

numéro 2  
2018

# Plume de

# NATURA LISTES

Revue pour la libre expression des connaissances en sciences naturelles





## Equipe éditoriale

Michel BARATAUD, Frédéric CHICHE, Jean-François CORNUET, Jean-François DESMET, Ondine FILIPPI-CODACCIONI, Marie LE ROUX et Angélique MOREAU.

## Ont contribué à ce numéro :

### • Textes :

Stéphane AUGROS, Julien BARATAUD, Michel BARATAUD, Marie-Pauline BEUGIN, Delphine BOUINEAU, Gilles BOURHIS, Blandine CARRÉ, Fabien CLAIREAU, Jean CONSTANCIAS, Jean-François DESMET, Damien DE VIENNE, Ondine FILIPPI-CODACCIONI, David FOUCHET, Dominique HOAREAU, Cédric JACQUIER, Michel JAY, Cécile KAERLE, Christian KERBIRIOU, Philippe KRAEMER, Shirley LAURENT, Maxime LEUCHTMANN, Edouard LHOMER, Lina MUSELET, Julien PAILLUSSEAU, Éric PETIT, David PINAUD, Jean-Baptiste PONS, Dominique PONTIER, Élodie PORTANIER, Guillaume QUENEY, Corinne RÉGIS, Niels SKALS, Oriane TOURNAYRE, Patrick TRIPLET.

### • Photographies :

Stéphane AUGROS, David AUPERMANN, Julien BARATAUD, Michel BARATAUD, G. BOURDERIONNET, Blandine CARRÉ, Nathalie CHARBONNEL, Jean CONSTANCIAS, Jean-François CORNUET, Jean-François DESMET, Ecofect-2018, Cédric JACQUIER, Michel JAY, Laurent JOUBERT, Marie JULLION, Philippe KRAEMER, Shirley LAURENT, Maxime LEUCHTMANN, Edouard LHOMER, Jean-Pierre MALAFOSSE, Jean-Baptiste PONS, Michel RAUCH, Fabien SANÉ, Gilles SAN MARTIN, Karol TABARELLI, Patrick TRIPLET, Matthieu VASLIN.

### • Illustrations :

Delphine BOUINEAU, Christian COUARTOU, C. COX-BRUNET, Ondine FILIPPI-CODACCIONI, Alain FREYTET, Michel JAY, Angélique MOREAU.

# L'ESPRIT DE LA REVUE

Plume de Naturalistes est une revue francophone libre, participative et gratuite, ouverte à tous les thèmes des sciences de la Vie et de la Terre, et toutes les formes d'expression (article, essai, expression artistique...).

L'objectif de la revue est d'aller à la rencontre des personnes et structures produisant des études naturalistes restant souvent à l'état de rapport interne, pour proposer une diffusion sur le support de leur choix (une liste des revues existantes est proposée sur le site [plume-de-naturalistes.fr](http://plume-de-naturalistes.fr)) ; le but de Plume de Naturalistes n'est pas son propre succès mais l'incitation à la diffusion des connaissances.

Habitée du principe que la diffusion de la connaissance appartient à ceux qui la produisent, l'équipe éditoriale est accessible à tous les auteurs motivés par la gestion de la revue. Les auteurs de manuscrits sont libres du choix de leurs relecteurs, ces derniers s'engageant à être des conseillers respectueux et non des censeurs arrogants.

Le choix final de la publication d'un manuscrit appartient à son auteur, puisque la revue ne défend pas sa propre réputation selon une norme imposée, mais se veut le reflet de la disparité du monde naturaliste, chaque auteur assumant la responsabilité de ses écrits et chaque lecteur étant invité à exercer ses capacités de libre arbitre.

# SOMMAIRE

**Shirley LAURENT, Philippe KRAEMER & Patrick TRIPLET**

Le Mouflon méditerranéen introduit en milieu dunaire

*Premiers aspects de son comportement et de son régime alimentaire*

p.1

**Michel BARATAUD & Niels SKALS**

Émissions ultrasonores de communication sociale enregistrées en canopée : attribution au lépidoptère *Pseudoips prasinana* (L.) (Noctuoidea ; Nolidae ; Chloephorinae) grâce à une analyse bibliographique

p.11

**Julien BARATAUD**

Identification acoustique des espèces françaises du genre *Rhacocleis* Fieber, 1853 (Orthoptera, Tettigoniidae)

p.23

**Stéphane AUGROS, Julien PAILLUSSEAU & Dominique HOAREAU**

Transplantation de deux populations d'orchidées de la sous-tribu des Angraecinae dans l'Est de l'île de La Réunion (France), *Jumellea recta* (Thouars) Schlechter et *Aeranthus arachnitis* (Thouars) Lindley : retours d'expérience, lignes de conduite et intérêt pour la conservation des orchidées épiphytiques en milieu tropical

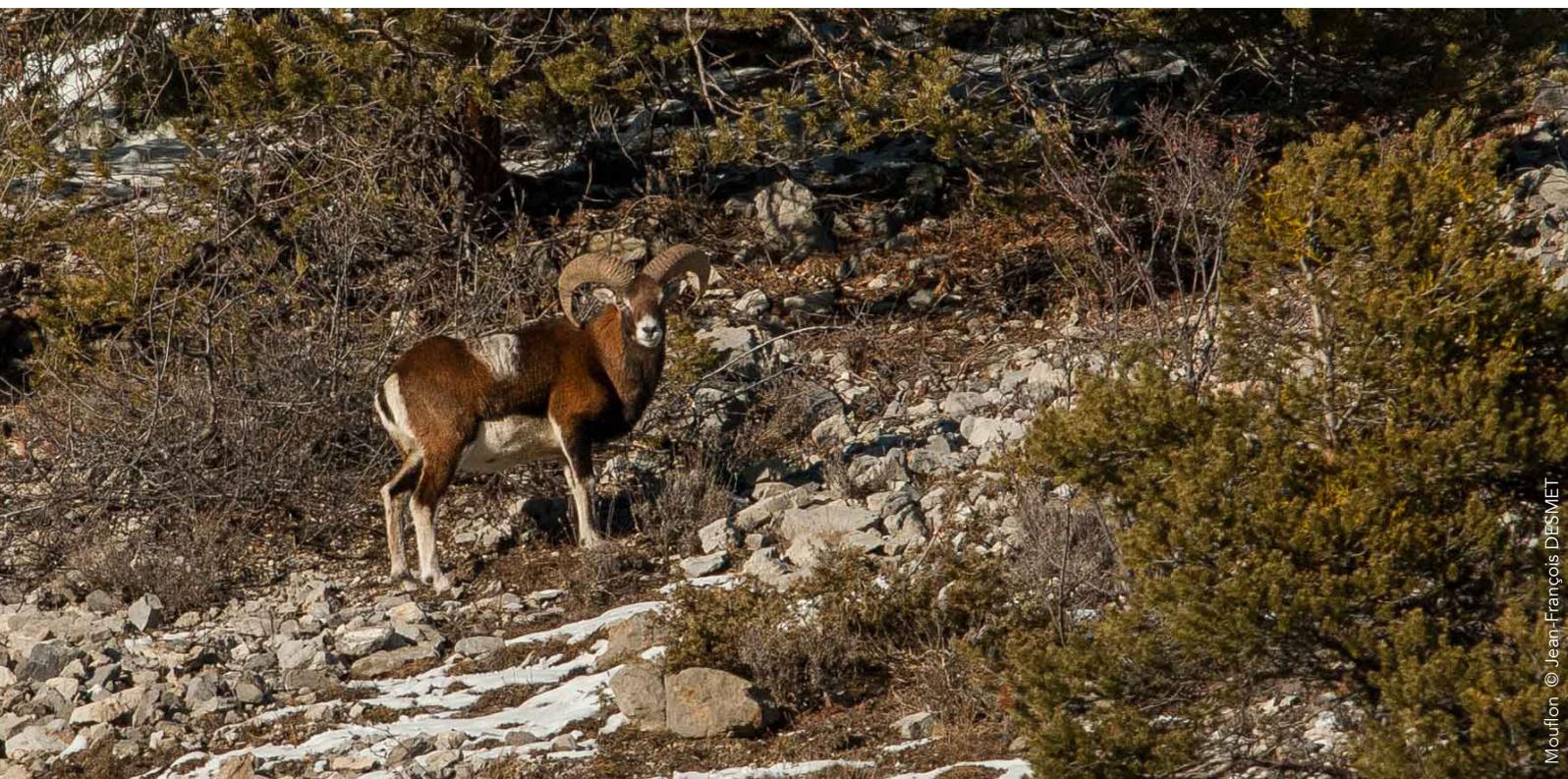
p.41

**Orianne TOURNAYRE**

Qui mange quoi ? Zoom sur l'ADN des chauves-souris et de leurs proies contenues dans le guano

p.61

*suite du sommaire* ➤



**Jean-François DESMET**

Piégeage de micromammifères  
à l'aide de pièges permettant  
la capture d'animaux vivants

p.77

**Edouard LHOMER**

Le retour des Aigles pêcheurs  
dans le Grand Est

p.87

**Michel JAY**

Identification acoustique automatique  
des chiroptères européens : quelle  
efficacité du logiciel SonoChiro® ?

p.99

**Blandine CARRÉ**

La Pyrale du buis : une aubaine pour  
les chauves-souris ?

*Essai de synthèse des observations  
naturalistes en France*

p.119

**David PINAUD, Fabien CLAIREAU,  
Maxime LEUCHTMANN & Christian  
KERBIRIOU**

Comment modéliser les connectivités  
écologiques pour les chauves-souris ?

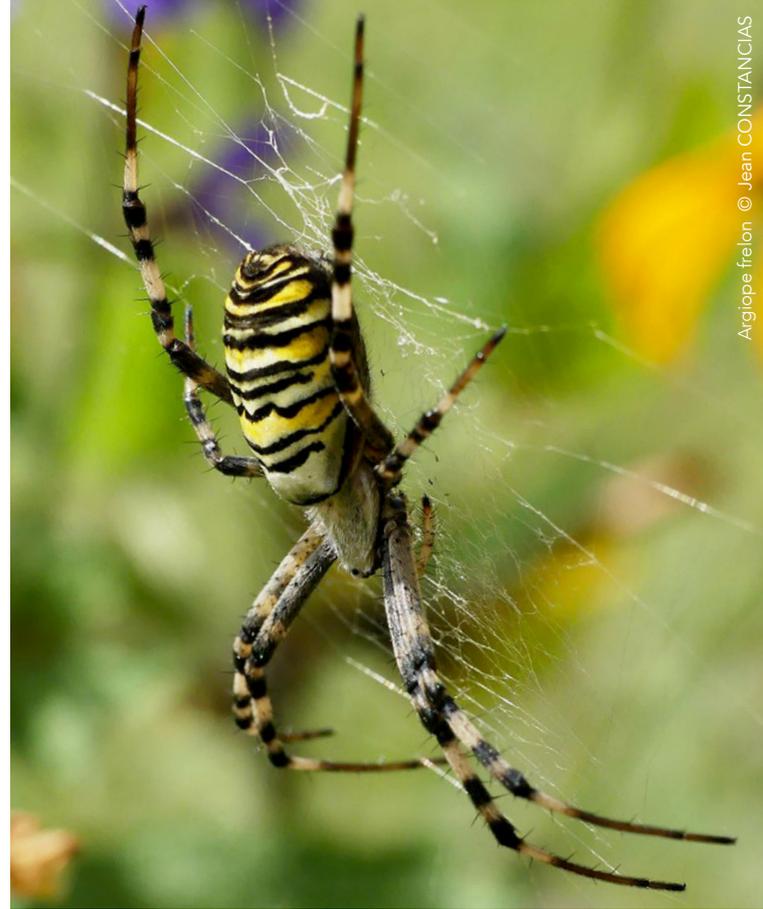
*Une étude à application directe sur  
le terrain pour identifier, protéger ou  
restaurer les corridors autour des colonies*

p.125

**Cédric JACQUIER**

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

p.131



Argiope frelon © Jean CONSTANCIAS

**Jean CONSTANCIAS**

Comportement de ponte d'une  
Argiope frelon (*Argiope bruennichi*)

*Un reportage en images*

p.157

**Ondine FILIPPI-CODACCIONI, Marie-  
Pauline BEUGIN, Damien DE VIENNE,  
Élodie PORTANIER, David FOUCHET,  
Cécile KAERLE, Lina MUSELET,  
Guillaume QUENEY, Éric PETIT,  
Corinne RÉGIS, Jean-Baptiste PONS  
& Dominique PONTIER**

Coexistence de deux espèces cryptiques  
de chauves-souris en Guyane : appren-  
tissages à partir de la génétique, de  
l'acoustique et de l'écologie

p.169

**Michel BARATAUD**

Bois, forêts et forestiers : l'histoire  
et le sens des mots.

p.191

*suite du sommaire* ➤

Deux nouvelles  
rubriques  
à découvrir  
cette année :

La nature en littérature

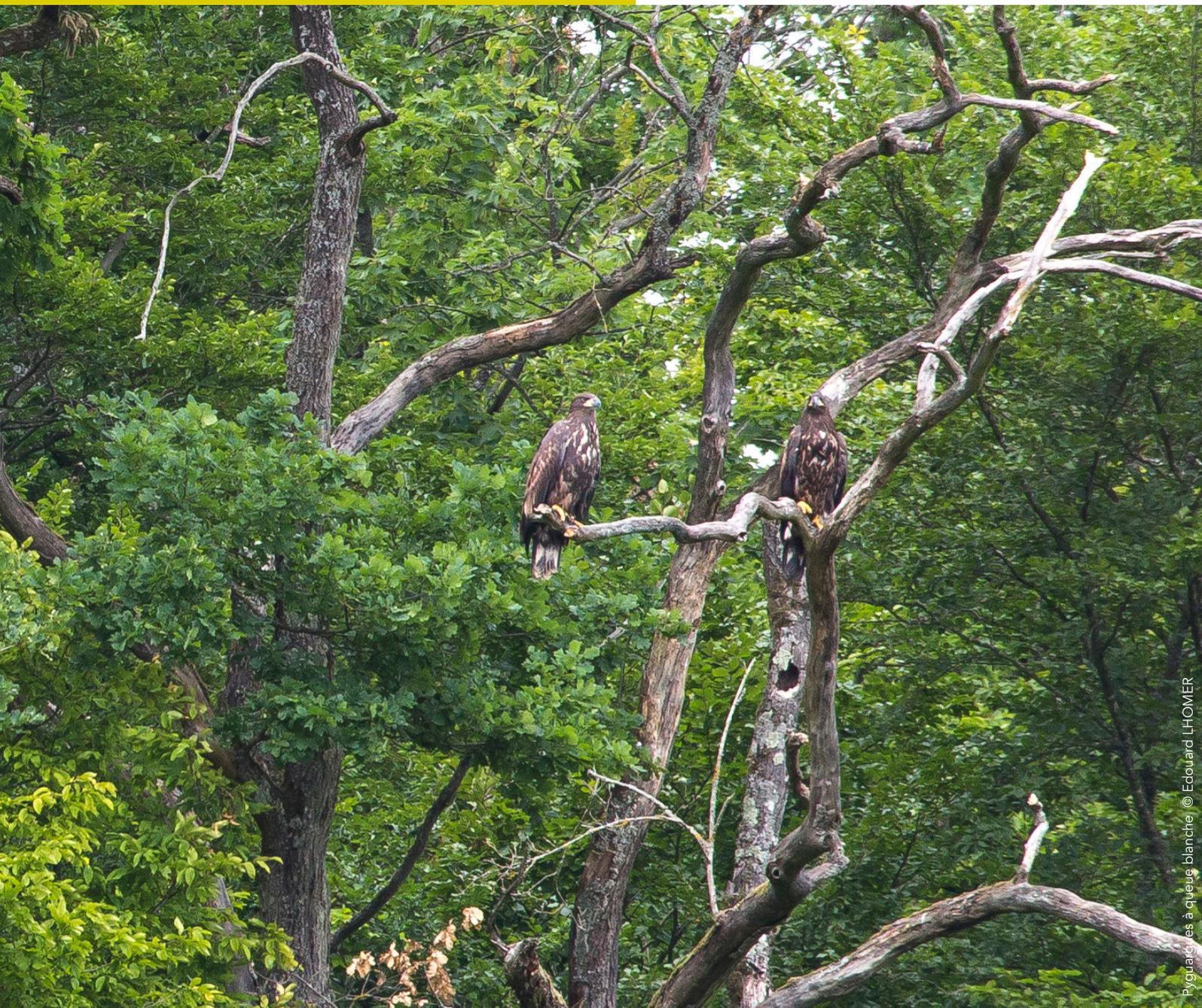
p.199

Poèmes

p.205



Iris jaune © Michel JAY



Pygmaïes à queue blanche © Edoard L'HOMER

# Le Mouflon méditerranéen introduit en milieu dunaire, premiers aspects de son comportement et de son régime alimentaire

Par **Shirley LAURENT<sup>1</sup>, Philippe KRAEMER<sup>1</sup>**  
**et Patrick TRIPLET<sup>1</sup>** (patrick.triplet1@orange.fr)

<sup>1</sup> Réserve naturelle nationale de la Baie de Somme. Syndicat Mixte baie de Somme, grand littoral Picard, 1, rue de l'hôtel Dieu, 80 100 Abbeville

## Résumé

Le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) a été introduit dans le massif dunaire du Marquenterre au début des années 1980. La population compte actuellement 300 individus environ. Les animaux circulent librement, entre le massif dunaire privé et la réserve naturelle nationale de la baie de Somme, dans laquelle ils trouvent refuge lors de la période de chasse.

La présente étude, conduite d'avril à juillet 2017, vise à approcher visuellement le régime alimentaire et les habitudes comportementales en milieu dunaire, un habitat pour le moins particulier pour cette espèce. Les résultats semblent indiquer que les mouflons s'alimentent préférentiellement dans des bas-marais dunaires et sur une végétation vivace rase et amphibie oligo-mésotrophe des substrats sableux ou tourbeux. Ils se nourrissent principalement de huit espèces végétales, allant de plantes herbacées à de petits arbustes. Le relevé des heures d'observations a montré que ces animaux ont un pic d'activité tôt le matin et tard le soir. L'impact du pâturage semble minime.





Mouflons sur le site d'étude (26/04/2017).

## Introduction

Les mouflons méditerranéens (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) ont été introduits sur le Domaine du Marquenterre (Somme, Picardie) en deux temps. Le premier, en 1982, avec le lâcher de dix individus (cinq mâles et cinq femelles), et le second en 1984, avec six mâles supplémentaires. L'objectif était de compenser la disparition des lapins de garenne (*Oryctolagus cuniculus*), décimés par la myxomatose et de remplacer les moutons Shetland (*Ovis aries*), utilisés pour pâturer les jeunes pousses d'Argousier (*Hippophae rhamnoides*), arbuste qui ferme progressivement les milieux. La population de mouflons de la Baie de Somme compte aujourd'hui environ 300 individus, et n'a jamais été étudiée.

Cette étude a été lancée à la suite d'interrogations sur le rôle que joue la réserve pour les animaux en période de chasse, qui conduit à une réalisation incomplète des quotas autorisés, et sur l'impact éventuel des animaux sur la végétation, et notamment sur sa capacité ou non à limiter le développement des argousiers. Cependant, cette première étude n'a pu être menée qu'en dehors de la période de chasse, et l'aspect pression supplémentaire liée au rôle de refuge ne sera pas abordé.

## Matériel et méthodes

### Le site

La Réserve Naturelle Nationale de la Baie de Somme (**Figure 1**) fut créée le 21 mars 1994. Elle se situe en Picardie, dans la partie nord-ouest de l'estuaire de la Somme.

Elle constitue une Zone d'Intérêt pour la Conservation des Oiseaux (ZICO), ainsi qu'une Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Floristique et Faunistique (ZNIEFF) de type I et II. Elle constitue une partie essentielle de la Zone de Protection Spéciale et de la Zone Spéciale de Conservation : Estuaires picards : Baie de Somme et d'Authie.



**Figure 1.**

Carte et limites de la Réserve Naturelle Nationale de la Baie de Somme ([reserves-naturelles.org/](http://reserves-naturelles.org/))



La partie marine s'étend sur 2 800 ha, de la pointe de Saint-Quentin-en-Tourmont au nord, à la pointe du Hourdel au sud. Cette partie comporte des milieux atterris sur sa partie nord : l'Anse Bidard, une lagune saumâtre entourée par le Banc de l'Islette, banc qui existe depuis plus de 100 ans, et le Triangle ouest (Figure 2). L'ensemble de ces terres représente une superficie totale d'environ 140 ha (BLONDEL et al., 2016). La partie terrestre a une superficie de 200 ha et correspond au Parc ornithologique du Marquenterre, appartenant au Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres depuis 1986, mais aussi à une parcelle privée appartenant au Domaine du Marquenterre (BLONDEL et al., 2016).

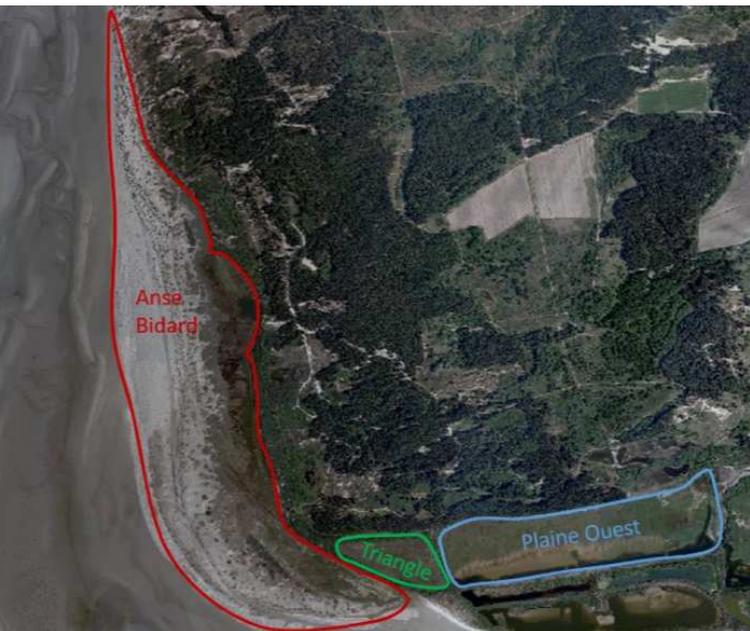
L'intérêt phytocœnotique du site est exceptionnel. La plupart des végétations recensées sont d'intérêt communautaire, et de nombreuses végétations sont menacées d'extinction en Picardie. Pour différentes végétations, le site présente une responsabilité très forte. Trois systèmes particuliers sont remarquables :

**- les végétations de pannes dunaires :**

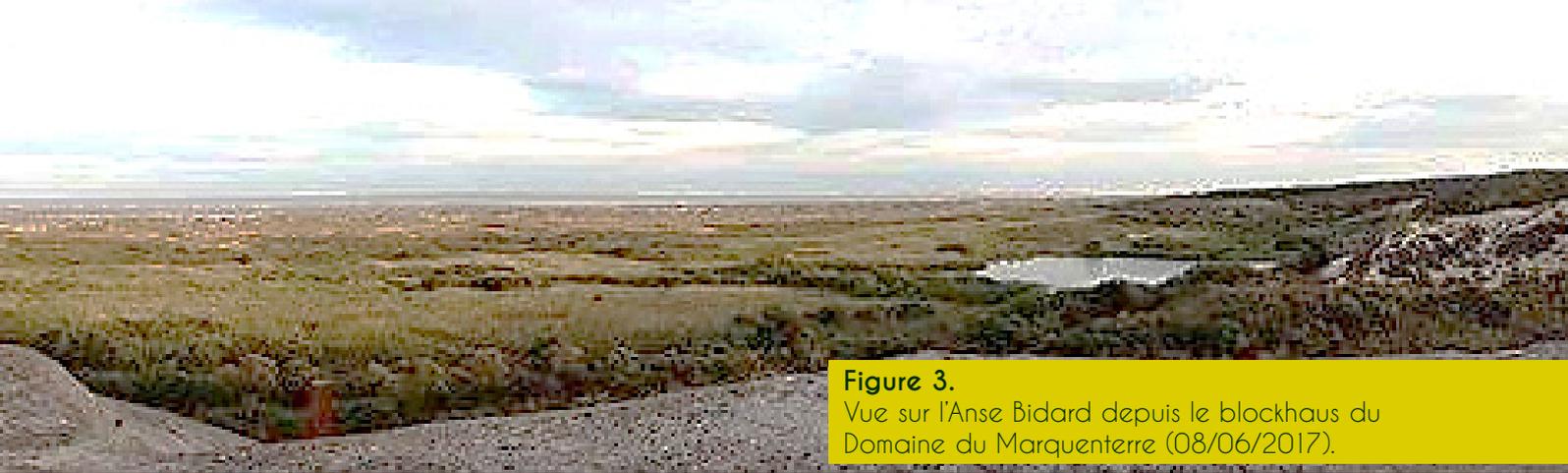
les gazons pionniers du *Centauro littoralis-Saginetum moniliformis*, les gazons vivaces amphibies du *Samolo valerandi-Littorelletum uniflorae*, mais aussi les différentes végétations de bas-marais dunaires du *Caricenion pulchellotrineris* (*Drepanoclado adunci* – *Caricetum trineris*, *Calamagrosti epigeji* – *Juncetum subnodulosi*, *Carici pulchellae* – *Agrostietum* « *maritimae* », *Acrocladio cuspidati* – *Salicetum arenariae*...) constituent un patrimoine exceptionnel, pour lequel la Réserve Naturelle Nationale de la Baie de Somme possède une responsabilité majeure en termes de conservation puisque des surfaces importantes y sont représentées ;

**- les végétations de prés-salés :**

toutes ces végétations sont rarissimes en Picardie, mais deux d'entre elles sont particulièrement menacées. Il s'agit de l'*Oenantholachenalii-Juncetum maritimi* et le *Junco maritimi-Caricetum extensae*, présents au sud de l'Anse Bidard. Ces deux végétations occupent des surfaces assez importantes et leur état de conservation est particulièrement remarquable. Pour



**Figure 2.**  
Vue aérienne de l'Anse Bidard (et du Banc de l'Islette), du Triangle ouest et de la Plaine ouest (orthophotographie de la réserve).



**Figure 3.**

Vue sur l'Anse Bidard depuis le blockhaus du Domaine du Marquenterre (08/06/2017).

GÉHU (2008), le *Junco maritimi* – *Caricetum extensae* de l'Anse Bidard était d'ailleurs probablement le plus grand de France en 2007 ;

**- les végétations de pelouses dunaires du *Koelerion albescentis*** : cet habitat d'intérêt communautaire prioritaire est bien représenté sur le site, notamment sur le Banc de l'Islette. Cependant, cette végétation, comme partout ailleurs dans le Nord de la France, est en forte régression en raison de la dynamique de colonisation par l'Argousier.

Cent trente trois espèces végétales d'intérêt patrimonial ont été recensées sur le site, dont 48 inscrites sur la liste rouge des plantes menacées de Picardie, 19 espèces protégées dans la région Picardie et 7 au niveau national : *Atriplex longipes*, *Crambe maritima*, *Leymis arenarius*, *Liparis loeselii*, *Littorella uniflora*, *Pyrola rotundifolia* var. *arenaria*, *Ranunculus lingua*. Cette richesse phytosociologique et floristique explique l'importance de la connaissance du rôle des herbivores dans le fonctionnement écologique du site.

## Le Mouflon méditerranéen

Le Mouflon méditerranéen présente un dimorphisme sexuel marqué. Les mâles pèsent entre 35 et 50 kg, mesurent 75 cm en moyenne au garrot, et possèdent des cornes symétriques persistantes fortement recourbées, pouvant mesurer jusqu'à

90 cm de long. Les cornes, ou étuis, s'accroissent tous les ans. Leur orientation et la position des pointes constituent les meilleurs critères pour estimer l'âge des mâles. Les mâles adultes (individus de quatre ans et plus) et les jeunes mâles, âgés de deux à trois ans, présentent une tache dorsale blanchâtre, appelée la selle. Les femelles, plus petites, pèsent entre 25 et 35 kg et mesurent environ 65 cm au garrot. Certaines présentent des cornes, courtes, asymétriques et qui mesurent moins de 20 cm de long (RIEU, 2003-2007 ; <http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Mouflon-mediterraneen-ar768>).

Ces éléments ont été utilisés afin de définir la structure de la population présente sur le site.

## Protocole d'étude

Les observations des mouflons ont été faites directement sur l'Anse Bidard ou depuis un blockhaus (avec l'autorisation du responsable du Domaine du Marquenterre) surplombant l'anse (**Figures 2 et 3**), en reportant, après chaque sortie, sur des vues aériennes (orthophotographies) la localisation des animaux. Dans la mesure où la météo le permettait, les sorties étaient quotidiennes, et les observations commençaient dès le lever du jour pour se terminer à la nuit tombante.

Les groupes et le nombre d'individus,

le sexe et le comportement de chaque mouflon ont été relevés, ainsi que la date et l'heure (UTC) de chaque observation au cours de la période comprise entre le 4 avril et le 20 juillet 2017. À cela s'ajoute le relevé des données météorologiques (température, vitesse et sens du vent).

Les espèces végétales les plus consommées par les mouflons ont été identifiées aussi souvent que possible (c'est-à-dire lorsqu'il n'y avait aucun risque de déranger les animaux), en prenant en compte les traces de broutage sur les feuilles. Le très faible nombre de Chevreuils (*Capreolus capreolus*) sur la réserve rendait le risque de confusion pratiquement nul dans la détermination de l'herbivore ayant consommé les différentes espèces végétales.

Un exclos de 12,2 m<sup>2</sup> a également été posé le 16 mai 2017, afin d'aborder l'impact du pâturage dans une zone fortement fréquentée par les mouflons et où la végétation ne présentait pas de variation de hauteur. La couverture végétale locale est une mosaïque de végétations vivaces rases et amphibies oligo-mésotrophes des substrats sableux ou tourbeux (Sb/Bm). Les valeurs des hauteurs de chaque espèce à l'intérieur et à l'extérieur de l'enclos suivent une loi normale (test de Shapiro-Wilk). Un test Student a été réalisé avec le logiciel de statistiques R, espèce par espèce afin de déterminer l'existence de différences éventuelles de taille entre l'intérieur et l'extérieur de l'enclos.

## Résultats

Au cours des 39 sorties, 826 observations de mouflons ont été faites entre le 4 avril 2017 et le 20 juillet 2017 dont 322 observations de mâles (soit 39 % des effectifs observés), 347 observations

de femelles (42 %) et 157 observations de juvéniles (19 %). Aucun dispositif de marquage individuel n'ayant été utilisé, un même individu a pu être observé une ou plusieurs fois.

Les mouflons s'alimentant sur la réserve sont présents en petits groupes. Il a ainsi été dénombré 66 groupes matriarcaux composés en moyenne de 2,4 femelles (écart-type de 2) et 1,5 jeunes (écart-type de 1) et de 70 groupes de mâles composés en moyenne de 3,2 individus (écart-type de 2,4). À cela s'ajoutent 42 groupes mixtes composés de 7 individus (écart-type de 6) et 40 individus isolés. Comme précédemment, l'absence de marquage des animaux ne permet pas de savoir si ces groupes sont stables dans leur composition ou s'ils peuvent correspondre à des associations chaque fois différentes d'individus.

Les animaux se répartissent sur 12 types d'habitats. Les groupes matriarcaux fréquentent des zones de la réserve ayant les caractéristiques d'un bas-marais dunaire (Bm), et semblent éviter les fourrés dunaires à argousier faux-nerprun (Fh). Les mâles fréquentent plusieurs secteurs, comme les roselières à phragmite commun (Rp), les zones de fourrés dunaires à argousier faux-nerprun (Fh), et les végétations vivaces rases et amphibies oligo-mésotrophes des substrats sableux ou tourbeux et de bas-marais dunaire (Sb/Bm).

Les deux types de groupes utilisent la zone de végétation de dunes mobiles et de végétation herbacée de dunes grises (Dm/Dg) et les bas-marais dunaires (Bm). Les espèces végétales pâturées par les mouflons (zones fortement fréquentées, traces de pas, et surtout traces de dents...) sont : Alliaire pétiolée *Alliaria petiolata* (Bieb.) Cavara et Grande, Aulne glutineux *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., Cypéracées *Carex* sp., Iris des marais *Iris*

**Tableau 1.**

Nombre de mouflons observés sur chaque type d'habitat naturel (du 4 avril au 20 juillet 2017) de la réserve naturelle. Les observations réalisées hors réserve (215) ne sont pas reprises dans ce tableau.

Habitat naturel	Nombre de mouflons observés	Nombre de mâles observés	Nombre de femelles observées	Nombre de juvéniles observés
Bas-marais dunaire (Bm)	217	115	76	26
Bas-marais dunaire et prairie humide subhalophile (Bm/Phs)	62	16	27	19
Végétation des dunes mobiles (Dm)	6	0	4	2
Végétation herbacée des dunes mobiles et des dunes grises (Dm/Dg)	131	39	65	27
Fourré dunaire à argousier faux-nerprun (Fh)	44	22	15	7
Fourré dunaire à argousier faux-nerprun et végétation herbacée des dunes grises (Fh/Dg)	5	0	3	2
Fourré à saules cendrés et roselière à phragmite commun (Fs/Rp)	7	4	3	0
Prairie naturelle à jonc maritime et œnanthe de Lachenal et fourré dunaire à argousier faux-nerprun (Oj/Fh)	1	0	1	0
Prairie naturelle à jonc maritime et œnanthe de Lachenal, végétation vivace rase et amphibie oligo-mésotrophe des substrats sableux ou tourbeux et fourré dunaire à argousier faux-nerprun (Oj/Sb/Fh)	4	0	4	0
Roselière à phragmite commun (Rp)	12	10	1	1
Végétation vivace rase et amphibie oligo-mésotrophe des substrats sableux ou tourbeux (Sb)	4	4	0	0
Végétation vivace rase et amphibie oligo-mésotrophe des substrats sableux ou tourbeux et de bas-marais dunaire (Sb/Bm)	118	61	39	18
<b>Total général</b>	<b>611</b>	<b>271</b>	<b>238</b>	<b>102</b>

*pseudacorus* (L.), Joncacées *Juncus* sp. et surtout le Jonc maritime *Juncus maritimus* (Lam.), Saule cendré *Salix cinerea* (L.), Saule des dunes *Salix repens* (L.) subsp. *dunensis* (Rouy), Sureau noir *Sambucus nigra* (L.), Roseau commun *Phragmites australis* (Cav.) Steud.

Des mesures ont été effectuées en mai, au moment de la pose de l'enclos, puis deux mois après la pose afin de caractériser

l'évolution de la végétation. En mai, le nombre de mesures est faible mais semble n'indiquer aucune différence significative entre l'intérieur et l'extérieur de l'exclos. En juillet, à l'intérieur de l'exclos, comme à l'extérieur, la taille moyenne des petites herbacées (Agrostide stolonifère *Agrostis stolonifera*, Ecuelle d'eau *Hydrocotyle vulgaris* (L.), Menthe aquatique *Mentha aquatica* (L.), Petite douve *Ranunculus*



**Figure 4.**

Quelques espèces végétales pâturées par les mouflons : Alliaria pétiolée (a), Aulne glutineux (b), Iris des marais (c), Saule cendré (d), Sureau noir (e), Roseau commun (f).

**Tableau 2.**

Hauteur des principales espèces végétales observées à l'intérieur et à l'extérieur de l'exclos en cm. En mai, peu d'individus ont été mesurés afin d'éviter de modifier la structure de la végétation.

	Mai		Juillet	
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur
<i>Iris</i> sp.	34 +/- 2 (n = 3)	29,8 +/- 13 (n = 5)	46,3 +/- 11,2 (n = 45)	31,22 +/- 8,20 (n = 39)
<i>Salix</i> sp.	43 +/- 2 (n = 3)	40 +/- 4 (n = 7)	58,9 +/- 6,3 (n = 30)	34,47 +/- 8,24 (n = 34)
<i>Juncus</i> sp.	Non mesuré		27,50 +/- 3,2 (n = 32)	20,60 +/- (n = 34)

*flammula* (L.), Calamagrostide commune *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. est de 15 cm et il n'y a donc pas eu pour ces espèces d'effet pâturage.

Les Iris *Iris* sp. à l'intérieur de l'exclos mesurent, en moyenne, 46,34 cm tandis que ceux présents à l'extérieur de l'exclos mesurent, en moyenne, 31,22 cm (t Student = 7,7113 ; p= 2,6131<sup>-11</sup>). La taille moyenne des Saules *Salix* sp. présente une différence de 24,43 cm (t Student = 13,4 ; p= 2,2<sup>-16</sup>)

entre les individus se trouvant à l'intérieur de l'exclos (58,90 cm en moyenne) et ceux se trouvant à l'extérieur de l'exclos (34,47 cm en moyenne). Les joncs *Juncus* spp. mesurent 27,50 cm en moyenne à l'intérieur et 20,60 cm l'extérieur de l'exclos (t Student = 7,8614 ; p= 6,409<sup>-11</sup>). Il y a donc, pour toutes ces espèces une différence de hauteur significative entre l'intérieur et l'extérieur de l'exclos.

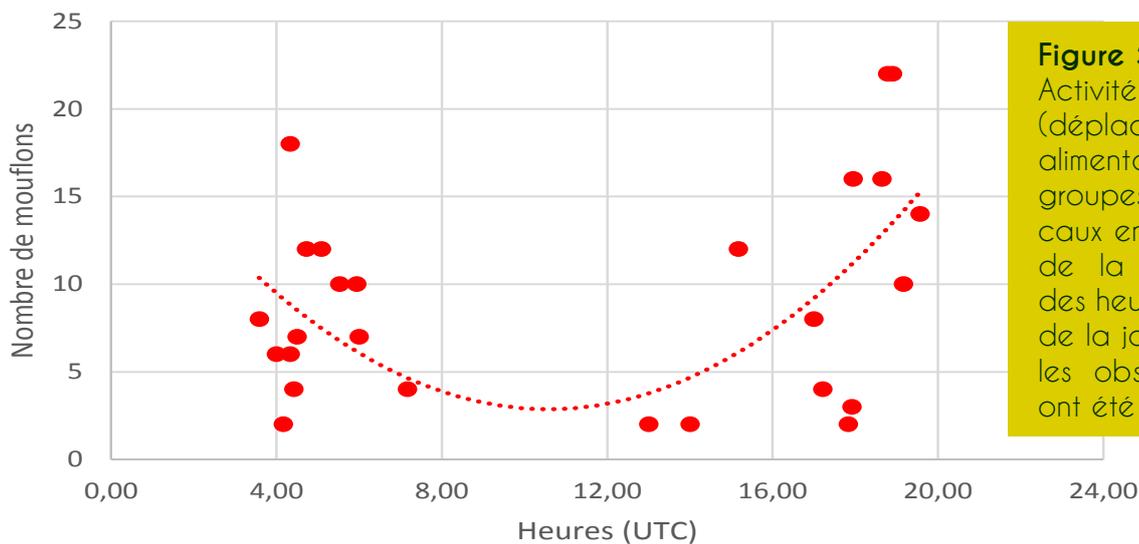
## Habitudes comportementales du mouflon sur la réserve

Deux plages horaires d'activité (périodes pendant lesquelles les animaux se déplacent et s'alimentent) se distinguent nettement : la première entre 4 heures et 7 heures UTC, la seconde entre 16 heures et 19 heures UTC. L'amplitude de 3 heures, le matin comme le soir, s'explique par la variation de la photopériode pendant l'étude.

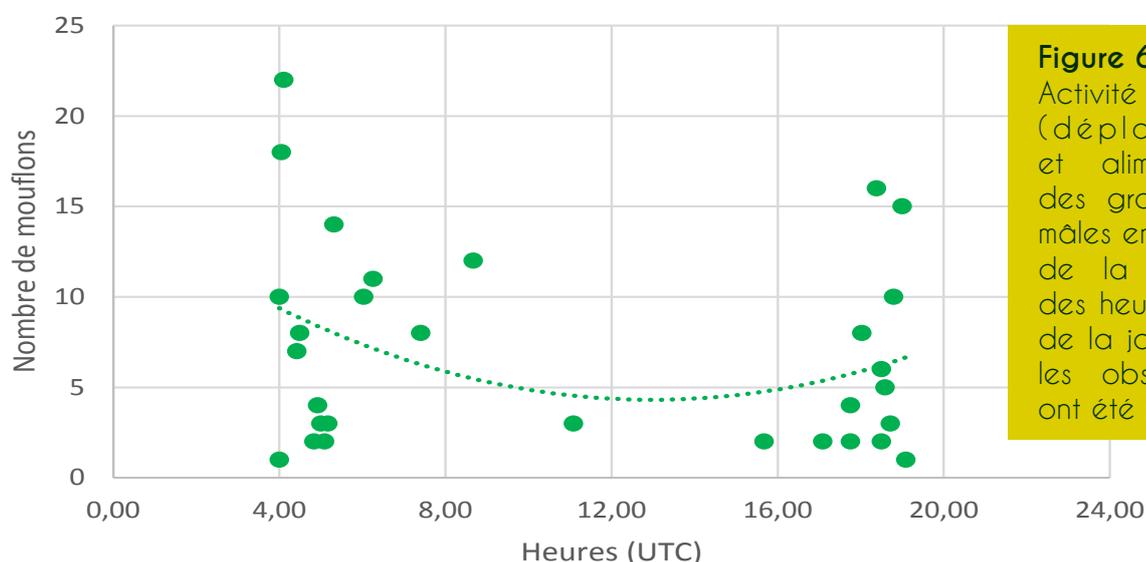
L'inactivité des mouflons (périodes pendant lesquelles aucun mouflon n'a été observé) est notée entre 8 heures et 14 heures UTC. Pendant ce laps de temps,

les mouflons évitent les zones dégagées et ensoleillées et restent très discrets.

Les femelles et leurs petits ont un pic d'activité matinal moyen à 5h00 et un pic vespéral moyen à 17h30 UTC. Les groupes matriarcaux sont rares en zones découvertes lors des périodes d'inactivité des mouflons : seuls 6 groupes matriarcaux, soit 33 individus, ont été observés pendant la période dite d'inactivité lors de l'étude. Les mâles ont un pic d'activité matinal moyen à 5h15 UTC et un pic vespéral moyen à 18h00 UTC. Seuls 11 groupes, soit 31 individus, ont été observés en zones découvertes entre 8 heures et 14 heures lors de l'étude.



**Figure 5.** Activité moyenne (déplacement et alimentation) des groupes matriarcaux en fonction de la moyenne des heures (UTC) de la journée où les observations ont été réalisées.



**Figure 6.** Activité moyenne (déplacement et alimentation) des groupes de mâles en fonction de la moyenne des heures (UTC) de la journée où les observations ont été réalisées.

## Conclusions

Éloignés de leurs régions montagnardes d'origine, les mouflons présents sur la Réserve Naturelle Nationale de la Baie de Somme ont su s'adapter au milieu dunaire. Ils s'alimentent préférentiellement sur les secteurs constitués de bas-marais dunaires (Bm), de végétations vivaces rases et amphibies oligo-mésotrophes des substrats sableux ou tourbeux (Sb) ou sur des végétations de dunes mobiles et de végétations herbacées de dunes grises (Dm/Dg).

Bien que présents sur des habitats naturels tels que les fourrés dunaires à Argousiers faux-nerprun *Hippophae rhamnoides* (L.) subsp. *rhamnoides*, les mouflons ne se nourrissent que très rarement d'argousiers. L'extension de ces arbustes, à l'origine de la fermeture des milieux sur l'Anse Bidard, n'est donc pas limitée par leur présence. Les résultats obtenus avec l'exclos montrent qu'il existe une différence significative entre la taille des iris *Iris* sp., des saules *Salix* sp. et des joncs *Juncus* sp. s'étant développés à l'intérieur de l'exclos et ceux s'étant développés à l'extérieur de l'exclos. Les mouflons limitent la hauteur des plus grands végétaux et non de ceux qui se situent à des hauteurs moindres. Cependant, leur pâturage ne semble pouvoir éviter le développement des argousiers.

Ces résultats sont à approfondir avec un enclos plus spacieux et des relevés plus nombreux, sur un nombre d'espèces plus important pour affiner la connaissance des préférences alimentaires des animaux.

Le plan de gestion de la réserve a notamment pour objectif à long terme de : « conserver les communautés de prairies humides et de bas marais à l'Anse Bidard, au Triangle ouest et au Parc du Marquenterre ». La faiblesse du pâturage par des herbivores sauvages locaux (Chevreuil) ou par le Mouflon, espèce introduite, rend nécessaire la mise en place d'un pâturage fondé sur des animaux rustiques introduits.

Un pâturage extensif équin (chevaux de Henson) ou bovin (Highland Cattle), voire mixte, est donc prévu sur cette zone, ce qui imposera la mise en place de clôtures et pourrait conduire à une diminution de la fréquentation de la réserve par les mouflons. En effet, ces animaux, bien que peu craintifs (DÉRIOZ ET GRILLO, 2006), ne semblent pas rechercher la présence d'autres herbivores, et particulièrement les chevaux sur la réserve.

## Remerciements

À Nathalie Chevallier, ingénieure de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage qui a corrigé une première version du manuscrit.

À Jean-François Desmet et Jean-Pierre Malafosse pour leurs photographies de Mouflon prises en milieu montagnard.

# Bibliographie

**BLONDEL B., DELATTE M., DUPUIS L., KRAEMER P., HERRMANN N., MONNET S., STADTFELD C., TRIPLET P. (2016).** Réserve naturelle nationale de la baie de Somme. Plan de gestion 2017-2021. SMBS. 155 pages + annexes.

**DÉRIOZ P., GRILLO X. (2006).** Un demi-siècle de présence du mouflon dans le massif du Caroux (Hérault) : de l'expérience naturaliste à la gestion du territoire et à la valorisation de la ressource, *Revue de Géographie Alpine* « La montagne comme ménagerie », 4, 27-45.

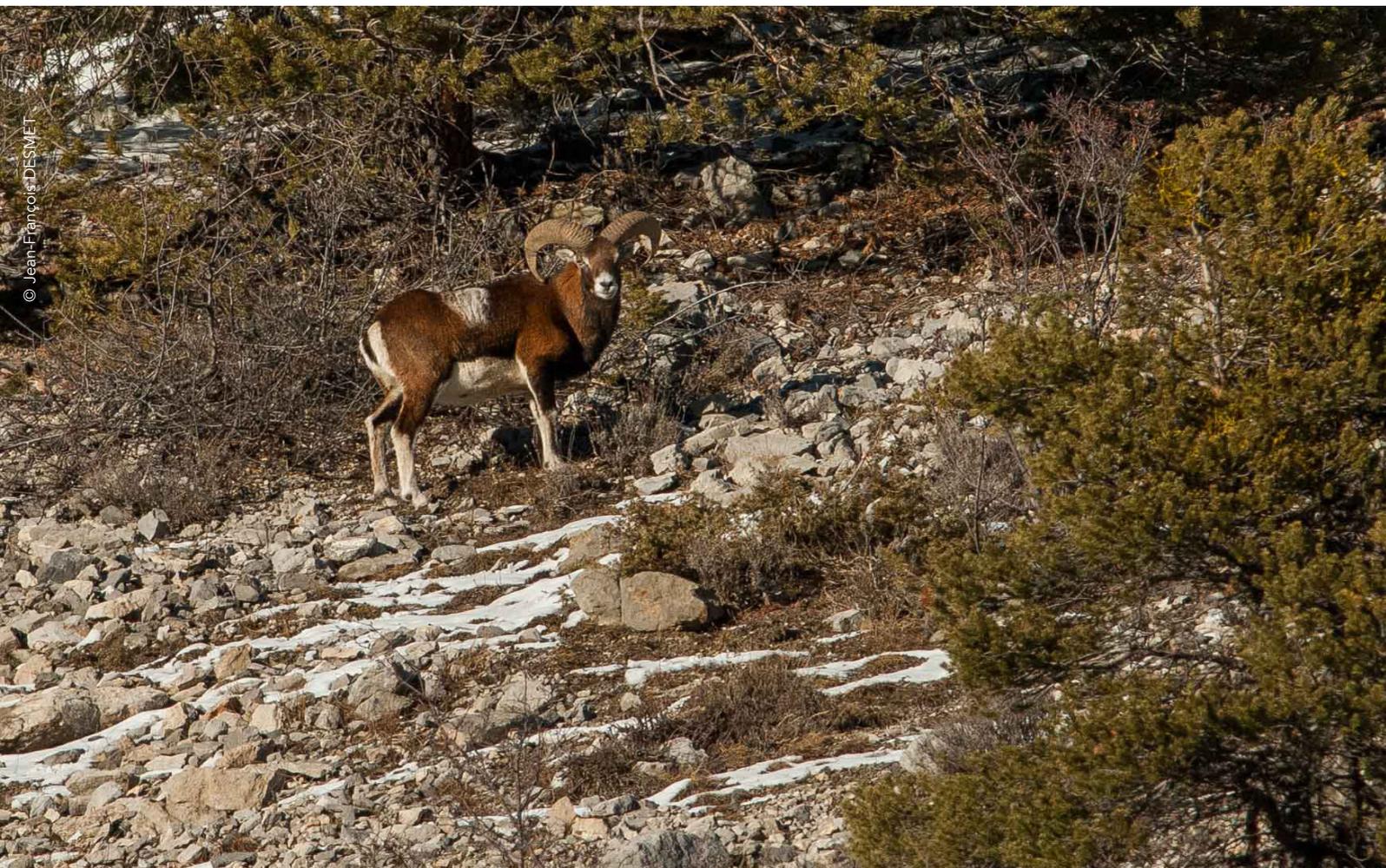
**RIEU L. (2003-2007).** *Life Nature conservation et extension des populations de mouflons corses en Corse*, Projet LIFE03N AT/F/000099.

## Pour citer cet article :

**LAURENT, S., KRAEMER, P. & P. TRIPLET. 2018.** Le Mouflon méditerranéen introduit en milieu dunaire, premiers aspects de son comportement et de son régime alimentaire. *Plume de Naturalistes* 2 : 1-10.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes*:  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)



# Émissions ultrasonores de communication sociale enregistrées en canopée : attribution au lépidoptère *Pseudoips prasinana* (L.) (Noctuoidea ; Nolidae ; Chloephorinae) grâce à une analyse bibliographique

Par **Michel BARATAUD** (michel.barataud1@orange.fr)  
**Niels SKALS**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resource Management ; Rolighedsvvej 23 DK-1958 Frederiksberg C Denmark.

## Résumé

Lors de séances de suivis de l'activité des chiroptères forestiers au détecteur d'ultrasons, des émissions sur 34-47 kHz provenant d'un insecte situé dans la canopée sont régulièrement enregistrées, sans que l'auteur puisse être identifié *in situ*. L'analyse sur logiciel de ces séquences montre une succession très rapide d'accents courts (< 1 ms) réunis en strophes de plusieurs dizaines à centaines de millisecondes, émises dans un but de communication intraspécifique. L'ensemble des critères descriptifs (fréquence, durée, rythme, contexte, etc.) des sons recueillis, ainsi que le contexte d'émission, sont comparés aux études réalisées en laboratoire sur de nombreux taxons. L'appartenance à un lépidoptère de la famille des Nolidae, *Pseudoips prasinana*, s'avère très probable. L'hypothèse est finalement validée par comparaison avec une séquence provenant de cette espèce.

**Mots-clés** : détecteur d'ultrasons, forêt tempérée, papillon émetteur.



## Abstract

**During field survey on forest bats with bat detectors, recordings of high frequency sequences (34-42 kHz) are regularly made in canopy of caducifolious trees, which seems to be emitted by insects, without possibility to catch them for identification. These sounds are analysed on computer, then compare with characteristics published, from several species studied in laboratory. In a step-by-step process, the conclusion seems very probable that the sequences recorded in natura come from a Lepidoptera species, *Pseudoips prasinana*, belonging to Nolidae family. The hypothesis is finally validated thanks to a comparison with a sequence resulting from this species.**

## Introduction

Les organes de perception d'ondes sonores chez les insectes dérivent sans doute des terminaisons nerveuses sensibles aux vibrations du substrat (GREENFIELD, 2016). La capacité d'émettre des sons est apparue ensuite chez de nombreux ordres : Dictyoptera, Orthoptera, Neuroptera, Coleoptera et Lepidoptera (FULLARD & YACK, 1993 ; HOY, 1989). Les objectifs des émissions sonores sont principalement de deux ordres : les émissions ultrasonores défensives destinées à échapper à la prédation par les chiroptères (émises ponctuellement en présence d'un prédateur offensif), rencontrées chez les papillons de la famille des Arctiidae (BLEST, 1964) ; les émissions destinées à la communication sociale intraspécifique (le plus souvent des chants de « cour » émis

par les mâles de manière plus ou moins permanente et ostensible en période d'accouplements), rencontrées chez de nombreuses espèces. On distingue deux grands types de productions sonores chez les insectes : la stridulation qui résulte d'un frottement entre deux organes, et la cymbalisation qui est un organe complexe comprenant schématiquement une surface semi-rigide reliée à un muscle qui lui imprime des déformations (contraction et détente) productrices de sons (BOULARD & MONDON, 1995). Cette dernière catégorie, bien connue chez les Cigales, est également connue chez plusieurs familles de lépidoptères (CONNER, 1999). Les insectes émettant dans la gamme ultrasonore sont étudiés depuis quelques décennies seulement, et la capacité à émettre reste encore à découvrir pour de nombreuses espèces (CONNER, 1999).

Lors de séances d'écoute axées sur les chiroptères forestiers, nous avons eu l'occasion à maintes reprises d'écouter et d'enregistrer des émissions ultrasonores produites dans les frondaisons d'arbres feuillus, sans que l'auteur puisse être identifié. Nous décrivons ici les caractéristiques de ces signaux, puis nous formulons des hypothèses de rattachement de nos séquences enregistrées à un taxon étudié dans la littérature, dans une démarche de type heuristique.

## Matériel et méthode

Les émissions sonores ont été collectées et enregistrées grâce à un détecteur d'ultrasons Pettersson D1000X de Pettersson Elektronik KB. La fréquence d'échantillonnage est de 384 kHz, la résolution de 16 bits. L'enregistrement était réalisé depuis le sol ou en canopée grâce à un micro déporté hissé à 20 mètres

en moyenne.

L'analyse des sons a été réalisée grâce au logiciel BatSound (Pettersson Elektronik KB) ; les mesures de fréquence sont effectuées sur un graphique de densité spectrale (fréquence/intensité), les mesures de durée sur oscillogramme ou spectrogramme selon le rapport signal/bruit.

La nomenclature retenue pour la description des émissions est la suivante :

**Accents** : unité de sensation auditive d'une stridulation ou d'une cymbalisation, correspondant à un pic d'amplitude irréductible auditivement (son appréciation nécessite impérativement un ralentissement de 10 ou 20 fois). Un accent correspond à un contact ponctuel entre deux parties rigides (épine du tibia et nervure alaire chez un criquet par exemple) pour une stridulation, et à une déformation unique de la timbale pour une cymbalisation de cigale.

**Cycle** : évènement sonore correspondant à un mouvement double de va-et-vient, chacun constituant une **syllabe** pouvant contenir un ou plusieurs accents : ouverture et fermeture des tegmina pour une stridulation de Sauterelle ; contraction-détente de la timbale pour une cymbalisation de cigale.

**Phase** : succession de cycles analogues. Dans le cas où des cycles analogues se succèdent sans discontinuité temporelle ou sans variation significative des intervalles, les notions de phase et de strophe se confondent.

**Strophe** : ensemble de phases analogues (**strophe homogène**) ou non analogues (**strophe hétérogène**) formant un motif cohérent sur le plan

temporel (intervalles entre strophes > à celui entre phases et/ou cycles).

**Séquence** : ensemble de strophes séparées par des intervalles variables.

## Description du phénomène sonore observé sur le terrain

### Emissions ultrasonores

Parmi les 18 séquences collectées, 13 ont été retenues comme représentatives de la diversité des paramètres mesurés ; 40 strophes ont été analysées. Ces 13 séquences proviennent de 10 localités situées dans trois départements du Massif Central (Creuse, Corrèze, Haute-Vienne) et un département des Pyrénées (Ariège).

La distance de perception des émissions est supérieure à 15 mètres avec le matériel utilisé. Les émissions sont constituées de strophes d'une durée moyenne de  $228 \pm 102,4$  ms, séparées par des intervalles de  $286,4 \pm 166,3$  ms (**Tableau 1**). La fréquence du maximum d'énergie (FME) est de  $39,9 \pm 2,4$  kHz, donc largement dans la gamme ultrasonore ; aucun harmonique n'est visible ; une majorité des individus émettent dans une gamme de FME située entre 39 et 42 kHz, même si les extrêmes vont de 33,9 à 46,4 kHz (**Figure 1**). Pour un même individu, la variation de FME d'une strophe à l'autre est faible ( $0,6 \pm 0,5$  kHz) ; lorsqu'une strophe débute, l'intensité comme la FME (différence de  $2,7 \pm 1,1$  kHz entre les 20 premières millisecondes et la suite) augmentent progressivement durant les 20 premières millisecondes environ, pour se stabiliser ensuite (**Figure 2**).

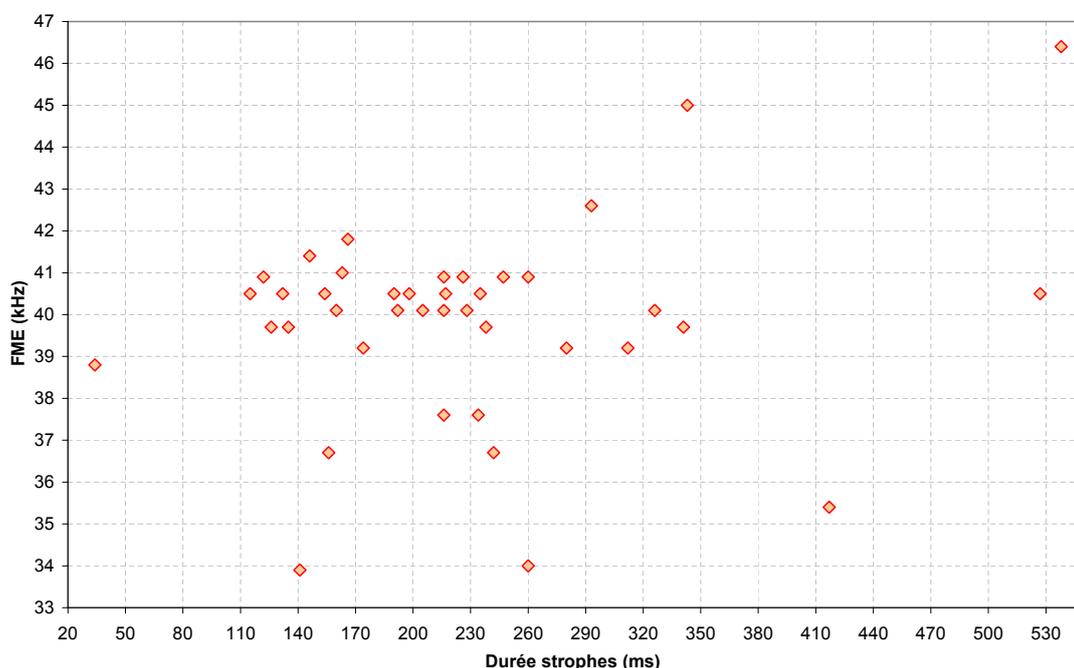
Les accents sont distribués selon une rythmique irrégulière de type « 2 ; 1 ; 2 ;

**Tableau 1.**

Valeurs mesurées sur les émissions sociales d'un insecte non identifié.

Légende : FME = Fréquence du Maximum d'Énergie ; ms = millisecondes ; FI = Fréquence Initiale ; FT = Fréquence Terminale ; LB = Largeur de Bande.

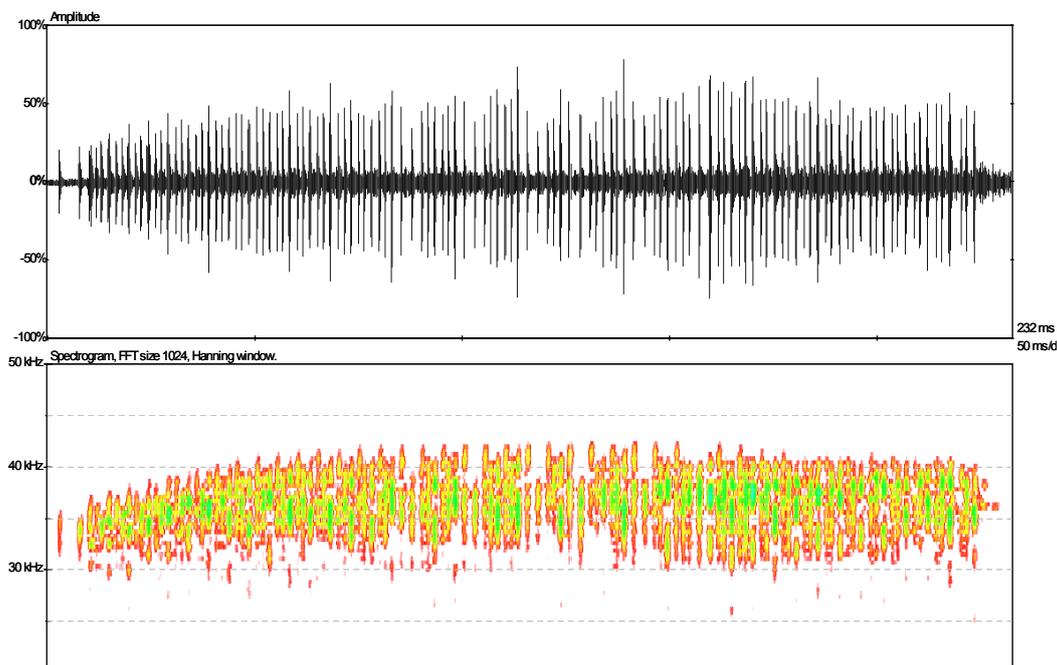
N = 40 strophes (13 individus ; 10 localités)	N.accents / seconde	Durée intervalles entre strophes (ms)	Durée strophe (ms)	FME (kHz) 20 premières ms	FME (kHz) après 20 ms	Décalage FME avant / après 20 ms	Différence FME pour un même individu	FI (kHz)	FT (kHz)	LB (kHz)
<b>Moyenne</b>	641,9	286,4	228,0	37,1	39,9	2,7	0,6	44,3	30,8	13,5
<b>Écart-type</b>	75,3	166,3	102,4	2,3	2,4	1,1	0,5	2,6	3,5	3,1
<b>Minimum</b>	520	16	34	31,5	33,9	0	0	38	25	6
<b>Maximum</b>	773	629	538	42,6	46,4	5,5	1,7	48,6	38,2	18



**Figure 1.**

Valeurs mesurées sur les émissions sociales d'un insecte non identifié. Distribution des valeurs de FME (Fréquence du Maximum d'Énergie) en fonction de la durée des strophes.

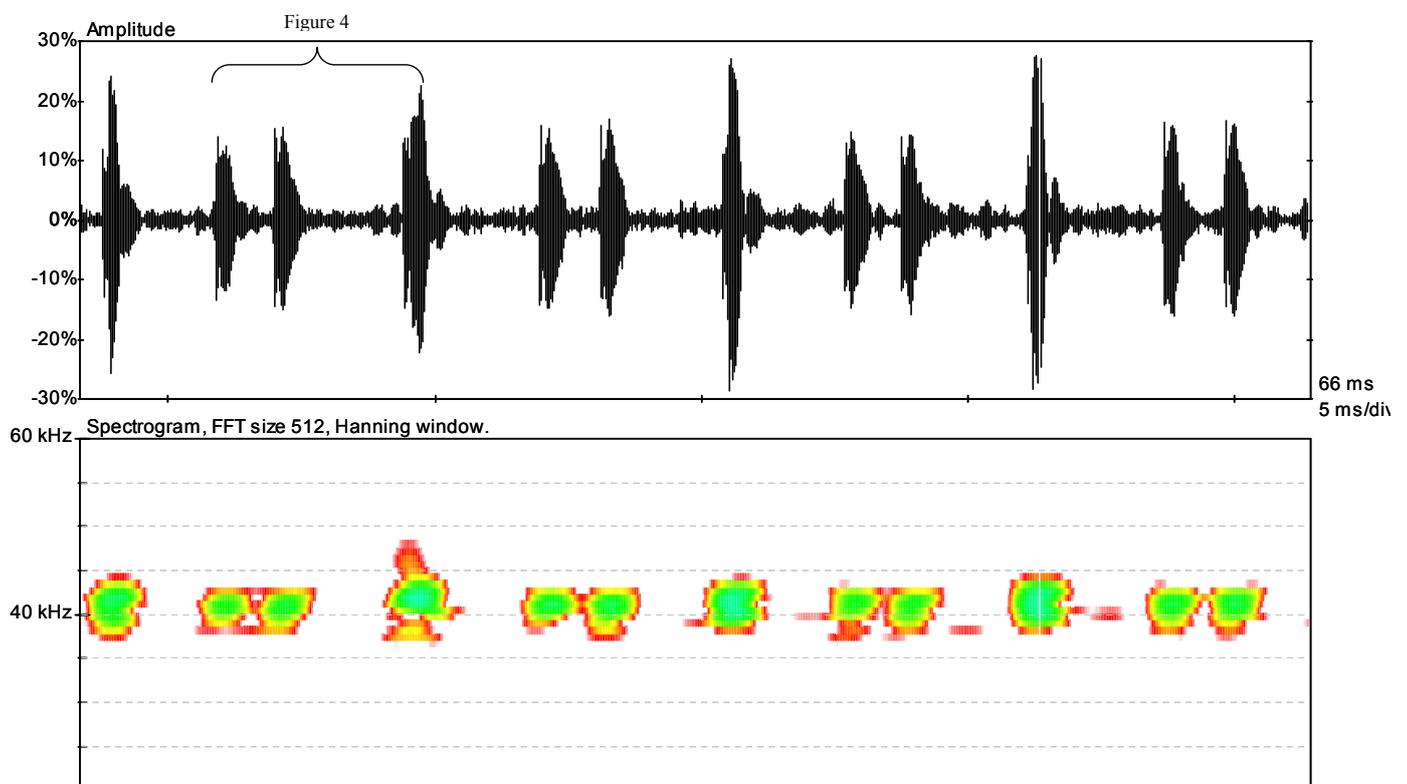
**Figure 2.**  
Spectrogramme (en bas) et oscillogramme (en haut) d'une strophe produite par un insecte non identifié. On distingue l'augmentation de l'intensité (sur les deux graphiques) et celle de la fréquence (sur le spectrogramme) durant les 20 premières millisecondes.



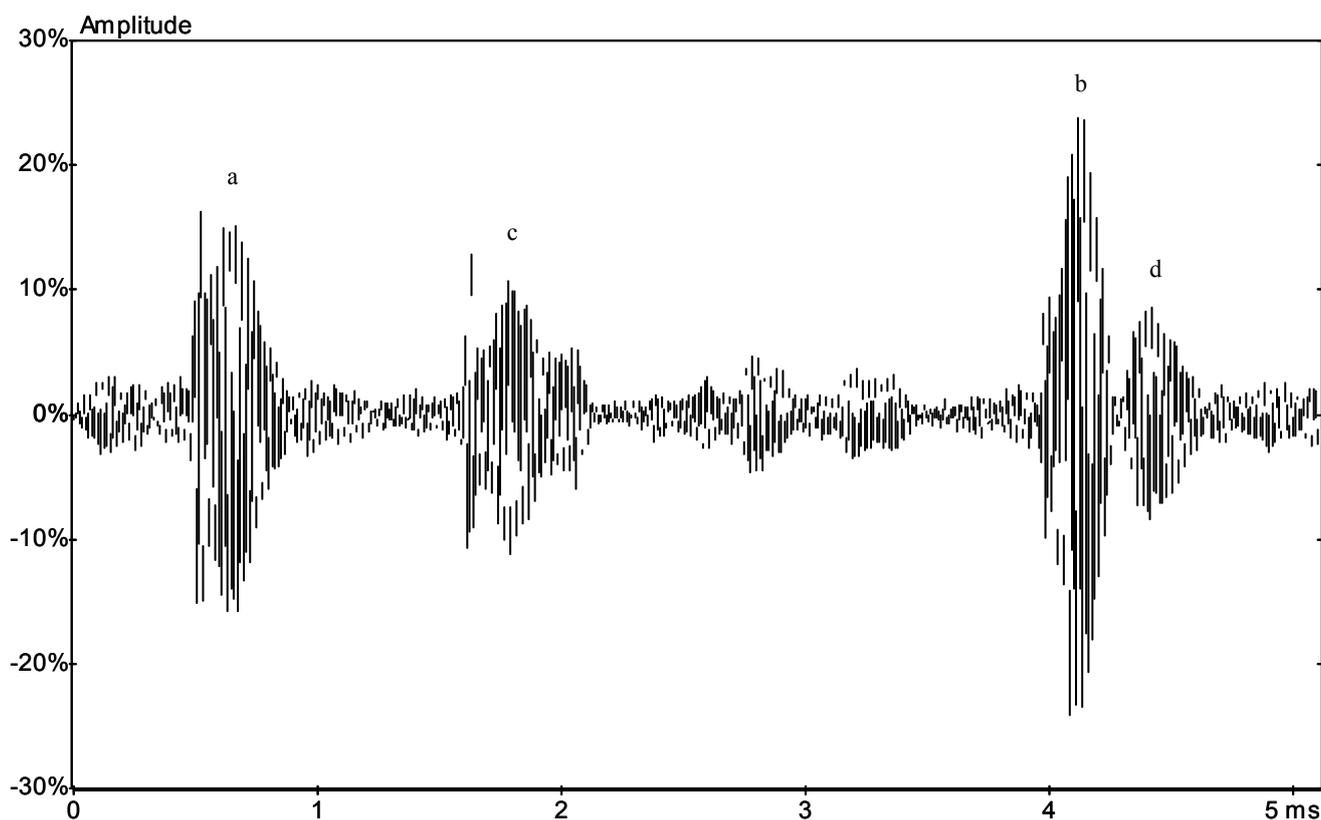
1 ; etc. » visible sur la **Figure 3**, qui se révèle être en réalité des paires d'accents avec deux nettement séparés et deux autres accolés (**Figure 4**) ; ces derniers sont parfois en recouvrement, ce qui est cohérent avec l'existence de deux organes d'émission sonore indépendants, chacun produisant sa syllabe d'ouverture/contraction et de fermeture/détente (selon qu'il s'agisse d'une stridulation ou d'une cymbalisation) plus ou moins en décalé. Ainsi chaque groupe de quatre accents (a ; c ; b+d) constituerait un double cycle ou (a & b) et (c & d) seraient produits par deux organes différents. La durée de chaque accent séparé (a ; c) est de 0,35 à 0,55 ms et celle de la paire d'accents accolés (b+d) est de 0,60 à 0,70 ms. L'intensité du premier accent (b) des paires accolées est plus forte que celle des autres

accents. Les intervalles de silence entre deux accents séparés (a ; c) ont une durée de 0,70 à 0,80 ms, inférieure à celle (1,9 à 2,25 ms) séparant une paire d'accents accolés (b+d) de l'accent qui le suit (a) ou le précède (c). Le nombre d'accents par secondes est élevé, avec une moyenne de  $510,5 \pm 49,9$  Hz ; la variation est importante (minimum 410, maximum 590) et semble, d'après nos relevés de terrain, non corrélée à la température ambiante comme c'est le cas pour les ensifères (Julien BARATAUD, en prép.).

Les strophes sont émises en séquences qui durent le plus souvent entre deux et quatre minutes, entrecoupées de phases de repos de cinq à dix minutes.



**Figure 3.** Spectrogramme d'une partie d'une strophe, montrant la distribution temporelle des accents apparemment groupés selon un rythme « 2 ; 1 ; 2 ; 1 ; etc. ».



**Figure 4.**

Oscillogramme montrant en détail un groupe d'accents correspondant au rythme « 2 ; 1 », où l'accent supposé unique se révèle être un double accent avec deux pics très proches (b et d), d'intensités différentes. Les accents a et b puis b et c pourraient correspondre, s'il s'agit d'une cymbalisation, aux cycles d'ouverture et contraction de chacune des deux timbales.

## Phénologie et habitat

La saison où les émissions sont entendues commence dès le 27 avril à Troye d'Ariège (chênaie pubescente vers 500 m d'altitude), et s'étale en Limousin de mi-mai au 30 juin, avec deux exceptions le 4 août à Chabrières (Guéret – 23) et le 6 août à Maisonniaux (Sardent – 23) en hêtraie fraîche à 550 m. Les émissions semblent uniquement crépusculaires ; elles se produisent durant environ 30 minutes (de 22h15 à 22h45 le 10 juin à Ambazac (87) par exemple) pour cesser ensuite sans aucune reprise au moins durant les 5 premières heures de la nuit.

Les individus émetteurs n'ayant pu être vus, il est difficile d'être sûr qu'ils puissent se déplacer en vol, mais cela paraît probable à l'examen des séquences d'émissions

pour un même individu, qui produit une série de strophes à une distance donnée du microphone durant quelques minutes pour se taire durablement ensuite, alors qu'une autre émission se produit peu après à une distance différente.

L'altitude varie de 350 m au pont des Ajustants (Sérandon - 19) à 800 m à Pigerolles (Gentioux – 23).

Les individus émetteurs (généralement plusieurs sont audibles sur un même point, à des distances différentes) sont situés en forêts caducifoliées composées essentiellement de Chêne pédonculé *Quercus robur*, Chêne sessile *Quercus petraea* et de Hêtre *Fagus sylvatica*, à l'étage de la canopée (15 à 25 m, parfois un peu plus bas dans le feuillage de lisière d'une trouée).

## Enquête bibliographique

L'identité de l'espèce produisant ces séquences ultrasonores restait inconnue, faute d'une observation visuelle directe *in situ* ou une collecte physique, rendue très difficile par plusieurs facteurs (faible lumière crépusculaire ou nocturne, insecte de petite taille situé entre 10 et 20 mètres de hauteur dans les frondaisons). Par élimination, une restriction du champ des possibilités pouvait être tentée grâce aux données issues de la littérature.

Ce type de signaux, par leurs caractéristiques de durée et de fréquence, ne peuvent correspondre au répertoire d'un vertébré.

Parmi les invertébrés, seuls les insectes sont connus pour produire des sons de communication à distances moyennes (GREENFIELD, 2016). Des organes stridulatoires sont connus chez 30 familles de coléoptères (DI GIULIO *et al.*, 2014), mais elles correspondent pour la plupart à des stridulations de très faible intensité, en aller-retour distinct, sur des fréquences plus basses. Les émissions stridulées des orthoptères sont bien connues en Europe (RAGGE & REYNOLDS, 1998 ; Julien BARATAUD, en prép.) et aucune ne correspond aux caractéristiques décrites ici (seules quatre espèces de Tettigonidae, appartenant aux genres *Leptophyes* et *Yersinella*, émettent entre 34 et 47 kHz, et leurs strophes sont très différentes).

Une séparation simple entre les deux techniques courantes utilisées par les insectes émetteurs – stridulation *versus* cymbalisation – semble difficile à établir de façon certaine, les deux pouvant engendrer des émissions très diverses aux caractéristiques recouvrantes. En effet, la cymbalisation et la stridulation n'engendrent pas de différences notables dans les caractéristiques de sons produits :

dans les deux cas, il s'agit d'un phénomène d'aller et retour pouvant être haché ou continu, d'intensité forte ou faible, de fréquences diverses (5 à 120 kHz), avec un nombre d'accents moyen à très élevé (les stridulations du criquet *Chortippus montanus* ont 80 accents à la seconde et celles de la sauterelle *Polysarcus denticauda* 1000 à la seconde environ ; les cymbalisations de cigales vont de 200 (*Cicada orni*) à 1000 (*Cicadatra atra*) accents à la seconde. Des accents de durée très courte (< 1 ms) sont réputés provenir plutôt de timbales (NAKANO *et al.*, 2012), ce qui est le cas ici avec une durée de 0,5 ms environ ; cependant, la sauterelle *Polysarcus denticauda*, dotée d'un organe stridulatoire, produit des accents de seulement 0,4 ms. De nombreux exemples, tirés de la bibliographie et de notre expérience personnelle, montrent pourtant qu'une longue série d'accents très courts, parfaitement analogues en structure, fréquence et intensité est courante en cymbalisation, alors qu'elle est assez rare en stridulation. Dans notre tentative d'attribution à un taxon des séquences étudiées ici, une attention particulière est donc à accorder à ceux équipés de ce dispositif.

Parmi les Hémiptères, les Cigales cymbalisent sur des fréquences inférieures à 25 kHz, et durant la période printanière elles sont au stade larvaire (BOULARD & MONDON, 1995). Par ailleurs, les Punaises dotées d'organes de cymbalisation communiquent via le substrat sur des distances courtes et des fréquences souvent basses (COCROFT *et al.*, 2014 ; REBAR & RODRIGUEZ, 2016).

Les lépidoptères semblent donc, par élimination, les meilleurs candidats. Au sein de cet ordre, la cymbalisation comme la stridulation dans la gamme ultrasonore sont répertoriées chez quelques rares familles (CONNER, 1999). Plusieurs espèces émettent des signaux de forte intensité,

audibles à 20 ou 30 mètres (GWYNNE & EDWARDS, 1986 ; HELLER & ACHMANN, 1993 ; LAPSHIN & VORONTSOV, 2000 ; LIMOUSIN & GREENFIELD, 2009 ; NAKANO *et al.*, 2012 ; SANDERFORD & CONNER, 1995 ; SKALS & SURLYKKE, 1999 ; SURLYKKE & GOGALA, 1986). Chez les Arctiidae de nombreuses espèces cymbalisent, mais dans ce groupe la production de sons semble surtout réservée à la communication interspécifique : elle constitue une alarme contre la prédation par les chiroptères (SKALS *et al.*, 1996). Le caractère ponctuel de ces émissions, uniquement dans les fractions de secondes qui correspondent à la phase d'approche du prédateur, écarte cette hypothèse pour les émissions décrites ici, qui sont cohérentes avec le schéma d'un chant destiné aux congénères (durées longues des strophes et des séquences, limitation au crépuscule et à la période printanière). Des émissions de communication inter sexes ont cependant été mises en évidence chez un Arctiidae d'Amérique Centrale, *Syntomeida epitais*, qui émet une cymbalisation de « cour » (dans un but de communication sociale entre sexes d'une même espèce) sur 32 kHz (SANDERFORD & CONNER, 1995). La cymbalisation de cour est notée chez plusieurs espèces appartenant aux familles des Crambidae et Pyralidae (CONNER, 1999 ; GREENFIELD, 2014). En Europe, *Galleria mellonella* et *Achroia grisella* cymbalisent en battant des ailes ; *Galleria mellonella* émet sur 75 kHz (SPANGLER, 1986) ; *Achroia grisella* est tantôt notée sur 89,5 kHz avec une faible intensité, ses émissions n'étant audibles qu'à deux mètres environ (SPANGLER, 1985 ; SPANGLER *et al.*, 1984), tantôt entre 70 et 130 kHz avec des émissions intenses de 90–95 dB SPL à 1 cm (LIMOUSIN & GREENFIELD, 2009) ; *Corcyra cephalonica*, la Pyrale du riz, cymbalise sur 125 kHz (SPANGLER, 1987) ; la Pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, stridule en battant des ailes, grâce à des écailles modifiées sur les

ailes et le thorax, de longues strophes sur 40 kHz avec une faible intensité (TAKANASHI *et al.*, 2010) ; trois espèces parasites de nos denrées alimentaires : *Ephestia cautella*, *Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella* produisent lors de battements d'ailes des strophes dont les accents sont espacés toutes les 14 à 24 ms, sur 50 à 80 kHz (TREMATERRA & PAVAN, 1995). Aucune de ces caractéristiques n'est proche de notre cas d'étude.

Chez les Noctuidae, une espèce européenne automnale, *Thecophora fovea*, stridule (20 accents par seconde) des strophes de 10 à 12 ms de durée sur 32 kHz avec une forte intensité (83 dB SPL à 1 m) la rendant audible par ses congénères à environ 30 mètres de distance (SURLYKKE & GOGALA, 1986). En Europe toujours, *Amphipyra perflua* produit en vol des accents isolés à grande largeur de bande, sur 58 et 78 kHz (LAPSHIN & VORONTSOV, 2000). Ces espèces sont donc également à écarter.

Dans la famille des Nolidae (anciennement incluse dans les Noctuidae), *Bena bicolorana* (Halias du chêne, répandu en Europe), cymbalise sur 50 kHz des strophes dispersant des courtes séries d'accents intenses entre des séries plus longues d'accents faibles (SKALS & SURLYKKE, 1999).

Une autre espèce de Nolidae étudiée par ces mêmes auteurs, *Pseudoips prasinana* (anciennement *P. fagana*, le Halias du hêtre, très commun sur notre zone d'étude) cymbalise entre 35,2 et 42,7 kHz des strophes de 10 à 500 ms, très intenses (105 dB SPL à 8 cm), contenant de courts accents (0,3 ms) à raison de 400 par seconde minimum : ces caractéristiques sont très proches de nos enregistrements non identifiés. **L'hypothèse que nos sons récoltés *in natura* proviennent de l'espèce *Pseudoips prasinana* (L.) est donc très probable** : au contraire de toutes les autres espèces étudiées dans la



*Pseudoips prasinana* (mâle).

© Michel RAUCH (11/04/2007)

littérature qui présentent des différences plus ou moins nombreuses et/ou profondes, les émissions de *Pseudoips prasinana* en laboratoire concordent avec nos critères de fréquence (FME, largeur de bande), de durées (accents, intervalles, strophes) de rythmique et d'intensité ; de plus, la biologie de l'espèce (activité crépusculaire, phénologie saisonnière, habitat, répartition) concordent parfaitement.

Chez cette espèce, la cymbalisation est produite par une paire de timbales situées à la base ventrale de l'abdomen, chacune formée d'une cuticule lisse (ce qui entraîne l'émission d'un accent unique à chaque mouvement de contraction ou de détente, contrairement à *Bena bicolorana* où la cuticule de la timbale est striée) au fond d'une poche, actionnée par un muscle s'insérant sur une crête médiane entre les deux poches et se prolongeant sous la cuticule (SKALS & SURLYKKE, 1999).

Un chant de cour de forte intensité de la part d'un papillon pose un problème de balance entre l'avantage d'un recrutement

des femelles à plus grande distance, et l'inconvénient du manque de discrétion vis-à-vis des chiroptères prédateurs. Une espèce comme *Thecophora fovea* décale son cycle de chant en octobre (SURLYKKE & GOGALA, 1986), période où les chiroptères sont moins actifs en chasse ; ce n'est pas le cas de *Pseudoips prasinana* qui chante de mai à juillet. Mais la caractéristique observée, de réduire la période de chant à une trentaine de minutes au crépuscule (contraignante en termes de stratégie de communication intraspécifique) pourrait être une adaptation visant à minimiser la prédation : comme nous le constatons lors de nos relevés de terrain, les chiroptères glaneurs (seuls susceptibles d'avoir accès à une proie posée sur un substrat) démarrent leur activité en fin de crépuscule (contrairement aux espèces de lisière et de haut vol, plus précoces) ; il y a ainsi un très faible recouvrement temporel, vérifié sur le terrain grâce aux écoutes au détecteur d'ultrasons.



*Pseudoips prasinana* (femelle).

© Jean-François CORNUET (19/07/2007)

Deux séquences sonores  
(wave standard)  
de *Pseudoips prasinana*  
enregistrées sur le terrain  
peuvent être téléchargées ici :

Séquence enregistrée  
en hétérodyne :

[http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/04/Pseudoips-prasinana\\_HETERODYNE-41kHz\\_Croze19\\_30juin2013\\_M-Barataud.wav](http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/04/Pseudoips-prasinana_HETERODYNE-41kHz_Croze19_30juin2013_M-Barataud.wav)

Séquence enregistrée  
en expansion de temps x 10 :

[http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/04/Pseudoips-prasinana\\_EXPANSIONx10\\_Croze19\\_30juin2013\\_M-Barataud.wav](http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/04/Pseudoips-prasinana_EXPANSIONx10_Croze19_30juin2013_M-Barataud.wav)

## Validation de l'hypothèse

Après qu'il existât une hypothèse restreinte à une espèce précise, la preuve pouvait être apportée par une démarche inverse : capturer un mâle d'*Halias* du hêtre, le mettre en conditions de chant et comparer ses séquences aux nôtres enregistrées en aveugle sur le terrain.

Informé de la nature de l'hypothèse, Niels Skals a contribué de façon définitive au processus en fournissant un enregistrement issu de son étude de 1999 avec Anne-Marie Surlikke. La comparaison des deux sources – terrain versus laboratoire - a montré une similitude probante des différents critères, à l'analyse auditive comme à l'analyse informatique.

Ainsi, au terme d'une démarche déductive, nos enregistrements de terrain réalisés en aveugle ont pu aboutir à une identification certaine.

## Remerciements

Julien Barataud et Sylvie Giosa ont participé aux enregistrements de terrain. Stéphane Aulagnier a fourni plusieurs articles sur le sujet avec sa diligence et son efficacité habituelles.

Merci à Michael D. Greenfield pour sa disponibilité à répondre aux questionnements dans la phase exploratoire.

Merci à Jean-François Desmet pour le contact avec ses collègues photographes, et à Jean-François Cornuet et Michel Rauch pour leurs magnifiques photos.

Enfin, nous adressons une pensée attristée et reconnaissante à Annemarie Surlikke, décédée trop tôt en 2015.

# Bibliographie

**BARATAUD, J., en prép.** *Emissions acoustiques des sauterelles de France*. Biotope, Mèze.

**BLEST, A. D., 1964.** Protective display and sound production in some new world arctiid and ctenuchid moths. *Zoologica* 49, 161–181.

**BOULARD, M. & B. MONDON. 1995.** *Vie et mémoires de cigales. Provence, Languedoc, Méditerranée*. Ed. de L'Equinoxe, Barbentane. 159 pp.

**CONNER, W.E. 1999.** Review - 'Un chant d'appel amoureux': acoustic communication in moths. *The Journal of Experimental Biology* 202, 1711–1723.

**COCROFT, R.B., M. GOGALA, P.S.M. HILL & A. WESSEL. 2014.** *Studying Vibrational Communication*. Springer, Switzerland. 462 pp.

**DI GIULIO, A., S. FATTORINI, W. MOORE, J. ROBERTSON & E. MAURIZI. 2014.** Form, function and evolutionary significance of stridulatory organs in ant nest beetles (Coleoptera: Carabidae: Paussini). *European Journal Entomology* 111(5): 692-702.

**FULLARD, J. H. & J. E. YACK. 1993.** The evolutionary biology of insect hearing. *Trends Ecol. Evol.* 8: 248–252.

**GREENFIELD, M.D. 2014.** Acoustic Communication in the Nocturnal Lepidoptera. In: B. HEDWIG (ed.), *Insect Hearing and Acoustic Communication, Animal Signals and Communication*, vol. 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

**GREENFIELD, M.D. 2016.** Evolution of Acoustic Communication in Insects. In: G.S. POLLACK et al. (eds.). *Insect Hearing*. Springer, Switzerland.

**GWYNNE, D. T. & E. D. EDWARDS. 1986.** Ultrasound production by genital stridulation in *Syntonarcha iriastis* (Lepidoptera: Pyralidae): long distance signalling by male moth? *Zool. J. Linn.Soc.* 88: 363–376.

**HELLER, K-G. & R. KRAHE. 1994.** Sound production and hearing in the pyralid moth *Symmoracma minoralis*. *J. exp. Biol.* 187, 101–111.

**HOY, R.R. 1989.** Startle, categorical response and attention in acoustic behavior of insects. *Annu. Rev. Neuroscience* 12: 355–375.

**LAPSHIN, D.N. & D.D. VORONTSOV. 2000.** Ultrasonic Emission by Noctuid Moths (Lepidoptera, Noctuidae): Main Characteristics of Signals and Possible Mechanisms of Their Generation. *Entomological Review* 80(9): 1157-1169.

**LIMOUSIN, D. & M.D. GREENFIELD. 2009.** Evaluation of amplitude in male song: female waxmoths respond to fortissimo notes. *The Journal of Experimental Biology* 212: 4091-4100.

**NAKANO, R., T. TAKANASHI, F. IHARA, K. MISHIRO & M. TOYAMA. 2012.** Male courtship ultrasound produced by mesothoracic tymbal organs in the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Appl Entomol Zool* 47: 87–93.

- RAGGE, D.R. & J. REYNOLDS. 1998.** *The songs of the grasshoppers and crickets of Western Europe*. Ed. Harley Books, London. 591 pp.
- REBAR, D. & R.L. RODRIGUEZ. 2016.** Males adjust their signalling behaviour according to experience of male signals and malefemale signal duets. *J. Evol. Biol.* 29: 766–776.
- SANDERFORD, M.V., & W.E. CONNER. 1995.** Acoustic Courtship Communication in *Syntomeida epilais* Wlk. (Lepidoptera: Arctiidae, Ctenuchinae). *Journal of Insect Behavior* 8(1): 19-31.
- SKALS, N. & A. SURLYKKE. 1999.** Sound production by abdominal tymbal organs in two moth species: the green silverline and the scarce silverline (Noctuoidea: Nolidae: Chloephorinae). *J Exp Biol* 202:2937–2949.
- SKALS, N., A. SURLYKKE & H. SORENSEN. 1996.** Sound Production with an Abdominal «Tymbal» Organ in a Noctuid Moth, *Pseudoips fagana*. 15th Symp. Int. Bioacoust. Counc., Pavia, p. 263.
- SPANGLER, H. G. 1985.** Sound production and communication by the greater wax moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Ann. ent. Soc. Am.* 78, 54–61.
- SPANGLER, H. G. 1986.** Functional and temporal analysis of sound production in *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Comparative Physiology A* 159(6): 751–756.
- SPANGLER, H. G. 1987.** Ultrasonic communication in *Corcyra cephalonica* (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. stored Prod. Res.* 23, 203–211.
- SPANGLER, H. G., M. D. GREENFIELD & A. TAKESSIAN. 1984.** Ultrasonic mate calling in the lesser wax moth. *Physiol. Ent.* 9: 87–95.
- SURLYKKE, A. & M. GOGALA. 1986.** Stridulation and hearing in the noctuid *Thecophora fovea* (Tr.). *J. Comp. Physiol. A* 186: 267–273.
- TAKANASHI, T., R. NAKANO, A. SURLYKKE, H. TATSUTA, J. TABATA, Y. ISHIKAWA, & N. SKALS. 2010.** Variation in Courtship Ultrasounds of Three Ostrinia Moths with Different Sex Pheromones. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013144>
- TREMATERRA, P. & G. PAVAN. 1995.** Ultrasound production in the courtship behaviour of *Ephestia cautella* (Walk.), *E. kuehniella* Z. and *Plodia interpunctella* (Hb.) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Stored Prod. Res.* 31: 43–45.

### Pour citer cet article :

**BARATAUD, M. & N. SKALS. 2018.**

Emissions ultrasonores de communication sociale enregistrées en canopée : attribution au lépidoptère *Pseudoips prasinana* (L.) (Noctuoidea ; Nolidae ; Chloephorinae) grâce à une analyse bibliographique. *Plume de Naturalistes 2* : 11-22.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes : [www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

RZRZRZRZRZRZR  
ZRZRZRZRZRZR  
RZRZ...



# Identification acoustique des espèces françaises du genre *Rhacocleis* Fieber, 1853 (Orthoptera, Tettigoniidae)

**Par Julien Barataud**

(julien.barataud@gmail.com)

## Résumé

Les stridulations des 5 espèces françaises du genre *Rhacocleis* sont décrites et une clé d'identification acoustique est proposée pour différencier les espèces à l'aide d'un détecteur d'ultrasons à expansion de temps. Des éléments pour faciliter leur recherche sur le terrain et préciser leur écologie et leur répartition sont également proposés.

## Abstract

The calling song of the 5 French species of the *Rhacocleis* genus are described ; an acoustic identification key is proposed to differentiate the species using a time-expanding ultrasound detector. Elements to facilitate their research in the field and specify their ecology and distribution are also proposed.



## Introduction

Le genre *Rhacocleis* (FIEBER, 1853) compte 5 espèces en France métropolitaine dont 2 ne sont présentes qu'en Corse (SARDET et al., 2015).

Il s'agit de sauterelles souvent difficiles à détecter par des prospections à vue classiques du fait de leur activité strictement nocturne et de leur écologie souvent liée à des habitats arbustifs très encombrés et difficilement accessibles. Leurs stridulations sont peu ou non audibles pour l'oreille humaine à cause de leurs fréquences trop hautes (entre 19 et 36 kHz selon les espèces). Leur recherche à l'aide d'un détecteur d'ultrasons constitue donc une méthode intéressante pour identifier la présence de ces espèces méditerranéennes peu connues.

Des enregistrements de plusieurs espèces présentes en France ont déjà été publiés (SARDET et al., 2015, MASSA et al., 2012) et des descriptions précises des stridulations ont également été faites pour *Rhacocleis germanica* (RAGGE & REYNOLDS, 1998, HELLER, 1988) mais aucune synthèse ne permettait jusque là de mettre en évidence des critères permettant de différencier acoustiquement les espèces françaises.

Cette première synthèse sur le genre *Rhacocleis* est proposée dans le cadre d'un travail en préparation sur l'identification acoustique de l'ensemble des sauterelles de France métropolitaine.



© Julien BARATAUD (22/08/2017)

**Figure 1.** *Rhacocleis germanica*, l'une des espèces du genre les plus largement répartie en Europe - Tarascon (13)

# Matériel et méthode

## Enregistrements sur le terrain

Les enregistrements des différentes espèces ont été réalisés avec un détecteur d'ultrasons à expansion de temps : modèle Pettersson D980 de Pettersson Elektronik AB (fréquence d'échantillonnage : 350 kHz et résolution : 8 bits) couplé avec enregistreur à cassettes DAT pour les enregistrements les plus anciens et modèle Pettersson D1000x (fréquence d'échantillonnage 384 kHz et résolution 16 bits) avec carte mémoire CF intégrée pour les enregistrements les plus récents.

Tous les enregistrements ont été réalisés en conditions naturelles, directement sur le terrain. L'ensemble des individus enregistrés ont été contrôlés visuellement afin de vérifier leur identité spécifique par des critères morphologiques.

Le **Tableau 1** liste les dates et lieux d'enregistrement constituant la base de données acoustique ayant servi à cette étude. Plusieurs séquences de *Rhacocleis germanica*, *R.poneli* et *R.annulata* transmises par Yves Bas ont également été analysées dans un second temps et ont permis de conforter les critères mis en évidence par l'analyse des sons de référence.

**Tableau 1.**

Dates et lieux d'enregistrement des différentes espèces de *Rhacocleis* de France métropolitaine

Espèce	Date	Lieu (Département français ou pays)	Nombre de phases analysées
<i>Rhacocleis bonfilsii</i>	20/08/2001	Asco (2B)	10
<i>Rhacocleis corsicana</i>	25/08/2001	Asco (2B)	12
<i>Rhacocleis germanica</i>	25/08/2001	Asco (2B)	9
<i>Rhacocleis germanica</i>	15/07/2003	Roccaverano (IT)	7
<i>Rhacocleis germanica</i>	22/08/2017	Tarascon (13)	19
<i>Rhacocleis poneli</i>	22/08/2017	Tarascon (13)	42
<i>Rhacocleis poneli</i>	25/08/2017	Collias (30)	22
<i>Rhacocleis annulata</i>	25/08/2017	Collias (30)	25

## Terminologie utilisée pour la description des stridulations

Il est très complexe d'adopter une terminologie adaptée pour la description des différentes parties des stridulations des orthoptères et, comme le soulignent RAGGE & REYNOLDS (1998), il existe presque autant de terminologies différentes que de bio-acousticiens ayant travaillé sur ce groupe. Le **Tableau 2** synthétise les principales terminologies récemment utilisées dans la bibliographie relatives aux stridulations d'orthoptères (la plupart des autres terminologies plus anciennes n'ont pas été reprises dans les publications les plus récentes). Les choix terminologiques réalisés ici s'inspirent très largement

des principales références européennes (RAGGE & REYNOLDS, 1998 ; HELLER, 1988, 2006). Cependant, dans cette étude, l'approche avec le détecteur d'ultrasons, l'utilisation de l'expansion de temps, la volonté d'avoir une terminologie adaptée aux enregistrements en direct sur le terrain et un souci de cohérence sémantique ont nécessité quelques ajustements qui sont justifiés ci-après.

**Accent** : unité de sensation auditive d'une stridulation, correspondant à un pic d'amplitude irréductible auditivement (son appréciation nécessite impérativement un ralentissement de 10 ou 20 fois). Chez les ensifères, un accent correspond à un contact ponctuel entre l'archer (situé sur

la face supérieure du tegmen couvert) et l'une des rides de la râpe stridulatoire (située sur la face inférieure du tegmen couvrant). Ce terme peut être considéré comme synonyme d'impulsion.

**Syllabe** : évènement sonore généralement constitué par plusieurs accents (seule exception française chez *Cyrtaspis scutata* qui produit des syllabes à un seul accent) et produit par un mouvement simple (va ou vient) de l'appareil émetteur (mouvement des tegmina pour les ensifères chez qui on peut alors distinguer la syllabe d'ouverture et la syllabe de fermeture). La définition d'une syllabe en langage oral est une unité ininterrompue d'où le choix de la réserver à un seul mouvement des tegmina.

**Cycle** : évènement sonore correspondant à un mouvement double de va-et-vient (cycle d'ouverture et de fermeture des tegmina pour une stridulation d'ensifère). Chez les ensifères, le son produit peut être monosyllabique (frottement de l'archer contre les rides uniquement à l'ouverture ou – cas le plus fréquent – uniquement à la fermeture) ou bi-syllabique (frottement à l'ouverture et à la fermeture, avec une différence d'intensité et/ou de sonorité

perceptible entre les deux mouvements [ralentissement de 10 ou 20 fois souvent nécessaire]).

**Phase** : succession de cycles analogues (ne différant éventuellement que par des variations d'intensité), séparés par des intervalles réguliers ; on distingue deux phases différentes lorsque la durée d'un intervalle est au moins égale au double de celle de l'intervalle qui précède. L'uniformité de structure des éléments constituant une phase nous semblait incompatible avec la notion de phrase, très liée au langage humain et correspondant à un ensemble composite de caractères très différents.

**Strophe** : ensemble de phases analogues (strophe homogène) ou non analogues (strophe hétérogène) formant un motif cohérent sur le plan temporel (intervalles entre strophes supérieur à celui entre phases et/ou cycles).

**Séquence** : ensemble de strophes séparées par des intervalles variables.

La **Figure 2** illustre cette terminologie sur des séquences de *Rhacocleis germanica* à différentes échelles temporelles.

**Tableau 2.**

Principales terminologies récemment utilisées pour la description des stridulations d'orthoptères et proposition d'une terminologie adaptée à leur étude sur le terrain

Unité	Définition	Barataud, 2018	Ragge & Reynolds, 1998	Heller & al., 2006	Bellmann & Luquet, 2009	Morris & Walker, 1976 - Buzzetti & Barrientos, 2011 (terminologie américaine)
1	Contact ponctuel entre l'archer et l'une des rides de la râpe stridulatoire	Accent	Tooth-impact (impact de dent)	Impulse (impulsion)		Pulse (impulsion)
2	Ouverture des tegmina	Syllabe d'ouverture	Opening hemisyllable (hémisyllabe d'ouverture)	Opening hemisyllable (hémisyllabe d'ouverture)	Accent	Minor pulse train
2'	Fermeture des tegmina	Syllabe de fermeture	Closing hemisyllable (hémisyllabe de fermeture)	Closing hemisyllable (hémisyllabe de fermeture)		Major pulse train
3	Cycle d'ouverture et fermeture des tegmina	Cycle	Diplosyllable (diplosyllabe)	Syllabe (syllable)	Accent double	Phonotome or chirp (phonotome)
4	Succession de cycles analogues	Phase	Echeme (phrase)	Echeme (phrase)	Phrase	Buzz Rattle Tick sequence Zip Smack
5	Ensemble de phases formant un motif cohérent	Strophe	Echeme-sequence (strophe)		Séquence	
6	Ensemble de strophes	Séquence				

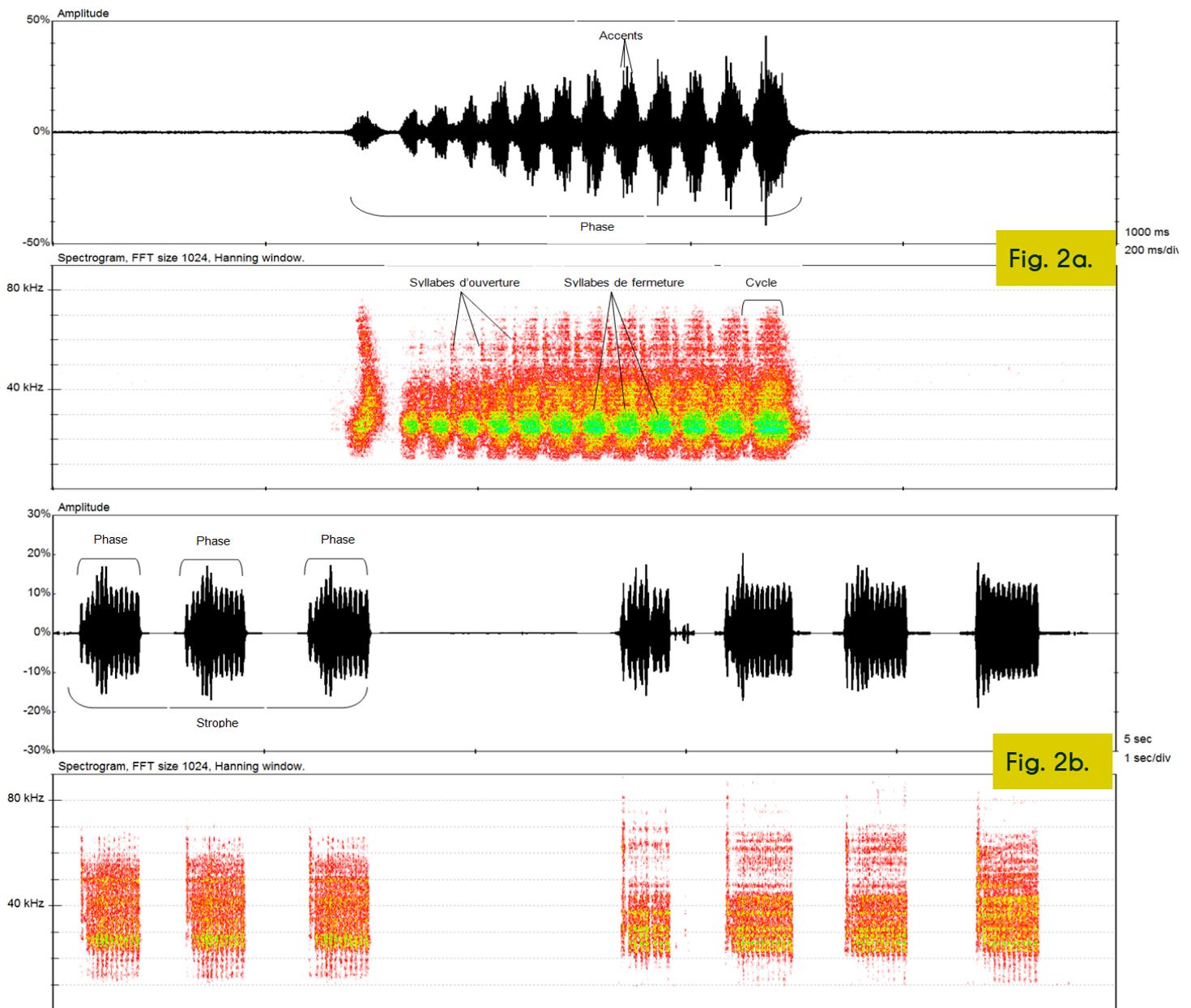


Fig. 2a.

Fig. 2b.

**Figures 2a et 2b.**  
 Illustration de la terminologie utilisée sur des stridulations de *Rhacocleis germanica* à différentes échelles temporelles.  
**Fig. 2a** (en haut) : oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une phase ; sur ce dernier les syllabes d'ouverture, courtes et faibles en intensité, sont peu visibles. Enregistrement Julien Barataud, Tarascon (FR-13), 22/08/2017, 22°C .  
**Fig. 2b** (en bas) : oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) de deux strophes. Enregistrement Michel et Julien Barataud, Rocaverano (IT), 15/07/2003.

### Analyse des séquences et mesures

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel BatSound® (Pettersson Elektronik AB). Différentes mesures ont été effectuées sur l'ensemble des séquences disponibles :

- nombre de syllabes et/ou de cycles ;
- durée des phases ;
- durée des intervalles entre les phases ;

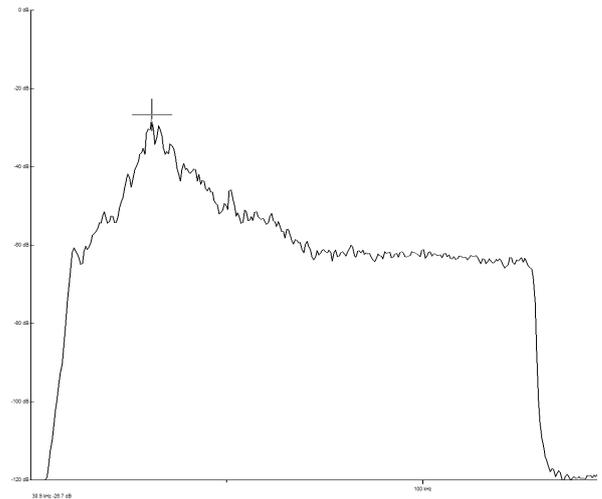
- nombre de phases par strophes ;
- intervalles entre les strophes ;
- fréquence du maximum d'énergie (FME) : cette notion peu utilisée jusque-là dans la bibliographie concernant les stridulations d'orthoptères est d'une aide précieuse pour la différenciation de certaines espèces sur le terrain à l'aide d'un détecteur d'ultrasons.

Elle peut être mesurée sur un logiciel d'analyse par densité spectrale (**Figure 3**) mais peut également être appréciée sur le terrain avec un détecteur d'ultrasons à l'aide de la recherche du battement zéro en mode hétérodyne (voir BARATAUD, 2012). La mesure précise de la FME est parfois problématique sur certaines phases pour lesquelles apparaissent plusieurs pics de fréquence d'intensité similaire. Dans ces cas là, une mesure médiane a été prise (parfois entre deux pics). Dans tous les cas, il est important de mesurer plusieurs phases sur une même séquence et d'avoir en tête que la qualité de l'enregistrement (notamment la présence plus ou moins importante de bruit de fond) peut interférer sur la qualité de la mesure de la FME. L'adéquation des résultats obtenus pour ces différentes variables avec les descriptions disponibles dans la bibliographie a été vérifiée systématiquement (notamment dans RAGGE & REYNOLDS, 1998 ; HELLER, 1988 ; MASSA et al., 2012).

## Description des stridulations des différentes espèces

### *Rhacocleis bonfilsii*

*Rhacocleis bonfilsii* est une espèce endémique de Corse qui a été décrite sur un mâle récolté par Bonfils en 1957 et n'avait pas été retrouvé jusqu'en 2001 où des enregistrements de plusieurs mâles ont pu être réalisés en haute vallée d'Asco (BARATAUD, 2005). Peu de données existent concernant son écologie mais il semble apprécier les landes arbustives à Bruyère arborescente (*Erica arborea*), surtout entre 500 et 1000 m d'altitude et n'a pour l'instant été noté qu'en Haute-Corse. La stridulation est constituée de strophes

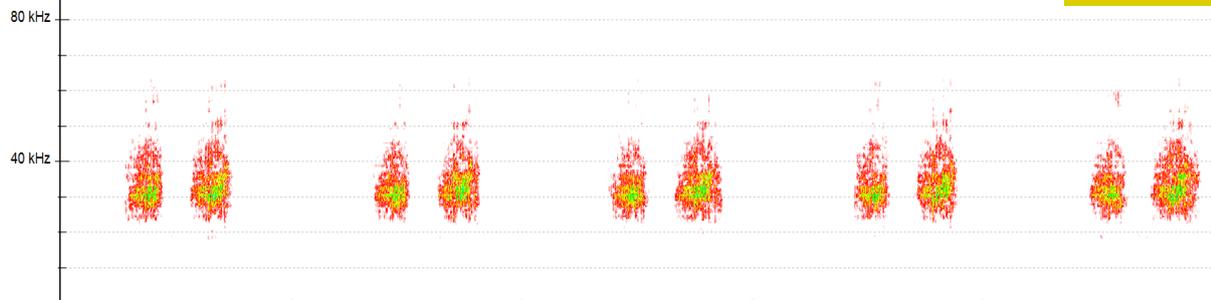
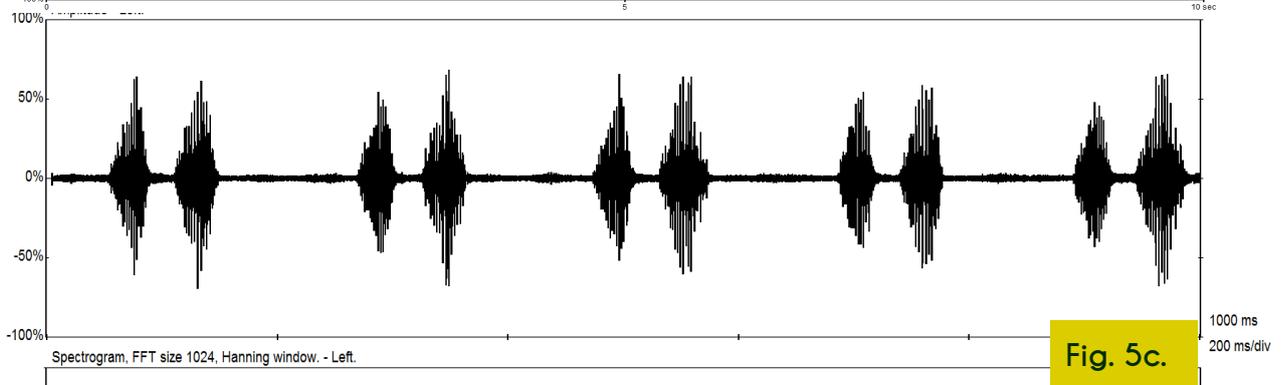
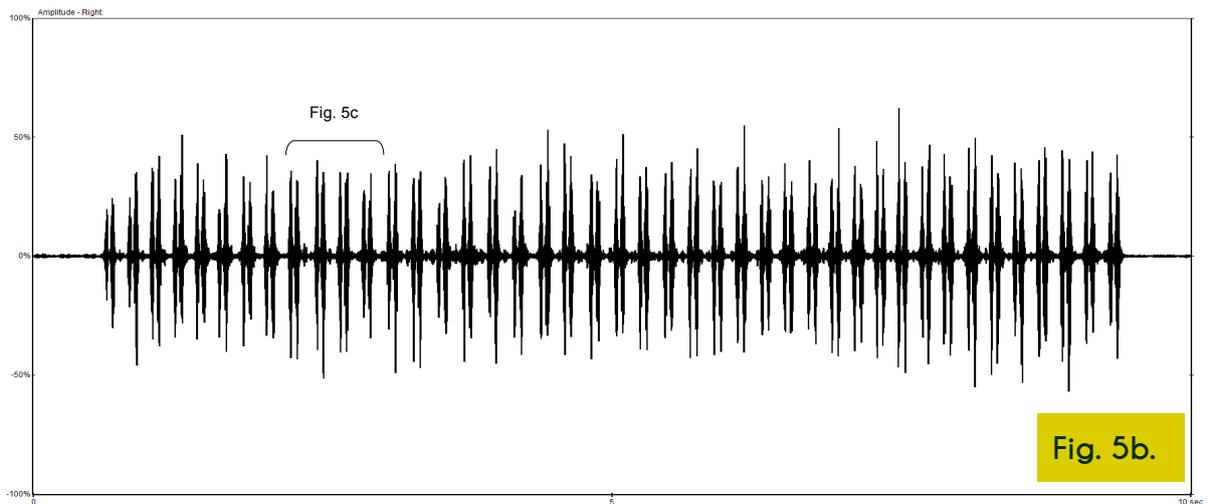
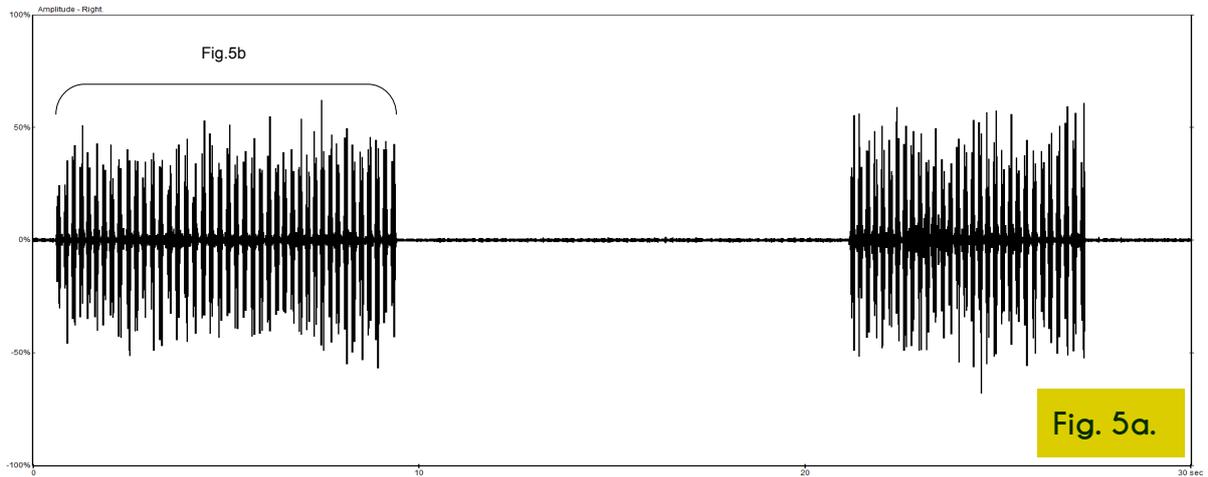


**Fig. 3.** Mesure de la FME (30,9 kHz) sur un graphe de densité spectrale pour une stridulation de *Rhacocleis bonfilsii*.

de phases bisyllabiques (**Figure 5**) d'une durée généralement comprise entre 5 et 10 secondes. Les intervalles entre strophes sont très variables et irréguliers. Les phases sont constituées par 2 syllabes correspondant à 2 cycles (seules les syllabes de fermeture sont audibles). La durée des phases est de 75 à 90 ms et celle des intervalles entre phases est de 110 à 140 ms. La FME est comprise entre 30 et 32 kHz ; la stridulation est donc inaudible pour l'oreille humaine et ne peut être repérée que grâce à un détecteur d'ultrasons.

### Risques de confusion

Cette stridulation diffère nettement de celles des autres espèces du genre présentes en France de part son rythme bisyllabique. Parmi les autres ensifères françaises, elle présente des similarités importantes avec la stridulation de *Tettigonia viridissima* mais cette dernière a une FME beaucoup plus basse (entre 9 et 11 kHz). *Platycleis intermedia* présente également un rythme bisyllabique mais celui-ci est beaucoup plus lent et avec des fréquences également plus basses (entre 17 et 19 kHz).



**Figures 5a, 5b et 5c.**

Stridulations de *Rhacocleis bonfilsii* à différentes échelles temporelles.

**Fig. 5a** : oscillogramme d'une séquence constituée de deux strophes.

**Fig. 5b** : oscillogramme d'une strophe.

**Fig. 5c** : superposition d'un oscillogramme et d'un spectrogramme montrant le détail de 5 phases bisyllabiques.

Enregistrement de Michel et Julien Barataud, Asco (2B), 20/08/2001.

## Rhacocleis corsicana

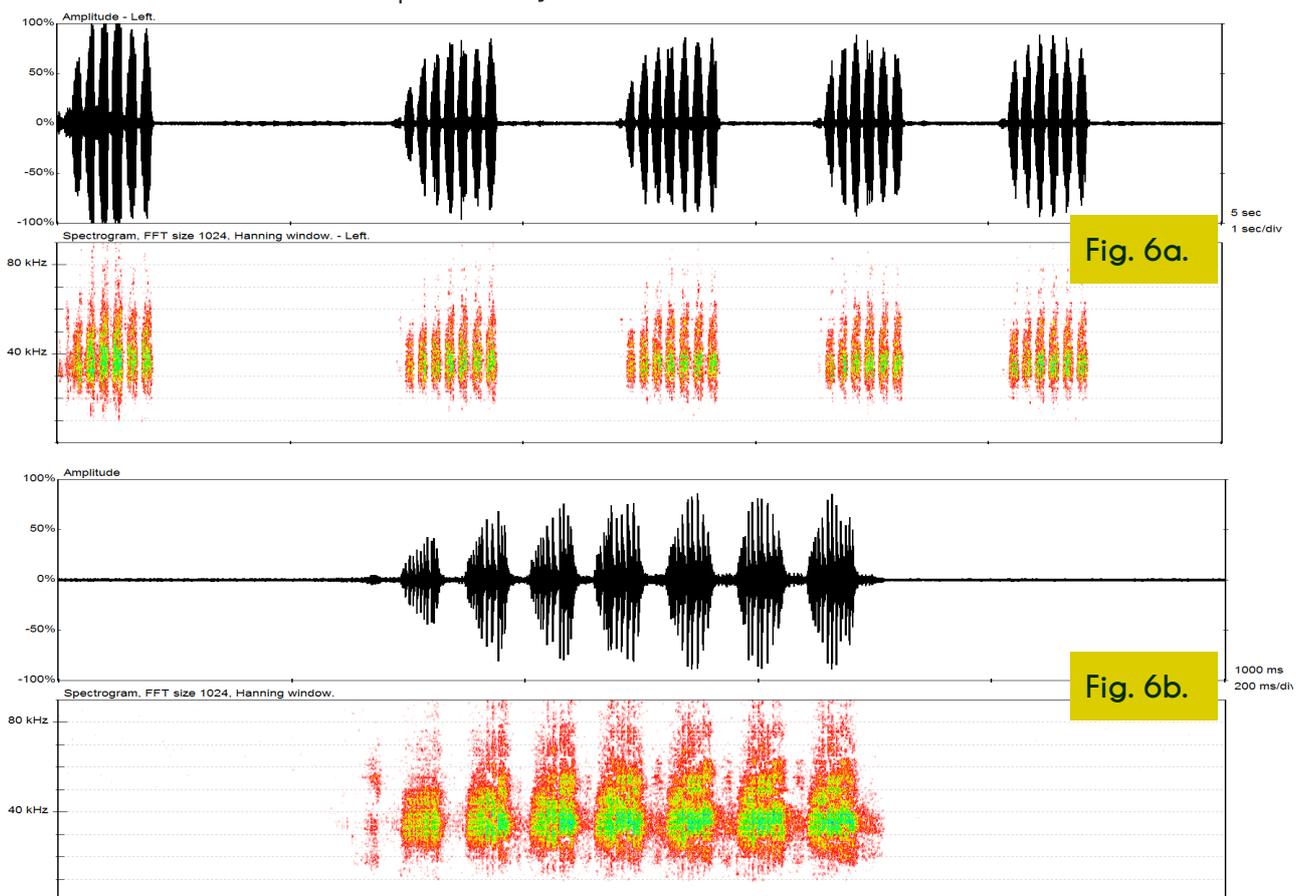
*Rhacocleis corsicana* est un endémique cyrno-sarde dont la répartition et l'écologie en Corse restent encore à préciser. Toutes les données récentes concernent plutôt des sous-bois à Bruyère arborescente (*Erica arborea*) sous couvert de Pin Laricio (*Pinus nigra ssp. laricio*) entre 800 et 1300 m d'altitude (BRAUD *et al.*, 2002 ; BARATAUD, 2005 ; BOITIER *et al.*, 2006) alors que les données historiques proviennent de la côte sud-est de l'île où les recherches récentes n'ont pas permis de retrouver l'espèce (BOITIER *et al.*, 2006).

La stridulation est constituée par une succession de phases comptant 5 à 7 cycles (Figure 6). Seules les syllabes de fermeture sont audibles sur les enregistrements réalisés sur le terrain et le premier cycle,

d'une intensité plus faible, est généralement peu audible. La durée des phases est de 190 à 400 ms et celle des intervalles entre phases est de 350 ms à un peu plus d'1 s (500 ms en moyenne). La FME est comprise entre 30 et 36 kHz ; la stridulation est donc inaudible pour l'oreille humaine et ne peut être repérée que grâce à un détecteur d'ultrasons.

### Risques de confusion

Cette stridulation diffère de celles des autres ensifères françaises ayant une structure similaire et un nombre de cycles semblable (*Rhacocleis poneli*, *Platycoleis albopunctata*, *Metrioptera* sp., etc.) par ses fréquences beaucoup plus hautes (FME entre 30 et 36 kHz alors que toutes les autres espèces ont une FME inférieure à 30 kHz).



### Figures 6a et 6b.

Stridulations de *Rhacocleis corsicana* à différentes échelles temporelles.

**Fig. 6a** : oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une succession de phases.

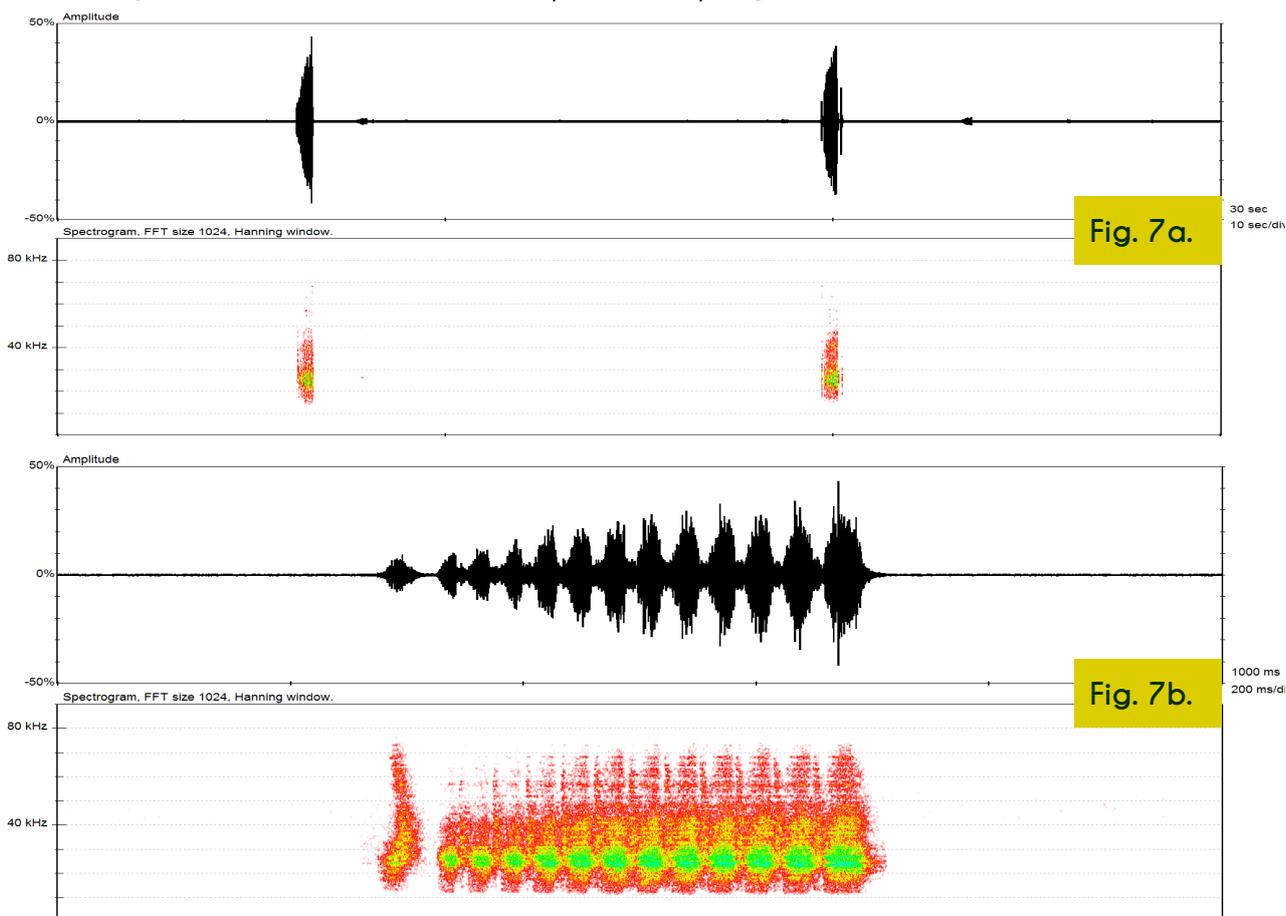
**Fig. 6b** : oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une phase. Enregistrement de Michel et Julien Barataud, Asco (2B), 20/08/2001..

## Rhacocleis germanica

*Rhacocleis germanica* (Figure 1) est l'une des espèces du genre à la plus vaste répartition, de la Provence à la Mer noire, en passant par l'Italie et les Balkans. Il est commun en Corse à basse altitude où il fréquente tous types de milieux buissonnants thermophiles. En France continentale, il est très localisé et n'avait pas été observé pendant plusieurs décennies avant d'être retrouvé par BRAUD (2008) dans le Var. Il a également été trouvé récemment dans les Bouches-du-Rhône, au pied des Alpilles (Sardet, com. pers.).

La stridulation est constituée par des phases comptant 10 à 15 cycles (Figure 7). Les syllabes d'ouverture, bien que

d'intensité plus faible, sont généralement audibles sur les bonnes séquences. La première syllabe, d'intensité un peu plus faible que les suivantes, est suivie d'un court silence conférant à la stridulation une rythmique particulière à l'espèce. Comme chez la plupart des autres espèces du genre, l'intensité de la stridulation augmente crescendo et les derniers accents sont nettement plus forts que les premiers. La durée des phases est de 230 à 520 ms et celle des intervalles entre phases est souvent irrégulière, variant de 600 ms à un peu plus de 12 s. La FME est comprise entre 26,3 et 29,5 kHz ; la stridulation est donc inaudible pour l'oreille humaine et ne peut être repérée que grâce à un détecteur d'ultrasons.



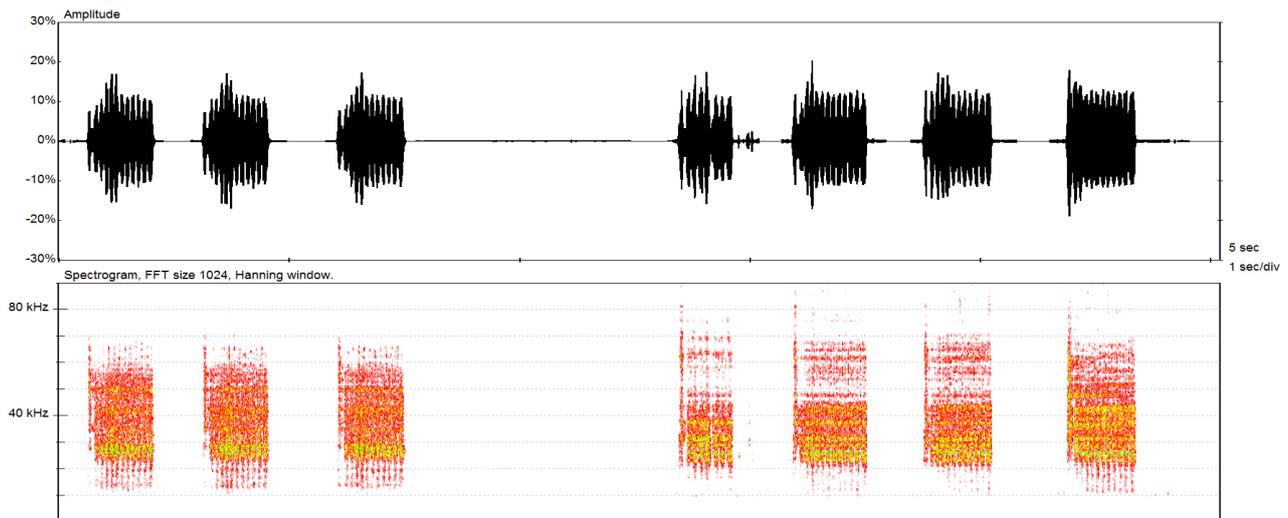
**Figures 7a et 7b.**

Stridulations de *Rhacocleis germanica* à différentes échelles temporelles.

**Fig. 7a :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une succession de phases.

**Fig. 7b :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une phase. Enregistrement de Julien Barataud, Tarascon (FR-13), 22/08/2017 ; 22°C.

Sur une séquence enregistrée en Italie (Figure 8), *Rhacocleis germanica* groupe les phases en strophes de 1,5 à 2,5 s, composées de 3 à 4 phases avec des intervalles de 200 à 350 ms entre chaque phase. Cette variation de stridulation n'a jamais été entendue en Provence et en Corse où les phases semblent toujours isolées ou parfois groupées par 2 avec des intervalles restant importants (plus d'1 s).



**Figure 8**

Stridulations de *Rhacocleis germanica* ; variante avec des strophes de 3 à 4 phases. Enregistrement de Michel et Julien Barataud, Rocaverano (IT), 15/07/2003 ; 22°C.

### *Rhacocleis poneli*

*Rhacocleis poneli* (Figure 9) n'a été découvert en France qu'à la fin des années 1980 dans le Var (PONEL et al., 1988). Il semble depuis connaître une phase d'expansion importante, d'abord dans les départements méditerranéens avec sa découverte en 1998 dans les Alpes-Maritimes (MOSSOT, 1999), puis dans le Vaucluse et les Bouches-du-Rhône (LEMONNIER, 2001), dans le Gard et les Pyrénées-orientales (KOCH & BARDET, 2007) et la Drôme (DUBOIS, 2010). Il a par la suite été découvert sur plusieurs stations du littoral atlantique et du bassin aquitain, d'abord en Gironde et dans le Lot-et-Garonne (DUHAZÉ & BONIFAIT, 2014), puis en Vendée (DESMOTS & RAITIÈRE, 2017) et

### Risques de confusion

Le nombre de cycles important et le rythme crescendo sont caractéristiques de cette stridulation qui ne peut guère être confondu avec une espèce d'un autre genre. Elle est par contre très proche de *Rhacocleis annulata* mais en diffère notamment par sa FME plus haute.

en Haute Garonne en 2017 (obs. pers. non publiée).



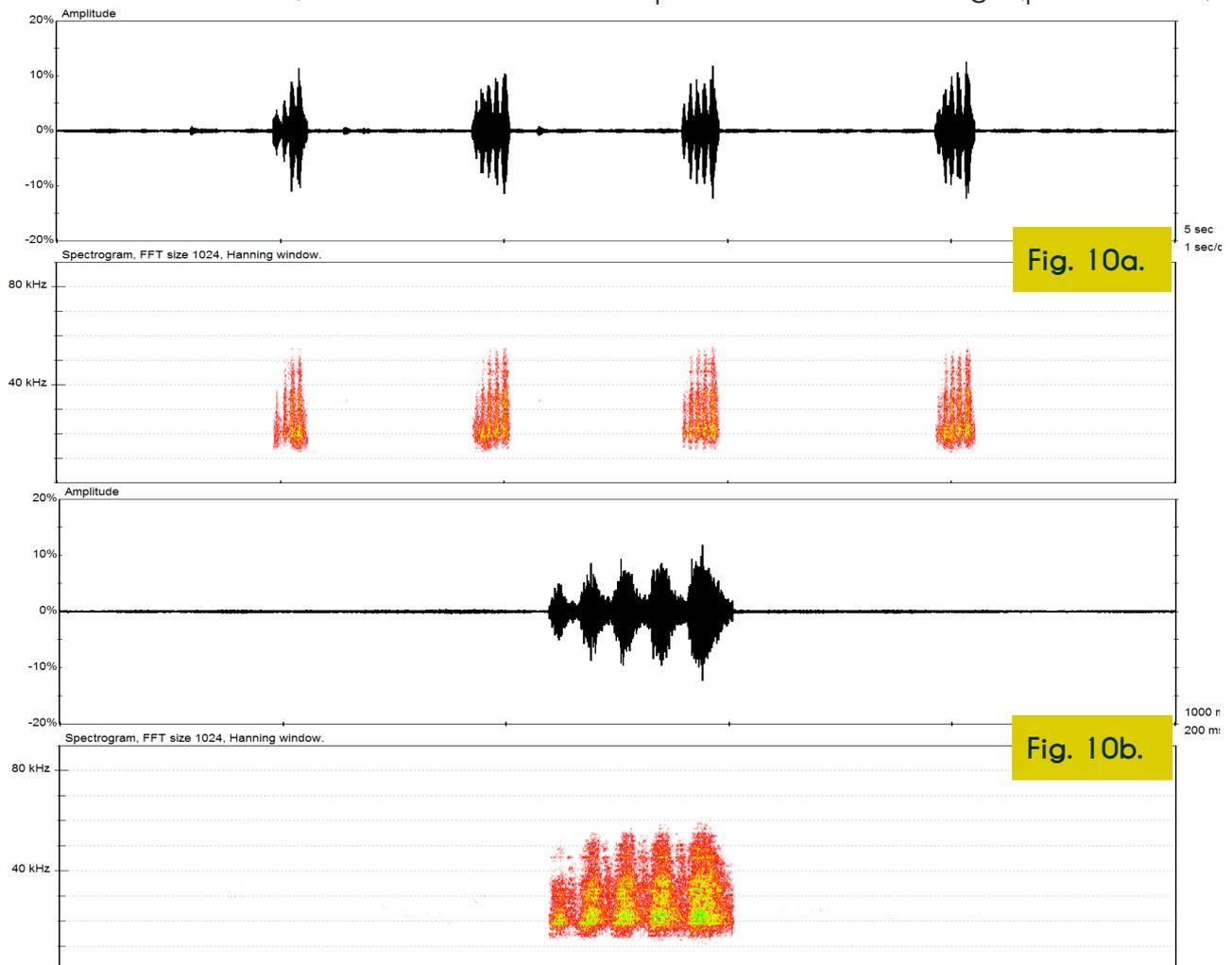
**Figure 9.** *Rhacocleis poneli*, une espèce en forte expansion - Colias (30)

La stridulation est constituée par des phases de 4 à 6 cycles, généralement groupées par strophes de 3 à 5 phases (**Figure 10**). Les syllabes d'ouverture, bien que d'intensité plus faible, sont généralement audibles en expansion de temps sur les bonnes séquences. Comme chez la plupart des autres espèces du genre, l'intensité de la stridulation augmente crescendo et les derniers accents sont nettement plus forts que les premiers. La durée des phases est de 115 à 250 ms et celle des intervalles entre phases est de 500 ms à 1500 ms. Les intervalles entre strophes sont beaucoup plus longs, de l'ordre de 12 à 20 s. La FME est comprise entre 19 et 23 kHz ; la stridulation est

donc bien plus basse en fréquence que celle des espèces précédentes et peut donc être perçue à l'oreille nue (pour un observateur jeune : en vieillissant l'audition humaine perd les hautes fréquences) à une distance de un à deux mètres.

### Risques de confusion

Cette stridulation présente certaines similarités avec celles d'autres espèces de genres différents (*Platycoleis albopunctata*, *Metrioptera* sp., etc...). Les principaux critères distinctifs sont le rythme crescendo, la présence de syllabes d'ouverture faibles mais généralement audibles à fort ralentissement et les phases groupées par 3 à 5 en strophes séparées par des intervalles longs (plus de 10 s).



### Figures 10a et 10b.

Stridulations de *Rhacocleis poneli* à différentes échelles temporelles.

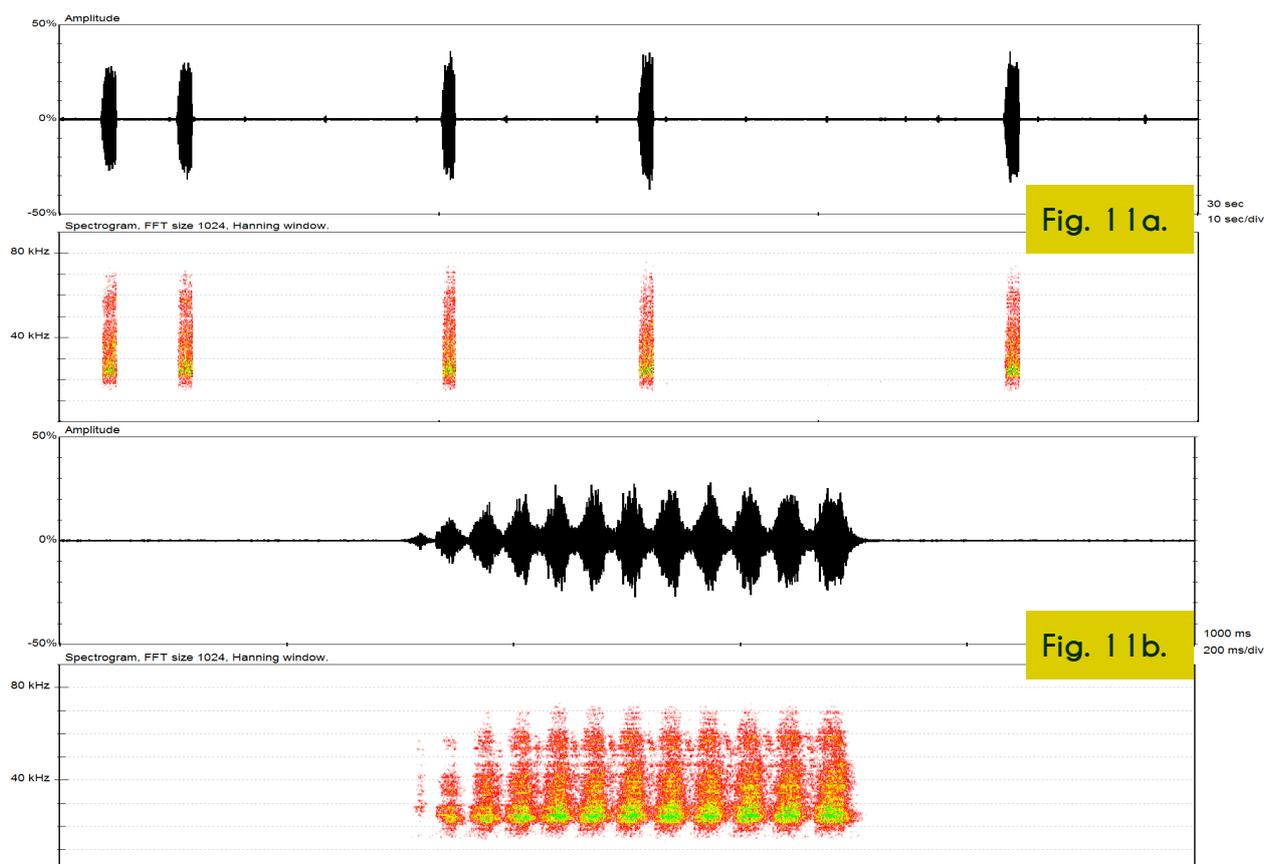
**Fig. 10a :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une strophe de quatre phases.

**Fig. 10b :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une phase. Enregistrement de Julien Barataud, Tarascon (FR-13), 22/08/2017 ; 19°C.

## Rhacocleis annulata

*Rhacocleis annulata* (Figure 15) n'a été découvert en France qu'en 2002 dans le Gard à proximité d'Anduze (Bardet & Boitier, 2006). Il a depuis été trouvé tout le long de la vallée du Gardon jusqu'au Rhône ainsi que sur l'île de Porquerolles (DUSOULIER et al., 2015), dans l'agglomération toulousaine ([www.baznat.net](http://www.baznat.net)), aux environs de Bordeaux et la région du Médoc (Barberys S., via [www.faune-aquitaine.org](http://www.faune-aquitaine.org)). Les autres populations connues pour cette espèce sont en Italie (Calabre et Sicile), ainsi qu'à Malte et en Tunisie. La déconnexion apparente entre les populations françaises et le reste de son aire de répartition interroge sur son indigénat dans notre pays. La présence de bambous a souvent été relevée sur les stations de l'espèce

et l'hypothèse d'une dispersion par le déplacement de ces plantes ornementales à été évoquée par BARDET & BOITIER (2006). La stridulation est constituée par des phases d'une durée de 290 à 460 ms, contenant 9 à 12 cycles, le plus souvent 11 ou 12 (Figure 11). Comme chez la plupart des espèces du genre, les syllabes d'ouverture, bien que d'intensité plus faible, sont généralement audibles sur les bonnes séquences ; de même, l'intensité de la stridulation augmente crescendo, les derniers accents étant nettement plus forts que les premiers. Les intervalles entre phases sont très irréguliers, variant de 1 s à près de 30 s (en général autour de 10 s). La FME est comprise entre 22 et 25 kHz et, comme pour *R. poneli*, la stridulation peut être perçue par à l'oreille nue à une distance de un à deux mètres.



**Figures 11a et 11b.**

Stridulations de *Rhacocleis annulata* à différentes échelles temporelles.

**Fig. 11a :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une succession de phases.

**Fig. 11b :** oscillogramme (partie supérieure) et spectrogramme (partie inférieure) d'une phase. Enregistrement de Julien Barataud, Collias (FR-30), 25/08/2017, 25°C.

## Risques de confusion

Le nombre de cycles important et le rythme crescendo sont caractéristiques et ne peuvent guère être confondus avec ceux d'une espèce d'un autre genre. La stridulation de *R. annulata* est par contre très proche de celle de *R. germanica* mais en diffère notamment par sa FME plus basse.

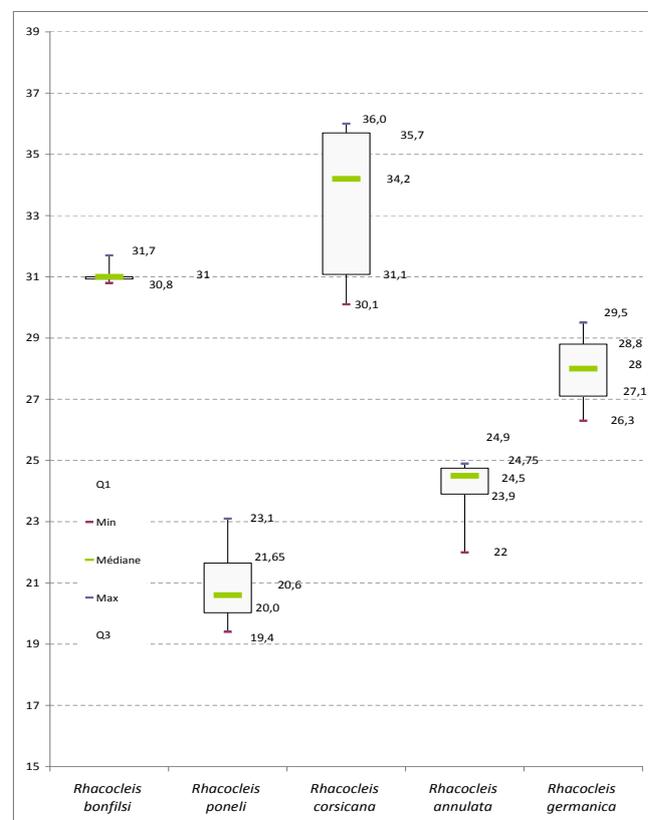
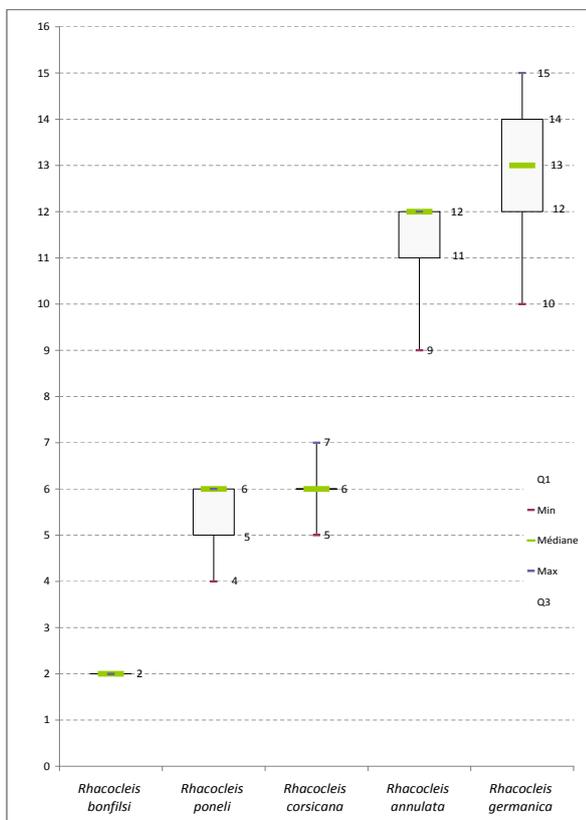
## Clé d'identification acoustique des *Rhacocleis* de France métropolitaine

Cette description des stridulations des cinq espèces françaises du genre *Rhacocleis* permet de mettre en évidence que le croisement de seulement deux variables (nombres de cycles par phases et FME) permet de discriminer les espèces les unes par rapport aux autres.

La **Figure 12** illustre la répartition de ces 2 variables sur l'ensemble des séquences analysées. Les deux espèces les plus proches acoustiquement sont *R. germanica* et *R. annulata* qui ne diffèrent que par une différence assez faible de FME. Une attention particulière devra donc être apportée à la discrimination de ces deux espèces sur le terrain (mesure de FME sur plusieurs phases et avec une bonne qualité d'enregistrement). Par prudence et afin de vérifier le non recouvrement de FME entre ces deux espèces, il sera intéressant de multiplier le nombre de séquences vérifiées par une observation visuelle.

Les **Figures 13 et 14** illustrent deux cas de différences entre espèces acoustiquement proches et vivant en syntopie, enregistrées sur une même séquence.

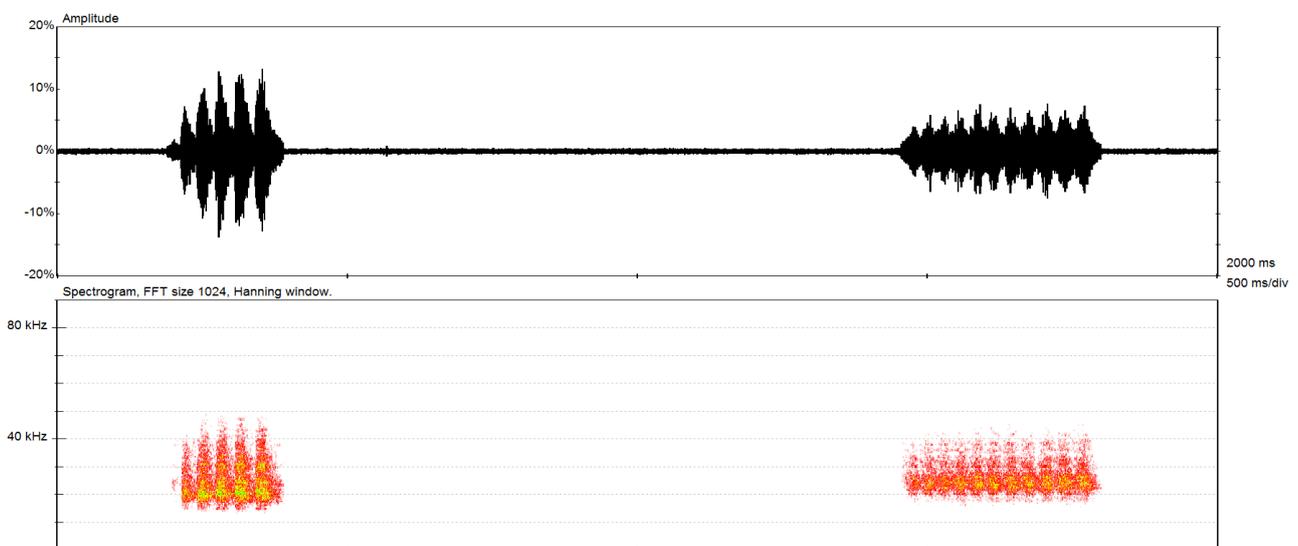
Ces variables discriminantes permettent de construire la clé d'identification présentée page 36.



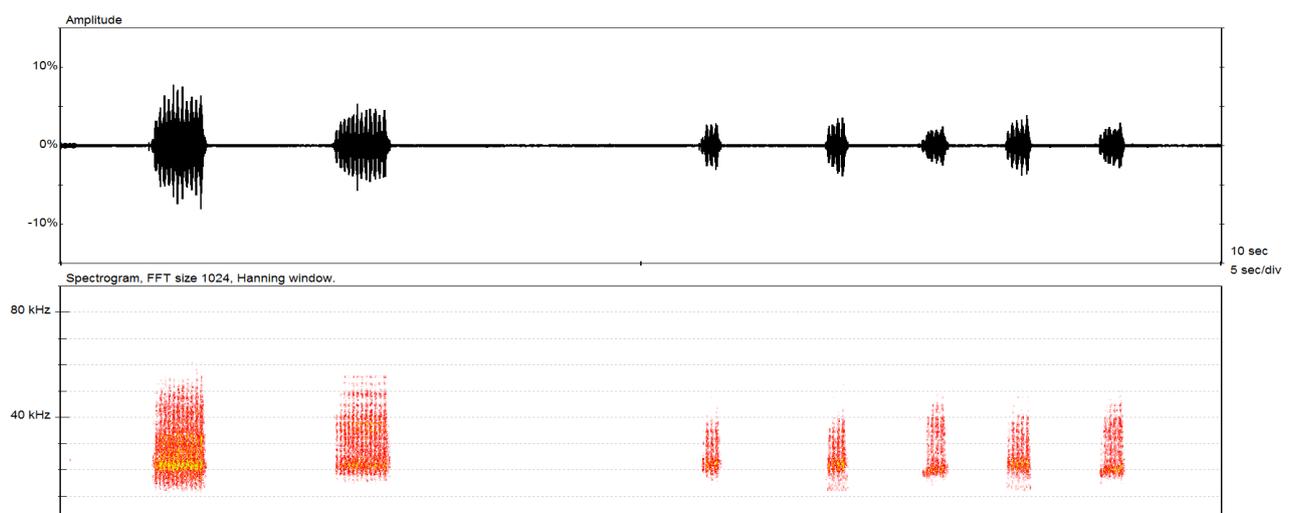
**Figures 12a et 12b.**

Distribution des valeurs du nombre de cycles par phase (à gauche) et de la FME en kHz (à droite) pour les 5 espèces françaises du genre *Rhacocleis*.

- Phases composées de 2 cycles de syllabes, émises au sein de strophes d'une durée de 5 à 10 s ; FME entre 30 et 32 kHz : --> *Rhacocleis bonfilsii*
- Phases composées d'au moins 4 cycles de syllabes :
  - Phases de 4 à 7 cycles de syllabes :
    - FME entre 19 et 23 kHz, phases de 4 à 6 cycles, généralement groupées en strophes de 3 à 5 phases : --> *Rhacocleis poneli*
    - FME entre 30 et 36 kHz, phases constituées de 5 à 7 cycles : --> *Rhacocleis corsicana*
  - Phases de 9 à 15 cycles de syllabes :
    - FME entre 22 et 25 kHz, phases de 9 à 12 cycles, isolées ou groupées de manière irrégulière : --> *Rhacocleis annulata*
    - FME entre 26 et 30 kHz, phases constituées de 10 à 15 cycles --> *Rhacocleis germanica*



**Figure 13.**  
Phases de *Rhacocleis poneli* (à gauche) et de *Rhacocleis germanica* (à droite).  
Julien Barataud, Tarascon (FR-13), 25/08/2017, 22°C.



**Figure 14.**  
Phases de *Rhacocleis annulata* (à gauche) et *Rhacocleis poneli* (à droite). Julien Barataud, Collias (FR-30), 25/08/2017, 25°C.

## Précisions sur le matériel nécessaire

### La collecte des sons sur le terrain

Il existe actuellement plusieurs techniques d'enregistrement des ultrasons, et ce secteur est en plein développement grâce aux études sur les chiroptères. Les enregistreurs automatiques sont peu pertinents car ils ne permettent pas l'écoute en direct des sons en hétérodyne. Les détecteurs manuels et les applications sur tablettes qui permettent l'écoute en hétérodyne et les enregistrements en expansion de temps ou en hautes fréquences sont tous adaptés, et le choix du meilleur rapport qualité/prix doit tenir compte de paramètres importants comme la gamme de fréquences (certains modèles ne descendent pas en dessous de 16 kHz) et la qualité d'écoute. Une revue des caractéristiques et des prix est disponible grâce au lien suivant :

[http://ecologieacoustique.fr/wp-content/uploads/Comparatif\\_d%C3%A9tecteurs-manuels\\_MB-2018-03.pdf](http://ecologieacoustique.fr/wp-content/uploads/Comparatif_d%C3%A9tecteurs-manuels_MB-2018-03.pdf).

### L'analyse des sons sur ordinateur

Plusieurs logiciels d'analyse de sons existent. Certains sont gratuits (Syrinx, Audacity,...) mais ils ne permettent pas toutes les mesures (notamment celle de densité spectrale). Le logiciel BatSound utilisé dans cette étude a été conçu spécialement pour l'analyse des ultrasons (de chiroptères) ; il est performant mais payant.

## Conclusion

L'analyse des stridulations des cinq espèces françaises du genre *Rhacocleis* permet la mise en évidence de critères simples et facilement mesurables pour discriminer acoustiquement ces différentes espèces. L'élaboration d'une clé d'identification acoustique à l'aide d'un détecteur d'ultrasons permet de proposer un outil pour la recherche de ces espèces discrètes et peu détectables par les méthodes classiques.

Un travail en cours selon la même méthodologie va permettre de réaliser une clé d'identification acoustique de l'ensemble des espèces de sauterelles de France métropolitaine et ainsi ouvrir de nouvelles perspectives :

- pour les chiroptérologues qui souhaitent transformer le bruit de fond désagréable des stridulations de sauterelles dans le détecteur d'ultrasons en nouvel objet de recherche et d'apprentissage ;
- pour les orthoptéristes qui souhaitent mieux détecter et améliorer les connaissances sur les sauterelles nocturnes et discrètes qui émettent dans les fréquences ultrasonores.



© Julien BARATAUD (25/08/2017)

Figure 15.

*Rhacocleis annualata* – Colias (30)

Des séquences sonores (wave standard) de *Rhacocleis*, enregistrées au détecteur d'ultrasons sur le terrain, à écouter et à télécharger :

#### *Rhacocleis annulata* :

- Enregistrement en hétérodyne :

[R-annulata\\_het\\_23°\\_Collias\(30\)\\_2017-08-25\\_23-55-53](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10 :

[R-annulata\\_x10\\_25°\\_Collias\(30\)\\_2017-08-25\\_22-38-59](#)

#### *Rhacocleis bonfilsii* :

- Enregistrement en hétérodyne :

[R-bonfilsii\\_het\\_Asco\(2B\)\\_DAT9\\_2001-08-20\\_00-55-37](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10 :

[R-bonfilsii\\_x10\\_Asco\(2B\)\\_DAT9\\_2001-08-20\\_00-56-17](#)

#### *Rhacocleis corsicana* :

- Enregistrement en hétérodyne :

[R-corsicana\\_het\\_Asco\(2B\)\\_DAT9\\_2001-08-25\\_01-19-20](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10 :

[R-corsicana\\_x10\\_Asco\(2B\)\\_DAT9\\_2001-08-25\\_01-20-18](#)

#### *Rhacocleis germanica* :

- Enregistrement en hétérodyne (avec *Platycleis intermedia* et ses phases bisyllabiques) :

[R-germanica\\_het\\_Asco\(2B\)\\_DAT10-04\\_2001-08-25](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10 :

[R-germanica\\_x10\\_22°\\_Tarascon\(13\)\\_2017-08-22\\_21-34-56](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10, variante avec des strophes de 3 à 5 phases

[R-germanica\\_x10\\_Rocaverano\(IT\)\\_DAT11\\_2003-07\\_00-43-10](#)

#### *Rhacocleis poneli* :

- Enregistrement en hétérodyne :

[R-poneli\\_het\\_19°\\_captif\\_2017-08-28\\_22-56-21](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10 :w

[R-poneli\\_x10\\_19°\\_Tarascon\(13\)\\_2017-08-23\\_00-33-54](#)

#### Séquences plurispécifiques :

- Enregistrement en expansion de temps x10, *Rhacocleis annulata* (phases les plus longues) et *Rhacocleis poneli* (phases les plus courtes)

[R-annulata\\_R-poneli\\_x10\\_25°\\_Collias\(30\)\\_2017-08-25\\_23-53-06](#)

- Enregistrement en expansion de temps x10, *Rhacocleis poneli* (phases les plus courtes) et *Rhacocleis germanica* (phases les plus longues)

[R-poneli\\_R-germanica\\_x10\\_22°\\_Tarascon\(13\)\\_2017-08-22\\_21-49-58](#)

## Remerciements

Merci à Michel BARATAUD pour m'avoir transmis le virus naturaliste, pour avoir réalisé avec moi les premiers enregistrements de *Rhacocleis* corses en 2001 et pour ses conseils avisés lors de la rédaction de cet article. Merci à Audrey BENAVENT pour sa patience et son soutien lors de mes nombreuses escapades nocturnes. Merci à Yves BAS pour sa relecture,

pour la vérification de l'adéquation des critères proposés avec ses enregistrements personnels et pour l'envoi de séquences complémentaires. Merci également à Eric SARDET pour m'avoir indiqué des stations provençales de *Rhacocleis germanica* et à Vincent DERREUMAUX pour m'avoir accompagné sur le terrain à plusieurs reprises.

# Bibliographie

- BARATAUD J., 2005.** Eléments sur le peuplement orthoptérique de la haute vallée d'Asco (Corse – France). *Matériaux entomocénologiques*, 10 : 35-40.
- BARATAUD M., 2012.** *Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse.* Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p.
- BARDET O. & BOITIER E., 2006.** *Rhacocleis annulata* Fieber, 1853, espèce nouvelle pour la France (Orth., Tettigoniidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 111 : 474.
- BELLMANN H. & LUQUET G., 2009.** *Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe occidentale.* Delachaux & Niestlé, Paris, 383 p.
- BOITIER, E., PETIT, D. & BARDET, O., 2006.** Contribution à la connaissance des Orthoptéroïdes de Corse (Orthoptera, Phasmoptera, Mantodea). - *L'Entomologiste*, 62 (5-6): 129-145.
- BRAUD Y., SARDET E. & MORIN D., 2002.** Actualisation du catalogue des Orthoptéroïdes de l'île de Corse (France). *Matériaux entomocénologiques*, 7 : 5-22.
- BRAUD Y., 2008.** Sur la présence de *Rhacocleis germanica* (Herrich-Schaeffer, 1840) et de *Rhacocleis poneli* Harz & Voisin, 1987 en France continentale (Orthoptera, Ensifera, Decticinae). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénologiques*, 12 : 65-72.
- BUZZETTI F.M. & BARRIENTOS-LOZANO L., 2011.** Bioacoustics of some Mexican Orthoptera (Insecta: Orthoptera: Ensifera, Caelifera). *Bioacoustics*, 20: 193-213.
- DESMOTS D. & RAITIÈRE W., 2017.** *Rhacocleis poneli* Harz & Voisin, 1987, nouvel orthoptère pour les Pays de la Loire (France) (Orthoptera, Tettigoniidae). *Invertébrés Armoricains*, 2017, 16 : 37-40.
- DUBOIS Y., 2010.** La Decticelle varoise (*Rhacocleis poneli*) dans la Drôme, La SAGA, *bulletin de liaison des entomologistes de l'association Miramella* n°10 : 11-12.
- DUHAZÉ B. & BONIFAIT S., 2014.** Contribution à la connaissance des Orthoptères d'Aquitaine : nouvelles données et considérations écologiques (Ensifera et Caelifera). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénologiques*, 19 :81-97.
- DUSOULIER F., NOËL F. & SÉCHET E., 2015.** Découverte de *Rhacocleis annulata* Fieber, 1853 dans l'île de Porquerolles (Hyères, Var) (Orthoptera : Tettigoniidae). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénologiques*, 20 :109-110.
- HELLER K.G., 1988.** Bioakustik der europäischen Laubheuschrecken. *Ökologie Forschung Anwendung*, 1: 1-358.
- HELLER K.-G., KORSUNOVSKAYA O. S., SEVGILI H., ZHANTIEV R. D. 2006.** Bioacoustics and systematics of the Poecilimon heroicus-group (Orthoptera: Phaneropteridae:Barbitistinae). *Eur. J. Entomol.* 103: 853-865.

**KOCH V. & BARDET O., 2007.** Observation de la Decticelle varoise (*Rhacocleis poneli* Harz & Voisin, 1987) dans les Pyrénées-orientales (Orthoptera Tettigoniidae), *Entomologiste* 63 (4) :191-193.

**LEMONNIER M., 2001.** Sur la présence de *Rhacocleis poneli* Harz et Voisin, 1987 (Orthoptera : Decticinae) dans la vallée de la Durance (France). *Biocosme mésogéen*, Nice, 17 (3) : 197-199.

**MASSA B., FONTANA P., BUZZETTI F.M., KLEUKERS R. & ODÉ B., 2012.** *Fauna d'Italia. Orthoptera.* Calderini Edizioni, 563 p.

**MORRIS, G. K. & WALKER, T. J. 1976.** Calling songs of *Orchelimum* meadow katydids (Tettigoniidae). I. Mechanism, terminology, and geographic distribution. *Can. Entomol.*, 108, 785-800.

**MOSSOT M., 1999.** Présence de *Rhacocleis poneli* Harz et Voisin, 1987 (Orthoptera, Decticinae), dans le département des Alpes-Maritimes (France). *Biocosme Mésogéen*, Nice, 15 (4).

**PONEL P., HÉBRARD J.-P. & VOISIN J.-F., 1988.** *Rhacocleis poneli* Harz et Voisin, 1987, nouvelle espèce d'Orthoptère Decticinae du sud-est de la France. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 1987, 92 (9-10) : 277-283. **RAGGE D.R. &**

**REYNOLDS W.J., 1998.** *The songs of the grasshoppers and crickets of Western Europe.* Harley Books & The Natural History Museum, London, 591 p.

**SARDET E., ROESTI C. & BRAUD Y., 2015.** *Cahier d'identification des Orthoptères de France, Belgique, Luxembourg et Suisse.* Biotopé, Mèze, 304 p.

Pour citer cet article :

**BARATAUD, J. 2018.**

Identification acoustique des espèces françaises du genre *Rhacocleis* Fieber, 1853 (Orthoptera, Tettigoniidae). *Plume de Naturalistes 2* : 23-40.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes : [www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Transplantation de deux populations d'orchidées de la sous-tribu des Angraecinae dans l'Est de l'Île de La Réunion (France), *Jumellea recta* (Thouars) Schlechter et *Aeranthès arachnitis* (Thouars) Lindley : retours d'expérience, lignes de conduite et intérêt pour la conservation des orchidées épiphytiques en milieu tropical

Par **Stéphane AUGROS**<sup>1</sup> (s.augros@ecomed.fr)  
**Julien PAILLUSSEAU**<sup>2</sup>  
**Dominique HOAREAU**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cabinet ECO-MED Océan Indien, F-97400 SAINT-DENIS, Île de La Réunion, France

<sup>2</sup> Cabinet CYATHEA, F-97400, SAINT-DENIS, Île de La Réunion, France



## Abstract

We discussed a transplantation procedure (i.e. a mediated movement of wild individuals from one part of their range to another) as a mean to save epiphytic orchids from destruction by development activities in the East part of La Réunion island (Southwest Indian Ocean area). Our study involved two species from the subtribe Angraecinae: *Jumellea recta* and *Aeranthès arachnitis*. Protocol was early designed considering orchids ecological attributes on its original hosts. A sample of 50 orchids were finally transplanted and monitored for 3 years. At the end of the survey, the mortality rate ranged from 32 % for *J. recta* to 81 % for *A. arachnitis*. We highlighted that *in situ* transplantation is worthy of consideration (where no other alternative remains) but implies random results. Considering our very small sample, the results discussed here must be interpreted cautiously. Guidelines for tropical epiphytic orchids transplantations are finally proposed based on our study and a literature review.

## Introduction

Les pratiques de conservation des habitats et des espèces prennent place aujourd'hui dans un contexte où les moyens dédiés sont limités et s'inscrivent quasi-systématiquement dans une urgence relative (PULLIN *et al.*, 2013). En conséquence, les acteurs de la conservation sont amenés à prendre des décisions pragmatiques basées sur une connaissance incomplète de la biologie et de l'écologie des espèces et des écosystèmes (SWARTS & DIXON, 2009a). Il en résulte souvent la nécessité d'intervenir par extrapolations et expérimentations (« learning by doing ») à défaut de disposer de connaissances solides et souvent coûteuses, sur lesquelles s'appuyer.

La mise en œuvre d'un projet de transplantation d'espèces intervient lorsque des populations sont menacées par une modification ou une destruction de leur habitat, pouvant conduire à un déséquilibre de la dynamique de la population, voire concourir à son extinction dans les cas les plus extrêmes (LIU *et al.*, 2012 ; BARET *et al.*, 2012 ; BAIDER *et al.*, 2010). En première intention, la solution la plus adaptée est la transplantation dite *in situ* (SWARTS & DIXON, 2009b). Celle-ci implique :

- i. un prélèvement d'individus en nombre suffisant pour maintenir la population,
- ii. une sélection de sites d'accueil proches, présentant des conditions stationnelles semblables à celles des populations d'origine,
- iii. un suivi des populations transplantées.

D'une manière générale, lors d'un projet de transplantation *in situ*, il est essentiel de prendre en compte la résilience et la résistance des espèces (CORDONNIER, 2004 ; TREMBLAY, 2008). La résilience définit la capacité d'une espèce à s'adapter et

se relever d'une perturbation (PETERSON *et al.*, 1998 ; CARPENTER *et al.*, 2001) alors que la résistance démontre la capacité du système à endurer cette dernière sans nécessairement modifier son fonctionnement (GRIMM & WISSEL, 1997). Ces deux caractères peuvent varier significativement au sein d'une même espèce, par exemple chez les orchidées (TREMBLAY, 2008).

Les orchidées sont les plantes à fleurs les plus représentées dans la flore indigène de La Réunion (25 % de la flore), avec environ 130 espèces réparties dans 35 genres (CORDEMOY, 1895 ; ROBERTS, 2001 ; JACQUEMYN *et al.*, 2005 ; PICOT & LUCAS, 2017). Parmi elles, les épiphytes appartiennent à la sous-tribu des Angraecinae et constituent le groupe le plus important avec 52 espèces réparties en 11 genres (PICOT & LUCAS, 2017) dont trois principaux : *Angraecum*, *Jumellea* et *Aeranthès* (MICHENEAU *et al.*, 2008). Alors qu'il existe très peu de populations d'orchidées épiphytiques qui se maintiennent dans les habitats dégradés de basse altitude à La Réunion (JACQUEMYN *et al.*, 2005), deux populations de *Jumellea recta* (Thouars) Schlechter et *Aeranthès arachnitis* (Thouars) Lindley sont inventoriées sur les berges de la Rivière du Mât (données non publiées, Eco-Med Océan Indien), dans un contexte anthropisé (village de la Rivière du Mât Les Hauts, route départementale de Salazie, seuil hydraulique). L'hypothèse d'une destruction de ces 2 populations est envisagée dans le cadre d'un projet de construction d'un nouvel ouvrage de franchissement en aval du pont ancien de la Rivière du Mât les Hauts. À ce titre, une transplantation expérimentale d'un échantillon représentatif des populations menacées est conduite entre 2013 et 2016 afin d'alimenter la réflexion globale autour du projet, vérifier la cohérence du protocole, mettre en évidence les imprévus

et impondérables et approcher l'efficacité et l'efficacité d'une telle opération à La Réunion.

Dans le cadre de cette étude, nous posons les questions suivantes :

i. La transplantation d'orchidées épiphytiques constitue-t-elle une mesure conservatoire pertinente et efficace à La Réunion et par extension en zone tropicale ?

ii. Parmi les conditions stationnelles, le choix du site de relocalisation, le protocole ou encore le stade ontogénique des individus transplantés, quels sont les facteurs les plus importants à considérer pour mener une telle opération à La Réunion ?

iii. Observons-nous des réponses similaires pour des espèces d'orchidées épiphytiques phylogénétiquement proches ?

## Matériels et méthodes

### Contexte du périmètre d'étude

L'opération de transplantation a pris place dans la zone Sud-Ouest Océan Indien dans l'Est de l'île de La Réunion (55°39'E; 21°00'S), au lieu-dit La Rivière du Mât Les Hauts, au sein de la zone mégatherme hygrophile (CADET, 1980). Les habitats naturels sur la zone d'étude ont aujourd'hui disparu, remplacés par des forêts secondarisées (STRASBERG *et al.*, 2005 ; LAGABRIELLE *et al.*, 2009) au sein desquelles des reliques de végétation indigène sont encore présentes (ROBERT *et al.*, 2015). Les populations de *J. recta* et d'*A. arachnitis* sont concentrées sur les berges de la Rivière du Mât, en aval et en amont du pont existant (Fig. 1A,C), exclusivement sur des camphriers introduits, *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl.

### Modèles biologiques

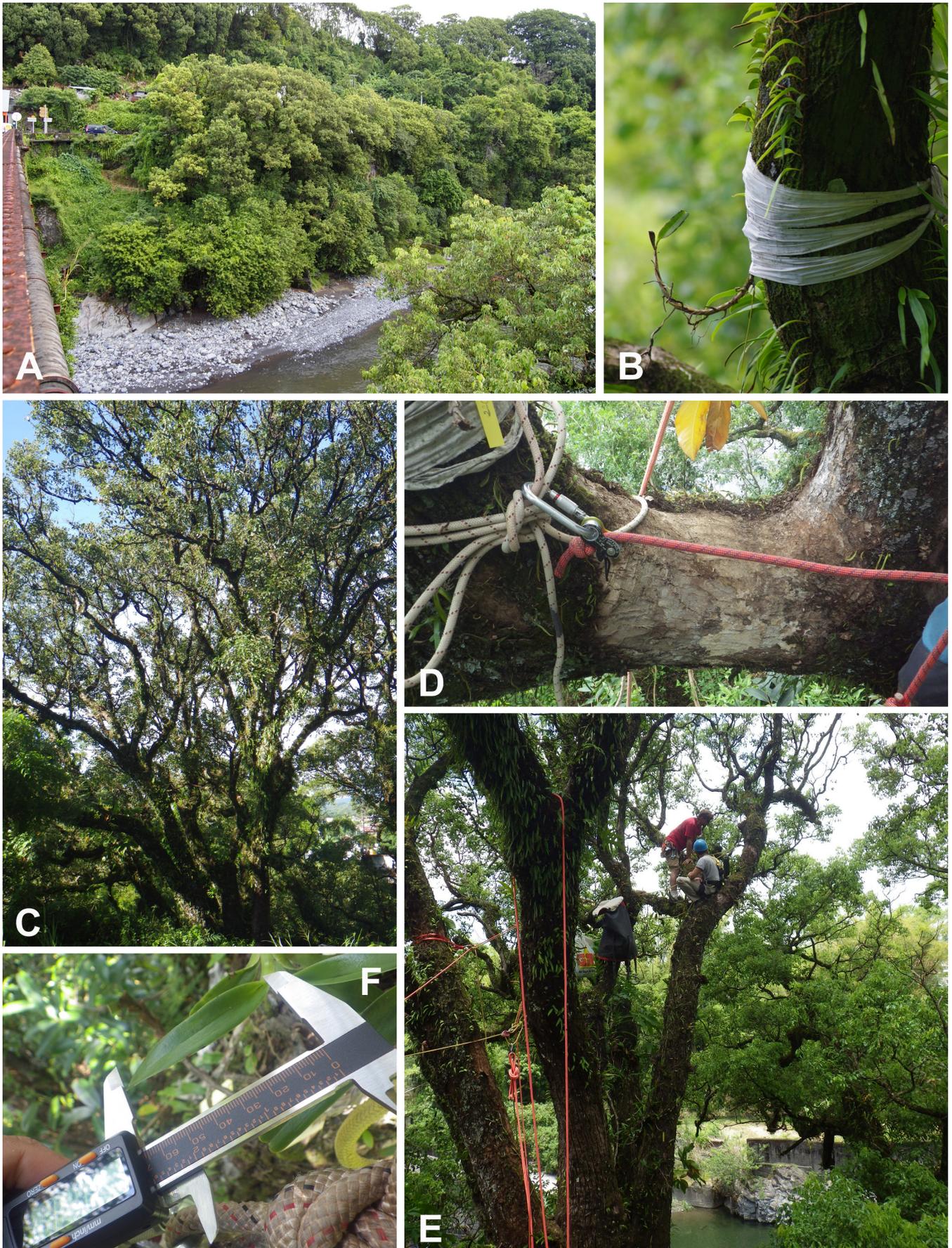
À La Réunion, les orchidées angraecoïdes occupent tous les habitats naturels situés entre 100 (0 pour *J. recta* à Saint-Philippe) et 2500 m d'altitude, sur les versants Est et Ouest de l'île (MARTOS, 2010).

BOSSER (dans CADET, 1989) décrit *A. arachnitis* comme une épiphyte ou saxicole, présente en forêt humide de basse et moyenne altitude, commune dans l'Est et le Nord-Ouest. Ses fleurs vertes se situent à l'extrémité de longs pédoncules tombants. La floraison commencerait en novembre et pourrait s'étaler jusqu'en mai. *Jumellea recta* est quant à elle décrite comme une espèce robuste, vivant sur les rochers ou sur la base des troncs en sous-bois clairs, dans la partie sous le vent (CADET, 1989 ; SZELENGOWICZ & TAMON, 2013). Les fleurs sont blanches, de 2 à 5 par plante, et la floraison aurait lieu entre décembre et février (BERNET, 2010).

Les 2 espèces sont réparties entre 0 et 1300 m d'altitude (JACQUEMYN *et al.*, 2005). Présentes à l'île Maurice, elles sont toutes deux endémiques des Mascareignes. La majorité des populations réunionnaises connues de *J. recta* sont réparties dans le Nord-Est de l'île (PICOT & LUCAS, 2017). Les seules populations de l'Est de l'île se situeraient à Sainte-Rose (T. PAILLER, Université de La Réunion, comm. pers.). En conséquence, la population de la Rivière du Mât constituerait l'une des dernières dans cette partie de l'île, formant probablement un écotype à forte valeur écologique.

### Étude des micro-habitats

La distribution des orchidées épiphytiques sur leur arbre hôte - le phorophyte - peut être influencée par plusieurs paramètres : le type d'essence, le positionnement dans le houppier, le diamètre des branches, la



**Figure 1.**

**A)** Vue sur les phorophytes abritant les populations d'orchidées sur les berges de la Rivière du Mât ; **B)** Individu de *J. recta* transplanté ; **C)** Vue sur le phorophyte récepteur ; **D)** Illustration des dommages sur les micro-habitats liés aux opérations de transplantation ; **E)** Étude des micro-habitats dans l'un des phorophytes ; **F)** Mesure de la longueur des feuilles lors du suivi des transplants.

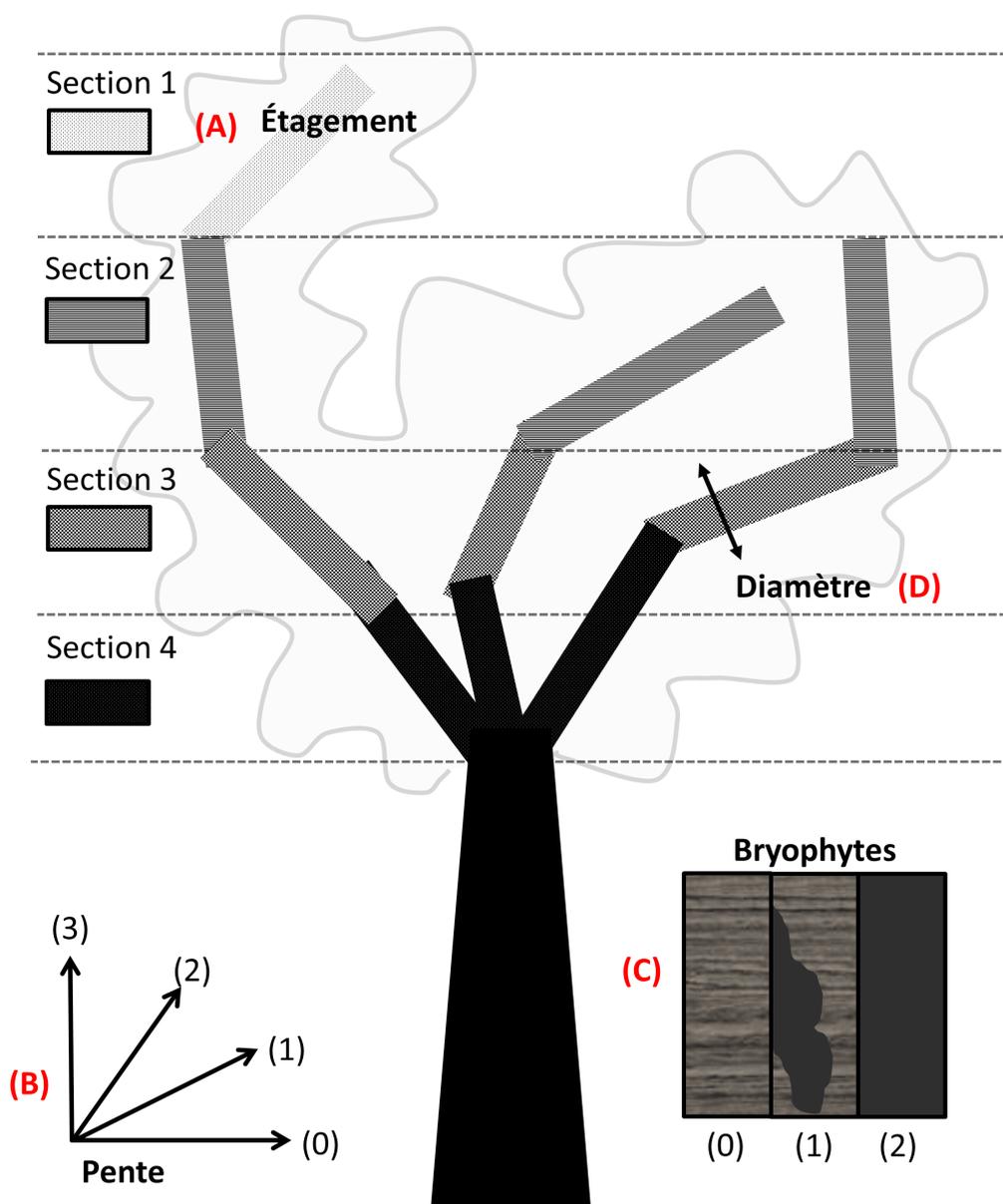
couverture en bryophytes ou encore la présence de champignons mycorrhiziens (PUPULIN *et al.*, 1995 ; ZÖTZ & VOLLRATH, 2003 ; MARTOS, 2010 ; SCHEFFKNECHT *et al.*, 2010 ; CRAIN, 2012). Il semble donc essentiel de prendre en considération la nature des micro-habitats sur le phorophyte car ils influencent très probablement la dynamique de colonisation par les orchidées. Ces dernières se développent parfois au contact de l'écorce mais elles sont, le plus souvent, enracinées dans des micro-habitats formés par la présence de bryophytes ou d'un « pseudo-sol » retenu par la topographie de la branche (MARTOS, 2010 ; YAM *et al.*, 2011).

Une analyse des paramètres stationnels biotiques et abiotiques est réalisée sur une population de 5 camphriers (espèce naturalisée), approximativement de même âge, et montrant une occupation hétérogène en orchidées. Sur chaque arbre, 2 branches accessibles sont entièrement échantillonnées selon les paramètres suivants (Fig. 1E, Fig. 2) :

**A.** l'étagement de la branche dans le houppier, ce dernier étant divisé en 4 étages de hauteur équivalente codés de (1) à (4), depuis la partie haute du houppier (1) vers la partie basse (4) ;

**D.** le diamètre des branches abritant des orchidées, obtenu par la mesure du périmètre (en cm) ;

**Figure 2.** Étude des micro-habitats : illustration des paramètres abiotiques et biotiques mesurés.  
**A)** Étagement dans l'arbre : la section 1 étant la partie haute du houppier et la section 4 la partie la plus basse ;  
**B)** Degré de pente de la branche abritant l'orchidée observée : 0 = 0° ; 1 = 22.5° ; 2 = 45°, 3 = 90° ;  
**C)** Recouvrement ou épaisseur en bryophytes : 0 = absence ; 1 = recouvrement partiel ou épaisseur inférieure à 1 cm ; 2 = recouvrement total, épaisseur > à 1 cm ;  
**D)** Diamètre des branches estimé via la mesure du périmètre.



**B.** la pente : (0) pour une pente nulle, (1) pour une pente faible (22.5°), (2) pour une pente modérée (45°) et (3) pour une pente forte (90°) ;

**C.** la présence de bryophytes : (0) pour une absence, (1) pour un recouvrement incomplet et une épaisseur moyenne inférieure à 1 cm d'épaisseur et (2) pour un recouvrement total et une épaisseur supérieure à 1 cm.

Pour chaque branche échantillonnée et chaque étage, le cas échéant, les individus de *J. recta* et d'*A. arachnitis* sont identifiés et comptabilisés. Les données quantitatives et les patrons de distribution sont ensuite analysés par le biais de tableaux et histogrammes.

## Transplantation

Sans anticiper sur la réalisation ou non du projet de nouveau franchissement de la Rivière du Mât et donc sur la destruction à terme des orchidées, le prélèvement d'individus a été réalisé exclusivement sur les populations les plus menacées. Le protocole de prélèvement des orchidées épiphytiques a été élaboré selon les principes suivants :

**i.** se focaliser uniquement sur les 2 phorophytes menacés de destruction par le projet de nouveau franchissement de la Rivière du Mât,

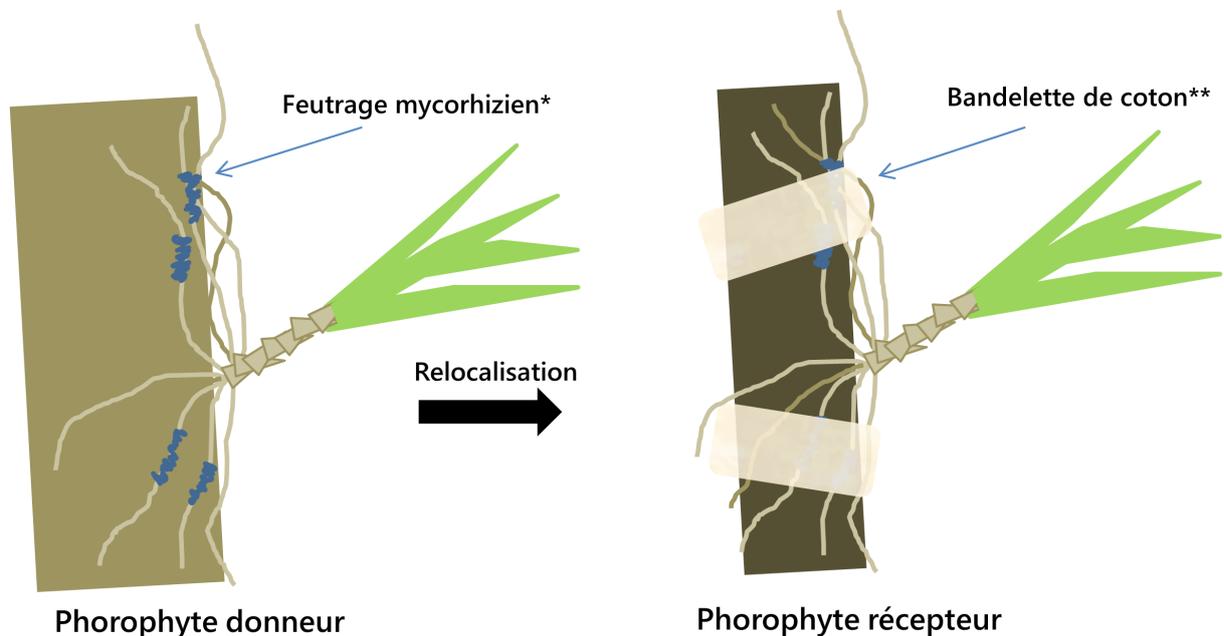
**ii.** prélever essentiellement des individus situés sur des branches menacées à court/moyen terme par les invasions biologiques, la sénescence naturelle du phorophyte ou par les opérations d'élagage de bord de route et,

**iii.** ventiler l'échantillonnage, dans la mesure du possible, avec différents stades ontogéniques (adultes, subadultes, juvéniles) de manière à examiner la variabilité de la réponse à la

transplantation. Le stade subadulte a été défini pour des individus présentant une seule tige, sans trace de signe reproductif et dont les feuilles et l'allure globale sont proches de l'état adulte.

Considérant l'importance *a priori* de la relation symbiotique entre les mycorhiziens et les orchidées - les champignons protègent le réseau racinaire et facilitent l'adsorption des nutriments et des éléments minéraux nécessaires à la survie des individus (BAILAROTE *et al.*, 2012 ; MARTOS, 2010 ; SWARTS & DIXON 2009b ; STEWART & KANE, 2007 ; BRUNDRETT *et al.*, 2003) - une attention particulière est accordée, lors du prélèvement, sur la recherche et la préservation des zones de feutrages au niveau des racines. Si des agents pathogènes peuvent être responsables d'une coloration des racines âgées (F. MARTOS, MNHN, com. pers.), ces tâches sombres correspondant généralement à la présence de champignons symbiotiques.

Les individus prélevés sont disposés dans des seaux remplis d'eau afin de limiter la dessiccation entre les phases de prélèvement et de transplantation et sont étiquetés avec un numéro d'accession unique. Le choix du phorophyte récepteur s'est orienté sur un camphrier à proximité offrant une amplitude de conditions stationnelles satisfaisante, situé sur la même berge à environ 80 m en amont de l'arbre donneur (**Fig. 1C**), et abritant déjà des populations d'orchidées épiphytiques et notamment des 2 espèces *A. arachnitis* et *J. recta*. Lors de la réimplantation, le système racinaire est fixé sur le support avec des bandelettes de coton biodégradable (**Fig. 1B**, **Fig. 3**) pour accélérer la recréation de la connectivité racines/mycorhiziens/écorce.



**Figure 3.**

Illustration de la méthode de transplantation employée.

\* *a priori* car des agents pathogènes peuvent également être responsables d'une coloration des racines âgées ; \*\* ou autre matière biodégradable.

Le protocole de transplantation suit les principes suivants (Fig. 3) :

i. Le système racinaire est plaqué sur l'écorce de l'arbre récepteur avec des bandelettes de cotons (biodégradables) ;

ii. Les bandelettes sont placées en priorité sur les zones où sont présents les champignons symbiotiques de l'orchidée (feutrage brunâtre) ;

iii. Les individus prélevés sont réimplantés le jour même ;

iv. Il est préférable de réimplanter qualitativement plutôt que quantitativement, l'objectif premier étant d'assurer la reprise d'un nombre suffisant d'individus pour maintenir et conserver la population ;

v. Compte-tenu des difficultés d'accès aux différentes branches du phorophyte et afin de minimiser les dommages sur les micro-habitats (bryophytes, écorces) (Fig. 1D), les zones de réimplantation sont réduites au strict nécessaire en nombre et en surface.

vi. Préférer une réimplantation en saison humide, plus favorable à la reprise des systèmes racinaires.

### Suivi démographique

Un suivi démographique est réalisé à fréquence annuelle pendant 3 années suivant la transplantation avec pour principal objectif de suivre et mesurer l'évolution du taux de mortalité. Ce dernier s'exprime en pourcentage du nombre d'orchidées vivantes par rapport au nombre d'orchidées transplantées, pour une espèce donnée.

Le suivi biométrique des individus (Fig. 1F) a été écarté dès la première année de suivi compte tenu des mécanismes naturels de défoliation et de perte de tige, visiblement accentués par le stress de la transplantation. Les mesures de longueur de tiges et de surfaces foliaires sont dans ce contexte devenues obsolètes et sources d'interprétations douteuses. Une approche qualitative a cependant permis de collecter des observations ponctuelles sur l'état de croissance des individus transplantés : présence de fleurs, de fruits, reprise du système racinaire.

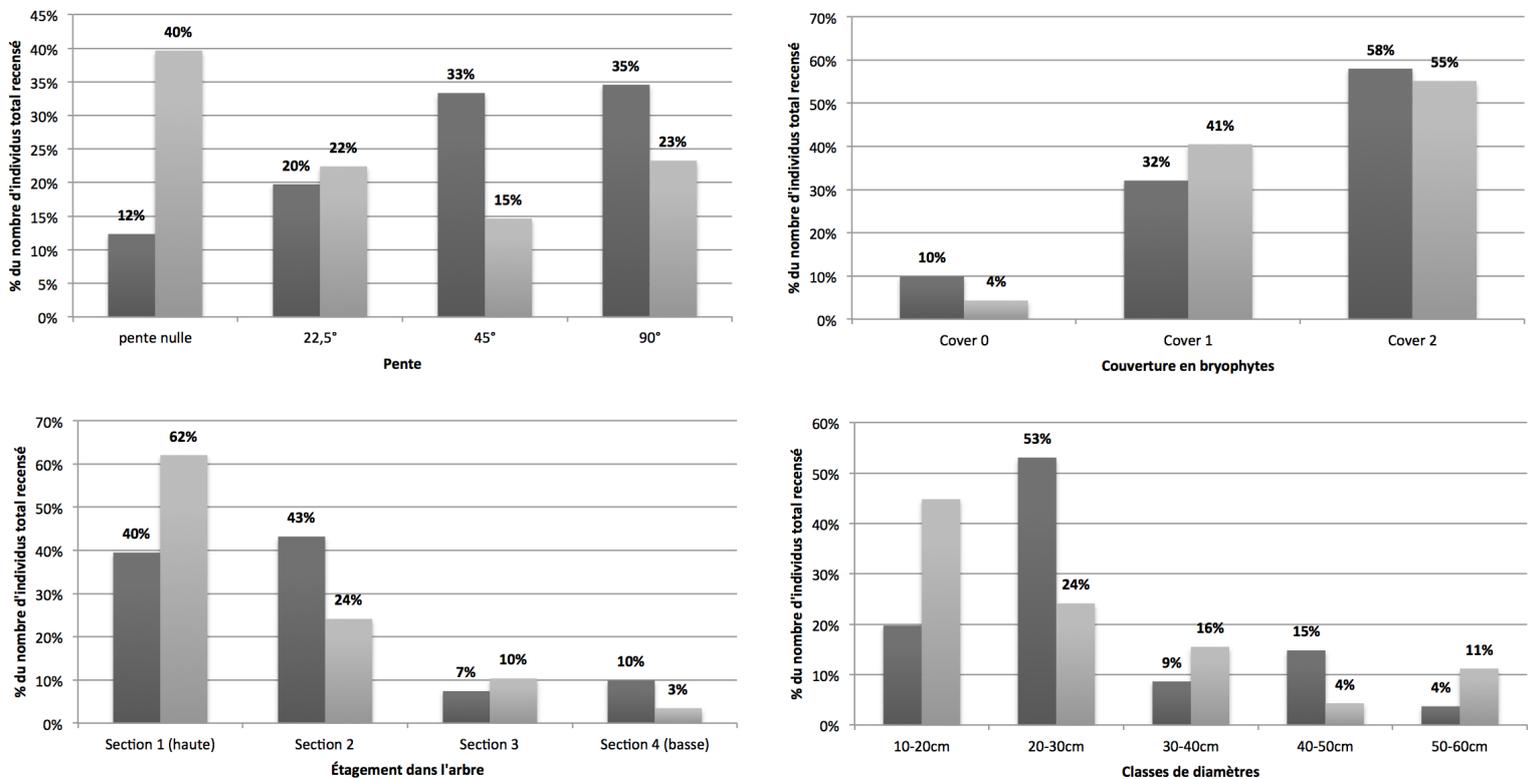
## Prospections et accessibilité dans les phorophytes

L'étude des micro-habitats, les phases de transplantation et les opérations liées au suivi ont systématiquement nécessité des prospections encordées pour visiter le houppier des phorophytes. Un cordiste spécialisé a été sollicité à ce titre pour organiser les accès et cheminements dans les arbres et permettre aux botanistes de se concentrer sur les tâches liées aux orchidées. Une sensibilisation du cordiste a été réalisée au préalable afin de minimiser l'impact de son intervention sur les micro-habitats (piétinements, arrachages de bryophytes, cassage de branches) et la flore patrimoniale en place.

## Résultats

### Étude des micro-habitats

Au total, 116 individus de *J. recta* et 81 de l'espèce *A. arachnitis* ont été pris en compte pour caractériser la structure des populations au regard des paramètres abiotiques (i à iii) et biotiques (iv). En raison d'un échantillonnage trop limité, nous n'avons pas entrepris une analyse statistique combinée (interactions) des différentes variables. L'analyse indépendante des 4 variables est présentée dans la **figure 4**. L'analyse montre une influence nette de 3 des variables sur la distribution des effectifs des 2 espèces : la couverture en bryophytes, l'étagement dans l'arbre et le diamètre du support. La couverture en bryophytes est déterminante pour la présence des orchidées puisque plus



**Figure 4.**

Distribution des individus recensés sur 5 phorophytes en fonction de la pente des branches hôtes, de la couverture en bryophytes, de l'étagement dans l'arbre et du diamètre des branches. Gris foncé : *Aeranthès arachnitis* (n=81) ; Gris clair : *Jumellea recta* (n=116).

de 90 % des effectifs des deux espèces ont été observés sur des branches colonisées par des mousses. Les 2 taxons montrent également une réponse similaire à l'étagement dans l'arbre avec respectivement 83 et 86 % des effectifs observés pour *A. arachnitis* et *J. recta* dans les deux étages les plus élevés du houppier. Les diamètres entre 20 et 30 cm sont favorables à *A. arachnitis* avec 53 % des effectifs alors que des branches de diamètres légèrement plus faibles (10 à 20 cm) abritent 45 % des effectifs de *J. recta*.

En revanche, l'influence du degré de pente se montre moins significative pour le recrutement des 2 espèces même si 40 % des effectifs de *J. recta* sont observés sur une pente nulle et 2/3 des effectifs de *A. arachnitis* (68 %) sont rapportés sur des pentes modérées à fortes (codes 2 et 3).

Une synthèse des conditions optimales pour la relocalisation de chaque espèce est proposée dans le **tableau 1**.

## Transplantation

La transplantation a eu lieu les 5 et 6 novembre 2013 avant la saison humide. Un échantillon de 50 orchidées de différents stades ontogéniques a été prélevé : 34 individus de *J. recta* (10 juvéniles - 11 subadultes - 13 adultes) ; 16 individus d'*A. arachnitis* (5 juvéniles - 7 subadultes - 4 adultes). Compte tenu des difficultés

d'accès aux différentes parties du houppier et de la volonté de minimiser l'impact du piétinement et des cordes sur les micro-habitats et les orchidées déjà présentes (**Fig. 1D, E**), les paramètres stationnels originels des individus n'ont pas toujours été respectés, principalement en ce qui concerne l'étagement. Les orchidées ont finalement été réparties sur 12 branches distinctes (**Fig. 5**), sélectionnées pour se rapprocher au maximum des conditions optimales de chaque espèce (**Tableau 1**).

## Suivi démographique

Après la phase de transplantation de novembre 2013, 3 campagnes de suivi annuels ont été réalisées les 04/12/2014, 01/12/2015 et 06/12/2016.

À l'issue des 3 années, le suivi démographique révèle que sur les 50 orchidées transplantées en 2013, 24 d'entre-elles (48 %) n'ont pas survécu. Le taux de mortalité spécifique pour *J. recta* est de 32 % (11 individus morts) et pour *A. arachnitis*, il est de 81 % (13 individus morts).

Concernant *J. recta*, la mortalité inter-annuelle est estimée à 3.2 % en 2014, 6.7 % en 2015 et 14.3 % en 2016. Le taux de mortalité global des juvéniles (40 %) est proche de celui des adultes (38 %). 2016 fut l'année avec le taux de mortalité le plus élevé pour ces deux catégories : soit 25 % pour les juvéniles et 11.1 % pour les

**Tableau 1.**

Conditions stationnelles optimales relevées pour *J. recta* et *A. arachnitis*.

Paramètres	<i>J. recta</i>	<i>A. arachnitis</i>
Pente	Pente nulle à faible	Pente modérée à forte
Section de la branche	10-20 cm	20-30 cm
Étagement	Étage 1 (la plus haute)	Étages 1 et 2
Bryophytes (recouvrement)	Recouvrement élevé de préférence	



**Figure 5.**  
 Transplantation des 50 spécimens dans le  
 phorophyte récepteur.  
 En jaune : *A. arachnitis* ; en blanc : *J. recta*.

adultes. Avec un taux de mortalité global de 17 %, les subadultes représentent le stade ontogénique qui a subi le moins de perte (2 sur 2).

Concernant *A. arachnitis*, le taux de mortalité est passé de 27 % en décembre 2014, à 55 % en décembre 2015 et à 40 % en 2016. La totalité des adultes transplantés n'a pas survécu (3 individus) 2 années après la transplantation. À l'instar de *J. recta*, les subadultes représentent la catégorie qui a subi le moins de perte avec un taux de mortalité global de 71 %. Un taux de mortalité des juvéniles de 80 % est observé en 2016 (1 vivant sur les 5 transplantés).

Le suivi annuel n'a pas permis de suivre précisément la phénologie des transplants mais plusieurs observations ponctuelles ont confirmé la présence de fleurs en 2014, 2015 et 2016 respectivement sur 5, 2 et 2 individus distincts de *J. recta*. Une seule floraison a été observée sur un transplant de *A. arachnitis* en 2014.

## Discussion

Les deux espèces d'orchidées étudiées partagent le même habitat (syntopie) mais ont des traits de vie singuliers, notamment au niveau des interactions avec les pollinisateurs et leurs associations mycorhiziennes (F. MARTOS, MNHN, com. pers.). Le résultat de la transplantation montre une réponse très différente pour les 2 taxons, avec d'un côté un résultat encourageant pour *J. recta* et de l'autre un résultat médiocre pour *A. arachnitis*. Nous rappelons que la présente étude concerne un faible échantillon (50 orchidées) caractérisé par un déséquilibre numérique entre les taxons ( $n=34$  pour *J. recta*,  $n=16$  pour *A. arachnitis*) et entre les différents stades ontogéniques. En conséquence,

les résultats obtenus intègrent *de facto* une marge d'erreur et de variabilité et nécessitent d'être interprétés avec la plus grande prudence. Cependant, l'état d'urgence relatif d'une action de conservation en lien avec la réalisation d'un projet d'aménagement impose le choix du mode d'échantillonnage et la composition de l'échantillon, fixant alors une limite forte à l'interprétation des résultats (ex : quelle classe ontogénique supporte mieux la transplantation ? Des espèces proches peuvent-elles répondre différemment au stress d'une transplantation ? Quel protocole est le plus adapté ?...). Dans ce contexte, tout résultat, aussi incomplet et partiel soit-il, doit être partagé et bancarisé de manière à optimiser la réussite des opérations de transplantation futures.

### Bilan démographique et facteurs d'influence

Le bilan du suivi démographique réalisé dans notre étude révèle un taux de mortalité de 32 % pour *J. recta* et 81 % pour *A. arachnitis*. En Australie, sur 74 opérations de translocations (réintroduction, transplantation ou introduction) impliquant 66 espèces d'orchidées, dont 38 épiphytes, le taux de survie global a été de 66 % au terme d'une année de suivi (REITER *et al.*, 2016). Des taux de mortalité extrêmement variables (de 0 à 100 %) ont été observés notamment en fonction du choix du site de relocalisation. Alors qu'une forte variabilité de réponse à la transplantation est attendue, nos résultats doivent être relativisés par différents paramètres inhérents au protocole, à la saisonnalité ou encore à la biologie propre des taxons considérés :

i. une période de sécheresse marquée en 2014 et 2015 (MÉTÉO-FRANCE, 2014, 2015) lors de laquelle nous avons constaté

une augmentation importante du taux de mortalité, a pu accentuer la déshydratation et causer le déclin de plusieurs individus, notamment pour *A. arachnitis* ;

ii. le piétinement involontaire des stations transplantées : le suivi encordé a obligé l'écologue et le cordiste à utiliser des appuis sur les branches pour assurer accès et sécurité, entraînant parfois l'altération des micro-habitats (piétinement ponctuel des tapis de bryophytes) et/ou du réseau racinaire des orchidées transplantées (**Fig. 1D**) ;

iii. le respect des conditions écologiques originelles des transplants a été contraint par l'amplitude limitée des conditions stationnelles offertes par le phorophyte récepteur (la couverture en bryophytes notamment) et l'accessibilité réduite aux branches du houppier. Lorsque nous analysons les paramètres stationnels de chaque individu mort de *J. recta*, 3 paramètres sur 4 avaient globalement été respectés : la pente, le diamètre des branches (faible différence) et l'étagement. Un plus fort recouvrement en bryophyte avait cependant été constaté sur le phorophyte récepteur par rapport au phorophyte donneur. Concernant les individus morts de *A. arachnitis*, le même niveau de pente a pu être conservé (modéré). Le recouvrement en bryophyte sur l'arbre récepteur était en revanche inférieur à celui sur l'arbre donneur.

iv. la longévité des bandes de fixation en coton : à l'élaboration du protocole, l'objectif était que les orchidées se fixent naturellement sur les branches au fur à mesure que la bandelette de coton se dégrade. Le coton s'est dégradé rapidement pour avoir quasiment disparu en 2016, au terme du suivi. Il semblerait que certaines orchidées n'aient pas eu le temps de s'ancrer totalement pendant ce laps de temps, en témoigne la disparition

de certains individus (décrochage). Un renouvellement des bandelettes à N +2 ans se serait avéré pertinent.

## Phénologie

Le faible nombre d'individus observés en fleurs et en fruit pour *J. recta* (9 individus) et *A. arachnitis* (1 individu) confirment que la transplantation viendrait perturber la reproduction (REITER *et al.*, 2016), au moins lors de la période de stress post-transplantation que nous estimons à 2/3 ans. Les orchidées transplantées ont très probablement mobilisé leur énergie en priorité pour le maintien de leur système racinaire et aérien afin d'assurer leur survie (résilience face aux modifications des conditions stationnelles), avec en corollaire une perturbation (temporaire) du cycle phénologique. Toutefois, le suivi ayant été réalisé lors d'une unique session annuelle en décembre, un biais d'observation sur le nombre de pieds en reproduction est très probable, la floraison s'étalant sur plusieurs mois pour ces espèces (CADET, 1989 ; BERNET, 2010 ; SZELENGOWICZ & TAMON, 2013). Les aléas climatiques sévères (sécheresses fortes de 2014 et 2015) constituent un autre facteur non négligeable susceptible d'avoir influencé les capacités de reproduction des populations d'orchidées, transplantées ou non.

## Suivi des transplants

Un suivi biométrique des organes aériens a été tenté pour finalement être abandonné lors de notre opération (**Fig. 1F**). La réalité de terrain a rapidement montré qu'il était trop complexe à mettre en œuvre dans les conditions du suivi (prospections encordées sur des positions instables) et par ailleurs mal approprié dans le contexte d'une opération stressante de transplantation (défoliations et perte de tiges attendues à court terme).

Le suivi du système racinaire (longueur, couleur, ramification, dénombrement) n'a pas été réalisé. À ce titre, il n'a pas été possible d'apporter de réponse quantitative sur la fixation durable des orchidées. D'un point de vue qualitatif, les observations ont mis en évidence un développement racinaire conséquent sur les individus encore vivants au terme du suivi (2016), indiquant de manière certaine une appropriation du phorophyte récepteur par le transplant. *A posteriori*, le suivi du système racinaire pourrait constituer une alternative sérieuse et fiable au suivi biométrique des parties aériennes.

Concernant le suivi, une durée de 3 ans nous est apparue comme satisfaisante, offrant l'opportunité d'observer des reprises et mortalités franches. Sur 47 opérations de ré-introductions d'orchidées en Australie, REITER *et al.* (2016) rapportent des durées de suivi s'échelonnant de 1 mois à 11 ans, avec une durée moyenne de 3 ans.

### Prise en compte des associations mycorhiziennes

Au-delà du strict développement racinaire, l'un des facteurs majeur et sous-jacent pour la réussite de la transplantation réside dans la présence de mycorhiziens (SWARTS & DIXON, 2009b). Les partenaires fongiques sont en effet essentiels pour le développement (apports de nutriments) et la reproduction (germination des graines, voir RASMUSSEN, 1995) des orchidées terrestres (SWARTS & DIXON, 2009a) mais également épiphytiques (MARTOS, 2010). Les Angraecinae de La Réunion s'accommodent à différents partenaires fongiques au sein des basidiomycètes (des familles Tulasnellaceae, Serendipitaceae et Ceratobasidiaceae principalement) et favorisent des associations généralistes

chez l'orchidée adulte (voir MARTOS, 2010), laissant imaginer une bonne adaptabilité face aux différents stress comme la remobilisation vers un nouvel arbre hôte. De récents travaux démontrent en effet que le conservatisme phylogénétique entre les orchidées Angraecinae et leurs partenaires fongiques n'est pas nécessairement fort, impliquant une association peu spécifique et une diversité de partenaires potentiels (MARTOS *et al.*, 2009 ; MARTOS, 2010 ; BAILAROTE *et al.*, 2012). Cependant, les associations mycorhiziennes apparaissent plus spécifiques à l'échelle d'une population donnée d'orchidées, et la présence du partenaire fongique adéquat (interaction genotype x environnement) devrait être un facteur déterminant. D'autres auteurs considèrent cependant que l'identification précise des associations fongiques constitue un pré-requis majeur en amont de la transplantation (HANKEY *et al.*, 2016), au même titre que l'identification des pollinisateurs (SWARTS & DIXON, 2009b). Dans notre cas, l'association mycorhizienne a été prise en compte de manière empirique dans le protocole : d'une part, par le choix d'un phorophyte récepteur abritant déjà des individus des 2 espèces d'orchidées visées (impliquant *de facto* la présence des mycorhiziens) et d'autre part, par un prélèvement favorisant un arrachage de l'écorce superficielle plutôt que le décollement des racines *sensu stricto*, de manière à conserver au maximum le feutrage mycélien en vue d'une remobilisation des individus avec leurs partenaires fongiques originels.

### Choix de l'arbre hôte et du site de transplantation

Un autre point important se rapportant à notre étude concerne le contexte écologique de la transplantation et le

choix de l'arbre récepteur. En effet, les populations transplantées, bien que spontanées, prennent place au sein d'un écosystème hybride d'origine anthropique, résultant d'un assemblage inédit d'espèces introduites et natives et formant un nouvel habitat original (voir HOBBS *et al.*, 2009, 2014 ; KUEFFER *et al.*, 2013). Notre opération de transplantation a été réalisée au sein de cette même communauté hybride, de manière à optimiser sa réussite (forte probabilité de retrouver les bons partenaires fongiques, les mêmes pollinisateurs...). Par ailleurs, nous sommes partis du postulat, argumenté par YAM *et al.* (2011), qu'un arbre supportant déjà des orchidées épiphytiques était présumé plus favorable pour la réussite de la transplantation (présence *a priori* des mycorhiziens). En outre, le choix d'un arbre âgé semble pertinent pour plusieurs raisons : l'écorce devient généralement plus irrégulière et épaisse avec l'âge (la rendant plus favorable à l'installation des lichens et bryophytes), la présence de crevasses et aspérités favorisent par ailleurs la création de petites poches d'humus (décomposition des feuilles mortes piégées), ces dernières créant alors des conditions favorables pour la germination et l'alimentation d'épiphytes. Les fourches des principales charpentières constitueraient les sites les plus favorables à la réintroduction selon YAM *et al.* (2011).

Une autre option aurait été de sélectionner un système de végétation plus proche de l'habitat originel supposé (forêt hygrophile de basse altitude au vent, voir LACOSTE *et al.*, 2014). Toutefois, se serait alors posées deux problématiques :

i. les secteurs de forêt humide de basse altitude en bon état de conservation se font rares dans l'Est de l'île (STRASBERG *et al.*, 2005 ; LAGABRIELLE *et al.*, 2011), impliquant un effort de recherche important et une

charge administrative supplémentaire (cœur de Parc National) coûteuse en temps, en énergie et en moyens financiers,

ii. de possibles actions négatives sur l'intégrité écologique des sites ciblés - déjà sous pression - à l'image des dommages induits sur le phorophyte récepteur lors de nos opérations (Fig. 1D).

Concernant le mode de transplantation, notre approche aurait idéalement dû être accompagnée d'une récolte, bancarisation et/ou mise en culture de graines *ex-situ* en vue d'une réintroduction ultérieure *in-situ* (voir YAM *et al.*, 2011 ; REITER *et al.*, 2016).

### Préconisations pour les futures opérations de transplantation d'orchidées épiphytiques

À la lumière des résultats de notre étude et des apports de la bibliographie, nous proposons ici des lignes directrices permettant de guider les futures opérations impliquant la remobilisation d'orchidées épiphytiques en contexte tropical. Au delà de ces aspects techniques, il convient à chaque porteur de projet de s'assurer de l'obtention de toutes les autorisations nécessaires.

#### 1) En amont de la transplantation :

a. Programmer des opérations de récolte de graines et envisager une croissance *ex situ* et une réintroduction *in situ*.

b. Etudier les conditions stationnelles des orchidées à prélever (micro-habitats : phorophyte, diamètre des branches, recouvrement en bryophytes, pente et tout autre paramètre apparaissant pertinent) et intégrer les principales tendances observées dans une grille de sélection pour le choix des arbres récepteurs ;

c. Prendre en compte les associations fongiques et identifier les souches compatibles, de manière à statuer sur la

plasticité de la ou des espèce(s) face à une relocalisation (mycobiontes généralistes et répandus vs. mycobiontes rares et spécifiques). À défaut, prélever les souches mycorhiziennes avec l'orchidée et privilégier des arbres récepteurs abritant déjà des épiphytes (idéalement de la même espèce) ;

**d. Choix du site récepteur :**

**i.** Confirmer la présence du pollinisateur sur le site récepteur (dans le cas où celui-ci soit très éloigné du site donneur) ;

**ii.** Privilégier plusieurs phorophytes récepteurs pour créer plusieurs sous-populations (HANKEY *et al.*, 2016) dans un environnement proche (50 à 100 m) et des arbres abritant d'ores et déjà des orchidées ou fougères épiphytiques (YAM *et al.*, 2011) de manière à assurer une présence *a priori* de mycorhiziens compatibles ;

**iii.** S'assurer de la présence de bryophytes sur l'arbre récepteur, ce paramètre étant essentiel pour prévenir la dessiccation et assurer la croissance et la survie des transplants (commensalisme) (CRAIN, 2012) ;

**iv.** Planifier les accès dans les phorophytes récepteurs (à court, moyen, long terme) et anticiper les emplacements favorables et disponibles à la transplantation en considérant ces derniers ;

**v.** Contrôler l'absence de parasites sur les individus à transplanter, une contamination du site receveur étant à craindre si des individus de la même espèce (ou phylogénétiquement proches) sont présents (HANKEY *et al.*, 2016).

## 2) Transplantation (prélèvement) :

**a.** Prévoir les contenants adaptés pour recevoir et véhiculer les individus prélevés

(contenants plastiques avec un fond d'eau pour éviter la dessiccation, stockage à l'ombre) ;

**b.** Éviter l'arrachage direct des racines mais favoriser dans tous les cas un prélèvement du feutrage mycorhizien et des bryophytes, voire de l'écorce superficielle du phorophyte ;

**c.** Elaboration d'une fiche type par individu : numéro d'identifiant unique (ID), espèce, stade, photos de référence, conditions stationnelles sur l'arbre donneur, coordonnées XY de la zone de prélèvement, date du prélèvement... Cette fiche accompagnera le transplant pendant le suivi à long terme.

## 3) Transplantation (remobilisation) :

**a.** Prévoir de réaliser la transplantation en début de saison humide, de manière à favoriser la reprise des transplants (novembre/décembre pour La Réunion) ;

**b.** La remobilisation des orchidées est réalisée idéalement le même jour que le prélèvement ;

**c.** L'accrochage des orchidées peut être réalisé par des bandes de coton biodégradables, ces dernières devront être renouvelées à + 2 ans en milieu tropical ;

**d.** Complétion de la fiche de suivi : coordonnées et date de transplantation, conditions stationnelles sur le site receveur, et toute autre information utile ;

**e.** Organiser le suivi du réseau racinaire : par exemple via la pose de repères (type punaises signalétiques) associés à des photographies à la date des différents suivis ;

**f.** Un suivi biométrique ou qualitatif des organes aériens peut être envisagé mais il doit tenir compte d'une très probable défoliation et de la perte de tiges entre 2 suivis. Un poinçonnage des feuilles ou un ruban coloré sur les tiges permet de

contourner ces problématiques. En outre, il convient d'anticiper la charge de travail et le coût d'un tel suivi sur le long terme. L'analyse des résultats, seul et unique objectif de ce type de suivi, nécessite un échantillonnage conséquent (minimum de 30 individus par espèce) et doit faire référence à un échantillon témoin de même taille ;

**g.** Une remobilisation des individus sur des zones visibles depuis la terre ferme pourrait également constituer une alternative pour réduire les coûts et faciliter le suivi. En revanche, une approche visuelle (à l'aide de jumelles) peut uniquement permettre un suivi qualitatif ou semi-quantitatif.

#### 4) Après la transplantation :

**a.** Programmer un suivi annuel de 3 ans *a minima*, conformément à nos résultats et aux retours d'expérience australiens (REITER *et al.*, 2016). Ensuite, un suivi plus espacé (bi-annuel) est suggéré pour le moyen et long terme, en fonction des moyens affectés au projet ;

**b.** Communiquer sur les résultats du suivi (connaissances acquises, échecs, taux de mortalité, recrutement...). Cette étape est primordiale et constitue l'objet premier du travail présenté ici.

Nous notons que le Muséum National d'Histoire Naturelle travaille actuellement à la mise en place d'une équipe de recherche appliquée pour développer la multiplication *ex situ* d'orchidées menacées, au regard des programmes de transplantation/réintroduction pilotés par les conservatoires botaniques (F. MARTOS, MNHN, com. pers.). Encore à ses prémices, l'équipe a déjà la volonté d'étendre ce programme dans les départements d'Outre-Mer tel que La Réunion.

## Conclusion

Les opérations de transplantation d'orchidées constituent aujourd'hui une mesure d'accompagnement pertinente dans le cas d'une destruction de populations pour des raisons jugées d'intérêt publique (l'extrême variabilité des taux de réussite de ces opérations ne permet cependant pas de les considérer pour le moment comme véritable mesure de réduction d'impact). Le procédé pourrait également offrir, dans un avenir proche, une alternative sérieuse en réponse au changement climatique via la relocalisation de populations d'espèces rares (MINTTEER *et al.*, 2010 ; LIU *et al.*, 2012). La viabilité du procédé en tant qu'outil de conservation a été débattu à plusieurs reprises mais les retours d'expérience sont pauvres ou insuffisamment documentés (LIU *et al.*, 2012). Des opérations de transplantation récentes en Australie montrent toutefois des résultats encourageants, mais issus de suivis souvent trop courts ou d'opérations trop récentes pour en tirer des conclusions définitives (REITER *et al.*, 2016). La principale question qui émerge est de savoir si la ou les espèces ciblées vont réussir à se maintenir et établir de nouvelles populations autonomes (GODEFROID *et al.*, 2011). Notre étude vient démontrer, avec ses limites, que la transplantation constitue à La Réunion une réelle opportunité mais qu'elle s'accompagne de taux de mortalité potentiellement significatifs et très aléatoires en fonction notamment des taxons concernés, même phylogénétiquement proches. Des lignes de conduites sont proposées et devraient permettre d'améliorer la réussite des opérations futures. L'option d'évitement étant toujours la priorité, la transplantation d'orchidées constitue le dernier recours et nécessite en ce sens des moyens pertinents et un suivi sur le long terme.



*Aeranthes arachnitis* en fleur.  
© Stéphane AUGROS

## Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement la Communauté Intercommunale de l'Est (CIREST), Thierry Paillet (Université de La Réunion, spécialiste des orchidées), Elodie Dubedat et Quentin Grob (INGEROP) pour leur aide technique et leur soutien au fil de l'eau.

Notre gratitude va également à Julien Michel (PRNAVENTURE),

guide de haute montagne, pour ses compétences, son adaptabilité et sa bonne humeur.

Pour finir, un grand merci à Florent Martos (MNHN) pour sa disponibilité et ses précieux apports qui ont significativement amélioré le travail proposé ici.

# Bibliographie

- BAIDER, C., F. B. V. FLORENS, S. BARET, K. BEAVER, D. STRASBERG, & C. KUEFFER. 2010.** Status of plant conservation in oceanic islands of the Western Indian Ocean. *Proceedings of the 4th Global Botanic Gardens Congress*:1–7.
- BAILAROTE, B. C., B. LIEVENS, & H. JACQUEMYN. 2012.** Does mycorrhizal specificity affect orchid decline and rarity? *American Journal of Botany* 99:1655–1665.
- BARET, S., C. LAVERGNE, C. FONTAINE, M. SALIMAN, J. TRIOLO, & B. SAMANTHO. 2012.** Une méthodologie concertée pour la sauvegarde des plantes menacées de l'île de La Réunion. *Revue Écologie (Terre Vie)* 67:85–100.
- BERNET, P. 2010.** Les orchidées de La Réunion. Edité par P. Bernet, Reunion.
- BRUNDRETT, M. C., A. SCADE, A. L. BATTY, K. W. DIXON, & K. SIVASITHAMPARAM. 2003.** Development of in situ and ex situ seed baiting techniques to detect mycorrhizal fungi from terrestrial orchid habitats. *Mycological Research* 107:1210–1220.
- CADET, J. 1989.** Joyaux de nos forêts : les orchidées de La Réunion. Edité par J. Cadet, Saint-Denis, La Réunion, France.
- CADET, T. 1980.** La végétation de l'île de La Réunion - Etude phytoécologique et phytosociologique. Thèse universitaire. Université d'Aix Marseille.
- CARPENTER, S., B. WALKER, J. M. ANDERIES, & N. ABEL. 2001.** From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems* 4:765–781.
- CORDEMOY, E. J. 1895.** Flore de L'île de La Réunion (Phanérogames, Cryptogames vasculaires, Muscinées) avec l'indication des propriétés économiques & industrielles des plantes. Paris : Klincksieck.
- CORDONNIER, T. 2004.** Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers. Thèse universitaire. CEMAGREF, Université Paris XI.
- CRAIN, B. 2012.** On the relationship between bryophyte cover and the distribution of *Lepanthes* spp. *Lankesteriana* 12:13–18.
- GODEFROID, S., C. PIAZZA, G. ROSSI, S. BUORD, A. D. STEVENS, R. AGURAIUJA, C. COWELL, C. W. WEEKLEY, G. VOGG, J. M. IRIONDO, I. JOHNSON, B. DIXON, D. GORDON, S. MAGNANON, B. VALENTIN, K. BJUREKE, R. KOOPMAN, M. VICENS, M. VIREVAIRE, & T. VANDERBORGH. 2011.** How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation* 144:672–682.
- GRIMM, V., & C. WISSEL. 1997.** Babel, or the ecological stability discussions: An inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. *Oecologia* 109:323–334.
- HANKEY, A., K. WODRICH, B. MINCHER, & A. DE CASTRO. 2016.** Proposed WOSA guidelines for the translocation of wild orchids in South Africa. *Wild Orchids Southern Africa 2016 conference 1 proceedings*.
- HOBBS, R. J., E. HIGGS, & J. A. HARRIS. 2009.** Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution* 24:599–605.
- HOBBS, R. J., E. HIGGS, C. M. HALL, P. BRIDGEWATER, F. S. CHAPIN, E. C. ELLIS, J. J. EWEL, L. M. HALLETT, J. HARRIS, K. B. HULVEY, S. T. JACKSON, P. L. KENNEDY, C. KUEFFER, L. LACH, T. C. LANTZ, A. E. LUGO, J. MASCARO, S. D. MURPHY, C. R. NELSON, M. P. PERRING, D. M. RICHARDSON, T. R. SEASTEDT, R. J. STANDISH, B. M. STARZOMSKI, K. N. SUDING, P. M. TOGNETTI, L. YAKOB, & L. YUNG. 2014.** Managing the whole landscape: Historical, hybrid, and novel ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 12:557–564.

- JACQUEMYN, H., C. MICHENEAU, D. L. ROBERTS, & T. PAILLER. 2005.** Elevational gradients of species diversity, breeding system and floral traits of orchid species on Reunion Island. *Journal of Biogeography* 32:1751–1761.
- KUEFFER, C., K. BEAVER, & J. MOUGAL. 2013.** Case Study: Management of Novel Ecosystems in the Seychelles. Pages 228–238 in C. M. H. RICHARD J. HOBBS, ERIC S. HIGGS, editor. *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*. John Wiley & Sons.
- LACOSTE, M., P. DELBOSC, & F. PICOT. 2014.** Typologie descriptive des habitats naturels et semi-naturels de La Réunion, version Octobre 2014. Edité par le Conservatoire Botanique National de Mascarin, Saint-Leu, Réunion, France.
- LAGABRIELLE, E., M. ROUGET, K. PAYET, N. WISTEBAAR, L. DURIEUX, S. BARET, A. LOMBARD, & D. STRASBERG. 2009.** Identifying and mapping biodiversity processes for conservation planning in islands: A case study in Réunion Island (Western Indian Ocean). *Biological Conservation* 142:1523–1535.
- LAGABRIELLE, E., M. ROUGET, T. LE BOURGEOIS, K. PAYET, L. DURIEUX, S. BARET, J. DUPONT, & D. STRASBERG. 2011.** Integrating conservation, restoration and land-use planning in islands — An illustrative case study in Réunion Island (Western Indian Ocean). *Landscape and Urban Planning* 101(2):120–130.
- LIU, H., C.-L. FENG, B.-S. CHEN, Z.-S. WANG, X.-Q. XIE, Z.-H. DENG, X.-L. WEI, S.-Y. LIU, Z.-B. ZHANG, & Y.-B. LUO. 2012.** Overcoming extreme weather challenges: Successful but variable assisted colonization of wild orchids in southwestern China. *Biological Conservation* 150:68–75.
- MARTOS, F., M. DULORMNE, T. PAILLER, P. BONFANTE, A. FACCIO, J. FOURNEL, M. DUBOIS, & M. SELOSSE. 2009.** Independent recruitment of saprotrophic fungi as mycorrhizal partners by tropical achlorophyllous orchids. *New Phytologist* 184:668–681.
- MARTOS, F. 2010.** Structuration écologique et évolutive des symbioses mycorrhiziennes des orchidées tropicales. Thèse de doctorat. Université de La Réunion, Saint-Denis, France.
- MÉTÉO-FRANCE. 2014.** Bulletin climatologique annuel. Consulté le 11/11/2017. [http://www.meteo.fr/temps/domtom/La\\_Reunion/BCA/BCA2014.pdf](http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/BCA/BCA2014.pdf)
- MÉTÉO-FRANCE. 2014.** Bulletin climatologique annuel. Consulté le 11/11/2017. [http://www.meteo.fr/temps/domtom/La\\_Reunion/BCA/BCA2015.pdf](http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/BCA/BCA2015.pdf)
- MICHENEAU, C., B. S. CARLSWARD, M. F. FAY, B. BYTEBIER, T. PAILLER, & M. W. CHASE. 2008.** Phylogenetics and biogeography of Mascarene angraecoid orchids (Vandaeae, Orchidaceae). *Molecular phylogenetics and evolution* 46:908–22.
- MINTEER, B.A., J. P. COLLINS, & S. URL. 2010.** Move it or lose it? The ecological ethics of relocating species under climate change. *Ecological Applications* 20(7):1801–1804.
- PETERSON, G., C. R. ALLEN, G. PETERSON, C. R. ALLEN, & C. S. HOLLING. 1998.** Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. *Ecosystems* 1:6–18.
- PICOT, F., & D. LUCAS. 2017.** Mascarine Cadetiana III, pôle Flore et Habitats du SINP de La Réunion/CBN-CPIE de Mascarin, Saint-Leu (Réunion). Consulté en octobre 2017.
- PULLIN, A., W. SUTHERLAND, T. GARDNER, V. KAPOS, & J. E. FA. 2013.** Conservation priorities: identifying need, taking action and evaluating success. *Key Topics in Conservation Biology* 2:3–22.
- PUPULIN, F., E. BIANCHI, GERMANI, MASSIMO, D. PEDRUZZI, & A. WAGNER. 1995.** Orchid diversity and distribution on a tree at reserva forestal de San Ramon, Costa Rica. *Brenesia* 43:47–54.
- RASMUSSEN, H. N. 1995.** *Terrestrial Orchids from Seed to Mycotrophic Plant*. Cambridge. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

**REITER, N., J. WHITFIELD, G. POLLARD, W. BEDGGOOD, M. ARGALL, K. DIXON, B. DAVIS, & N. SWARTS. 2016.** Orchid re-introductions: an evaluation of success and ecological considerations using key comparative studies from Australia. *Plant Ecology* 217:81–95.

**ROBERT, Y., J. M. TAMON, & H. THOMAS. 2015.** Deux nouvelles stations de la fougère menacée *Haplopteris zosterifolia* (Willd.) E. H. Crane découvertes dans le Nord-Est de l'île de La Réunion, implications pour leur conservation. (Polypodiales: Pteridaceae). *Cahiers scientifiques de l'Océan Indien occidental* 6:23–28.

**ROBERTS, D. L. 2001.** Reproductive biology and conservation of the orchids of Mauritius. University of Aberdeen, UK.

**SCHEFFKNECHT, S., M. WINKLER, K. HÜLBER, M. M. ROSAS, & P. HIETZ. 2010.** Seedling establishment of epiphytic orchids in forests and coffee plantations in Central Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 26:93–102.

**STEWART, S. L., & M. E. KANE. 2007.** Symbiotic seed germination and evidence for in vitro mycobiont specificity in *Spiranthes brevilabris* (Orchidaceae) and its implications for species-level conservation. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant* 43:178–186.

**STRASBERG, D., M. ROUGET, D. M. RICHARDSON, S. BARET, J. DUPONT, & R. M. COWLING. 2005.** An Assessment of Habitat Diversity and Transformation on La Réunion Island (Mascarene Islands, Indian Ocean) as a Basis for Identifying Broad-scale Conservation Priorities. *Biodiversity & Conservation* 14:3015–3032.

**SWARTS, N. D., & K. W. DIXON. 2009a.** Perspectives on orchid conservation in botanic gardens. *Trends in Plant Science* 14:590–598.

**SWARTS, N. D., & K. W. DIXON. 2009b.** Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of botany* 104:543–56.

**SZELENGOWICZ, M., & J. M. TAMON. 2013.** Les orchidées des Mascareignes. Printec, Mauritius.

**TREMBLAY, R. 2008.** Ecological correlates and short-term effects of relocation of a rare epiphytic orchid after Hurricane Georges. *Endangered Species Research* 5:83–90.

**YAM, T., F. TAY, P. ANG, & W. SOH. 2011.** Conservation and reintroduction of native orchids of Singapore – the next phase. *European Journal of Environmental Sciences* 1(2): 38–47.

**ZOTZ, G., & B. VOLLRATH. 2003.** The epiphyte vegetation of the palm *Socratea exorrhiza* - correlations with tree size, tree age and bryophyte cover. *Journal of Tropical Ecology* 19:81–90.

## Pour citer cet article :

**AUGROS, S., J. PAILLUSSEAU & D. HOAREAU. 2018.** Transplantation de deux populations d'orchidées de la sous-tribu des Angraecinae dans l'Est de l'Île de La Réunion (France), *Jumellea recta* (Thouars) Schlechter et *Aeranthes arachnitis* (Thouars) Lindley : retours d'expérience, lignes de conduite et intérêt pour la conservation des orchidées épiphytiques en milieu tropical. *Plume de Naturalistes* 2 : 41-60.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes:  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Qui mange quoi ?

## Zoom sur l'ADN des chauves-souris et de leurs proies contenues dans le guano

Par **Orianne Tournayre**  
(orianne.tournayre@supagro.fr)

Cet article est extrait d'une publication réalisée dans le cadre du programme ECO-FECT (Ecoevolutionary Dynamics of Infectious Diseases; Université de Lyon, France): GALAN, M., PONS, J.-B., TOURNAYRE, O., PIERRE, É., LEUCHTMANN, M., PONTIER, D., CHARBONNEL, N. 2018. Metabarcoding for the parallel identification of several hundred predators and their prey: Application to bat species diet analysis. *Molecular Ecology Resources* 18: 474-489.  
<https://doi.org/10.1111/1755-0998.12749>

### Résumé

Le régime alimentaire peut être directement impliqué dans le déclin des espèces car la qualité et la quantité de proies sont des paramètres primordiaux pour la survie et la reproduction des individus. En effet, si les proies sont contaminées par des substances toxiques ou si leur abondance diminue, les populations de prédateurs seront menacées. Connaître le régime alimentaire des chiroptères est donc essentiel pour améliorer leur conservation. Dans cette étude, nous décrivons une méthode d'analyse du régime alimentaire des chauves-souris insectivores basée sur le metabarcoding, c'est-à-dire l'identification sans a priori des espèces présentes dans un échantillon, à partir



Grand rhinolophe © Maxime LEUCHTMANN

du séquençage à haut débit de l'ADN qu'il contient. Nous avons tout d'abord validé son efficacité à partir de régimes alimentaires artificiels constitués de mélanges d'insectes connus. Puis, nous avons appliqué cette méthode sur plusieurs centaines d'échantillons de guano récoltés en Poitou-Charentes en 2015. Cela nous a permis d'une part de valider la possibilité d'identifier les 16 espèces de chauves-souris des sites d'études, et d'autre part de décrire leur régime alimentaire via la détection d'environ 300 espèces d'Invertébrés en une seule analyse. Cette méthode d'identification « 2 en 1 » peut désormais être utilisée directement à partir de guano prélevé sur le sol pour répondre à des questions spécifiques portant sur l'écologie des chauves-souris. La description exhaustive de la variabilité interspécifique ou intra-spécifique, spatiale et temporelle, de leurs régimes alimentaires permettra en particulier de mieux comprendre les relations entre les mouvements des chauves-souris, le paysage et les ressources alimentaires ainsi que les relations entre l'écotoxicologie, la santé des chauves-souris et les ressources alimentaires. Au-delà de l'apport de cette méthode pour la biologie de la conservation des chauves-souris, il faut noter les applications potentielles pour la conservation des invertébrés, la santé humaine ou animale, ou l'agronomie. En effet cette approche permet de caractériser efficacement des espèces patrimoniales, des vecteurs de maladies, ainsi que des ravageurs et auxiliaires des cultures ingérés par les chauves-souris. Elle est un formidable atout pour la mise en place et l'évaluation de stratégies de chiro-surveillance visant à établir des modes de gestion intégrée ou de lutte biologique en milieu agricole.

## Introduction

Les chauves-souris insectivores sont particulièrement sensibles à l'abondance et la qualité de proies disponibles par leurs besoins énergétiques élevés pour voler, hiberner et s'occuper de leur progéniture. Par exemple les femelles Molosses du Brésil (*Tadarida brasiliensis*) peuvent consommer une quantité de proies équivalente à 73 % de leur masse par nuit en période de lactation (KUNZ et al., 1995).

Une connaissance approfondie du régime alimentaire de ces chiroptères est nécessaire pour mettre en place et évaluer les mesures de conservation, qui pourraient cibler une meilleure protection de l'habitat de chasse ou des préconisations en termes d'utilisations de pesticides sur les territoires de chasse protégés. Cependant, la caractérisation précise du régime alimentaire des chauves-souris insectivores est un réel challenge car ces dernières sont difficilement observables en chasse et se nourrissent de proies pouvant être minuscules et difficiles à identifier de nuit. Jusqu'à récemment, la méthode classique d'analyse du régime alimentaire reposait sur l'identification morphologique des restes de fragments durs des proies (élytres, tarses, antennes...) retrouvés dans les déjections. Cette méthode d'analyse est très chronophage et nécessite de faire appel à des experts en taxonomie si l'on souhaite atteindre une identification taxonomique précise des arthropodes correspondant aux fragments observés. L'identification n'est généralement possible qu'à l'ordre ou à la famille, et elle n'est pas exhaustive puisque les parties non-dures des individus sont digérées et donc inaccessibles à l'observateur (ex des chenilles et autres larves). Cette méthode permet par contre une quantification

relative des taxons identifiables dans les crottes, même si elle reste approximative à cause de plusieurs biais. L'application d'approches moléculaires de séquençage de nouvelle génération aux études de régime alimentaire permet aujourd'hui de pallier ces problèmes. La description qualitative du régime alimentaire est désormais réalisable à partir des restes d'ADN contenus dans les fèces. C'est ce qu'on appelle le « barcoding », ou encore « metabarcoding » lorsque plusieurs ADN d'organismes différents sont présents dans un même échantillon (TABERLET *et al.*, 2012). Les organismes présents sont identifiés par une courte région de l'ADN, appelée code-barres ADN, dont la séquence est propre à chaque espèce. Après séquençage, le déchiffrement de ces multiples codes-barres ADN contenu dans un même échantillon est réalisé en interrogeant des bases de données publiques de séquences de référence qui ont été alimentées par le travail conjoint de taxonomistes et de biologistes moléculaires. Grâce à ces bases de données et à l'avènement du séquençage à haut-débit, il est aujourd'hui possible de déterminer rapidement et avec fiabilité les espèces présentes en mélange à partir d'échantillons environnementaux tels que l'eau, le sol, les déjections et bien d'autres prélèvements susceptibles de contenir de l'ADN.

Le code-barres ADN généralement utilisé chez les animaux est une portion d'ADN mitochondrial de 658 paires de base (pb) provenant d'un gène appelé cytochrome oxydase 1 (COI). La séquence de ce gène a la particularité de varier beaucoup entre espèces mais pas ou peu au sein d'une espèce (HEBERT *et al.*, 2003). Cependant, l'ADN contenu dans des échantillons environnementaux tel que le guano est souvent dégradé en courtes séquences ce qui rend difficile voire impossible de

déchiffrer la totalité de la séquence de 658pb du COI. Pour ce type d'échantillon, on se contente de séquençer un fragment court (< à 200pb) qui doit idéalement conserver un pouvoir de discrimination à l'espèce et pour des organismes très différents (insectes, poissons, mammifères, etc.) : on parle alors d'un « minibarcode ADN universel ».

Grâce aux séquenceurs haut-débit de nouvelle génération, le grand nombre de séquences obtenues permet de détecter et d'identifier spécifiquement l'ensemble des organismes présents dans un échantillon, même les plus petits ou ceux faiblement abondants. Cette approche permet donc d'obtenir une description plus exhaustive (proies à corps durs et mous) du régime alimentaire des chauves-souris insectivores comparativement aux analyses morphologiques classiques. Elle permet également une résolution taxonomique plus précise et une rapidité d'analyse plus importante pour de nombreux échantillons.

Dans certains cas, les analyses de régime alimentaire peuvent être biaisées (POMPANON *et al.*, 2012) si il y a une surreprésentation de l'ADN du prédateur dans les résultats de séquençage. Ce phénomène tend à réduire la sensibilité de détection de certaines proies présentes en faible quantité dans l'échantillon (SHEHZAD *et al.*, 2012). Jusqu'à présent, l'identification des prédateurs et de proies était donc réalisée par des analyses distinctes pour un même échantillon, en utilisant des codes-barres ADN spécifiques aux prédateurs puis aux proies, ou en ne ciblant que les proies. Pourtant, il apparaît primordial de pouvoir être certain de l'espèce à qui appartient le guano analysé lorsqu'il est prélevé dans l'environnement. L'originalité de notre méthode de metabarcoding repose donc sur l'identification simultanée des chauves-souris et de leurs proies grâce à l'obtention

d'une proportion équilibrée de chaque type de séquences ADN à partir de guano (GALAN *et al.*, 2018). La sensibilité et la résolution de notre méthode ont d'abord été validées sur des mélanges artificiels d'espèces d'insectes connues, puis sur des échantillons de guano collectés à partir d'individus piégés à la harpe et donc appartenant à des chiroptères d'espèces connues.

## Matériels et Méthodes

### Validation par l'utilisation de communautés artificielles

Nous avons testé la capacité de notre méthode de metabarcoding à identifier différents ordres d'arthropodes en réalisant des mélanges d'insectes ('communautés artificielles'), identifiés au préalable par des entomologistes, pour simuler des repas de chauve-souris. Deux communautés artificielles contenant des insectes d'ordres diversifiés (Orthoptères, Lépidoptères, Coléoptères, Hémiptères, Dermaptères, Neuroptères et Diptères) ont été analysées. La première (communauté artificielle 1) est composée de douze espèces présentes en France et la seconde (communauté artificielle 2) de sept espèces étrangères. Chaque insecte a été séquençé individuellement et en mélange (ADN de chaque insecte mélangé en proportion égale).

Le protocole utilisé est composé de cinq étapes principales (Fig. 1) : extraction de l'ADN, amplification du code-barres par PCR (Polymerase Chain Reaction) en triple réplicats indépendants, séquençage, analyse bio-informatique et comparaison des séquences à celles archivées dans les bases de données telles que BOLD (Barcode Of Life Database : <http://www.boldsystems.org/>).

[boldsystems.org/](http://www.boldsystems.org/)). Pour les communautés artificielles, une sixième étape est ajoutée (comparaison des identifications moléculaires à celles des entomologistes). La comparaison du séquençage individuel et en mélange permet de mesurer d'éventuels biais de détection de certaines espèces pour les mélanges. Ce test permet de vérifier (1) la sensibilité de la méthode (« détecte-t-on tous les insectes ? ») et (2) sa résolution (« identifie-t-on à l'espèce ou à un rang taxonomique moins précis ? »).

### Application de la méthode à des échantillons de guano

#### Récolte des échantillons

Les chauves-souris ont été capturées dans 18 sites de Poitou-Charentes entre juin et septembre 2015 (Fig. 2).

Pour chaque site, les harpes ont été positionnées une nuit devant l'ouverture du gîte avant le coucher du soleil (Fig. 3). Chaque chauve-souris capturée a été placée dans un sac en polaire avant d'être identifiée morphologiquement par des experts, pesée, sexée, mesurée puis relâchée. Les fèces ont été prélevées soit sur l'animal pendant la manipulation, soit dans le sac qui le contenait. Au total, 357 crottes provenant de 16 espèces de chauves-souris différentes ont été récoltées.

#### Analyses moléculaire et bio-informatique

Les échantillons de guano ont été analysés trois fois indépendamment (réplicats techniques) avec la même méthode de metabarcoding que les échantillons d'insectes des communautés artificielles (Fig. 1).



**Fig. 1.** Principales étapes de l'approche d'identification par metabarcoding.

Photos: Nathalie Charbonnel (prélèvement de guano), František ŠARŽÍK - CC By SA (*Agrotis segetum*), Das Nili - CC By SA (*Anoxia villosa*).

## Analyses écologiques de la variabilité du régime alimentaire

Le régime alimentaire obtenu pour chaque espèce de chiroptère a été comparé aux données trouvées dans la littérature. Le nombre d'espèces de proies détectées par échantillon a été utilisé pour évaluer la variabilité du régime alimentaire entre individus d'une même espèce de chiroptère. Enfin, nous avons décrit sommairement la variabilité spatiale et temporelle du régime alimentaire de certaines espèces de chauve-souris.

### Application de la méthode

Afin de tester la possibilité d'appliquer notre technique de metabarcoding en agronomie et en santé publique en tant qu'outils de surveillance des espèces de ravageurs («Chirosurveillance»; MASLO et al., 2017) et de vecteurs de maladies, nous avons cherché parmi les arthropodes identifiés ceux considérés comme des ravageurs ou comme des espèces d'importance vétérinaire/santé publique.

## Résultats et discussion

### Validation par l'utilisation de communautés artificielles

#### Sensibilité de détection

Pour les deux communautés artificielles analysées, nous retrouvons des codes-barres ADN appartenant à l'ensemble des 19 espèces d'insectes incluses (communautés artificielles 1 et 2), que ce soit en séquençage individuel ou en mélange (Fig. 4). De manière surprenante,

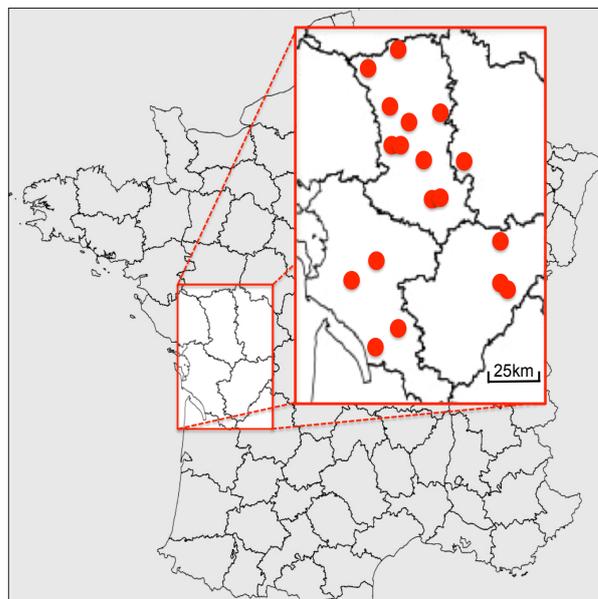


Fig. 2.

Carte des sites échantillonnés en région Poitou-Charentes (N=18).



Fig. 3.

Harpe disposée devant l'entrée d'un site avant le coucher du soleil pour une session de capture.

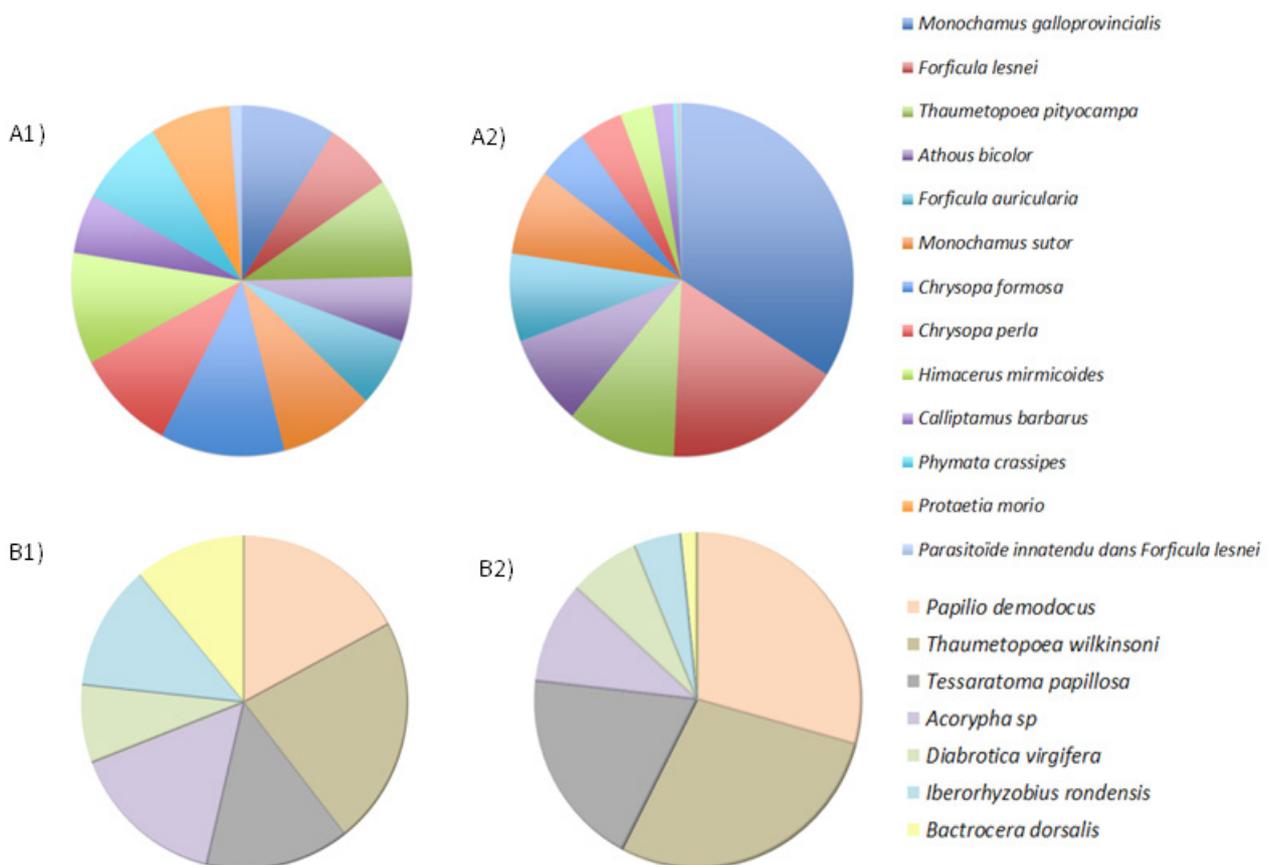
un vingtième taxon a été détecté alors qu'il n'avait pas été introduit volontairement. Il s'agit de *Triarthria setipennis*, un diptère parasitoïde (organisme qui se nourrit et se développe sur ou à l'intérieur d'un organisme hôte) qui était présent dans l'échantillon de forficule *Forficula lesnei*. Ces résultats indiquent une bonne sensibilité de la méthode et donc sa capacité à reconstruire des interactions à plusieurs niveaux trophiques : il est non seulement possible d'identifier des proies directes mais également indirectes de prédation secondaire ou de parasitisme.

Cependant nous observons que certains taxa en mélange sont détectés avec une plus grande proportion de séquences que d'autres, malgré le mélange équimolaire de l'ADN des différentes espèces initialement réalisé. Par exemple *Monochamus galloprovincialis* de la communauté artificielle n°1 correspond à plus de 30% des séquences observées en mélange (Fig. 4.A2). Cela indique la présence de biais de détection possible en fonction des espèces en mélange et de leur biomasse respective. Ce phénomène déjà observé dans d'autres études (Piñol et al., 2015) s'explique par des biais d'amplification PCR. Nous sommes récemment parvenus à réduire ces biais en améliorant notre protocole d'amplification PCR. Cependant cette

approche ne permet pas de quantifier la biomasse ou le nombre d'individus d'une même espèce de proie retrouvé dans un guano.

### Résolution taxonomique

La majorité (74 %) des insectes introduits dans les communautés artificielles ont été identifiés à l'espèce sur la base de leur code-barres. Cependant nos résultats moléculaires pour trois taxa (*Monochamus sutor*, *Chrysopa perla* et *Bactrocera dorsalis*) conduisent à des identifications équivalentes entre plusieurs espèces du même genre. Dans ces cas, le manque de résolution taxonomique observé peut découler de l'existence d'espèces génétiquement indifférenciées car



**Fig. 4.**

Proportions observées des codes-barres ADN des insectes introduits dans A) la communauté artificielle 1 : A1- répliquats individuels et A2- répliquats en mélange ; B) la communauté artificielle 2 : B1- répliquats individuels et B2- répliquats en mélange.

proches et donc présentant des codes-barres ADN identiques. Il peut également s'agir d'erreurs possibles dans la base de données de référence. Ces problèmes peuvent ainsi empêcher l'identification de certains taxons à l'espèce.

De plus, deux taxa (*Forficula lesnei* et *Acorypha* sp.) n'ont pas pu être identifiés car leurs codes-barres ADN ne sont pas référencés dans la base de données BOLD. Ce résultat met en évidence l'importance de l'exhaustivité des bases de données où sont référencés les codes-barres ADN. Sans code-barres de référence auxquels comparer les séquences ADN obtenues par metabarcoding, aucune identification n'est possible. C'est pourquoi il est parfois nécessaire d'échantillonner des taxa candidats qui n'ont pas été séquencés et renseignés, de les identifier morphologiquement avec l'aide d'entomologistes puis de les séquencer par barcoding classique afin de mettre à disposition ces informations dans les bases de données publiques.

## Analyse des échantillons de guano

### Identification des espèces de chauves-souris

L'identification moléculaire des chiroptères est parfaitement concordante avec l'identification morphologique faite sur le terrain pour 238 des 336 échantillons (70.8 %). Pour 72 échantillons (21.5 %), l'identification n'a pas pu être confirmée entre réplicats techniques à cause d'échecs d'amplification PCR. Ces échecs d'amplification peuvent être dus à la mauvaise conservation des échantillons qui ont été laissés à température ambiante dans des tubes hermétiques pendant plusieurs mois. Cela a entraîné une forte dégradation de l'ADN par la prolifération de micro-organismes, rendant certains

codes-barres ADN impossibles à amplifier par PCR. Pour 17 échantillons (5.1 %), un mélange de deux espèces de chauves-souris est obtenu, et pour 9 échantillons (2.7 %), l'identification moléculaire est complètement différente de celle obtenue sur le terrain. Dans ces deux derniers cas, le protocole d'échantillonnage pourrait être mis en cause. En effet, les sacs en tissus sont utilisés pour plusieurs captures successives, pouvant entraîner la contamination du guano entre plusieurs espèces ou l'oubli du guano dans le sac qui par erreur entraîne son attribution à la capture suivante.

En termes de résolution taxonomique, nous avons vérifié que le code-barres ADN est résolutif pour 31 des 35 espèces de chauves-souris présentes en France. Deux paires d'espèces ne sont pas différenciables par leur ADN mitochondrial : le Grand murin *Myotis myotis* et le Petit murin *Myotis blythii* d'une part, la Sérotine commune *Eptesicus serotinus* et la Sérotine de Nilsson *Eptesicus nilsonii* d'autre part. Pour ces cas particuliers, seul l'ADN nucléaire pourrait permettre une identification à l'espèce, mais ce type d'ADN est plus difficile à caractériser à partir de guano. La connaissance biogéographique de la répartition de ces deux paires d'espèces peut également permettre de valider l'espèce présente pour le site de collecte des guanos. Par exemple, la Sérotine de Nilsson n'est pas présente dans l'Ouest de la France, donc on peut en déduire que les échantillons de notre étude correspondent à la Sérotine Commune.

Ces résultats montrent que nous sommes capables d'identifier la plupart des chauves-souris à l'espèce à partir de leur guano, ce qui permettra de mettre en place des études de régime alimentaire qui ne nécessitent pas la capture des individus (pour une analyse à l'échelle

de la colonie), et qui sont donc moins invasives et plus faciles à mettre en œuvre. Ces résultats soulignent également l'importance primordiale de la qualité des échantillons. Un soin tout particulier doit être apporté à la manière dont sont collectés et conservés les guanos pour éviter les contaminations entre échantillons (vérification systématique du sac en tissu, prélèvement avec du matériel à usage unique avec par exemple des cure-dents) et la dégradation des échantillons (stockage à -20°C rapidement après collecte).

### Identification des proies

La composition du régime alimentaire a été décrite pour 216 échantillons, ces échantillons remplissant les conditions suivantes : identification morphologique et moléculaire de l'espèce de chauve-souris concordantes pour au moins un réplica technique et présence de codes-barres ADN de proies bien identifiés et obtenus de manière répétable entre les 3 réplicats. Au total, nous avons identifié 18 ordres d'arthropodes, 117 familles, 282 genres et 290 espèces. Les **tableaux 1A et 1B** illustrent l'efficacité de la méthode pour identifier cette large gamme d'arthropodes, même à partir d'un faible nombre de fèces : 17 taxa de proies identifiés à l'espèce à partir de huit fèces de Petit rhinolophe *Rhinolophus hipposideros* et 23 taxa de proies identifiés à l'espèce à partir de quatre fèces de Murin de Natterer *Myotis nattereri*.

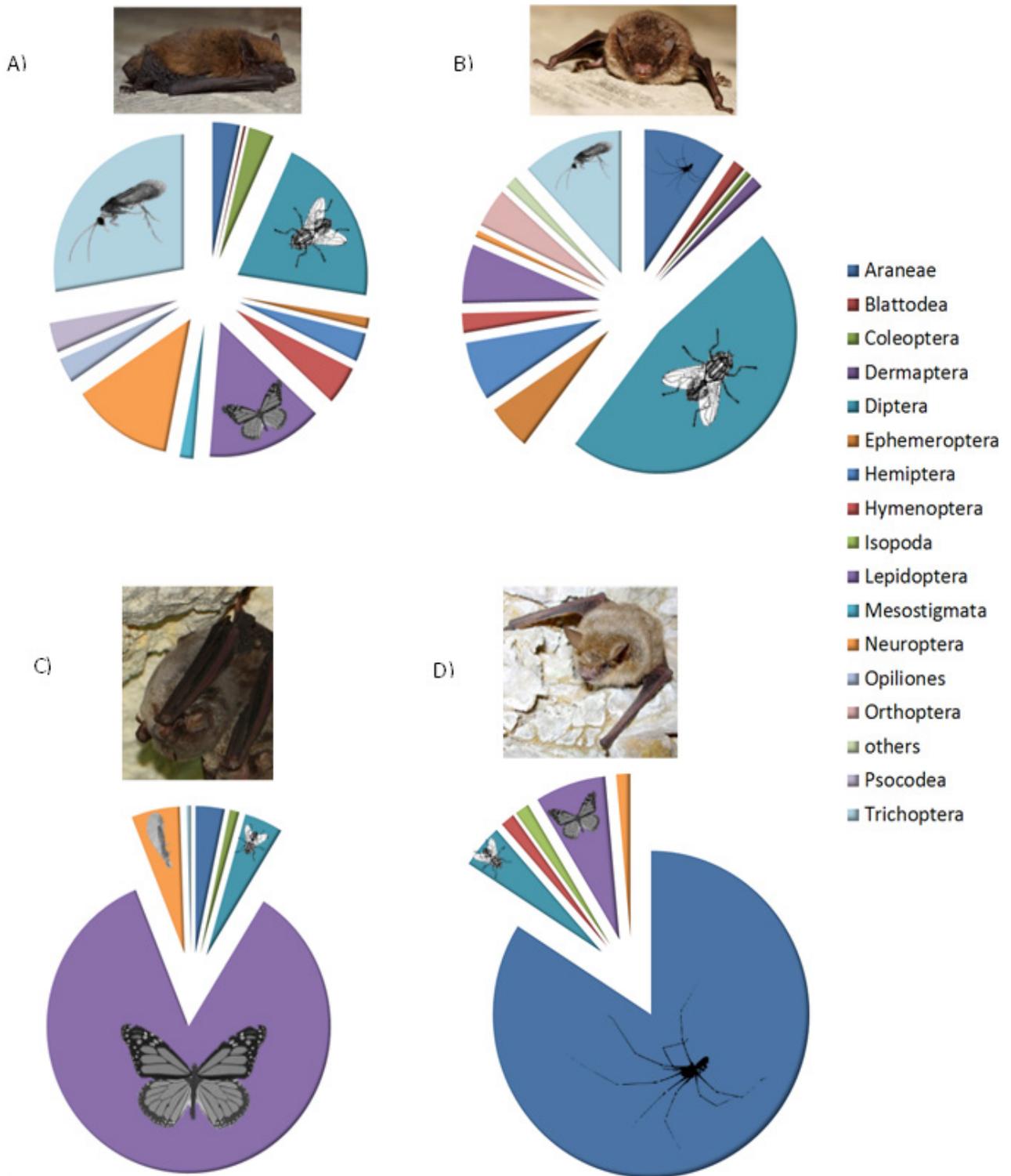
### Analyses écologiques de la variabilité du régime alimentaire

Nos résultats confirment la forte diversité des régimes alimentaires parmi les chiroptères insectivores (**Fig. 5**) : certaines espèces, comme la Pipistrelle commune

*Pipistrellus pipistrellus*, ont un régime alimentaire varié, tandis que d'autres ont un régime alimentaire spécialisé sur certains types de proies comme le Minioptère de Schreibers *Miniopterus schreibersii* qui se nourrit principalement de lépidoptères.

Les résultats obtenus sont concordants avec les études précédentes basées sur l'analyse microscopique des parties dures d'arthropodes présents dans le guano. Par exemple, le régime alimentaire du Murin de Daubenton *Myotis daubentonii* est connu pour être principalement composé de diptères (VETERINEN *et al.*, 2013), ce que nous retrouvons dans nos résultats avec 79 % des échantillons analysés de cette espèce de chauve-souris contenant des diptères. De même pour le Murin à oreilles échancrées *Myotis emarginatus* pour lequel 100 % des échantillons analysés contiennent des araignées, comme décrit précédemment par GOITI *et al.* (2011). Notre méthode apporte cependant une meilleure résolution taxonomique de la composition du régime alimentaire des chauves-souris puisque leurs proies ne sont généralement décrites qu'à l'ordre ou la famille dans les analyses microscopiques (ARLETTAZ *et al.*, 2000).

Notre approche permet de mettre en évidence une forte variabilité du régime alimentaire entre individus d'une même espèce de chiroptère. Nous trouvons en moyenne environ cinq espèces de proies par échantillon, et les valeurs s'étendent de une à douze espèces de proies pour le Murin de Daubenton, une à dix pour le Murin à oreilles échancrées, une à onze pour le Grand rhinolophe *Rhinolophus ferrumequinum* et la Pipistrelle commune et une à 19 pour le Minioptère de Schreibers (**Fig. 6**). Le nombre de proies détectées dans le futur devrait être augmenté grâce aux améliorations récentes apportées à notre protocole de récolte et de conservation des échantillons.



**Fig. 5.**

Occurrence d'espèces de proies dans les fèces pour A) la Pipistrelle commune (N=23), B) le Murin de Daubenton (N=29), C) le Minioptère de Schreibers (N=27) et D) le Murin à oreilles échancrées (N=17).

Photos chiroptères : A & B par Gilles San Martin - CC By SA; C par Maxime Leuchtman et D par Karol Tabarelli - CC By SA.

**Tableau 1 A.** Diversité de proies identifiées par metabarcoding dans huit échantillons de guano de Petit rhinolophe.

Le niveau de confiance des identifications a été déterminé selon cinq niveaux dérivés de RAZGOUR et al. (2011) : 1a = correspondance du code-barres ADN à une seule espèce dans la base de données publique BOLD avec une similarité >99 % ; 1b = correspondance du code-barres à une seule espèce dans la base de données publique BOLD avec une similarité comprise entre 98 et 99 % ; 2 = correspondance à plusieurs espèces (« multi-affiliation ») du même genre et avec une similarité >98 % ; 3 = correspondance à plusieurs espèces de différents genres d'une même famille et avec une similarité >98 % ; 4 = correspondance à plusieurs espèces de familles différentes et/ou avec une similarité comprise entre 97 et 98 % .  
\* signifie que l'espèce est considérée comme ravageur de culture et \*\* signifie que l'espèce est considérée d'importance en santé humaine ou vétérinaire (vecteur).

Ordre	Famille	Espèce	Niveau de confiance	Similarité de la séquence (%)	Nombre de fèces positifs
Blattodea	Ectobiidae	<i>Ectobius vittiventris</i>	1b	98.48	2
Diptera	Chironomidae	<i>Microtendipes pedellus</i>	1a	100.00	1
	Culicidae	<i>Culex pipiens</i> **	1a	100.00	1
	Drosophilidae	<i>Drosophila suzukii</i> *	1a	100.00	1
	Limoniidae	<i>Limonia nubeculosa</i>	1a	100.00	2
		<i>Neolimonia dumetorum</i>	1a	100.00	1
	Tipulidae	<i>Tipula oleracea</i> *	1a	99.10	1
		<i>Tipula paludosa</i> *	1a	100.00	2
Trichoceridae	multi-affiliation	4	100.00	1	
Lepidoptera	Cossidae	<i>Phragmataecia castaneae</i>	1a	99.24	1
	Depressariidae	multi-affiliation	3	100.00	1
	Hepialidae	<i>Triodia sylvina</i>	1a	100.00	2
	Sphingidae	<i>Agrius convolvuli</i>	1a	100.00	1
	Tortricidae	<i>Acleris rhombana</i> *	1a	100.00	2
		<i>Acleris sparsana</i> *	1a	100.00	1
		<i>Cydia splendana</i> *	1a	100.00	1
		<i>Eudemis sp.</i>	2	100.00	1
<i>Hedya nubiferana</i> *		1a	100.00	1	
multi-affiliation	3	100.00	1		
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Halesus radiatus</i>	1a	100.00	1
		<i>Limnephilus sparsus</i>	1a	100.00	1

**Tableau 1 B.** Diversité de proies identifiées par metabarcoding dans quatre échantillons du Murin de Natterer.

Ordre	Famille	Espèce	Niveau de confiance	Similarité de la séquence (%)	Nombre de fèces positifs
Araneae	Araneidae	<i>Araneus angulatus</i>	1a	100.00	1
		<i>Argiope bruennichi</i>	1a	100.00	2
	Lycosidae	multi-affiliation	4	97.85	1
		<i>Pardosa sp.</i>	2	100.00	1
	Tetragnathidae	<i>Tetragnatha extensa</i>	1a	100.00	1
		<i>Tetragnatha nigrita</i>	1a	100.00	1
		<i>Tetragnatha obtusa</i>	1a	100.00	1
	Theridiidae	<i>Enoplognatha ovata</i>	1a	100.00	1
Thomisidae	<i>Xysticus erraticus</i>	1a	100.00	1	
Coleoptera	Curculionidae	<i>Sitona gressorius*</i>	1a	100.00	1
Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula auricularia-A*</i>	1a	100.00	1
Diptera	Anthomyiidae	<i>Botanophila sp.</i>	2	100.00	1
		<i>Lasiomma seminitidum</i>	1a	100.00	1
	Chloropidae	<i>Meromyza lidiae</i>	1a	100.00	1
	Drosophilidae	multi-affiliation	4	97.33	1
	Heleomyzidae	<i>Suillia bicolor</i>	1a	100.00	1
	Lauxaniidae	<i>Calliopum aeneum</i>	1a	100.00	1
	Muscidae	<i>Azelia sp.</i>	2	100.00	1
		<i>Musca domestica**</i>	1a	100.00	1
		<i>Neomyia cornicina</i>	1a	100.00	1
		<i>Stomoxys calcitrans**</i>	1a	100.00	1
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga sp.</i>	2	100.00	1
		<i>Scathophaga sp.</i>	2	100.00	1
	Syrphidae	<i>Melanostoma sp.</i>	2	100.00	1
		<i>Sphaerophoria sp.</i>	2	100.00	1
	Tachinidae	<i>Phasia obesa</i>	1a	100.00	1
	Tipulidae	<i>Tipula oleracea*</i>	1a	99.10	1
		<i>Tipula paludosa*</i>	1a	99.24	3
	Lepidoptera	Depressariidae	<i>Carcina quercana*</i>	1a	100.00
Hepialidae		<i>Triodia sylvina</i>	1a	100.00	2
Opiliones	Phalangiidae	<i>Dicranopalpus ramosus</i>	1a	100.00	1
Orthoptera	Acrididae	<i>Mecostethus parapleurus</i>	1a	100.00	1
		multi-affiliation	3	100.00	1

Là encore, une meilleure conservation des échantillons permettrait une description plus exhaustive et résolutive par la disponibilité d'ADN moins dégradé. De plus, nos conditions d'analyse étaient très strictes : nous avons éliminé les codes-barres ADN les plus rares (< à 100 séquences) ou non-répétés pour les trois réplicats techniques de l'échantillon. Des conditions moins strictes de validation des codes-barres (ex : deux réplicats positifs sur les trois), voir ALBERDI *et al.*, (2018), permettraient de décrire plus de proies sans augmenter significativement le risque d'erreur.

Enfin, nos résultats montrent une variation temporelle de la composition du régime alimentaire. On observe par exemple dans les échantillons de Murins de Daubenton une variation au cours de l'été avec par exemple les trichoptères et les orthoptères absents de son régime en juillet et présents en août (**Fig. 7**), ainsi qu'une variation entre les deux mois d'été et septembre avec une forte augmentation de la prévalence de diptères et une diminution (ex : éphémères, trichoptères), voire une disparition (ex : hémiptères), en septembre des autres ordres qui étaient fortement présents en juillet-août.

Un suivi temporel à intervalles réguliers ainsi que des effectifs plus importants permettraient d'évaluer plus finement la variabilité du régime alimentaire et ses causes, la disponibilité en proies pouvant dépendre des émergences d'insectes, des dates de traitements des cultures, etc.

## Applications

Parmi les 290 taxa d'arthropodes identifiés à l'espèce, 61 sont considérés comme des ravageurs dont certains pouvant causer des dommages importants (la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera*, la drosophile à ailes tachetées *Drosophila*

*suzukii* et la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*) ou comme espèce d'importance en santé vétérinaire et humaine (les moustiques vecteurs du paludisme *Anopheles claviger* ou de la fièvre du Nil Occidental *Culex pipiens*, la mouche piquante *Stomoxys calcitrans* inféodée au bétail et qui peut transmettre la maladie du charbon).

Ces résultats soulignent la possibilité d'utiliser notre technique de metabarcoding en agronomie et en santé publique en tant qu'outils de « chirosurveillance ».



Grand murin © Maxime LEUCHTMANN



## Conclusion

La méthode de metabarcoding que nous proposons permet de décrire simultanément, à l'aide du même échantillon, l'espèce de chauve-souris et son régime alimentaire en arthropodes à partir de fèces ou de guano. Son application permet d'aborder des questionnements écologiques sur les chiroptères ou les arthropodes avec des approches non-invasives (ex. de la récolte de guano sous les colonies) en minimisant la probabilité d'assigner des proies à la mauvaise espèce de chauve-souris. Elle constitue également un outil rapide, exhaustif et résolutif pour l'étude des interactions trophiques dans des

contextes de biologie de la conservation, mais également dans des contextes agronomique et de santé publique (chiro-surveillance). Cette méthode peut également être facilement adaptée à d'autres organismes insectivores.

### Pour citer cet article :

**TOURNAYRE, O. 2018.** Qui mange quoi ? Zoom sur l'ADN des chauves-souris et de leurs proies contenues dans le guano. *Plume de Naturalistes 2* : 61-76.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes : [www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

## Remerciements

Ce travail est issu de la thèse d'Orianne Tournayre financée par le LabEx CeMEB et co-encadrée par N. Charbonnel et D. Pontier. Le monitoring des chauves-souris sur le terrain est réalisé dans le cadre du LabEx ECOFECT (ANR-11-LABX-0048) de l'Université de Lyon et du projet Feder "Grand Rhinolophe et trame verte bocagère : étude des facteurs environnementaux influant sur la dynamique des populations" porté par Poitou-Charentes Nature. Nous remercions tous nos collaborateurs des associations naturalistes qui nous ont aidés à organiser et réaliser cet échantillonnage : Matthieu Dorfiac (Charente Nature), Anthony Le Guen (Deux-Sèvres Nature Environnement), Virginie Barret et Philippe Jourde (LPO France), Sébastien Roué (Groupe Chiroptères Aquitaine) et tous les nombreux bénévoles qui ont contribué au terrain. Nous

remercions également Jean-Claude Streito, Guenaelle Genson, Antoine Foucard, Laure Benoit, Carole Kerdelhué et Laure Sauné, pour nous avoir donné de l'ADN d'insectes permettant de constituer les communautés artificielles. Un grand merci à Emese Meglec, Vincent Dubut et Emmanuel Corse pour les discussions constructives et les échanges sur les analyses de metabarcoding.

Les données de séquençage obtenues dans cette étude ont en partie été produites grâce aux installations de l'ISEM (Institut des Sciences de l'Évolution-Montpellier) et du LabEx Centre Méditerranéen Environnement Biodiversité (LabEx CeMEB). Les analyses ont été réalisées sur la plateforme de calcul CBGP HPC grâce à Alexandre Dehne-Garcia. Ce travail a été financé par le LabEx ECOFECT et un financement interne du CBGP.

**ALBERDI, A., AIZPURUA, O., GILBERT, M.T.P., BOHMANN, K., 2018.** Scrutinizing key steps for reliable metabarcoding of environmental samples. *Methods Ecol Evol* 9, 134–147. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12849>

**ARLETTAZ, R., GODAT, S., MEYER, H., 2000.** Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biological Conservation* 93, 55–60. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00112-3)

**GALAN, M., PONS, J.-B., TOURNAYRE, O., PIERRE, É., LEUCHTMANN, M., PONTIER, D., CHARBONNEL, N., 2018.** Metabarcoding for the parallel identification of several hundred predators and their prey: Application to bat species diet analysis. *Molecular Ecology Resources* 18: 474–489. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12749>

**GOITI, U., AIHARTZA, J., GUIU, M., SALSAMENDI, E., ALMENAR, D., NAPAL, M., GARIN, I., 2011.** Geoffroy's bat, *Myotis emarginatus*, preys preferentially on spiders in multistratified dense habitats: a study of foraging bats in the Mediterranean. *Folia Zoologica* 60, 17–24.

**HEBERT, P.D.N., CYWINSKA, A., BALL, S.L., DEWAARD, J.R., 2003.** Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. Biol. Sci.* 270, 313–321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>

**Kunz, T.H., Whitaker, J.O., Wadanoli, M.D., 1995.** Dietary energetics of the insectivorous Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*) during pregnancy and lactation. *Oecologia* 101, 407–415. <https://doi.org/10.1007/BF00329419>

**MASLO, B., VALENTIN, R., LEU, K., KERWIN,**

**K., HAMILTON, G.C., BEVAN, A., FEFFERMAN, N.H., FONSECA, D.M., 2017.** Chirosurveillance: The use of native bats to detect invasive agricultural pests. *PLoS ONE* 12, e0173321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173321>

**PIÑOL J., MIR G., GOMEZ-POLO P., AGUSTÍ N., 2015.** Universal and blocking primer mismatches limit the use of high-throughput DNA sequencing for the quantitative metabarcoding of arthropods. *Molecular Ecology Resources* 15, 819–830. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12355>

**POMPANON, F., DEAGLE, B.E., SYMONDSON, W.O.C., BROWN, D.S., JARMAN, S.N., TABERLET, P., 2012.** Who is eating what: diet assessment using next generation sequencing. *Molecular Ecology* 21, 1931–1950. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05403.x>

**SHEHZAD, W., RIAZ, T., NAWAZ, M.A., MIQUEL, C., POILLOT, C., SHAH, S.A., POMPANON, F., COISSAC, E., TABERLET, P., 2012.** Carnivore diet analysis based on next-generation sequencing: application to the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in Pakistan. *Molecular Ecology* 21, 1951–1965. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05424.x>

**TABERLET, P., COISSAC, E., HAJIBABAEI, M., RIESEBERG, L.H., 2012.** Environmental DNA. *Molecular Ecology* 21, 1789–1793. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05542.x>

**VESTERINEN, E., LILLEY, T., LAINE, V., WAHLBERG, N., 2013.** Next Generation Sequencing of Fecal DNA Reveals the Dietary Diversity of the Widespread Insectivorous Predator Daubenton's Bat (*Myotis daubentonii*) in Southwestern Finland. *PLoS one* 8, e82168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082168>

# Piégeage de micromammifères à l'aide de pièges permettant la capture d'animaux vivants

Par **Jean-François DESMET**

(jfdesmet@wanadoo.fr)

G.R.I.F.E.M. Groupe de Recherches et d'Information sur la Faune dans les Ecosystèmes de Montagne - 159 Place du Criou F-74340 SAMOENS



Musaraigne alpine *Sorex alpinus*, espèce mal connue en France, probablement peu abondante et localisée dans le quart sud est de l'hexagone.

## Remarques préliminaires

Cet article reprend le contenu d'un document élaboré à la demande de la FRAPNA Haute-Savoie, comme fiche technique destinée à la plateforme de l'Atlas des mammifères de Rhône-Alpes en cours de réactualisation.

Les informations ci-dessous ne sont absolument pas exhaustives. Il s'agit d'une modeste sélection synthétique de conseils, avis ou combines, en partie personnels, apportant un éclairage et offrant une première approche de la technique.

Les indications fournies concernent avant tout des piégeages visant à capturer diverses espèces (tailles et biologies variées) potentiellement présentes sur un site, comme dans le cas classique d'études plurispécifiques de la faune. Pour des études plus ciblées visant une espèce précise (ou plusieurs espèces proches), on aura souvent recours à des dispositifs beaucoup plus sélectifs, adaptés et souvent modifiés pour le ou les taxons concernés.

## Objectifs et intérêt du piégeage de micromammifères

L'intérêt de cette technique est de permettre de détecter certains animaux discrets, farouches, nocturnes... et dont l'identification nécessite souvent des prises de mensurations ou l'examen précis de détails en main ; ceci dans le but d'inventorier, mettre en évidence la présence de nouvelles espèces, réaliser des diagnostics écologiques ou des études génétiques.

La pratique de ce genre de piégeage est assez chronophage et fatigante (plusieurs levées dans la nuit pour les contrôles). Elle est à mettre en œuvre uniquement par bonnes conditions météorologiques.

Elle complète efficacement la recherche de pelotes de réjection et leur analyse, en particulier dans les secteurs où l'Effraie est rare ou absente, avec l'avantage d'apporter des informations sur les lieux et milieux précis fréquentés par les espèces.

## Les pièges à micromammifères

Divers types de pièges à micromammifères existent. Ne sont concernés ici que les pièges permettant de capturer vivants et relâcher les individus, et donc répondant aux objectifs naturalistes « habituels ».

L'efficacité de ces pièges s'appuie sur « l'effet galerie » attractif attirant la curiosité de l'animal ainsi que sur l'effet olfactif de l'appât. Ils peuvent fonctionner sans appât mais moins efficacement, avec l'inconvénient de ne pas permettre l'alimentation de l'animal et donc un risque supplémentaire pour sa survie. Les principaux modèles les plus classiquement utilisés sont représentés ci-dessous (**Figure 1 ; Tableau 1**).

Les pièges 1 et 2 présentent à l'arrière, dans le prolongement du tunnel avec mécanisme de fermeture, une partie habitacle plus spacieuse que l'on peut garnir en matériaux (foin, paille) permettant à l'animal de s'y réfugier et de s'y calfeutrer.



Figure 1.

1-Piège Longworth ; 2-Piège TripTrap ; 3-Piège INRA ; 4-Piège type Sherman (plusieurs tailles)

Ceci permet une intéressante isolation thermique et certainement un effet rassurant pour le captif.

Le piège 3 peut, grâce à un bricolage simple, être lui aussi complété par une partie habitacle construite en bois (contreplaqué marine) adaptée à la partie postérieure du tunnel métallique, après que la petite paroi amovible de fond ait été ôtée (possibilité aussi de commander cette partie habitacle bois en option).

Compte tenu de la place intérieure disponible, il est plus délicat de disposer ce matériau de rembourrage intérieur isolant/rassurant au fond du piège 4 sans risquer de gêner le mécanisme de fermeture du piège, sauf en apportant des modifications permettant l'ajout d'un aménagement en bois comme précédemment (voir plus loin).

Sont également parfois utilisés les pièges

cage en grillage de différentes tailles et modèles, style 5 (**Figure 2**).

Tous ces pièges ne sont pas sélectifs et donc susceptibles de garder captif tout animal dont les dimensions permettent de s'y introduire et suffisamment lourd pour déclencher le mécanisme de fermeture.

### Avis personnel, recommandations

Pour la majeure partie des micromammifères de petite taille (musaraignes, petits campagnols, mulots, souris...), les modèles 1, 2 ou 3 avec partie habitacle nous semblent bien préférables et à privilégier pour leurs parois fermées et la possibilité de mise à disposition de rembourrage dans l'habitacle assurant mieux l'isolation et plus rassurant pour les animaux capturés.

**Tableau 1.**

Principaux modèles de Pièges à micromammifères les plus classiquement utilisés.

Piège Longworth (1)	Piège style TripTrap (2)
<p>Métal. Solidité/durabilité. Sensibilité du déclenchement de fermeture réglable. Prix (ordre d'idée) 80-85 € TTC.</p>	<p>Plastique. Fragilité relative. Mais il suffit de prendre le temps de les manipuler précautionneusement. Intéressant d'avoir la possibilité d'acheter quelques portes supplémentaires (voire autres pièces du mécanisme de fermeture) pour remplacement en cas de casse ou détérioration. Prix (ordre d'idée) 6-9 € TTC (sans partie habitacle spacieuse).</p>
Piège INRA (3)	Piège Sherman (4)
<p>Métal. Solidité/durabilité. Prix (ordre d'idée) 9 € TTC (sans habitacle : à bricoler soi-même) ou 14 € TTC (avec habitacle bois fourni).</p>	<p>Métal. Solidité/durabilité. Pliable, donc encombrement réduit pour transport loin. Prix (ordre d'idée) 25-60 € TTC (selon taille).</p>



**Figure 2.**  
5-Piège cage en grillage

Les modèles Sherman et piège cage en grillage (en grandes tailles) sont toutefois intéressants/utiles pour la capture des grosses espèces, compte tenu de leur taille et de leur sensibilité a priori moindre au refroidissement (genres *Rattus* et *Arvicola* ; Loir, Lérot).

Parmi les bons compromis (avis personnel sur les dimensions, solidité, performances question survie des animaux, prix) et pour un matériel assez polyvalent (capture de musaraignes, petits campagnols, *Arvicola*, mulots, souris, rats...), on retiendra le choix du modèle « *Large piège Sherman avec déclencheur et porte galvanisés (LFATDG)* ». Ce modèle peut encore être amélioré question volume, et donc confort/survie des bêtes capturées, par un bricolage simple et peu coûteux (quelques euros) visant à supprimer la paroi du fond et solidariser le piège avec une partie habitacle bois postérieure ajoutant volume et isolation ([voir plan de fabrication](#)).

Le modèle INRA complété par une partie postérieure habitacle en bois est également une bonne solution mais adaptée aux plus petites espèces.

A éviter : certains modèles de pièges (type cage en grillage) permettant la capture de plusieurs individus (risque de combat et de mortalité des animaux captifs confinés).

## Se procurer des pièges à micromammifères

### Où acheter ? Quel prix mettre ?

Pour les pièges Longworth, Sherman, TripTrap, voir sur les sites spécialisés comme Wildcare ([www.wildcare.eu](http://www.wildcare.eu)), etc. Compter un peu plus d'une trentaine d'euros (par piège) pour le modèle Large piège Sherman (LFATDG) chez Wildcare. Pour le piège INRA, env. 9-15 euros, voir sur le site [www.bttmecanique.fr](http://www.bttmecanique.fr).

Pour les pièges cages en grillage : magasins de chasse, de matériel agricole, de jardin, ou de bricolage, quincailleries ; les prix sont variables.

### Combien en acheter ?

Le nombre de pièges à acquérir dépend des objectifs fixés. Selon la période, les conditions météo, les milieux, et le nombre de pièges posés, le rendement par nuit est variable (de 0 capture, à  $\frac{3}{4}$  des pièges posés ayant permis une capture). Bien évidemment, plus on pose de pièges dans de "bonnes conditions" mieux ça fonctionne !

L'acquisition d'une ou quelques unités de pièges présente un intérêt limité permettant éventuellement quelques captures anecdotiques opportunistes.

L'acquisition et la pose d'un minimum de 20-25 pièges commence à être intéressante.

## La préparation des pièges et de leur pose

Avant la première utilisation du matériel, il est bon d'apposer, sur chaque piège et de manière visible, une étiquette mentionnant les coordonnées de la structure/personne à l'origine de l'étude, et précisant qu'il s'agit d'une étude scientifique en cours et qu'il convient de ne pas toucher au matériel en place.

Il est par ailleurs très utile d'apposer un numéro ainsi qu'un bout de scotch

fluorescent sur chaque piège ; la mise en place sur le terrain des pièges dans l'ordre de numérotation facilitera grandement leur repérage lors des contrôles ou de leur récupération en évitant les oublis et pertes ; les repères fluorescents aideront également à leur visualisation lors des parcours nocturnes (**Figure 3**).

Il peut éventuellement être intéressant de préparer de simples baguettes (~60 cm de long), avec ou sans repère évident, pour visualiser efficacement l'endroit précis de chaque piège lors de la pose.

Juste avant l'opération de captures, la préparation de chaque piège consiste à :

- garnir la partie habitacle d'un bon volume de matériau (foin, paille) afin de proposer un refuge douillet et isolant ;
- placer un appât. Il convient de mettre à disposition de la nourriture convenant aux exigences des diverses espèces susceptibles d'être capturées



© J.F. DESMIET

Le mulot sylvestre *Apodemus sylvaticus* est régulièrement piégé dans nombre de formations arborescentes, de même qu'aux abords ou dans les habitations.

(campagnols plutôt végétariens, musaraignes « carnivores », mulots omnivores). Une bonne solution (parmi d'autres) consiste à placer par exemple une rondelle de carotte ainsi qu'une boulette (diamètre env. 2,5 cm) composée d'un mélange : viande hachée + sardines à l'huile avec leur huile + flocons d'avoine + gouttes de viandox. Le mélange beurre de cacahuètes + lard haché très fin est également une option odorante et énergétique intéressante ;

- ne pas oublier une boule de coton fortement imbibée d'eau (les musaraignes en particulier ont besoin de boire régulièrement).

### La pose des pièges et leur contrôle

En région Rhône-Alpes, la période favorable d'utilisation de cette technique

peut aller de mars-avril à octobre-novembre selon les localités et conditions. Suite aux diverses portées annuelles, et avant la mortalité et la pause hivernales, la fin d'été-automne est un créneau intéressant, les micromammifères étant a priori plus abondants sur le terrain.

On privilégiera bien évidemment de bonnes conditions météorologiques (sans intempéries ni températures trop fraîches) afin de réduire les risques de mortalité et de pouvoir relâcher les animaux dans leur milieu le plus favorablement possible.

Afin d'éviter les risques éventuels de vandalisme ou vol du matériel, une mise en place discrète des pièges sur le terrain est recommandée. Selon le protocole de l'étude et les conditions locales, le matériel pourra être laissé en place durant plusieurs jours et nuits, ou, au contraire, placé en fin de journée et retiré le lendemain matin.

S'ils ne peuvent être visités régulièrement,



© J.F. DESMET

La crocidure musette *Crocidura russula* est fréquente vers les murets et rocailles, dans les jardins ou au voisinage des habitations.

les pièges doivent être fermés ou leur mécanisme de fermeture neutralisé.

Avant la pose effective des pièges, une visite des lieux durant la journée permet de repérer et présélectionner les micro endroits propices les plus prometteurs.

Le mode de pose des pièges sur le terrain dépend des objectifs visés par l'étude ; il est donc adapté au protocole scientifique précis retenu :

- dans le cas d'un échantillonnage stratifié visant à comparer des milieux ou autres unités retenues (comparaisons semi quantitatives, etc.) : régulièrement le long de transects, répartition standardisée par groupes dans des localités tirées au sort ;
- dans le cas d'un sondage sur un site visant à collecter le maximum d'espèces différentes (inventaire qualitatif dans le cadre d'un atlas de répartition) : disposition opportuniste en fonction des micro cachettes et passages potentiels repérés sur le terrain (proximité d'anfractuosités naturelles, d'entrées de galeries d'animaux repérées, le long de murets, le long de cours d'eau, en bordure d'habitations, au pied d'arbres avec espaces entre les racines, fentes de lapiaz végétalisées, crevasses du sol, coulées, crotiers).

Les pièges sont disposés en suivant l'ordre de leur numéro respectif et en mémorisant (voire cartographiant) le point de départ et le tracé à suivre lors des levées nocturnes à venir. Quand cela semble nécessaire, les pièges seront dissimulés sous des feuilles, de la mousse ou autres matériaux naturels afin de les soustraire au mieux à l'œil humain. Du coup, il n'est parfois pas inutile de planter à côté une petite baguette verticale (petit rameau d'environ 60 cm de long par exemple) facilitant leur repérage par le naturaliste lors des contrôles nocturnes.

La mise en place se fait de jour, dans la soirée, et la désinstallation généralement après l'aube afin de profiter au maximum de la période d'activité non souterraine principalement nocturne des bêtes. A noter que pour optimiser la nuit de piégeage programmée, et quand cela semble envisageable, il est également possible de mettre en place sur le terrain, un ou plusieurs jours auparavant, les divers pièges en position ouverte mais avec système de fermeture bloqué (certains modèles sont à l'origine conçus avec un tel système de neutralisation). Ce procédé permet aux animaux de leur donner le temps de repérer la présence des pièges et des appâts attractifs, les fréquenter et de les y habituer avant de procéder à la réelle opération de capture. Les musaraignes, au métabolisme élevé, paraissent généralement plus sensibles à la capture et à la détention longue. Elles sont susceptibles d'être capturées partout où elles sont potentiellement présentes ... c'est-à-dire dans une grande majorité de biotopes !

Ainsi, selon les conditions régnantes, et malgré la mise à disposition de matériau isolant, de nourriture et d'eau, il convient donc de faire des relevés réguliers des pièges, avec des intervalles allant de 1-2 heures à 3-4 heures (ne pas hésiter à moduler et adapter selon les résultats constatés) afin de maintenir le moins possible les animaux captifs et les libérer au plus vite, et ainsi minimiser le risque de mortalité.

Avec un bon protocole consciencieusement suivi et du bon matériel celui-ci peut être vraiment réduit au minimum !



**Figure 3.**

Exemples de lieux pour la pose de pièges (numérotés, avec repères fluorescents) : le long de murets, en bordure d'un cours d'eau, près d'anfractuosités de sol forestier.

## Le relevé des pièges à micromammifères, examen et relâcher des animaux capturés

Lors des relevés, lorsqu'un piège est trouvé fermé, il est pratique de l'ouvrir prudemment dans un seau assez profond (les mulots sautent haut !) ou mieux, dans un grand sac plastique épais transparent. Afin de manipuler et mieux examiner de près l'animal, on peut le maintenir par la peau de la nuque, entre pouce et index et à travers le sac plastique et retrousser ensuite doucement le sac autour de lui tout en le maintenant convenablement.

On consignera la date, l'heure du relevé, le lieu, le nombre de pièges posés, les caractéristiques des lieux de pose ainsi que les détails concernant les animaux capturés.

Pour l'identification des animaux, se reporter aux multiples clés et autres documents de détermination disponibles et mis à jour régulièrement en relation avec l'évolution des connaissances.

Les animaux sont ensuite relâchés sur place dans les meilleurs délais.

## Le point réglementation

Pour poser des pièges sur le terrain, il convient d'avoir l'accord des propriétaires des parcelles concernées (terrains privés) ou des gestionnaires.

Ces pièges sont non soumis à une législation (pièges déclassés). Il n'y a donc pas besoin d'être piègeur agréé. De plus, ce sont des pièges non létaux.

Toutefois dans les milieux où sont susceptibles d'être capturés les 4 micromammifères protégés : Crossope aquatique (*Neomys fodiens*), Crossope de Miller (*Neomys anomalus*), Muscardin (*Muscardinus avellanarius*) et Campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*), il convient d'être détenteur d'une dérogation pour leur capture et manipulation et donc d'en faire la demande au préalable auprès de la DDT ou de la DREAL (formulaire cerfa). Un compte-rendu des opérations et des résultats devra ensuite être adressé à ces services.



La crossope aquatique *Neomys fodiens*, espèce protégée parfois bien présente mais passant souvent inaperçue par les techniques d'observation directe.



Campagnol roussâtre *Myodes glareolus*, commun dans les milieux forestiers.

Pour citer cet article :

**DESMET, J.F. 2018.**

Piégeage de micromammifères à l'aide de pièges permettant la capture d'animaux vivants  
*Plume de Naturalistes 2* : 77-86.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes* :  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Le retour des Aigles pêcheurs dans le Grand Est

Par **Edouard LHOMER**

(lorraine\_association\_nature@yahoo.fr)

Balbusard pêcheur



© Photo : Jean-Baptiste PONS

## Résumé

Après avoir disparu au siècle dernier, le Balbusard pêcheur (*Pandion haliaetus*) et le Pygargue à queue blanche (*Haliaeetus albicilla*) ont fait leur retour parmi l'avifaune nicheuse du Grand Est depuis une dizaine d'années. En 10 ans, la population de Balbusard est ainsi passée de un à six couples répartis surtout au sein de deux micronoyaux en Moselle-est et en Argonne. La croissance de cette population naissante devrait s'accélérer dans les prochaines années étant donné la dynamique de l'espèce, les échanges avec les populations proches (région Centre en particulier) et la forte capacité d'accueil des milieux dans le Grand Est. Pour le Pygargue, l'évolution est bien plus lente et l'installation d'un second couple est très attendue en Champagne-Ardenne. Les causes avancées sont d'abord la distance élevée avec la population source la plus proche (nord-est de l'Allemagne) ainsi que les caractéristiques démographiques intrinsèques à l'espèce.

## Abstract

After becoming extinct during last century, the Osprey (*Pandion haliaetus*) and the White-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) have recently made a return amongst the breeding birds of the Grand Est. In 10 years, the osprey population has grown from 1 to 6 couples mainly distributed in two areas in Moselle-east and Argonne. This new population should rapidly grow in a few years due to the health of the neighboring populations (region Centre in particular) and a good proportion of favourable habitats in Grand Est. On the contrary, with only one nesting pair, the return of the White-tailed eagle is quite slow but we are expecting a second pair to settle soon in Champagne-Ardenne. The difference in population growth between the two species can be explained by a weaker reproduction rate in the white-tailed eagle and because the nearby population is located far away in north-east of Germany.

## Introduction

### Historique

A l'instar de bien des espèces de rapaces, les deux espèces d'Aigles pêcheurs que sont le Balbuzard pêcheur et le Pygargue à queue blanche ont largement souffert de campagnes de persécutions de la part de l'Homme (tir, piégeage, empoisonnement...) au cours des derniers siècles en France et en Europe. Le déclin s'est accéléré plus particulièrement à partir de 1800, avec la généralisation de l'utilisation du fusil de chasse conduisant à l'extinction des deux espèces dans plusieurs pays européens (ORABI, 2012). Autrefois présentes dans de nombreuses

régions, c'est au cours du XX<sup>e</sup> siècle qu'elles ont toutes deux disparues de l'avifaune nicheuse de France continentale. C'est par la suite, à la faveur de la mise en place de lois de protection sur les espèces et les habitats dans de nombreux pays, que le déclin des populations européennes d'Aigles pêcheurs a finalement été stoppé. Après une période de stagnation, la remontée de leurs effectifs constatée à partir des années 1980 n'a pu se faire qu'après la mise en place de mesures de conservation fortes dans plusieurs pays européens (protection des aires de nidification, placettes d'alimentation, réintroduction...) et l'interdiction de plusieurs molécules chimiques toxiques (organochlorés et phosphorés) qui constituaient alors une nouvelle menace pour les Aigles pêcheurs (ORABI, 2012). Ainsi, le Balbuzard pêcheur et le Pygargue à queue blanche ont vu leurs populations repartir à la hausse et les anciens territoires ont été recolonisés progressivement en Europe centrale et du Nord. Chez le Pygargue, les effectifs européens ont pratiquement doublé entre 1990 et 2010. En Allemagne, la population nicheuse a connu un essor encore plus spectaculaire, passant de 160 couples à 700 couples sur la même période (ORABI, 2012) !



Pygargue à queue blanche

© Photo : Edouard Lhomer

## Un retour récent

### Balbusard pêcheur :

La recolonisation par les Aigles pêcheurs de leurs anciens territoires a continué vers l'Ouest, et c'est dans les années 1980 que le Balbusard pêcheur a officiellement recouvré son statut de nicheur en France continentale avec la première preuve récente de reproduction en forêt d'Orléans (45). Autour de ce couple s'est alors créé petit à petit un nouveau noyau de population (sept couples en 1999). Pour soutenir le développement de l'espèce, un premier Plan National de Restauration a vu le jour pour la période 1999-2003. Grâce aux actions entreprises, la population de France continentale a continué son expansion et a atteint 20 couples en 2004. La consolidation de ce noyau en région Centre a permis l'installation progressive de couples essaimant dans d'autres régions : Île-de-France en 2005, Maine-et-Loire en 2006, Moselle en 2007 et Yonne en 2011 (NADAL *et al.*, 2012).

En ce qui concerne la population corse, l'évolution montre une hausse modérée depuis les années 1990 : le nombre de couples nicheurs est passé de 20 à 29

entre 1993 et 2008 (DOMINICI & NADAL, 2009).

En Lorraine, le premier couple s'est installé sur le territoire du domaine de Lindre, géré par le Conseil Départemental de Moselle, qui est constitué d'une mosaïque d'étangs piscicoles à gestion extensive et entouré de grands massifs forestiers. Une aire a été construite au cours de l'été 2007, puis une première tentative de nidification a été avortée en 2008 (HIRTZ, 2008), mais le succès a été au rendez-vous l'année suivante. Ce couple s'est installé sur une plateforme artificielle construite en 1999 par le Conseil Départemental de Moselle et l'ONF, dans le cadre du Plan National de Restauration de l'espèce. Les deux individus sont bagués et proviennent tous deux de la région de Saxe (Allemagne orientale), à plus de 600 km au nord-est du domaine de Lindre (WAHL in HIRTZ, 2008). Aujourd'hui encore, ce sont les mêmes individus qui nichent fidèlement sur ce site depuis plus de 10 ans, ils sont âgés respectivement de 13 ans (mâle) et 15 ans (femelle).

### Pygargue à queue blanche :

Le retour a été plus lent pour le Pygargue et s'est effectué en 2 phases : d'abord via une augmentation du nombre d'individus hivernants à partir de 1970, puis avec les premiers estivages et tentatives de reproduction en 2011 dans la région Grand Est. La création de lacs réservoirs en Champagne-Ardenne (lac du Der, lac-réservoir Aube) et l'existence d'un réseau important d'étangs et de fleuves dans le Grand Est ont permis d'accueillir des effectifs croissants de Pygargue à queue blanche en hiver. Ainsi, on comptait en France en moyenne 6 individus dans les années 50 chaque hiver contre une vingtaine dans les années 90, dont 75 % en région Grand Est (ORABI, 2012).

C'est en 2011 que la première preuve



Balbusard pêcheur

© Photo : Jean-Baptiste PONS



de reproduction récente de l'espèce en France est apportée, avec l'observation de deux juvéniles à la mi-août sur le secteur du Domaine de Lindre en Moselle. Ils sont ensuite revus en compagnie d'un couple de pygargues subadultes/adultes, et la découverte d'une grosse aire à proximité au printemps suivant confirmera cette preuve de reproduction locale. Les deux oiseaux formant ce couple sont observés ensemble pour la première fois à l'automne 2009, puis un estivage est constaté en 2010 et 2011. L'âge moyen de première reproduction est de 5 ans chez le Pygargue à queue blanche mais dans de rares cas des individus peuvent se reproduire dès 3 ans (ORABI, 2012). Pour ce couple mosellan, leur plumage indiquait que la femelle était dans sa quatrième année lors de sa première reproduction en 2011, tandis que le mâle était âgé de six ans.

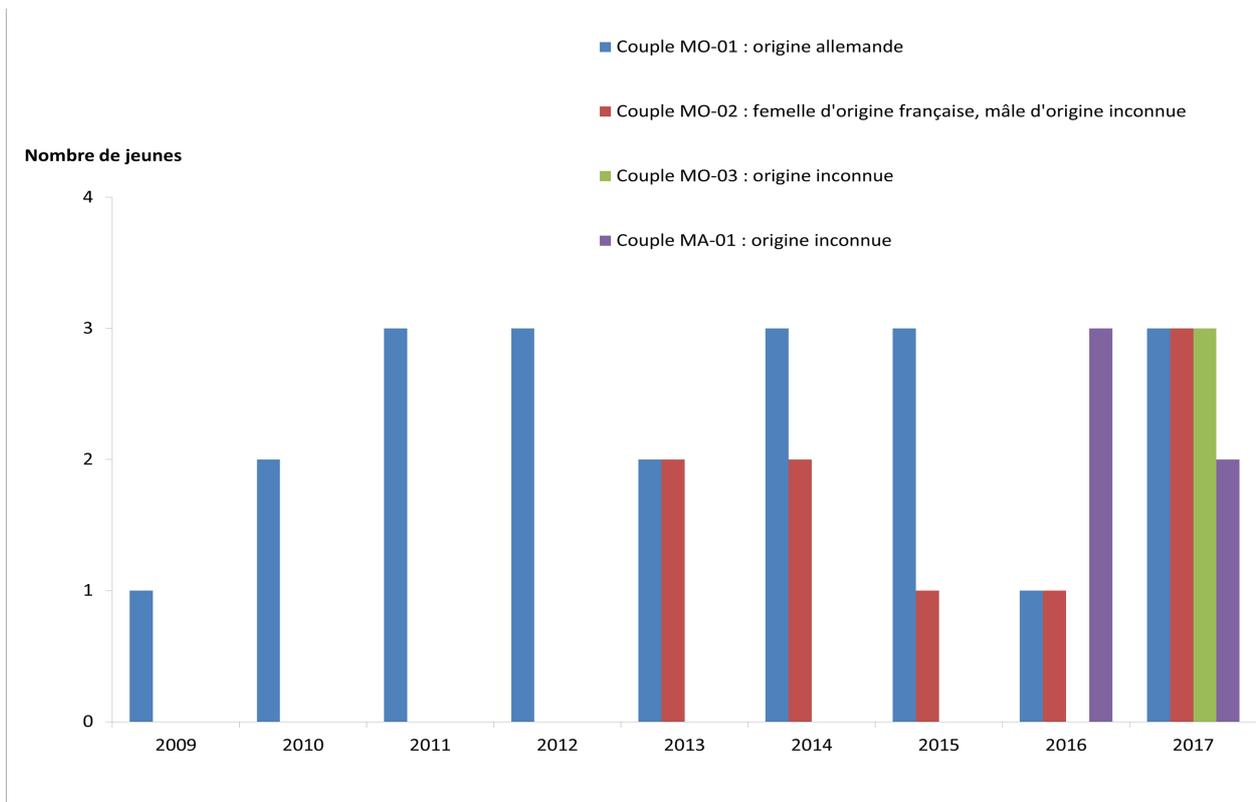
Côté Champagne-Ardenne, un immature est observé pour la première fois après la saison hivernale en mai 2011 durant deux mois (ROUGÉ, comm. pers.). Puis en 2014,

c'est un estivage complet d'un immature qui a lieu. Les années suivantes, d'autres estivages d'immatures aussi bien que d'adultes sont constatés. Parallèlement, on observe des adultes qui semblent appariés au cours de l'hiver. Enfin, une grosse aire est découverte en forêt dans le secteur du lac du Der en 2011, mais elle semble abandonnée (dérangement ?) et n'est plus occupée par la suite.

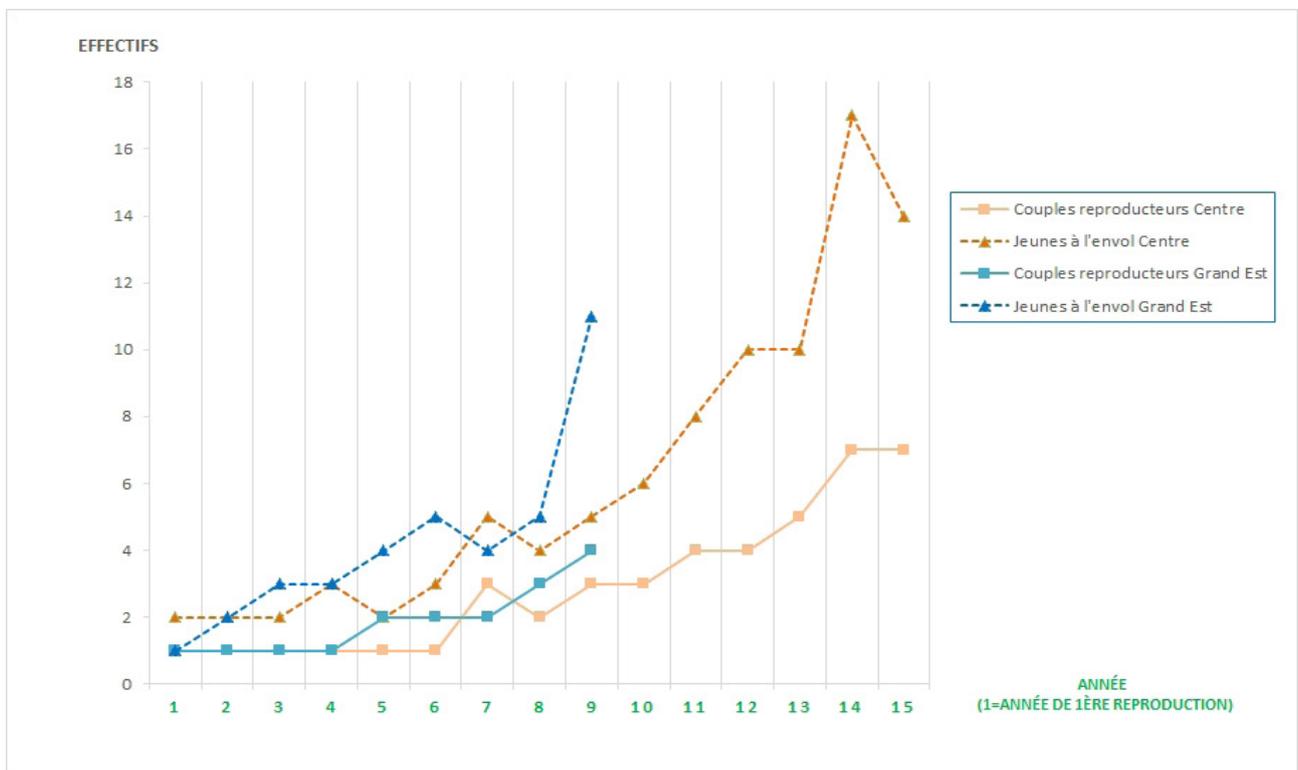
## DYNAMIQUE DE POPULATION

### Balbusard pêcheur

En Moselle, le deuxième couple de Balbusards pêcheurs s'est installé en 2013 sur une autre plateforme construite en 2009 par l'ONF et située également à proximité du domaine de Lindre. Contrairement au premier couple, ce dernier a pu produire immédiatement deux jeunes dès 2013. La femelle, porteuse d'une bague orange codée T6, a été baguée au nid en 2009 en forêt d'Orléans à 335 km de distance



**Figure 1.** Evolution du nombre de jeunes à l'envol pour les couples reproducteurs de Balbuzard pêcheur dans le Grand Est.



**Figure 2.** Comparaison de la croissance des populations de Balbuzard pêcheur du Centre et du Grand Est au début de leurs installations respectives.

du nid (WAHL, comm. pers.). Le mâle n'est pas bagué mais il est possible qu'il soit issu d'une des nichées du premier couple mosellan (HIRTZ, comm. pers.).

En 2015, un Plan Régional d'Actions sur les Aigles pêcheurs : le Balbuzard pêcheur et le Pygargue à queue blanche, a été mis en place en Lorraine pour une durée de cinq ans. Ces deux espèces présentent sur beaucoup d'aspects de fortes similitudes écologiques et les actions développées dans ce plan sont profitables aux deux. Ce PRA est coordonné par LoANa (Lorraine Association Nature), pour plus de détails le document complet est consultable ici : <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/plan-regional-d-actions-Balbuzard-pecheur-et-a16560.html>.

Dans le cadre du PRA, la recherche de nouveaux couples a permis de faire état dès 2016 de tentatives d'installation pour les deux espèces sur de nouveaux secteurs. La surveillance des couples connus et des menaces pesant sur eux constitue un axe de travail important à poursuivre, en particulier sur la prise en compte des deux espèces dans les projets de parcs éoliens. Enfin, la récente fusion des régions au sein d'un territoire « Grand-Est » appelle au renforcement de la collaboration déjà entamée avec les partenaires de Champagne-Ardenne et d'Alsace avant de préparer un PRA Aigles pêcheurs Grand Est en 2019.

A propos des installations récentes, en 2017 un troisième couple de Balbuzard s'est installé en Moselle sur une plateforme mise en place par LoANa fin 2015 au Pays des Etangs, à moins de 10 km des deux autres couples. Pour leur première année d'installation, les deux adultes de ce couple ont réussi leur reproduction avec brio et ont mené trois jeunes à l'envol. Aucun des deux adultes n'était bagué, leur origine est donc inconnue. Il est possible qu'il s'agisse de jeunes issus des deux couples

historiques mosellans nés il y a plus de trois ans et de retour sur leur territoire de naissance, les jeunes Balbuzards ayant une philopatrie assez forte.

Côté Champagne-Ardenne, c'est en 2016 qu'a eu lieu la première reproduction depuis plus de 60 ans d'un couple de Balbuzard en Argonne marnaise, en limite avec la Meuse. Suspecté nicheur depuis quelques années dans ce secteur par la LPO Champagne-Ardenne, des prospections plus poussées en 2015 avaient permis de découvrir un nid naturel construit à la cime d'un Epicéa commun (*Picea abies*) (HANOTEL & SPONGA, comm. pers.). La femelle était alors observée en couvain en début de saison, puis l'abandon du nid avait été constaté, peut-être à cause d'un dérangement. Ce nid en équilibre précaire a été détruit l'hiver suivant sous les assauts des coups de vent. Afin d'éviter l'abandon du site par le couple à leur retour au printemps, il a alors été décidé en accord avec la LPO Champagne-Ardenne d'installer une plateforme à proximité de l'ancien nid pour inciter les oiseaux à rester sur ce site peu fréquenté par l'Homme. Celle-ci a été adoptée immédiatement la même année et ce couple a produit trois jeunes à l'envol pour sa première reproduction.

Non loin de ce site mais côté Meuse, une tentative d'installation par un autre Balbuzard a eu lieu en 2017 sur un conifère étié (G. LECLER, comm. pers.). Cet oiseau mâle a été observé sur l'ébauche de nid jusqu'en fin de saison (juin-juillet), il était bagué et originaire d'Allemagne. En 2018, le même oiseau est revenu et a trouvé une partenaire, la reproduction est en cours. Encore une fois, ces nouvelles installations qui se déroulent dans un secteur proche de nids occupés témoignent du caractère semi-colonial propre au Balbuzard et soulignent l'importance des prospections

**Tableau 1.** Phénologie de reproduction du couple lorrain de Pygargue à queue blanche (2011-2017).

Année	Date de ponte	Eclosion	Date d'envol	Départ des jeunes du secteur
2011	01-15 avril	10-25 mai	25 juillet au 10 août	Novembre
2014	01-10 avril	15-25 mai	25 juillet au 05 août	Octobre
2015	25 février au 10 mars	10-25 avril	25 juin au 10 juillet	Novembre
2016	05-23 mars	15 avril au 05 mai	10-14 juillet	Octobre
2017	25 février au 02 mars	10-17 avril	25-29 juin	Fin octobre

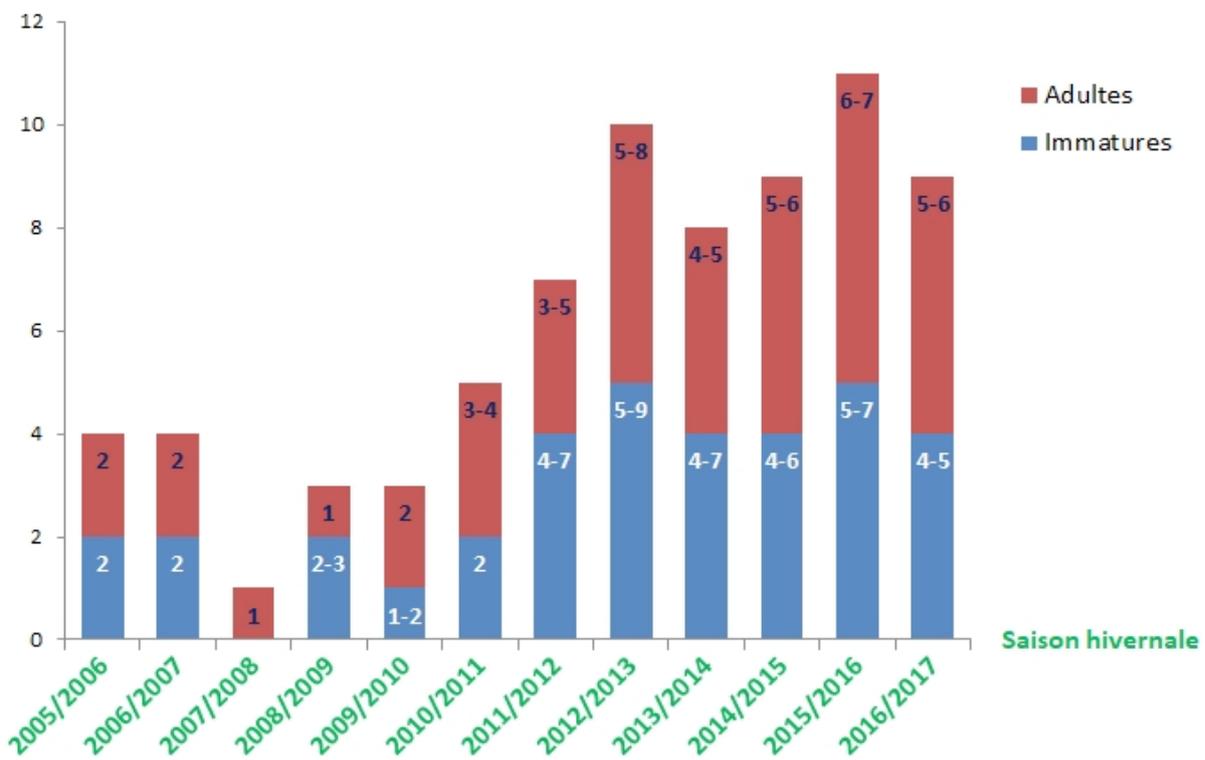
dans les secteurs où des couples sont déjà installés.

En Moselle, on note une productivité moyenne (nombre de jeunes à l'envol par couple reproducteur) pour le premier couple historique égale à 2,3 et pour le second à 1,8 (**Figure 1**). Sur la période 2012-2017, la productivité moyenne pour les Balbuzards du Grand Est atteint 2,29, ce qui est un peu plus élevé qu'en région Centre (P = 1,64) pour la même période (WAHL, comm. pers.). Cependant, ce résultat est peu significatif puisqu'il concerne pour le moment un faible nombre de couples. On peut toutefois noter qu'en tant que population pionnière installée dans des secteurs où les capacités d'accueil sont élevées, elle est sujette à une faible concurrence entre les couples pour l'occupation des nids et pour les ressources alimentaires. Une analogie peut être faite avec le début de l'installation de la population de Balbuzard en région Centre qui est passée de 1 à 4 couples reproducteurs de 1985 à 1995, avec une productivité moyenne de 2,12 (WAHL, comm. pers.).

La **Figure 2** montre une comparaison de la croissance de la population de la région Centre au début de son installation (année

de 1ère reproduction : 1985) avec celle de la région Grand Est plus récemment (année de 1ère reproduction : 2009). On constate une progression assez similaire bien qu'un peu plus rapide dans le Grand Est, mais le contexte y est probablement plus favorable (habitats, surface concernée, connexion avec les populations proches...). La mise à disponibilité de plateformes artificielles à proximité des sites occupés est également un élément clé pour expliquer la rapide augmentation du nombre de couples de Balbuzard dans le Grand Est. Ainsi en région Centre, l'installation d'aires artificielles a largement contribué à l'augmentation des couples nicheurs, en retenant les balbuzards d'origine allemande, en améliorant le succès reproducteur et en favorisant la nidification des jeunes oiseaux (WAHL & BARBRAUD, 2005). La majorité des couples nicheurs en France continentale occupe des aires installées à leur intention. Dans les autres pays européens, ces aires artificielles sont également largement utilisées. En Finlande, sur une population d'environ 800 couples, près de la moitié des couples se reproduit sur des aires artificielles (SAUROLA, 2006).

En Alsace, l'espèce n'est pas encore nicheuse mais on constate une hausse du



**Figure 3.** Evolution du nombre estimé de pygargues hivernant en Lorraine (2005-2017).

nombre d'oiseaux observés en période de reproduction ces dernières années (mai-juillet), principalement le long du Rhin (N. HOFFMANN, comm. pers). Certains secteurs paraissent très favorables pour l'espèce et on peut s'attendre à une installation prochaine étant donnée la croissance des effectifs en Champagne et en Lorraine.

Pour conclure, il faut s'attendre dans les prochaines années à une progression plus rapide de l'espèce dans le Grand Est avec le passage très probable du palier de 10 couples dans moins de 10 ans, et ce à la faveur des actions de conservation mises en place pour le Balbuzard pêcheur.

### Pygargue à queue blanche

Après le succès de la première reproduction en 2011, le couple mosellan de Pygargue a connu 2 années successives d'échec. Plusieurs causes ont été avancées : dérangement par des observateurs/photographes, œufs non fécondés,

prédation des œufs par la Martre des Pins, mauvaises conditions météorologiques... Puis en 2014, le couple renoue avec le succès et produit deux jeunes qui prennent leur envol en août. Les deux années suivantes, un seul jeune est produit à chaque fois avec un envol précoce fin juin-début juillet pour 2015, tandis qu'il a lieu durant la première quinzaine de juillet en 2016. Enfin en 2017, ce sont deux jeunes qui sortent du nid fin juin.

On constate que les dates d'envol de 2015, 2016 et 2017 sont en avance d'environ un mois par rapport à 2011 et 2014. Deux raisons principales peuvent expliquer cela : d'abord les pygargues sont connus pour décaler leur reproduction de plus en plus tôt avec l'âge et l'expérience, ensuite lorsqu'il n'y a qu'un seul jeune à nourrir sa croissance est plus rapide (LOVE, 2013).

La productivité moyenne de ce couple depuis 2011 est de 1,1, ce qui est plutôt inférieur à la moyenne en Europe de l'Ouest. En Allemagne entre 1991 et 2005,

elle est estimée à 1,5 en moyenne (SULAWA *et al.*, 2010). Néanmoins les deux années d'échec en 2012 et 2013 seraient liées à des circonstances particulières, et il faudra attendre quelques années de plus pour avoir des résultats significatifs.

Le **Tableau 1** présente une estimation des dates clés de la reproduction pour le couple lorrain de Pygargue à partir des données de terrain transmises par les observateurs et des connaissances sur la biologie de l'espèce. Dans notre cas, les estimations des dates d'envol permettent d'en déduire rétrospectivement les dates de ponte et d'éclosion. Ces estimations peuvent être plus ou moins larges suivant les années, sachant que la priorité a toujours été donnée à la tranquillité des oiseaux lors du suivi (pas de visite au nid). Après leur envol, les jeunes sont vus régulièrement en compagnie des adultes ou seuls dans un périmètre de quelques kilomètres autour de l'aire pendant l'été et le début de l'automne. L'émancipation et leur départ ont lieu vers octobre-novembre. Des immatures sont observés régulièrement hors période d'hivernage sur différents plans d'eau favorables en Lorraine. Il s'agit probablement pour une partie d'entre eux de jeunes issus du couple mosellan, mais sans baguage on ne peut aller plus loin. En automne/hiver, les adultes du couple mosellan fréquentent toujours leur territoire mais élargissent leur rayon d'action et peuvent être observés jusqu'à 20 km de l'aire.

Depuis 2012, on signale aussi quelques observations de pygargues adultes en période de nidification sur d'autres secteurs riches en étangs en Moselle et en Argonne. Ces secteurs sont potentiellement favorables à l'espèce et restent à surveiller dans les années à venir. La hausse des effectifs de Pygargue hivernant en Lorraine et dans le Grand Est constatée ces dernières années permet

également de favoriser les interactions entre les individus et la formation de couples qui chercheront un territoire pour s'installer (**Figure 3**).

Par rapport au Balbuzard pêcheur, la dynamique de population chez le Pygargue dans le Grand Est paraît assez faible et peut s'expliquer par plusieurs facteurs. D'abord, l'âge de première reproduction chez le Pygargue est plus élevé de deux ans en moyenne que chez son « cousin » et la productivité des couples reste inférieure (ORABI, 2012). Ensuite, les couples nicheurs de Pygargue les plus proches sont situés dans le sud-est de l'Allemagne à plus de 300 km. Cependant il s'agit également de couples isolés, les noyaux de populations principaux sont quant à eux situés dans le nord-est de l'Allemagne, à plus de 500 km du couple nicheur mosellan. Etant donné leur philopatrie élevée, cet éloignement retarde l'installation de nouveaux couples de Pygargue à queue blanche et l'espèce ne présente pas de comportement semi-colonial, contrairement au Balbuzard pêcheur. Il va donc falloir encore un peu de patience pour voir s'accroître la population nicheuse de Pygargues dans le Grand Est et en France, mais des indices récents nous laissent optimistes là-dessus !

En Champagne-Ardenne, la reproduction de l'espèce est très attendue depuis

Balbuzard pêcheur



plusieurs années avec la multiplication des observations d'adultes appariés en hiver et qui restent au printemps/été (ROUGÉ, comm. pers.). Ensuite en Alsace, l'espèce est régulière en hivernage le long du Rhin mais n'est plus présente après le mois d'avril (HOFFMANN, comm. pers.). Enfin, une tentative d'installation récente d'un couple nous a été relatée en Brenne sans succès pour le moment (PHILIPPE, comm. pers.).

## PERSPECTIVES

Le retour récent des Aigles pêcheurs dans le Grand Est témoigne du succès des actions de protection et de conservation mises en place aux échelles européenne, française et locale. Chez le Balbuzard pêcheur, le développement de ce nouveau noyau de population renforce les mailles du réseau existant et favorise les échanges avec les noyaux les plus proches (région Centre, Allemagne), comme le reflètent les lectures de bagues dans le Grand Est. Pour le Pygargue à queue blanche, le chemin sera certainement plus long avant de pouvoir parler de « noyau de population ».

La poursuite des actions de conservation dans le Grand Est reste nécessaire pour accompagner ce retour, en particulier la protection des nids pour ces deux espèces très sensibles au dérangement. La coordination de ces efforts sous la forme d'un Plan Régional d'Actions pour la région Grand Est en 2019 renforcera leur efficacité, de même que la coopération avec les autres régions accueillant les Aigles pêcheurs. Ainsi, un projet de réintroduction du Balbuzard pêcheur en Aquitaine a été déposé cette année, tandis qu'en Méditerranée un autre projet a démarré en 2017 avec la pose de plateformes en Camargue. Plus

proche du Grand Est, un programme de réintroduction a démarré en Suisse en 2016 et devrait prochainement porter ses fruits.



Balbusard pêcheur



TAILLE: 55 cm  
ENVERGURE: 160 m  
POIDS: 1,50 ROISON  
REGIME: ROISON  
MI GRATEUR  
QUELQUE COUPLE

Pygarque à queue blanche



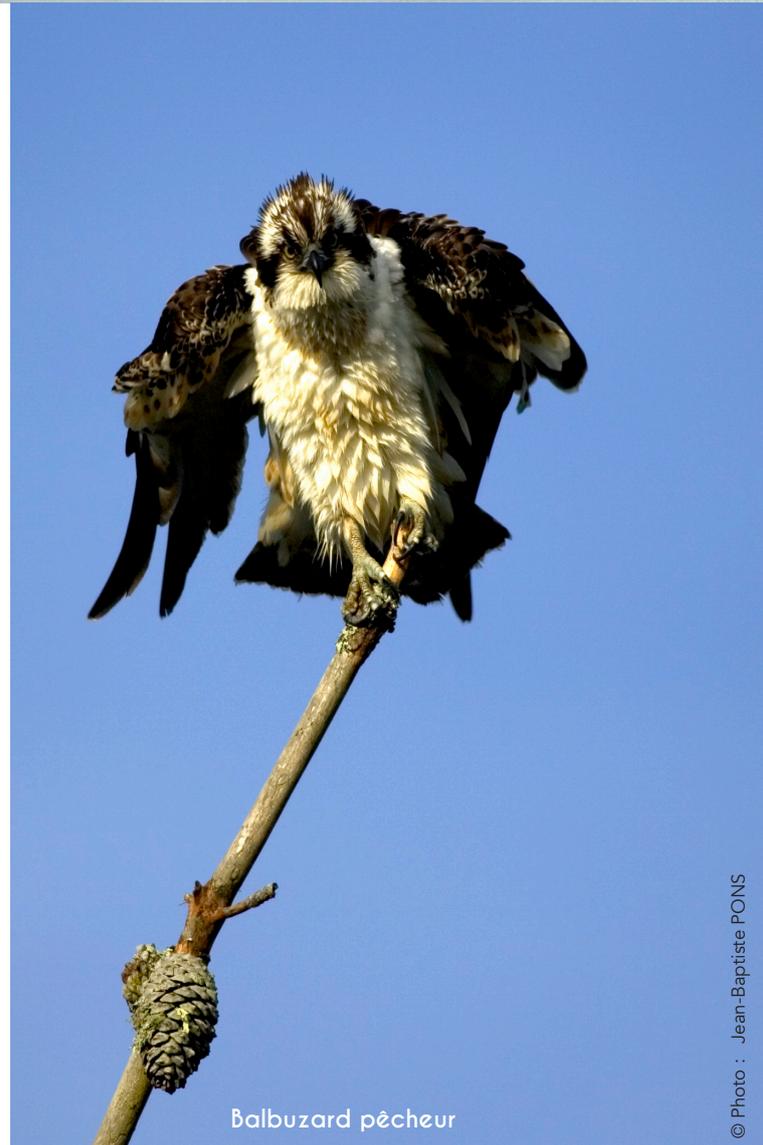
TAILLE: 90 cm  
ENVERGURE: 2,40 m  
POIDS: 5 kg  
RÉGIME: x POISSONS  
x OISEAUX d'EAU  
x CHARROOUES  
SÉDENTAIRE:  
1 COUPLE EN LORRAINE et  
EN FRANCE

*Il faut le protéger c'est  
une espèce disparait!*

*Il y en a un seul couple*

## Remerciements

Un grand merci à Rolf Wahl et Michel Hirtz pour leurs conseils et soutien depuis le début. Merci à tous les observateurs qui transmettent leurs données en Lorraine et dans le Grand Est, en particulier David Meyer et Dominique Lorentz. Merci aux coordinateurs Julien Rougé, Rémi Hanotel et Nicolas Hoffmann pour la Champagne et l'Alsace. Et merci à tous les relecteurs déjà cités ainsi qu'à Guillaume Leblanc. Merci enfin aux élèves de la classe primaire unique d'Avricourt 2018, pour leurs dessins !



Balbusard pêcheur

© Photo : Jean-Baptiste PONS

# Bibliographie

**DOMINICI J-M. & NADAL R. 2009** - Des Balbuzards corses en Toscane. Rapaces de France – L'OISEAU MAGAZINE, hors-série n°11, p31.

**HIRTZ, M. 2008** - Première nidification contemporaine du Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus* en Moselle. *Ornithos* 15-5.

**LOVE, J-A. 2013** - A Saga of Sea Eagles, Whittles Publishing, 248 p.

**NADAL R., WAHL R., LESCLAUX P., TARDIVO G. & TARIEL Y. 2012** - Le Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus* en France continentale : statut et conservation. *Ornithos* 19-4, pp 265-275.

**ORABI, P. 2012** - Plan d'action en faveur du Pygargue à queue blanche 2012-2022. LPO Mission Rapaces. 75 pp.

**SAUROLA, P. 2006** – Monitoring and conservation of Finnish Ospreys *Pandion*

*haliaetus* in 1971-2005. In Koskmies P. & Lapshin N.V. (eds.), Status of raptor populations in eastern Fennoscandia. Proceedings of the workshop, Kostomushka, Russia, November 8-10, 2005. Karelian Research Centre of the Russian Academy of Science and Finish-Russia Working Group on Nature Conservation, Petrozavodsk. pp.125-132.

**SULAWA J., ROBERT A., KÖPPEN U., HAUFF P., KRONE O., 2010** - Recovery dynamics and viability of the White-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) in Germany, Biodiversity and conservation. 17 pp.

**WAHL R. & BARBRAUD C., 2005** – Dynamique de population et conservation du Balbuzard pêcheur en région Centre. *Alauda* 73(4) : 365-373.

## Pour citer cet article :

**LHOMER, E. 2018.**

Le retour des Aigles pêcheurs dans le Grand Est.  
*Plume de Naturalistes* 2 : 87-98.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes :  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Identification acoustique automatique des chiroptères européens

## Quelle efficacité du logiciel SonoChiro® ?

Par **Michel JAY** (Jay@ctifl.fr)

Ctifl Balandran, 751 chemin de Balandran,  
BP 32, 30127 Bellegarde

### Introduction

L'écologie acoustique des chiroptères est un domaine en pleine évolution. La détermination des espèces et leur comportement sont désormais plus faciles grâce aux détecteurs à ultrasons et la possibilité d'approfondir l'activité des animaux sur ordinateur, par l'étude des spectrogrammes enregistrés (BARATAUD, 2012). Cependant, c'est une technique ardue qui nécessite une bonne formation, une pratique régulière et une bonne audition. Cette dernière est capitale car divers critères auditifs sont discriminants pour identifier avec certitude certaines espèces : type de sonorité (sifflée, nasillarde), d'amorce (explosive, progressive), présence ou non d'un claquement final, etc...

Depuis quelques années sont apparus sur le marché des enregistreurs automatiques sensibles à l'audible et à l'inaudible (ultrasons). Ils enregistrent en continu tout ce qui passe à proximité du microphone, selon des paramètres préalablement programmés par l'utilisateur : fréquence



plancher d'enregistrement, fréquence d'échantillonnage, coefficient d'expansion de temps, etc. Ces outils permettent donc des enregistrements en continu plusieurs nuits d'affilée sans présence de l'observateur. Il est donc possible, avec plusieurs appareils paramétrés de façon identique, d'échantillonner divers milieux simultanément. Le corollaire de cette méthodologie est l'abondance des données collectées qui rend très vite un dépouillement manuel fastidieux. Pour pallier à cela, des logiciels d'identification automatique des chiroptères ont été développés. Un des plus utilisés en France est le logiciel SonoChiro®, édité par le bureau d'étude Biotope et dont l'utilisation est possible en souscrivant un abonnement annuel. Le principe de fonctionnement de ce logiciel est décrit dans HAQUART (2015).

Dans le cadre de nos activités en agro-écologie et biodiversité fonctionnelle au centre opérationnel Ctifl de Balandran (Gard), nous étudions depuis 2003, le rôle potentiel d'auxiliaires assuré par les chiroptères dans les vergers. L'analyse

de la bibliographie et nos propres études montrent que plusieurs ravageurs d'importance économique figurent au menu de plusieurs espèces (JAY, 2000, 2005 et 2012).

Depuis le début, en matière d'analyse acoustique, nous utilisons un détecteur Pettersson D240X avec un dépouillement manuel des séquences enregistrées. Nous avons opté en 2014 pour un détecteur automatique SM2Bat de Wildlife Acoustics associé au logiciel SonoChiro®. Les résultats générés par ce logiciel, à l'issue d'un traitement qui peut durer plusieurs heures, sont interprétables soit au groupe d'espèces ayant des caractéristiques acoustiques voisines, soit à l'espèce. Dans les deux cas, le résultat renvoyé est associé à un risque d'erreur (ou indice de confiance) qui va de 0 (très fort) à 10 (très faible). Le logiciel renvoie aussi d'autres paramètres à chaque séquence : nombre de cris, fréquence dominante, indices de cris sociaux, de qualité, de chasse...

L'utilisateur peut ainsi choisir son indice de confiance et commenter ses résultats en conséquence.



© Michel JAY

**Habitats inventoriés.**  
Vergers sans filet de protection

Afin de mieux valoriser les grandes quantités de données collectées et de fiabiliser nos identifications, nous avons, dès 2014, décidé de valider les résultats d'identification des espèces renvoyées par SonoChiro®. Pour cela, nous avons identifié manuellement un nombre conséquent de séquences, choisies dans toute la gamme des indices de confiance. Dans la lignée de travaux antérieurs portant sur le même sujet (FAUVEL *et al.*, 2014), cet article présente la synthèse de nos résultats, qui couvre la période 2014-2017.

## Matériel et méthode

Les enregistrements qui servent de support sont faits dans huit vergers bios et conventionnels de pommier et leurs abords. Ils sont tous situés dans le Gard, sur les communes de Nîmes, Bellegarde, Beaucaire et Saint-Gilles. Les objectifs initiaux du travail sont d'identifier les espèces présentes, de rechercher des ravageurs dans leurs crottes, d'analyser l'activité des animaux et de relier cette dernière aux variables paysagères, dans un rayon de un kilomètre autour du microphone (zone tampon de 314 ha). Ceci afin d'en déduire des recommandations en terme de mise en place d'infrastructures agro écologiques favorables aux chiroptères autour des vergers.

Les principaux paramètres des enregistrements sont présentés au **Tableau 1**.

Les périodes de pose des détecteurs ciblent les pics de vol des deux premières générations du ravageur principal du pommier, le Carpocapse (*Cydia pomonella*). Le SM2Bat est positionné soit au centre du verger, soit en périphérie, généralement le long des haies. Le microphone est fixé à un support, à 2.8 m au-dessus du sol et au-dessus des filets paragrêles s'il y en a. Des soirées chaudes et sans vent sont privilégiées pour les sessions d'enregistrement. Par sécurité, le microphone est protégé de la pluie par une coupelle placée à 30 cm au-dessus de lui.

Le détecteur démarre les enregistrements à 20h30 et les arrête à 6h30 du matin. Il est réglé pour enregistrer les sons qu'à partir de 12 kHz afin de minimiser le parasitage dû aux orthoptères (sauterelles, criquets...). Les fichiers enregistrés sont fractionnés toutes les quinze minutes au format compressé .WAC. Ils sont ensuite décompressés au format .WAVE avec l'utilitaire WAC2WAVE (version 3.2.3 de Wildlife Acoustics), pour être traités par le logiciel SonoChiro®.

Avec ce dernier, les paramètres utilisés sont les suivants : zone géographique Méditerranée, expansion de temps de 10, durée minimale des cris de 0.5 ms, sensibilité de 7, suppression automatique

**Tableau 1.**

. Effort d'échantillonnage et dates des enregistrements par année

Année	Nombre de vergers	Enregistrements par verger		Période des enregistrements	Objectifs principaux
		Nombre d'heures	Nombre de nuits		
<b>2014</b>	4	65 à 69	8 à 10	13 mai – 3 juillet	Régime alimentaire et analyse paysagère
<b>2015</b>	8	65 à 76	9	15 avril – 11 juillet	Régime alimentaire et analyse paysagère
<b>2016</b>	8	60 à 80	6 à 8	10 juin – 4 août	Comparaison centre verger/bordure
<b>2017</b>	2	28 à 30	3	7 juillet – 20 juillet	Compléments 2016 (problème de matériel)

des fichiers vides.

La validation manuelle des identifications est réalisée avec le logiciel BatSound (version 4.2.1 de Pettersson Elektronik AB), de la façon suivante :

- **toutes espèces (hors *Myotis*)**. Si le nombre de séquences disponibles est inférieur à 50 (espèces rares), contrôle manuel de toutes les séquences. Si le nombre de séquences est important (espèces communes), pour chaque espèce, contrôle manuel de 30 séquences, réparties de façon pondérée sur l'ensemble de l'échelle des indices de confiance. L'examen des séquences sur BatSound s'appuie sur la sonorité

des signaux, leur forme, récurrence et intensité. Il est complété par des mesures de durée et de fréquences (initiale, du maximum d'énergie et terminale).

- **espèces du genre *Myotis***. Ces espèces étant peu communes dans nos enregistrements et difficiles à identifier au plan acoustique, contrôle exhaustif et manuel des séquences sur les données 2014 et 2015. Cette validation à l'espèce est réalisée sur des critères auditifs, complétés par des mesures à l'ordinateur. Les séquences 2016 et 2017 sont contrôlées de façon exhaustive au genre seulement.



© Michel JAY

### Matériel utilisé.

Ci-dessus : microphone en place, avec sa protection contre les intempéries.

A droite : détecteur à ultrasons posé en verger de pommiers.



© Michel JAY

## Résultats

Le **Tableau 2** résume le nombre de séquences vérifiées par année et par espèce. Cette dernière correspond à celle identifiée par SonoChiro®.

Le travail porte sur l'examen individuel d'un total de 2196 séquences, soit un peu plus de 500 séquences par année. Trois espèces sont très peu représentées dans nos enregistrements : le Grand rhinolophe, le complexe Murin de Natterer/sp.A et

**Tableau 2.** Nombre de séquences vérifiées manuellement

ESPECES (29)	2014-2015	2016-2017	TOTAL
Petit Rhinolophe ( <i>Rhinolophus hipposideros</i> )	-	60	60
Grand rhinolophe ( <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> )	-	7	7
Murin de Daubenton ( <i>Myotis daubentonii</i> )	54	39	93
Murin de Capaccini ( <i>Myotis capaccinii</i> )	66	96	162
Murin de Brandt ( <i>Myotis brandtii</i> )	30	39	69
Murin à moustaches ( <i>Myotis mystacinus</i> )	10	16	26
Murin d'Alcathoe ( <i>Myotis alcathoe</i> )	10	25	35
Murin à oreilles échancrées ( <i>Myotis emarginatus</i> )	30	123	153
Murin de Natterer /sp.A ( <i>Myotis nattereri /sp.A</i> )	-	7	7
Murin de Bechstein ( <i>Myotis bechsteini</i> )	85	48	133
Grand murin ( <i>Myotis myotis</i> )	45	29	74
Petit murin ( <i>Myotis blythii</i> )	27	51	78
Noctule commune ( <i>Nyctalus noctula</i> )	30	12	42
Noctule de Leisler ( <i>Nyctalus leisleri</i> )	58	28	86
Grand noctule ( <i>Nyctalus lasiopterus</i> )	25	9	34
Sérotine commune ( <i>Eptesicus serotinus</i> )	51	13	64
Sérotine de Nilsson ( <i>Eptesicus nilssonii</i> )	19	12	31
Sérotine bicolore ( <i>Vespertilio murinus</i> )	85	9	94
Pipistrelle commune ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )	35	30	65
Pipistrelle de Nathusius ( <i>Pipistrellus nathusii</i> )	61	36	97
Pipistrelle de Kuhl ( <i>Pipistrellus kuhlii</i> )	90	37	127
Pipistrelle pygmée ( <i>Pipistrellus pygmaeus</i> )	53	101	154
Vespère de Savi ( <i>Hypsugo savii</i> )	80	36	116
Oreillard roux ( <i>Plecotus auritus</i> )	-	9	9
Oreillard gris ( <i>Plecotus austriacus</i> )	40	10	50
Oreillard montagnard ( <i>Plecotus macrobullaris</i> )	43	10	53
Barbastelle ( <i>Barbastella barbastellus</i> )	43	13	56
Minioptère de Schreibers ( <i>Miniopterus schreibersii</i> )	41	59	100
Molosse de Cestoni ( <i>Tadarida teniotis</i> )	61	60	121
<b>TOTAL</b>	<b>1172</b>	<b>1024</b>	<b>2196</b>

l'Oreillard roux.

Il faut rajouter à cela l'examen de 79 séquences de parasitage et de 27 séquences de chasse (« buzz »).

## Identification des espèces hors Myotis

Tous les résultats sont regroupés dans la **Figure 1**. À chaque graphique, le titre correspond à l'espèce identifiée par SonoChiro®. Le cercle indique la valeur de l'indice à partir duquel l'identité de l'espèce proposée par SonoChiro® est juste, et la flèche, ce qui est identifié le plus souvent manuellement avec Batsound aux valeurs d'indice avant celle du cercle.

Le positionnement du cercle sur l'axe des indices de confiance est arbitraire : il résulte du niveau d'exigence de l'utilisateur. Nous avons choisi un niveau élevé d'identification certaine.

Avant le cercle, quand il y a la mention « Chiro sp. », dans la plupart des cas les espèces sont identifiables avec BatSound. Mais notre objectif n'était pas là : il était de savoir à quel indice de confiance SonoChiro® identifiait correctement (c'est-à-dire en accord avec nos validations) l'espèce qu'il annonçait.

Rappelons que bien que le nombre total de séquences examinées paraisse conséquent, ramené à l'espèce, puis à chacun des indices de confiance, l'effectif sur lequel est calculé le pourcentage de bonne identification est parfois très faible. En effet, une analyse statistique un peu solide nécessiterait l'examen d'au moins 30 séquences par indice de confiance (11), ce qui, multiplié par le nombre d'espèces (ici 29), engendrerait vite un travail considérable de validation. Il faut être conscient de cette limite. L'idée sous-jacente ici est de situer la zone de basculement de l'indice de confiance vers une identification fiable.

### Les Rhinolophes

Les milieux étudiés de notre secteur ne sont pas favorables à ces espèces, d'où la rareté du nombre de données disponibles. Seul le Grand rhinolophe a été détecté avec certitude le long de haies humides à strate arborée basse et au milieu des rangs de pommier de deux vergers. Pour les deux espèces de Rhinolophe, il manque beaucoup de données pour permettre d'affiner le niveau d'indice à partir duquel l'identification devient vraiment fiable. SonoChiro® classe souvent en Rhinolophe du parasitage d'origine non biologique qui se traduit visuellement par une fréquence constante d'un bout à l'autre du spectrogramme.

### Les Noctules

Seule la Noctule de Leisler est vraiment fréquente sur notre zone et SonoChiro® l'identifie bien dès la valeur 2 d'indice. La Noctule commune n'est bien identifiée qu'à partir de l'indice 6. Mais les données sont rares, ce qui incite à la prudence. La Grande noctule a été identifiée avec certitude au-dessus d'un verger de Costière le 1er juillet 2016 à 5h12 du matin.

### Les Sérotines

La Sérotine commune est bien identifiée par SonoChiro® dès les premières valeurs d'indices de confiance. Ce n'est pas le cas des deux autres espèces, absentes de notre secteur. La plupart des séquences attribuées à la Sérotine bicolore par SonoChiro® sont en fait produites soit par la Noctule de Leisler soit par la Sérotine commune.

### Les Pipistrelles et le Vespère de Savi

Les deux espèces les plus répandues, les Pipistrelles commune et de Kuhl, sont très

bien identifiées par SonoChiro® et ce sur presque toute l'échelle des indices de confiance.

L'identification de la Pipistrelle de Nathusius apparaît problématique pour SonoChiro®. Le recouvrement fréquent des signaux avec ceux de la Pipistrelle de Kuhl oblige souvent à légendrer en « Pipistrelle de Kuhl/Nathusius ». L'identification s'améliore d'un coup à partir de l'indice 7, mais les données des différentes années sont très hétérogènes. Cela repousse loin l'indice d'identification certaine. Nous n'avons pas tenu compte des cris sociaux de cette espèce dans le cadre de ce travail. On ne peut que conseiller de s'y intéresser : ils sont très caractéristiques et discriminants pour la Pipistrelle de Nathusius.

Le profil des courbes de la Pipistrelle pygmée est intermédiaire entre ceux de deux espèces communes de Pipistrelle et celui de la Pipistrelle de Nathusius. L'identification par SonoChiro® peut être bonne dès les premières valeurs d'indice, mais les données interannuelles sont hétérogènes. Cela nous a contraints à

augmenter l'effort d'échantillonnage pour cette espèce assez commune sur notre zone d'étude. Il semble qu'un bon nombre d'erreurs d'identification proviennent d'une confusion avec le Minoptère de Schreibers. Graphiquement, la distinction entre les deux espèces s'appuie sur la courbure du signal, sa durée et son intensité. Ce sont des paramètres subtils et difficiles à prendre en compte pour un système d'identification automatisé. Par sécurité, nous avons donc décidé de considérer comme certaine l'identification qu'à partir de l'indice 8.

Pour le Vespère de Savi, les données collectées sont disparates : très bonne identification tout au long de l'échelle des indices en 2015, mais profil nettement moins favorable pour les autres années. Ces résultats laissent perplexes. En conséquence, l'indice d'identification certaine est repoussé à 7.

#### · **Les Oreillards**

Les trois espèces présentes en France sont très difficiles à discriminer sur le plan acoustique, *P. macrobullaris* s'insérant



**Habitats inventoriés.**  
Vergers sous filet paragrêle

© Michel JAY

entre les deux autres espèces. Cela n'empêche pas SonoChiro® de proposer des identifications à l'espèce. Sur notre zone, seul l'Oreillard gris doit être présent. Nous avons validé les séquences en les attribuant ou non au genre *Plecotus* sp. La sonorité des cris et leur structure sont typiques des Oreillards.

D'une façon générale, SonoChiro® identifie bien le genre Oreillard. Il serait présomptueux d'aller plus loin dans l'identification automatisée dans l'état actuel des connaissances, surtout dans les régions où les trois espèces sont présentes.

#### · **La Barbastelle, Le Minioptère de Schreibers et le Molosse de Cestoni**

La Barbastelle est une espèce rare sur notre secteur, ce qui explique le peu de données disponibles. Mais ses signaux sonar émis sur deux fréquences décalées sont typiques. Selon nos observations, il faut attendre l'indice 6 pour considérer l'identification comme certaine. Les erreurs d'identifications sont dues soit à du parasitage soit à des cris sociaux d'autres espèces.

Pour le Minioptère de Schreibers, les données sont assez hétérogènes d'une année à l'autre (dues aux mises à jour annuelles du logiciel ?), ce qui repousse l'indice d'identification certaine à 6. On retrouve pour cette espèce la confusion commentée plus haut avec la Pipistrelle pygmée.

Le Molosse de Cestoni, espèce à grand rayon d'action, est régulier sur notre zone. Nous ratons probablement des séquences avec le filtrage à 12 KHz pratiqué. Mais il reste assez de données pour mettre en évidence qu'il faut se situer vers l'indice 5 pour bien identifier cette espèce.

#### · **Parasitage et « buzz » de chasse**

Le parasitage est bien détecté par

SonoChiro®. Il concerne plusieurs espèces d'orthoptères (voir plus loin), des cris de rongeurs probablement et des sons d'origine non biologique comme des ondes porteuses de divers matériels électriques.

Nous n'avons étudié qu'environ 30 séquences pour lesquelles SonoChiro® mentionnait des actes de chasse, caractérisés par une accélération du rythme et un passage des signaux en fréquence modulée abrupte. Toutes correspondaient bien à des « buzz ». Ce point mériterait cependant plus d'approfondissement car cet indice est très utile pour caractériser la richesse trophique des milieux.

La synthèse des résultats pour les espèces hors genre *Myotis* est présentée sous la forme d'un diagramme de Gantt à la **Figure 2**.

### **Identification des Murins (espèces du genre *Myotis*)**

L'identification des espèces de Murins au plan acoustique est un vrai challenge. Cela nécessite une très bonne audition couplée à une longue expérience, et des mesures sur ordinateur.

Nous avons réalisé le travail à plusieurs niveaux pour le présenter sous des formes graphiques complémentaires.

Lorsque SonoChiro® identifie des *Myotis*, les questions qui se posent sont les suivantes.

1. « À partir de quel indice de confiance peut-on considérer qu'on a réellement affaire à un chiroptère du genre *Myotis* ? »
2. « Quel est le pourcentage de chance que ce soit réellement un *Myotis* ? »
3. « Est-ce que l'espèce de *Myotis* identifiée par le logiciel est bonne ? »
4. « Si l'identification n'est pas bonne, de quelles autres espèces s'agit-il ? »

Notre analyse de l'identification de ces espèces souffre d'effectifs souvent insuffisants car les vergers étudiés leur sont peu propices. Bon nombre d'espèces de *Myotis* sont en effet surtout forestières et/ou liées à l'eau. De plus, la plupart des indices disponibles sont compris entre 0 et 5.

Les résultats concernant le pourcentage d'identification au genre *Myotis* (question 1) sont présentés à la **Figure 3**. Comme pour les figures 1 et 2, le titre de chaque graphe correspond à l'espèce identifiée par SonoChiro®. Le cercle sur l'échelle des indices de confiance correspond à la valeur à partir de laquelle l'identification manuelle avec BatSound au genre *Myotis* est bonne. Après la flèche attenante au cercle, sont mentionnées les espèces identifiées manuellement lorsqu'il y a suffisamment de données.

Le genre *Myotis* est bien identifié par SonoChiro® pour trois espèces : le Murin de Daubenton, le Murin de Capaccini et le Murin de Bechstein. Dès l'indice 2, on a réellement affaire à des *Myotis* lorsque SonoChiro® identifie ces trois Murins.

L'espèce majoritairement identifiée en manuel avec BatSound est le Murin de Capaccini pour ces trois espèces. Il est très dominant pour le Murin de Daubenton (82 %). Les autres espèces identifiées manuellement avec BatSound à partir de l'indice encerclé sont le Petit murin, la Pipistrelle pygmée et la Pipistrelle de Kuhl. Le genre *Myotis* est aussi plutôt bien identifié par SonoChiro® pour le Grand murin et le Murin à oreilles échancrées : à l'indice 4 pour le dernier, 5 pour le second. Pour le Grand murin, l'identification manuelle avec BatSound révèle qu'il s'agit d'un complexe Petit murin/Grand murin, les deux espèces étant assez difficiles à discriminer. Les espèces n'ont pu être identifiées pour le Murin à oreilles échancrées à partir de l'indice 5, faute de données disponibles en 2014 et 2015.

Le genre *Myotis* est globalement mal identifié par SonoChiro® sur les autres espèces. Mais il y a peu de données disponibles et les indices sont très bas.

Les résultats concernant les questions 2 et 3 sont présentés à la **Figure 4**. Celle-



**Habitats inventoriés.**  
Vergers sous filet paragrêle mono-rang

© Michel JAY

ci, qui ne concerne que les années 2014 et 2015, est construite à partir de 357 séquences portant les mentions « certain » et « probable » en termes d'identification à l'espèce. Sept identifications avec la mention « possible » sont écartées.

La hauteur des barres de la **Figure 5** rappelle les taux d'identification certaine au genre *Myotis*. Il est bon (61 à 65 %) pour les Murins de Capaccini, de Daubenton et de Bechstein. Il est moyen (37 à 42 %) pour le Grand murin, les Murins à moustaches et à oreilles échancrées, mauvais pour les trois autres espèces.

L'espèce qui se retrouve majoritairement en identification manuelle dans les sorties SonoChiro® des neuf espèces de Murins et à tous les indices de confiance est le Murin de Capaccini. Lorsque SonoChiro® identifie ce Murin, la moitié des séquences correspond vraiment à cette espèce (première barre de l'histogramme de la **Figure 4**). C'est la meilleure performance parmi les Murins avec le logiciel.

L'autre espèce de *Myotis* qui est assez bien identifiée par SonoChiro® est le Murin à oreilles échancrées (sixième barre de l'histogramme) : près d'un tiers des séquences (27 %) correspond bien à cette espèce. Cependant, comme le montre la hauteur de la barre d'histogramme, seuls 37 % des séquences renvoyées comme Murin à oreilles échancrées par SonoChiro® correspondent réellement à une espèce du genre *Myotis*. Le taux de 27 % de bonne identification avec BatSound s'applique donc seulement à ces 37 %. C'est donc, *in fine*, une faible performance d'identification automatique pour ce Murin.

L'identification à l'espèce est mauvaise dans la plupart des autres cas.

Il est intéressant de noter que le nombre d'espèces (ou de complexes d'espèces, certaines étant difficiles à discriminer réellement) présentes dans

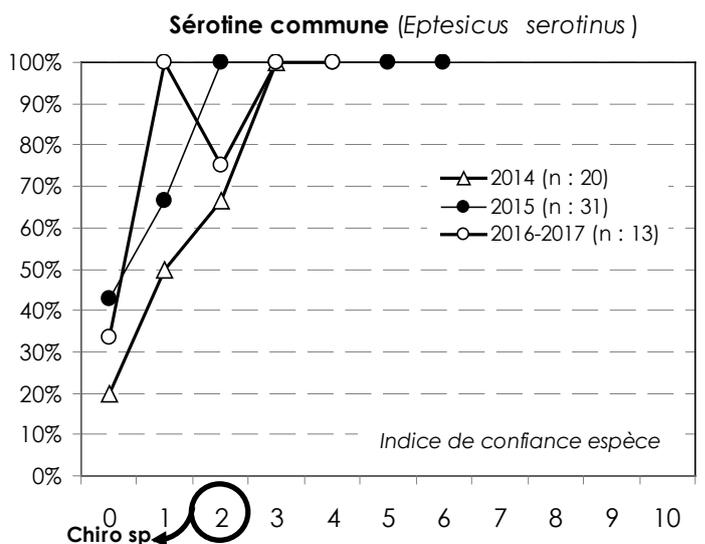
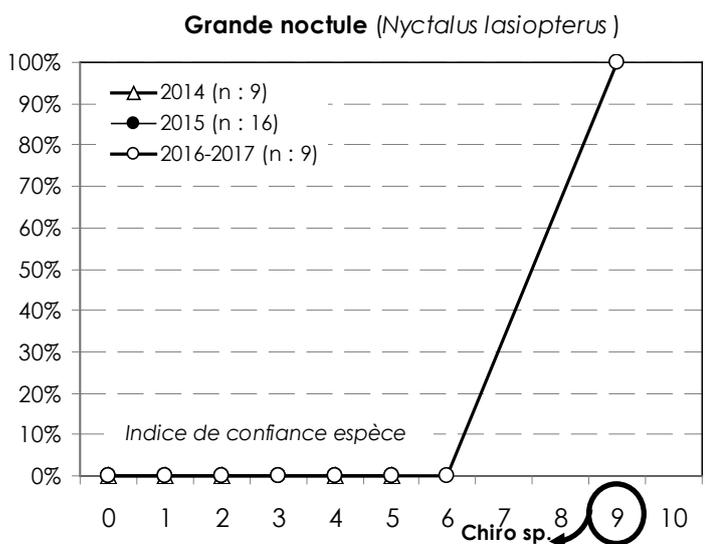
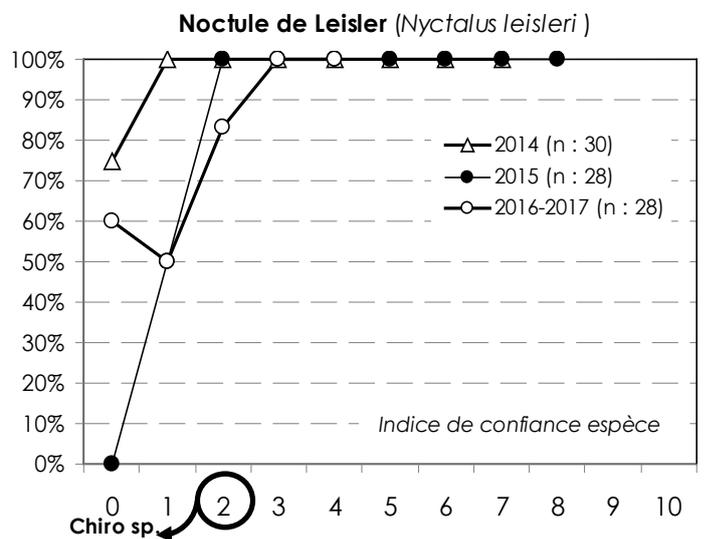
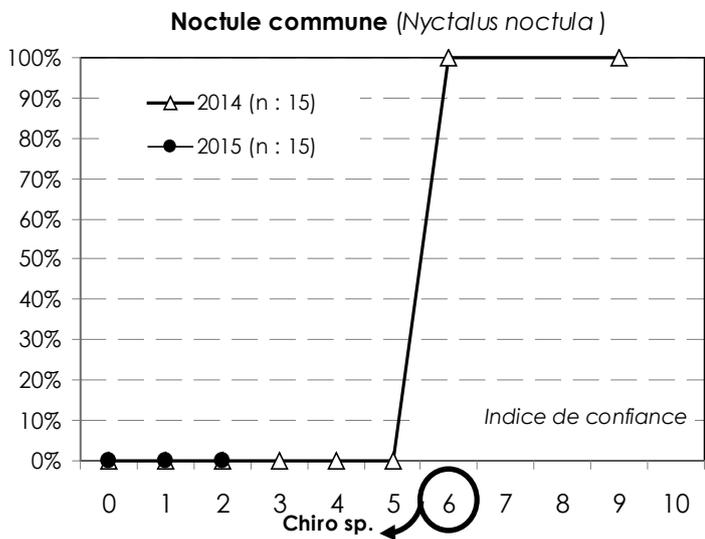
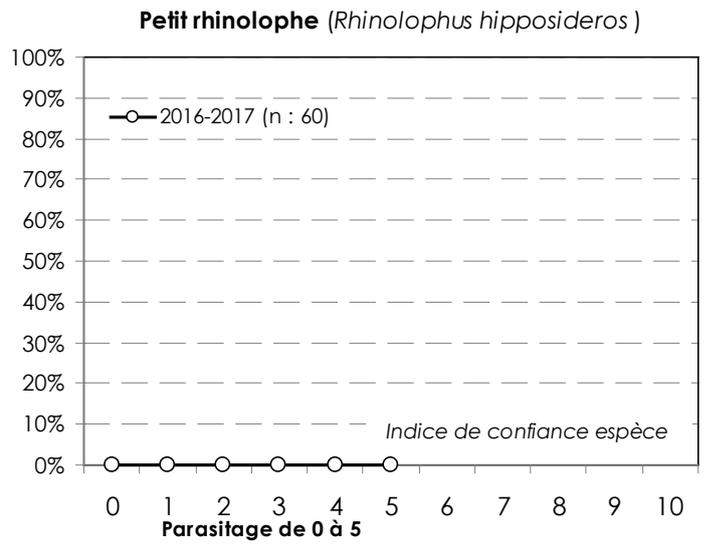
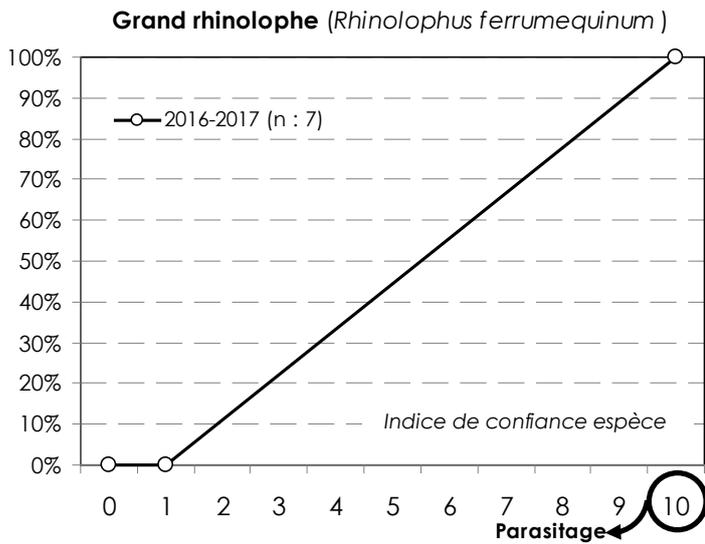
chaque séquence SonoChiro® varie de 1 à 9 (nombre d'étages à chaque barre d'histogramme). On remarque au passage une tendance entre les deux variables : plus le taux d'identification au genre *Myotis* est bon plus la diversité des espèces possibles de *Myotis* s'accroît.

La réponse à la question « Quand SonoChiro® se trompe, y-a-t-il autre chose que des signaux de chiroptères ? » est présentée à la **Figure 5**. Ce diagramme en secteurs est construit avec les données 2014-2015 seulement. Il prend en compte toutes les séquences identifiées en tant que *Myotis* par SonoChiro®.

Sur les 357 séquences examinées, 170 concernent vraiment des *Myotis*, soit 48 %. Ensuite, 26 % des données proviennent des stridulations de deux espèces d'orthoptères : le Conocéphale gracieux (*Ruspolia nitidula*) et la Leptophye ponctuée (*Leptophyes punctatissima*). Puis on trouve deux espèces de chiroptères : la Pipistrelle pygmée (11 %) et la Pipistrelle de Kuhl (9 %). Ainsi, les deux orthoptères et Pipistrelles ci-dessus représentent 46 % des erreurs d'identifications commises par SonoChiro®.

Les 7 % restants se partagent entre quelques autres espèces d'orthoptères et de chiroptères.

Dans la plupart des cas, le logiciel est leurré par l'allure des signaux d'orthoptères, répétés et en fréquence modulée abrupte. Il l'est également souvent par des signaux du même type, mais émis par des Pipistrelles en approche d'obstacles ou en action de chasse : passage progressif d'une fréquence modulée aplanie à une fréquence modulée abrupte, avec augmentation de la récurrence des signaux. Enfin, une source d'erreur fréquente concerne aussi les cris sociaux des Pipistrelles.



**Figure 1.** Pourcentages de séquences correctement identifiées par SonoChiro® (*Myotis* exclus), 2014-2017. Cercle : indice à partir duquel l'espèce est validée. Flèche : identification des erreurs (voir commentaires p. 104).

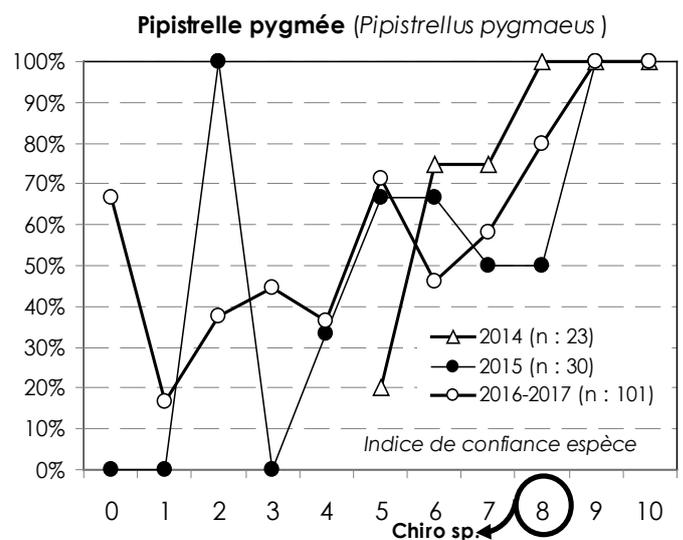
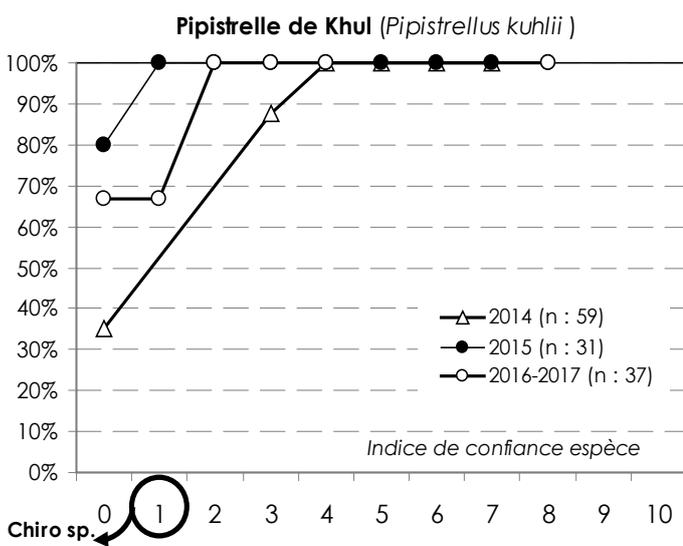
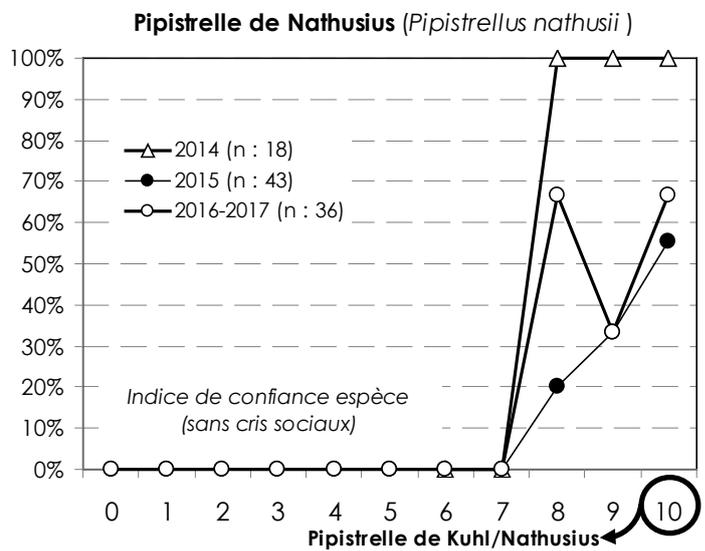
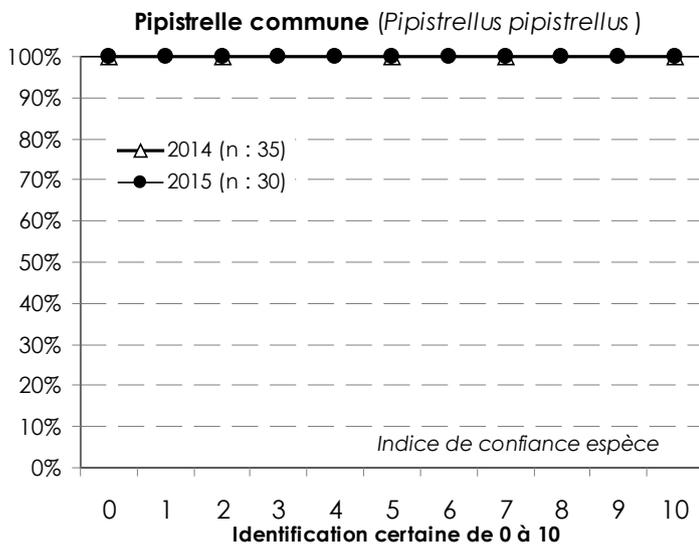
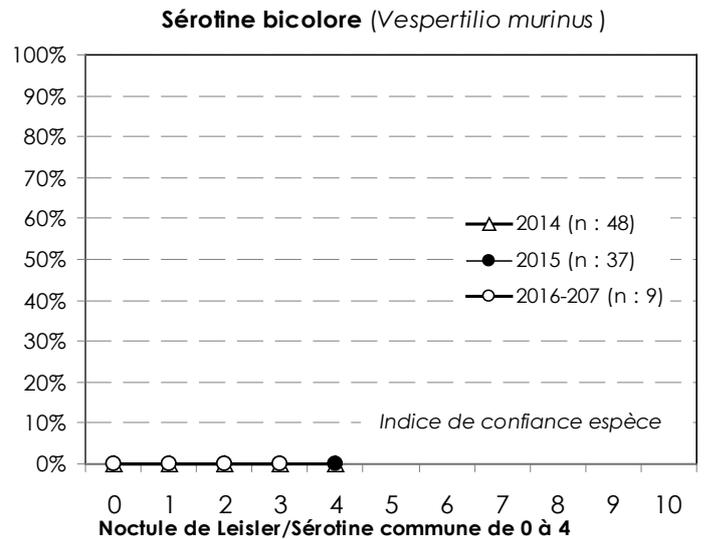
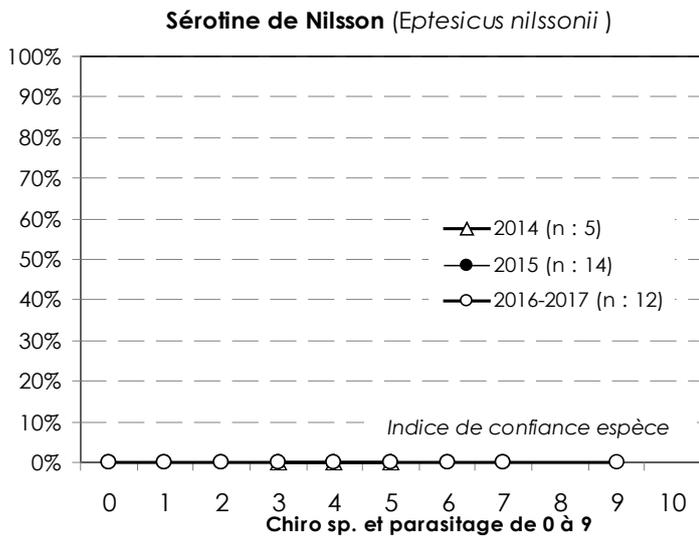


Figure 1 (suite).

Pourcentages de séquences correctement identifiées par SonoChiro® (*Myotis* exclus), 2014-2017. Cercle : indice à partir duquel l'espèce est validée. Flèche : identification des erreurs (voir commentaires p. 104).

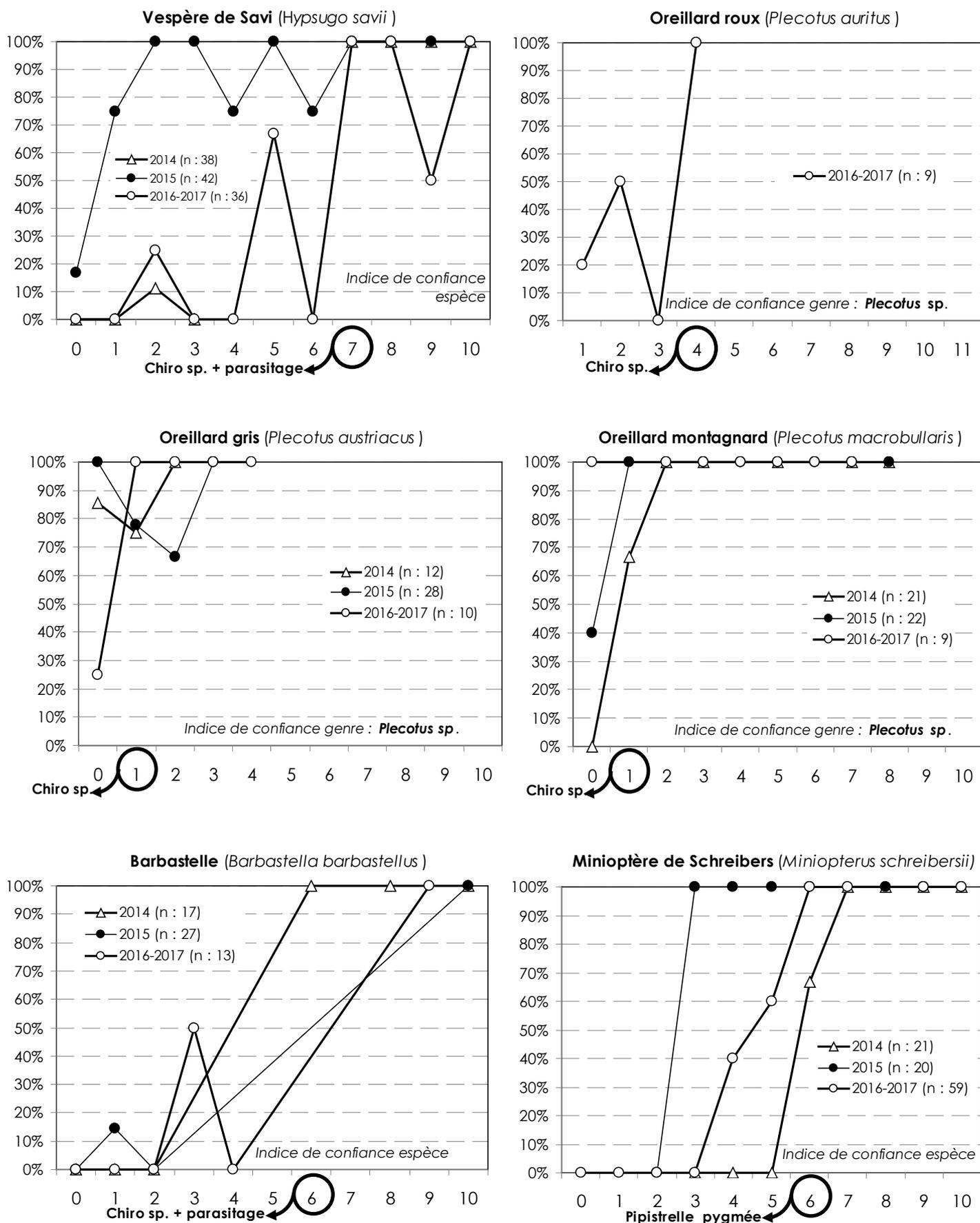
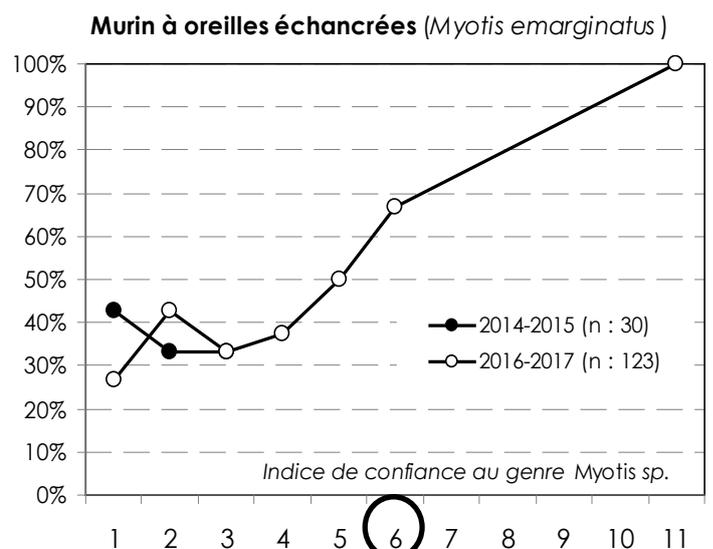
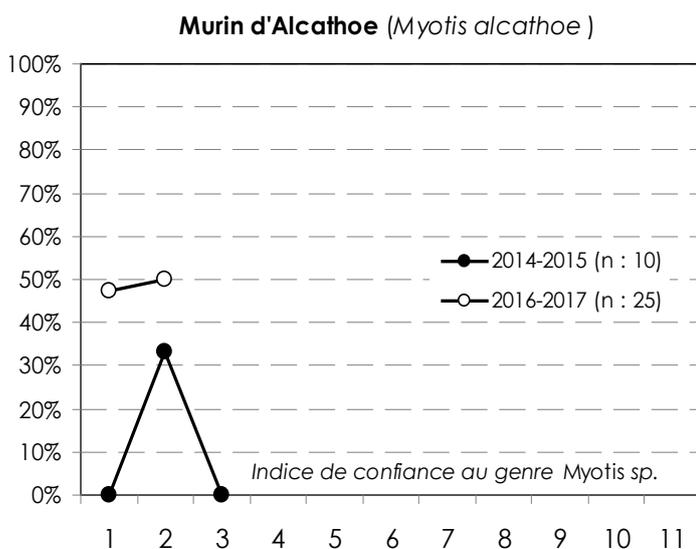
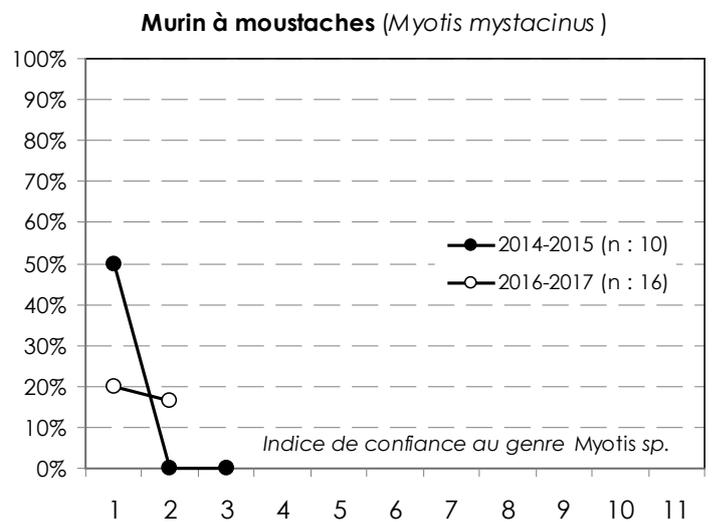
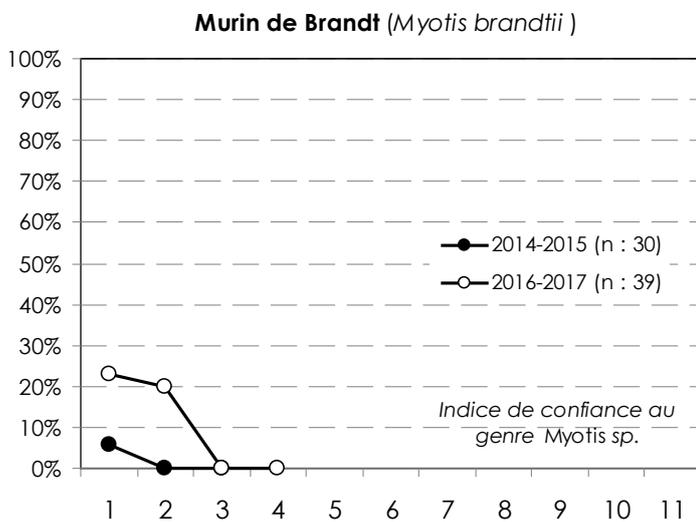
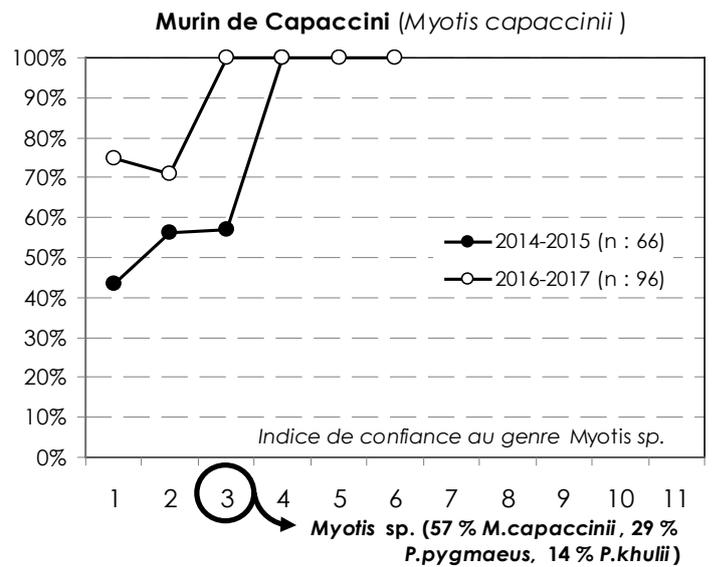
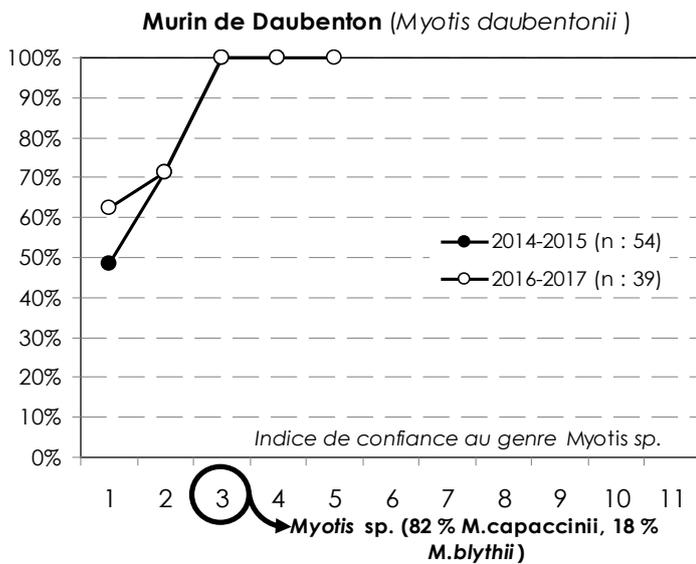


Figure 1 (suite).

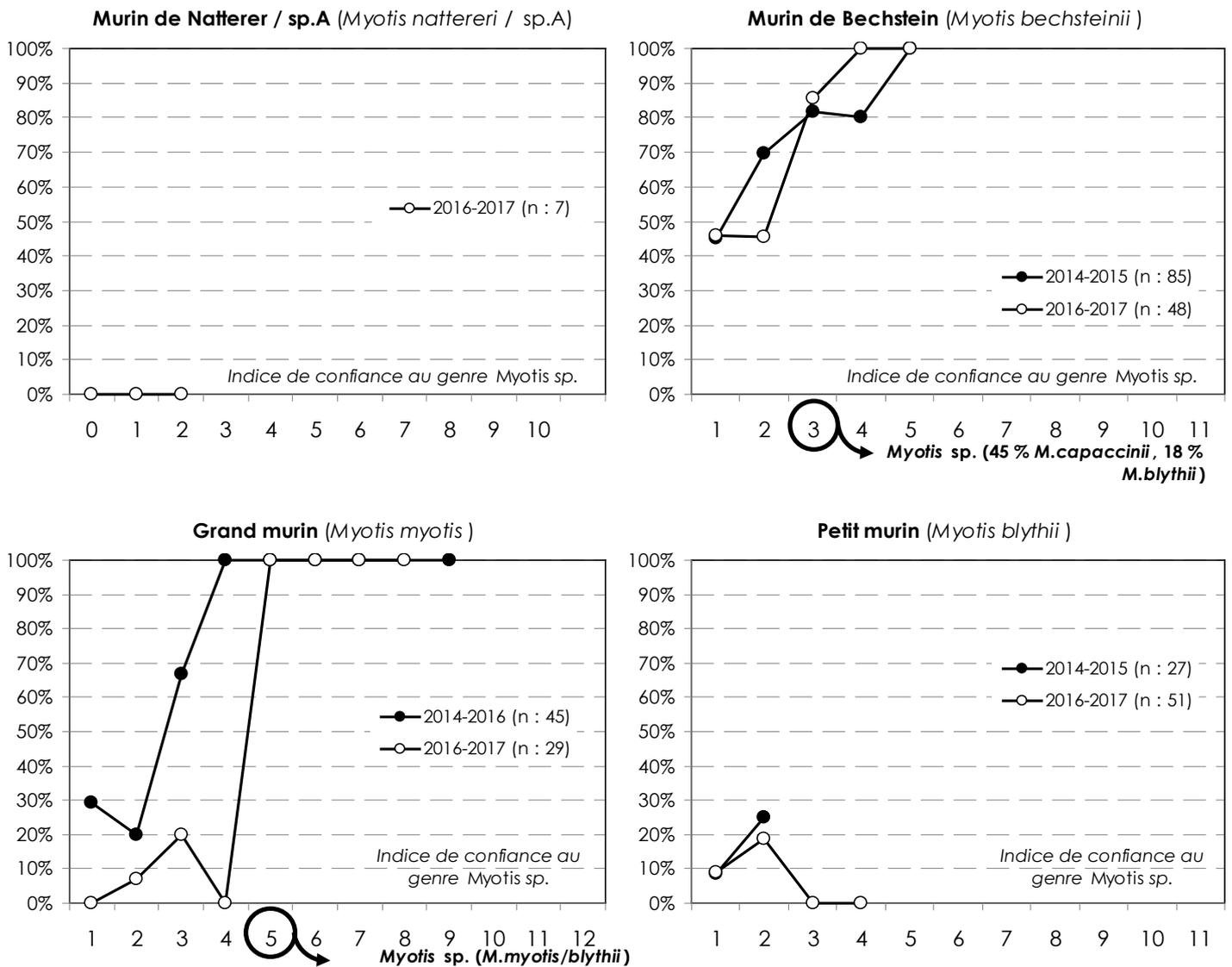
Pourcentages de séquences correctement identifiées par SonoChiro® (*Myotis* exclus). 2014-2017. Cercle : indice à partir duquel l'espèce est validée. Flèche : identification des erreurs (voir commentaires p. 104).





**Figure 3.**

Pourcentages de séquences du genre *Myotis* sp. bien identifiées par SonoChiro®. 2014-2017.  
 Titre du graphique : espèce identifiée par SonoChiro®. Cercle : indice à partir duquel le genre est validé.  
 Flèche : espèces manuellement validées après l'indice encerclé (sur données 2014 et 2015 seulement).

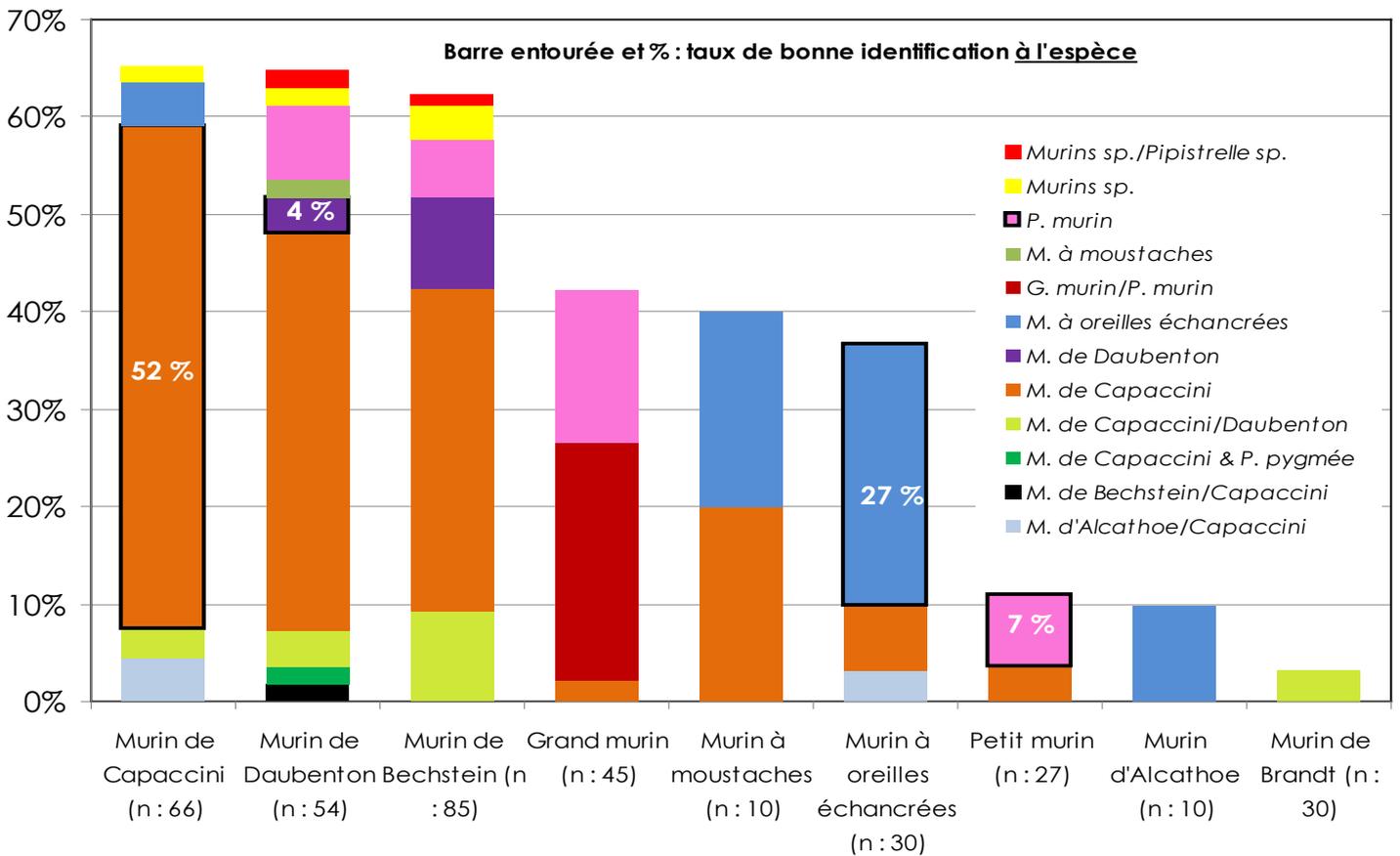


**Figure 3 (fin).**

Pourcentages de séquences du genre *Myotis* sp. bien identifiées par SonoChiro®. 2014-2017.  
 Titre du graphique : espèce identifiée par SonoChiro®. Cercle : indice à partir duquel le genre est validé.  
 Flèche : espèces manuellement validées après l'indice encerclé (sur données 2014 et 2015 seulement).

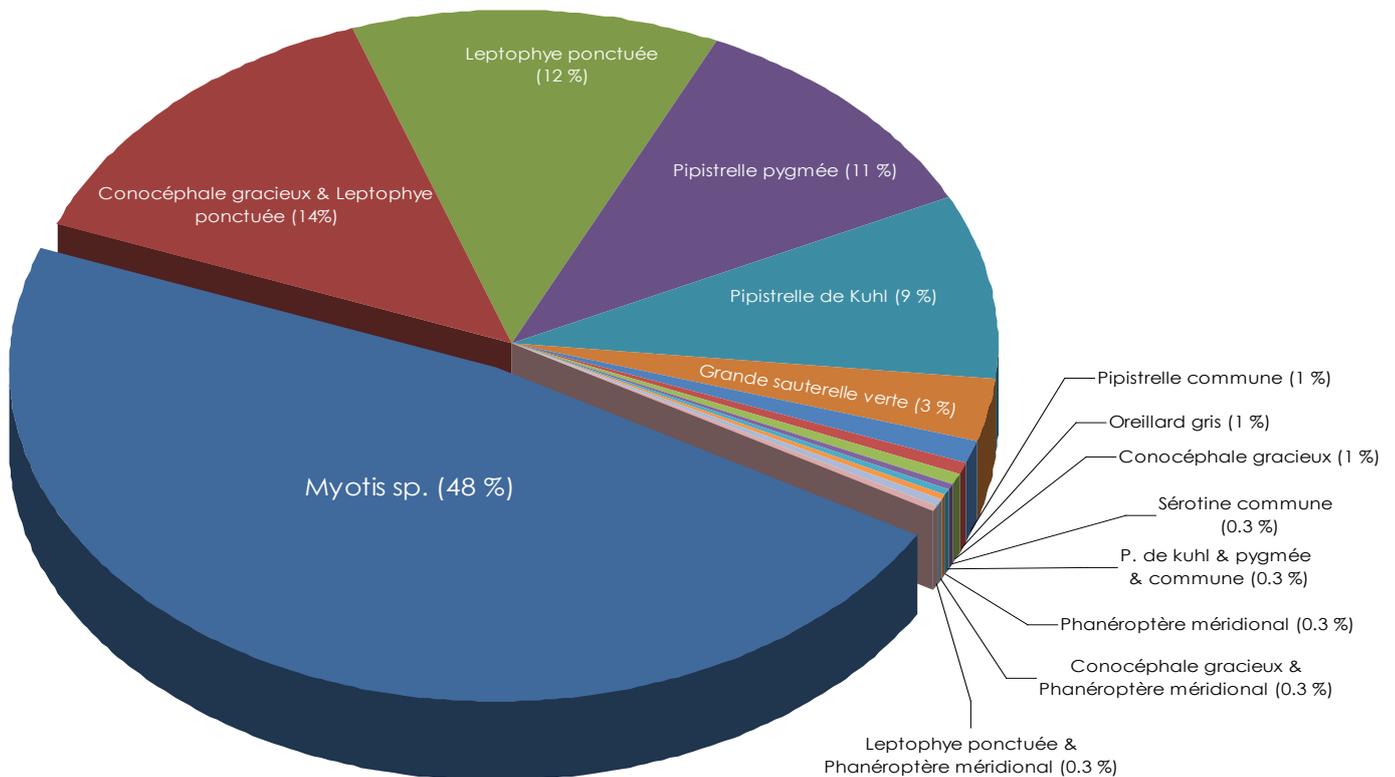


Grand murin  
 © Laurent JOUBERT



**Figure 4.**

Identifications à l'espèce de *Myotis* par Sonochiro®. Données 2014-2015 seulement. La hauteur totale de la barre d'histogramme indique le taux d'identification au genre *Myotis* sp.



**Figure 5.**

Répartition des erreurs d'identification dans le groupe des *Myotis*. Données 2014-2015 seulement.

## Conclusion

Rappelons, en préambule, que le travail présenté ici avait avant tout un objectif d'usage interne car nous souhaitons être plus exigeants que les seules utilisations des indices de groupe et d'espèce. Il s'agit d'une synthèse de résultats fournis par un logiciel commercial, dans un **contexte précis non généralisable** et dans des conditions d'utilisation courantes. À ce titre, notre article ne prétend pas servir de référence, mais plutôt d'aide à l'interprétation des sorties de SonoChiro®. La qualité d'une identification automatique dépend en effet de nombreux paramètres : réglages du matériel d'enregistrement, conditions de prises de son, type de cri analysé, qualité des séquences enregistrées... Des paramètres qu'il faudrait maîtriser totalement et en grands nombres pour une évaluation précise et rigoureuse sur toutes les espèces françaises et dans tous les milieux qu'elles fréquentent.

Comme on s'y attendait, les résultats renvoyés par SonoChiro® sont contrastés : pour les espèces hors *Myotis*, certaines sont très vite et bien identifiées (les deux Pipistrelles les plus courantes par exemple), alors que pour d'autres, il faut aller assez loin sur l'échelle des indices de confiance pour une bonne identification. L'indice de confiance (ou risque d'erreur) qui a été développé dans SonoChiro® remplit d'ailleurs assez bien sa mission sur ce point car en plaçant le curseur à 5, dans bien des cas l'identification est bonne.

Il n'est pas étonnant de constater le grand nombre d'erreurs commises par le logiciel pour le groupe des *Myotis* : c'est déjà très difficile pour un utilisateur expérimenté et à bonne audition. Ne demandons pas l'impossible à un logiciel ! Il sera prudent,

pour ce groupe, de s'en tenir au genre dans un premier temps, puis d'approfondir les critères de diagnose à l'oreille et sur spectrogramme avec BatSound.

SonoChiro® et les autres logiciels de ce type en cours de développement restent des outils intéressants. Il faut simplement être bien conscient de leurs limites et atouts pour en tirer le meilleur. Car ils sont précieux quand il faut comparer des milieux simultanément avec des appareils paramétrés de façon identique ou étudier la richesse trophique des zones de chasse via les indices de « buzz » et de cris sociaux. Un autre atout de l'automatisation est l'exhaustivité des enregistrements, qui permet le stockage de plusieurs nuits d'affilée, chose qu'un utilisateur équipé d'un détecteur en manuel ne pourra faire qu'en buvant quelques litres de café... A l'instar de ce qui se développe sur le traitement automatisé de l'image, il est clair que c'est un système d'avenir et qui va progresser.

Sur notre zone, des espèces sont très peu renseignées et de nombreux indices manquent à l'étude : on ne peut pas travailler avec des données absentes. Il faudra poursuivre le travail.

À l'heure d'internet et de la science participative, souhaitons que parmi les très nombreuses données qui ont été traitées dans les différentes régions de France avec SonoChiro®, certaines puissent venir combler les lacunes d'identification encore nombreuses, tant sur les espèces que sur les indices de confiance. Nous espérons que d'autres utilisateurs, aux compétences complémentaires, se lanceront à leur tour dans un tel travail, ce qui consolidera les résultats et sera utile à tous.



Pipistrelle de Nathusius  
© David AUPERMANN

## Remerciements

Pourtant très sollicité, Michel Barataud a accepté de prendre en charge l'identification auditive des espèces du genre *Myotis*. Sa grande expérience a été précieuse pour ce travail. Merci

aussi à Thierry Disca, questionné à plusieurs reprises pour des problèmes de paramétrages ou de matériel. Enfin, Jean-Michel Ricard a relu le manuscrit et proposé des remarques utiles.

# Bibliographie

**BARATAUD M., 2012.** *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse.* Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344p.

**FAUVEL B., DARNIS T., TILLON L. 2014.** Le SM2Bat, un outil d'avenir à condition de définir rapidement une méthodologie ! *L'envol des Chiro*, mars 2014, n° 16 : 14-15.

**HAQUART A., 2015.** ACTICHIRO. Un référentiel pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en France. *Symbioses*, nouvelle série, n° 34 & 35 : 1-9.

**JAY M., 2000.** *Oiseaux et mammifères auxiliaires des cultures.* Hortipratic. Editions Ctifl, 203 p.

**JAY M., LANGTON P. 2005.** Biodiversité autour des vergers. L'étude du régime alimentaire des chauves-souris. *Infos Ctifl* n° 212 : 28-33

**JAY M., et al., 2012.** Biodiversité fonctionnelle en verger de pommier. Les chauves-souris consomment-elles des ravageurs ? *Infos Ctifl* n° 286 : 28-34.

Pour citer cet article :

**Jay, M. 2018.**

Identification acoustique automatique des chiroptères européens. Quelle efficacité du logiciel SonoChiro® ? *Plume de Naturalistes 2* : 99-118.

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes : [www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

ISSN 2607-0510

# Pyrale du buis : une aubaine pour les chauves-souris ?

## *Essai de synthèse des observations naturalistes en France*

Par **Blandine Carré**<sup>1</sup> (blandine.carre@asso-gclr.fr)

<sup>1</sup> Groupe Chiroptères Languedoc-Roussillon - Domaine de Restinclières - 34730 PRADES-LE-LEZ



### Introduction

La Pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*) est un papillon nocturne originaire d'Extrême-Orient, introduit accidentellement en Europe en 2007 (premières observations en Allemagne) et qui a rapidement proliféré. Les chenilles causent d'importants dégâts en défoliant totalement des peuplements entiers de buis, dont elles se nourrissent. La Pyrale du buis se reproduit rapidement, à raison de plusieurs générations annuelles. Les premiers papillons émergent fin mai/début juin et la deuxième génération de chenilles s'observe de juin à mi-août selon les conditions climatiques. Par la suite, les générations se chevauchent et se succèdent jusqu'à l'entrée en diapause, courant octobre/novembre (FREDON Rhône-Alpes, 2015).

Depuis quelques années en France, on assiste à de fortes émergences des papillons (imago) de la Pyrale du buis, en particulier fin août. **Depuis 2016, les observations de différents naturalistes montrent que de nombreuses espèces de chauves-souris (toutes insectivores en France) profitent de cette nouvelle manne alimentaire.**

## Au moins 9 espèces de chauves-souris sont des prédateurs de la Pyrale du buis

Des observations réalisées dans des cavités occupées par des chauves-souris apportent des informations très intéressantes.

Dans le département de la Drôme (commune de Rochefort-Samson), des **minioptères de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*)** ont été observés à plusieurs reprises en train de se nourrir de Pyrales du buis à l'entrée de leur gîte, notamment à l'occasion d'un pic d'émergence le 29 septembre 2016 (Céline Le-Barz, com. pers.). Le site est utilisé par près de 1500 individus en transit automnal.

Des ailes de Pyrales ont également été trouvées au sol d'une grotte utilisée comme site de transit automnal par le Minioptère de Schreibers, dans le département du Gard (commune de Saint-Laurent le Minier), début septembre 2018 (observation personnelle ; cf. photos ci-contre).

Le Minioptère de Schreibers, ainsi que la **Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)** et la **Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)** ont également été observés en pleine activité de chasse au Col de la Bataille (Vercors Ouest, Drôme), à la lueur d'une lampe torche éclairant la route qui emprunte le col, fin août et fin septembre 2017 (com. pers. Thomas Deana). Les captures sont extrêmement fructueuses pour les minioptères et les noctules, en revanche les pipistrelles communes - plus petites - ratent souvent les pyrales.



© Blandine CARRÉ

Minioptères de Schreibers.



© Blandine CARRÉ

Ailes de Pyrale du buis constituant les restes de repas de chauves-souris dans une grotte du Gard.

Dans le Tarn, sur la commune de Brassac, un **oreillard roux (*Plecotus auritus*)** et un **oreillard gris (*Plecotus austriacus*)** ont été retrouvés respectivement le 23 et le 28 août 2017 dans le même **piège à phéromones** d'un jardin d'agrément au centre du village, en train de se nourrir des pyrales piégées (Frédéric Néri, com. pers.). Malheureusement, les chauves-souris se sont elles-mêmes retrouvées piégées.



Murin de Daubenton chassant des Pyrales du buis.

© Matthieu VASLIN

Dans l'Aude, Matthieu Vaslin témoigne de plusieurs observations intéressantes, à commencer par les « ballets » de pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*) et **pipistrelles de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)** dans les nuages de papillons attirés par les réverbères. Dans la vallée de l'Orbieu, il a également observé un **vespère de savi (*Hypsugo savii*)**, un **petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*)** et des **murins de Daubenton (*Myotis daubentonii*)** chasser des papillons de Pyrale du buis, cliché photographique à l'appui pour cette dernière espèce (cf. ci-dessus).

## Et certainement beaucoup d'autres...

Dans les contreforts ouest du massif du Vercors (département de l'Isère), une étude de l'activité des chauves-souris a été réalisée en 2016 dans les Gorges du Nan, secteur de basse altitude à forte densité de Pyrale du

buis. En période d'émergence des imagos, le 5 octobre 2016, les activités de chasse de plusieurs espèces de chauves-souris étaient exceptionnellement importantes au niveau des secteurs touchés, pour les espèces suivantes : **Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*)**, **Noctule commune (*Nyctalus noctula*)**, Noctule de Leisler, Pipistrelle de Kuhl, Pipistrelle commune, **Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)**, **Pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*)** et le Vespère de Savi (com. pers. Olivier Sousbie).

En octobre 2017, toujours dans le piémont ouest du massif du Vercors (à Saint-Quentin-sur-Isère, à une vingtaine de kilomètres des Gorges du Nan, et dans la grotte du Bournillon à Chatelus), **de nombreuses ailes de Pyrale du buis constituant des restes de repas de chauves-souris jonchaient le sol de deux cavités, dont l'une utilisée comme gîte par une vingtaine d'espèces de chiroptères** (Myrtille Bérenger, com. pers.).

## Conclusion

**Au moins neuf espèces de chauves-souris sur les 34 espèces françaises consomment la Pyrale du Buis.** Mais il y a fort à parier que beaucoup d'autres espèces en font de même.

Les chauves-souris sont des prédateurs insectivores sélectifs (de par les adaptations de leur technique de chasse, de leur ouïe, de leur sonar) tout en étant opportunistes. Elles peuvent chasser des proies abondantes et faciles à capturer, même si elles ne sont pas caractéristiques de leur régime alimentaire (DIETZ *et al.*, 2009).

Il n'est donc pas très surprenant que plusieurs espèces de chauves-souris profitent de cette nouvelle manne alimentaire.

### Moyens de lutte contre la Pyrale du buis : quels impacts sur les chauves-souris ?

Les différentes observations précédemment rapportées viennent encore conforter le fait que les chauves-souris sont de bonnes alliées dans la lutte biologique contre les insectes nuisibles. En revanche, lutte biologique et lutte chimique seront difficilement compatibles. En effet, à l'heure où la Pyrale du buis a colonisé une large partie du territoire français, il est nécessaire de mettre en garde contre les traitements insecticides chimiques proposés dans le commerce. Les molécules actives sont non sélectives (pyréthrinoides, diflubenzuron) et touchent également les autres insectes.

Si les pyréthrinoides sont considérés comme relativement peu toxiques pour les mammifères (**d'après l'Institut de Veille Sanitaire**), ils ne sont pas non plus sans effet puisque certains d'entre eux peuvent réduire la fertilité chez l'homme

et l'animal. Par ailleurs, en Belgique, l'usage des produits phytopharmaceutiques à base de diflubenzuron n'est plus autorisé sur les cultures comestibles depuis septembre 2017 (source : [fytoweb.be](http://fytoweb.be)).

Deux moyens de lutte biologique sont actuellement disponibles sur le marché : les pièges à phéromones et les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Ces deux moyens ont pour avantage d'être plus sélectifs que les pesticides chimiques. Le Bt est une bactérie entomopathogène qui a une action larvicide sur les insectes appartenant à trois ordres : lépidoptères, coléoptères, diptères (CHAUFAUX, 1995). D'après Chaufaux, les produits à base de Bt « n'ont aucune action sur les vertébrés ». Ce que dément une étude menée par des chercheurs taïwanais, qui montre que la toxicité du Bt pour les animaux à sang chaud n'est pas nulle : la thuringiensine purifiée inhalée présente une toxicité pulmonaire significative chez le rat de laboratoire (SAN-FU *et al.*, 2003). Concernant les impacts sur la faune sauvage, des suivis menés entre 2007 et 2011 en Camargue montrent que le *Bacillus thuringiensis israelensis* (BTi) utilisé pour lutter contre les larves de moustiques tue également d'autres diptères tels que les chironomes, consommés par une grande diversité d'espèces aquatiques et terrestres. Les espèces prédatrices (libellules, araignées, oiseaux, chauves-souris) sont donc négativement affectées. Le 23 novembre 2012, le Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité a émis un avis demandant l'arrêt de l'utilisation expérimentale du BTi dans le Parc Régional de Camargue.

Les pièges à phéromones sont peut-être une des meilleures alternatives, cependant les chauves-souris peuvent également se retrouver piégées... Pour éviter cela, il s'avérera utile de couvrir le piège d'un grillage à large maille.

Par ailleurs, des recherches sont en cours dans le cadre du projet « SaveBuxus », pour sélectionner un parasitoïde oophage (microguêpe) pour lutter contre la Pyrale. Ces parasitoïdes pondent leurs œufs dans les œufs du ravageur, entraînant la mort de ce dernier. Ces microguêpes tuent la Pyrale avant que les chenilles, responsables des dégâts, n'éclosent (**brochure SaveBuxus**).

Mais ce projet donne matière à réflexion, car qu'en est-il de l'impact de l'introduction d'une nouvelle espèce exogène pour lutter contre la Pyrale du buis ?

En conclusion : **et si le bon sens nous conduisait plutôt à essayer de favoriser les prédateurs naturels endémiques, donc à protéger un peu mieux les populations de chauves-souris ?**



© Fabien SANÉ

*Oreillard gris.*

## Remerciements

À Myrtille Bérenger, Thomas Deana, Céline Le-Barz, Frédéric Néri, Olivier Sousbie, Matthieu Vaslin pour le partage de leurs observations, à Michel Jay, Michel Barataud et Angélique Moreau pour les relectures ainsi qu'à Matthieu Vaslin et Fabien Sané pour la mise à disposition de leurs photographies.



© Blandine CARRÉ

*Pyrale du buis.*

**CHAUFAUX J., 1995.** Utilisation de biopesticides contre les ravageurs des cultures : le point sur *Bacillus thuringiensis*. Insectes n°97, INRA. Disponible sur : <https://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i97chaufaux.pdf>.

**CSPNB, 2012.** Avis du CSPNB sur l'emploi du *Bacillus thuringiensis israelensis* (BTi) dans la lutte de « confort » contre les moustiques « nuisants » et non vecteurs dans le Parc naturel régional de Camargue. 23 novembre 2012. Disponible sur : [http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/04\\_avis\\_BTi\\_valide-1\\_cle71a8cf.pdf](http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/04_avis_BTi_valide-1_cle71a8cf.pdf).

**DIETZ C., VON HELVERSEN O. & NILL D., 2009.** L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord. Delachaux et Niestlé, Paris. 400p.

**FREDON RHÔNE-ALPES (2015).** Fiche technique Pyrale du buis. Rapport pdf, 2p. Disponible sur : [http://www.fredonra.com/files/2016/09/FT\\_Pyrale-du-buis.pdf](http://www.fredonra.com/files/2016/09/FT_Pyrale-du-buis.pdf).

**SAN-FU TSAIA, BING-LAN LIU, JUNN-WANG LIAO, JUNN-SHIOW WANG, JENN-SHENG HWANG, SHUN-CHENG WANG, YEW-MIN TZENG & SHU-PENG HO, (2003),** Pulmonary toxicity of thuringiensin administered intratracheally in Sprague–Dawley rats ; Volume 186, Issue 3, 22 April 2003, Pages 205–216.

<http://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/Elements-pour-envisager-la-lutte>

[http://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Biocontrole\\_de\\_la\\_pyrale\\_du\\_buis\\_Cydalima\\_perspectalis\\_cle87e231.pdf](http://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Biocontrole_de_la_pyrale_du_buis_Cydalima_perspectalis_cle87e231.pdf)

<http://ephytia.inra.fr/fr/C/21270/Agiir-Cycle-de-vie>

<https://fytoweb.be/fr/nouvelles/retrait-dusages-du-diflubenzuron>

<https://pole-lagunes.org/effets-indirects-des-bioinsecticides-sur-la-faune-non-cible/>

<http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Biosurveillance/Index-de-A-a-Z/P/Pesticides-pyrethrinoides>

<https://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=104&search=Bacillus%20thuringiensis%20var.%20israelensis>

Pour citer cet article :

**CARRÉ, B. 2018.**

Pyrale du buis : une aubaine pour les chauves-souris ? Essai de synthèse des observations naturalistes en France. *Plume de Naturalistes 2* : 119-124.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes* : [www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Comment modéliser les connectivités écologiques pour les chauves-souris ?

*Une étude à application directe sur le terrain, pour identifier, protéger ou restaurer les corridors autour des colonies.*

Par **David PINAUD** (david.pinaud@cebc.cnrs.fr)  
**Fabien CLAIREAU**  
**Maxime LEUCHTMANN**  
**Christian KERBIRIOU**



## Résumé

1. La fragmentation des habitats et l'isolement résultant des activités humaines ont été reconnues comme une grande menace pour les populations. Évaluer la connectivité paysagère pour identifier et protéger les corridors devient alors un défi crucial en écologie appliquée et en conservation.

2. La modélisation par les Chemins de Moindre Coût (LCP) est une approche très utilisée pour évaluer la connectivité. Cependant, plusieurs études ont pointé l'importance du choix des paramètres affectant les mouvements (qui doivent correspondre à une réalité biologique mesurée sur le terrain), ainsi que le besoin de valider le modèle de connectivité avec un jeu de données indépendant.

3. Nous proposons ici un modèle de connectivité fonctionnelle pour le Grand Rhinolophe *Rhinolophus ferrumequinum*. Une analyse par LCP est paramétrée avec des données empiriques et quantitatives en lien avec le déplacement des rhinolophes près des éléments fixes du

paysage. Ce modèle a été ensuite validé avec deux jeux de données indépendants, un au niveau individuel avec du radio-pistage et l'autre au niveau populationnel avec des données acoustiques.

4. En définissant la résistance sur le terrain, nous trouvons que la probabilité de franchir une discontinuité dans une haie est plus importante quand la trouée est inférieure à 38m, et diminue fortement quand cette distance dépasse 50m. Le modèle LCP est validé par les deux jeux de données : les probabilités de présence des rhinolophes mesurées par l'acoustique et par le radio-pistage sont plus importantes dans les zones où le coût accumulé de déplacement est significativement plus faible.

**Synthèse et applications.** Selon nos résultats, une distance de trouée maximale de 38m (pas plus que 50m) est recommandée entre les éléments fixes du paysage autour de colonies de mise-bas de Grand Rhinolophe. Cette approche quantitative permet une application de conservation concrète sur le terrain, transférable à d'autres espèces sensibles à la perte de connectivité, comme les chiroptères. À condition qu'elle soit paramétrée correctement, cette modélisation peut aider à restaurer les connectivités et évaluer les mesures de conservation visant les continuités écologiques.



## Introduction

La fragmentation des habitats et l'isolation résultant des activités humaines ont été reconnues comme une grande menace pour les populations, y compris pour les Chiroptères. Évaluer la connectivité paysagère pour identifier et protéger les corridors devient alors un défi crucial en écologie appliquée et en conservation. Devant les enjeux de disparition et de fragmentation des habitats et la mise en place de la Trame Verte et Bleue (TVB), il est important que les mesures de protection proposées (par exemple l'identification et la protection de corridors) aient une réalité écologique afin d'avoir les meilleures chances de réussite. En se focalisant sur ces problèmes, notre étude propose un modèle de connectivité fonctionnelle pour une colonie de parturition de Grand Rhinolophe *Rhinolophus ferrumequinum* en Charente-Maritime (Aquitaine). Cette espèce est réputée très sensible à la perte de connectivité et est souvent choisie comme indicateur dans les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE).

Nous avons eu recours à des outils de modélisations pour :

(1) évaluer si la probabilité de franchissement d'une trouée dépendait de sa largeur (Modèle linéaire mixte GLMM). Cette évaluation a permis de définir un paramètre de friction au sein du paysage ;

(2) prédire le degré de connectivité des paysages et ainsi visualiser les corridors potentiels (méthodes des Chemins de Moindre Coût (LCP = Least Cost Path)) basés sur une carte de résistance élaborée à partir des paramètres de friction estimés préalablement.

L'approche des Chemins de Moindre Coût est très largement utilisée pour évaluer la connectivité et tracer des corridors. À partir d'une carte représentant les coûts

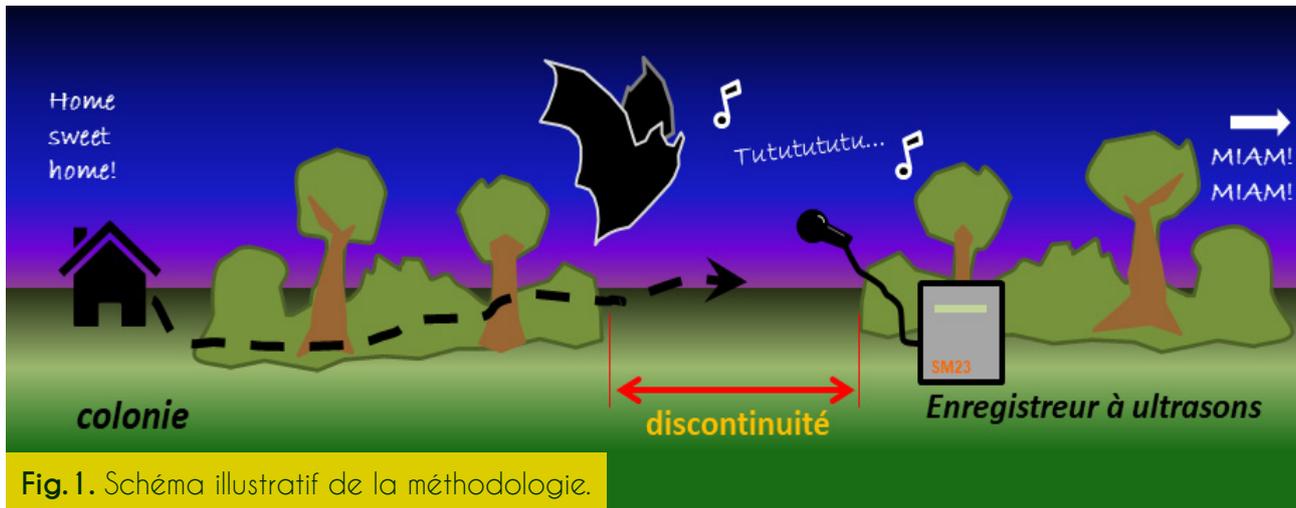


Fig. 1. Schéma illustratif de la méthodologie.

de déplacements (résistance) pour chaque unité d'habitat, la modélisation permet de tracer les chemins les plus probables, dans le cas d'une approche LCP, ceux qui minimisent les coûts cumulés entre un point de départ et un point d'arrivée. Malgré sa large utilisation, la mise en application de cette méthode souffre bien souvent de plusieurs défauts :

- le choix des paramètres affectant les mouvements (valeurs des coefficients de friction) doit correspondre dans l'idéal à une réalité biologique mesurée sur le terrain. Malheureusement, ces valeurs sont difficiles à mesurer et sont bien souvent données à dire d'expert, faute de mieux ;
- il est aussi important de valider le modèle de connectivité avec un jeu de données indépendant afin d'évaluer sa réalité biologique, ce qui nécessite alors un effort d'échantillonnage supplémentaire rarement mis en œuvre.

## Méthodes et résultats

Pour remédier à ces défauts habituels, nous avons développé une analyse par LCP cette fois-ci paramétrée à partir de données empiriques et quantitatives en lien avec le déplacement réel des rhinolophes près des éléments fixes du paysage (les haies).

Ce modèle a été ensuite validé avec deux jeux de données indépendants, un au niveau individuel avec du radio-pistage et l'autre au niveau populationnel avec des données acoustiques.

### Définition empirique de la friction

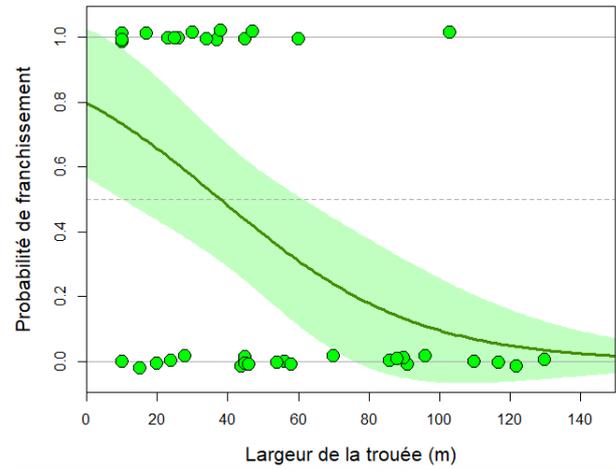
Pour définir biologiquement la résistance sur le terrain, des enregistreurs automatiques ont été placés dans des haies discontinues (à l'extrémité de la trouée), dans un rayon de 1.5 km autour de la colonie, en plaçant le micro derrière la trouée par rapport à la colonie (**Figure 1**).

Si un Grand Rhinolophe est contacté par l'enregistreur en début de nuit (en période de transit 22:00 – 23:00), nous faisons l'hypothèse que la discontinuité (d'une certaine largeur) a été franchie. En plaçant judicieusement les enregistreurs, on peut balayer une gamme de largeur de trouée (ici allant de 10 à 130 m) et étudier les probabilités de franchissement d'une discontinuité dans un corridor en fonction de la largeur de cette trouée. Les résultats montrent que la probabilité de franchir une discontinuité dans une haie est plus importante quand la trouée est inférieure à 38 m, et diminue fortement quand cette distance dépasse 50 m (**Figure 2**). À partir

de ces résultats, il est possible de définir des distances maximales entre les haies à appliquer directement sur le terrain pour favoriser le déplacement des Grands Rhinolopes et préserver ou recréer des corridors favorables.

### Application à un modèle de connectivité

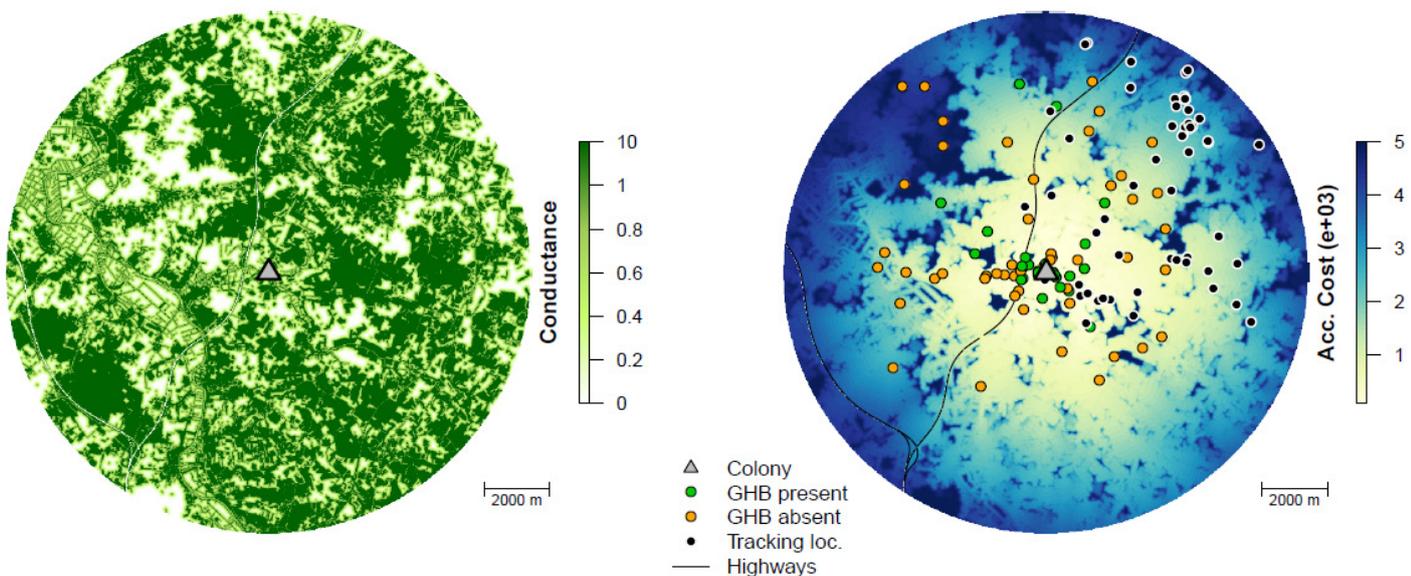
À partir de cette quantification de la résistance sur le terrain, un modèle de coût cumulé est appliqué à partir de la colonie. Pour cela, tous les éléments favorables aux déplacements (éléments fixes du paysage : haies, bois, vignes et zones de village) sont d'abord numérisés dans un rayon de 8 km autour de la colonie. Ensuite, la distance à ces éléments est calculée avec un Système d'Information Géographique (SIG) à laquelle la fonction donnant la probabilité de trouver un Grand Rhinolope en transit est appliquée en fonction de la distance à un élément fixe (définie à l'étape précédente, courbe **figure 2**). Les probabilités sont standardisées de 0 à 1 et un coefficient de 10 est appliqué aux éléments fixes



**Fig. 2.** Modélisation de la probabilité de franchissement d'une trouée en fonction de sa largeur.

du paysage, pour donner la matrice de perméabilité (= conductance = inverse de la matrice de résistance), élément de base pour modéliser la connectivité (**Figure 3**, à gauche).

Enfin, une analyse de chemin de moindre coût est appliquée à partir de la colonie, pour obtenir le coût cumulé à partir de la colonie (le point de départ) pour chaque cellule de la carte (**Fig 3**, à droite), chaque cellule étant considérée comme un point d'arrivée.



**Fig. 3.** Conductance (gauche) et surface de coût accumulé (droite, échelle de couleur d'après quantiles) estimées pour la colonie.

## Validation du modèle de connectivité

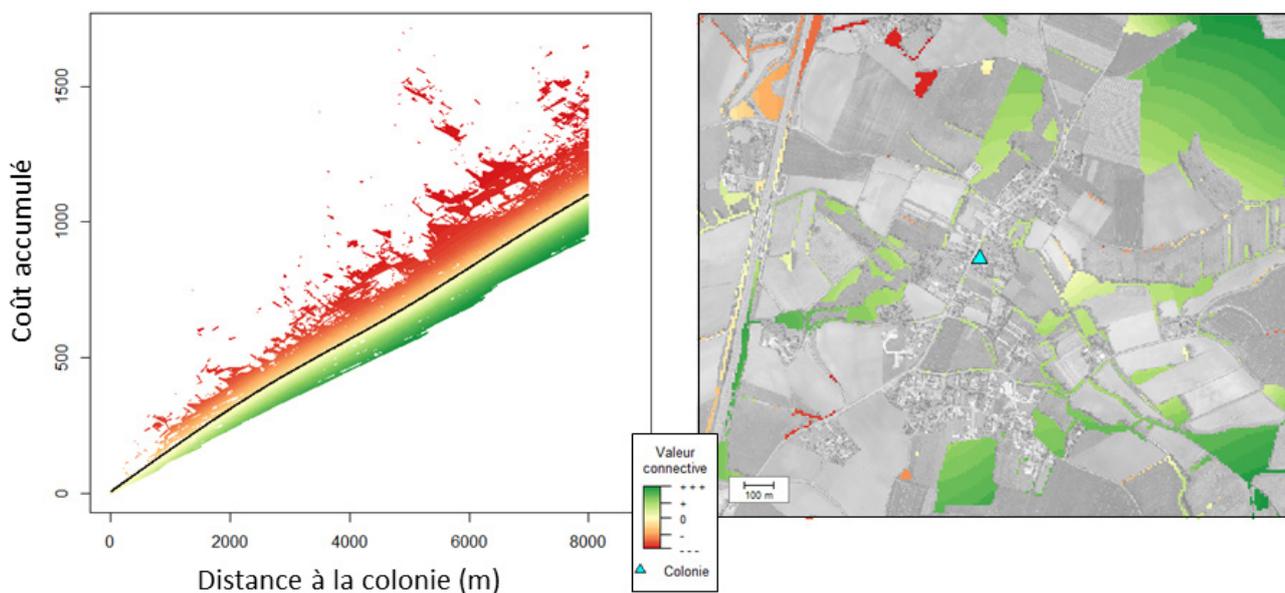
Le modèle de connectivité a été confronté à deux jeux de données indépendants : un suivi acoustique passif sur 75 points dans un rayon de 8 km autour de la colonie ; et le suivi par radiopistage de 8 femelles allaitantes se reproduisant dans la colonie. Le modèle LCP est validé par les deux jeux de données : les présences des rhinolophes mesurées par l'acoustique et par le radiopistage sont plus importantes dans les zones où le coût accumulé de déplacement est significativement plus faible.

## Application pour la conservation

Selon nos résultats, une distance de trouée inférieure à 38 m (grand maximum de 50 m) est recommandée entre les éléments fixes du paysage autour de colonies de mise-bas de Grand Rhinolophe. Au-delà de 50 m, les probabilités de passage étaient très faibles. Ces valeurs limites peuvent aider concrètement les gestionnaires lorsqu'il s'agit d'évaluer ou de replanter des haies par exemple, en travaillant sur les largeurs de trouées.

Une autre application est la production d'une carte résumant la valeur connective des haies pour une colonie donnée. En effet, on peut qualifier chaque haie selon la distance à la colonie et le coût cumulé calculé selon le modèle de connectivité. À une distance donnée de la colonie, on peut calculer le coût cumulé moyen et une haie peut avoir une valeur de coût cumulé plus forte ou plus faible que cette moyenne, correspondant respectivement à une mauvaise et une meilleure connexion à la colonie (**Figure 4**). Cette valeur connective relative peut être transposée sur une carte pour disposer d'un outil de protection des haies à forte valeur connective (en vert sur la carte), ou d'orientation de plantations pour reconnecter à la colonie les éléments isolés (en rouge).

Cette approche quantitative permet une application de conservation concrète sur le terrain, transférable à d'autres espèces sensibles à la perte de connectivité. À condition qu'elle soit paramétrée correctement, cette modélisation peut aider à restaurer les connectivités et évaluer les mesures de conservation visant les continuités écologiques.



**Fig. 4.** Valeurs relatives de connectivité pour des éléments connectant (haies, bois) dans le voisinage de la colonie d'Annepont.



## Remerciements

Remerciements chaleureux aux nombreuses personnes impliquées dans le travail de terrain : Nais Aubouin, Emilien Jomat, Jean-Baptiste Pons, Ondine Filippi-Codaccioni, Alice Chéron, Matthieu Dorfiac, Sabrina Maiano, Marius Ruchon, Anthony Le Guen, Olivier Roques, Jérémy Dechartre, Rémi Jaouen, Gaëlle Kania... ainsi qu'à la mairie d'Annepont.

Soutien financier : Programme ECONAT Région Poitou-Charentes CPER 2015-2020 et la Fondation LISEA Biodiversité.

## Pour citer cet article :

**PINAUD, D., F. CLAIREAU, M. LEUCHTMANN & C. KERBIRIOU. 2018.**

Comment modéliser les connectivités écologiques pour les chauves-souris ?

Une étude à application directe sur le terrain, pour identifier, protéger ou restaurer les corridors autour des colonies.

*Plume de Naturalistes* 2 : 125-130.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes*:

[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

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

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

## Contexte de l'étude

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

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



## 1. Localisation des tronçons étudiés

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

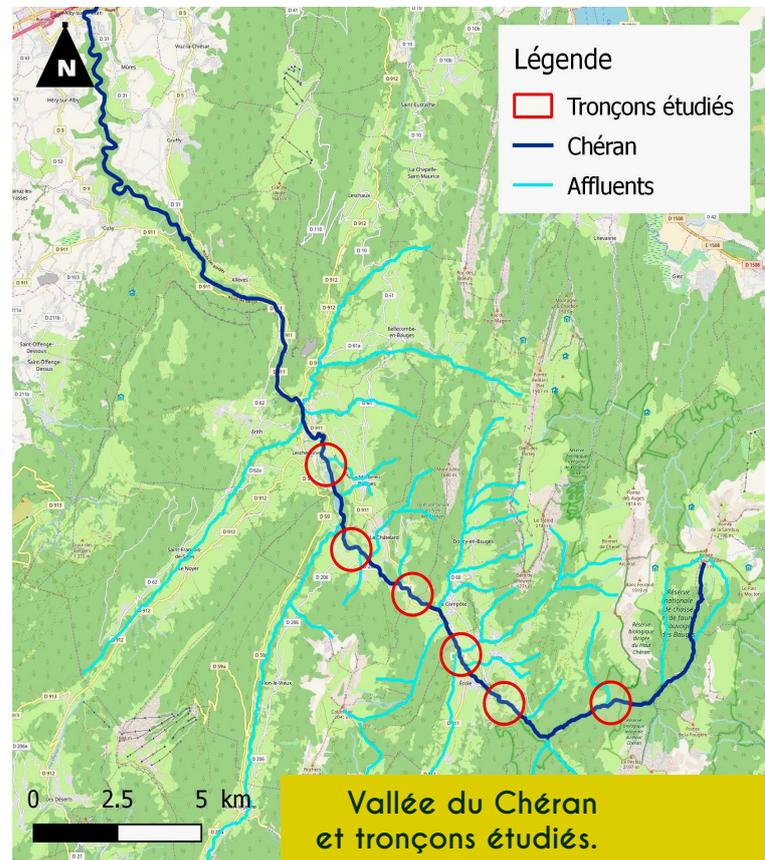
Le régime alimentaire du Cincle a été analysé sur la partie amont du Chéran (d'École jusqu'à Lescheraines) sur 6 tronçons.

## 2. Écologie du Cincle plongeur

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

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

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



et Hydropsychidae (Trichoptère) en grandissant.

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

## 3. Objectifs de l'étude

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

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

# Matériels et méthodes

## 1. Description des tronçons étudiés

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

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

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

## 2. Capture des Cincles plongeurs

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

## 3. Collecte des pelotes de réjection des Cincles plongeurs

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

## 4. Prélèvements de la macrofaune aquatique benthique

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

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

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

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

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

## 5. Tri et détermination de la macrofaune aquatique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 6. Interprétation des affinités écologiques de la macrofaune aquatique

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

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

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

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

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

- **Affinités hydrauliques :**

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

- **Affinités trophiques :**

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

- **Régime alimentaire :**

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

- **Mode de déplacements :**

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

- **Habitats préférentiels :**

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

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

## 7. Calculs des variables biotiques de la macrofaune aquatique

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

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

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

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

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

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

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

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

## 8. Analyses statistiques entre le Cincle et la macrofaune aquatique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

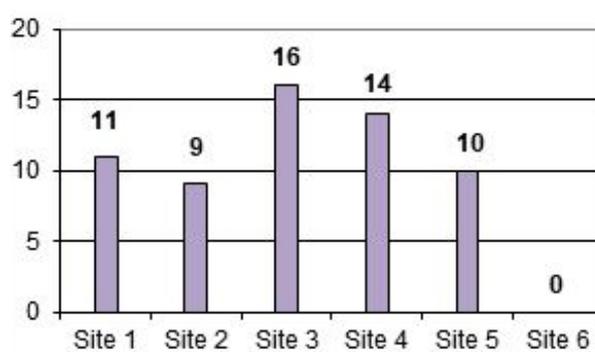
Néanmoins, une hypothèse sera d'autant plus justifiée et d'autant plus probable que

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

## Résultats

### 1. Dénombrement des cinctes

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



**Figure 1.**

Nombre de cinctes capturés sur les tronçons étudiés.

### 2. Détermination des pelotes de réjection des cinctes plongeurs

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

**Tableau 1.** Liste faunistique des tronçons étudiés.

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

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

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

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

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

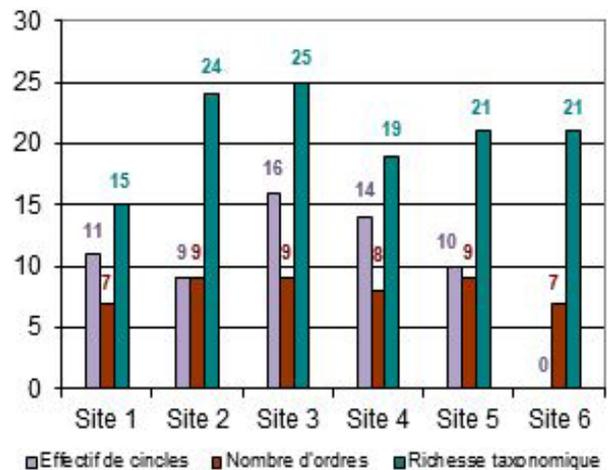
Le tronçon 3 (16 cinctes) est dominé par l'ordre des Éphéméroptères (242 ind.) puis composé par les Amphipodes (94 ind.) et les Diptères (61 ind.), soit 76 % du peuplement.

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

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

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

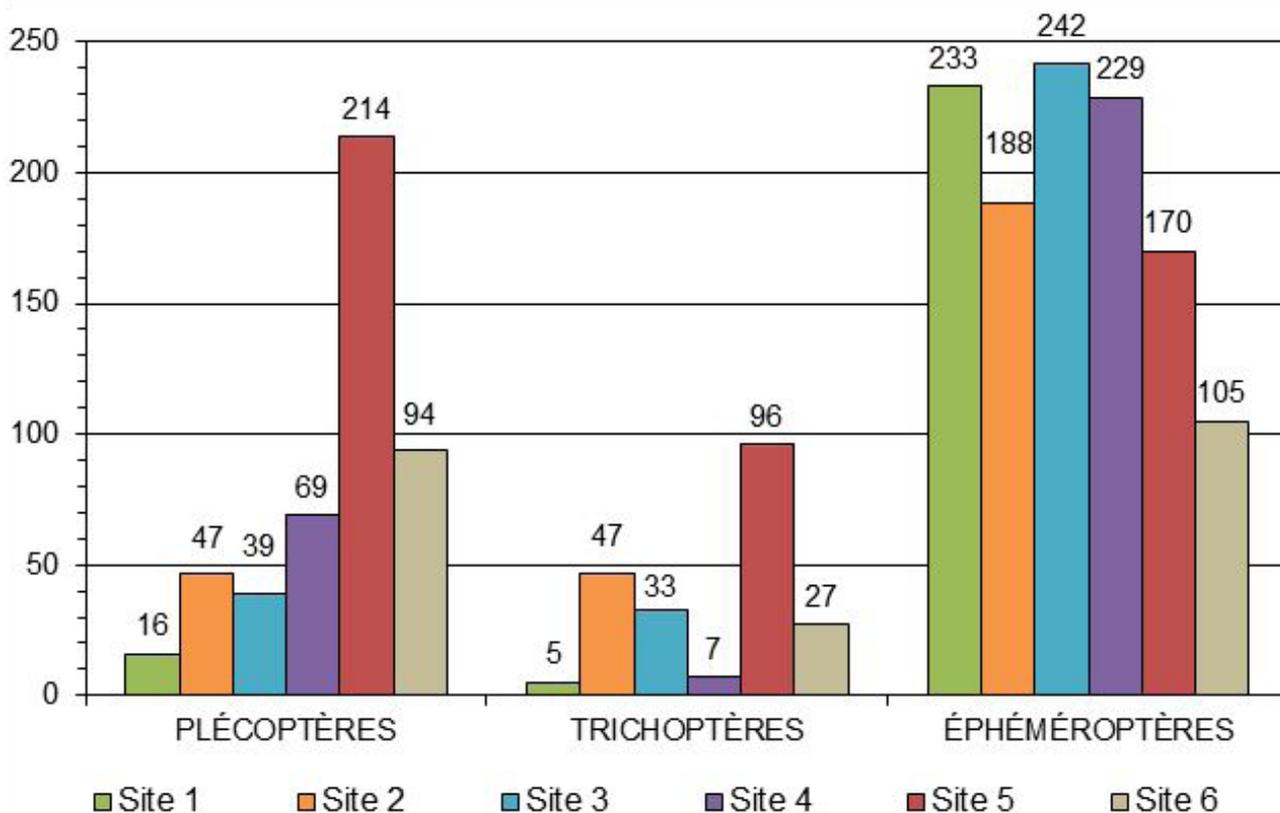
des Plécoptères (94 ind.) et des Diptères (44 ind.), soit 90 % du peuplement total. La comparaison des effectifs de cincte et de la macrofaune est exposée dans la **Figure 2**.



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

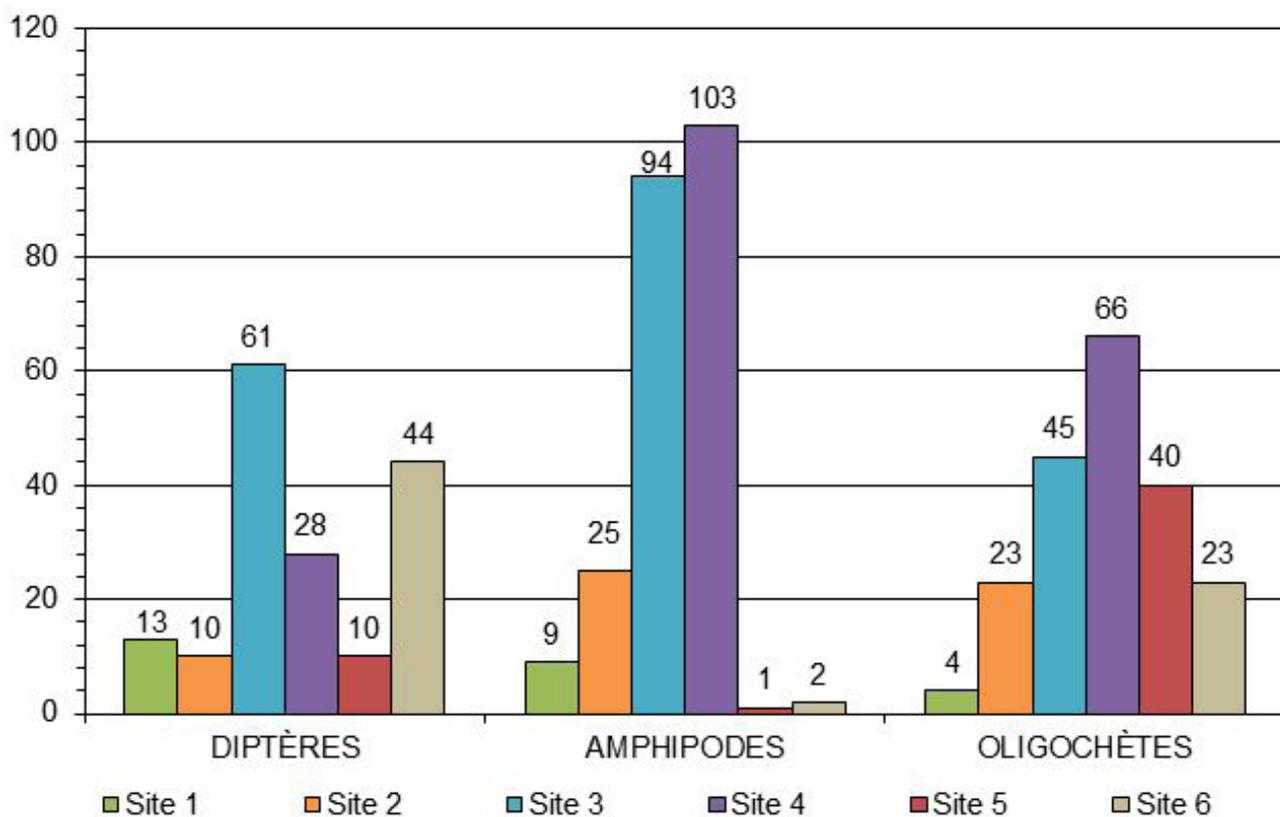
#### Larves de Baetidae-Éphéméroptères.





**Figure 3.**

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



**Figure 4.**

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

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

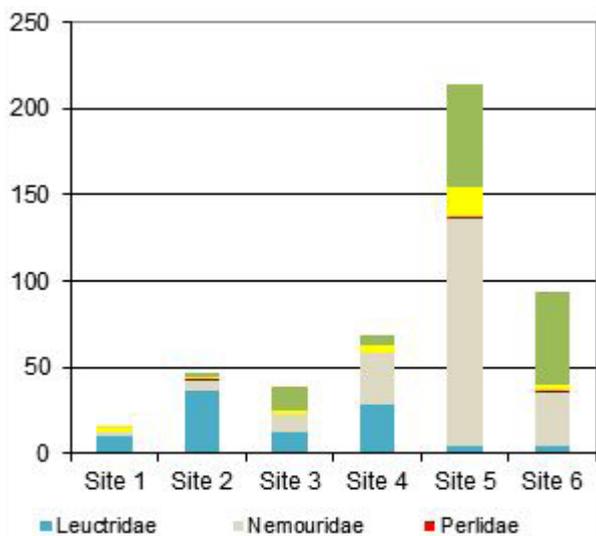
Le dénombrement de la macrofaune aquatique correspond aux calculs des abondances des familles (AbF) de chaque tronçon étudié. Seuls les cortèges entomologiques ont fait l'objet de cette analyse car les autres ordres possèdent des taxons mono-familiaux.

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

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

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

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



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

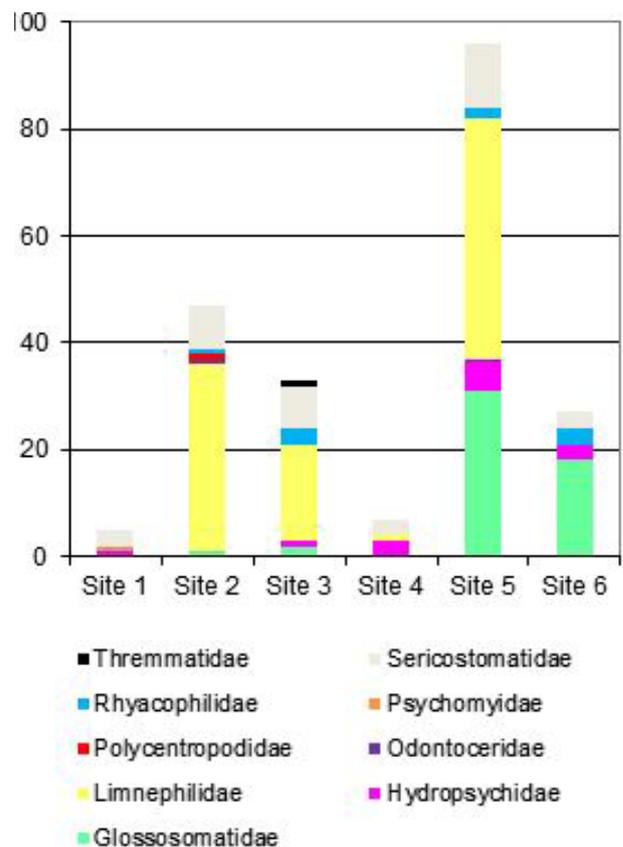
- **Ordre des Trichoptères (Figure 6)**

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

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

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

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



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

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

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

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

- **Ordre des Diptères (Figure 8)**

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

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

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

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

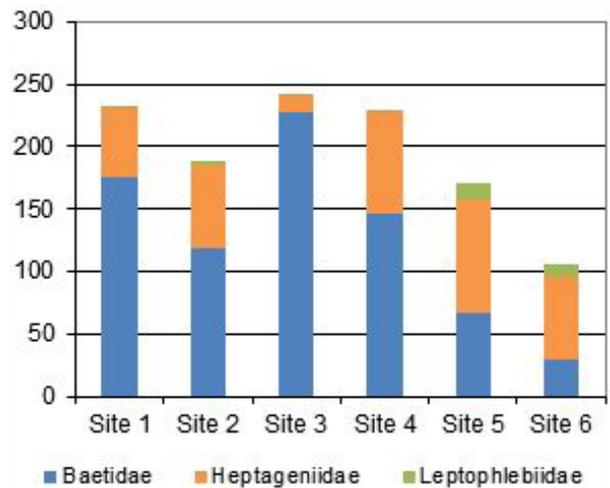
C'est aussi le seul tronçon dans lequel la famille des Blephariceridae a été recensée.

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

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

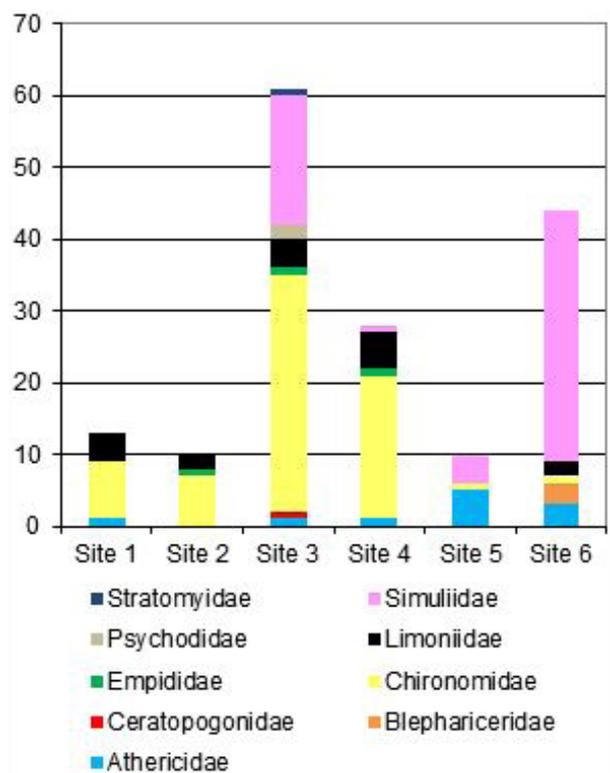
Le site 6 possède les effectifs les plus importants. Les autres tronçons présentent une densité moindre.

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



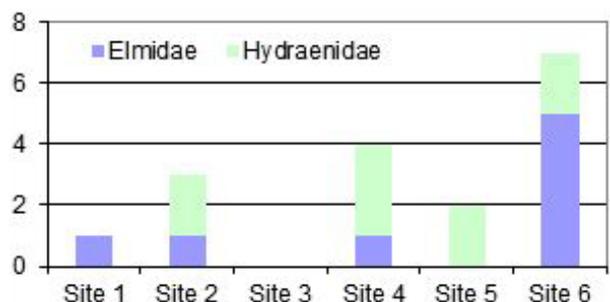
**Figure 7.**

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



**Figure 8.**

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

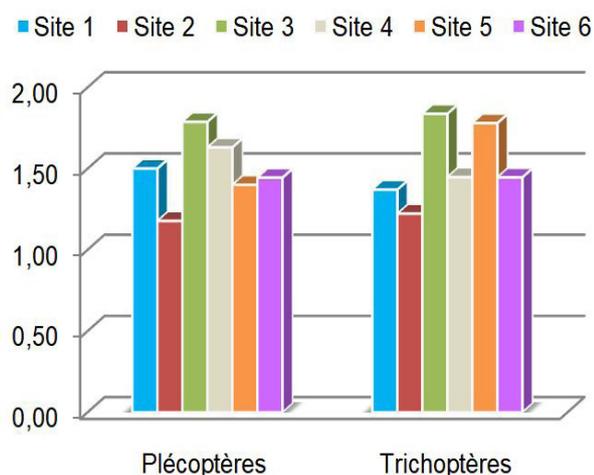


**Figure 9.**

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

## 5. Analyse de la diversité de Shannon H'

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



**Figure 10.** Diversité de Shannon (H') des tronçons échantillonnés (Plécoptères et Trichoptères).

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

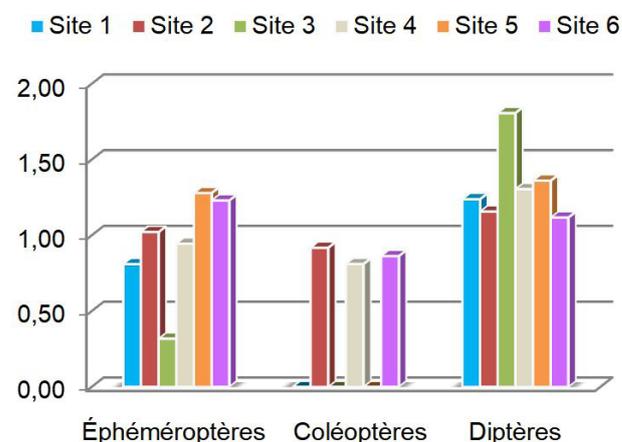
Pour les Coléoptères, la diversité de Shannon est comprise entre 0 (sites 1, 3 et 5) et 0,92 (tronçon 2).

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

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

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

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



**Figure 11.** Diversité de Shannon (H') des tronçons échantillonnés (Éphéméroptères, Coléoptères et Diptères).

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

Les taxons possèdent des affinités biologiques et écologiques spécifiques.

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

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

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

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

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

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

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

- **Affinités thermiques (Figure 13)**

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

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

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

- **Affinités hydrauliques (Figure 14)**

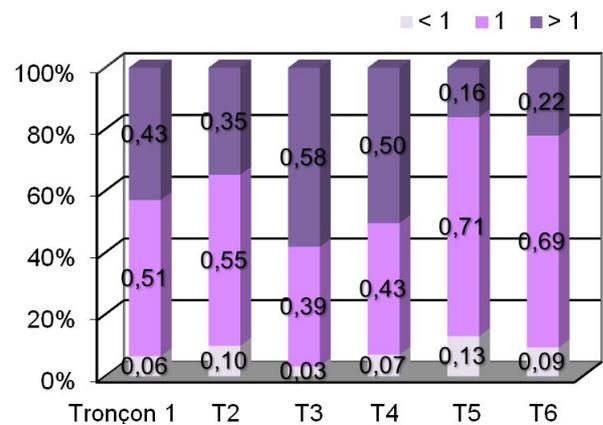
Les taxons identifiés présentent une dominance pour un courant lent à moyen.

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

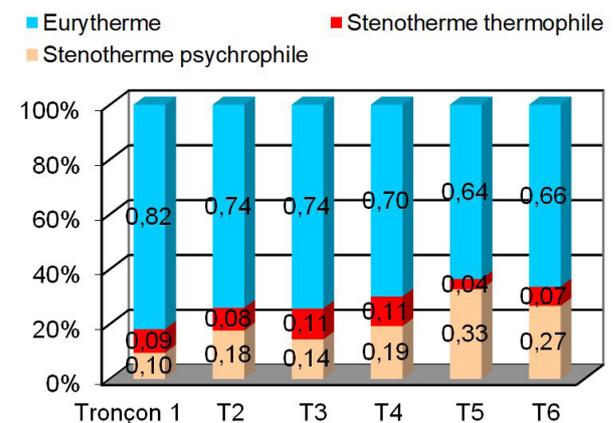
Au contraire, 28 % (site 6) à 37 % (site 3) des taxons possèdent des affinités pour un courant lent. En ce qui concerne les affinités pour un courant moyen, 32 % (sites 2 et 3) à 39 % (site 6) des taxons y sont représentés.

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

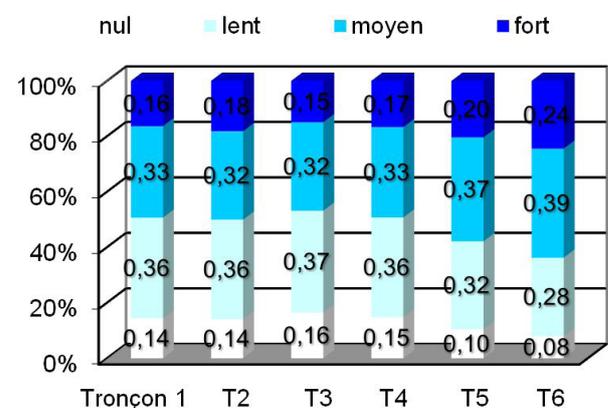
Concernant le tronçon 6 (aucun cicle recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait écologique.



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



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



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

• **Affinités trophiques (Figure 15)**

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

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

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

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

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

• **Régime alimentaire (Figure 16)**

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

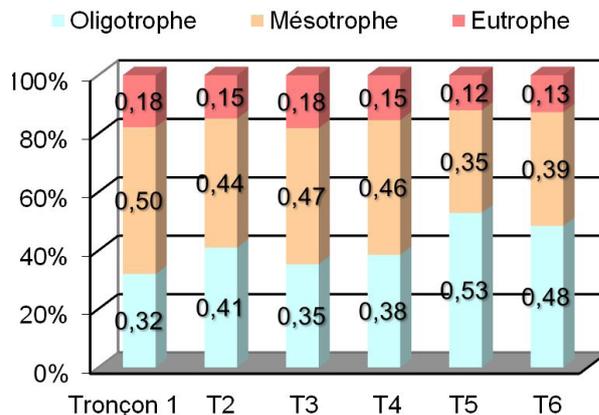
- les saprophages représentent de 37 % (site 4) à 48 % (site 5) des taxons ;
- les phytophages représentent de 37 % (site 4) à 45 % (site 1) des taxons ;

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

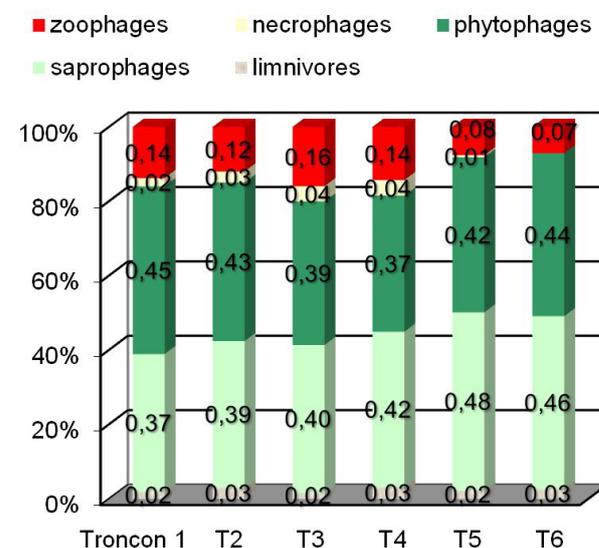
Par contre, les régimes alimentaires suivants demeurent relativement faibles :

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

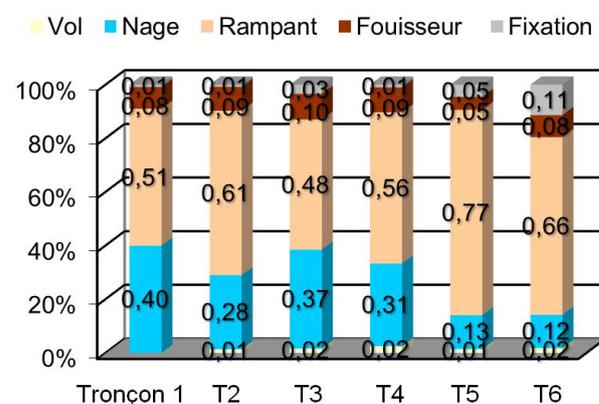
Concernant le tronçon 6 (aucun crible recensé), aucune information caractéristique ne semble se dégager pour ce trait biologique.



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



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



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

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

Les modes de locomotion dominants chez les taxons correspondent à :

- la reptation (sur le substrat minéral et les matières végétales) pour 48 % (site 3) à 77 % (site 5) ;
- la nage pour 12 % (site 6) à 40 % (site 1). Les taxons possédant d'autres modes de locomotion restent faibles sur les tronçons ;
- le vol, pour 0 % (site 1) à 2 % (sites 3, 4 et 6) ;
- l'enfouissement, pour 5 % (site 5) à 10 % (site 3) ;
- la fixation, pour 1 % (sites 1, 2 et 4) à 11 % (site 6).

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

• **Habitats préférentiels (Figure 18)**

Les habitats prédominants des taxons échantillonnés concernent :

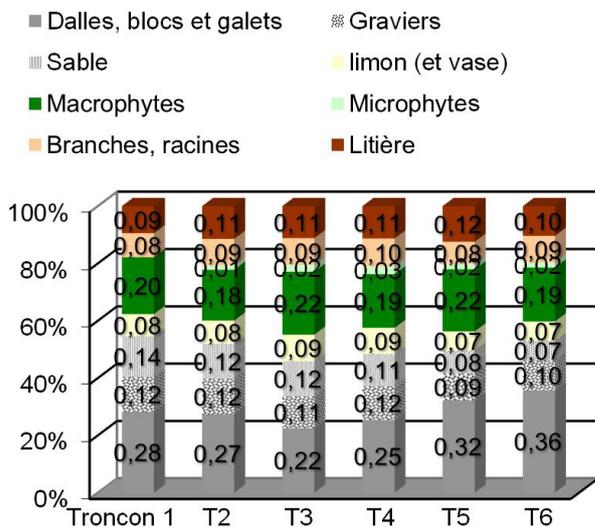
- les dalles, blocs et galets de 22 % (site 3) à 36 % (site 6) ;
- les macrophytes représentant 18 % (site 2) à 22 % (site 3 et 10).

Les habitats secondaires distinguent les 5 catégories suivantes :

- les graviers représentant 9 % (site 5) à 12 % (sites 1, 2 et 4) ;
- les sables représentant 7 % (site 6) jusqu'à 14 % (site 1) ;
- la litière représentant 9 % (site 1) à 12 % (site 5) ;
- les branches et racines représentant 8 % (sites 1 et 5) jusqu'à 10 % (site 4) ;
- les limons représentant 7 % (sites 5 et 6) à 9 % (sites 3 et 4) .

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

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



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

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

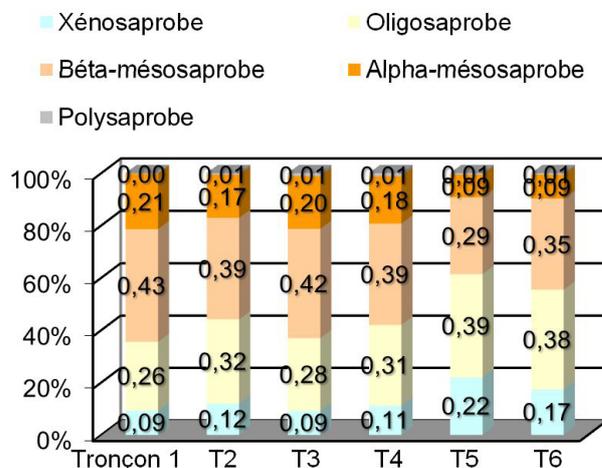
• **Résistance à la pollution (Figure 19)**

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

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

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

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



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

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

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

## Discussions et interprétations

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

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

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

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

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

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

**Tableau 2.**  
Richesse taxonomique - RT.

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

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

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

#### • Richesse taxonomique (RT)

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

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

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

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

### •Diversité de Shannon (H')

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

**Tableau 3.**  
Diversité de Shannon - H'.

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

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

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

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

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

### •Abondance des ordres Abo

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

**Tableau 4.**  
Abondance des ordres - AbO.

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

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

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

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

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

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

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

**Tableau 5.**

 Abondance des familles - Ab<sub>F</sub>.

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

### • Abondance des familles Ab<sub>F</sub>

Le **Tableau 5** synthétise les calculs de corrélation sur l'abondance des familles.

Pour rappel, l'abondance des familles Ab<sub>F</sub> représente le nombre d'individus dans chaque famille.

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

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

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

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

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

### • Synthèse pour l'ordre des Plécoptères

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

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

## • Synthèse pour l'ordre des Trichoptères

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

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

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

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

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

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

## • Synthèse pour l'ordre des Éphéméroptères

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

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

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

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

## • Synthèse pour l'ordre des Diptères

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

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

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

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

## • Synthèse pour l'ordre des Amphipodes

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

Cette hypothèse corrélatrice est renforcée

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tableau 6.**

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

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

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

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

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

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

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

Cette analyse présuppose 2 interprétations différentes.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Conclusion et perspectives de l'étude

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

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

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

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

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

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

## Remerciements

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



# Bibliographie

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



© G Bourderiomnet

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

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

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

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

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

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

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

### Pour citer cet article :

**JACQUIER, C. 2018.**

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

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes*:  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

ISSN 2607-0510

# Comportement de ponte d'une Argiope frelon (*Argiope bruennichi*)

## Un reportage en images

Par **Jean CONSTANCIAS** (texte et clichés)  
([jean.constancias@gmail.com](mailto:jean.constancias@gmail.com))

### Circonstances de réalisation des photos de la ponte.

Le 3 octobre 2017, une femelle d'Argiope frelon (ou Argiope fasciée) était capturée et mise dans un petit terrarium avec quelques branches pour qu'elle puisse y fixer sa toile. Quelques jours auparavant, son comportement était en tout point semblable à celui d'autres argiopes frelons observées antérieurement plusieurs années de suite. À la fin de l'été ou au début de l'automne, pendant quelques jours, sans réactions, l'abdomen gonflé, elles ignoraient les sauterelles prises dans leurs toiles délabrées qu'elles ne réparaient plus et un matin, elles avaient disparu. En cherchant bien dans les broussailles à proximité de la toile était parfois découvert le petit cocon en forme de montgolfière renversée qu'elles avaient tissé pendant la nuit. Le plus souvent l'araignée ne réapparaissait pas. Parfois, si l'été se prolongeait, elle pouvait retisser une toile et pondre à nouveau quelque temps après.



La raison de la capture de cette araignée était d'assister enfin à cette ponte qui se déroulait de nuit. Le 3 octobre 2017, vers 23 h 00, la femelle, sortie de son apathie, avait commencé le travail. La durée totale depuis le début du tissage jusqu'à l'achèvement du cocon peut-être estimée à environ 3 heures. Aucune hésitation dans ses mouvements. Un enchaînement parfait, sans pause entre les différentes phases de la ponte et le changement de fil utilisé. Après une première couche de fils de soie blancs, l'ensemble a été enveloppé par une couverture de fils de soie bruns, certainement d'une composition quelque peu différente pour, peut-être, l'isolation des œufs contre le froid de l'hiver. Enfin un mélange de soie beige et noire pour probablement assurer l'étanchéité et le camouflage de la structure.

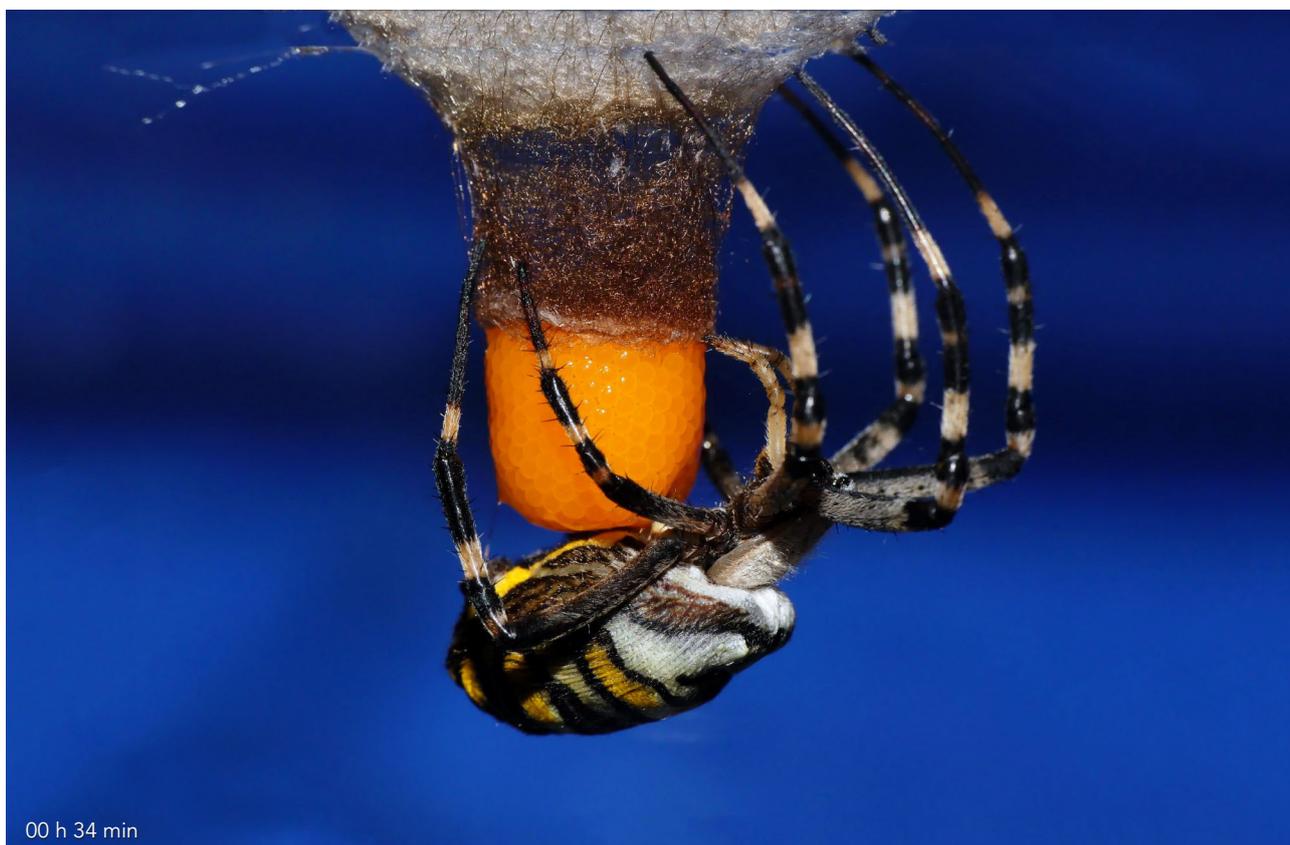
## Déroulement de la prise de vue

En raison de la rapidité avec laquelle l'animal s'est mis au travail, un carton bleu a rapidement été placé en guise de fond derrière la scène et les photos furent prises au travers de la vitre avec un simple Bridge Panasonic Lumix FZ300 équipé d'une bonnette macro Raynox 250. Le flash utilisé était celui de l'appareil. Sans un matériel forcément coûteux, on peut donc réaliser des photos de bonne qualité permettant la visualisation des filières, des fils de soies et de détails morphologiques de l'animal. À aucun moment l'araignée n'a semblé perturbée par les éclairs du flash. Pas une seconde de son rituel immuable, décrit par Jean-Henri Fabre dans ses **Souvenirs Entomologiques**, ne fut perdue.

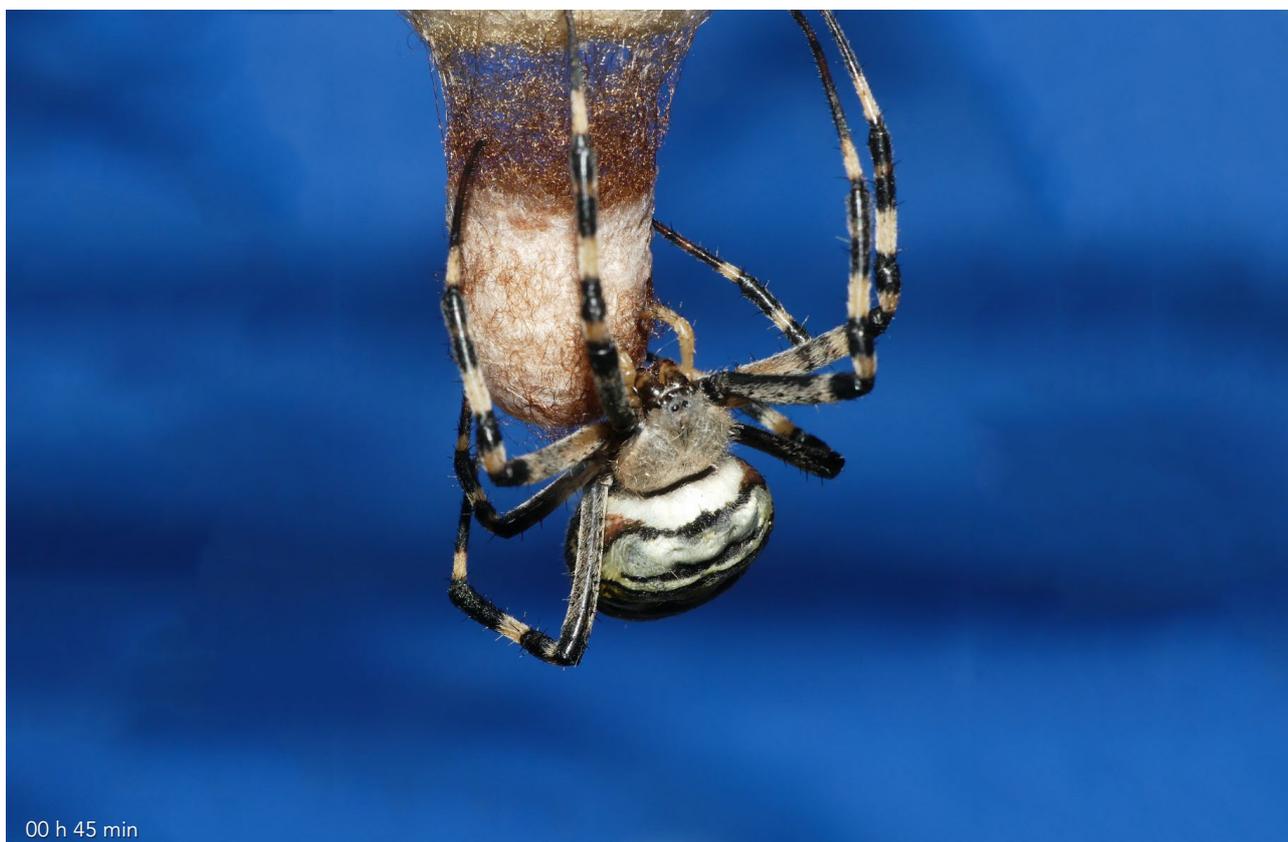
### Tissage du fourreau



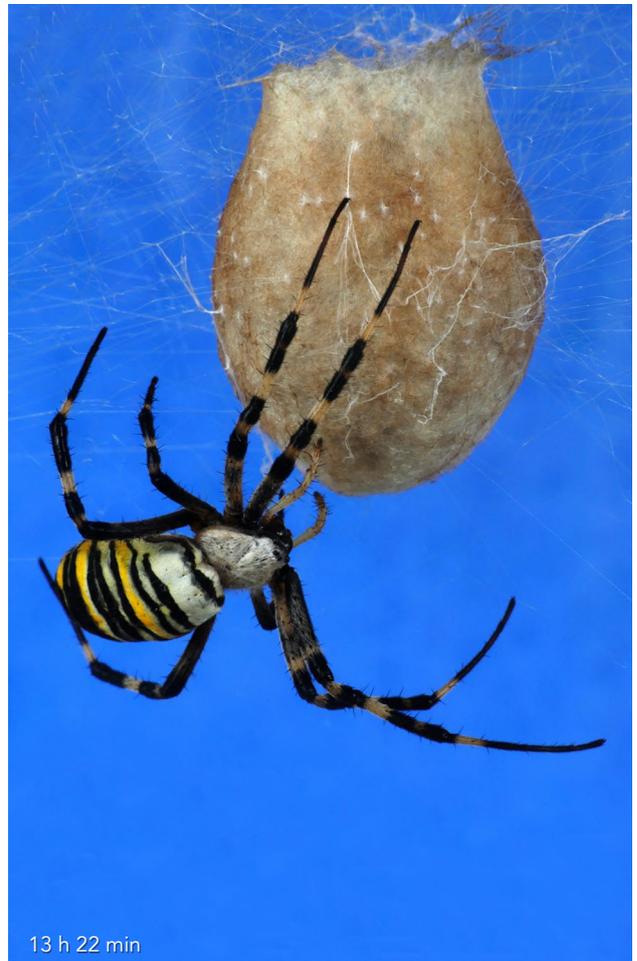
## Dépôt de la ponte et son enfoncement dans le fourreau



## Tissage d'un cocon entourant la ponte à l'aide de fils de soie







Au printemps, les petites araignées perforent l'enveloppe du cocon comme le montre une **vidéo d'André Lequet**. Un cocon conservé au sec était peut-être devenu trop rigide pour être perforé de l'intérieur ; au mois de mai, comme il ne se passait rien, il fut ouvert. Une multitude de minuscules araignées en surgit, impatientes de découvrir le monde extérieur.



## Observations des adultes sur le terrain

Le mâle est beaucoup plus petit que la femelle comme on peut le constater sur les photos suivantes.



**Mâle**



**Femelle**

En cherchant bien, on trouve un mâle, parfois plusieurs, à proximité d'une femelle. Leurs approches timides et très risquées pour s'accoupler ont pu être observées.





Les restes d'un mâle visibles dans la toile d'une femelle, semblent témoigner des risques encourus.



L'Argiope frelon tisse sa toile dans la végétation herbacée haute, ce qui fait d'elle une spécialiste de la capture des criquets qu'elle immobilise en les emmaillant aussitôt avec un réseau dense de fil de soie.



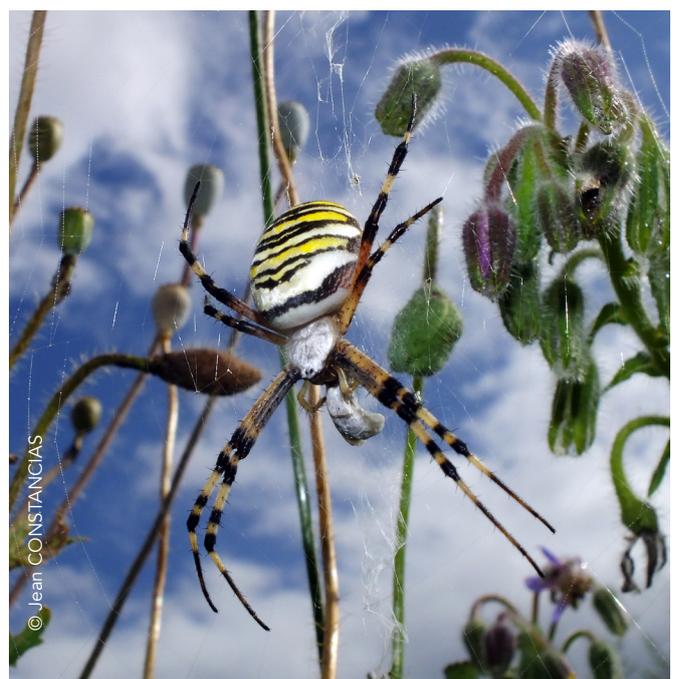
Curieux de nature, chaque année, quand je vois réapparaître l'Argiope, je sais que je vais pouvoir de nouveau l'observer, la photographier. Immuable au milieu de sa toile, attendant pendant des heures qu'un insecte se prenne dans son piège, et en une fraction de seconde l'envelopper de

ses fils avant de le déguster lentement. Peut-être assister à un épisode de sa courte vie que je ne connaissais pas ? Et, lorsque l'automne arrive, j'éprouve toujours une certaine tristesse quand un beau matin je m'aperçois qu'elle a disparu.



## Remerciements

Un grand merci à Miss Argiope pour son extrême patience lors des interminables séances photos !





© Jean CONSTANCIAS

Femelle après la ponte  
avec l'abdomen dégonflé

# Bibliographie

**FABRE J.H., 1903.** *Souvenirs entomologiques*. VIIIème série. Paris. 380p.

## Liens internet :

Site des Souvenirs Entomologiques de Jean-Henri Favre :

[https://www.e-fabre.com/e-texts/souvenirs\\_entomologiques/epeire\\_fasciee.htm](https://www.e-fabre.com/e-texts/souvenirs_entomologiques/epeire_fasciee.htm)

Site d'André Lequet :

[https://www.insectes-net.fr/argiope/argiope\\_1.htm](https://www.insectes-net.fr/argiope/argiope_1.htm)

Photos de Jean Constancias :

<http://lesphotosdejeanconstancias.blogspot.com/>

Séquences filmées par Jean Constancias avec le même matériel photo :

<https://www.youtube.com/watch?v=-KeuoDMDDeu8>

## Pour citer cet article :

**CONSTANCIAS, J. 2018.**

Comportement de ponte  
d'une Argiope frelon  
(*Argiope bruennichi*)

Un reportage en images.  
*Plume de Naturalistes 2* : 157-168.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles  
de *Plume de Naturalistes*:  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)



# Coexistence de deux espèces cryptiques de chauves-souris en Guyane française : apprentissages à partir de la génétique, de l'acoustique et de l'écologie

Par **Ondine FILIPPI-CODACCIONI**<sup>1,2,3</sup> (ondine.filippi@universite-lyon.fr),  
**Marie-Pauline BEUGIN**<sup>1,2,4</sup>, **Damien M. DE VIENNE**<sup>1,2</sup>,  
**Elodie PORTANIER**<sup>1,5,6</sup>, **David FOUCHET**<sup>1,2</sup>, **Cécile KAERLE**<sup>4</sup>,  
**Lina MUSELET**<sup>4</sup>, **Guillaume QUENEY**<sup>4</sup>, **Eric J. PETIT**<sup>7</sup>, **Corinne REGIS**<sup>1,2</sup>,  
**Jean-Baptiste PONS**<sup>1,2</sup>, **Dominique PONTIER**<sup>1,2</sup>

## Résumé

Dans le but de rechercher quels mécanismes facilitent la coexistence des espèces cryptiques, nous avons estimé les divergences génétiques, acoustiques, morphologiques et écologiques entre deux chauves-souris néotropicales du lignage *Pteronotus parnellii*. La distinction entre lignages a été faite antérieurement dans d'autres études à partir de la génétique, la morphologie et l'acoustique, dans le but de séparer ces deux espèces qui vivent dans les mêmes cavités en Guyane française ; mais soit la taille d'échantillon était trop faible quand les données génétiques et morphologiques étaient disponibles en même temps sur les mêmes individus, soit les données diverses étaient collectées sur des individus différents.

La présente étude a pour objectif premier de combiner toutes les approches dans le but de valider les divergences



généétiques, morphologiques et acoustiques entre deux espèces distinctes, et secondairement de rechercher des phénomènes d'hybridation entre ces espèces, de même que les processus phénologiques et écologiques qui pourraient expliquer l'hybridation. Pour cela, grâce à une étude menée en Guyane française de 2010 à 2015, nous avons utilisé à la fois de l'ADN mitochondrial et nucléaire (20 microsatellites), des enregistrements acoustiques, et les mesures externes de 748 individus. Nos résultats ont confirmé les précédentes découvertes sur l'existence de deux espèces séparées de *Pteronotus parnellii* en Guyane française et suggèrent que les cavités n'ont pas d'effet sur la structure génétique de leurs populations. Le taux très faible d'hybridation trouvé pourrait être expliqué à la fois par les différences de phénologie de cycle de vie entre espèces, et des distinctions acoustiques et morphologiques entre sexes pour l'une et l'autre espèce. Finalement, en combinant génétique, acoustique, morphologie et écologie, nous avons observé des différences qui pourraient correspondre à des stratégies de coexistence.



Figure 1.  
*Pteronotus alitonus* ou *rubiginosus*

## Introduction

Une grande part de la diversité naturelle est morphologiquement cachée [1]. La détection des espèces cryptiques, espèces génétiquement divergentes classées antérieurement comme une seule et même espèce du fait de leur similarité morphologique [1, 2], a augmenté chez tous les groupes taxonomiques terrestres et aquatiques et dans différentes régions biogéographiques [2, 3], grâce à l'utilisation d'approches de séquençage d'ADN à large échelle comme le barcoding [4, 5]. La découverte de cette diversité cryptique a eu de profondes implications, à la fois sur la théorie de l'évolution et sur les décisions futures de conservation (voir [6–8] pour un exemple sur les chauves-souris), spécialement dans les écosystèmes en danger pour lesquels la biodiversité a été vraisemblablement sous-estimée. Les espèces morphologiquement similaires peuvent en effet varier dans leur distribution géographique ainsi que dans leurs besoins écologiques ; en conséquence, au sein d'un complexe d'espèces cryptiques, le statut de conservation peut différer d'un taxon à l'autre (voir [9] pour un exemple chez l'Entelle des Indes *Semnopithecus entellus*).

Même si ces espèces peuvent être facilement identifiées grâce à leurs différences d'ADN mitochondrial (ADNmt), l'isolement reproductif fait l'objet de peu de recherche.

Il y a en effet une hypothèse implicite, selon laquelle la divergence moléculaire génétique au sein de ces espèces cryptiques peut être prise comme un substitut de l'isolement reproductif [10–14]. Alors que des différences substantielles d'ADNmt au sein d'un taxon en apparence homogène, sont capables de révéler des espèces cryptiques, cela ne permet pas de

conclure forcément à l'existence d'espèces distinctes (voir [15] pour une illustration du danger d'utiliser seulement une quantité limitée d'ADN pour conclure sur l'histoire évolutive). Cela peut au contraire donner un regard sur le passé évolutif d'animaux ayant divergé, mais constituant maintenant une population d'individus qui se reproduisent quand même les uns avec les autres. Pour confirmer leur isolement reproductif, il est nécessaire d'utiliser des marqueurs nucléaires qui, contrairement à l'ADN mitochondrial, sont hérités des deux parents. Cela permet de répondre à la question de savoir si ces espèces cryptiques se reproduisent entre elles ou non.

Une autre question importante, en relation avec la précédente, est de comprendre comment de véritables espèces cryptiques peuvent maintenir leur cohésion spécifique dans les zones de sympatrie. Des mécanismes subtils d'isolement, comme des systèmes de reconnaissance écologique [16–19], peuvent avoir évolué, permettant la coexistence d'espèces cryptiques vivant en sympatrie. En exemple, on peut citer *Drosophila paulistorum* pour laquelle les semi-espèces sont morphologiquement différentes mais ont différents modes de chants de parade [20].

Les espèces cryptiques sont assez communes chez les chauves-souris utilisant l'écholocation [21]. Une des premières découvertes majeures porte sur la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) - l'une des chauves-souris européennes les plus répandues - qui cache en son sein deux espèces cryptiques [22], *P. pipistrellus* et *P. pygmaeus* (Pipistrelle pygmée). Bien qu'elles soient assez similaires morphologiquement, des divergences écologiques marquées ont été mises en évidence [23]. La chauve-souris néotropicale *Pteronotus parnellii*

(famille Mormoopidae, sous-genre *Phyllodia*) représente également un exemple remarquable de diversité cachée. A l'heure actuelle, neuf espèces cryptiques réparties en Amérique centrale et sur les Caraïbes ont été reconnues au sein du complexe *P. parnellii* [24–27]. Les analyses phylogénétiques des génomes mitochondriaux suggèrent qu'une séparation s'est produite dans leurs lignages maternels il y a 1,1 à 2,8 millions d'années, alors que le complexe entier aurait partagé un ancêtre commun il y a 2,5 à 6,1 millions d'années [24].

En Guyane française, la présence de deux groupes sympatriques, nommés *Pteronotus* sp3 et sp4 (*sensu* [24, 27], **Figure 1**), a été proposée en utilisant plusieurs outils : génétiques (marqueurs moléculaires mitochondriaux comme la cytochrome oxydase 1 (CO1), le Cytochrome b (Cyt b), ou les gènes Dby liés au chromosome Y [24, 25, 28]), morphologiques [24, 28], et bioacoustiques [28, 29]. Récemment ces deux groupes ont été diagnostiqués comme deux espèces distinctes : *P. rubiginosus*, correspondant à *P. sp4*, alors que *P. sp3* était nommé *P. alitonus* [27]. Cependant ces études étaient limitées, soit par le faible nombre d'échantillons lorsque les données génétiques, morphologiques et acoustiques étaient disponibles pour les mêmes individus, soit parce que ces données diverses étaient collectées sur des individus différents. Les études morphologiques n'ont pas permis de mettre en évidence des caractères diagnostiques pour distinguer les deux constituants de ce complexe, mais des différences existent dans leurs fréquences d'écholocation [28, 29] : *P. rubiginosus* utilise une fréquence autour de 53 kHz alors que *P. alitonus* est autour de 59 kHz. Nous n'en savons toujours que très peu sur ces groupes nouvellement découverts en

termes d'écologie : préférence d'habitat, régime alimentaire, emplacement des colonies, systèmes de reproduction, structure de population et interfécondité ; ainsi, l'information sur ces nouvelles espèces est encore de nos jours très lacunaire.

Dans cette étude, nous avons fait des recherches sur des colonies de *Pteronotus* sp. dans quatre cavités en Guyane française pendant la période de 2010 à 2015. Nous avons combiné différentes approches dans le but de rechercher des divergences génétiques, morphologiques et acoustiques entre les deux groupes. Pour la première fois nous avons testé si les groupes identifiés dans les colonies se reproduisaient entre eux en utilisant des marqueurs microsatellites autosomaux, et avons recherché d'éventuels hybrides dans les populations échantillonnées. Finalement, nous avons exploré la structure

génétique spatiale de *Pteronotus* sp., notamment le fait que les cavités puissent avoir un effet sur cette structure génétique populationnelle.

Pour les études sur l'ADN, nous avons utilisé le CO1 mitochondrial et développé un panel de 20 microsatellites spécifiques dans un multiplex en utilisant la technique du pyroséquençage 454.

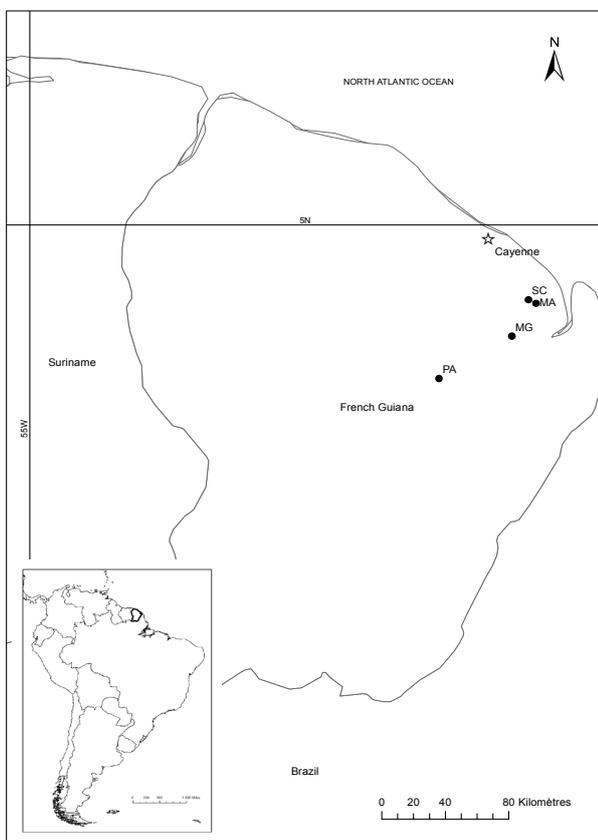
Le but de l'étude est de faire des comparaisons exhaustives qui révéleraient les relations entre les deux groupes, et de comprendre leur histoire microévolutive - ce qui pourrait inclure des patrons d'hybridation et d'introgession.

## Méthodes

### Aire d'étude et capture

Les *Pteronotus* ont été échantillonnés sur quatre cavités dans la forêt tropicale humide de Guyane française (**Figure 2**) : Mathilde (MA), Scierie (SC), Parfums (PA) et Montagne des gouffres (MG), sur quatre sessions (fin août/septembre 2010, juillet 2011, juillet 2012, octobre 2015, à l'exception de MG qui a seulement été échantillonnée en octobre 2015). Les distances entre cavités varient de 12 à 15 km entre MA et SC et 80 km entre MA, SC et PA. MG est distante de 55 km de PA et 25 km de SC et MA.

Les chauves-souris ont été capturées en sortie de gîtes grâce à un harp-trap « deux banks » (AUSTBAT Research Equipment, Victoria, Australia) dont la surface de capture est de 4 m<sup>2</sup>. Elles ont été gardées en pochons individuels jusqu'à manipulation. Nous avons sexé puis estimé le statut reproducteur de chaque chauve-souris à partir de caractéristiques phénotypiques (développement des mamelles et des testicules). Les adultes ont été différenciés des juvéniles en regardant l'épiphyse



**Figure 2.** Localisation des 4 cavités échantillonnées en Guyane française.

cartilagineuse des phalanges [30]. Les adultes étaient classés soit mâles inactifs ou actifs, soit femelles inactives, gestantes ou allaitantes. L'avant-bras a été mesuré avec un pied à coulisse de précision (à 0,05 mm près) et la masse prise avec une balance électronique (précision de 0,1 g). Les échantillons de tissu ont été collectés sur le patagium en utilisant un punch à biopsie de 3 mm de diamètre (Kai 354 Industries, Gifu, Japan) et préservé dans une solution avec 70 % d'éthanol jusqu'à extraction de l'ADN. Les chauves-souris étaient relâchées après les prélèvements.

## Analyse moléculaire

### Identification des microsatellites via un séquençage haut débit

Dix individus ont été choisis au hasard pour construire un pool d'ADN. Ce pool a été utilisé pour concevoir les marqueurs microsatellites en se basant sur la méthode GS-FLX® [31]. Trente marqueurs microsatellites ont été choisis parmi le

panel de 3487 marqueurs identifiés. Pour plus de détails sur la méthodologie, voir [32].

### Séquençage et géotypage

Sur les 1349 *Pteronotus* capturés, 748 ont été géotypés sur 20 marqueurs microsatellites. Pour plus de détails sur la méthodologie voir [32].

### Identification des espèces et détection d'hybridation

Dans le but d'attribuer chaque individu à une espèce, nous avons construit un arbre phylogénétique basé sur les séquences de CO1 de 80 individus, et ajouté 28 échantillons provenant d'études précédentes [24, 25, 27], pour lesquels les séquences de CO1 ont été tirées de Genbank. *Pteronotus gymnonotus* et *P. personatus* ont été utilisés comme groupes extérieurs.

L'identification de tous les individus a aussi été réalisée en utilisant les microsatellites développés spécifiquement pour *Pteronotus*, en utilisant le logiciel bayésien



Figure 3.

Harp-trap « deux banks » positionné en sortie de cavité naturelle, en forêt.

STRUCTURE 2.3.4 [33, 34], ce procédé permettant également la détection des hybrides. Pour ce dernier objectif, nous nous avons aussi utilisé le logiciel NEWHYBRIDS 1.1 [35].

### Variabilité génétique de *Pteronotus* sp.

La richesse allélique et les estimateurs de  $F_{st}$  de Weir and Cockerham's pour chaque espèce ont été estimés en utilisant FSTAT 2.9.3.2 [36]. Dans le but de tester le rôle des cavités dans la structuration des populations de chauves-souris, les  $F_{st}$  entre paire de cavités ont également été calculés.

Finalement, le biais de dispersion spécifique au sexe a été testé à partir de l'analyse des  $F_{st}$  (une plus faible différenciation génétique entre colonies est attendue pour le sexe qui disperse le plus) [37]. Un millier de randomisations a été fait pour chaque espèce, ainsi que des tests unilatéraux plaçant le mâle ou la

femelle comme sexe dispersant.

### Morphologie

Seuls les adultes ont été pris en compte. Une ANOVA a été appliquée sur les données afin de déterminer s'il y a des différences de longueur d'avant-bras (AB) entre sexes et entre espèces. Parce que le dimorphisme sexuel peut être différent entre espèces [24, 27], nous avons testé l'effet du sexe en comparant les modèles Sex\*Group et Group à l'aide d'un test de Fisher (le groupe représente l'espèce). Rejeter l'hypothèse nulle révélerait la présence d'un dimorphisme sexuel dans au moins une espèce. Dans ce cas, des tests t post-hoc comparant mâles et femelles ont été appliqués pour chaque groupe indépendamment, et l'hypothèse que le dimorphisme sexuel soit identique d'une espèce à l'autre a été testée en comparant les modèles Sex\*Group et Sex+Group. La masse corporelle des individus n'a pas été analysée, à cause de la grande



© Ecofact 2018-5

**Figure 4.**

Poste de travail sous moustiquaire, en forêt, à proximité des cavités.

variabilité due au moment de capture (avant ou après alimentation en chasse), et à la période (état de gestation).

Les analyses statistiques ont été faites avec R version 3.3.3, et le seuil de la signification statistique a été fixé à 5 %.

### Fréquence d'écholocalisation

Les cris d'écholocalisation ont été enregistrés en 2015 sur 262 *Pteronotus* tenus en main ; cette méthode est la seule façon d'obtenir les fréquences propres des individus, non décalées par leur vitesse de vol, les taxons étudiés utilisant des signaux sonar de structure « FM ascendante - FC - FM descendante » (**Figure 7**) correspondant à la technologie sonar de détection des mouvements grâce à l'effet Doppler [38] ; les individus étaient positionnés à 30 cm du microphone d'un détecteur d'ultrasons Pettersson D240X (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Sweden). Les signaux en expansion de temps x 10 étaient collectés grâce à un enregistreur ZoomH2 (Zoom Corporation, Japan) dont la fréquence d'échantillonnage est de 44,1 kHz, puis analysés avec le logiciel BatSound Pro 3.4 (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suède) à partir des spectrogrammes (Hanning window, fenêtre FFT 512 points). Deux à cinq cris ont été analysés par chauve-souris ; la fréquence du maximum d'énergie de la partie fréquence constante (FME-FC) a été mesurée grâce à une densité spectrale sur l'harmonique contenant le plus d'énergie [27]. Parmi les individus génotypés une ANOVA été appliquée afin d'évaluer les différences de FME-FC entre groupes et sexes. La procédure statistique décrite plus haut pour la longueur d'avant-bras a été suivie pour les valeurs de FME-FC ; cinq points hors-norme ont été identifiés dans le groupe A pour les mâles (valeurs très basses comparées au reste de

l'échantillon) et ont été enlevés du jeu de données pour l'analyse.

### Périodes de reproduction

Dans le but d'appréhender les périodes de reproduction des deux groupes de *Pteronotus*, nous avons analysé le statut de reproduction de chaque individu et leur âge (juvénile versus adulte) pendant la période de relevés.

## Résultats

### Analyse moléculaire

#### Identification des espèces

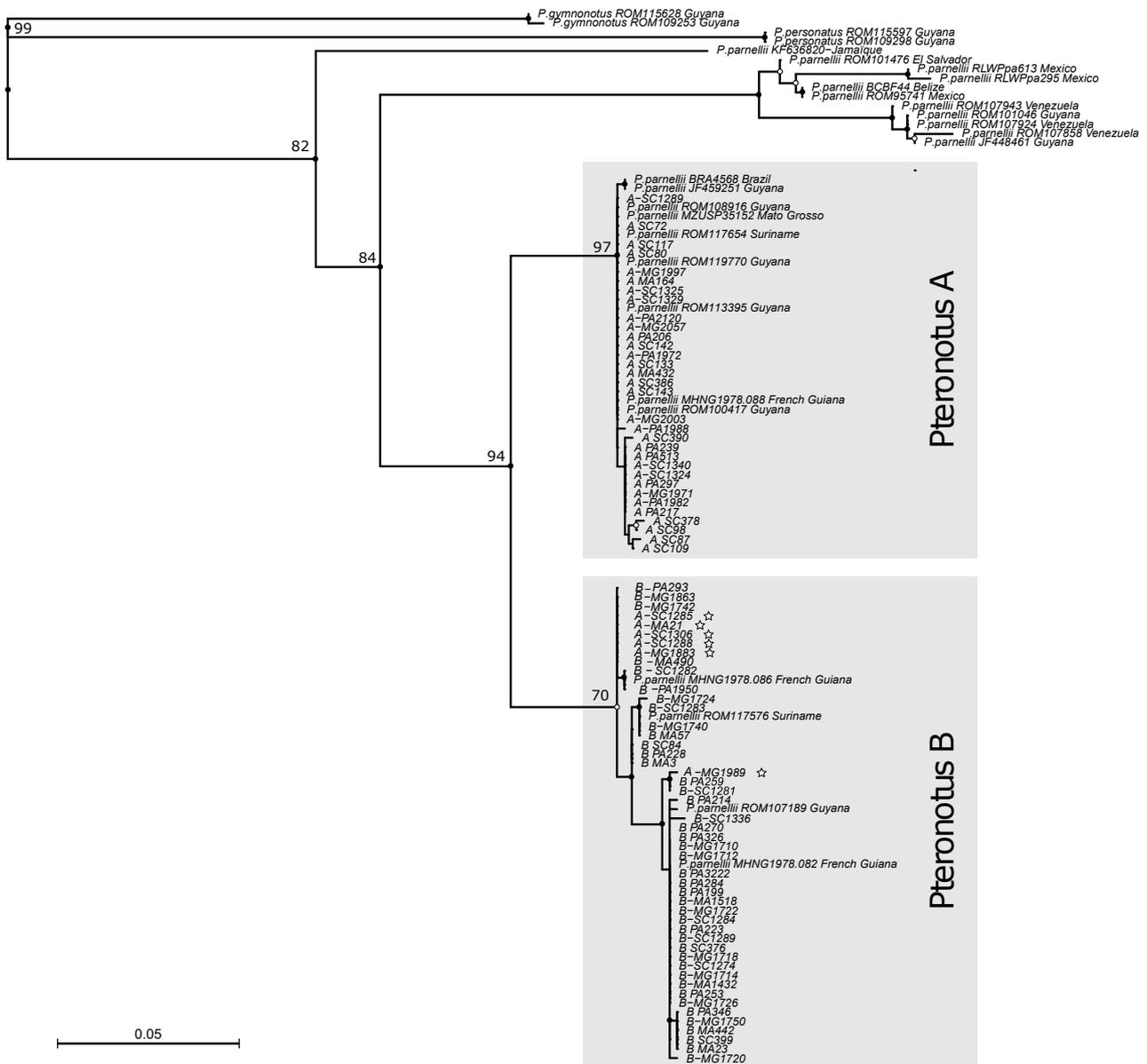
La reconstruction phylogénétique (**Figure 5**) a montré que les 80 individus de *Pteronotus* échantillonnés dans cette étude forment deux groupes bien distincts correspondant à *P. alitonus* (nommé ici *Pteronotus* B) et *P. rubiginosus* (nommé ici *Pteronotus* A), précédemment mis en évidence par [24, 27, 28].

La divergence des séquences était très faible au sein de chaque groupe A et B (respectivement 0,15 % et 0,77 % en moyenne) mais beaucoup plus grande entre groupes (5,72 %).

#### Analyse génétique nucléaire

Nous avons construit un multiplex de 20 microsatellites qui ont été amplifiés avec succès pour 748 échantillons de chauves-souris avec un taux d'amplification moyen de 98,7 %. Tous les marqueurs étaient polymorphes, avec un nombre d'allèles allant de 2 à 17.

L'analyse STRUCTURE sur les 20 microsatellites a également permis de détecter deux groupes nettement différenciés. Parmi les 748 individus génotypés, 325 appartenaient à *Pteronotus* A (*P. rubiginosus*) et 423 à *Pteronotus* B



**Figure 5.** Relations phylogénétiques parmi les 26 séquences de COI de *Pteronotus* extérieures à l'étude, et 80 séquences de COI provenant de notre étude. Les étoiles représentent les hybrides (n=6 identifiés comme *Pteronotus* A à partir de l'ADN nucléaire alors qu'ils comportent de l'ADN mitochondrial de B). Dans le nom des échantillons, les lettres A ou B font référence à l'assignation nucléaire des individus à une espèce ou à une autre, alors que les carrés gris clair font référence à l'assignation via l'ADN mitochondrial.

(*P. alitonus*) (voir **Tableau 1**). La diversité allélique des 20 microsatellites était comparable pour chaque groupe, mais non identique. Les deux groupes étaient présents dans chacune des quatre cavités échantillonnées. Les deux espèces de *Pteronotus* étaient significativement différenciées par un  $F_{st}$  de 0,139 [0,104–0,171] 95 %. Les mâles de *Pteronotus* A montraient une différenciation génétique ( $F_{st}$  globale

0,002,  $p = 0,007$ ) et de structure entre cavités (seulement significative entre PA et SC). De plus, aucun biais sexuel de dispersion n'a été trouvé ( $p > 0,05$ ).

**Détection des hybrides**

La procédure de simulation basée sur l'ADN nucléaire nous a permis de trouver un hybride potentiel, 10 individus avec un statut indéfini grâce à l'approche dite « conservatrice », et 30 hybrides potentiels

**Tableau 1.**

Nombre de *Pteronotus* A (*P. rubiginosus*) et B (*P. alitonus*) génotypés à chaque session de terrain. F : femelle ; M : mâle ; NS : non sexé ; n(A) : nombre de *Pteronotus* A ; n(B) : nombre de *Pteronotus* B ; n : nombre total de *Pteronotus*.

Année	Mois	<i>Pteronotus</i> A ( <i>P. rubiginosus</i> )			n (A)	<i>Pteronotus</i> B ( <i>P. alitonus</i> )			n (B)	n
		F	M	NS		F	M	NS		
2010	août	0	1	0	1	3	4	0	7	8
2010	septembre	24	97	0	121	29	70	2	101	222
2011	juillet	7	63	0	70	26	37	0	63	133
2012	juillet	17	32	0	49	48	26	0	74	123
2015	octobre	24	54	6	84	71	105	2	178	262
<b>TOTAL</b>		<b>72</b>	<b>247</b>	<b>6</b>	<b>325</b>	<b>177</b>	<b>242</b>	<b>4</b>	<b>423</b>	<b>748</b>

avec l'approche dite « relâchée ».

Aucun hybride n'a été détecté avec le logiciel NEWHYBRIDS.

Parmi les individus (n = 80) dont l'ADN mitochondrial a été séquencé, tous les 42 individus assignés à *Pteronotus* B par leur ADN nucléaire possédaient de l'ADN mitochondrial de B. Par contre, 6 individus sur les 38 assignés à *Pteronotus* A par leur ADN nucléaire ont été trouvés avec de l'ADN mitochondrial de B (voir **Figure 5**).

### Morphologie

Des données morphométriques étaient disponibles uniquement pour 23 des 30 individus identifiés comme hybrides potentiels avec l'approche relâchée.

En excluant ces 23 individus, de même que les 6 hybrides identifiés à partir de l'ADN mitochondrial, *Pteronotus* A (n=166) avait une longueur d'avant-bras de 64,37 mm (95 % CI [64,13 ; 64,56]) versus 62,06 mm (95 % CI [61,90 ; 62,22]) pour *Pteronotus* B (n=300) (**Figure 6**). Cette différence entre groupes était significative même après correction de l'effet potentiellement confondant du sexe (F = 293,17, df = (1462), p < 10<sup>-16</sup>). La comparaison globale entre sexes a montré une longueur d'avant-bras non homogène, au moins chez un groupe

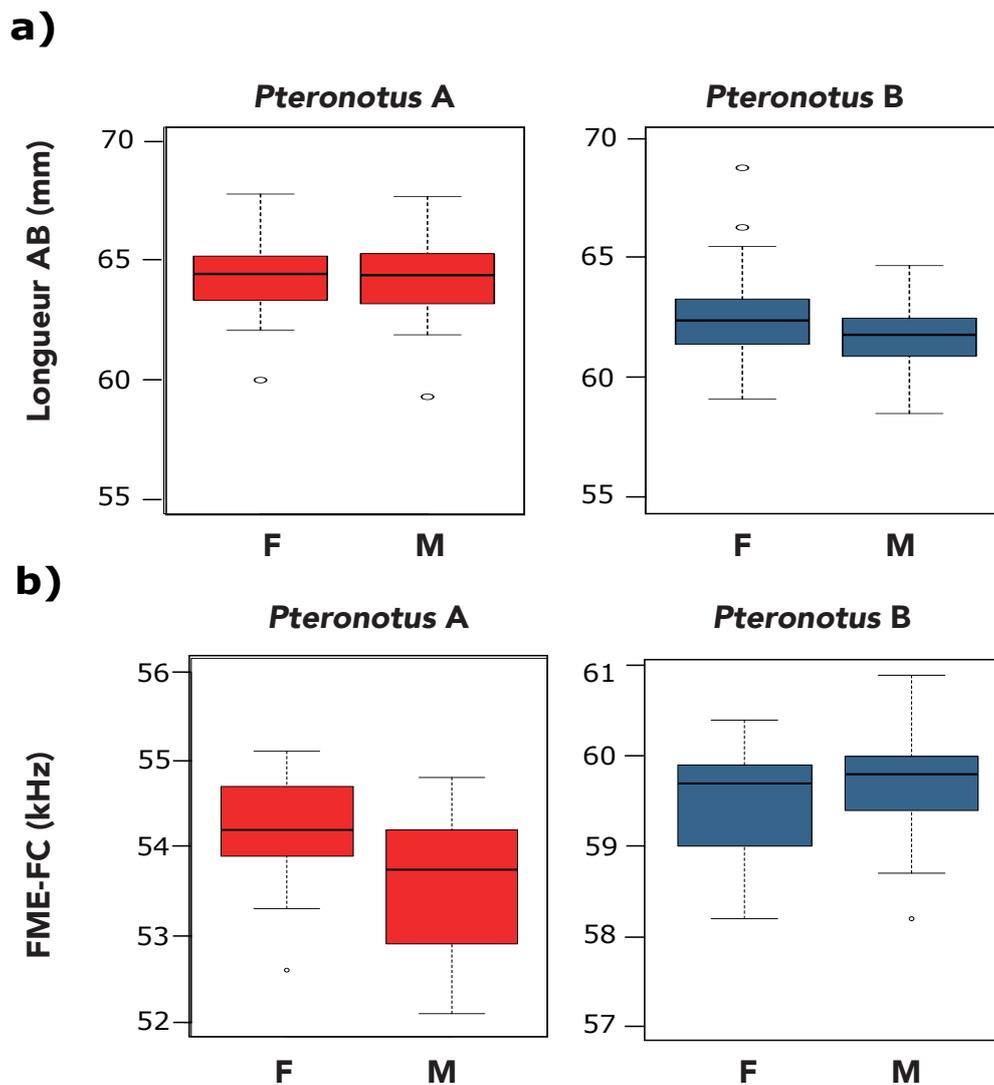
(F = 8,38, df = (2462), p = 2,7.10<sup>-4</sup>).

L'analyse post-hoc a révélé que cet effet du sexe était significativement différent entre les deux groupes (F = 5,90, df = (1462), p = 1,5.10<sup>-3</sup>) et se retrouvait uniquement chez le groupe B (t = 4,07, df = 298, p = 6.10<sup>-5</sup>), l'avant-bras étant plus grand chez les femelles que chez les mâles ; pour le groupe A : t = -0,38, df = 164, p = 0,73.

### Echolocalisation

Parmi les 262 *Pteronotus* (73 *P. A.*, 171 *P. B.* ; 13 hybrides nucléaires potentiels identifiés avec l'approche relâchée et 5 hybrides mitochondriaux) enregistrés au microphone, 146 (parmi lesquels 15 sont des hybrides) ont eu une mesure précise de la FME-FC avec BatSound.

En excluant les 15 individus hybrides de l'analyse et les 5 valeurs atypiques du groupe A, les *Pteronotus* A (*rubiginosus*) émettaient à une fréquence située autour de 53 kHz (53,73 kHz, 95 % CI [53,51 ; 53,96]) alors que les *Pteronotus* B (*alitonus* ; n = 65) émettaient autour de 59 kHz (59,64 kHz, 95 % CI [59,49 ; 59,8]) (**Figure 2**). Cette différence entre groupes était significative même après correction de l'effet potentiellement confondant du sexe (F = 2080,8, df = (1116) p < 10<sup>-16</sup>).



**Figure 6.**

Médiane, quartiles et extrêmes : a) longueur de l'avant-bras (AB) en mm ; b) fréquence d'écholocation (FME-FC, en kHz) chez les femelles (F) et chez les mâles (M) en fonction du groupe (A = *P. rubiginosus* ; B = *P. alitonus*).

La comparaison globale entre sexes a montré une différence de FME-FC dans au moins un groupe ( $F = 6,32$ ,  $df = (2116)$ ,  $p = 2,4 \cdot 10^{-3}$ ). L'analyse post-hoc a révélé que cet effet du sexe était significativement différent entre les deux groupes ( $F = 10,68$ ,  $df = (1116)$ ,  $p = 1,4 \cdot 10^{-3}$ ). La différence était seulement significative pour le groupe A ( $t = 2,92$ ,  $df = 53$ ,  $p = 5,2 \cdot 10^{-3}$ ), les fréquences étant plus hautes chez les femelles. Pour le groupe B :  $t = -1,37$ ,  $df = 63$ ,  $p = 0,18$ .

### Périodes de reproduction

Pour *Pteronotus A* (*rubiginosus*), seulement deux femelles (sur 24) étaient gestantes en juillet avec une à MA et une à PA. Une femelle (sur 24) allaitante a été trouvée en octobre. Aucun juvénile n'a été trouvé pendant les sessions de terrain. Pour *Pteronotus B* (*alitonus*), des femelles gestantes (27 sur 74) et allaitantes (15 sur 74) ont été trouvées en juillet ainsi que des post-lactantes (33 sur 103) entre fin août et octobre à MA et PA. Dix juvéniles ont été capturés en septembre à la cavité PA.

## Discussion

Dans cette étude, la différenciation moléculaire, acoustique et morphologique a été analysée chez *Pteronotus* sp., dans quatre cavités de Guyane française.

En utilisant le CO1 - un marqueur mitochondrial employé couramment pour faire du barcoding d'espèces - notre reconstruction phylogénétique des *Pteronotus* a révélé deux haplogroupes distincts et non recouvrants, correspondant aux espèces cryptiques *P. alitonus* et *P. rubiginosus*, en accord avec les résultats précédents [24, 25, 27, 28]. La plus petite divergence entre *P. alitonus* et *P. rubiginosus* est presque trois fois plus importante (2,7) que la plus grande divergence au sein du groupe – une valeur typique pour des différences interspécifiques chez les mammifères [5, 40].

Nous avons trouvé une bonne concordance entre les marqueurs mitochondriaux et nucléaires microsatellites, indiquant que les deux lignages d'ADN mitochondriaux incluent deux groupements génétiques d'ADN nucléaires.

La valeur de  $F_{st}$  de 0,139 entre *P. rubiginosus* (A) et *P. alitonus* (B) indique une forte différenciation génétique de la population sur les 15 marqueurs microsatellites utilisés.

### Périodes de reproduction

*P. alitonus* et *P. rubiginosus* semblent avoir une saison de reproduction chevauchante. Cependant le taux très faible de femelles allaitantes et gestantes de *P. rubiginosus* par rapport à *P. alitonus*, de même que l'absence de juvéniles chez le premier, suggèrent un léger décalage de phénologie entre les deux espèces. D'un autre côté, nous ne pouvons

exclure la possibilité que *P. rubiginosus* utilise d'autres sites de mise bas que les cavités (bâtiments, dessous de pont), réduisant potentiellement la compétition avec *P. alitonus* pour les ressources alimentaires. L'identification d'une colonie avec des femelles gestantes (9 sur 24) de *P. rubiginosus* sous le toit d'une maison de village en juin 2017 peut conforter cette seconde hypothèse.

Il a également été suggéré que *P. alitonus* préfère chasser dans des forêts plus denses que *P. rubiginosus* [27]. Une telle séparation spatiale d'habitats de chasse peut réduire la compétition entre les deux espèces et expliquer leur coexistence dans une même région.

### Différenciation phénotypique

En comparant la longueur de l'avant-bras entre les deux espèces cryptiques, nous avons trouvé un large recouvrement de mesures montrant que les distinctions d'espèces ne sont pas totalement en accord avec les différences génétiques (voir aussi [24, 28, 41]).

Nous avons également montré que *P. alitonus* est légèrement plus petit que *P. rubiginosus*, comme préalablement rapporté par DE THOISY *et al.* [28] dans la même région géographique et dans LÓPEZ-BAUCELLS *et al.* [41] dans une diversité d'habitats de l'Amazonie brésilienne centrale.

De façon intéressante, PAVAN *et al.* [27] ont montré que la différence phénotypique est supérieure dans les régions où les deux espèces sont sympatriques – un résultat attendu chez des espèces subissant un déplacement de caractère [27, 42].

De plus, dans notre étude, nous avons observé que les femelles avaient un avant-bras légèrement plus grand que les mâles chez *P. alitonus*. Un dimorphisme sexuel a déjà été démontré par CLARE *et al.* [24]

sur la taille du cerveau (plus gros chez les mâles).

## Echolocalisation

Comme précédemment rapporté en Guyane française, et dans l'Amazonie centrale [24, 28, 29, 41], les deux espèces cryptiques correspondent à deux types phoniques distincts – un émettant à des fréquences de 53 kHz (*P. rubiginosus*), et l'autre autour de 59 kHz (*P. alitonus*). JIANG *et al.* [43] et LIN *et al.* [44] ont suggéré que des variations de 5 à 7 kHz n'impactaient pas la capacité à détecter les mêmes types de proies et en conséquence, ne devraient pas induire l'utilisation de ressources différentes.

Les deux espèces occupent les mêmes cavités (qui constituent cependant une ressource limitante dans l'aire d'étude), suggérant qu'elles coexistent sans compétition écologique majeure, que ce soit pour former des colonies ou pour chasser, comme déjà discuté pour d'autres espèces cryptiques comme *Rhinolophus mehelyi* et *Rhinolophus euryale* [45]. En conséquence, nous faisons l'hypothèse que les différences acoustiques ont pu évoluer pour faciliter la reconnaissance/communication intra et interspécifique, plutôt que pour faciliter le partage des ressources. L'écart de FME-FC entre les deux espèces intègre certainement le complexe de différenciation par des voies diverses (morphologie fine, olfaction, comportement...), et peut contribuer à l'évitement de l'hybridation. Certaines études ont suggéré que la fréquence d'écholocalisation (par exemple chez *Rhinolophus philippinensis*) est associée avec de l'appariement sélectif, et au final, à de l'isolement reproductif et de la spéciation, quelles que soient les barrières externes au flux génétique [18]. Cependant, une explication neutre d'un

point de vue évolutif concernant cette différenciation fréquentielle, ne peut pas être exclue.

Nous avons par ailleurs trouvé chez *P. rubiginosus* des FME-FC plus élevées chez les femelles que chez les mâles ; les deux sexes étant de la même taille, la loi de l'allométrie ne peut expliquer cette différence. La technologie Doppler du sonar de *P. rubiginosus*, interdit à un individu donné de varier ses FME-FC dans de telles proportions (au risque de sortir de sa fenêtre de sensibilité auditive très restreinte), en fonction de son comportement. GRILLIOT *et al.* [46] ont noté cette variation chez *Eptesicus fuscus*, mais cette espèce utilise une technologie sonar de localisation en distance. Ainsi, il est plausible de considérer que cette différence de fréquence entre sexes chez *P. rubiginosus*, ait évolué dans un but de reconnaissance entre sexes, peut-être sous pression d'une sélection sexuelle comme chez *Rhinolophus mehelyi* [45].

## Hybridation

Une hybridation limitée a été mise en évidence entre les deux espèces en utilisant les marqueurs microsatellites : seulement 1 individu sur 460 a montré des signes clairs d'hybridation.

Sur le long terme, cependant, de tels événements laissent des traces qui sont mieux observés dans le génome mitochondrial : 6 individus sur 80 contiennent des séquences de CO1 de l'autre espèce.

Le résultat le plus intéressant réside dans le fait que dans tous les cas l'introgession s'est déroulée de façon asymétrique, de *P. alitonus* vers *P. rubiginosus* (6 sur 38 *P. rubiginosus* ont de l'ADN mitochondrial de *P. alitonus* alors que tous les 42 *P. alitonus* contiennent de l'ADNmt de *P. alitonus*). Notre proportion

d'ADN mitochondriaux hybrides chez *P. rubiginosus* (0,158) est supérieure à ce qui a été rapporté précédemment par CLARE *et al.* [24] qui ont seulement identifié un hybride sur 61 spécimens (35 *P. alitonus* et 26 *P. rubiginosus*), mais de façon similaire, cet hybride portait l'ADN mitochondrial de *P. alitonus* (donnant une proportion d'hybride de 0,04). De tels résultats ont déjà été rapportés chez les chauves-souris, entre deux espèces jumelles *Myotis myotis* et *Myotis blythii* [47], ainsi que chez *Rhinolophus sinicus septentrionalis* et *R. s. sinicus* [48].

De nombreux scénarios différents ont été suggérés pour expliquer l'hybridation biaisée de l'ADN mitochondrial comme la dispersion différentielle entre sexes, une asymétrie dans le choix du partenaire, une production différentielle de descendance, des dynamiques démographiques des espèces locales et colonisantes, de la sélection différentielle, ou une combinaison de ces effets [49]. Trancher entre ces différentes causes est complexe mais certaines d'entre elles peuvent être discutées afin d'expliquer cette asymétrie inattendue des lignages d'ADN mitochondriaux entre *P. alitonus* et *P. rubiginosus*.

En se basant sur l'analyse de nos données génétiques à l'échelle de la colonie, la dispersion biaisée entre sexes semble une explication improbable de l'asymétrie observée puisqu'il n'y a pas de preuve que les mâles et les femelles - de chaque espèce - dispersent à des distances différentes.

L'introggression unidirectionnelle observée de l'ADN mitochondrial pourrait refléter une propension à l'accouplement entre les mâles de *P. alitonus* et les femelles de *P. rubiginosus*, mais pas le contraire (femelles de *P. alitonus* et mâles de *P. rubiginosus*). Une telle asymétrie d'accouplement entre sexes a été

observée chez les insectes [50] et les oiseaux [51], mais à notre connaissance, très peu de données sur le comportement de reproduction existent chez les chauves-souris [52–54] et aucune en particulier chez nos espèces étudiées. Par exemple, BOGDANOWICZ *et al.* [55] ont proposé que le comportement de swarming sur les sites, où de grands nombres de chauves-souris appartenant à plusieurs espèces se rencontrent, soit un facteur important qui pourrait expliquer l'hybridation.

Etant donné que les deux espèces étudiées coexistent dans le même habitat, forment des colonies mixtes de maternité dans les cavités, ont une période de reproduction semblant se chevaucher, diffèrent par leurs fréquences d'émissions ultrasonores, ont un taux extrêmement bas d'hybridation sur les marqueurs microsatellites, on peut considérer l'asymétrie d'accouplement entre sexes comme anecdotique. Les différences phénotypiques entre *P. alitonus* et *P. rubiginosus*, à la fois en taille globale et au regard de la présence ou l'absence de dimorphisme sexuel [24, 27, 28], pourraient aider les espèces dans la reconnaissance de leurs conspécifiques et participer à limiter l'hybridation. Comme déjà mentionné, la reconnaissance entre partenaires sexuels peut aussi se faire via de moyens acoustiques comme l'écholocation.

Enfin, l'asymétrie de l'introggression peut également survenir si l'ADN mitochondrial de *P. rubiginosus* a quelque avantage sélectif qui encourage cette introggression dans un environnement alternatif (un scénario proposé pour expliquer la propagation de l'ADN mitochondrial dans une population de lièvres [56] ou dans un contexte génétique différent [57]). Le génome mitochondrial joue un rôle central dans l'approvisionnement d'énergie pour les cellules et peut affecter différents traits d'histoire de vie comme la longévité

et la fertilité, et/ou des comportements comme l'activité et l'exploration [58]. Un nombre croissant d'études indique que l'ADN mitochondrial semble être soumis à sélection [59–61] mais les arguments en faveur de ces hypothèses, jusqu'à présent, ne sont pas établis pour *Pteronotus*. Que l'hybridation asymétrique de l'ADN mitochondrial se produise à une large échelle géographique (plateau des guyanes) mais à différentes fréquences, peut cependant apporter un soutien à cette hypothèse.

### Structuration génétique des populations

Pour la première fois ces deux espèces cryptiques ont été étudiées en utilisant des microsatellites autosomaux. Ces nouveaux marqueurs nous ont permis de faire la lumière sur la structure génétique des populations. Dans notre jeu de données, le niveau de différenciation génétique a une ampleur supérieure entre espèces, comparée à l'intérieur de celles-ci ( $F_{st} = 0,13$  versus  $F_{st} = 0,002$  respectivement), suggérant l'existence d'un important flux de gènes entre les cavités pour les deux espèces. En conséquence les cavités n'apparaissent pas comme des éléments structurants puisque les populations de *P. alitonus* et *P. rubiginosus* semblent former deux populations uniques couvrant des distances de plus de 80 km (de la région des Nouragues à la montagne de Kaw).

Une explication possible pour ce manque de structure génétique peut résider dans le fait que la distance entre cavités est inférieure à la distance de dispersion des deux espèces. En conséquence l'unité structurante peut être un ensemble de cavités plutôt que chacune d'elles.

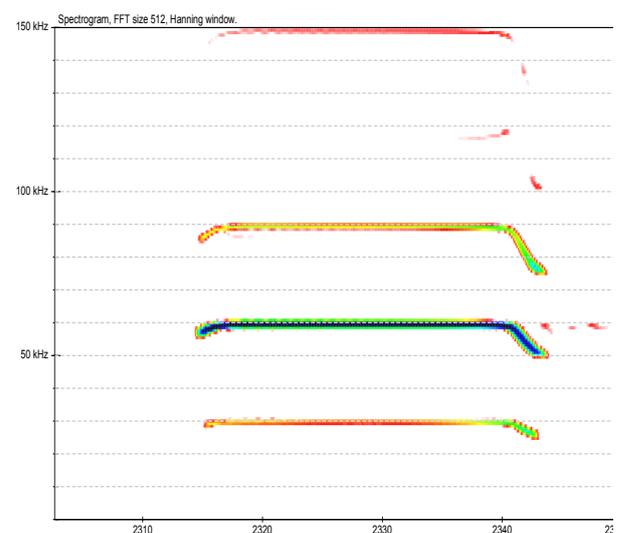
## Conclusion

En accord avec de précédentes études, les résultats génétiques, acoustiques et morphologiques justifient la classification de *Pteronotus* en deux espèces - *P. alitonus* et *P. rubiginosus* - en Guyane française. Beaucoup de travail reste à accomplir pour accroître la connaissance sur les mécanismes évolutifs qui génèrent le processus de spéciation dans ce complexe de *Pteronotus* et pour identifier les causes d'incongruence entre données mitochondriales et nucléaires.

De plus, il serait crucial d'étudier l'utilisation de l'habitat et le régime alimentaire de chaque espèce pour analyser si les différences de signaux sonar résultent de la compétition pour la nourriture ou de la reconnaissance intra spécifique.

Il reste à déterminer la période de reproduction des deux espèces, de même que leurs sites de reproduction.

De futures études devraient également regarder plus profondément les relations entre morphologie, fréquence des signaux sonar et utilisation de l'habitat chez des populations sympatriques et allopatriques de *Pteronotus*.



**Figure 7.**

Spectrogramme d'un signal sonar de *P. alitonus*, montrant la structure FMa-FC-FMd.

1. **BICKFORD D, LOHMAN DJ, SODHI NS, NG PKL, MEIER R, WINKER K.** Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends Ecol Evol.* 2007;22:148–55.
2. **PFENNINGER M, SCHWENK K.** Cryptic animal species are homogeneously distributed among taxa and biogeographical regions. *BMC Evol Biol.* 2007;7:1–7.
3. **BEHEREGARAY LB, CACCONE A.** Cryptic biodiversity in a changing world. *J Biol.* 2007;6.
4. **HEBERT PDN, CYWINSKA A, BALL SL, DEWAARD JR.** Biological identifications through DNA barcodes. *Proc R Soc B Biol Sci.* 2003;270:313–21. <http://rspsb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspsb.2002.2218>
5. **HEBERT PDN, RATNASINGHAM S, DE WAARD JR.** Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proc R Soc B Biol Sci.* 2003;270:S96–9. <http://rspsb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsbl.2003.0025>
6. **ASHRAFI S, RUTISHAUSER M, ECKER K, OBRIST MK, ARLETTAZ R, BONTADINA F.** Habitat selection of three cryptic *Plecotus* bat species in the European Alps reveals contrasting implications for conservation. *Biodivers Conserv.* 2013;22:2751–66.
7. **RUTISHAUSER MD, BONTADINA F, BRAUNISCH V, ASHRAFI S, ARLETTAZ R.** The challenge posed by newly discovered cryptic species: Disentangling the environmental niches of long-eared bats. *Divers Distrib.* 2012;18:1107–19.
8. **WITT JDS, THRELOFF DL, HEBERT PDN.** DNA barcoding reveals extraordinary cryptic diversity in an amphipod genus: Implications for desert spring conservation. *Mol Ecol.* 2006;15:3073–82.
9. **KARANTH KP.** Molecular systematics and conservation of the langurs and leaf monkeys of South Asia. *J Genet.* 2010;89:393–9.
10. **BALLARD JWO, WHITLOCK MC.** The incomplete natural history of mitochondria. *Mol Ecol.* 2004;13:729–44.
11. **COYNE JA, ORR HA.** *Patterns of Speciation in Drosophila.* Evolution (N Y). 1989;43:362–81.
12. **FUNK DJ, OMLAND KE.** Species-Level Paraphyly and Polyphyly: Frequency, Causes, and Consequences, with Insights from Animal Mitochondrial DNA. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2003;34:397–423. <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132421>
13. **KARANTH KP.** Species complex, species concepts and characterization of cryptic diversity: vignettes from Indian systems. *Curr Sci.* 2017;112:1320–24.
14. **PATERSON ID, MANGAN R, DOWNIE DA, COETZEE JA, HILL MP, BURKE AM.** Two in one: cryptic species discovered in biological control agent populations using molecular data and crossbreeding experiments. *Ecol Evol.* 2016;6:6139–50.
15. **MILLER W, SCHUSTER SC, WELCH AJ, RATAN A, BEDOYA-REINA OC, ZHAO F.** Polar and brown bear genomes reveal ancient admixture and demographic footprints of past climate change. *Proc Natl Acad Sci.* 2012;109:E2382–90. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1210506109>
16. **HÖBEL G, GERHARDT HC.** Reproductive character displacement in the acoustic

communication system of green tree frogs (*Hyla cinerea*). *Evolution*. 2003;57:894–904.

**17. HONDA-SUMI E.** Difference in calling song of three field crickets of the genus *Teleogryllus*: The role in premating isolation. *Anim Behav*. 2005;69:881–9.

**18. KINGSTON T, ROSSITER SJ.** Harmonic-hopping in Wallacea's bats. *Nature*. 2004;429:9–12.

**19. PUECHMAILLE SJ, GOUILH MA, PIYAPAN P, YOKUBOL M, MIE KM, BATES PJ.** The evolution of sensory divergence in the context of limited gene flow in the bumblebee bat. *Nat Commun*. 2011;2.

**20. RITCHIE MG, GLEASON JM.** Rapid evolution of courtship song pattern in *Drosophila willistoni* sibling species. *J Evol Biol*. 1995;8:463–79.

**21. JONES GJ.** Acoustic signals and speciation: the roles of natural and sexual selection in the evolution of cryptic species. *Adv study Behav*. 1997;26:317–54.

**22. BARLOW KE, JONES G.** ROOSTS, echolocation calls and wing morphology of two phonic types of *Pipistrellus pipistrellus*. *Zeitschrift für Saugetierkunde*. 1999;64:257–68.

**23. DAVIDSON-WATTS I, WALLS S, JONES G.** Differential habitat selection by *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus* identifies distinct conservation needs for cryptic species of echolocating bats. *Biol Conserv*. 2006;133:118–27.

**24. CLARE EL, ADAMS AM, MAYA-SIMÕES AZ, EGER JL, HEBERT PDN, FENTON MB.** Diversification and reproductive isolation: cryptic species in the only New World high-duty cycle bat, *Pteronotus parnellii*. *BMC Evol Biol*. 2013;13:26.

**25. LÓPEZ-WILCHIS R, FLORES-ROMERO M, GUEVARA-CHUMACERO LM, SERRATO-**

**DÍAZ A, DÍAZ-LARREA J, SALGADO-MEJIA F.** Evolutionary scenarios associated with the *Pteronotus parnellii* cryptic species-complex (Chiroptera: Mormoopidae). *Acta Chiropterologica*. 2016;18:91–116. <http://www.bioone.org/doi/10.3161/15081109ACC2016.18.1.004>

**26. PAVAN AC, MARROIG G.** Integrating multiple evidences in taxonomy: species diversity and phylogeny of mustached bats (Mormoopidae: *Pteronotus*). *Mol Phylogenet Evol*. 2016;103:184–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2016.07.011>

**27. PAVAN AC, BOBROWIEC PED, R PA.** Geographic variation in a South American clade of mormoopid bats, *Pteronotus* (Phyllodia), with description of a new species. *J Mammal*. 2018;99:624–45.

**28. THOISY B DE, PAVAN AC, DELAVAL M, LAVERGNE A, LUGLIA T, PINEAU K.** Cryptic Diversity in Common Mustached Bats *Pteronotus* cf. *parnellii* (Mormoopidae) in French Guiana and Brazilian Amapa. *Acta Chiropterologica*. 2014;16:1–13. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.3161/150811014X683228>

**29. BARATAUD M, GIOSA S, LEBLANC F, RUFRAY V, DISCA T, TILLON L.** Identification et écologie acoustique des chiroptères de Guyane française. *Le Rhinolophe*. 2013;19:103–45.

**30. ANTHONY ELP.** Age determination in bats. *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (T. H. Kunz, ed.). Washington, D.C: Smithsonian Institution Press; 1988. Pp. 47–58.

**31. MALAUSA T, GILLES A, MEGLÉCZ E, BLANQUART H, DUTHOY S, COSTEDOAT C, ET AL.** High-throughput microsatellite isolation through 454 GS-FLX Titanium pyrosequencing of enriched DNA libraries. *Mol Ecol Resour*. 2011;11:638–44.

- 32. FILIPPI-CODACCIONI O. ET AL.** Coexistence of two sympatric cryptic bat species in French Guiana: insights from genetic, acoustic and ecological data. *BMC Evolutionary Biology* (2018) 18:175 <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1289-8>.
- 33. EVANNO G, REGNAUT S, GOUDET J.** Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: A simulation study. *Mol Ecol*. 2005;14:2611–20.
- 34. EARL DA, VONHOLDT BM.** STRUCTURE HARVESTER: A website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conserv Genet Resour*. 2012;4:359–61.
- 35. Anderson EC, Thompson EA.** A model-based method for identifying species hybrids using multilocus genetic data. *Genetics*. 2002;160:1217–29
- 36. Goudet J.** Computer Note. *J. Hered*. 1995;86:485–6.
- 37. MEEÛS T DE, BÉATI L, DELAYE C, AESCHLIMANN A, RENAUD F.** Sex-Biased Genetic Structure in the Vector of Lyme Disease, *Ixodes ricinus*. *Evolution*. 2002;56:1802–7. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00194.x>
- 38. SMOTHERMAN, M., GUILLÉN-SERVENT A.** 2008. Doppler-shift compensation behavior by Wagner's mustached bat, *Pteronotus personatus*. *J. Acoust. Soc. Am*. 123 (6) : 4331-4339.
- 39. R CORE TEAM.** R: A language and environment for statistical computing. 2015.
- 40. JOHNS GC, AVISE JC.** A comparative summary of genetic distances in the vertebrates from the mitochondrial cytochrome b gene. *Mol Biol Evol*. 1998;15:1481–90.
- 41. LÓPEZ-BAUCELLS A, TORRENT L, ROCHA R, PAVAN AC, BOBROWIEC PED, MEYER CFJ.** Geographical variation in the high-duty cycle echolocation of the cryptic common mustached bat *Pteronotus* cf. *rubiginosus* (Mormoopidae). *Bioacoustics*. 2018;27:341-57.
- 42. PFENNIG K.** Character displacement: Ecological and reproductive responses to a common evolutionary problem. *Q Rev Biol*. 2009;84:253–76.
- 43. JIANG T, YOU Y, LIU S, LU G, WANG L, WU H, ET AL.** Factors affecting geographic variation in echolocation calls of the endemic *Myotis davidii* in China. *Ethology*. 2013;119:881–90.
- 44. LIN A, JIANG T, KANWAL JS, LU G, LUO J, WEI X, ET AL.** Geographical variation in echolocation vocalizations of the Himalayan leaf-nosed bat: Contribution of morphological variation and cultural drift. *Oikos*. 2015;124:364–71.
- 45. PUECHMAILLE SJ, BORISSOV IM, ZSEBOK S, ALLEGRINI B, HIZEM M, KUENZEL S, ET AL.** Female mate choice can drive the evolution of high frequency echolocation in bats: A case study with *Rhinolophus mehelyi*. *PLoS One*. 2014;9.
- 46. GRILLIOT ME, BURNETT SC, MENDONÇA MT.** Sexual Dimorphism in Big Brown Bat (*Eptesicus fuscus*) Ultrasonic Vocalizations is Context Dependent. *J Mammal*. 2009;90:203–9. <https://academic.oup.com/jmammal/article-lookup/doi/10.1644/07-MAMM-A-161.1>
- 47. BERTHIER P, EXCOFFIER L, RUEDI M.** Recurrent replacement of mtDNA and cryptic hybridization between two sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Proc R Soc B Biol Sci*. 2006;273:3101–23. <http://rspb.royalsocietypublishing.org>

- 48. MAO X, HE G, ZHANG J, ROSSITER SJ, ZHANG S.** Lineage divergence and historical gene flow in the Chinese Horseshoe Bat (*Rhinolophus sinicus*). *PLoS One*. 2013;8.
- 49. TOEWS DPL, BRELSFORD A.** The biogeography of mitochondrial and nuclear discordance in animals. *Mol Ecol*. 2012;21:3907–30.
- 50. SHAW KL, LUGO E.** Mating asymmetry and the direction of evolution in the Hawaiian cricket genus *Laupala*. *Mol Ecol*. 2001;10:751–9.
- 51. STEIN AC, UY JA.** Unidirectional introgression of a sexually selected trait across an avian hybrid zone: a role for female choice? *Evolution*. 2006;60:1476–85.
- 52. ANGELL RL, BUTLIN RK, ALTRINGHAM JD.** Sexual Segregation and Flexible Mating Patterns in Temperate Bats. 2013;8.
- 53. BOGDANOVICZ W, PIKSA K TA.** Genetic structure in three species of whiskered bats (genus *Myotis*) during swarming. 2012;93:799–807.
- 54. WATT E, FENTON MB.** DNA fingerprinting provides evidence of discriminate suckling and non-random mating in little brown bats *Myotis lucifugus*. *Mol Ecol*. 1995;4:261–4.
- 55. BOGDANOWICZ W, PIKSA K, TEREBA A.** Hybridization hotspots at bat swarming sites. *PLoS One*. 2012;7(12):e53334.
- 56. MELO-FERREIRA J, BOURSOT P, SUCHENTRUNK F, FERRAND N, ALVES PC.** Invasion from the cold past: extensive introgression of mountain hare (*Lepus timidus*) mitochondrial DNA into three other hare species in northern Iberia. *Mol Ecol*. 2005;14:2459–64.
- 57. LOREN H. RIESEBERG.** Evolution: replacing genes and traits through hybridization. *Curr Biol*. 2009;19:119–22.
- 58. BALLARD JWO, MELVIN RG, MILLER JT, KATEWA SD.** Sex differences in survival and mitochondrial bioenergetics during aging in *Drosophila*. *Aging Cell*. 2007;6:699–708.
- 59. BAZIN E, GLEMIN S, GALTIER N.** Population size does not influence mitochondrial genetic diversity in animals. *Science*. 2006;312:570–2.
- 60. GRANT WS, SPIES IB, CANINO MF.** Biogeographic evidence for selection on mitochondrial DNA in North Pacific walleye pollock *Theragra chalcogramma*. *J Hered*. 2006;97:571–80.
- 61. STEWART JB, FREYER C, ELSON JL, WREDENBERG A, CANSU Z, TRIFUNOVIC A, ET AL.** Strong purifying selection in transmission of mammalian mitochondrial DNA. *PLoS Biol*. 2008;6:0063–71.

# Auteurs

**JBP** et **DP** ont conçu l'étude et supervisé le travail de terrain. **MPB, DF, EP1, EP2, OFC** et **DP** ont mené les analyses statistiques et génétiques, et **DDV** les analyses phylogénétiques. **LM, CK** et **GQ** ont développé les marqueurs microsatellites, et **CR** a génotypé les individus. **OFC, MPB, DF, DDV** et **DP** ont écrit le manuscrit.

**Ondine FILIPPI-CODACCIONI** - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 2Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France; 3SEISE 26 bis Barrouil, 33720 Illats, France.  
Email : seise.ofc@gmail.com

**Marie-Pauline BEUGIN**<sup>1,2,4</sup> - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 2Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France; 4ANTAGENE, Animal GenomicsLaboratory, 6 allée du Levant; 69890 La Tour de Salvagny (Lyon), France.  
Email: marie.pauline.beugin@gmail.com

**Damien M. DE VIENNE**<sup>1,2</sup> - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 2Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France.  
Email: damien.de-vienne@univ-lyon1.fr

**Elodie PORTANIER**<sup>1,5,6</sup> - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 5Université de Lyon, VetAgro Sup - Campus Vétérinaire de Lyon, 1 Avenue Bourgelat, BP 83

F-69280, Marcy l'Etoile, France ; 6Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage - Unité Faune de Montagne, 147 Route de Lodève, Les Portes du Soleil F-34990, Juvignac, France.  
Email: elodie.portanier@gmail.com

**David FOUCHET**<sup>1,2</sup> - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 2Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France.  
Email : david.fouchet@univ-lyon1.fr

**Cécile KAERLE**<sup>4</sup> - 4ANTAGENE, Animal GenomicsLaboratory, 6 allée du Levant; 69890 La Tour de Salvagny (Lyon), France  
Email: ckaerle@antagene.com

**Lina MUSELET**<sup>4</sup> - 4ANTAGENE, Animal GenomicsLaboratory, 6 allée du Levant; 69890 La Tour de Salvagny (Lyon), France  
Email: lmuselet@antagene.com  
**Guillaume QUENEY**<sup>4</sup> - 4ANTAGENE, Animal GenomicsLaboratory, 6 allée du Levant; 69890 La Tour de Salvagny (Lyon), France  
Email:gqueney@antagene.com

**Eric J. PETIT**<sup>7</sup> - 7UMR ESE, Ecology and Ecosystem Health, INRA, AgrocampusOuest, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex, France  
Email : eric.petit@inra.fr

**Corinne REGIS**<sup>1,2</sup> - 1Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; 2Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France.  
Email : corinne.regis@univ-lyon1.fr

**Jean-Baptiste PONS**<sup>1,2</sup> - <sup>1</sup>Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; <sup>2</sup>Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France.

Email: jean-baptiste.pons@universite-lyon.fr

**Dominique PONTIER**<sup>1,2,\*</sup> - <sup>1</sup>Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive UMR5558, F-69622 Villeurbanne, France; <sup>2</sup>Université de Lyon, LabExEcofect, Nadine Cizaire, 92 rue Pasteur, CS 30122 69361 Lyon Cedex 07, France.

Email: dominique.pontier@univ-lyon1.fr



Une partie de l'équipe ECOFECT, avec ses bénévoles, lors de la mission d'octobre 2015

## Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier toutes les nombreuses personnes impliquées dans le travail de terrain depuis 2010 : V. Alt, M. Bely, G. Chagneau, M. Dorfiac, S. Dufour, C. Gizardin, G. Leblanc, M. Leuchtman, E. Loutfi, A. Le Guen, L. Trebucq, O. Vrignaud., J. Tribot, J. Jean-Baptiste, N. Aubouin, O. Zucchet, C. Guiraud, O. Allenou, A. Mary, A. Lec'hvien, A. Mateo, A. Cheron, L. Delamare, J. Dechartre, E. Jomat, T.Girard, J., J. Etienne, S. Péault, J. Duhayer, C. Lesage, F. Varenne, C., Gaboriaud, M. Gely, M. Berenger, F. Veinante, M. Ruchon, J. Yvernault, M.Gervot., V. Goma, A. Laforge, A. Le Nozahic, M. Daval, B. Baillat.

Nous remercions également le CNRS Guyane et notamment Philippe Gaucher pour sa collaboration et son accueil.

Merci au Groupe Chiroptère Guyane pour son aide lors du lancement et pendant l'étude (notamment S. Uriot, Q. Uriot et V. Ruffray) ainsi que la Réserve de l'Amana, du Mont Grand Matoury et de Kaw.

Un grand merci à Sébastien Dufour et à Joëlle de Rour'attitude : pour l'accueil de jour comme de nuit des équipes et du matériel au cours des nombreuses missions, pour les coups de pouce et pour leur bonne humeur.

Merci enfin à Michel Barataud pour ses avis éclairés et sa relecture de l'article.



© Ecofact 2018



Pour citer cet article :

**FILIPPI-CODACCIONI, O., M-P. BEUGIN, D. M. DE VIENNE, E. PORTANIER, D. FOUCHET, C. KAERLE, L. MUSELET, G. QUENEY, E. J. PETIT, C. REGIS, J-B. PONS, D. PONTIER, 2018.**

Coexistence de deux espèces cryptiques en Guyane: apprentissage de la génétique, de l'acoustique et de l'écologie.

*Plume de Naturalistes 2* : 169-190.

ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de *Plume de Naturalistes*:  
[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

# Bois, forêts et forestiers ; l'histoire et le sens des mots

Par **Michel BARATAUD**  
(michel.barataud1@orange.fr)

*Il est un mythe qu'il faut détruire, c'est celui de la forêt vierge, paradis terrestre où le citoyen peut renouer contact avec la nature et se retremper dans ses forces vives. C'est faux, une telle forêt n'est pas accueillante, tout le monde connaît l'enfer vert des forêts équatoriales. Sous nos climats, toute forêt livrée à elle-même se dégrade. Les essences précieuses sont éliminées petit à petit par des espèces plus rustiques. La forêt prend cet aspect fermé qu'ont actuellement les 600 hectares des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. Constatez que la forêt abandonnée à elle-même ne convient guère à l'homme, le parcours étant perturbateur et dangereux. S'il est admissible de consacrer ainsi quelques parcelles à la recherche scientifique et de créer quelques jardins secrets pour la science, ce ne sont pas de tels peuplements qu'aime trouver ou retrouver le citoyen lors de ses promenades en forêt. Entre les apprentis sorciers de la protection de la nature et les forestiers héritiers d'une longue expérience, le public n'hésitera pas si on lui dit la vérité.*

**François Mangin d'Ouince**, in HAINARD, 2008. (Directeur régional de l'Office national des forêts, région parisienne)

*La forêt vierge est la source d'information la plus riche et la plus complète sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. [...]*

*Malheureusement, et malgré une prise de conscience à l'échelle internationale de l'importance des forêts vierges, trop nombreuses sont celles qui ne bénéficient pas encore du statut qu'elles méritent. Inconnues, soumises à des pressions économiques ou démographiques, elles disparaissent peu à peu entraînant avec elles un patrimoine inestimable.*

*Les forestiers wallons n'ont plus la chance de disposer aujourd'hui sur leur territoire de forêts vierges mais leur souhait de contribuer à la conservation de celles-ci n'en est pas pour autant réduit. Sans cesse à la recherche d'une gestion forestière harmonieuse et respectueuse de son environnement, le monde forestier wallon se tourne peu à peu vers l'exemple d'harmonie que représentent les forêts vierges.*

**Philippe Blerot**, in GIURGIU et al., 2001. (Inspecteur général de la Division de la Nature et des Forêts ; Ministère de la Région wallonne de Belgique)

La terminologie n'est pas anodine dans nos sociétés. Le nom d'une entité façonne les idées et les actes qui s'y rattachent, et peut orienter la pensée collective de façon profonde et durable.

Prenez une composition paysagère courante dans de nombreuses régions d'Europe : deux formations arborées côte à côte ; l'une est composée d'arbres régulièrement espacés, tous du même âge et de la même essence, aux silhouettes rectilignes qui s'alignent à perte de vue ; l'autre est un ensemble composite d'essences locales, de taille et d'âge différents, où la verticalité peine à s'exprimer : troncs sinueux, lignes entrecroisées, feuillages à tous les étages qui limitent l'horizon visuel à quelques mètres.

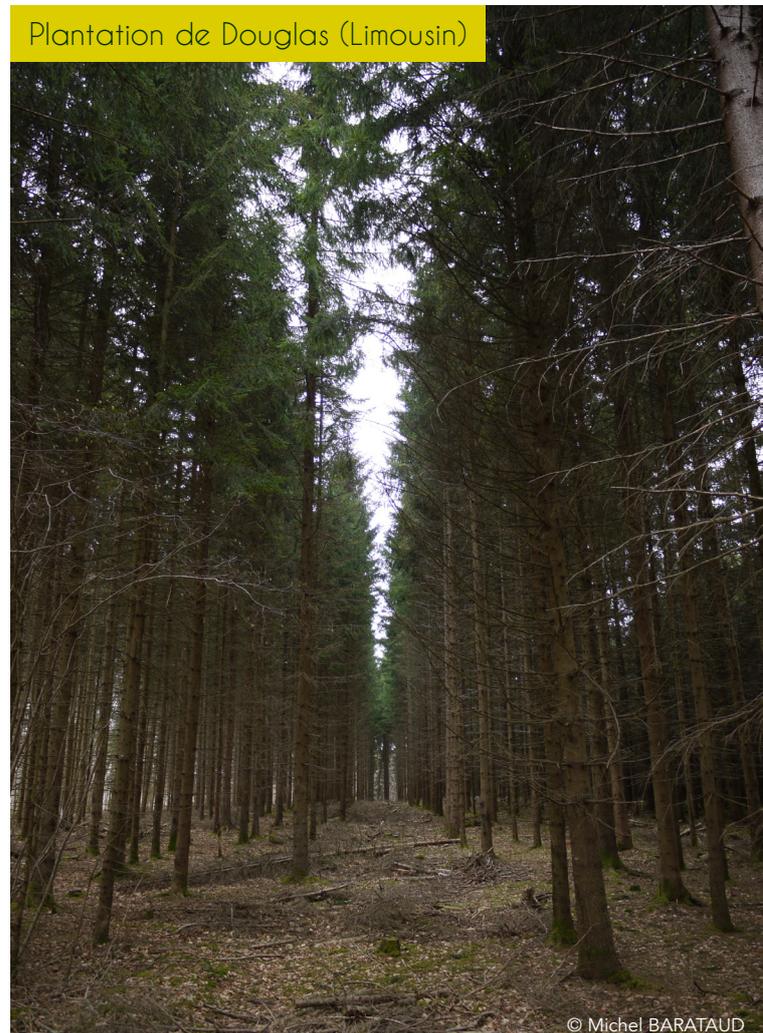
Deux personnes regardent et qualifient ces deux habitats : la première est un(e) professionnel(le) de la filière bois, appelons-le « forestier » selon le terme conventionnel ; la seconde est un(e) naturaliste spécialiste de l'écologie forestière.

Le « forestier » va donner à la première formation le terme de forêt, mot empreint de noblesse qui va souligner sa maîtrise professionnelle ; l'ensemble composite ne sera pour lui que des bois, terme populaire un peu fourre-tout pour désigner un espace couvert d'arbres, sans valeur ni prestige particuliers. Le naturaliste aura une approche, donc un angle de vue, différents, avec pour conséquence une inversion des termes employés : le premier milieu sera une plantation dans un but de production de bois ; le second correspondra à sa définition d'une forêt selon ses critères de naturalité.

Comme toute caricature, cette présentation est quelque peu réductrice : les « forestiers » qui sont aussi naturalistes sont nombreux ; pour ceux-là, si leur

métier consiste à produire du bois, ils aiment aussi les forêts naturelles, et leur vision des milieux boisés est plus riche et nuancée que cette dichotomie simpliste. Cependant, pour avoir beaucoup écouté et interrogé de nombreuses personnes d'origines diverses parler de leur vision de la forêt, il m'a semblé qu'aucun autre milieu naturel, au moins dans notre contexte européen, n'affiche une telle diversité et une telle confusion des termes employés, en lien avec une forte complexité des représentations mentales selon nos racines éducatives, nos attirances culturelles, nos influences sociétales et nos catégories professionnelles. Pour une majorité, la forêt naturelle (nous verrons plus loin que cette expression devrait être considérée comme un pléonasme) est un milieu impénétrable (*Homo sapiens*, issu des savanes africaines ou des steppes arborées de l'ère glaciaire, s'y sentirait-il rejeté ?), désordonné (notre

Plantation de Douglas (Limousin)



© Michel BARATAUD

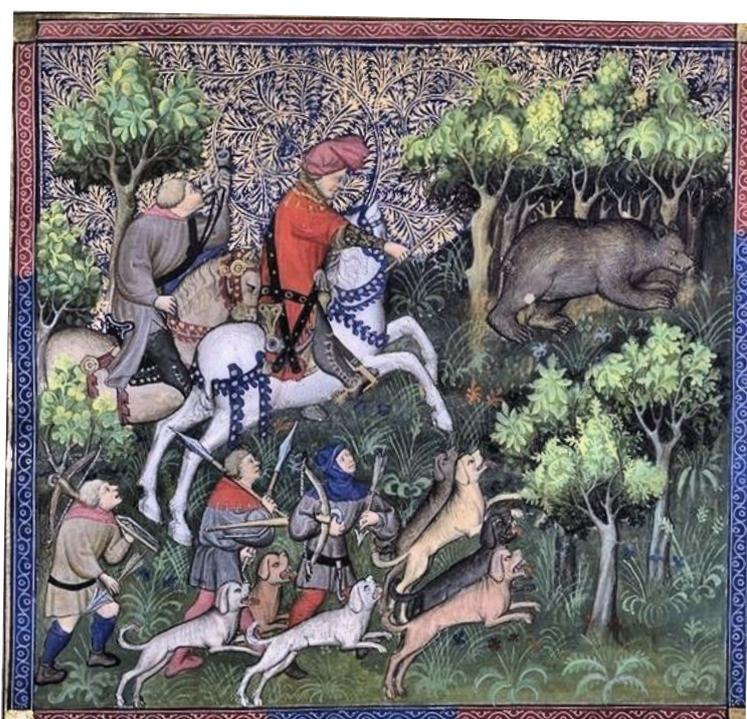
obsession de la géométrie ne s'y retrouve pas), voire inquiétant (la peur du sombre, du sauvage). Cette vision impénétrable de la forêt naturelle, que je n'ai pourtant jamais ressentie dans les sanctuaires forestiers de Pologne, Roumanie et Slovénie, est ancrée même au sein de la communauté scientifique : Andrée Corvol-Dessert, directrice de recherche au CNRS, en fait une description telle dans sa série d'émissions pour France Culture en 2014 (<https://www.franceculture.fr/emissions/pas-la-peine-de-crier/la-foret-15-une-histoire-politique-et-economique-des-forets>).

**Qu'est-ce qui explique une telle amplitude d'acceptions autour de ces termes : forêt et bois ? Ont-ils eu toujours le même sens ?**

**L'histoire et l'étymologie peuvent nous aider à comprendre.**

En Europe, le premier terme recensé remonte à l'Antiquité grecque : *hyle* signifie zone boisée, avant qu'Aristote (384-322 av. J.-C.) lui donne un sens philosophique de matière en devenir, devant aboutir à la forme (ainsi dès cette origine, l'ambivalence entre l'habitat et le matériau bois est présente). Le dérivé de *hyle* en latin est *sylva* qui devient *silva*, le terme *materia* (qui a la même racine que *mater* : la mère : tout un symbole) étant utilisé pour la version aristotélicienne de matériau. Un autre mot latin est utilisé pour désigner l'habitat bois : *nemus*, qui vient probablement de *nemo* qui signifie « personne » au sens « vide d'humains » ; les zones boisées sont appelées *locus neminis* : lieu n'appartenant à personne. De fait, les frontières de la *res publica* romaine étaient tracées le long des lisières des zones boisées non domestiquées qui avaient le statut de *res nullius* : ainsi le droit antique romain n'accordait pas un statut de propriété privée aux forêts sauvages

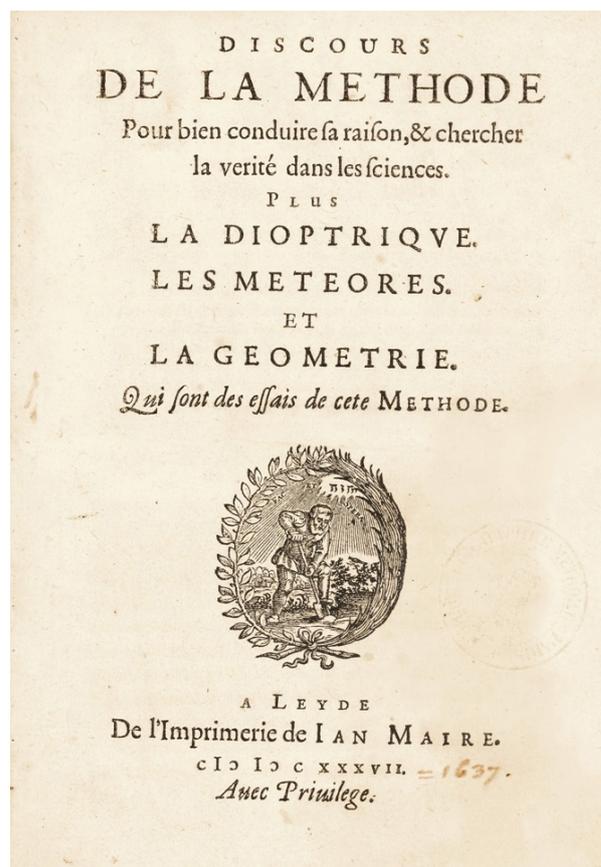
(HARRISON, 1992), ce qui n'empêchait pas une pénétration et une utilisation des bois pour les besoins courants (CHALVET, 2011). Le mot « forêt » est plus récent ; il vient du latin *foresta* dont l'origine remonte à la période mérovingienne (V<sup>e</sup> – VIII<sup>e</sup> siècle) ; le verbe *forestare* signifiait « retenir en dehors, exclure, mettre à l'écart » ; ces termes dériveraient de *foris* qui signifie « en dehors ». Car le mot *foresta*, qui apparaît de façon écrite dans les lois des Lombards et les capitulaires de Charlemagne à la fin du VIII<sup>e</sup> siècle, est avant tout un terme juridique qui désigne les réserves de chasses royales (BECHMANN, 1984 ; HARRISON, 1992). Les rois, constatant la raréfaction des zones boisées où la faune sauvage abonde, décidaient de protéger de l'exploitation commune (chasse, cueillette, abattage, culture) des zones principalement boisées. Ils se posaient ainsi en garants de sanctuaires sauvages encore imprégnés de mythologie ancienne, non sans s'octroyer le grand gibier pour la chasse, activité où le symbolique et le trivial étaient mêlés. Ces forêts étaient surveillées et protégées par des officiers (*forestarius* en latin : à l'origine les forestiers étaient donc des protecteurs de la forêt) qui tentaient de faire respecter



Chasse à cheval. Livre de chasse de Gaston Phoebus.  
© Bibliothèque nationale de France

l'intégrité du milieu et de sa grande faune contre les tentations du peuple à profiter de cette manne réservée par le roi et les féodaux, ces derniers étant souvent encore plus répressifs que le roi (BECHMANN, 1984). Selon John Manwood (1592), juge et gardien des chasses royales d'Angleterre, la forêt est un sanctuaire sauvage que la royauté doit protéger du pillage du peuple ; il prétend que *foresta* a été forgé par les latinistes à partir des deux mots *fera* et *statio* qui signifient « habitat sûr pour les bêtes sauvages » (HARRISON, 1992). Le terme « bois », quant à lui, vient du latin *boscus* qui est attesté pour la première fois en 704 dans un diplôme de Childéric III (HUBSCHMID, 1970, p. 85) et devient fréquent dès le début du IX<sup>e</sup> siècle au sens de « terrain boisé » ; il s'agit généralement de petites surfaces utilisées comme ressource en bois et en gibier (BECHMANN, 1984).

L'état dénaturé des forêts vers la Renaissance montre que la pression démographique croissante durant le Moyen Age, associée à une extension importante des zones agricoles, avaient eu raison de la plupart des habitats forestiers originels (HARRISON, 1992 ; WORONOFF, 1990), et ceci malgré la création en 1318 d'une véritable administration des eaux et forêts chargée de faire respecter les ordonnances du roi (BOUTEFEU, 2005). Par ailleurs, les forêts étant le refuge des proscrits et autres marginaux, la religion n'a eu de cesse d'encourager l'élimination de ces lieux de perdution. Ainsi, après la dévastation des forêts du pourtour méditerranéen durant l'Antiquité, par les Grecs (pour la marine) puis les Romains (conversion vers l'agriculture), les forêts de l'Europe moyenne et nordique, déjà bien fragmentées par les Celtes à l'âge du bronze et surtout à l'âge du fer, sont souvent surexploitées durant le millénaire suivant, notamment au bas Moyen Age



(BROSSE, 2000 ; CHALVET, 2011 ; HARRISON, 1992).

Ce constat de forte dégradation surfacique et structurelle des forêts, est concomitant avec le changement de concept intellectuel introduit par Descartes en 1637 dans la quatrième partie de son *Discours de la méthode* (DESCARTES, 1966). Les forêts cessent d'être des lieux où règnent le hasard et la confusion, dès lors qu'une époque se donne pour mission de les maîtriser et de les posséder ; le sujet pensant de Descartes s'incarne dans l'Etat, qui organise l'essor de l'exploitation rationnelle des forêts pour le matériau bois, qui devient « l'essence » de ce milieu. Il est vrai que la forêt française, pillée durant des siècles pour les besoins en agriculture, en bois de feu et en charbon de bois pour les usages domestiques et industriels (forges, verreries...), en piquets, palissades ou bois d'œuvre, etc., nécessite des mesures rapides et drastiques, dont l'ordonnance de Louis XIV sous l'impulsion de Colbert (« la France périra faute de bois ») est le

reflet en 1669. Dans la lignée de cette évolution, Le Roy, conservateur du parc de Versailles et rédacteur de l'article sur la forêt dans l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert (1751), donne une définition de la forêt réduite à la composante « arbres » : les composantes écologiques (habitat des bêtes sauvages) et juridiques (protection réglementaire) de Manwood ont disparu. La gestion des forêts (et leur restauration suite aux dégradations des siècles précédents) ne peut résulter que d'un savoir faire humain, professionnel, afin de rendre les forêts utiles dans l'intérêt de l'Etat (production de bois d'œuvre, notamment pour la marine). Tout le symbolisme moderne de l'humanisme est d'ailleurs annoncé par Diderot lui-même dans l'introduction de l'Encyclopédie : « L'homme est le terme unique d'où il faut partir, et auquel il faut tout ramener ».

La « science des forêts », née en Allemagne au XVIII<sup>e</sup> siècle, organise cette nouvelle vision productiviste où le symbolisme, le spirituel, la vie sauvage pour ce qu'elle est, disparaissent au profit d'une mathématique des forêts fondée sur la masse ou le volume du matériau bois. Les « forestiers » deviennent les scientifiques de l'Etat avec l'apparition d'une profession : géomètre des forêts (CHALVET, 2011 ; HARRISON, 1992), relayée en France par une administration forestière toute puissante au XIX<sup>e</sup> siècle (BOUTEFEU, 2005). Ainsi, les anciens *forestarius*, protecteurs des forêts naturelles, devenaient des sylviculteurs, terme apparu en Allemagne en 1715 et en France en 1835 (BROSSE, 2000).

La réappropriation du foncier par le peuple après la révolution française de 1789, accentue encore la déforestation au profit du pâturage, notamment en montagne où il faudra les lois de reboisement de 1860 puis 1882 pour enrayer une érosion spectaculaire des sols.

La déprise agricole de la première moitié

**ENCYCLOPÉDIE,**  
O U  
**DICTIONNAIRE RAISONNÉ**  
**DES SCIENCES,**  
**DES ARTS ET DES MÉTIERS,**  
PAR UNE SOCIÉTÉ DE GENS DE LETTRES.

Mis en ordre & publié par M. DIDEROT, de l'Académie Royale des Sciences & des Belles-Lettres de Prusse; & quant à la PARTIE MATHÉMATIQUE, par M. D'ALEMBERT, de l'Académie Française, de l'Académie Royale des Sciences de Paris, de celle de Prusse, de la Société Royale de Londres, de l'Académie Royale des Belles-Lettres de Suède, & de l'Institut de Bologne.

*Tantum series juncturaque pollet,  
Tantum de medio sumptis accedit honoris!* HORAT.

TOME SIXIEME.



A PARIS,

Chez { BRIASSON, rue Saint Jacques, à la Science.  
DAVID l'aîné, rue de vis-à-vis la Grille des Mathurins.  
LE BRETON, Imprimeur ordinaire du Roy, rue de la Harpe.  
DURAND, rue de Poisy, vis-à-vis la petite Porte des Mathurins.

M. D C C. LVI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

du XX<sup>e</sup> siècle amorce un processus de recolonisation des boisements, surtout dans les régions où le relief ne permet pas une agriculture intensive ; cette forêt privée, naturelle mais encore juvénile, est progressivement reprise en main par l'économie dès 1946 avec le Fonds Forestier National ; c'est le temps actuel des conversions en futaies régulières monospécifiques sur d'immenses surfaces, puis celui de la redécouverte insensée de l'énergie bois.

Ainsi, la confusion entre forêt et sylviculture n'a guère que deux à trois siècles d'histoire. Mais elle s'est imposée avec une telle force qu'elle imprègne la culture d'une grande part de la population, plus familière voire rassurée avec les boisements alignés où il est possible de « suivre un droit chemin » comme dans la métaphore du Discours de la méthode de Descartes. Récemment, un agriculteur me disait : « pour avoir une belle forêt, il faut planter des arbres » ; tout est dit. La forêt « cathédrale », terme désignant les



très artificielles hautes futaies régulières sans strates de sous-bois, n'est sans doute pas une appellation anodine : ici l'allusion au sacré vient renforcer un concept, une technique, basés sur l'efficacité et l'utilité économique ; une nouvelle religion en quelque sorte.

Ces mesures étatiques, vieilles de plus d'un millénaire, reliées à l'apparition du mot « forêt », visant à réserver une part de vie sauvage près de nous – même s'il est difficile de croire que l'intéressement n'y côtoyait pas le symbolique – existent-elles encore aujourd'hui ?

Après la révolution, l'Etat français a revendu une bonne partie des forêts publiques (352 000 ha entre 1814 et 1870) à des propriétaires privés (CHALVET, 2011). De nos jours, l'Office national des forêts (établissement public à caractère industriel et commercial) augmente sans cesse la pression d'exploitation, et ses réserves biologiques intégrales ne représentaient en métropole que 15500

ha en 2007, sur 4,3 millions d'hectares de forêt publique, la superficie boisée nationale étant de 16,9 millions d'hectares (ONF, 2008). A ce chiffre ridiculement faible, s'ajoutent plus de 13500 ha au sein du réseau des réserves naturelles, mais ces dernières ne constituent pas une garantie contre les coupes rases décidées par les propriétaires privés. Le constat demeure édifiant : seulement un millième de la « forêt » métropolitaine française est laissé à la vie sauvage (contre 18,8 % en Roumanie ! GIURGIU *et al.*, 2001).

Le besoin de conserver une part de nature primordiale (BOISSON, 2008) est certainement partagé par de nombreux humains silencieux. Les naturalistes, poètes, simples promeneurs... doivent s'approprier la forêt. Intellectuellement d'abord, en parlant d'elle avec leurs angles de vue particuliers ; ne dit-on pas que « tant que les lapins n'auront pas de porte-parole, leur histoire sera racontée par les chasseurs » ! Mais aussi sur le plan foncier : puisque la considération juridique



© Michel BARATAUD

Après la coupe rase... (Limousin)

et sociale passe dans notre société par la propriété privée, il faut acheter des bois, les faire acheter aux institutions qui peuvent garantir son évolution naturelle, les conservatoires de toutes sortes.

Revenons à nos mots... Dans le langage courant actuel, le terme « forestier » s'applique donc aux professionnels de la filière bois. Tout naturaliste spécialiste de l'écologie forestière peut aussi revendiquer cette appellation, qui ne doit pas être abandonnée à un sens dérivé, voire dévoyé. Une déclinaison peut ensuite s'opérer : sylviculteur, bûcheron, propriétaire, écologue, etc. Quant au terme de « forêt », il semble illusoire de prétendre le ramener dans la pensée collective exclusivement au sens premier d'habitat boisé sauvage. Même si de nombreux traitements subis par les peuplements arborés justifieraient que ce terme revête une acception moins plurielle et mieux recentrée sur ses origines, il est empreint d'une telle force dans l'imaginaire sociétal que chacun continuera à se l'approprier. Tout au moins, pour gagner en clarté et en précision, devrions-nous le composer

avec d'autres termes bien choisis : forêt naturelle ou sub-naturelle, forêt cultivée, forêt plantée, etc. Pour ma part, je m'efforce d'employer systématiquement les termes de « plantation » ou « sylviculture » pour les boisements qui ont perdu leur caractéristiques naturelles, seul le maintien de ces dernières méritant le terme de « forêt ». Qui oserait appeler un champ de maïs une prairie naturelle ?

Les mots n'ont pas seulement du sens ; ils sont l'essence de la pensée d'une société. Nous relions les mots avec le concept ou la substance qu'ils décrivent dans notre imaginaire et notre culture, ces derniers étant souvent influencés à notre insu par le collectif, aux dépens de notre pensée individuelle. Dans « forêt », les naturalistes entendent aussi « for intérieur » (for dérive aussi de *foris*) : une intimité inviolable. A l'échelle de nos vies, chaque forêt qui s'efface est un phénomène irréversible, une représentation de notre monde sauvage que l'on perd ; une prairie que l'on fauche est un au revoir à demain, une forêt en coupe rase est un adieu à jamais.

**BECHMANN, R. 1984.** *Des arbres et des hommes. La forêt au moyen-âge.* Flammarion, Paris. 385 p.

**BOISSON, B. 2008.** *Nature primordiale. Des forêts sauvages au secours de l'homme.* Apogée, Rennes. 157 p.

**BOUTEFEU, B. 2005.** L'aménagement forestier en France : à la recherche d'une gestion durable à travers l'histoire. *Vertigo* 6(2). <http://journals.openedition.org/vertigo/4446>

**BROSSE, J. 2000.** *L'aventure des forêts en Occident. De la préhistoire à nos jours.* JC Lattès, Paris. 497 p.

**CHALVET, M. 2011.** *Une histoire de la forêt.* Seuil, Paris. 351 p.

**DESCARTES, R. 1966.** *Discours de la méthode.* Flammarion, coll. GF. Paris.

**GIURGIU, V., N. DONITA, C. BANDIU, S. RADU, R. CENUSA, R. DISSESCU, C. STOICULESCU & A. BIRIS. 2001.** *Les forêts vierges de Roumanie.* ASBL Forêt Wallone. 206 pp.

**HAINARD, R. 2008.** *Les forêts sauvages de*

*Robert Hainard.* Hesse. 183 pp.

**HARRISON, R. 1992.** *Forêts. Essai sur l'imaginaire occidental.* Flammarion. Champs essais. Paris. 401 p.

**HUBSCHMID, J. 1970.** Romanisch-germanische Wortprobleme (I). *Vox Romanica* 29 : 82-122.

**ONF. 2008.** *Réserves biologiques. Des espaces naturels remarquables en forêt publique.* Plaquette 14 pp. [http://www.onf.fr/gestion\\_durable/sommaire/action\\_onf/reserves/@@index.html](http://www.onf.fr/gestion_durable/sommaire/action_onf/reserves/@@index.html)

**WORONOFF, D. 1990.** Histoire des forêts françaises, XVIe-XXe siècles. Résultats de recherche et perspectives. *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques*, 6. <http://ccrh.revues.org/2860>

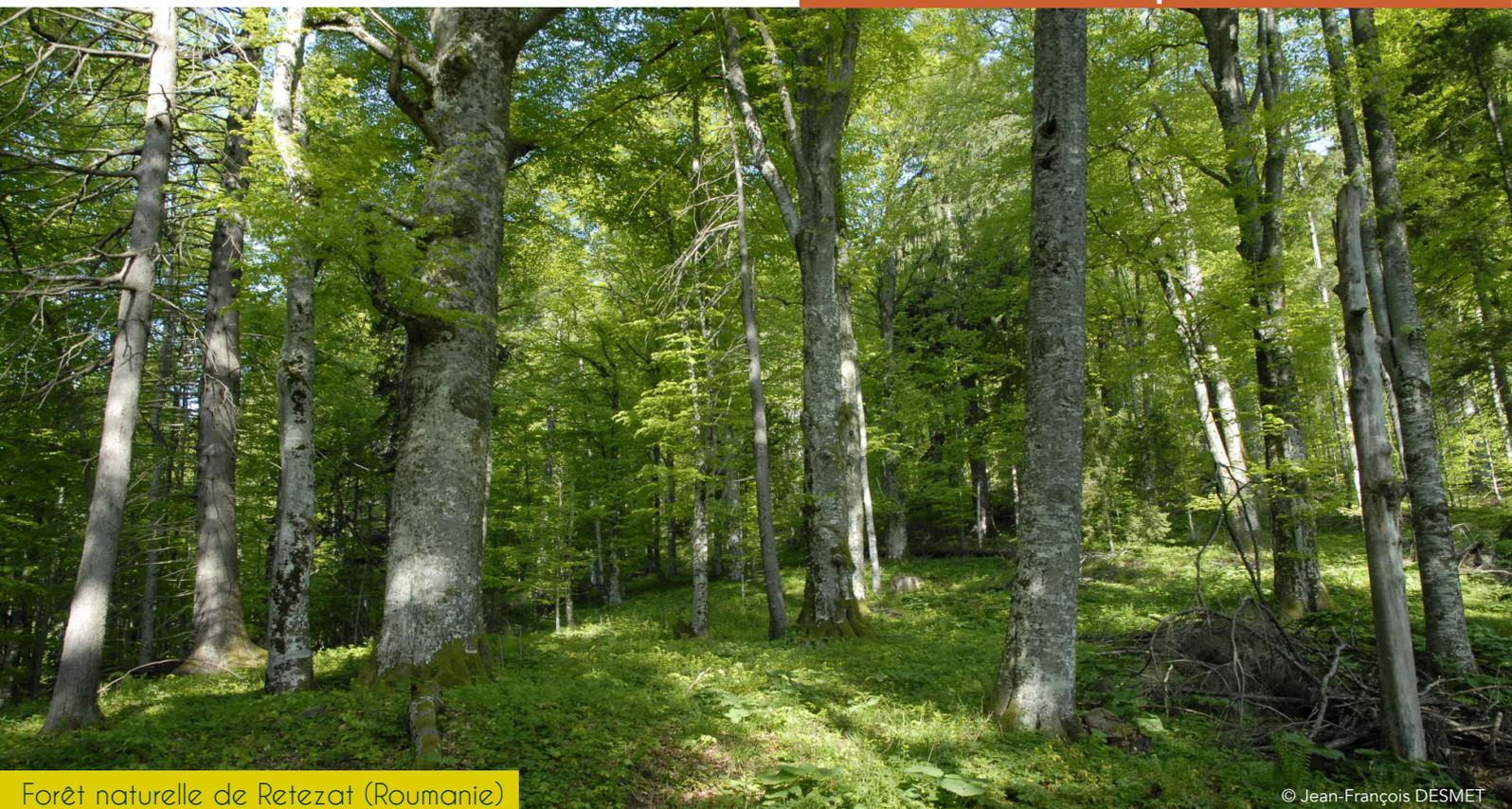
Pour citer cet essai :

**BARATAUD, M. 2018.**

Bois, forêts et forestiers ;  
l'histoire et le sens des mots.  
*Plume de Naturalistes* 2 : 191-198.

ISSN 2607-0510

[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)



Forêt naturelle de Retezat (Roumanie)

© Jean-François DESMET

PLUME DE NATURALISTES



# *La nature en littérature*



© Michel BARATAUD

numéro 2  
déc. 2018

# SOMMAIRE

Jim HARRISON

Dalva : une description naturaliste de la région de Loreto au Mexique

présenté par :

*Ondine Filippi-Cadaccioni*

p. 199

Jacques LACARRIERE.

Le pays sous l'écorce.

présenté par : *Michel Barataud*

p. 204

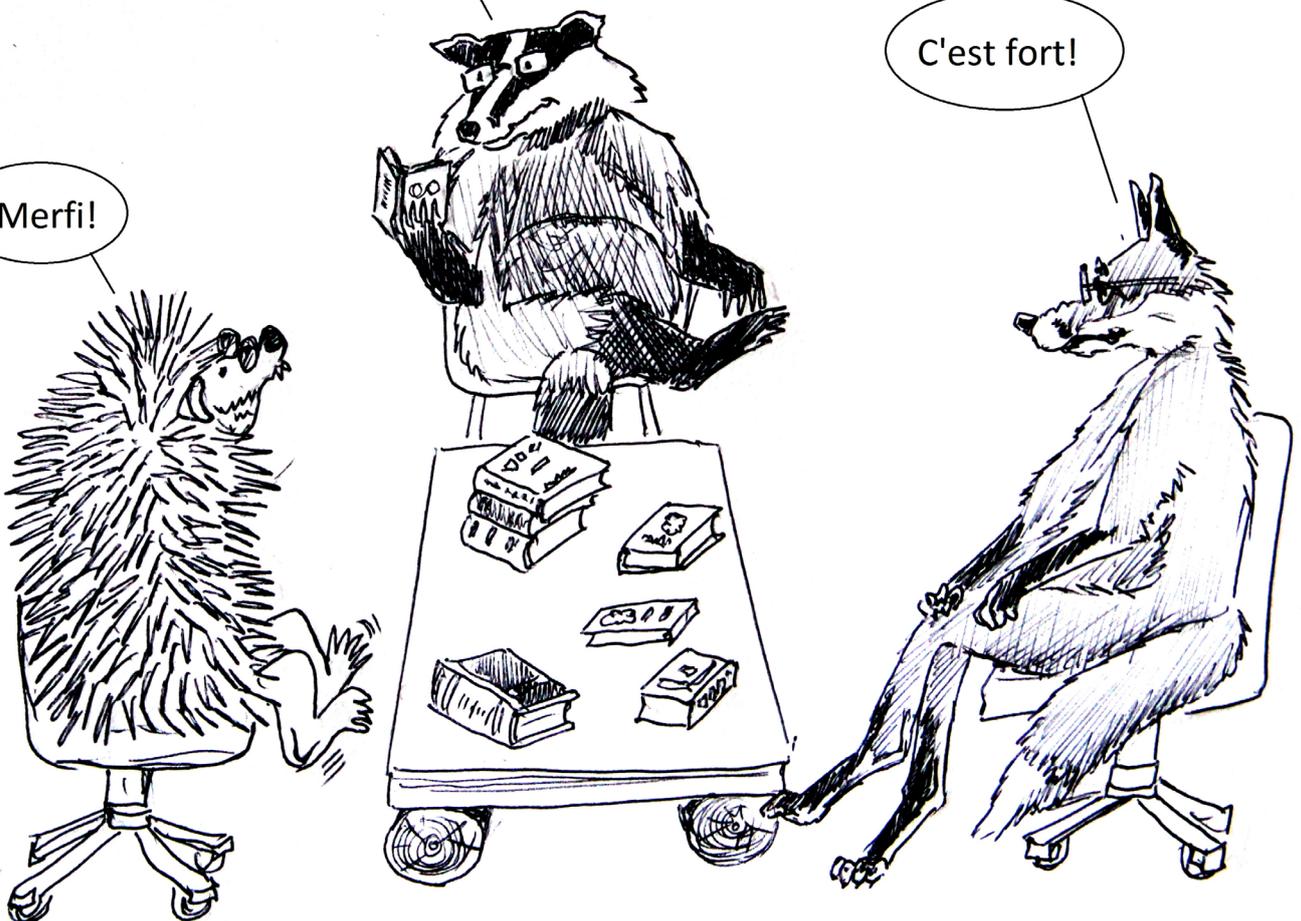
...et là, page 64, cette phrase glaçante: "Alors, allongé sur le macadam, je vis foncer vers moi, les deux soleils de la nuit."

C'est terrible!

Prenez un chewing-gum !

Merfi!

C'est fort!

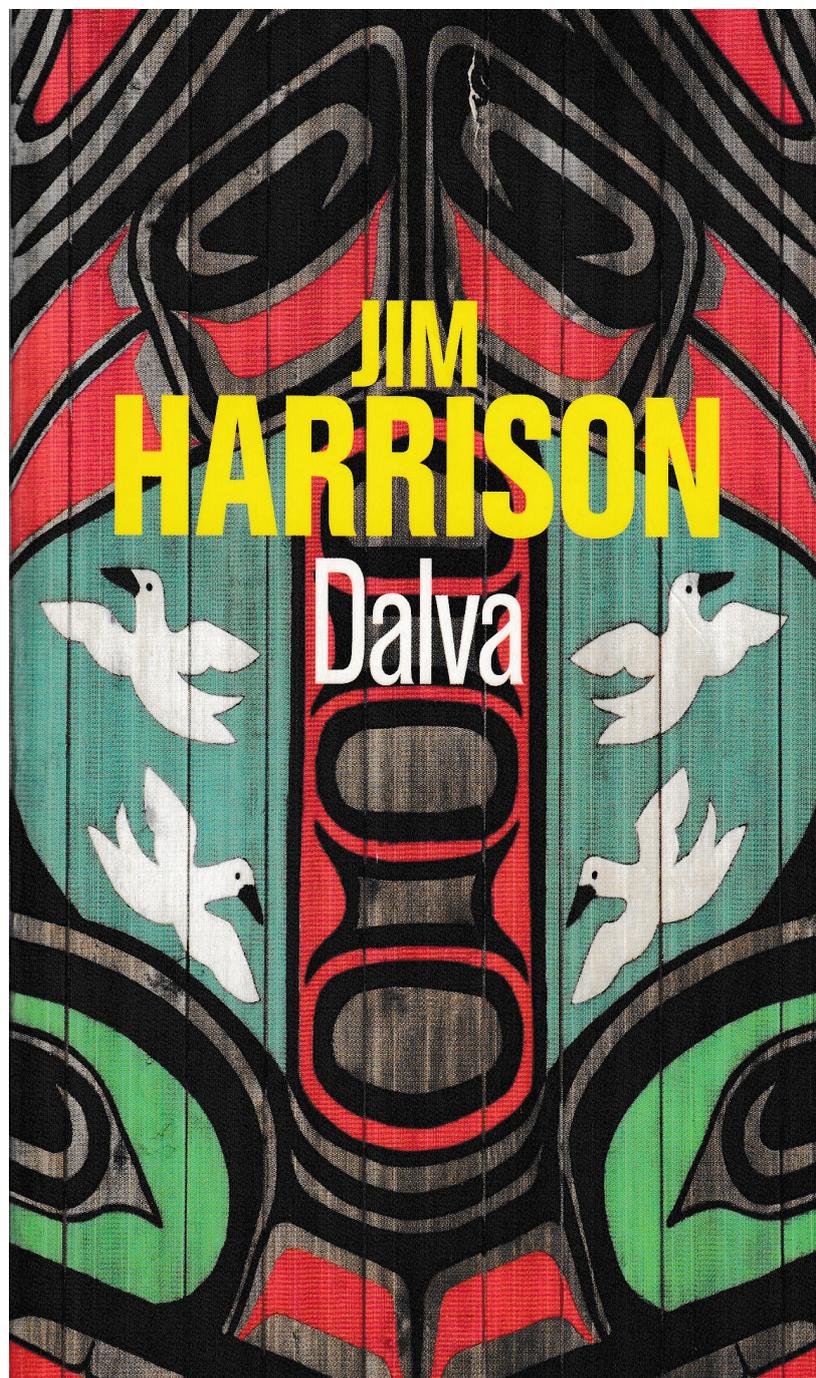


Dalva :  
une description naturaliste  
de la région de Loreto  
au Mexique

de Jim HARRISON

Par Ondine Filippi-Codaccioni

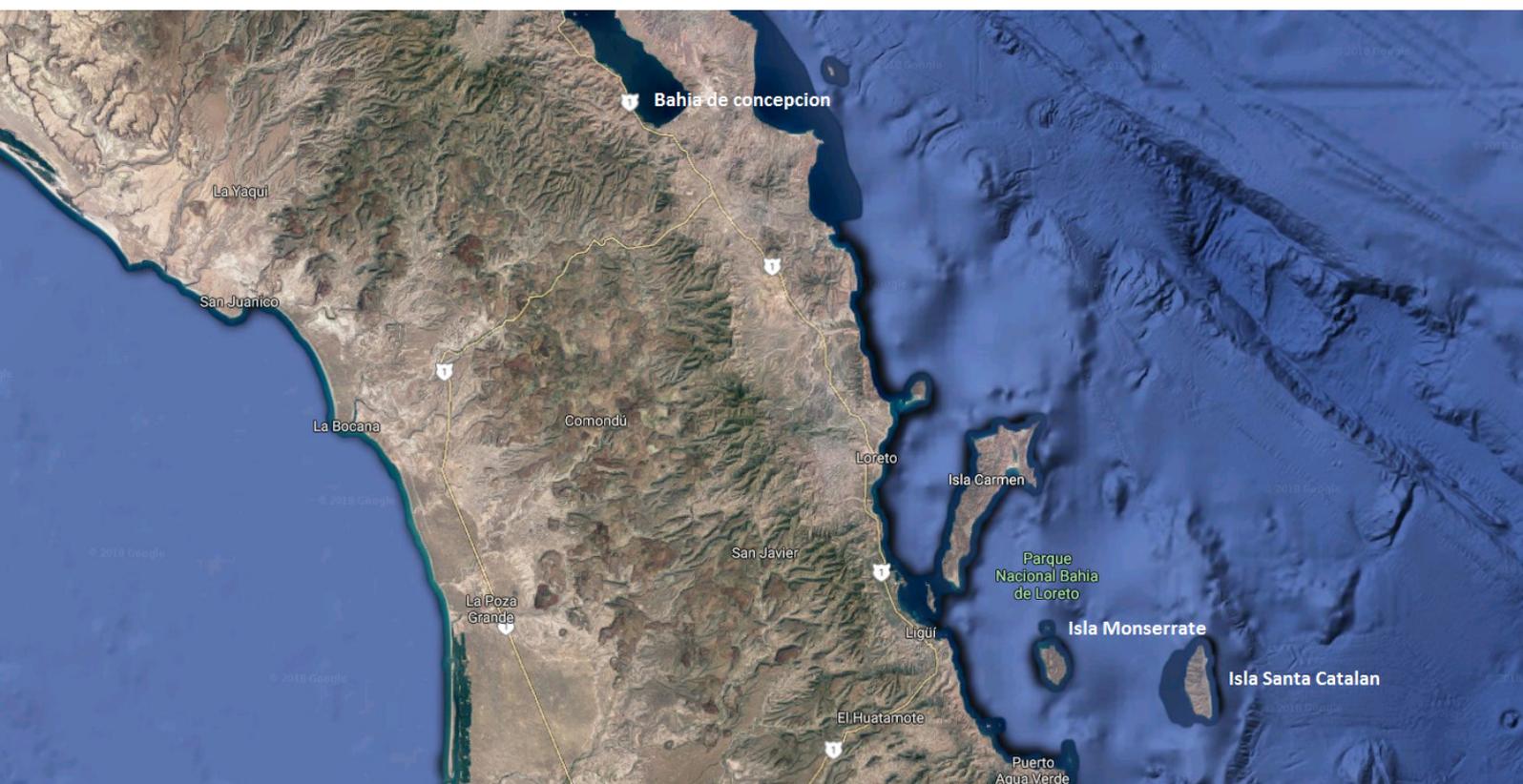
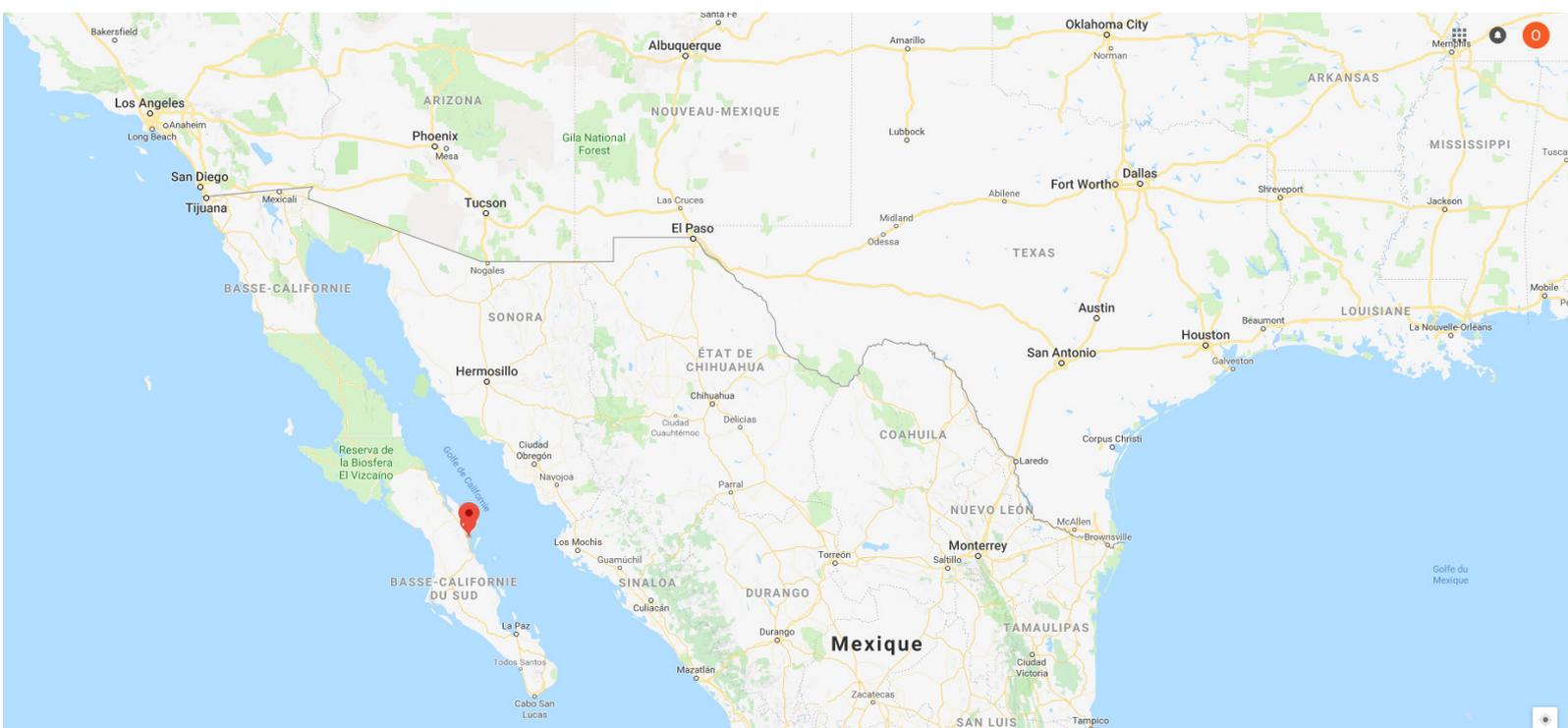
HARRISON, J. 1989. Dalva. Christian Bourgeois éd. 472 pp.



## Localisation du Parc National Bahia de Loreto :

La nature tient une grande place dans ce roman de Jim Harrison dont Dalva, une métisse indienne, est l'héroïne. Une partie du livre se situe sur la Péninsule de Basse-Californie, au Mexique. La descrip-

tion de la région mêle écologie et géologie. Il en sort une impression de foisonnement incroyable, comme on peut en juger à la lecture de certaines pages (voir extraits ci-dessous). D'autres parties du livre concernent le Nebraska et sont toutes aussi riches d'apprentissages naturalistes.



### Extraits des pages 376 à 380 :

« Quand on est sur la plage au sable grossier de Loreto, et même lorsqu'on se dirige vers le nord, l'oeil est attiré au sud le long de la côte de plus en plus découpée et vers les îles proches, au-delà d'Isla Carmen jusqu'à Monserato à la forme de tortue et, plus loin encore, Isla Catalina. Dans le calme de l'aube, les îles et les caps se confondent avec la mer comme un mirage ; il est alors impossible de distinguer le paysage au-delà d'un demi-mile en mer. Les couleurs forment une palette plus riche que celle du Pacifique ; les roses et les mauves de l'aube se muent en un pourpre soutenu, puis des nuances infinies d'or et d'écarlate embrasent le ciel au crépuscule. Le long de la côte sud, la Sierra de la Gigante domine le paysage ; il y a des moutons du désert à longues cornes, des chevreuils et des lions dans ces montagnes accidentées, ainsi que de mystérieuses peintures sur les rochers, des ocres d'hématite étalés par les Indiens d'antan sur des surplombs de granit à cinq ou six mètres du sol, personnages et animaux parfois plus grands que nature, jetés là par des géants qui peignaient avec les pinceaux d'un Matisse fixés au bout de longs bâtons.

Si ces montagnes sont intimidantes (une paroi nue de roc pourri s'y élève d'un seul jet sur cinq cents mètres sans qu'on aperçoive la moindre trace d'eau dans les environs), les îles de l'est sont plus attrayantes ; il est bien difficile de résister à l'envie de les visiter. Cramen, la plus grosse, n'est certes pas la plus belle ; Monserato, malgré son profil relativement bas, a des côtes rocheuses, et l'or des pirates y est enterré quelque part au milieu des bursaires (l'arbre-éléphant), des torrotes, des chollas et des cactus-barriques. En milieu de journée, une légère brise et le clapotis de la mer remplacent le calme de la matinée. Même si Catalina n'est pas sur ton chemin, tu as envie d'y aller, car elle est célèbre pour une espèce de serpents à sonnettes sans sonnettes qu'on ne trouve nulle part ailleurs. A vrai dire, toutes les créatures qui vivent sur chacune de ces

îles leur sont spécifiques, car elles ont évolué au sommet des pics volcaniques isolés par la montée des eaux qui ont inondé la faille de San Andreas, laquelle s'est soudain ouverte pour créer la mer de Cortez voici quinze millions d'années. Au sud, le mélanisme l'a emporté chez une espèce de lapin qui vit parmi l'andésite grise et une végétation scabieuse - elle aussi unique. Sur l'île de Catalina, certains cactus-barriques atteignent les trois mètres, ce que l'on ne voit nulle part ailleurs. Les seules bêtes familières sont des chèvres sauvages installées là au XIX<sup>e</sup> siècle par des baleiniers désireux de manger de la viande fraîche.

[...] Sous l'eau, la vie prolifère avec une diversité extraordinaire. Le plancton grouille dans les couches supérieures de l'océan qui en prend une teinte légèrement plus opaque que les eaux limpides des Caraïbes. On trouve le long de ces îles le baliste, le scare, l'aiguille de mer, plusieurs espèces d'épinéphèles ; plus près, le diable de mer, le poisson-globe, le gobie, et un peu partout des poissons plus petits. A trois mètres d'une falaise de Catalina on aperçoit en avril un banc de poissons à queue jaune au-delà d'oursins aux piquants longs d'une dizaine de centimètres, qui couvrent les rochers auxquels on s'accroche dans les vagues. Le cabrilla et le bar noir permettent de manger agréablement sur cette île. Dans les baies sabloneuses on rencontre des raies-aigles d'un mètre cinquante d'envergure, si nombreuses dans un mètre et demi d'eau qu'on trouve difficilement de la place où poser le pied ; plus au large on trouve la raie brune électrique dotée d'une tache sur le dos, et des raies plus petites à mesure qu'on se rapproche du rivage. Les congres ondulent comme des herbes qui pousseraient sur les fonds sablonneux de l'océan. [...] Dans une minuscule caverne à flanc de ravin, des douzaines de scorpions noirs longs d'une dizaine de centimètres s'accouplent furieusement à la lumière d'une lampe-torche. L'espèce unique de serpent à sonnettes est agressive, comparée à celle de l'Arizona ; elle agite les sonnettes de sa queue sous un énorme figuier autochtone dont les grandes feuilles vertes détonnent sur la jungle de

cactus doux-amer pitahaya, une jungle couverte de l'épaisse toile d'araignée de vigne sèche sur les pentes supérieures ; vues de près, les vrilles qui s'enroulent autour du tronc d'un pitahaya portent de minuscules fleurs blanches en forme de clochettes. [...] Tes précédents voyages t'ont sûrement permis de constater la moindre grande abondance de gros poissons volants, de merlins et de tortuava, bien que le golfe soit sans doute aussi vierge que le Nebraska en 1870. [...] La nuit, dans les vagues, tu admireras la phosphorescence des dinoflagellés, qui à certaines époques teinte toute la mer en rouge vif sous le ciel noir. ».

### Informations supplémentaires :

- Le lion serait en réalité le puma, bien présent en Basse Californie.
- L'arbre-éléphant (*Bursera microphylla*), espèce la plus xérophile du genre, originaire du Nord-Ouest du Mexique et du Sud-Ouest des Etats-Unis. Présent sur les collines désertiques et extrêmement arides et dans les montagnes du Nord-ouest de l'Etat de Sonora.
- Serpent à sonnette sans sonnettes de Isla Catalina : *Crotalus catalinensis*.

Arbre éléphant



Pitaya

- Cactus-barrique : *Ferocactus emoryi*.
- Cholla : cactus-sémaphore (*Conosola corrallicola*).
- Diable de mer : Il s'agit d'une raie *Mobula tarapacana* (bons renseignements sur IUCN Red List of Threatened Species, en ligne).
- Pitahaya : Le pitaya ou pitahaya (du taïno « fruit écaillé »), également connu sous le nom de « fruit du dragon » (ou dragon fruit, strawberry pear en anglais), est le fruit de différentes espèces de cactus hémipiphytes, et plus particulièrement de celles de l'espèce *Hylocereus undatus* (anciennement *H. triangularis*). La fécondation est réalisée par les papillons et les chauves-souris des forêts tropicales.
- Tortuava : *Totoaba macdonaldi* est un poisson marin de la famille des poissons tambours, les Sciaenidae. Il est endémique du Golfe du Mexique.
- Dinoflagellés (Dinoflagellata, du grec ancien δεινός / deinós « terrible » et du latin *flagellum*, « fouet »), sont une catégorie de protistes. Ce sont des micro-organismes aquatiques (marins ou dulçaquicoles). Ils sont très diversifiés, en particulier par leurs comportements alimentaires. Certains sont hétérotrophes, d'autres sont mixotrophes et d'autres encore sont des organismes photosynthétiques qui sont donc assimilés à des algues unicellulaires, en majorité biflagellées.



Efflorescence algale de Dinoflagellés à La Jolla (Californie)-  
Source : Wikipedia

### Pour en savoir plus :

**CLIFF, 1954.** Snakes of the islands in the Gulf of California, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, vol. 12, no 5, p. 67-98

**GRISMER, L. LEE. 2002.** *Amphibians and Reptiles of Baja California, Including Its Pacific Islands in the sea of Cortès*. University of California Press. (disponible en e-book sur internet).

**JOHNSON, M. B. (1992).** The genus *Bursera* (Burseraceae) in Sonora, Mexico and Arizona, U.S.A.". *Desert Plants*. 10: 126–143.

**Bates, J.M. 1992.** Frugivory on *Bursera microphylla* (Burseraceae) by Wintering Gray Vireos (*Vireo vicinior*, Vireonidae) in

the Coastal Deserts of Sonora, Mexico". *The Southwestern Naturalist*. 37 (3 (Sep.)): 252–258. doi:10.2307/3671866.

**FINDLEY, L. 2010.** "*Totoaba macdonaldi*". The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. 2010: e.T22003A9346099. doi:10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T22003A9346099.en. Retrieved 6 January 2018.

**THORROLD, S. R., P. AFONSO, J. FONTES & C. D. BRAUN. 2014.** Extreme diving behaviour in devil rays links surface waters and the deep ocean. *Nature Communications*, vol. 5, no 4274, 1er juillet 2014, p. 4274 (DOI 10.1038/ncomms5274, Bibcode 2014NatCo...5E4274T)

# Le pays sous l'écorce

de Jacques LACARRIERE

Par Michel Barataud

*« J'approchai l'arbre et je le reconnus, inchangé malgré les années. Si les arbres vieillissent autrement que les hommes, c'est qu'ils ont autre chose à nous dire. Sur son tronc, la peau s'écaillait par endroits livrant à l'air la chair à vif. Dans le canal, depuis longtemps désaffecté, lentisques et nénuphars couvaient un monde d'hydromètres, d'araignées d'eau, d'élytres bleus. J'écoutai longtemps ce silence. Puis je fermai les yeux et me glissai sous l'écorce.*

*Au début, je n'éprouvai rien qu'un peu de mal à respirer et un léger picotement par tout le corps, comme en éprouvent les chenilles juste avant d'être chrysalides (l'une d'elles me le raconta par la suite et c'est pourquoi j'en parle ici) : oui, un léger picotement par tout le corps. Et juste après, un fourmillement plus intense, plus ramifié, comme si je m'effritais, m'excoriais, écorché par l'écorce de l'arbre. Mes nerfs apparemment s'enchevêtraient, s'enroulaient sur eux-mêmes et mon sang s'allégeait, ma peau se craquelait. Je percevais encore les bruits de l'air, le silence de l'eau. Je percevais aussi d'infimes présences sous l'écorce. Et l'arbre tout entier, sa sève, ses rumeurs, l'émoi des branches et le désir nocturne des racines. Rien de tragique, en somme. J'étais entre deux mondes et je vivais toujours. »*

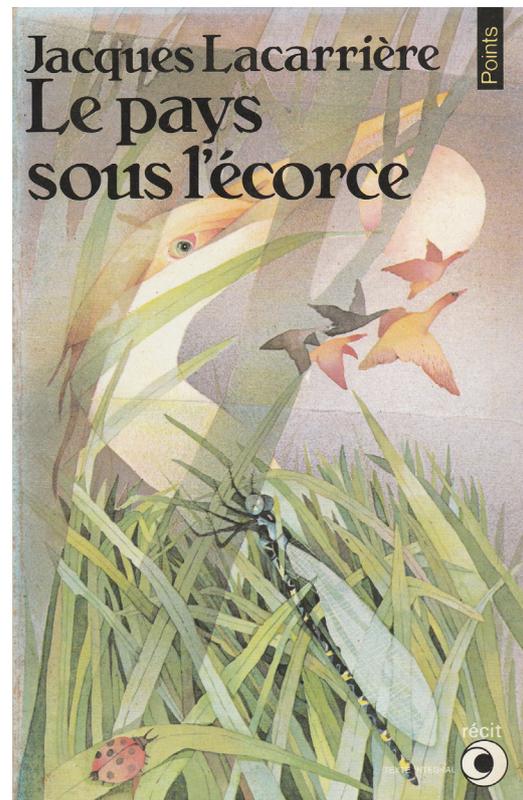
Jacques Lacarrière. 1980. Le pays sous l'écorce. Le Seuil, Paris. 188 pp.

Faire corps avec la nature. Pénétrer son sujet d'étude jusqu'à se glisser dans l'intimité de ses sens... Quel naturaliste n'a pas imaginé ce rêve impossible ?

Jacques Lacarrière (1925-2005) nous a livré en 1980 un petit bijou de littérature, qui dessine de multiples contours possibles de ce rêve naturaliste : converser avec un loir rêveur, voler avec une grue (ah ! le clin d'œil au fabuleux Nils Holgersson !), striduler avec une femelle criquet, approcher une reine termite, décliner les formes d'immortalité entre le lombric et l'arbre, onduler avec une méduse... et des dizaines d'autres voyages, d'autres rencontres.

Oubliez pour un temps la rigueur (rigidité ?) scientifique et accompagnez l'écrivain dans cet essai d'exploration du vivant pour mieux se connaître et se retrouver lui-même.

Et, je vous l'assure : la prochaine fois que vous vous appuierez contre une écorce, vous le ressentirez... le picotement.





# Poèmes



Illustration : Aurélie Pourriau

AP\_2018

PLUME DE NATURALISTES

numéro 2  
déc. 2018

# SOMMAIRE

<b>Asturies en automne</b> <i>par l'équipe de Plume</i>	p. 205	<b>Bécasseaux Sanderling</b> <i>par Gilles Bourhis</i>	p. 213
<b>Hoy</b> <i>par La Griotte</i>	p. 207	<b>Orliaguet, sur la route de la Bénéchie</b> <i>par Delphine Bouineau</i>	p. 214
<b>Noctilio</b> <i>par La Griotte</i>	p. 208	<b>Marchand de plumes ; poèmes pour les petits</b>	p. 215
<b>Landes</b> <i>par La Griotte</i>	p. 210	<b>Desmodus le vampire</b> <i>par La Griotte</i>	p. 216
<b>Les blaireaux</b> <i>par La Griotte</i>	p. 211	<b>La tente</b> <i>par La Griotte</i>	p. 217
<b>Espaces naturels : mod'emploi</b> <i>par Gilles Bourhis</i>	p. 212	<b>Les chauves-souris</b> <i>par La Griotte</i>	p. 218



Dessin : © Michel JAY

# Asturies en automne

| Par l'équipe de Plume



Illustration : Angélique Moreau

A l'empressement, à l'envi  
Courir à l'ours aux Asturies  
S'emplir les poumons de soleil  
Et rêver ivre en plein éveil  
Courir les traces dans la boue  
Se casser la gueule à genoux  
Petit poucet des châtaignes  
Une bête danse sur des fâines  
Dans un vallon, sur un versant  
Près des pierriers, sous la hêtraie  
Dans la lunette, un cul, une tête  
La course à l'ours bille en tête  
Bien lentement, sans envie  
Revenir de l'ours aux Asturies  
Vider ses poumons de soleil  
Et rêver sobre en plein sommeil

Ondine

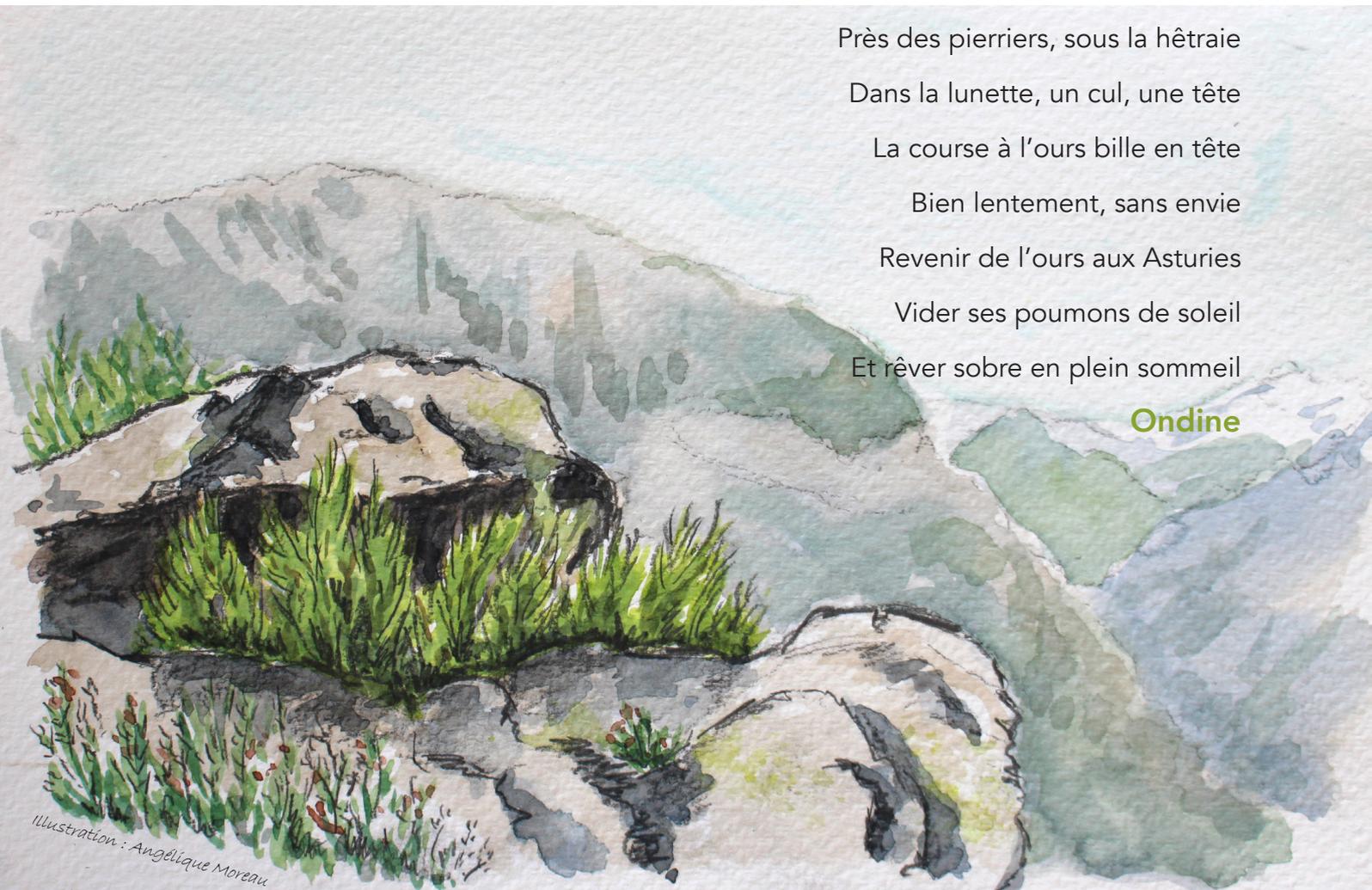


Illustration : Angélique Moreau



Illustration : Angélique Moreau

Humains légers, vous vivrez longtemps,  
armés de vos vues brèves, glissant sur le  
temps en effleurant les choses et les êtres,  
capturant leur souffle sans leur rendre  
votre âme.

Humains sages, tolérants et justes, vous  
n'avez pas de corps ; vous n'êtes qu'un  
rêve fragmenté dont nos mains fébriles  
agrippent parfois une lueur qui jalonne  
nos chemins sinueux.

Humains exaltés, avides de terre comme  
de ciel, nous sommes condamnés à nos  
sentiers de montagnes, entre crêtes  
lumineuses et ravins obscurs. La canche  
flexueuse scintille sous la brise folle de nos  
passions ; les ronces sèches d'avoir espéré  
en vain la lumière accrochent nos heures  
sombres, écorchent nos espoirs, gouttes  
de mauvais sang sur nos peurs. Toujours  
nous oscillerons, sourire aux lèvres et rage  
au ventre, éperdus de chaleur humaine et  
gourmands de solitude.

Nous étions quelques humains exaltés, au  
service d'une plume libre, à répondre à  
l'appel amical au cœur des Asturies.

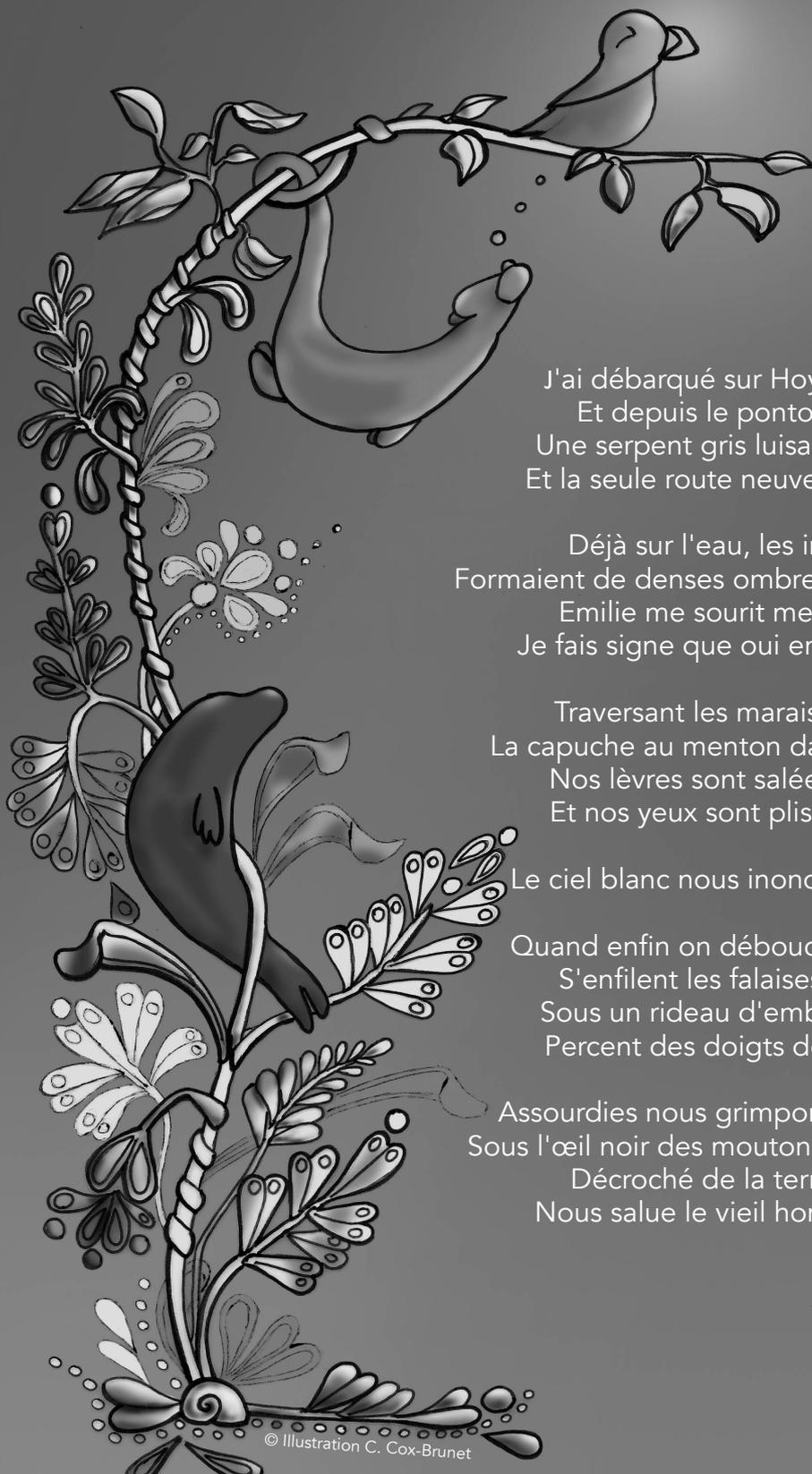
Longtemps des images incertaines se  
sont élevées comme des bulles légères,  
crevant au plafond de l'attente. Et puis les  
parcours se sont rejoints, formant cohorte  
entre Samoëns et Casa Folgueras.

Durant quelques jours, nos chemins  
entrecroisés ont suivi crêtes et ravines.  
Nos eaux sombres ont pétillé de l'onde  
brassée par la loutre ; la grande ourse a  
constellé nos pentes les plus sauvages. De  
cette intimité partagée il reste une tranche  
de vie qui relie, déroulée sur l'herbe folle  
de nos rires et sur nos rocailles rugueuses.  
Les aventures humaine et naturaliste sont  
les deux vexilles d'une même plume, les  
conditions nécessaires à l'envol.  
Je vous porte comme un charme.

**Michel**

## Hoy

Par La Griotte



J'ai débarqué sur Hoy par un matin de brume  
Et depuis le ponton fit cap sur le bitume  
Une serpent gris luisant au milieu des bruyères  
Et la seule route neuve enjambant les tourbières

Déjà sur l'eau, les imposantes montagnes  
Formaient de denses ombres comme des mâts de cocagne  
Emilie me sourit me montrant un plongeon  
Je fais signe que oui en pointant un phoque rond

Traversant les marais de landes moribondes  
La capuche au menton dans le vent comme une onde  
Nos lèvres sont salées devant tant de pureté  
Et nos yeux sont plissés pour percer la clarté

Le ciel blanc nous inonde, tant d'écume à la ronde

Quand enfin on débouche sur la côte nord de Hoy  
S'enfilent les falaises se noyant dans la mer  
Sous un rideau d'embruns au delà de la roche  
Percent des doigts de feu et flambe le désert

Assourdis nous grimpons sur le flanc le plus proche  
Sous l'œil noir des moutons et dans la baie, des phoques  
Décroché de la terre en un piton rocheux  
Nous salue le vieil homme en un silence pieux.



© Illustration C. Cox-Brunet

## Noctilio

| Par La Griotte

Sur le sentier de la plage, une odeur comme un songe  
Du miel dans les branchages  
Je hume, curieuse, au milieu des marisques  
Suspecte l'hibiscus, interroge l'amandier  
Puis je sors des fourrés vers le royaume sablé  
Et me prends par les pieds aux papilionacées  
Là, les embruns me ramènent des fragrances iodées  
Mais encore mélangées à cette odeur sucrée

Je contourne les vasières où dorment les limicoles  
Et atteins la mangrove de palétuviers blancs  
Qui comme moi d'est en ouest fait un seul mouvement  
Des taches orbiculaires s'accroissent rapidement  
Où conflue la spartine en un seul et même banc  
J'ai tant et tant humé que longtemps j'ai marché  
Et me voilà aux Hattes au milieu des palmiers

A la luth je me colle pour rejoindre l'estuaire  
Le palétuvier rouge et le cordon dunaire  
Sans dunes, car voici le marais  
Les palétuviers morts, les argiles à mes pieds  
Marines et salées puis viennent nénuphars et touffes de palmiers

Le clair de lune me montre en aveugle que je suis  
Deux yeux sombres dans la nuit  
Un qui fixe l'autre qui luit  
Mais le tig' n'a que faire d'une proie comme moi  
Et bondit des fougères sur un gros jacana

Alors que je m'éloigne du cordon littoral  
L'eau douce me rattrape sous un tapis flottant  
Tourbe acide et fougères, moucou-moucou devant  
Plus de miel dans l'air, retour sur le dunaire  
Des cierges de cactus, des palmiers awara  
Et un parcours fiévreux sous la voûte de bois

A l'est des rizières, l'îlet bâches aux palmiers  
Et puis les marécages et ses cypéracées  
Sous une voûte moins haute, disjointe à arbres grêles  
La forêt sable blanc se déploie pêle-mêle  
Une forme comme une aile me frôle insidieusement  
Je connais ce parfum, je respire à présent  
Et les rayons de lune me montrent ce que je sens

Des doigts unis en aile font main basse sur les criques  
Sur l'irakumpapi, au détour d'un wassaï  
Sous L'eyayamadou, moutouchi-marécage  
La chauves-souris pêcheuse survole parfois la plage  
Et dissémine au vent son parfum entêtant  
Qu'un humain étourdi poursuivra en rêvant.



# Landes

Par La Griotte

Des sables éoliens sous une traîne de pins  
Un triangle dunaire perfusé de satin  
Un ourlet de feuillus, un tapis de fougères  
Et sous les pins, les landes couvertes de bruyères

Pour tout sang la résine des futaies trentenaires  
Pour tout cœur les battements de nuées d'éphémères  
Et caressant les dunes : la mer,  
Un océan de sable déchaîné en hiver

Comme une flaque, un étang  
Et changeant, un courant  
Le liège des chênaies et quelques roselières  
La fauvette, l'ajonc et puis la courtilière

Pieds nus sur ses chemins,  
Une planche sur l'eau  
L'été comme une caresse,  
L'engoulement dans le dos.



# Les blaireaux

Par La Griotte

La plaine se couvrait de brume, la forêt d'une épaisse ombre glacée  
Au clair de lune, la Meuse luisait comme un orvet  
Et puis nos voix se turent arrivés à l'orée  
Seules craquaient les feuilles congelées sous nos pieds  
Les troncs comme des soldats, le sous-bois cabossé

Nous attendîmes un peu, complices du moment  
Jusqu'à ce que la forêt émette un tremblement  
Une bête puis deux, surgies de sous la terre  
Comme autant de lutins soudainement découverts

La nuit retint son souffle et les sapins leur sève  
La Meuse s'arrêta comme de vie à trépas  
Pressés contre un mélèze nous étions tous les trois  
Comme des dieux sur la braise retenant notre émoi

Les blaireaux disparurent comme ils étaient venus  
Nous laissant là tout cons, croyant n'avoir rien vu.



photo : Jean-Pierre Malafosse

# Espaces naturels : mod'emploi

| Par Gilles Bourhis

Prendre un jean rapiécé  
De bonnes chaussures  
Un bon pull-over  
Et un habit de pluie

Oublier le chien, les cigarettes, le boulot  
Etre seul  
S'installer dans un coin tranquille  
Ne pas jouer les zen

Fermer les yeux, ouvrir les oreilles  
Se laisser submerger par la mer  
Emporter par le vent  
Nettoyer par la pluie

Tenir quelques secondes  
Garder cela pour soi  
Ne pas aller plus loin  
C'est trop tôt...



# Bécasseaux sanderling

Par Gilles Bourhis

Sur la grève, langoureux, l'estran s'étire  
La mer est à l'étal et soupire  
Une dizaine de petits lutins ailés  
Becquètent dans la vase les vers piégés

Il faut voir comme ils se dandinent  
Accompagnant la respiration marine  
Ils vont et viennent, font leurs simagrées  
Selon la vague, qui naît, vit et meurt à son gré

Tantôt attirés, tantôt repoussés  
On les dirait comme aimantés  
Soudain alertés, ils prennent leur essor  
Tous montés sur un même ressort

Ils gagnent l'eau en un bref survol  
Virent, puis se reposent au sol  
Sur la grève, où langoureux..., l'estran s'étire...  
La mer est à l'étal, et soupire...



## Orliaguet, sur la route de la Bénèche

Par Delphine Bouineau

En bas de la colline habite un vieux. Il vit depuis sa naissance au bord de la petite route qui mène à La Bénèche. Il en a vu des années passer, des hivers à trembler de froid et des étés à suffoquer de chaleur. Il ne dit jamais grand-chose le Vieux quand on s'arrête pour le saluer. Et pourtant si on savait l'écouter, prendre du temps à ses côtés, il nous en apprendrait ...Quelle trogne ! Regardez le, il a l'air boiteux, planté là à nous observer. Depuis un moment, le vieux n'est plus seul. Chaque nuit, la Vieille le rejoint.

C'est une vieille chouette toute fripée qui nous regarde droit dans les yeux ! Je me demande de quoi ils peuvent bien bavarder tous les deux ! C'est qu'elle l'aime, le Vieux, dans son habit de lierre. Des vieux comme lui il n'y en a plus guère pour lui offrir le gîte et le couvert ! Mais le Vieux est robuste, il vivra encore quand nous aurons trépassé si les hommes veulent bien ne jamais le couper...



Illustrations : Delphine Bouineau

Le Vieux.  
Noyer - route de la Bénèche

# Marchand de plumes



## Poèmes

# pour les petits

ofc



# Desmodus le vampire

Par La Griotte

Desmodus le vampire recherchait un zébu  
Car du sang de zébu, il en aurait bien bu  
Il quitte alors sa grotte, survole la forêt  
Et de suite après le fleuve, retrouve de verts prés

Sur d'anciennes rizières ou paissent les ruminants  
Il atterrit sans bruit et les pattes en avant  
Un buffle d'Amazonie se présente devant lui  
Cela fera l'affaire, il ne va pas le traire  
Mais planter en sa chair ses délicates dents

Dressé sur ses longs pouces, il rampe vers l'avant  
Et derrière les fanons plante ses aiguillons  
Il sort sa langue en tube et lape le poinçon  
Puis repart en arrière du sang sur le menton

Desmodus a des copains qui ont fait le chemin  
Et ni buffles ni zébus ne s'en sont aperçus  
Car si fines sont ses dents que personne ne les sent

Desmodus est repus et trop lourd pour voler  
Alors il pisse sur l'herbe et s'envole d'un palmier  
Il retransverse le fleuve, survole la forêt  
Et replonge dans sa grotte partager son dîner

Desmodus a la rage mais le sens du partage  
Car c'est pour ses enfants qu'il saigne aux quatre vents.



# La tente

Par La Griotte

J'ai fixé une toile à une branche d'Awara  
Juste au-dessus du fleuve  
De ces fleuves de Guyane que l'on n'arrête pas

Plouf ! Qu'est ce qu'on entend en bas?  
L'iguane a fait un plat et manqué son repas  
S'agrippant aux racines il revient tout en haut  
Et finit tout en bas

Seule, je ne suis pas, la sarigue me visite  
Et mille fourmis me piquent  
Le son de la pirogue monte ici tout en haut  
Et s'enfuit tout en bas

Irradiée de soleil ma tente est un sauna  
Et je plonge tout en haut et arrive tout en bas  
En remontant le soir un groupe de kwata  
Me fait la courte échelle tout en haut, tout en bas

Puis la nuit voit sortir les ailes des cormura  
Et fondre de tout en haut pour chasser tout en bas  
Depuis la canopée, je contemple le fleuve  
La lune brille tout en haut, se reflète tout en bas.



# Les chauves-souris

Par La Griotte

A la tombée de la nuit, du toit de la mairie  
S'égrainent en chapelet mille et une chauves souris  
Une sort et furète comme un garde à l'affût  
Protégeant des assauts, des dangers superflus

Le feu vert est donné, les ailes sont déployées  
Et sur tout le comté elles se sont dispersées  
L'une part par le ruisseau, l'autre passe sous le porche  
Et c'est tous azimuts que la colonie décroche

On coupe par la vigne, on chasse dans la forêt  
Et en route on grappille des insectes à l'orée  
La campagne balayée de sonars  
Ne dérange personne, pas même le renard

Araignées, coléos, papillons, opilions  
Pour ses dames de la nuit, on le sait tout est bon  
Quand le ciel pâlera, se teintant de tons jaunes  
Ces dames s'en reviendront cheminant par les aulnes

Elles retraverseront ce paysage connu  
Exploité par elles seules, comme un verre qui est bu  
Avant de repasser le porche de la mairie, certaines s'arrête-  
ront visiter un château  
Se poser dans un arbre ou nous passer dans le dos.



Cette revue est ouverte  
à vos manuscrits,  
que vous pouvez envoyer  
à cette adresse :

[revue-plume@cpiébrenne.org](mailto:revue-plume@cpiébrenne.org)

Les instructions aux auteurs  
sont disponibles sur le site  
de la revue

[www.plume-de-naturalistes.fr](http://www.plume-de-naturalistes.fr)

(onglet *Écrire un article*)

Cette revue est référencée  
dans le catalogue de la  
Bibliothèque Nationale de France :

**ISSN 2607-0510**



**BRENNE - BERRY**

Le CPIE Brenne-Berry,  
association d'éducation à  
l'environnement déclarée  
organisme de formation  
professionnelle, est la structure  
d'accueil de la revue.

