentielle influence a déjà été mise en avant par Rioual (2000) avec la diminution de *Pantocsekiella* et l'augmentation des espèces *A. formosa* et *A. subarctica*. La communauté diatomique nous permet de qualifier le lac d' α -mésosaprobe en mai et β -mésosaprobe en juin, en lien avec une diminution de la quantité de matière organique fermentescible entre les deux dates. Enfin, les eaux actuelles du lac sont considérées comme alcalines (Fig. 7).

Les diatomées dans les ruisseaux et les barrages

Dans les deux ruisseaux étudiés, *P. lanceolatum* domine ; c'est une espèce tolérante à tous les états trophiques, pouvant se maintenir jusqu'à des conditions β -mésosaprobies, et qui tolère les milieux jusqu'à la transition α -mésosaprobe - polysaprobe (Lange-Bertalot et al. 2017) (Fig. 8). Les ruisseaux ont potentiellement une charge en matière organique importante (Lavoie et al. 2008). Le couplage de ces trois indicateurs permet de qualifier le ruisseau du Ravin des Charbonneyres d' α -mésosaprobe, eutrophe et alcalin et le ruisseau de la Clède d' α -mésosaprobe-polysaprobe, eutrophe et alcalin (Fig. 9). Ces ruisseaux sont ainsi caractérisés par une richesse en nutriments et en matière organique fermentescible. La richesse nutritive des affluents naturels du lac d'Issarlès nous permet de supposer qu'une source potentielle d'enrichissement se situe dans le bassin versant topographique naturel du lac.

Concernant les barrages, celui du Gage contient une eau correspondant à un milieu mésotrophe, β -mésosaprobe et alcalin. L'eau du barrage sur la Veyradeyre correspond à un milieu eutrophe, β -mésosaprobe et alcalin. Les deux barrages possèdent donc des eaux riches en nutriments et bien oxygénées. Nous observons ainsi une pollution par la matière organique beaucoup plus importante dans les ruisseaux que dans les retenues. Le risque d'une pollution par la matière organique proviendrait donc principalement du bassin versant topographique naturel du lac. Le risque d'un enrichissement en nutriments peut provenir du bassin versant topographique naturel du lac mais également de son bassin versant hydrologique artificialisé à travers les lacs de barrage connectés au lac d'Issarlès.

La proximité taxonomique observée entre le lac d'Issarlès et les eaux des retenues montre que ces dernières, en plus d'avoir une influence chimique, auraient également une influence sur la communauté diatomique du lac en y apportant leur propre communauté. En revanche, les ruisseaux n'auraient qu'un faible impact sur la composition diatomique du lac (Fig. 10).

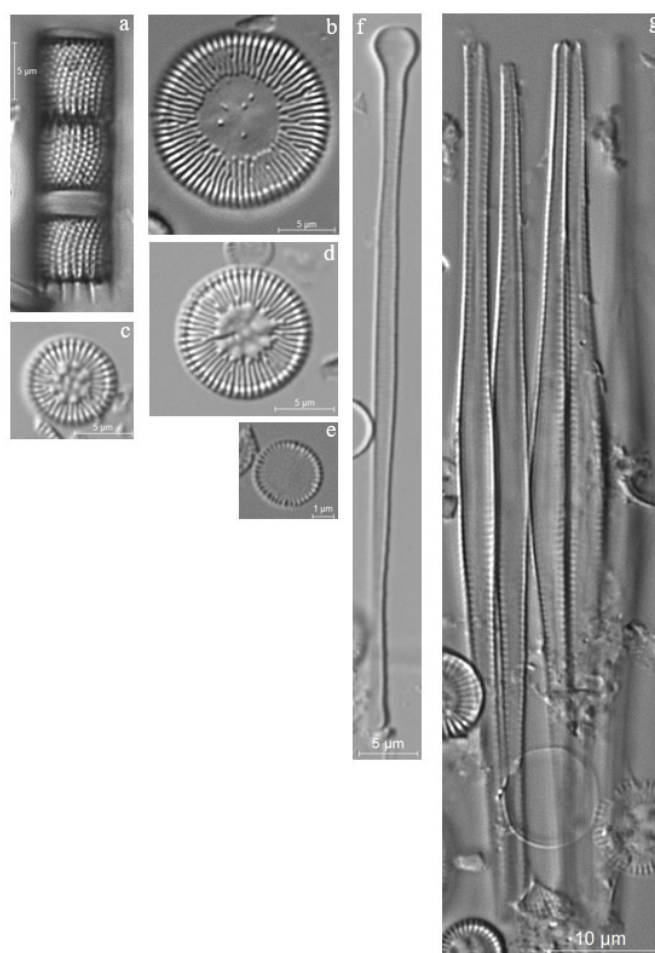


Figure 10 – Observations au microscope optique de (a) *Aulacoseira subarctica* ; (b) *Pantocsekiella kuetzingiana* ; (c) *Pantocsekiella comensis* ; (d) *Pantocsekiella* cf. *delicatula* ; (e) *Pantocsekiella minuscula* ; (f) *Asterionella formosa* ; (g) *Fragilaria crotonensis*.

Conclusion

L'étude des communautés diatomiques de la séquence sédimentaire du lac d'Issarlès a permis, sur la base d'un premier échantillonnage à faible résolution (8 échantillons pour 1,7 m de profondeur), de mettre en évidence un certain nombre de changements environnementaux qui demandent à être précisés et calés dans le temps. Nous avons observé de 0,205 m à 1,69 m de profondeur une dominance du genre *Pantocsekiella* indiquant que le lac était alors un milieu calme et stratifié. Nous avons identifié dans certains échantillons des indices d'érosion qui pourraient témoigner d'un impact anthropique sur le bassin versant topographique naturel du lac.

Cette étude a également permis de mettre en évidence, à la suite de Rioual (2000), l'influence des retenues connectées au lac d'Issarlès sur la communauté diatomique du lac. L'injection d'eau dans le lac depuis ces retenues empêche la stratification thermique des eaux et induit un milieu turbulent attesté par les espèces identifiées. L'enrichissement en nutriments, constaté tant au niveau du lac que des ruisseaux et des barrages connectés au lac, conduit à en rechercher la source à la fois dans le bassin versant topographique naturel du lac et dans son bassin hydrologique artificialisé. Il serait intéressant de savoir si l'impact des injections d'eau depuis les retenues sur la communauté diatomique du lac

est progressif ou brutal, ou encore si d'autres facteurs, comme l'augmentation globale des températures, peuvent influencer ces changements dans les communautés. Il importe, pour pouvoir répondre à ces questions, de dater la séquence sédimentaire et d'y repérer le niveau correspondant à la mise en service du complexe hydroélectrique de Montpezat, afin d'affiner le pas d'échantillonnage pour une meilleure résolution d'analyse.

Références

- Addinsoft, 2022. XLSTAT statistical and data analysis solution. Paris, France.
- Alexson E.-E., Wellard Kelly H.-A., Estepp L.-R. & Reavie E.-D., 2019. Morphological variation around the Pantocsekiella comensis complex in the Laurentian Great Lakes. *Diatom Research* 33(3): 321-337. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2018.1544592>
- Arricau V., 2020. Géohistoire des risques naturels de trois lacs de cratères emblématiques du Massif Central français (lacs Pavin, Tazenat et Issarlès). Rapport de stage de Master 2, Université de Toulouse, 104p.
- Bak M. & Lange-Bertalot H., 2014. Four small-celled *Planothidium* species from Central Europe proposed as new to science. *Oceanography and Hydrobiology Studies* 43(4) : 346-359. <https://doi.org/10.2478/s13545-014-0152-9>
- Barinova S. & Mamanazarova K., 2021. Diatom Algae-Indicators of Water Quality in the Lower Zarafshan River, Uzbekistan. *Water* 13(3): 358. <https://doi.org/10.3390/w13030358>
- Beauger A., Serreyssol K., Legrand B., Latour D., Berthon V., Lavrieux M. & Miras Y., 2022. 6700 years of diatom changes related to land use and climatic fluctuations in the lake Aydat catchment (Auvergne, France): coupling with cyanobacteria akinetes, pollen and non-pollen palynomorphs data. *Quaternary International* 624. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.01.013>
- Berger E., 2007. Les jeunes volcans d'Auvergne. Éditions Sud-Ouest, Bordeaux, 187p.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013a. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 1: Centriques, Monoraphidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-210.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013b. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 2: Araphidées, Brachyraphidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-172.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013c. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 3: Naviculacées: Naviculoidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-222.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013d. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 4: Naviculacées: Naviculoidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-242.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013e. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 5: Naviculacées: Cymbelloïdées, Gomphonématoidées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-244.
- Bey M.-Y. & Ector L., 2013f. Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes Tome 6: Bacillariacées, Rhopalodiadées, Surirellacées. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes DREAL : 1-254.
- Bradley R., 1999. *Paleoclimatology, reconstructing climates of the Quaternary, second edition*. Academic Press Internationale Geophysics Series 64, 632p.
- Chapron E., Defive E., Arricau V., Jouve G., Thouvenot A. & Raynal J.-P., 2022. Le lac d'Issarlès : du nouveau par 108 m de fond. *Les Cahiers du Mézenc* 34 : 21-30.
- Coste M. & Rosebery J., 2011. *Guide iconographique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomée*. Rapport de recherche de l'Institut national de recherche en Sciences Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture IRSTEA : 1-241.
- Coûteaux M., 1984. *Recherches pollénanalytiques du lac d'Issarlès (Ardèche, France) : Évolution de la végétation et fluctuations lacustres*. Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique 117 : 197-217. <https://www.jstor.org/stable/20793993>
- Defive E., Miallier D., Pilleyre T., Nomade S., Guillou H., Moska P., Tudyka K., Chapron E., Miras Y., Vermoux C., Queffelec A., Jouannic G., Cortial C., Goslar T. & Raynal J.-P., soumis. New investigations about three young volcano-sedimentary systems of Velay-Vivarais (France) and co-evolution humans-volcanoes in perspective. *Quaternaire*, accepté.
- Dendievel A.-M., Serreyssol K., Dietre B., Cubizolle H., Quiquerez A. & Haas J.-N., 2022. Late-Glacial and early Holocene environmental changes affecting the shallow lake basin of La Narce du Béage (Ardèche, Massif Central, France). *Quaternary International* 636 : 52-68.
- Ehrlich A., 1968. Les diatomées fossiles des sédiments villafranchiens de Senèze (Haute-Loire, Massif central français). Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire : 267-280. <https://doi.org/10.3406/quate.1968.1089>
- Gandouin E., Rioual P., Pailles C., Brooks S.-J., Ponel P., Guitel F., Djamali M., Andrieu-Ponel V., Birks H.-J.-B., Leydet M., Belkacem D., Haas J.-N., Van der Putten N. & de Beaulieu J.-L., 2016. Environmental and climate reconstruction of the late-glacial-Holocene transition from a lake sediment sequence in Aubrac, French Massif Central: Chironomid and diatom evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 461 : 292-309. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.08.039>
- Gasse F., 1969. Les sédiments à diatomées du lac Pavin (Auvergne). *Annales de la station biologique de Besse-en-Chandesse* 4 : 221-237.
- Houk V., Klee R. & Tanala H., 2010. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and description (Fottea 10) part III: Stephanodiscaceae, Cyclotella, Tertiaries, Discotella. Czech Phycological Society : 1-497.
- Ingénierie Aménagement du Territoire Environnement IATE, 2021. Profil des eaux de baignade de type 1 au sens de la directive 2006/7/CE, commune du Lac d'Issarlès (07). 104p.
- Jacquet S., Anneville O. & Domaizon I., 2012. Évolution de paramètres clés indicateurs de la qualité des eaux et du fonctionnement écologique des grands lacs péri-alpins (Léman, Annecy, Bourget) : étude comparative de trajectoires de restauration post-eutrophisation. *Archives des Sciences* 65 : 191-208. <http://doi.org/10.5169/seals-738361>
- Juggins S., 2009. Package 'rioja'. w.download.idg.pl, 1-55.
- Juggins S., 2014. C2 software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. University of Newcastle, Newcastle-upon-Tyne.
- Krammer K., 2000. The genus *Pinnularia*. *Diatoms of Europe* 1 : 1-703.
- Krammer K., 2002. *Cymbella*. *Diatoms of Europe* 3 : 1-584.

- Krammer K., 2003. *Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella*. Diatoms of Europe 4 : 1-530.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1997a. *Bacillariophyceae Teil 1 : Naviculaceae*. In : Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), *Süsswasserflora von Mitteleuropa*, 2(1), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 876p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1997b. *Bacillariophyceae Teil 2 : Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In : Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds), *Süsswasserflora von Mitteleuropa*, 2(2), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 611p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2000a. *Bacillariophyceae Teil 3 : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiae*. In : Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds), *Süsswasserflora von Mitteleuropa*, 2(3), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 576p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2000b. *Bacillariophyceae Teil 5 : English and french translation of the keys*. In : Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds), *Süsswasserflora von Mitteleuropa*, 2(5), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 599p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2004. *Bacillariophyceae Teil 4: Achnanthaceae, kritische Ergänzungen zur Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In : Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds), *Süsswasserflora von Mitteleuropa*, 2(4), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2th ed., 468p.
- Lange-Bertalot H., 2001. *Navicula sensu stricto, 10 Genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Diatom of Europe 2: 1-526.
- Lange-Bertalot H., Back M., Witkowski A. & Tagliaventi N., 2011. *Diatom of Europe: Eunotia and some related genera, volume 6*. Gantner Verlag, 747p.
- Lange-Bertalot H. & Fuhrmann A., 2016. *Contribution to the genus Diploneis (Bacillariophyta): Twelve species from Holarctic freshwater habitats proposed as new to science*. Fottea 16(2) : 157-183. <https://doi.org/10.5507/fot.2015.027>
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M. & Cantonati M., 2017. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. English edition with updated taxonomy and added species*. Koeltz Botanical Books, Schmittener-Oberreifenberg, Germany, 942p.
- Langlois C., 2006. *Les diatomées*. [En ligne] Langlois_biogeopal_TD5_FicheDiatomees.pdf (ipgp.fr) (15 février 2022)
- Lavoie I., Hamilton P.-B., Campeau S., Grenier M. & Dillon P.-J., 2008. *Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada*. Presse de l'Université du Québec, Canada, 252p.
- Lecointe C., Coste M. & Prygiel J., 1993. « Omnidia »: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. Hydrologia 269(1) : 509-513.
- Levkov Z., Mitic-Kopanja D. & Reichardt E., 2016. *Diatoms of the European Inland waters and comparable habitats, volume 8: The diatoms genus Gomphonema from the Republic of Macedonia*. H. Lange-Bertalot Eds. : 1-552.
- Manguin E., 1954. *Contribution à la connaissance biologique des boues lacustres, lac Pavin (Puy-de-Dôme)*. Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières, 14(1)^o: 67-84.
- Mergoïl J. & Boivin P., 1993. *Le Velay, son volcanisme et les formations associées*. Géologie de la France 3^o: 1-97.
- Miras Y., Lavrieux M. & Florez M., 2013. *Holocene ecological trajectories in lake and wetland systems (Auvergne, France): a palaeoenvironmental contribution for a better assessment of ecosystem and land use's viability in management strategies*. Annali di Botanica 3 : 127-133. <https://doi.org/10.4462/annbotrm-10317>
- MSH 63. *Les programmes suscités et soutenus par la MSH*, [En ligne] : <https://msh.uca.fr/content/dam-2> (7 novembre 2022)
- Paillès C., 1989. *Les diatomées du lac de maar du Bouchet (Massif Central français). Reconstitution des paléoenvironnements au cours des 120 derniers millénaires*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, 403p.
- Peeters V. & Ector L., 2017. *Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, volume 1 : Centriques, Araphidées*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bourgogne-Franche-Comté : 1-309.
- Peeters V. & Ector L., 2018. *Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, volume 2 : Monoraphidées, Brachyraphidées*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bourgogne-Franche-Comté : 1-271.
- Peeters V. & Ector L., 2019. *Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, volume 3 : Naviculacées partie 1*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bourgogne-Franche-Comté : 1-324.
- R Development Core Team, 2006. *R: a Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reavie E.-D. & Cai M., 2019. *Consideration of species-specific diatom indicators of anthropogenic stress in the Great Lakes*. PLoS ONE 14(5): e0210927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210927>
- Remadji R., 2019. *Étude des diatomées actuelles des lacs du Tchad : Taxonomie, Diversité et Calibration*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille-Université, 225p.
- Rhodes T.-E. & Le Cohu R., 1987. *Sédiments et paléolimnologie d'un réservoir : le lac de Pareloup (Aveyron, France). Premiers résultats*. International Journal of Limnology 23(1)^o: 3-7. <https://doi.org/10.1051/limn/1987003>
- Rioual P., 2000. *Diatom assemblages and water chemistry of lakes in the French Massif Central: a methodology for reconstruction of past limnological and climate fluctuations during the Eemian period*. Thèse de doctorat, University College London, 519p.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L., 1996. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod 8ed, Paris, 1383p.
- Salençon M.-J. & Thébaud J.-M., 1994. *Modélisation de l'écosystème du Lac de Pareloup avec les modèles ASTER et MELODIA*. Hydroécologie appliquée 6 : 369-426. <https://doi.org/10.1051/hydro:1994017>
- Saros J.-E., Michel T.-J., Interlandi S.-J., & Wolge A.-P., 2011. *Resource requirements of Asterionella formosa and Fragilaria crotonensis in oligotrophic alpine lakes : implications for recent phytoplankton community reorganizations*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62 : 1681-1689. <https://doi.org/10.1139/F05-077>
- Saros J.-E. & Anderson N.-J., 2014. *The ecology of the planktonic diatom Cyclotella and its implications for global environmental change studies*. Biological reviews 90(2)^o: 522-541. <https://doi.org/10.1111/brv.12120>
- Serieyssol K.-K. & Cubizolle H., 2011. *Diatom fossils in mires: a protocol for extraction, preparation and analysis in palaeoenvironmental studies*. Mires and Peat 7(12) : 1-11.

- Serieyssol K., Cubizolle H., Tourman A. & Latour-Argant C., 2012. *Holocene evolution of two ponds on the Devès Plateau in the French Massif Central*. Diatom Research 27(4): 189-211. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2012.711994>
- Sivarajah B., Rühland K.-M., Labaj A.-L., Patterson A.-M. & Smol J.-P., 2016. *Why is the relative abundance of Asterionella formosa increasing in a Boreal Shield lake as nutrient levels decline?* Journal of Paleolimnology 55 : 357-367. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9886-2>
- Stebich M., Brüchmann C., Kulbe T. & Negendank K.-F.-W., 2005. *Vegetation history, human impact and climate change during the last 700 years recorded in annually laminated sediments of lac Pavin, France*. Review of Paleobotany and Palynology 133 : 115-133. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2004.09.004>
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J., 1994. *A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands*. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 28(1) : 117-133. <https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Voigt R., Gröger E., Baier J. & Meischner D., 2008. *Seasonal variability of Holocene climate: a paleolimnological study on varved sediments in Lake Jues (Harz Mountains, Germany)*. Journal of Paleolimnology 40 : 1021-1052. <https://doi.org/10.1007/s10933-008-9213-7>
- Zhang X.-S., Reed J.-M., Laces J.-H., Francke A., Leng M.-J., Levkov Z. & Wagner B., 2015. *Complexity of diatom response to Lateglacial and Holocene climate and environmental change in ancient, deep and oligotrophic Lake Ohrid (Macedonia/Albania)*. Biogeosciences Discuss 12 : 14343-14375. <https://doi.org/10.5194/bgd-12-14343-2015>

Végétations et successions végétales dans les monts du Devès (Haute-Loire, France) : esquisse phytosociologique et symphytosociologique d'un secteur volcanique méconnu

Yves Meinard^{1*}, Camille Roux² & Gilles Thébaud²

¹ Université Paris-Dauphine, Paris Sciences et Lettres Research University, CNRS, UMR [7243], LAMSADE, Place de Lattre de Tassigny, 75016 Paris, France ; *corresponding author yves.meinard@lamsade.dauphine.fr

² Université Clermont Auvergne, UniVegE-Herbiers Universitaires, 3 boulevard Lafayette, 63000 Clermont-Ferrand, France ; camille.roux@uca.fr et gilles.thebaud@uca.fr

Soumis le 12 mai 2022

Accepté le 28 octobre 2022

Publié le 14 décembre 2022

Résumé

Le Devès est un plateau basaltique alti-ligérien d'âge Villafranchien, d'altitude élevée (environ 1100 m), ponctué de cônes stromboliens et maars culminant au mont Devès (1417 m). Au sein des terres fertiles du plateau, les monts et cônes escarpés et soumis à l'érosion sont peu cultivés, mais largement plantés d'épicéas impactant profondément leur richesse biologique. Ces secteurs sont peu connus d'un point de vue naturaliste et phytosociologique, et encore moins du point de vue de la dynamique des végétations. Le présent article propose une esquisse phytosociologique et symphytosociologique de ce secteur, sur la base d'une campagne de relevés réalisés sur le terrain en 2019, analysés en statistiques exploratoires multidimensionnelles au regard d'un référentiel phytosociologique de plus de 800 relevés issus d'une extraction de la base de données d'UniVegE/Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand. Malgré les difficultés imposées par les forts impacts anthropiques qui marquent le secteur, cette analyse permet de préciser l'identité phytosociologique des végétations observées sur le terrain. Ont ainsi pu être principalement identifiées, au niveau des végétations agropastorales, herbacées, l'*Orchido morionis-Saxifragetum granulatae* Gaume ex B. Foucault 1989 et l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum sambucinae* Dejou & Loiseau ex J.-M. Royer & Ferrez 2020 *veronicetosum scheereri* subass. nov. prov., et, concernant les forêts, le *Poo chaixii-Abietetum albae* Renaux et al. 2015 *saniculetosum europaeae* et le *Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris* Billy ex Thébaud et al. 2014. Les relevés ayant été réalisés, à chaque fois que cela a été possible, sur les différents stades de végétation (des pelouses aux forêts matures) sur chaque site dans des compartiments homogènes d'un point de vue écologique, ils ont pu être regroupés en synrelevés, permettant une première analyse des séries de végétation du Devès. Deux séries principales ont été ainsi mises en évidence sur les suc. Ces premiers résultats et interprétations doivent désormais être complétés par des démarches d'acquisition et d'analyse de données complémentaires.

Mots-clés

Massif central
Basalte
Communauté végétale
Étage montagnard

Abstract

The Devès is a Villafranchian basaltic plateau punctuated by cincler cones and maars, in Haute-Loire, France. Its mean altitude is roughly 1100 m and it culminates at the Mont Devès (1417 m). As opposed to the fertile lands of the plateau, mounts and cones are characterized by steep, intensely eroded slopes, which are not cultivated but are covered by dense spruce plantations severely impacting local biodiversity. The ecological and phytosociological knowledge concerning this area is sparse, and the local dynamics of vegetations has been barely studied. The present article proposes a first phytosociological and symphytosociological study of this area, based on a series of relevés performed in the field in 2019, which were statistically analysed using a phytosociological referential comprising more than 800 relevés, obtained by queries performed on the database of the UniVegE/Herbiers Universitaires de Clermont-Ferrand. Despite difficulties due to deep anthropogenic impacts on vegetations, this analysis enabled us to clarify the phytosociological identity of the vegetations observed in the field. Among agropastoral vegetations, the main vegetations identified are *Orchido morionis-Saxifragetum granulatae* Gaume ex B. Foucault 1989 and *Anemone rubrae-Dactylorhizetum sambucinae* Dejou & Loiseau ex J.-M. Royer & Ferrez 2020 *veronicetosum scheereri* subass. nov. prov. Forest are mainly represented by *Poo chaixii-Abietetum albae* Renaux et al. 2015 *saniculetosum europaeae* and *Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris* Billy ex Thébaud et al. 2014. Whenever possible, in each site we have performed relevés on vegetations representing the different stages of ecological successions (from grasslands to forests) within ecologically homogeneous sectors. The corresponding relevés could hence be gathered in synrelevés, thereby allowing us to sketch a first analysis of the series of vegetations characterizing the Devès cones. Two main series were identified and characterized. These first results now need being confirmed and strengthened by further studies, including new series of relevés and statistical analysis.

Keywords

Massif Central
Basalt
Plant community
Montane belt

Introduction

Le Devès est un plateau volcanique entièrement situé dans le département de la Haute-Loire (région Rhône-Alpes-Auvergne, France). Inscrit à la marge sud du département, il est frontalier avec l'Ardèche (au sud-est) et la Lozère (au sud-ouest). Il est encadré grossièrement à l'est et à l'ouest par les hautes vallées de la Loire et de l'Allier, respectivement, et au nord et au sud par les massifs du Livradois et de la Margeride (Fig. 1).

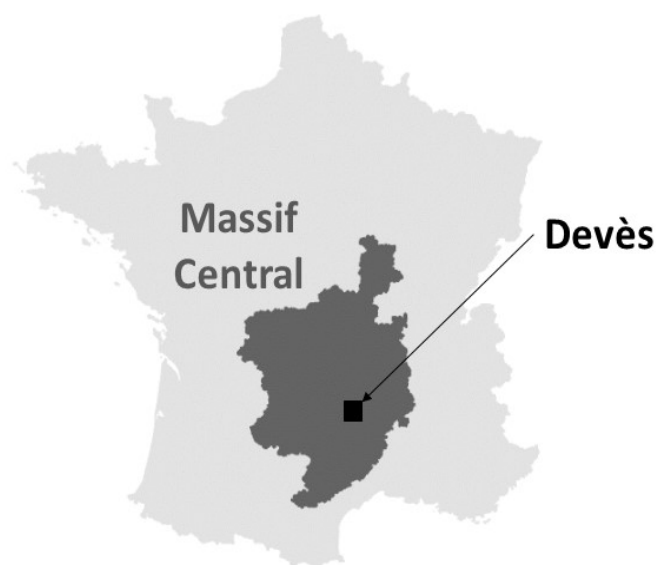


Figure 1 - Localisation du massif du Devès.

La chaîne du Devès forme un vaste plateau basaltique de près de 600 km², d'altitude relativement élevée (plus de 1100 m en grande partie), dont la crête, orientée grossièrement nord-nord-ouest/sud-sud-est, est ponctuée d'un alignement de maars (lac du Bouchet, marais de Limagne...) et de cônes stromboliens (mont Recours, le Devès...). Fortement érodés par l'érosion qui affecte ces formations anciennes, principalement Villafranchiennes, échelonnées entre 2,7 et 0,6 millions d'années avant notre ère (BRGM 2022) et peu compétentes, ces cônes forment plus d'une centaine de sommets éparpillés (localement nommés « sucs » ou « gardes »), qui structurent cependant fortement le paysage, atteignant une altitude de 1417 m au mont Devès, point culminant de la chaîne. La géologie est partout basaltique, peu différenciée. Surplombant un substratum granitique et métamorphique, l'épais empilement de basalte forme une couche perméable à la faveur de laquelle le massif constitue une réserve d'eau d'importance départementale, voire régionale.

Ce rôle de réserve d'eau est d'une importance majeure dans ce secteur dont la climatologie est marquée par une pluviométrie annuelle faible avec fort déficit estival. En effet, le Devès est situé dans la zone interne du Massif central (Ozenda 1985), qui souffre d'un net déficit pluviométrique par rapport aux zones plus occidentales, septentrionales et méridionales, et d'écarts thermiques plus marqués. Thébaud & Roux (2018) le classent dans la « zone biogéographique interne subcontinentale sur substrat volcanique ».

Les diagrammes des stations météorologiques montagnardes

du Devès (Météociel 2022), sur la période 1991-2020, font état, à l'altitude pourtant élevée de 1150 m dans l'étage montagnard, de précipitations moyennes annuelles faibles, inférieures à 800 mm, et d'un régime des précipitations contrasté, avec un maximum pluvial au printemps/été et un minimum hivernal, traduisant un climat marqué par la continentalité. Ce phénomène avait d'ailleurs été mis en évidence par Gimilio (1972), qui place cette région dans une zone à pluviosité semi-continentale. Du nord au sud, depuis Fix jusqu'à Saint-Paul-de-Tartas, sous l'influence croissante du climat méditerranéen, ce déficit de précipitations se creuse entre juin et août. À cette période, les précipitations estivales (Pe) sont faibles.

Le diagramme ombrothermique établi pour la station de Landos (Fig. 2) illustre ces caractères, avec, à 1148 m d'altitude, des précipitations moyennes annuelles de 799 mm et $Pe = 226$ mm. Les montagnes plus occidentales ou septentrionales sont beaucoup plus arrosées. Ainsi, la partie centrale de la chaîne des Puy reçoit 1/3 de précipitations en plus : respectivement 1024 mm et 270 mm, à seulement 971 m d'altitude à la Fontaine du Berger (Orcines). Cette station enregistre par ailleurs un climat moins chaud que le Devès en été, avec une température moyenne de 1°C de moins, à altitude égale, sur la période de juin à août.

Les terres hautes au climat rude du Devès sont peu peuplées : les agglomérations sont rares et de faible taille (Landos, moins de 900 habitants, Le Bouchet-Saint-Nicolas, moins de 300). Le plateau basaltique forme en revanche des terres fertiles, prisées pour la culture des céréales et légumineuses, dont l'AOC « lentille verte du Puy ».

Au sein de ces terres agricoles, les cônes et autres « sucs » font quelque peu exception car les pentes, sujettes à une érosion qui peut être marquée et rapide, les rendent moins propices à l'agriculture. Aussi les monts soulignant la crête du Devès ont-ils été largement plantés d'épicéas, qui ont fortement impacté la diversité paysagère et biologique du secteur.

En partie en conséquence de ces pratiques aux impacts historiques rémanents, le Devès n'est pas particulièrement reconnu ni protégé pour son patrimoine biologique. Il ne contient pas de réserve naturelle, et le réseau Natura 2000, très largement développé au pourtour du Devès (gorges de la Loire, de l'Allier et leurs affluents, vallée de la Senouire) ne le concerne que sur quelques petits secteurs de maars : marais de Limagne, étudié par Seytre (2009), par ailleurs protégé au titre d'un arrêté de protection de biotope (n° FR3800184), la Sauvetat (Seytre 2002), Costaros.

À l'image de cette faible protection, exception faite des milieux humides précités, les connaissances faunistiques, floristiques et phytosociologiques apparaissent limitées sur le Devès. Une partie importante de la haute chaîne intègre un site du zonage de connaissance ZNIEFF de type I (numéro national 830016075, numéro régional 00240003 : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znief/830016075>), documenté sur le plan ornithologique mais peu ou pas sur les autres groupes.

De même, les connaissances sont pauvres dans ce secteur pour ce qui concerne les végétations et les successions végétales. Situé

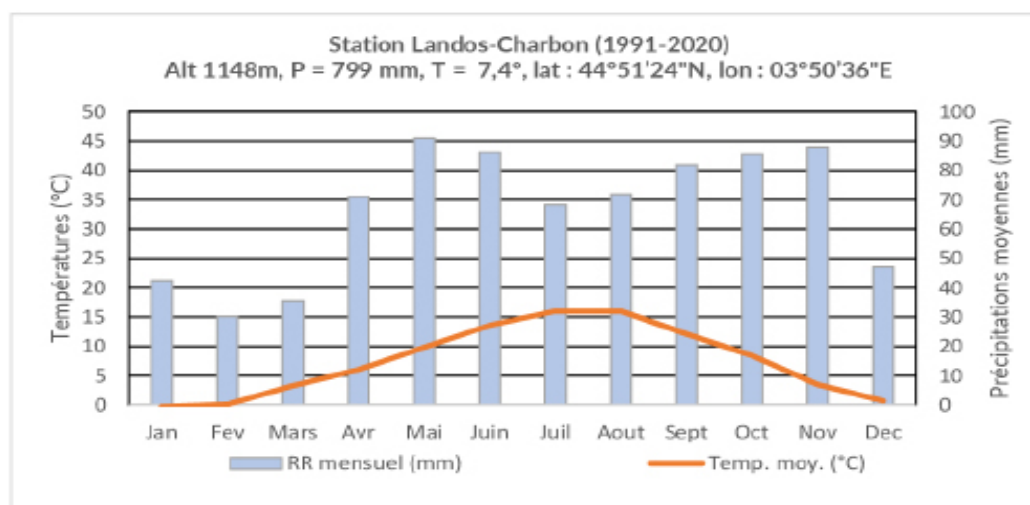


Figure 2 - Diagramme ombrothermique de la station météorologique de Landos-Charbon (période 1991-2020). P = précipitation moyenne annuelle ; T = Température moyenne annuelle.

en marge du territoire concerné par la synthèse de Thébaud et al. (2014), le Devès a été prospecté par Billy (1988, 1997, 2000, 2002), et les quelques hêtraies qu'on y trouve ont été étudiées par Sulmont & Petetin (2000). Le premier auteur a cité, sur le plateau du Devès, deux associations de prairies de fauche submontagnardes : l'*Heracleo lecocuii-Arrhenatheretum elatioris* B. Foucault 1987, eutrophile, et le *Knautio arvernensis-Arrhenatheretum elatioris* Billy ex Thébaud et al. 2014, mésotrophile. Au niveau forestier, dans la région des sucus qui nous intéresse, les deux autres auteurs ont principalement étudié des forêts neutroclino-philiques : le *Gallio rotundifolii-Abietetum albae sensu* Sulmont & Petetin (= *Poo chaixii-Abietetum saniculetosum* Renaux, Le Hénaff & Choynet 2015), et le *Dentario heptaphyllae-Fagetum sylvaticae sensu* Sulmont & Petetin [= *Adoxo moschatellinae-Fagetum sylvaticae* (Cusset 1961) Rivas-Martinez et al. 1991 *actetosum spicatae*]. Ce dernier est cité surtout dans le nord du Devès, au mont Bar ou aux abords du marais de Limagne par Billy (*sub Actaeo spicatae-Fagetum*).

Dans le Devès, d'autres groupements forestiers ont été reconnus par Petetin & Sulmont ou Billy, mais dans des conditions topographiques ou à des altitudes qui ne concernent pas les sucus. Billy cite enfin le *Luzulo sylvaticae-Fagetum* Cusset 1961 *euphorbietosum amygdaloidis*, sous-association acidoclinophile submontagnarde, au mont Briançon, en situation marginale par rapport à notre zone d'étude, ainsi que le *Cephalanthero longifoliae-Fagetum* Billy 1997 (= *Epilobio montani-Fagetum cephalantheretosum* Billy ex Renaux et al.). Ces contributions sont trop peu nombreuses et trop partielles pour qu'on puisse, sans approfondissement des connaissances de terrain et de leur analyse, considérer que l'éventail des végétations présentes sur le massif est connu, sans parler des dynamiques qui lient ces différentes végétations.

L'objet de la présente contribution est d'engager une démarche de comblement des lacunes de connaissances phytosociologiques et symphytosociologiques sur ce secteur méconnu, dans le cadre d'une démarche plus globale de contribution aux connaissances sur l'écologie végétale du Massif central, portée par le groupe phytosociologique Massif central (GPMC).

Cet article marque une première étape de cette dynamique, focalisée sur les végétations des cônes stromboliens du Devès, et ayant vocation à être complétée par des échantillonnages et relevés plus nombreux, éventuellement étendus aux zones du plateau. Dans ce cadre, nos travaux visent à fournir une première esquisse des séries de végétation des monts du Devès, suivant les principes méthodologiques clarifiés dans la récente mise au point de Bioret et al. (2019). Grâce à l'étude récente de Roux (2017) sur la chaîne des Puys, une comparaison intéressante peut être menée entre les groupements et séries observables sur ces deux massifs, qui présentent d'importantes similitudes géologiques, morphologiques et altitudinales, mais de réelles différences climatiques.

Matériel et méthodes

Cette étude des végétations du Devès et de leur dynamique est fondée sur la méthode phytosociologique sigmatiste de Braun-Blanquet (1932), suivant les principes clarifiés par Guinochet (1973), Géhu & Rivas-Martinez (1981), de Foucault (1984, 1986) et Géhu (2006). Les données de base recueillies et analysées sont des relevés phytosociologiques, concernant la flore vasculaire, réalisés selon les canons spécifiés dans les publications susmentionnées. Le référentiel taxonomique utilisé est Taxref (v12) et la nomenclature syntaxonomique respecte l'ICPN (Theurillat et al. 2020). Le prodrome des végétations de France (PVF1, Bardat et al. 2004) et ses versions récentes déclinées jusqu'à l'association végétale (PVF2), ont été adoptés comme références pour la classification des groupements végétaux.

Echantillonnage et bancarisation des relevés

Un plan d'échantillonnage a été établi afin de balayer l'éventail des positions géographiques par rapport à l'ensemble de la chaîne ainsi que l'éventail des valeurs prises, sur l'aire d'étude, par les variables topostationnelles classiques suivantes : pente, exposition, altitude, pratiques agrosylvopastorales et physionomie de la végétation présente.

Une campagne de terrain a été menée en juin 2019 pour réaliser les relevés phytosociologiques. En vue de réaliser une analyse dynamique des végétations, à chaque fois que cela s'est révélé possible, des relevés ont été réalisés sur chaque site sur des végétations relevant de différents stades dynamiques : pelouses, ourlets, fourrés, forêts pionnières, forêts matures. Ces relevés portant sur différents stades au sein d'un compartiment écologique homogène peuvent ensuite être assemblés sous forme de « synrelevés », ou relevés paysagers (voir plus bas), mais cette démarche n'est naturellement possible que si plusieurs stades sont observables, ce qui n'est pas le cas pour tous les sites.

Les sites étudiés sont présentés sur la figure 3. Dans l'ensemble, ce sont 33 relevés inédits qui ont ainsi été réalisés (consignés dans les tableaux 2, 3 et 4), dont 5 relevés en forêts matures, 6 en forêts pionnières, 4 dans des fourrés et pré-manteaux, 2 en ourlets, 13 dans des pelouses ou prairies maigres, 1 en prairie grasse de fauche et 2 dans des milieux tourbeux. Malgré un effort marqué lors de la définition du plan d'échantillonnage pour balayer l'éventail des conditions écologiques du secteur, ce pool de 33 relevés ne concerne que 11 cônes sur la centaine existant, ce qui reste très insuffisant pour rendre compte de la diversité de l'ensemble.

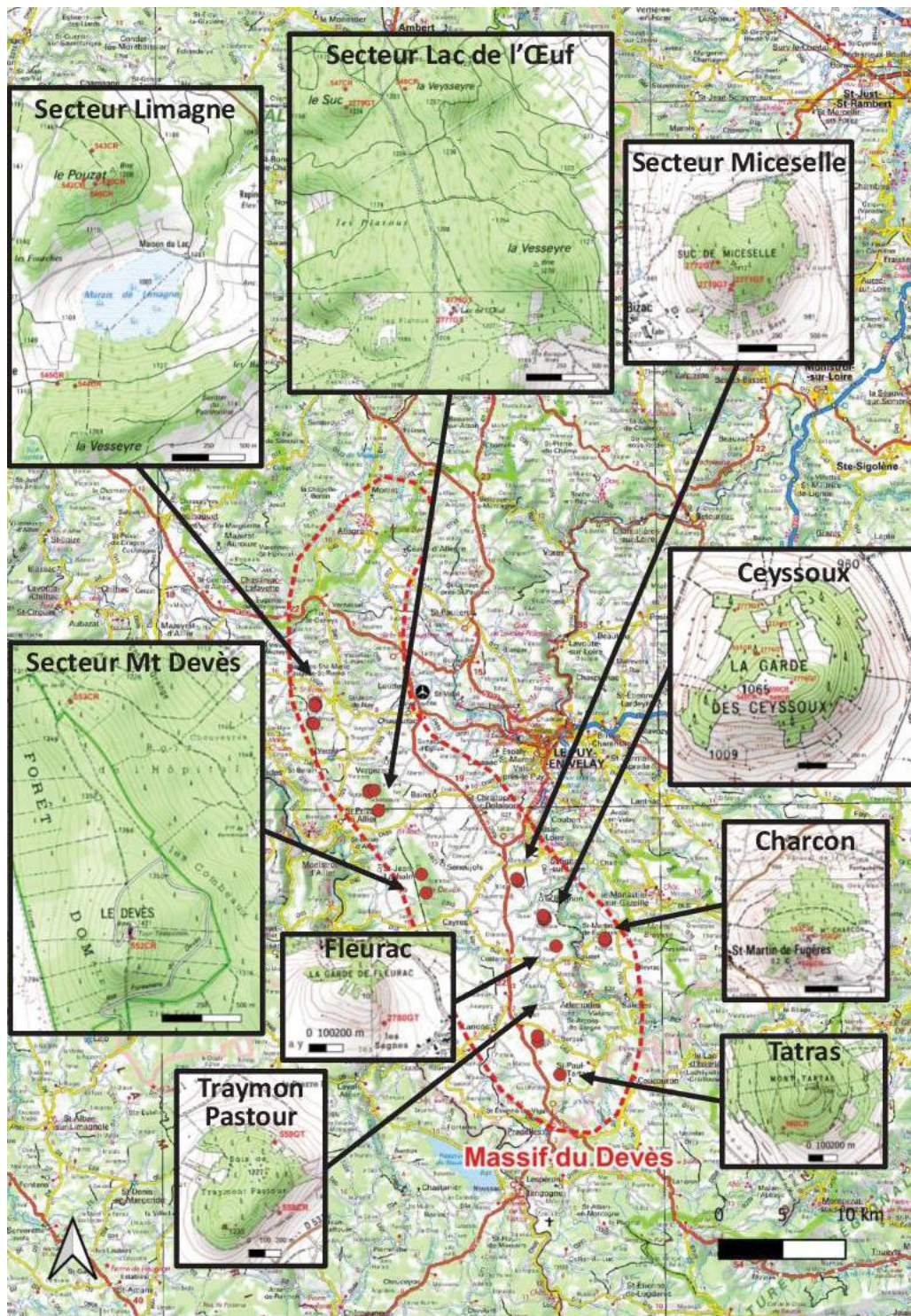


Figure 3 - Localisation des relevés des prospections 2019.

Les relevés ainsi réalisés ont ensuite été bancarisés dans la base de données d'UniVegE, sous une version de Turboveg adaptée aux spécificités du territoire national. Outre sa contribution à l'alimentation d'une base de données phytosociologique homogène pour le Massif central, cette démarche de bancarisation permet ensuite l'analyse objective des relevés, en vue de l'identification syntaxonomique des végétations qu'ils représentent, au regard d'un référentiel d'analyse régional adapté.

Les relevés paysagers, résultant d'un regroupement des relevés phytosociologiques, ont ensuite été stockés dans la base de données « paysage » mise au point à UniVegE (Roux 2017).

Référentiels et analyses phytosociologiques

Devant la généralisation en France de démarches de type « à dire d'experts », concernant le diagnostic des habitats et pouvant se révéler rapidement subjectives et sources d'erreurs (Meinard & Thébaud 2019), nuisant ainsi à la bonne gestion des milieux, il nous semble important de donner des précisions sur la méthode de caractérisation des groupements végétaux utilisée ici. Cette méthode, couramment pratiquée dans le Massif central par UniVegE (Roux 2017 ; Thébaud et al. 2021), est basée sur l'utilisation d'analyses numériques et d'un référentiel phytosociologique.

Un tel référentiel est composé de relevés identifiés, c'est-à-dire auxquels a déjà été associé un nom dans la nomenclature phytosociologique et une place dans la classification nationale, nom et place résultant de travaux de recherche publiés ou d'analyses critiques de publications, rapports ou campagnes de terrain, réalisés au sein d'UniVegE dans le cadre de la constitution de la base de données. Par opposition à ces relevés identifiés, les relevés inédits issus de la campagne de 2019 sont à ce stade qualifiés d'« anonymes ». Le référentiel phytosociologique adapté à l'étude est constitué par l'ensemble des relevés régionaux identifiés, sélectionnés par requête, au sein de la base de données, et correspondant aux syntaxons, associations et sous-associations végétales auxquels peuvent être affiliés les relevés anonymes à analyser. Cette étape de travail, ainsi que les suivantes, décrites ci-dessous, sont menées de la même façon mais séparément pour les relevés de prairies et pelouses, d'un côté, et les relevés forestiers, de l'autre.

Les différents syntaxons retenus dans le référentiel correspondent aux associations végétales listées dans le tableau 1, sélectionnées en amont en fonction de leur ressemblance floristique avec nos relevés, les associations trop différentes n'ayant pas été retenues.

Le référentiel ainsi sélectionné pour l'analyse des 33 relevés de notre campagne comporte 872 relevés, dont 585 pour les formations forestières et 187 pour les formations herbacées. Il inclut 73 relevés concernant le Devès, réalisés par Sulmont & Petetin (2000) ou Billy. À la faveur des détails assez précis donnés par ces derniers sur la localisation de certains des relevés, ceux-ci ont pu être utilisés pour enrichir l'analyse symphytosociologique.

L'ensemble, qui totalise 905 relevés, fait tout d'abord l'objet d'une homogénéisation taxonomique au niveau de certaines espèces collectives, rendue nécessaire par leur traitement différencié par les auteurs. C'est le cas des genres *Alchemilla*, *Hieracium*, *Cuscuta* ou de *Centaurea jacea* aggr., ceci afin d'éviter de biaiser les analyses.

On procède ensuite à des analyses numériques exploratoires de type classification hiérarchique au moyen du logiciel Juice. Les taxons sont, dans un premier temps, triés suivant la procédure Twinspan, puis la procédure Modified Twinspan Classification (MTC, Roleček et al. 2009), en présence-absence, avec l'inertie totale comme indice de similarité. On recherche un nombre de clusters préétabli en fonction du nombre de clusters du référentiel (associations ou sous-associations décrites). Ce choix de nombre de clusters matérialise l'hypothèse selon laquelle les relevés anonymes ne constituent ou ne comportent pas un ensemble de relevés suffisamment différent des relevés du référentiel pour représenter un nouveau syntaxon. L'examen de la place des relevés anonymes dans les clusters du dendrogramme ainsi produit par MTC permet de valider ou invalider cette hypothèse. Dans le premier cas on peut ainsi nommer les relevés anonymes en leur attribuant la même identité que les relevés identifiés constituant le cluster dans lequel on les trouve ; dans le second cas un nouveau syntaxon est envisageable.

Des analyses factorielles d'ordination, CCA ou DCA, sont souvent conduites parallèlement à de telles analyses pour contribuer à l'identification des relevés et à la caractérisation des communautés. Cette démarche n'a pas été effectuée ici.

Au terme de ce processus, strictement basé sur des analyses numériques, il convient de confirmer ou affiner le diagnostic définitif par des vérifications et observations floristiques complémentaires, ce qui permet d'éviter les biais statistiques éventuels, de vérifier que les relevés ou syntaxons identifiés respectent bien la diagnose initiale et la combinaison caractéristique de l'association concernée, de veiller à l'homogénéité floristique et physiognomique des relevés, et d'être en capacité de produire une interprétation synécologique claire des variations floristiques observées (Willner 2006).

Analyse de la dynamique de la végétation

L'analyse phytosociologique est prolongée par une étude des relations dynamiques entre végétations, suivant l'approche dynamico-caténale (Lazare 2009 ; Boret et al. 2019). Selon cette approche, les individus de syntaxons étudiés par la démarche phytosociologique détaillée ci-dessus qui se trouvent au sein d'une surface écologiquement homogène (ou tessella) sont liés par des relations dynamiques de successions et appartiennent par conséquent à une même série. Au sein d'une unité homogène d'un point de vue géomorphologique et bioclimatique (ou catena), on retrouve ensuite plusieurs séries correspondant à la coexistence de plusieurs tessella dans une même catena.

Concrètement, dans la présente étude, les relevés ayant été réalisés, pour un site donné, dans les différents stades de végétation d'une même tessella (voir supra), sont regroupés en un synrelevé, représentant un individu de série. Dans une approche comparative qui suit la même logique que celle déployée pour l'analyse des données phytosociologiques, les données symphytosociologiques ainsi mises en forme peuvent être analysées au regard des données similaires récoltées dans des contextes comparables.

Tableau 1- Groupements végétaux sélectionnés dans les référentiels.

Référentiels : groupements végétaux sélectionnés	
Nomenclature actualisée	Synonymes invalides, noms correspondants
Groupements forestiers	
<p><i>Hieracio sabaudii-Quercetum petraeae</i> (Billy 1997) Renaux et al.</p> <p><i>Trifolio rubentis-Quercetum pubescentis cephalantheretosum longifolii</i> Billy ex Renaux et al. 2019</p> <p><i>Cephalanthero longifoliae-Pinetum sylvestris</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Prenantho purpureae-Pinetum sylvestris</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Lilio martagon-Quercetum petraeae typicum</i> Billy ex Renaux et al. 2019</p> <p><i>Mercuriali perennis-Quercetum roboris</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Epilobio montani-Fagetum sylvaticae typicum</i> (Billy 1997) Renaux et al. 2019</p> <p><i>Epilobio montani-Fagetum sylvaticae cephalantheretosum longifoliae</i> (Billy 1997) Renaux et al. 2019</p> <p>Groupement à <i>Fraxinus excelsior</i> et <i>Geum urbanum</i> Roux 2017</p> <p><i>Polystico aculeati-Fraxinetum excelsioris</i> Billy ex Seytre et al. in Renaux et al. 2019</p> <p><i>Galio rotundifolii-Abietetum albae sensu</i> Billy non Wraber (1955) 1959</p> <p><i>Solidago virgaureae-Fagetum sylvaticae</i> Cusset 1964</p> <p><i>Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae typicum</i> Cusset 1964</p> <p><i>Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae</i> Cusset 1964</p> <p><i>Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae euphorbietosum amygdalidis</i> Billy ex Renaux et al. 2019</p> <p><i>Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae luzuletosum niveae</i> Renaux et al. 2019</p> <p><i>Euphorbio hybernae-Fagetum sylvaticae typicum</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Euphorbio hybernae-Fagetum sylvaticae coryletosum avellanae</i> C. Roux 2017</p> <p><i>Daphno mezerei-Coryletum avellanae</i> C. Roux in Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Betulo pendulae-Salicetum capreae sorbetosum ariae</i> (Billy 1997) B. Foucault & J.-M. Royer 2016</p> <p><i>Adoxo moschatellinae-Fagetum sylvaticae</i> (Luquet 1926) Rivas-Mart. et al. 1991</p> <p><i>actaetosum spicatae</i> (Billy 1997) Renaux et al. 2019</p> <p><i>Poo chaixii-Abietetum albae</i> Renaux et al. 2019 <i>saniculetosum europaeae</i> Le Hénaff & Renaux 2015</p>	<p><i>Hieracio praecocis-Quercetum petraeae</i> Billy 1997 prov.</p> <p><i>Cephalanthero longifolii-Quercetum pubescentis</i> Billy 1997 prov.</p> <p><i>Lilio martagon-Quercetum petraeae mercurialietosum</i> prov. Renaux et al. 2019</p> <p><i>Lilio martagon-Quercetum petraeae fagetosum sylvaticae</i> Billy 1997 prov.</p> <p><i>Cephalanthero longifolii-Fagetum sylvaticae</i> Billy 1997 prov.</p> <p><i>Polystico aculeati-Fraxinetum excelsioris aceretosum</i> Billy 1997 prov.</p> <p><i>Galio rotundifolii-Abietetum</i> Weber in Billy (1997)</p> <p><i>Deschampsio flexuosae-Fagetum sylvaticae</i> (Lemée) Cusset ex Thébaud et al. 2014</p> <p>Groupement post-pionnier vers le ... C. Roux 2017</p> <p><i>Luzulo niveae-Fagetum sylvaticae euphorbietosum amygdaloidis sensu</i> Billy 1997</p> <p><i>Luzulo niveae-Fagetum sylvaticae typicum sensu</i> Billy 1997</p> <p><i>Luzulo niveae-Fagetum sylvaticae euphorbietosum hybernae</i> Billy 1997</p> <p><i>Euphorbio hybernae-Fagetum sylvaticae</i> var. à <i>Polygonatum multiflorum</i> Billy 1997</p> <p><i>Betulo-Salicetum capreae-sorbetosum ario-aucupariae</i> Billy 1997</p> <p><i>Actaeo spicatae-Fagetum sylvaticae</i> Billy 1997 prov. ; <i>Dentario heptaphyllae-Fagetum sylvaticae sensu</i> Thébaud et al. 2014 non Braun-Blanq. 32) Hartmann & G. Jahn 1967</p> <p><i>Galio rotundifolii-Abietetum albae sensu</i> Sulmont & Petetin 2000</p>
Groupements agropastoraux	
<p><i>Festuco filiformis-Callunetum vulgaris</i> Michalet et al. 1989</p> <p><i>Ranunculo bulbosi-Brachypodietum pinnatum</i> Michalet et al. ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Chamaespartio sagittalis-Helianthemum apennini</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Orchido morionis-Saxifragetum granulatae</i> Gaume ex B. Foucault 1989</p> <p><i>Phleo phleoidis-Festucetum lemanii typicum</i> Billy ex Loiseau & Felzines 2010</p> <p><i>Phleo phleoidis-Festucetum lemanii campanuletosum glomeratae</i> (Billy 2000) Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Gentianetum cruciatae</i> Billy ex Thébaud et al. 2014</p> <p><i>Anemono rubrae-Dactylorhizetum sambucinae</i> Dejou & Loiseau ex Royer & Ferrez 2020</p> <p><i>Saxifrago granulatae-Helianthemum nummularium</i> Billy ex Loiseau & Felzines 2010</p>	<p><i>Ranunculo bulbosi-Brachypodietum rupestris</i> mut. Le Hénaff et al. 2021 nom. inval. (art. 45; art. 3i)</p> <p><i>Genisto sagittalis-Helianthemum apennini</i> corr. inval. [in le Hénaff et al. 2021] (art.44)</p> <p><i>Anacamptido morio-Saxifragetum granulatae</i> Gaume ex B. Foucault 1989 corr. inval. [in le Hénaff et al. 2021] (art.44)</p> <p><i>Festuco-Phleetum phleoidis</i> Lemée 1959; incl. var. à <i>Linum trigynum</i> Billy 2000 et var. à <i>Carlina acanthifolia</i> Billy 2000</p> <p><i>Campanulo glomeratae-Phleetum phleoidis</i> Billy ex Royer & Ferrez 2020 nom. inval. (art. 3i, 3m et art. 27d, définition XIII)</p> <p><i>Campanulo glomeratae-Phleetum phleoidis</i> Billy ex Royer & Ferrez 2020 nom. inval. <i>gentianetosum cruciatae</i> (Billy ex Thébaud et al. 2014) J.-M. Royer & Ferrez 2020 nom. inval. ?</p> <p><i>Pulsatillo rubrae-Dactylorhizetum sambucinae</i> Dejou & Loiseau 1983</p>

En l'occurrence, les travaux récents de Roux (2017) dans la région clermontoise peuvent fournir une référence de comparaison pertinente, car il s'agit ici aussi d'une chaîne volcanique, principalement basaltique, quoique plus récente et globalement inscrite dans un contexte biogéographique plus humide, sauf dans sa partie sud. Pour cette comparaison avec la chaîne des Puys, la méthode d'analyse écologique numérique des tessella et des individus de série mise au point par Roux (2017), sur la base de calculs des valeurs d'Ellenberg à l'appui d'une analyse canonique des correspondances (CCA), a été mise à contribution.

Résultats

Végétations des pelouses et prairies

Parmi les treize relevés réalisés dans des pelouses et prairies (Tab. 2) lors de nos sessions de terrain de 2019, neuf ont pu être rapportés à deux associations existantes, l'*Orchido morionis-Saxifragetum granulatae* Gaume ex B. Foucault 1989 et l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum sambucinae* Dejou & Loiseau ex J.-M. Royer & Ferrez 2020 (dendrogramme de la Fig. 4).

L'*Orchido morionis-Saxifragetum granulatae* du Devès

Dans l'analyse, nos relevés 545CR (versant nord de la Veissière, 1135 m), 2774GT (versant nord des Ceyssoux, 1028 m) et 559CR (versant nord-est du Traidmont-Pastour, 1195 m) forment un groupe uniforme (cluster 6) au sein d'un ensemble (clusters 6 et 7) très largement dominé par l'*Orchido morionis-Saxifragetum granulatae* (Gaume 1925) B. Foucault 1989, auquel il convient clairement de les rapporter.

Il s'agit d'un syntaxon de prairies maigres fauchées, relativement sèches, caractérisé dans l'ouest par de Foucault (1989) puis retrouvé par Billy (2000) en basse Auvergne à des altitudes échelonnées en 450 et 1000 m, où il forme selon l'auteur une race simplement différenciée par l'abondance de *Poterium sanguisorba* et de *Centaurea jacea*.

Cette association est rattachée à l'alliance du *Brachypodio rupestris-Centaureion nemoralis* Braun-Blanq. 1967, communautés fauchées méditerranéo-thermo-atlantiques à supraméditerranéennes, par de Foucault & J.-M. Royer (2016). On y retrouve bien plusieurs espèces de la combinaison caractéristique de l'association : *Luzula campestris*, *Veronica chamaedrys*, *Saxifraga granulata* et *Festuca rubra*, ces deux derniers particulièrement fréquents. *Centaurea jacea* est en revanche absent de nos relevés, de même qu'*Anacamptis morio* et *Poterium sanguisorba* est discret, ce qui atteste d'un caractère atypique de ces individus d'*Orchido-Saxifragetum*. Outre ces espèces, reste un groupe réduit de mésoxérophiles des *Festuco-Brometea*, avec *Briza media*, *Galium verum*, *Scabiosa columbaria* et *Ranunculus bulbosus*, alors que le groupe des mésotrophiles et mésophiles des *Arrhenatheretea* est riche de nombreuses espèces : *Avenula pubescens*, *Veronica chamaedrys*, *Lathyrus pratensis*, *Rumex acetosa*, *Dactylis glomerata*, *Plantago lanceolata*, *Leucanthemum vulgare*, *Ranunculus acris*, *Trifolium pratense*, *Holcus lanatus*, *Arrhenatherum elatius*... Les acidiphiles sont bien représentées, avec en particulier *Luzula campestris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Saxifraga granulata*, *Festuca nigrescens*, *Hypochaeris radicata*, *Conopodium majus* et *Agrostis capillaris*.

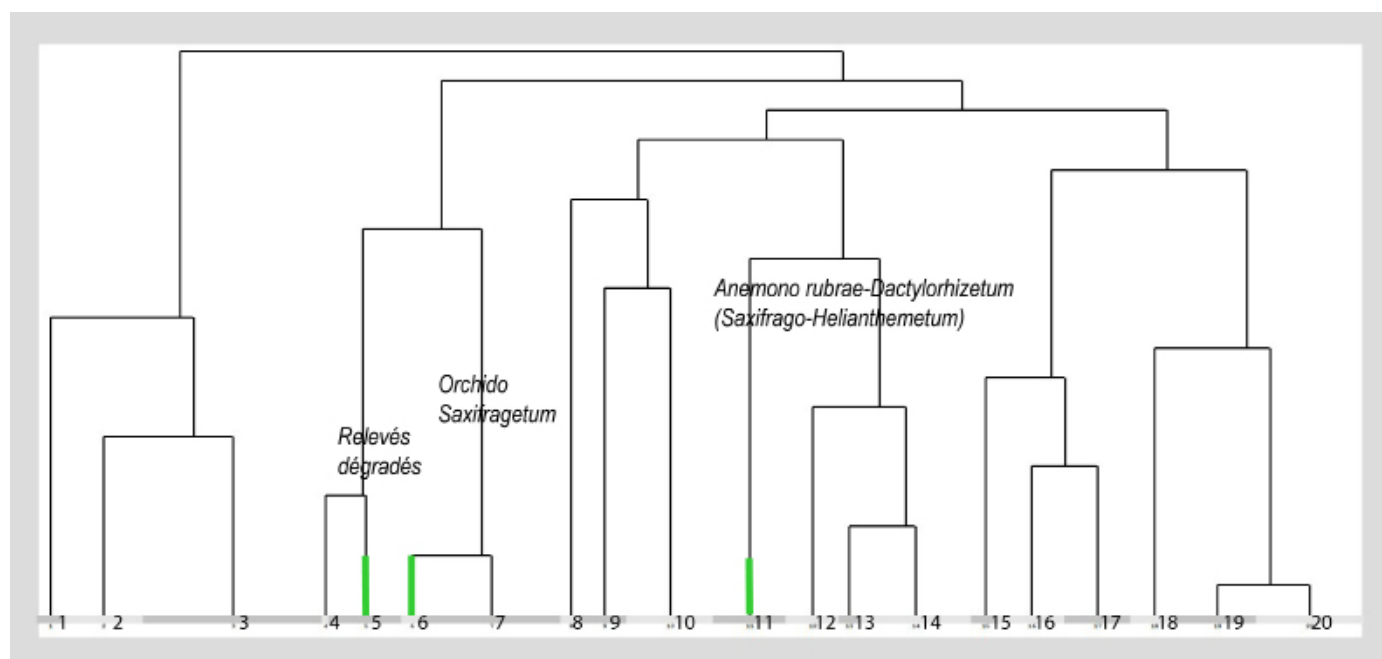


Figure 4 - Dendrogramme issu de l'analyse de classification MTC effectuée sur 205 relevés et 231 espèces concernant le référentiel régional de pelouses utilisé ici ; les espèces présentes moins de 3 fois n'ont pas été intégrées à l'analyse (analyse en présence/absence ; indice de dissimilarité : total inertie ; 20 clusters demandés). Les relevés réalisés dans cette étude sont repérés par une indentation de couleur verte.

Tableau 2 - Relevés de pelouses. Groupes de taxons différentiels : I, taxons principalement mésophiles mésotrophiles ; II, taxons mésoxérophiles ; C et D, caractéristique et différentielle ; Cl1, O1, classe et ordre des *Arrhenatheretea* ; Cl2, O2, All2, classe, ordre et alliance des *Festuco-Brometea* ; ass. = *Anemone rubrae-Dactylorhizetum* ; s-ass. = sous-association *veronicetosum*. Les compagnes présentes moins de 2 fois sont données dans l'appendice.

n° ordinal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n° auteur	2774GT	559CR	545CR	554CR	555CR	2775GT	2780GT	558CR	2770GT	548CR	530CR	556CR	552CR
Communautés différenciées	<i>Orchido morionis-Saxifragetum granulatae</i>				<i>Anemone rubrae-Dactylorhizetum veronicetosum scheereri subass. nov. prov.</i>								
<i>Alchemilla gr. vulgaris</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Vicia sepium</i> D. O1	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus acris</i> C. Cl1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cerastium fontanum</i> C. Cl1	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
<i>Leucanthemum vulgare</i> C. Cl1	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dactylis glomerata</i> C. Cl1	2	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Veronica chamaedrys</i> C. Cl1 I	1	+	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	+
<i>Trisetum flavescens</i> C. O1	1	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Holcus lanatus</i> C. Cl1	3	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rumex acetosa</i> C. Cl1	1	+	2	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium pratense</i> C. Cl1	+	1	1	1	r	+	.	.	.	.	.	1	.
<i>Avena pubescens</i> C. O1	.	3	+	4	+	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Arrhenatherum elatius</i> C. O1	.	+	2	1	.	r	1	.	.	.	.	.	.
<i>Lathyrus pratensis</i> C. O1	.	+	1	1	.	.	+	.	.	.	+	.	.
<i>Galium verum</i> C. Cl2	.	2	1	2	2	2	.	2	1	+	1	.	.
<i>Potentilla verna</i> C. O2	.	.	r	1	2	1	+	2	2	2	1	.	.
<i>Genista sagittalis</i> D. All. 2	.	.	.	1	2	2	2	2	1	r	+	.	1
<i>Helianthemum nummularium</i> C. Cl. 2	.	.	.	1	2	2	+	+	.	+	2	.	.
<i>Festuca lemanii</i> D. All. 2	.	.	.	1	3	3	3	4	3	3	.	1	.
<i>Vicia angustifolia</i> C. All. 2	.	.	.	+	.	+	r	+	+	+	+	.	.
<i>Veronica scheereri</i> D s-ass. II	.	.	.	1	.	+	.	+	r	1	.	.	.
<i>Phleum phleoides</i> D s-ass. et D. All. 2	.	.	.	.	1	2	1	1	2	3	.	1	.
<i>Dianthus carthusianorum</i> C. O2	.	.	.	.	1	.	.	+	2	+	.	.	.
<i>Koeleria pyramidata</i> C. O2	.	.	.	.	+	.	3	1	2	.	1	.	.
<i>Bunium bulbocastanum</i> D s-ass.	.	.	.	.	.	.	+	+	r	.	.	.	.
<i>Hypericum perforatum</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	r	r	r	.	.
<i>Eryngium campestre</i> C. Cl2	.	.	.	.	.	1	+	.	1	1	.	1	.
<i>Lotus corniculatus</i>	.	.	.	.	.	+	.	+	+	2	1	+	1
<i>Ranunculus bulbosus</i>	2	2	.	2	+	2	.	+	1	+	+	+	.
<i>Cerastium arvense</i>	r	+	.	1	+	+	+	.	+	+	+	1	.
<i>Luzula campestris</i> D. All.2	.	+	+	.	1	.	+	+	.	+	1	1	+
<i>Achillea millefolium</i> C. Cl1	+	1	.	+	+	.	2	.	1	.	1	1	1
<i>Plantago lanceolata</i> C. Cl1	2	2	1	1	.	1	.	1	.	1	2	.	1
<i>Myosotis stricta</i>	+	+	.	.	.	.	+	1	+	+	+	1	.
<i>Anthoxanthum odoratum</i> D. All. 2	3	1	1	.	+	.	.	.	.	+	.	1	2
<i>Saxifraga granulata</i> C. All. 2	2	+	1	.	.	.	+	2	1	.	.	.	1
<i>Hypochaeris radicata</i> D. All. 2	2	+	.	.	.	1	.	.	.	+	.	1	1
<i>Galium mollugo</i> s. mollugo C. O1	+	.	.	.	2	+	+	.	+	.	.	+	.
<i>Carex caryophylla</i>	.	2	.	.	+	+	+	.	.	r	.	+	.
<i>Poterium sanguisorba</i> C. Cl2	.	.	1	2	1	1	.	.	1	.	.	1	.
<i>Pilosella officinarum</i>	.	.	.	.	+	1	.	+	1	3	.	.	+
<i>Rhinanthus minor</i> C. O1	.	1	+	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Jacobaea vulgaris</i>	r	.	.	2	.	.	+	.	r	r	.	.	.
<i>Polygala vulgaris</i> D. All. 2	1	.	.	.	+	.	.	.	.	1	.	2	+
<i>Sedum rupestre</i>	r	.	.	.	.	.	1	+	+	.	.	.	1
<i>Pinus sylvestris</i>	.	r	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	2
<i>Poa compressa</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.
<i>Echium vulgare</i>	r	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.
<i>Scabiosa columbaria</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	+
<i>Vicia hirsuta</i>	.	.	.	1	.	.	+	+	+	.	.	.	.
<i>Trifolium campestre</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	+	r	.	r	.
<i>Briza media</i>	.	.	.	+	1	3	.	.	.	.	.	1	.
<i>Avenula pratensis</i> C. Cl. 2	.	.	.	.	1	1	.	.	.	+	.	.	+
<i>Veronica arvensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1	.	.	+
<i>Cytisus scoparius</i>	.	1	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.
<i>Trifolium arvense</i> D. All. 2	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.
<i>Dactylorhiza sambucina</i> C. All.2 et Ass.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+
<i>Knautia arvensis</i> C. O1	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	1	.
<i>Poa pratensis</i> s. angustifolia	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	1	.
<i>Trifolium repens</i>	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	1	.
<i>Anthyllis vulneraria</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1	.	+	.
<i>Thymus species</i>	.	.	.	.	.	1	r	.	.	.	.	+	.
<i>Taraxacum campyloides</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Festuca nigrescens</i> s. microphylla	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	1
<i>Brachypodium rupestre</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	4	.
<i>Festuca gr. rubra</i>	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Taraxacum erythrospermum</i>	.	2	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.
<i>Taraxacum species</i>	.	2	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.
<i>Carex spicata</i>	.	r	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Tragopogon pratensis</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Stellaria graminea</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Conopodium majus</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Knautia arvensis</i>	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Aira caryophylla</i>	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.
<i>Muscari neglectum</i>	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.
<i>Asperula cynanchica</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	.	r	.	.	.
<i>Cerastium pumilum</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+
<i>Poa bulbosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+
<i>Cytisus decumbens</i> C. O2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	3
<i>Fragaria vesca</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Anemone rubra</i> s. rubra C. Ass.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.

Ces relevés sont exclusivement localisés sur des pentes nord, plus ombragées et moins sujettes aux sècheresses estivales. Ils sont un peu plus altitudinaux, entre 1000 et 1200 m, que ceux de Billy, qui donne une altitude moyenne de 750 m, mais la zone d'étude est plus méridionale.

Les relevés 530CR (sommets du Pouzat, 1208 m), 554CR (sommets du mont Charcon, 1149 m) et 552CR (sommets du Devès, 1417 m) en sont proches, mais apparaissent plus perturbés, surtout pour ce qui est du dernier relevé. Pour ceux-ci, l'attribution d'une identité syntaxonomique précise est délicate sur la base du référentiel utilisé, et probablement de toute façon discutable. Ils se situent dans un cluster où apparaissent des relevés non typiques du *Gentianetum cruciatae* Billy ex Thébaud et al. 2014, à reconsidérer sans doute comme une sous-unité de l'*Orchido-Saxifragetum*.

L'*Anemone rubrae*-*Dactylorhizetum sambucinae* du Devès

Nos relevés 2780GT (versant est de la Garde de Fleurac, 990 m), 556CR (versant sud du mont Charcon, 1132 m), 2770GT (versant sud du Miceselle, 1061 m), 555CR (sommets du mont Charcon, 1149 m), 558CR (versant sud/sud-est du Traimont-Pastour, 1164 m), 2775GT et 548CR (ces deux derniers au sommet des Ceyssoux, 1061 m), se concentrent dans un cluster (11) qui forme, avec les clusters 12, 13 et 14 (ce dernier contenant notre 558CR) un groupe largement dominé par l'*Anemone rubrae*-*Dactylorhizetum sambucinae* Dejou & Loiseau 1983. On y constate aussi secondairement des relevés du *Saxifraga granulatae*-*Helianthemum nummularium* Billy ex Loiseau & Felzines 2020, pelouse floristiquement peu originale selon son auteur et mal individualisée statistiquement selon notre analyse.

La première association, selon Billy (2000), est une végétation « de pacage maigre sur sols acides peu profonds, à assèchement estival marqué ». Cet auteur a montré que cette association, initialement caractérisée par Dejou et Loiseau (1984) sur un plateau granitique surplombant la Limagne de Clermont, présentait en réalité une extension bien plus large, tant en termes d'altitude que d'aire géographique. Elle est neutro-acidophilique, en climat d'abri, située exclusivement dans l'étage collinéen et sur roche cristalline, entre 500 et 900 m. Elle est rangée par Royer & Ferrez (2020) dans l'alliance acidophilique du *Koelerio-Phleion phleoidis* Korneck 1974, sous-alliance du *Festucenion longifolium-lemanii* Loiseau & Felzines 2010, commune au Massif central, aux Pyrénées et au bassin ligérien, cette dernière récemment rehaussée (Mady & Celle 2022) au niveau d'une alliance nouvelle plus atlantique que le *Koelerio-Phleion*.

Ces pelouses du Devès ont la combinaison caractéristique de l'association : omniprésence du groupe des mésophiles à mésoxérophiles pelousaires courantes des *Festuco-Brometea* (*Avenula pratensis*, *Carex caryophylla*, *Festuca lemanii*, *Helianthemum nummularium*, *Eryngium campestre*, *Ranunculus bulbosus*, *Potentilla verna*...), présence d'un groupe de prairiales mésophiles (*Achillea millefolium*, *Plantago lanceolata*, *Galium mollugo*, *Lotus corniculatus*, *Vicia sativa* et *Vicia hirsuta*) et d'un petit groupe d'acidiphiles (*Hypochaeris radicata*, *Luzula campestris* et *Myosotis stricta*). Parmi les caractéristiques données pour l'association, *Anemone rubra* et *Dactylorhiza sambucina* sont bien présents, mais peu fréquents, et *Anacamptis morio* est absent. Par rapport au type, le groupement

que nous avons observé dans le Devès s'originalise par une plus grande pauvreté floristique, avec des taxons manquants parmi ceux qui sont habituellement présents dans ce genre de pelouses, comme *Trifolium incarnatum* subsp. *molineri*, *Anacamptis morio*, *Euphorbia cyparissias*, *Poterium sanguisorba*... On y trouve aussi quelques taxons d'affinité calcicole rares ou manquants dans le *Pulsatillo-Dactylorhizetum* (*Bunium bulbocastanum* et *Asperula cynanchica*), alors que parallèlement des taxons plus acidiphiles de cette association manquent (*Anthoxanthum odoratum*, *Festuca rubra*, *Teesdalia nudicaulis*, *Conopodium majus*...). La présence régulière de *Bunium bulbocastanum* et *Jacobaea vulgaris* témoigne également d'un caractère plus perturbé par l'action anthropique.

Nos relevés s'étagent dans l'étage submontagnard, entre 1000 et 1200 m, soit une altitude nettement supérieure à celle habituellement décrite pour l'association, et s'observent uniquement sur basalte. Ces différentes spécificités statistiques, floristiques et synécologiques militent pour une sous-association originale dans le Devès, sur basalte. *Veronica scheereri*, fréquent, en est une bonne différentielle, avec *Bunium bulbocastanum*. Nous proposons à titre provisoire le nom d'« *Anemone rubrae*-*Dactylorhizetum sambucinae veronicetosum scheereri* subass. nov. prov. pour cette sous-association. Le relevé 558CR du tableau 2, effectué sur le versant sud du Traimont-Pastour, pourrait en représenter l'holotype. Mais le nombre trop faible de relevés et la proximité floristique avec certains relevés du *Saxifraga granulatae*-*Helianthemum*, groupement lui-même mal différencié de l'*Anemone rubrae*-*Dactylorhizetum*, ne nous permet pas de valider pour l'instant cette sous-association.

Végétations forestières

Parmi les 11 relevés réalisés dans des forêts lors de nos prospections de 2019 (Tab. 3), 7 ont pu être clairement affiliés à 2 associations végétales forestières principales du référentiel : le *Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris* Billy ex Thébaud et al. 2014 et le *Poo chaixii-Abietetum albae* Renaux et al. 2015 *saniculetosum europaeae* Le Henaff & Renaux in Renaux et al. 2015 (dendrogramme de la Fig. 5).

Le *Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris* du Devès

Dans l'analyse, les relevés 551CR (versant ouest/nord-ouest du Ceyssoux, 1125 m), 2772GT (versant sud du suc de Miceselle, 1082 m) et 2776GT (versant nord des Ceyssoux, 1042 m) s'inscrivent dans deux clusters jumeaux (7 et 8), qui sont quasiment exclusivement composés de *Diantho monspessulani-Pinetum sylvestris*.

Il s'agit de pinèdes xéroclines, hémihéliophiles, se développant sur substrat volcanique à l'étage montagnard. On retrouve dans nos relevés une bonne part du cortège caractéristique de l'association, avec *Fragaria vesca*, *Galium rotundifolium*, *Helleborus foetidus*, *Pinus sylvestris*, *Pyrola minor*, *Quercus petraea* et *Vicia sepium*, accompagnés de plusieurs caractéristiques ou différentielles du *Goodyero repentis-Pinion sylvestris* Thébaud & C.-E. Bernard 2018, comme *Hieracium praecox*, *Juniperus communis*, *Sedum rupestre* et *Sorbus aria*.

n° ordinal	1	2	3	4	5	6	7	9	8	10	11
n° d'auteur	277GT	551CR	277GT	560CR	277GT	547CR	546CR	543CR	542CR	553CR	544CR
Communautés différenciées	<i>Diantho-Pinetum sylvestris</i> (1)			vers <i>Luzulo-Fagetum</i>			<i>Daphno mezerei-Coryletum</i> (2)	<i>Gallo-Abietetum sensu Billy</i>	vers <i>Poo chaixii-abietetum albae saniculetosum</i> (3)		
<i>Arrhenatherum elatius</i>	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Galium verum</i>	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hieracium praecox</i> CI1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Crataegus monogyna</i> a	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aria</i> h	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aria</i> a	2	1	1	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Vicia sepium</i> D. Ass1	1	+	1	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Cytisus scoparius</i> h	1	1	1	r	.	+	.	.	.	.	.
<i>Avenella flexuosa</i>	3	3	4	r	2	1	1	.	.	.	.
<i>Hieracium murorum</i>	.	2	3	1	1	.	+	.	.	.	.
<i>Vaccinium myrtillus</i>	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
<i>Dryopteris dilatata</i> CI2	.	.	+	.	.	.	+	1	.	1	.
<i>Oxalis acetosella</i> CI2	.	.	.	.	.	.	3	3	.	2	+
<i>Abies alba</i> h	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	r
<i>Sambucus racemosa</i> a	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+
<i>Urtica dioica</i>	.	.	.	.	.	+	+	+	1	1	.
<i>Geum urbanum</i>	.	.	.	.	+	.	.	+	+	+	.
<i>Sanicula europaea</i> s.Ass3 et CI2	.	.	.	.	.	.	.	+	r	+	+
<i>Adoxa moschatellina</i> CI2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+
<i>Milium effusum</i> CI2	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	2
<i>Daphne mezereum</i> CI2	.	.	.	.	.	.	.	+	r	.	.
<i>Paris quadrifolia</i> CI2 et s.Ass3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2
Strate arborescente	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Fagus sylvatica</i> CI2	2	.	2	4	3	.	2	2	2	5	5
<i>Pinus sylvestris</i> CI1	4	4	4	.	2	.	.	4	4	.	.
<i>Sorbus aria</i> A CI1	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Betula pendula</i>	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.
<i>Abies alba</i> CI2	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	.
Strate arbustive	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Fagus sylvatica</i>	2	1	1	4	2	1	2	2	1	2	.
<i>Ribes alpinum</i>	1	+	+	.	2	1	.	+	.	.	.
<i>Corylus avellana</i> D. Ass.2	.	2	1	.	1	5	3	1	.	.	.
<i>Rubus species</i>	.	+	1	.	.	1	.	3	2	.	.
<i>Juniperus communis</i> s. communis CI1	1	.	.	.	+	.	.	.	1	.	.
<i>Abies alba</i>	+	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.
<i>Prunus avium</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Salix caprea</i>	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Sambucus nigra</i> a	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.
<i>Sambucus racemosa</i> a	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.
Strate herbacée	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Galium rotundifolium</i> CI1 et D.Ass1 3	+	1	2	r	.	1	+	+	+	+	.
<i>Fagus sylvatica</i>	1	.	.	+	1	1	+	.	+	1	+
<i>Lactuca muralis</i> D. Ass. 3	+	.	.	r	1	1	.	1	1	1	+
<i>Fragaria vesca</i> D. Ass.1	1	2	.	.	.	1	+	1	1	+	.
<i>Myosotis sylvatica</i>	.	.	+	.	+	.	.	+	+	1	.
<i>Conopodium majus</i> D. Ass2	.	.	.	+	+	+	.	1	+	.	.
<i>Moehringia trinervia</i>	.	.	.	.	1	+	+	+	+	+	r
<i>Geranium robertianum</i>	.	.	.	.	.	+	+	2	2	2	1
<i>Epilobium montanum</i> CI2	.	.	+	.	+	+	.	+	+	.	.
<i>Galium aparine</i>	+	.	.	.	+	+	.	.	2	+	.
<i>Dryopteris filix-mas</i> CI2	.	.	+	.	+	.	1	.	+	1	.
<i>Dactylis glomerata</i>	.	+	+	.	+	r	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.
<i>Rubus idaeus</i>	.	.	.	.	1	.	+	1	+	.	.
<i>Dryopteris carthusiana</i>	.	+	.	.	.	.	1	1	.	1	.
<i>Viola riviniana</i>	.	.	.	.	.	1	1	1	.	+	.
<i>Neottia nidus-avis</i> CI2	.	+	r	r	.	.	.	.	.	.	.
<i>Veronica chamaedrys</i>	.	1	+	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Stellaria holostea</i> CI2	.	1	+	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Quercus petraea</i> D Ass1	.	+	+	.	.	.	.	.	r	.	.
<i>Corylus avellana</i>	.	1	.	.	.	r	.	.	.	.	r
<i>Poa chaixii</i> C. Ass. 3	.	.	.	1	.	.	+	.	.	3	.
<i>Fraxinus excelsior</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+
<i>Achillea millefolium</i>	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Epilobium angustifolium</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Luzula forsteri</i> CI1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Poa pratensis</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rosa species</i>	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Galium mollugo</i>	1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Pyrola minor</i> CI1 et C.Ass. 1	.	+	.	.	.	r	.	.	.	.	.
<i>Poa nemoralis</i>	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.
<i>Ribes alpinum</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.
<i>Picea abies</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.
<i>Senecio ovatus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+
Strate muscinée	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hylocomium splendens</i>	.	2	3	.	.	1	2	1	.	.	.
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	.	1	.	.	.	1	2	.	.	.	.
<i>Pleurozium schreberi</i> CI1	2	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dicranum scoparium</i>	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.
<i>Eurhynchium striatum</i> CI2	.	.	.	.	.	1	.	+	.	.	.
<i>Plagiomnium affine</i>	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.

Tableau 3 - Relevés de forêts. Groupes de taxons différentiels : I héliophiles, II acidiphiles héliophiles à hémihéliophiles, III hémisciaphiles à sciaphiles, IV nitrophiles, acidiclinophiles à neutrophiles. CI1, taxons de la classe des *Junipero-Pinetea* ; CI2, taxons de la classe des *Carpino-Fagetea*. D, différentielle ; A, arbre ; a, arbuste ; h, herbacée. Les compagnes présentes moins de 2 fois sont données dans l'appendice.

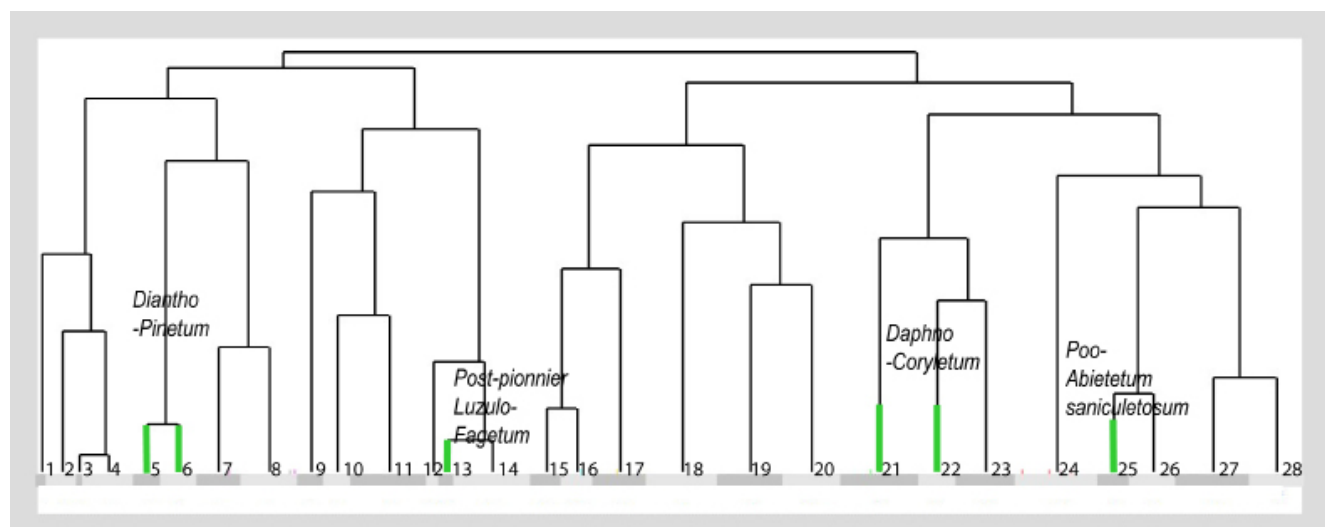


Figure 5 - Dendrogramme issu de l'analyse de classification MTC effectuée sur 601 relevés et 340 espèces concernant le référentiel régional de forêts utilisé ici ; les espèces présentes moins de 3 fois n'ont pas été intégrées à l'analyse (analyse en présence/absence ; indice de dissimilarité : inertie totale ; 28 clusters demandés). Les relevés réalisés dans cette étude sont repérés par une indentation de couleur verte.

Les deux sous-associations décrites par Billy ont été retrouvées : la sous-association typique (2776GT), différenciée par des taxons hélioxérophiles des pelouses, et la sous-association *epipactidetosum* (551CR), plus mésophile.

Cette association est classée par Thébaud & Bernard (2018) dans la classe sud-occidentale des forêts et fourrés xérophiles à Pin sylvestre et Genévriers, les *Junipero-Pinetea sylvestris* Rivas. Mart. 1965, alliance du *Goodyero repentis-Pinion sylvestris* Thébaud & C.-E. Bernard 2018, propre au Massif central.

Le *Poo chaixii-Abietetum albae saniculetosum europaeae* du Devès

Les relevés 543CR et 542CR (versant nord du Pouzat, respectivement à 1170 m et 1190 m), 553CR (versant est du Devès, 1350 m) et 544CR (versant nord de la Veyssière, 1160 m) apparaissent très proches, et sont regroupés dans le cluster 25 dominé par le *Poo chaixii-Abietetum albae saniculetosum*.

L'association rassemble des forêts dominées par le Sapin ou le Hêtre selon l'altitude et les pratiques anthropiques ayant pu sélectionner l'une ou l'autre espèce. Elle est ici représentée par la sous-association *saniculetosum*, qu'on retrouve à l'étage montagnard dans le Massif central méridional et oriental, principalement sur roches basaltiques peu acides et sur sols peu épais (Renaux et al. 2019). Elle est citée par ces auteurs sur les plateaux volcaniques du secteur susmentionné.

On retrouve dans nos relevés une bonne part de la combinaison caractéristique d'espèces pour cette association, avec *Abies alba*, *Athyrium filix-femina*, *Dryopteris filix-mas*, *Fagus sylvatica*, *Galium rotundifolium*, *Lactuca muralis*, *Oxalis acetosella*, *Poa chaixii*, *Rubus idaeus*, *Sambucus racemosa*, *Sorbus aucuparia* et *Viola riviniana*. L'appartenance de nos relevés à la sous-association *saniculetosum* est bien marquée par la présence de plusieurs différentielles, neutroclinophiles (*Sanicula europaea* et *Paris quadrifolia*) ou neutroclitrophiles des sols frais (*Ajuga reptans*, *Geum urbanum* et *Vicia sepium*).

Cette association est classée par Renaux et al. 2019 dans le *Fagion sylvaticae* Luquet 1926, sous-alliance du *Geranio nodosi-Fagenion sylvaticae* (S. Gentile 1974) Ubaldi & Speranza 1985, mais on ne retrouve guère d'espèces caractéristiques des syntaxons de rang supérieur à l'association dans nos relevés, à l'exception de quelques différentielles des *Fagenalia sylvaticae* Rameau ex R. Bœuf & J.-M. Royer in R. Bœuf 2014, comme *Actaea spicata*, *Daphne mezereum* et *Epilobium montanum*, ou des *Fagenea sylvaticae*, comme *Galium odoratum*, *Milium effusum* et *Viola reichenbachiana*.

Cette végétation, par son caractère montagnard et neutroclinophile, a beaucoup d'affinités avec l'*Adoxo moschatellinae-Fagetum actaetosum* (Billy 1997) Renaux et al. 2019 (= *Actaeo spicatae-Fagetum* Billy 1997 ; = *Dentario heptaphyllae-Fagetum sensu* Sulmont & Petetin 2000), forêt plus atlantique, avec laquelle le *Poo-Abietetum saniculetosum* semble rentrer en contact dans le nord du Devès et à laquelle peut être affilié le relevé L933 de Billy. Les deux associations sont proches, mais bien différenciées dans l'analyse, respectivement clusters 26 et 27 pour la première et 25 pour la seconde. Leur différence est présentée uniquement en termes d'atlantinité dans le PVF2, alors que Sulmont & Petetin (2000) avancent également une différence écologique (acidiclinophile vs neutroclinophile).

Notre analyse et notre base montrent une différence nette entre les deux associations, qui se retrouvent indubitablement dans la répartition spatiale, en cohérence avec le PVF2, mais dont l'interprétation en termes d'acidité n'est pas avérée. Cela ne remet pas en cause les conclusions d'ensemble de Sulmont & Petetin, qui ont travaillé à une échelle spatiale bien plus vaste, et à un niveau syntaxonomique plus élevé (les ensembles qu'ils ont différenciés incluant à chaque fois plusieurs associations). Cependant, cela suggère la nécessité d'une analyse plus fine des déterminants écologiques des deux associations et de plus amples investigations, dépassant naturellement les ambitions du présent article.

Autres relevés et groupements identifiés

Les relevés 546CR (Le Suc, 1200 m) et 560CR (versant ouest du Tatra, 1250 m) correspondent à des hêtraies-sapinières, plus ou moins riches en Sapin, se rangeant dans le cluster 13, qui regroupe très majoritairement des végétations correspondant au *Galio rotundifolii-Abietetum albae sensu Billy non Wraber 1959*, forêt acidoclinophile issue de plantations matures, et des pinèdes du *Prenanthes purpureae-Pinetum Billy ex Thébaud et al. 2014*. Ces forêts se rapprochent étroitement de groupements post-pionniers ou dégradés du *Luzulo sylvaticae-Fagetum* (cluster 14).

Le relevé 547CR (versant ouest du Suc) est une corylaie, qui s'inscrit dans un grand cluster homogène (22) très largement dominé par le *Daphno mezerei-Coryletum avellanae* C. Roux in Thébaud et al. 2014. C'est une végétation de manteau à *Corylus avellana*, mésotrophile, méso-acidoclinophile à neutroclinophile, se développant sur scories et cônes stromboliens. Cette association relève de la classe des *Carpino-Fagetea*, alliance de l'*Astrantio-Corylion avellanae* H. Passarge 1978, phase post-pionnière montagnarde avec strate herbacée de type ourlet. Du cortège caractéristique évoqué par ces auteurs, on ne retrouve dans nos relevés que *Corylus avellana* et *Fagus sylvatica*, auxquelles s'ajoutent quelques espèces des *Sambucetalia racemosae*, comme *Salix caprea* ou *Betula pendula*. Roux (2017) a décrit en détail cette association et ses différentes sous-associations dans la chaîne des Puys. Elle a été aussi reconnue dans les monts du Cantal et les monts Dore, dans l'étage montagnard sous climat d'influence océanique.

Le relevé 2779GT (sommet du Suc, 1224 m) représente une hêtraie dégradée et nitroclinophile sur un sommet rocheux, placée par l'analyse dans le cluster 21 de groupements post-pionniers de transition vers le *Luzulo sylvaticae-Fagetum* Cusset. On y voit émerger les espèces de cette association (*Conopodium majus*, *Deschampsia flexuosa* et *Dryopteris filix-mas*), préfiguration de cette hêtraie acidoclinophile montagnarde. Soulignons ici que les différences entre cette dernière association et le *Poo chaixii-Abietetum albae typicum* Renaux et al. 2015 sont parfois subtiles, mais que notre étude ne nous a pas permis d'identifier la sous-association dans la région prospectée.

Végétations des prémanteaux, fourrés et landes

Quatre relevés ont été réalisés sur ces formations : trois sur des fourrés et un sur un prémanteau. Les prospections n'ont permis de trouver des fourrés qu'en situation sommitale ou en versant sud (rareté des fourrés en versant nord). Étant donné l'échantillonnage limité, ces relevés n'ont pas fait l'objet d'une analyse quantitative au regard d'un référentiel, et ont au contraire simplement été analysés à vue.

Dans cette analyse, les 3 relevés de fourrés 550CR (versant sud du Ceyssoux, 1150 m), 557CR (sommet du mont Charcon, 1145 m) et 2771GT (versant sud du Miceselle) apparaissent relever du *Roso micrantha-Prunetum spinosae rubetosum gillottii* (Billy 1997) Thébaud et al. 2014.

Il s'agit d'un fourré paucispécifique, acidoclinophile à calcicole, mésoxérophile et thermophile, difficilement pénétrable, dominé

par *Prunus spinosa*. La sous-association reconnue ici est typique des stations alticoles. On retrouve bien dans les relevés trois espèces caractéristiques de l'association, avec *Prunus spinosa*, *Rosa micrantha* et *Crataegus monogyna*. La présence de *Ribes uva-crispa* et de *Juniperus communis* justifie l'affiliation à la sous-association *rubetosum gillottii*, au demeurant cohérente avec l'écologie des sites d'observation.

Le prémanteau à *Cytisus oromediterraneus* (*Cytisus oromediterraneus* Tüxen in Tüxen & Oberd. 1958) n'a été observé qu'une fois sur les suc du Devès (relevé 549CR, versant sud de la Garde des Ceyssoux, 1060 m). Le Genêt purgatif, taxon thermoxérophile et acidophile, est beaucoup mieux représenté dans les séries de végétation sur roche cristalline des gorges proches de la Loire et de l'Allier, sans doute pour des raisons édaphiques.

De même, la lande basse, de type Callunaie-Genistaie (cf. *Galio saxatilis-Vaccinietum myrtilloides* in Michalet et al. 1989), a été peu observée sur les suc du Devès, et seulement dans des secteurs rocheux montagnards d'altitude (sommet du mont Tartas et n° G540 de Billy au sommet de la Durande). Ces données sporadiques sont peu significatives.

Autres végétations des suc du Devès

En plus des formations décrites précédemment, lors de nos prospections, d'autres végétations ont été rencontrées, dont l'étude n'a pas été approfondie (Tab. 4). Il s'agit d'ourlets et de végétations turficoles.

Les ourlets comportent une végétation méso-eutrophile et hémisciphile du *Geo-Alliarion* (rel. 2773GT, effectué au bas du versant nord de la Garde des Ceyssoux), ainsi qu'un ourlet/clairière hélioclinophile de l'*Epilobion angustifoliae* enrichi en éléments des *Arrhenatheretea elatioris*, associés à quelques relictuelles pelousaires (rel. 540CR, hétérogène, sur le haut du versant sud du Pouzat).

Les végétations turficoles, qui relèvent des *Scheuchzerio-Caricetea*, ont été observées au Lac de l'Œuf. Il s'agit de végétations de gouilles, oligominérotrophiles, acidophiles, affines du *Carici curtae-Menyanthetum trifoliatae* Thébaud et al. 2012 (rel. n° 2778GT) et d'un faciès à *Deschampsia cespitosa*, plus asséché et perturbé (rel. 2777GT). Des formations denses paucispécifiques et étendues à *Carex vesicaria*, non relevées, affines du *Caricetum rostratae* (Rubel 12) Jonas 1923 *caricetosum vesicariae*, ont aussi été reconnues.

n° ordinal	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n° auteur	540CR	2773GT	529CR	557CR	2771GT	550CR	549CR	2777GT	2778GT
Types de végétation	ourlet/clairière (<i>Epilobion angustifolii</i>)	Ourlet frais (<i>Geo-Alliarion</i>)	Prairie fauche mésophile (<i>Arrhenatherion elatioris</i>)	fourré/ <i>Rosa micranthae-Prunetum</i>			prémanteau (<i>Cytision oromediterranei</i>)		végétations turficoles
<i>Epilobium angustifolium</i>	4	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Poa nemoralis</i>	3	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Rubus idaeus</i>	3	+	.	.	.	1	.	.	.
<i>Sambucus nigra</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cruciata laevipes</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Conopodium majus</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hypericum perforatum</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Heracleum sibiricum</i>	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Anthriscus sylvestris</i>	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Agrostis capillaris</i>	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Epilobium montanum</i>	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Poa trivialis</i>	1	2	1	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus acris</i>	.	+	1	.	.	.	.	.	.
<i>Rumex acetosa</i>	.	+	1	.	.	.	.	.	.
<i>Knautia arvensis</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Avenula pubescens</i>	.	.	3	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium pratense</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Taraxacum campyloides</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Crepis biennis</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium repens</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Tragopogon pratensis</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Bromus hordeaceus</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Fraxinus excelsior</i> A	.	.	.	2	.	.	.	.	.
<i>Pinus sylvestris</i> A	.	.	.	2	.	.	.	.	.
<i>Acer pseudoplatanus</i> a	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Ribes uva-crispa</i>	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Prunus spinosa</i>	.	.	.	4	4	4	.	.	.
<i>Rosa canina</i>	.	.	.	1	2	2	.	.	.
<i>Juniperus communis</i> s. communis	.	.	.	2	.	2	.	.	.
<i>Rubus species</i>	1	.	.	.	+	2	.	.	.
<i>Fraxinus excelsior</i> a	.	+	.	.	+	1	.	.	.
<i>Cytisus scoparius</i>	.	.	.	.	+	1	.	.	.
<i>Sorbus aria</i> a	.	.	.	.	1	1	.	.	.
<i>Rosa micrantha</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.
<i>Crataegus monogyna</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.
<i>Rosa tomentosa</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Cytisus oromediterraneus</i>	.	.	.	1	.	.	5	.	.
<i>Potentilla palustris</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	2
<i>Deschampsia cespitosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	5	+
<i>Carex nigra</i>	.	.	.	.	.	.	.	2	3
<i>Mentha arvensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Sphagnum inundatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	2	2
<i>Aulacomnium palustre</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Galium aparine</i>	.	+	.	2	1	+	1	.	.
<i>Dactylis glomerata</i>	+	1	1	+	.	.	.	.	.
<i>Galium mollugo</i> s. mollugo	2	1	.	+	.	2	.	.	.
<i>Urtica dioica</i>	1	2	.	2	.	.	1	.	.
<i>Arrhenatherum elatius</i>	1	.	2	+	.	+	.	.	.
<i>Vicia tenuifolia</i>	.	+	.	.	.	+	.	.	.
<i>Cirsium arvense</i>	1	.	r	.	.	+	.	.	.
<i>Myosotis sylvatica</i>	.	+	.	.	.	+	2	.	.
<i>Myosotis stricta</i>	.	.	+	.	+	.	+	.	.
<i>Cirsium eriophorum</i>	1	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Moehringia trinervia</i>	1	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Achillea millefolium</i>	+	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Veronica chamaedrys</i>	.	2	.	+	.	.	.	.	.
<i>Trisetum flavescens</i>	.	.	2	+	.	.	.	.	.
<i>Geranium pyrenaicum</i>	.	+	.	.	.	+	.	.	.
<i>Geum urbanum</i>	.	1	.	.	.	r	.	.	.
<i>Poa pratensis</i> s. angustifolia	.	.	.	.	1	.	+	.	.
<i>Helleborus foetidus</i>	.	.	.	.	.	1	2	.	.
<i>Brachypodium pinnatum</i>	.	.	.	.	.	2	+	.	.
<i>Pinus sylvestris</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Warnstorfia species</i>	.	.	.	.	.	.	.	2	+

Tableau 4 - Autres relevés. Groupes de taxons différentiels : I ourlets et coupes forestières (*Epilobietea*, *Galio-urticetea*...), II ourlets frais, III prairiales mésophiles mésotrophes (*Arrhenatheretea*), IV arbres et arbustes, V turficoles. Les compagnes présentes moins de 2 fois sont données dans l'appendice.

Séries de végétation

Les différents relevés analysés ci-dessus s'organisent en synrelevés quand ils sont localisés dans un compartiment écologique homogène, ou tessella. Ces synrelevés ne sont pas tous complets, car les configurations rencontrées sur le terrain lors des campagnes de relevés n'ont pas toujours permis d'observer tous les stades de successions dans toutes les conditions écologiques pertinentes. Les plus complets sont présentés dans le tableau 5, qui exclut les synrelevés ne représentant qu'un seul groupement. L'analyse des données ainsi organisées permet d'ores et déjà de dresser une esquisse symphytosociologique de la zone étudiée. Deux séries principales peuvent ainsi être individualisées ; deux autres séries sont esquissées, à confirmer.

Série des pentes d'ubac des sucs du Devès

Un premier ensemble bien homogène et caractérisé concerne les pentes d'ubac des sucs. Les synrelevés 1, 2 et 3 du tableau 5 représentent cette série ainsi que le schéma d'affinités dynamiques de la figure 6, représentent cette série.

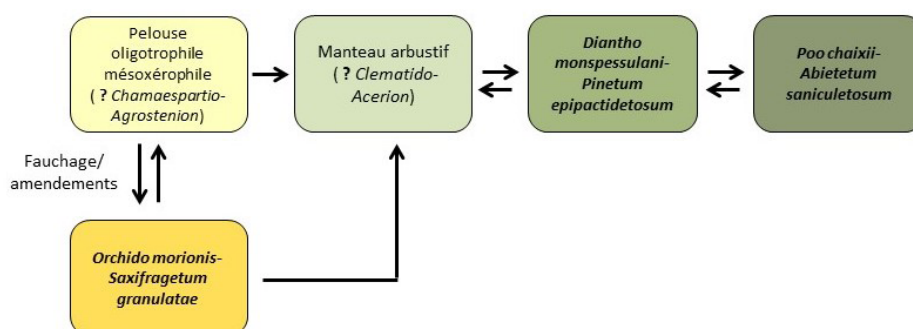
La tessella peut être définie comme suit : pentes ombragées entre 20 et 30%, d'orientation nord-ouest à est, sur substrat basaltique et sols profonds, entre 1000 (980) et 1200 (1260) m d'altitude, et sous climat semi-continental peu arrosé (entre 700

et 850 mm), avec déficit de précipitations estivales. Ses caractères écologiques, déduits des valeurs des indices d'Ellenberg donnés dans la figure 7, sont les suivants : série mésothermophile, mésophile, acidoclinophile à neutroclinophile, oligomésotrophile à mésotrophile.

Tableau 5 - Synrelevés des sucs du Devès.

Séries de végétation	1			2			3
n° de synrelevé	1	2	3	4	5	6	7
Localité	Ceyssoux	Pouzat	Veysseire	Charcon	Ceyssoux	Mieselle	La Suc
Région du Devès	C	NO	NO	C	C	C	C
Surface ha	13,2	28,7	59,8	25,3	19,7	20,8	230
Altitude sup	1064	1208	1260	1149	1064	1115	1279
Altitude inf	980	1070	1090	1030	940	980	1170
Orientation générale	N	N-NE	N	S	S	S	toutes
Pente moyenne %	22	19	28	24	22	26	5
nb de syntaxons	3	2	3	2	4	3	3
Geo-Alliarion	r						
Diantho monspessulani-Pinetum epipactidetosum	2	3					
Orchido morionis-Saxifragetum	1		1				
Poo chaixii-Abietetum saniculetosum et post-pionniers		2	2				
Adoxa moschatellinae-Fagetum actaetosum spicatae			2				
Anemone rubrae-Dactylorhizetum veronicetosum scheereri				2	2	2	
Roso micranthae-Prunetum spinosae rubetosum gillotii				1	1	1	
Cytision oromediterranei					+		
Diantho monspessulani-Pinetum typicum					2	1	
Gallo rotundifolii-Abietetum sensu Billy non Wraber							2
Daphno mezerei-Coryletum							+
Post-pionnier vers Luzulo sylvaticae-Fagetum typicum							2

Série climatophile submontagnarde de la hêtraie-sapinière à Sapin blanc, Pâturin de chaix et Sanicule d'Europe des ubacs des sucs du Devès (*Poo chaixii-Abieto albae saniculetoso europaeae sigmetum*)



Série climatophile, collinéenne à submontagnarde des adrets et sommets des sucs du Devès

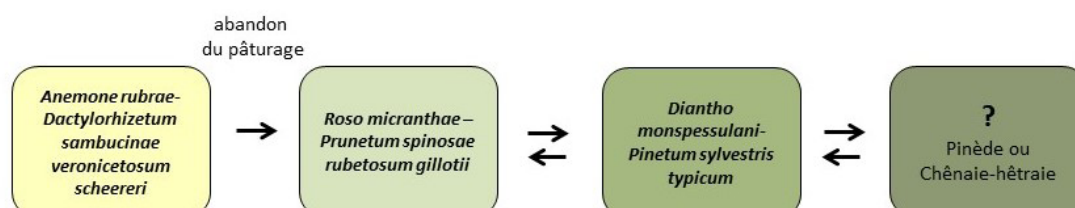


Figure 6 - Schéma d'affinités dynamiques des deux principales séries climatophiles des sucs du Devès.

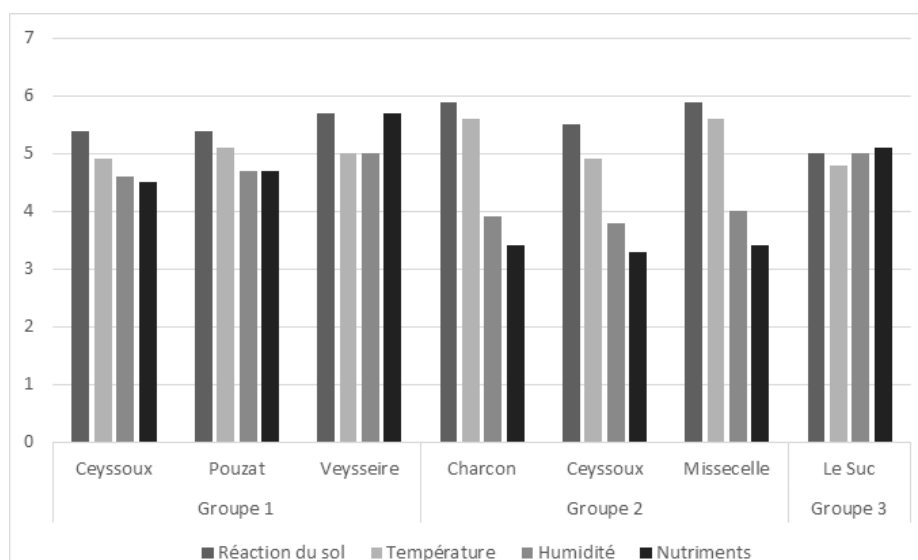


Figure 7 - Histogramme représentant les valeurs des indices d'Ellenberg pour la température, l'humidité, la réaction du sol et les nutriments, pour chaque individu des séries étudiées.

Les groupements observés au sein de cette série sont une prairie maigre de l'*Orchido morionis-Saxifragetum*, une pinède du *Diantho monspessulani-Pinetum epipactidetosum*, à laquelle succède enfin une hêtraie-sapinière du *Poo chaixii-Abietetum albae saniculetosum*. Le premier groupement, maintenu par des pratiques de fauche et d'amendement, représente vraisemblablement une trajectoire anthropique de la série ; le groupement naturel, aujourd'hui inconnu, peut-être une pelouse pastorale mésoxérophile et plus oligotrophile des *Festuco-Brometea*, relevant de l'alliance collinéenne à montagnarde, acidocline, du *Koelerio-Phleion phleoidis* Korneck 1974.

De même, nous n'avons pu ni observer ni relever des fourrés ou manteaux sur versant nord. Au vu des arbustes présents, et des observations de Billy (1997 p. 232), qui décrit les liens dynamiques avec le *Diantho-Pinetum epipactidetosum* d'ubac de l'Auvergne, le groupement manquant ici pourrait être proche du *Lonicero xylostei-Viburnetum lantanae* Billy ex B. Foucault & Royer et prendre place dans l'alliance mésophile et neutrophile, collinéenne à montagnarde du *Clematido vitalbae-Acerion campestris* Felzines in J.-M. Royer et al. 2006.

On peut nommer cette série : « série climatophile de la hêtraie-sapinière à Pâturin de Chaix et Sanicule d'Europe (*Poo chaixii-Abieto albae saniculetoso europaeae sigmetum*), submontagnarde à montagnarde, subcontinentale, acidocline à neutrocline des pentes d'ubac des sucs du Devès ». *Holotypus hoc loco* : synrelevé n°3. Elle est bien représentée sur le secteur d'étude : sur les sucs du Pouzat et de la Veyssière, à la Garde de Ceyssoux, au Traimont-Pastour, ou encore au Devès.

La comparaison tessellaire avec les séries proches existant dans la chaîne des Puys, réalisée par CCA fondée sur les valeurs d'Ellenberg (Fig. 8), montre l'originalité des trois synrelevés concernés, traduisant une position mésophile, plus humides et mésotrophe, typique des ubacs.

Cette série est proche d'une série encore imparfaitement connue, située sur les ubacs des vallées orientales en climat d'abri,

entaillant les massifs volcaniques entre 840 et 1100 m, conduisant à une hêtraie neutroclinophile, l'*Adoxo moschatellinae-Fagetum actaetosum*. Cette dernière association a d'ailleurs été reconnue par Sulmont & Petetin dans le nord du Devès, en particulier au mont Bar, où elle arrive en contact avec le *Poo chaixii-Abietetum albae saniculetosum*.

Série des sommets et pentes d'adret des sucs du Devès

Un deuxième ensemble occupe les sites d'expositions plus favorables. Les synrelevés 4, 5 et 6 du tableau 5 représentent cette série.

La tessella peut être définie comme suit : sommets et pentes d'orientation favorable, ouest à sud-est, entre 0 et 30%, sur substrat basaltique et sols subissant un assèchement estival prononcé, entre 1000 (940) et 1150 m (1200), et sous climat subcontinental peu arrosé, entre 700 et 850 mm de précipitations annuelles, avec déficit de précipitations estivales. Ses caractères écologiques, déduits des valeurs des indices d'Ellenberg donnés dans la figure 7, sont les suivants : série mésothermophile à thermophile, mésoxérophile à mésophile, acidoclinophile à neutroclinophile, oligotrophile.

Les groupements qui la composent sont la pelouse de l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum veronicetosum scheereri*, les fourrés du *Roso micrantha-Prunetum rubetosum gilottii* et la pinède du *Diantho monspessulani-Pinetum typicum*. Dans le cadre de nos prospections, il n'a pas été possible d'observer la tête de série.

On peut nommer cette série : « série climatophile collinéenne à submontagnarde, subcontinentale, acidoclinophile à neutroclinophile, thermomésotrophile et oligotrophile, des sommets et adrets des sucs du Devès » (Fig. 6). Elle est bien représentée sur le territoire d'étude : au Suc de Miseselle (synrelevé le plus diversifié), au Mont Charcon, à la Garde de Ceyssoux, au Traimont-Pastour, ou encore à la Garde de Fleurac.

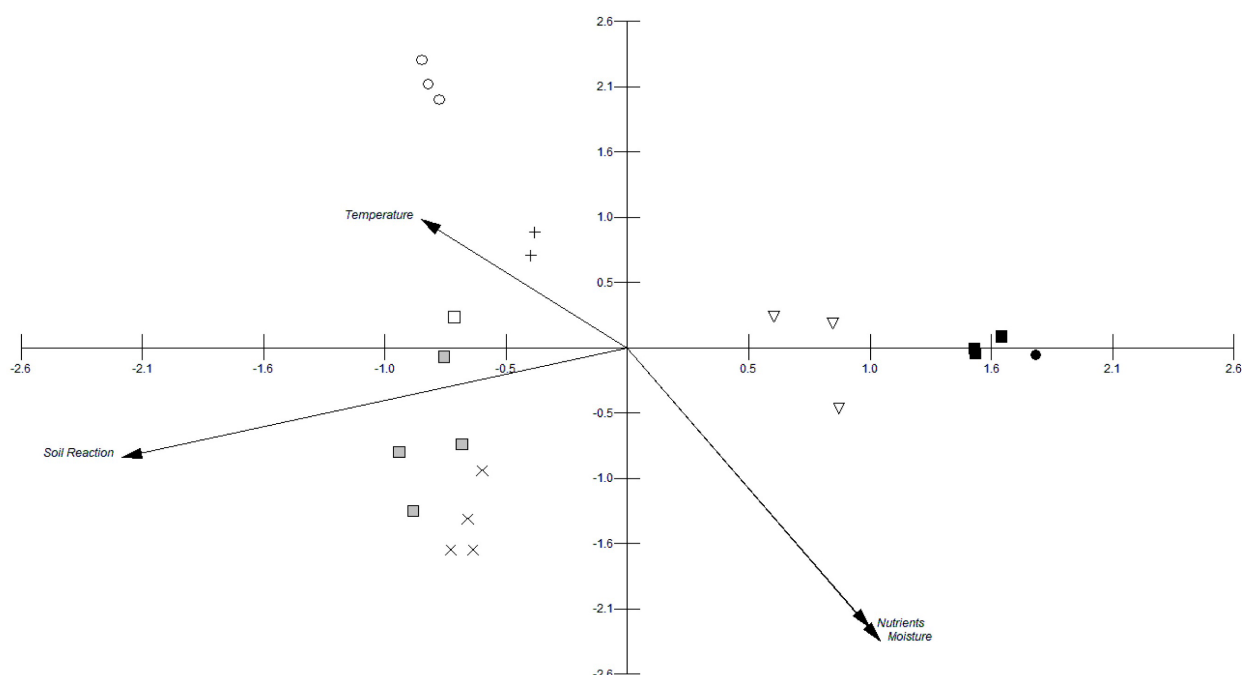


Figure 8 - Analyse canonique des correspondances effectuée à partir de 22 synrelevés (7 du Devès et 14 de la chaîne des Puys) et de leur indice d'Ellenberg. Les symboles représentent les séries : + série de la pinède à Pin sylvestre et œillet de Montpellier sur les versants sud les plus xériques et thermophiles de la chaîne des Puys ; □ sous série de la pinède précédente mais de plus basse altitude ; ■ série de la hêtraie à grande Luzule dans la partie centrale de la chaîne des Puys ; ▨ série de la hêtraie à Sceau de Salomon multiflore et Alisier du plateau cristallin ; X sous série édaphoxérophile de la hêtraie à Euphorbe d'Irlande et Noisetier sur les versants sud de la chaîne des Puys ; ▽ série des versants nord du Devès de notre étude ; ○ série des versants sud du Devès de notre étude ; ● série de plus haute altitude dans le Devès. La valeur propre du premier axe est de 0,960 et de 0,773 pour l'axe 2.

La comparaison tessellaire avec les séries proches des adrets de la chaîne des Puys, réalisée par CCA fondée sur les valeurs d'Ellenberg (Fig. 8), montre l'originalité des trois synrelevés concernés, avec une position nettement plus thermoxérophile. La plus proche écologiquement est la série édaphoxérophile de la pinède à Pin sylvestre et Œillet de Montpellier, qui se développe sur sols squelettiques beaucoup moins profonds que dans le Devès. Il semble donc que le climat plus sec et plus chaud de celui-ci « compense » la xéricité édaphique observée dans la série de la chaîne des Puys. La série climato-philie acidocline submontagnarde de la hêtraie à Sceau de Salomon multiflore et Alisier, reconnue par Roux (2017) sur le plateau granitique en contrebas de la chaîne des Puys, apparaît, au regard des synrelevés analysés, plus humide et moins oligotrophe. Dans cette série, on retrouve les pelouses de l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum typicum*, et non la sous-association *veronicetosum scheereri* comme dans le Devès, auxquelles succèdent le *Roso-Prunetum rubetosum gillottii* puis une chênaie-hêtraie (*Polygonato multiflori-Fagetum sylvaticae sorbetosum ariae*).

Une autre série proche, observée dans le secteur clermontois, est la sous-série édaphoxérophile à Fléole de Boehmer, Fétuque de Léman et Campanule agglomérée de la série à Hêtre, Euphorbe d'Irlande et Noisetier (Roux 2017, p. 190). Les synrelevés qui la composent sont discriminés eux aussi par l'analyse comme plus humides et moins oligotrophes. Elle se développe essentiellement sur adrets basaltiques dans le sud de la chaîne des Puys. Elle a pour groupement terminal une chênaie-hêtraie relativement thermophile, mais encore sous influence atlantique (*Euphorbio hybernae-Fagetum coryletosum*) qui succède à la pinède du *Diantho-Pinetum typicum* (également dans nos synrelevés, dans

lesquels la corylaie à Bois-gentil et Bétoine du *Daphno mezerei-Coryletum stachietosum*, si abondante dans cette sous-série, n'a pas été retrouvée).

Il faut certainement chercher une autre tête de série pour ces adrets des suds du Devès, acidocline à neutrocline, collinéenne à submontagnarde, se développant sur basalte, en climat subcontinental et en versants bien exposés. On peut penser, soit à une pinède, soit à une chênaie-hêtraie. Dans le second cas, l'*Epilobio montani-Fagetum cephalantheretosum longifoliae* Billy ex Renaux et al. (= *Cephalanthero longifoliae-Fagetum* Billy 1997), connu dans la région proche et cité dans le Devès (Billy 1997), pourrait s'avérer être la pièce manquante. Mais une pinède n'est pas à exclure, compte-tenu de la xéricité climatique des stations. Ces premiers éléments pointent des pistes intéressantes pour de futures investigations.

Série montagnarde des sommets au-dessus de 1200 m ?

Une troisième série, de plus haute altitude, semble se dégager, mais elle n'est étayée que par un seul synrelevé (n° 7 Tab. 5), effectué dans un secteur quelque peu perturbé par les plantations résineuses.

La tessella correspond à des zones au-dessus de 1200 m en situation plus héliophile (sommets, plateaux sommitaux et versants ouest), sur substrat basaltique, sous un climat montagnard plus arrosé que les précédentes. Ses caractères écologiques, déduits des valeurs des indices d'Ellenberg donnés dans la figure 7, sont les suivants : série mésocryophile, mésophile, acidoclinophile et mésotrophile.

Les communautés observées sont une corylaie pionnière du *Daphno mezerei-Coryletum*, une hêtraie-sapinière exploitée, acidiline et nitrocline qui se rapproche du *Galio-Abietetum sensu* Billy non Wraber, et une hêtraie post-pionnière vers le *Luzulo sylvaticae-Fagetum*. Sous le sommet de la Durande, à 1280 m, une lande relevée par Billy (G580), affine du *Galio saxatilis-Vaccinietum myrtilli* Michalet et al. 1989 pourrait bien compléter la série.

On peut nommer provisoirement cette série : « série climatophile, montagnarde, acidiclinophile, de la hêtraie-sapinière à *Luzule* sylvatique des sommets volcaniques du Devès ». Elle est présente sur le plateau sommital du grand massif forestier Le Suc/la Veyssière/Mont Pignon, et peut-être au Mont Tartas et à la Durande. Elle est à rechercher sur les sommets du Mont Devès, mais ceux-ci sont encore plus perturbés par les plantations.

La comparaison tessellaire avec des séries proches de la chaîne des Puys (Fig. 6) confirme sa proximité écologique avec la série climatophile montagnarde de la hêtraie à grande *Luzule* de la partie centrale de ce massif, échelonnée entre 940 et 1260 m d'altitude sur trachyte, série à laquelle elle pourrait être provisoirement rapportée en attendant de plus amples investigations.

Séries collinéenne à submontagnarde de basse altitude ?

Des relevés dans des secteurs que nous n'avons pas prospectés, effectués par Billy au mont Coupé et au Mont Briançon, suggèrent l'existence de séries collinéennes à submontagnardes plus thermophiles sur des suc du Devès de plus basse altitude, entre 700 et 1000 m. Les relevés, dont certains ne sont pas intégrés dans notre référentiel, se rattachent au *Luzulo-Fagetum euphorbietosum amygdaloidis*, hêtraie ou chênaie hêtraie acidiline, ou à l'*Epilobio montani-Fagetum*, chênaie-hêtraie neutrophile. Les fourrés du *Roso micranta-Prunetum (rubetosum ulmifolii)* et des pelouses plus thermophiles du *Koelerio-Phleion* appartenant au *Phleo-Festucetum typicum* ont par ailleurs été cités par l'auteur.

Discussion et conclusions

Les résultats exposés ci-dessus donnent un premier aperçu de la diversité des groupements végétaux et des séries dans un secteur, celui des cônes volcaniques du Devès, qui est relativement délaissé par les études phytosociologiques et, plus généralement, naturalistes. Ces résultats présentent un intérêt local, en approfondissant la connaissance du patrimoine de ce secteur, et un intérêt régional, par leur contribution à compléter les connaissances sur les groupements végétaux et leur dynamique dans le Massif central.

Une certaine originalité du secteur émerge de nos résultats, et est marquée en particulier par la présence d'une nouvelle sous-association de pelouse que nous décrivons à titre provisoire. Cette originalité fait écho à l'originalité paysagère du secteur, faite de cônes stromboliens anciens, plus émoussés et moins impressionnants de prime abord que dans la chaîne des Puys, mais atteignant une altitude notable sur des surfaces bien plus vastes. Dans ces paysages originaux, on remarque des végétations d'intérêt patrimonial, en particulier les pelouses de l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum sambucinae* (code Natura 2000 : 6210-36) et les prairies maigres de fauche de l'*Orchido*

morionis-Saxifragetum granulatae (code Natura 2000 6510-3), plus rares et vraisemblablement en voie de disparition compte tenu des changements de pratiques agricoles.

De même, *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, 1848, espèce listée comme « vulnérable » dans la Liste Rouge de la flore d'Auvergne, a été découverte en plusieurs stations forestières. *Botrychium lunaria* (L.) Sw., 1801, « quasi menacé », *Carlina acanthifolia* All., 1773, figurant sur la liste régionale Auvergnate des taxons protégés, et d'autres peu courants comme *Cytisus decumbens* (Durande) Spach, 1845, sont aussi à signaler. Nos résultats renforcent ainsi un faisceau de preuves de l'intérêt botanique et écologique de ce secteur, qui mériterait certainement une protection plus poussée.

Nos résultats permettent aussi d'esquisser une comparaison avec les végétations et les séries dynamiques étudiées récemment dans la chaîne des Puys par Roux (2017). On pouvait s'attendre à ce que, dans les mêmes conditions altitudinales, sur des substrats géologiques et de géomorphologies proches, ces régions peu distantes géographiquement se ressemblent par leur végétation. Or ce n'est pas le cas. De nombreuses différences existent concernant les groupements végétaux. Dans le Devès, on ne trouve pas les pelouses acidilines montagnardes subatlantiques du *Diantho-Brachypodietum* et du *Ranunculo-Brachypodietum* (alliance du *Bromion erecti*, sous-alliance du *Chamaespartio sagittalis-Agrostienion capillaris* Vigo ex J.-M. Royer & Ferrez), omniprésentes dans la chaîne des Puys. Il en va de même pour les différents types de forêts montagnardes atlantiques de l'*Euphorbio hybernae-Fagetum*.

Des végétations présentes sur les suc du Devès sont trouvées plus haut en altitude que plus au nord en Auvergne. C'est le cas de l'*Anemone-Dactylorhizetum* (alliance acidiline du *Koelerio-Phleion*), cantonné dans le collinéen ou le submontagnard sur le plateau cristallin en contrebas de la chaîne des Puys, et de l'*Orchido morionis-Saxifragetum*. On observe ainsi une « remontée » des étages de végétation. Sur les ubacs, le contingent floristique montagnard reste discret, contrairement à ce que l'on constate sur la chaîne des Puys. Au niveau des successions végétales présentes, on remarque que le compartiment tessellaire d'adret des suc du Devès est nettement plus thermophile que celui de la chaîne des Puys. La série montagnarde acidiline conduisant au *Luzulo sylvaticae-Fagetum*, si elle se confirme, se développe aussi dans un compartiment nettement plus alticole. Sur les ubacs, l'existence d'une série climatophile bien individualisée, la série de la hêtraie-sapinière à Sapin blanc, Pâturin de Chaix et Sanicule d'Europe, est aussi à souligner.

Ces caractères sont à mettre en relation avec le climat semi-continental sec à déficit hydrique estival de cette région.

Ces différents résultats, obtenus sur la base d'une campagne de relevés limitée, suggèrent la nécessité de développer des études approfondies du secteur. En particulier, l'analyse symphytosociologique, si elle permet de bien caractériser deux séries, pointe en revanche l'incomplétude de notre échantillonnage pour caractériser précisément les autres séries entrevues sur le terrain. Cette incomplétude ne reflète pas un déséquilibre de notre protocole, qui cherchait au contraire à

balayer l'étendue des conditions écologiques de façon à pouvoir bien capturer les caractéristiques des différentes séries. Ce sont les configurations de terrain qui ont été limitantes : certaines combinaisons de conditions écologiques et de maturation des peuplements étant, de fait, très peu, et peut-être même pas du tout, représentées sur le territoire.

En pointant ces combinaisons rares, notre première campagne de relevés identifie les points qui devront faire l'objet d'une attention toute particulière, et d'un effort d'échantillonnage exacerbé sur le terrain, lors de prochaines campagnes.

D'autres limites de la présente étude, qui reflètent des difficultés rencontrées sur le terrain, seront à prendre en compte lors du déploiement d'études complémentaires.

En particulier, ainsi que nous y avons insisté à plusieurs reprises dans la section consacrée aux résultats, de nombreux secteurs apparaissent très dégradés par les impacts anthropiques, ce qui rend difficiles, et parfois hasardeuses, les identifications syntaxonomiques. Démultiplier les relevés dans les secteurs présentant les mêmes conditions écologiques que celles des zones de végétation touchées par les facteurs d'impacts en question (enrésinement de vastes surfaces boisées, pollutions, piétinement et surpâturage dans certains secteurs de pelouses, laissant parfois des marques rémanentes dans des zones aujourd'hui délaissées et occupées par des pinèdes) permettra, dans les études futures, de disposer de sous-échantillons bien caractéristiques, plus pertinents pour la caractérisation des végétations et de leur dynamique, et constituant des points de référence pour évaluer les impacts affectant les végétations similaires mais plus dégradées.

Au-delà de ces difficultés liées au contexte local, rappelons enfin les limites méthodologiques propres à des études comme la nôtre.

Notre usage d'une vaste base de données s'appuyant sur la synthèse du travail de nombreux chercheurs et experts dotés d'une grande expérience du terrain dans le Massif central a vocation à permettre des identifications syntaxonomiques rigoureuses, quantitativement étayées et objectives. Ceci étant dit, on ne peut souligner avec trop d'instance le fait que la base de données parfaite n'existe pas. Des déséquilibres existent certainement entre les données de notre base pour différents secteurs ou différents types de végétation, et les identifications proposées par les auteurs, si elles ont dans beaucoup de cas pu être vérifiées et éventuellement révisées, peuvent comporter des erreurs liées aux opérateurs, à leur contexte de travail, ou même aux lacunes de connaissances phytosociologiques. On ne peut exclure que de tels biais dans la base aient pu, dans une certaine mesure, affecter certains des résultats que nous avons obtenus et influencer nos interprétations. Seule la démultiplication des études du même type, avec des bases de données toujours plus riches de nouveaux relevés, peut permettre de limiter le risque de tels soucis. Plus généralement, notre démarche, qui consiste à appuyer les identifications syntaxonomiques sur une base de données identifiées, présuppose la qualité des identifications dans la base, sans chercher à les remettre en cause, alors même que parfois l'exploration statistique peut suggérer que certains

syntaxons pourtant reconnus dans la littérature devraient être remis en question.

Une analyse critique des données de la littérature est un volet de la recherche phytosociologique, d'une très grande importance sur le fond, qui ne relève pas d'études locales comme la nôtre, mais plutôt de synthèses comme celles qui sont, depuis quelques années, engagées autour de la complétion de la version déclinée à l'association, du prodrome des végétations de France (PVF2).

Remerciements

Les auteurs remercient Emilie Gomes da Silva et Guillaume Tatti, de l'université Clermont Auvergne, pour l'aide administrative apportée, ainsi que les relecteurs et évaluateur de l'article. Ils remercient également le bureau d'études GEREKO, qui a financé une partie des prospections de terrain. Ce travail a été conduit dans le cadre du programme IHMAGES (informatisation des herbiers du Massif central pour l'analyse globale des écosystèmes), cofinancé par l'Union européenne et le Fonds national d'aménagement et de développement du territoire. L'Europe s'engage dans le Massif central avec le fonds européen de développement régional. Les auteurs remercient également le bureau d'études GEREKO, qui a financé une partie des prospections de terrain.

Références

- Bardat J., Bioret F., Botineau M., Boullet V., Delpech R., Gehu J.-M., Haury J., Lacoste A., Rameau J.-C., Royer J.-M., Roux G. & Touffet J., 2004. *Prodrome des végétations de France*. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Collection Patrimoines naturels, **61**, 171 p.
- Billy F., 1988. La végétation de la Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, NS, **9**, 416 p.
- Billy F., 1997. Les forêts et leurs lisières en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, NS, **15**, 329 p.
- Billy F., 2000. Prairies et pâturages en Basse Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, NS, **20**, 259 p.
- Billy F., 2002. Végétations pionnières en Basse Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, NS, **22**, 197 p.
- Bioret F., Boullet V., Choynet G., Roux C., Thébaud G., Panaïotis C., Chalumeau A., Delbosc P., Demartini C., Gauberville C., Cianfaglione K., Bernard C.-E., Bensettiti F. & Lalanne A., 2019. Landscape phytosociology concepts and definitions applied to serial and catenal vegetation mapping. *Contribuții Botanice* **LIV** : 47-53.
- Braun-Blanquet J., 1932. *Plant sociology, the study of plant communities*. Transl. G.D. Fuller & H.S. Conard. Mc Graw-Hill, New York, 476 p.
- BRGM, bureau de recherches géologiques et minières, 2022. <http://infoterre.brgm.fr/>
- Dejou J. & Loiseau J.-E., 1984. Observations sur les sols et la composition floristique des pelouses établies sur granites au sud-ouest de Clermont- Ferrand. *Revue de la Société d'Histoire Naturelle d'Auvergne*, N.S., **49**: 31-54.
- Foucault B. de, 1984. *Systématique, structuralisme et synsystème des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises*. Thèse de Doctorat, Université de Rouen, Tome 1, 409 p.
- Foucault B. de, 1986. *La phytosociologie sigmatiste : une morpho-physique*. Mémoire Université de Lille (rapport), 147 p.

- Foucault B. de, 1989. Contribution à une étude systématique des prairies mésophiles atlantiques. *Colloques Phytosociologiques XVI*, Phytosociologie et pastoralisme : 709-733.
- Foucault B. de & Royer J.-M., 2016. Contribution au prodrome des végétations de France : les *Rhamno catharticae-Prunetea spinosae*. *Documents Phytosociologiques* 2 : 153-345. <http://www.phytosocio.org/#/pvf2>
- Géhu J.-M., 2006. *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales*. Édition J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 899 p.
- Géhu J.-M. & Rivas-Martinez S., 1981. Notions fondamentales de phytosociologie. *Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie*, J. Cramer, Berlin : 5-33.
- Gimilio R., 1972. Application des notions de continentalité au Velay-Vivarais. Etude de pluviométrie pluviale moyenne. *Bulletin de la Société d'écologie* III(3) : 341-353.
- Guinochet M., 1973. *Phytosociologie*. Paris, Masson, 227 p.
- Lazare J.-J., 2009. Phytosociologie dynamico-caténale et gestion de la biodiversité. *Acta Botanica Gallica*, 156(1) : 46-61.
- Mady M. & Celle J., 2022. Le système pelousaire thermoxérique de la Tardes et du Haut-Cher (nord du Massif central). *Botanique* 8 : 153-197.
- Météociel, 2004-2022. Observations prévisions modèles en temps réel. https://www.meteociel.fr/obs/clim/normales_records.php
- Meinard Y. & Thébaud G., 2019. L'identification syntaxonomique dans les démarches de gestion et/ou de restauration d'espaces naturels en France : pour ou contre ? *Natureae* 6 : 165-173. <https://sciencepress.mnhn.fr/fr/periodiques/natureae/2019/6>
- Ozenda P., 1985. *La végétation de la chaîne alpine*. Masson Paris, 331 p.
- Renaux B., Timbal J., Gauberville C. & Thébaud G., 2019. Contribution au prodrome des végétations de France : Les *Carpino betuli-Fagetea sylvaticae*. *Documents Phytosociologiques* 11, 423 p.
- Roleček J., Tichý L., Zelený D. & Chytrý M., 2009. Modified Twinspan Classification in which the hierarchy respects cluster heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 120 : 596-602.
- Roux C., 2017. *De la Limagne à la chaîne des Puys: approche analytique intégrative pour l'étude des végétations actuelles et potentielles en moyenne montagne tempérée*. Thèse de doctorat d'université, Université Clermont Auvergne, Editions Revoir, 339 p.
- Royer J.-M. & Ferrez, 2020. Contribution au prodrome des végétations de France : Les *Festuco-Brometea*. *Documents Phytosociologiques* 13 : 5-304.
- Seytre L., 2002. *Inventaire et cartographie de la flore et des habitats naturels des narces de la Sauvetat (Landos, haute-Loire)*. Rapport CBNMC, 128 p. et annexes.
- Seytre L., 2009. *Compléments d'inventaire et de cartographie des habitats naturels du bassin versant du site Natura 2000 FR 8301077 « Marais de Limagne » (Haute-Loire)*. Rapport CBNMC, 24 p. et annexes.
- Sulmont E. & Petetin A., 2000. *Caractérisation des hêtraies de l'Asperulo-Fagetum en Auvergne*. Rapport CBNMC, 79 p.
- Thébaud G., Roux C., Bernard C.-E. & Delcoigne A., 2014. *Guide d'identification des végétations du nord du Massif central*. Presses universitaires Blaise Pascal, 274 p.
- Thébaud G. & Roux C., 2018. Végétations montagnardes et subalpines du Massif central français. *Botanique*, 4 : 111-138.
- Thébaud G. & Bernard C.-E., 2018. Contribution au prodrome des végétations de France : les forêts de conifères circumboréales ou montagnardes sur sols acides des classes des *Vaccinio-Piceetea*, des *Junipero-Pinetea sylvestris* et des *Roso pendulinae-Pinetea mugo*. *Documents Phytosociologiques*, 7 : 284-421. <http://www.phytosocio.org/#/pvf2>
- Thébaud G., Choynet G. & Roux C., 2021. Contribution to the survey of the heathlands of the french Massif central (habitats 4030 and 4060) : analysis of phytosociological data. *BIOM* 2: 62-109. <https://doi.org/10.52497/biom.v2i1.283>
- Theurillat J.-P., Willner W., Fernández-González F., Bültmann H., Čarni A., Gigante D., Mucina L. & Weber H., 2020. International code of phytosociological nomenclature. 4th edition. *Applied vegetation science*, 24(1) : 1-62. <https://doi.org/10.1111/avsc.12491>
- Willner W., 2006. The association concept revisited. *Phytocoenologia*, 36(1) : 67-76.

Appendice : données complémentaires des relevés de la campagne 2019

Tableau 2 : pelouses

Espèces présentes moins de deux fois :

Botrychium lunaria 552CR: +; *Leontodon species* 2774GT: 1; *Linum catharticum* 2774GT: +; *Laserpitium latifolium* 2774GT: +; *Primula veris* 2774GT: r; *Deschampsia flexuosa* 2774GT: r; *Heracleum sibiricum* 559CR: 1; *Silene vulgaris* 559CR: 1; *Epilobium angustifolium* 559CR: +; *Cynosurus cristatus* 559CR: +; *Poa trivialis* 545CR: 1; *Alopecurus pratensis* 545CR: +; *Myosotis discolor* 545CR: +; *Myosotis sylvatica* 545CR: +; *Salix caprea* 545CR: +; *Poa species* 545CR: r; *Noccaea alpestris s. alpestris* 545CR: r; *Rosa species* 554CR: 1; *Cirsium eriophorum* 554CR: 1; *Campanula rotundifolia* 554CR: +; *Poa pratensis s. pratensis* 554CR: +; *Cuscuta species* 555CR: r; *Koeleria macrantha* 2775GT: +; *Ononis spinosa s. procurrens* 2775GT: r; *Verbascum species* 2780GT: +; *Prunus spinosa* 2780GT: +; *Cirsium arvense* 2780GT: +; *Festuca species* 2780GT: r; *Erophila verna* 558CR: r; *Veronica verna* 558CR: 2; *Trifolium dubium* 558CR: +; *Scleranthus perennis* 558CR: +; *Muscari comosum* 2770GT: 2; *Alyssum alyssoides* 2770GT: 1; *Armeria arenaria s. arenaria* 2770GT: +; *Cerastium brachypetalum* 2770GT: +; *Trifolium species* 2770GT: +; *Carlina acanthifolia* 548CR: 1; *Clinopodium acinos* 548CR: 1; *Sherardia arvensis* 548CR: +; *Knautia species* 548CR: r; *Thymus serpyllum s. serpyllum* 548CR: +; *Carlina vulgaris* 548CR: +; *Rhinanthus alectorolophus* 530CR: 1; *Rubus idaeus* 530CR: 1; *Genista pilosa* 530CR: +; *Viola odorata* 530CR: +; *Agrostis capillaris* 530CR: +; *Calamintha species* 530CR: r; *Valeriana officinalis* 530CR: r; *Vicia sativa s. sativa* 556CR: 1; *Centaurea scabiosa* 556CR: 1; *Ajuga genevensis* 556CR: +; *Hippocrepis comosa* 556CR: +; *Galium pumilum* 556CR: +; *Daucus carota* 556CR: +; *Leontodon hispidus* 552CR: 3; *Myosotis arvensis* 552CR: 1; *Picea abies* 552CR: 1; *Thesium humifusum* 552CR: +; *Rhinanthus species* 552CR: +; *Rumex acetosella* 552CR: +; *Scleranthus annuus* 552CR: +.

Données stationnelles : dans l'ordre sont donnés : N° d'auteur, Date, Relevé area (m²), Altitude, Exposition (degrés), Pente (degrés), Rec. Total (%), Rec. strate arborée (%), Rec. strate arbustive (%), Rec. strate herbacée (%), Rec. strate bryo (%), Remarques, x_coord, y_coord, commune, localité, géologie.

2774GT, 20190616, 25.00, 1028, 315, 15, 90, , , 90, , , 769683.740, 6425174.850, , Le Brignon, La Garde de Ceyssoux, basalte.

559CR, 20190619, 25.00, 1195, 45, 10, 85, , , 85, , , 769156.000, 6415753.000, , Barges, Traimont-Pastour, basalte.

545CR, 20190617, 25.00, 1135, 23, 0, 100, , , 90, , synrelevé avec hêtraie (), 0.000, 0.000, Siaugues-Ste-Marie, La Veyssière, basalte.

554CR, 20190619, 25.00, , 270, 3, 95, , 5, 95, 10, Synrelevé 5, 0.000, 0.000, , St-Martin-de-Fugères, Mont Charcon, basalte.

555CR, 20190619, 15.00, 1145, , 0, 95, , 5, 95, 10, Synrelevé 5, 0.000, 0.000, St-Martin-de-Fugères, Mont Charcon, basalte.

2775GT, 20190616, 25.00, 1061, , 0, 90, , , 90, , sur replat sommital, 769780.550, 6424997.890, Le Brignon, La Garde de Ceyssoux, basalte.

2780GT, 20190618, 25.00, 990, 90, 0, 95, , , 90, 10, dynamique vers fourré à *Prunus spinosa* et *Genista purgans*, 770612.000, 6422849.000, , Le Brignon, Garde de Fleurac, basalte.

558CR, 20190619, 25.00, 1164, 135, 10, 80, , 5, 80, , pas de vache. Dynamique avec *Cytisus purgans*, 0.000, 0.000, Barges, Traimont-Pastour, basalte.

2770GT, 20190616, 20.00, 1061, 203, 15, 70, , , 70, , Versant sud, au dessus de la carrière. Pâturage bovin, 767595.020, 6427967.380, Le Brignon, Suc de Miceselle, basalte.

548CR, 20190618, 16.00, 1060, 20, 0, 95, , , 95, , , 0.000, 0.000, Le Brignon, La Garde des Ceyssoux, basalte.

530CR, 20190617, 20.00, 1208, , 0, 95, , , 95, , , 0.000, 0.000, Siaugues Ste Marguerite, Le Pouzat, Basalte.

556CR, 20190619, 25.00, 1132, 203, 15, 95, , 5, 95, , Synrelevé 5, 0.000, 0.000, St-Martin-de-Fugères, Mont Charcon, basalte.

552CR, 20190618, 15.00, 1417, , 0, 90, , 5, 90, , Pelouse perturbée du sommet du Mont Devès, 0.000, 0.000, Séneujols, Le Devès, sommet, basalte.

Tableau 3 : forêts

Espèces présentes moins de deux fois :

Acer pseudoplatanus A 2771GT: 1; *Fraxinus excelsior* A 2771GT: 1; *Pseudotsuga menziesii* A 547CR: 1; *Salix caprea* [A 547CR: 2; *Picea abies* A 553CR: 2; *Sorbus aucuparia* a 542CR: 1; *Salix caprea* a 551CR: 1; *Quercus x streimeri* a 2771GT: 1; *Picea abies* a 560CR: 2; *Lonicera xylosteum* a 547CR: 2; *Fraxinus excelsior* a 543CR: 1; *Vicia sativa* 551CR: 1; *Luzula forsteri* 551CR: 1; *Poa pratensis* 551CR: +; *Moneses uniflora* 551CR: +; *Lathyrus pratensis* 551CR: +; *Epilobium angustifolium* 551CR: +; *Pinus sylvestris* 551CR: r; *Doronicum pardalianches* 2771GT: 2; *Festuca lemanii* 2771GT: 2; *Hedera helix* 2771GT: 2; *Helleborus foetidus* 2771GT: 1; *Prunus spinosa* 2771GT: 1; *Hieracium pilosella* 2771GT: 1; *Heracleum sibiricum* 2771GT: 1; *Prunus avium* 2771GT: +; *Crataegus monogyna* 2771GT: +; *Achillea millefolium* 2771GT: +; *Anthoxanthum odoratum* 2771GT: r; *Knautia arvensis* 2771GT: r; *Helianthemum nummularium* 2771GT: r; *Phyteuma spicatum* 560CR: +; *Galium saxatile* 560CR: r; *Carex species* 2779GT: +; *Calamagrostis species* 2779GT: +; *Heracleum sphondylium* 547CR: +; *Cirsium species* 547CR: +; *Carex divulsa* 547CR: r; *Silene dioica* 543CR: +; *Circaea lutetiana* 543CR: +; *Primula veris* 543CR: r; *Jacobaea vulgaris* 543CR: r; *Stellaria media* 542CR: 2; *Taraxacum species* 542CR: 1; *Anthriscus sylvestris* 542CR: 1; *Viola reichenbachiana* 542CR: +; *Cardamine hirsuta* 542CR: +; *Galeopsis tetrahit* 542CR: +; *Galium odoratum* 544CR: 2; *Ajuga reptans* 544CR: r; *Anemone nemorosa* 553CR: 2; *Actaea spicata* 553CR: 1; *Athyrium filix-femina* 553CR: 1; *Mnium species* 547CR: 1; *Pseudoscleropodium purum* 543CR: 1.

Données stationnelles :

2772GT, 20190616, 300.00, 1082, 248, 20, , 75, 20, 55, 20, versant sud au dessus de 2771 et 2770 /Orig. number=4605, 767513.780, 6428143.200, , Le Brignon, suc de Miceselle, pinède à jeunes feuillus, 27, , Scories basaltiques

551CR, 20190618, 400.00, 1125, 293, 20, , 70, 15, 90, 80, /Orig. number=4547, 0.000, 0.000, , Le Brignon, Le Ceyssoux versant O-NO, Pinède ancienne, ,

2776GT, 20190616, 300.00, 1042, 315, 10, , 65, 20, 80, 40, taille

des pins en garnasse. Dynamique vers chênaie-hêtraie, 769665.130, 6425097.860, Le Brignon, Garde des Ceyssoux, scories basaltiques.

560CR 20190619, 400.00, 1250, 225, 30, , 70, 70, 10, , /Orig. number=4550, 0.000, 0.000, , Saint-Paul-de-Tartas, Mont Tartas, Hêtraie, 2779GT, 20190617, 100.00, 1224, 0, 0, , 60, 20, 40, 10, sommet rocheux; présence d'un terrier aménagé /Orig. number=4601 ber=4601, 755849.800, 6434989.000, , Saint-Privat-d'Allier, le Suc, hêtraie nitrocline, 27, , pyroclastites stromb.

547CR, 20190617, 150.00, , 270, 3, , 30, 30, 40, 20, /Orig. number=4544, 0.000, 0.000, , Les Razas-Le Suc, Corylaie, ,

546CR, 20190617, 300.00, , 338, 15, , 60, 70, 40, 30, /Orig. number=4543, 0.000, 0.000, , Les Razas-La Veyssyre, Hêtraie sapinière, ,

543CR, 20190617, 400.00, 1170, 360, 5, , 70, 40, 65, 5, /Orig. number=4539, 0.000, 0.000, , Siaugues Sainte Marie, Le Pouzat versant Nord, Pinède plantée, ,

542CR, 20190617, 200.00, 1190, , , 70, 30, 70, , /Orig. number=4540, 0.000, 0.000, Siaugues Sainte Marie, Le Pouzat, Pinède ancienne plantée,

553CR, 20190618, 400.00, 1350, 45, 30, , 95, 15, 40, , /Orig. number=4548, 0.000, 0.000, , Séneujols, Le Devès, Hêtraie, ,

544CR, 20190617, 400.00, 1160, 338, 15, , 90, , 30, , /Orig. number=4538, 0.000, 0.000, , Siaugues Sainte Marie, La Veyssyre, Hêtraie, ,

Tableau 4 : autres relevés

Compagnes présentes moins de deux fois :

Daucus carota 540CR: 2; *Draba muralis* 540CR: 1; *Viola canina* 540CR: +; *Brachythecium rutabulum* 2773GT: 4; *Lathyrus pratensis* 2773GT: +; *Fraxinus excelsior* h 2773GT: +; *Prunus avium* a 2773GT: +; *Prunus spinosa* h 2773GT: r; *Rhinanthus minor* 529CR: +; *Veronica arvensis* 529CR: +; *Vicia sativa* 529CR: r; *Cerastium fontanum* 529CR: +; *Anthoxanthum odoratum* 529CR: 1; *Ranunculus bulbosus* 529CR: 1; *Plantago lanceolata* 529CR: +; *Cynosurus cristatus* 529CR: +; *Fragaria vesca* 2771GT: 2; *Festuca lemanii* 2771GT: 1; *Viola arvensis* 2771GT: 1; *Geranium robertianum* 2771GT: 1; *Muscari neglectum* 2771GT: +; *Epilobium species* 2771GT: +; *Poa pratensis* s. *pratensis* 550CR: +; *Senecio sylvaticus* 549CR: +; *Cirsium vulgare* 549CR: 1; *Valerianella species* 549CR: +; *Verbascum species* 549CR: 1; *Papaver dubium* 549CR: r; *Lactuca muralis* 549CR: r; *Carex vesicaria* 2777GT: +; *Agrostis canina* 2777GT: +; *Menyanthes trifoliata* 2778GT: +; *Eriophorum angustifolium* 2778GT: +; *Veronica scutellata* 2778GT: +; *Calligon species* 2778GT: +.

Données stationnelles :

540CR, 20190617, 12.00, 1200, 203, 10, 90, , , 90, , , 0.000, 0.000, , Siaugues Sainte Marie, Le Pouzat, Ourlet en nappe à Epilobe,

2773GT, 20190616, 10.00, 1012, 23, 0, , , 100, 80, le long du chemin à mi-versant, 769583.430, 6425249.250, , Le Brignon, Garde des Ceyssoux, ourlet frais ombragé, 26, scories basaltiques,

529CR 20190615, 50.00, 1000, , 2, 100, , , 100, , , 0.000, 0.000, Le Brignon, Fleurac centre, Prairie de fauche,

557CR, 20190619, 100.00, 1140, 203, 3, , 40, 100, 20, , , 0.000, 0.000, Saint-Martin-de-Fugères, Mont Charcon, Fourré à prunelier,

2771GT, 20190616, 50.00, 1071, 203, 20, 100, , 100, 10, , dynamique à partir de 2770GT. Herbacées incomplets, 767609.070, 6427998.320, , Le Brignon, suc de Miceselle, Fourré à prunelier, 53, Scories basaltiques.

550CR, 20190618, 30.00, 1070, 203, 10, , , 90, 20, , , 0.000, 0.000, , Costaros, Le Ceyssoux versant sud, Fourré à prunelier,.

549CR, 20190618, 20.00, 1065, 203, 20, 85, , 10, 85, , , 0.000, 0.000, , Costaros, La Garde, Lande à *Cytisus purgans*, ,

2777GT, 20190617, 25.00, 1204, 0, 0, 100, , , 95, 15, dynamique vers

S. aurita et S. x atrocinnerea. Milieu perturbé., 756596.000, 6433517.000, , Bains, Lac de l'Oeuf, prairie à Deschampsia ces., pyroclastites stromb.

2778GT, 20190617, 25.00, 1204, 0, 0, 50, , , 50, 10, lagg, partie NE; Vases inondées, 756615.490, 6433558.450, , Bains, Lac de l'Oeuf, gouille à petit carex, pyroclastites stromb.



Photo 1 - La Pyrole uniflore, *Moneses uniflora* (L.) A.Gray, taxon présent dans les forêts du Devès (rel. 551CR).



Photo 2 - Vue sur le plateau du Devès depuis la Garde des Ceyssoux (Le Brignon, 43): pelouse mésoxérophile acidoclinophile de l'*Anemone-Dactylorhizetum veronicetosum scheereri* (vers 548CR).



Photo 3 - Suc de Miceselle (Solignac-sur-Loire, 43). Série climatophile d'adret et sommet des suc du Devès. Synrelevé 6 : pelouse de l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum* (2770GT), fourré du *Rosa micranthae-Prunetum* (2771GT), pinède du *Diantho monspessulani-Pinetum* (2772GT).