

Association Universitaire Limousine pour l'Étude et
la Protection de l'Environnement

<https://www.unilim.fr/asl/746>

ASL N°28 | 2019



ANNALES SCIENTIFIQUES DU LIMOUSIN

Les *Annales Scientifiques du Limousin* (ASL) sont publiées par l'Association Universitaire du Limousin pour l'Etude et la Protection de l'Environnement (A.U.L.E.P.E.). Elles sont ouvertes à tous les travaux ayant trait à l'étude du milieu et des écosystèmes en région Limousin et dans toute la France.

La parution est annuelle en version papier et au fil de l'eau en version électronique sur <http://www.unilim.fr/asl>.

Comité éditorial :

Dr. Raphaël DECOU
Dr. Philippe HOURDIN
Dr. Pascal LABROUSSE
Laboratoire de Botanique
Faculté de Pharmacie
2, rue du Dr Marcland
87025 LIMOGES Cedex

Service du Bulletin :

- Contre échange régulier de publication périodique à toute personne physique et morale en faisant la demande à la rédaction.
- Par souscription annuelle des membres de l' A.U.L.E.P.E ou des personnes extérieures.

Directeur de la Publication : M. le Président de l' A.U.L.E.P.E.

Secrétaire de Rédaction : M. le Président de l' A.U.L.E.P.E.

Réalisation technique : M. le Président de l' A.U.L.E.P.E.

*Imprimé à Limoges
Service imprimerie
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines
87036 Limoges Cedex*

Dépôt légal : 4^{ème} trimestre 2019

EDITO

Chères lectrices et chers lecteurs,

Ce numéro spécial des ASL que vous tenez entre vos mains ou que vous consultez en ligne concerne les derniers travaux de recherche menés par Daniel Rondelaud au laboratoire de Parasitologie de la Faculté de Pharmacie sur les *Lymnaeidae* et sur les parasitoses associées à ces petits mollusques. Ces travaux menés localement, et notamment en collaboration avec le Laboratoire de Botanique pour certains d'entre-eux, ont permis d'enregistrer un grand nombre de connaissances sur ces mollusques et sur leurs habitats naturels notamment dans les cressonnières (vous pouvez vous reporter par exemple au Tome 2 (1986), 7 (1991), 15 (2004) et 16 (2005) d'ASL) mais également dans les espaces protégés comme la Réserve Naturelle Nationale de la tourbière des Duges (*cf.* numéro spécial d'ASL de 1998). Par ailleurs, au cours de ces années, les espaces anthropisés n'ont pas été oubliés par D. Rondelaud puisque lors d'études de contrôle intégré il avait travaillé dans des fermes de la région (*cf.* Tome 26 (2016)). En plus des nouveaux articles originaux présentés dans ce tome, Daniel Rondelaud a souhaité conclure ces travaux par un article de revue présentant un bilan des recherches effectuées sur l'épidémiologie de la fasciolose en Région Limousin depuis les années 1970.

Nous pouvons remercier Daniel Rondelaud d'avoir partagé avec les lecteurs des Annales Scientifiques du Limousin ses résultats de recherche avec plus de trente articles. Le partage de ses connaissances et de sa passion aura certainement contribué à faire connaître et à diffuser aussi bien auprès des étudiants que d'un large public l'intérêt pour les mollusques.

Je vous souhaite donc une très bonne lecture et de belles (re)découvertes !

Le Président de l'AULEPE

Pascal LABROUSSE

La Limnée étroite est-elle capable de s'adapter à de nouvelles stations sur sol acide lorsque de faibles effectifs sont utilisés ?

Daniel RONDELAUD, Philippe VIGNOLES, Gilles DREYFUSS*

* gilles.dreyfuss@unilim.fr

Laboratoire de Parasitologie, Faculté de Pharmacie, Université de Limoges, 87025 Limoges Cedex

Résumé :

Des échantillons de 5, 10 ou 20 *Omphiscola glabra* adultes ont été introduits dans 12 fossés de route ou de chemin sur sol acide pour étudier la colonisation de ces nouveaux sites par le mollusque. Des relevés ont été ensuite effectués pendant les six années suivantes pour déterminer la superficie que ces individus colonisent dans ces nouvelles stations et décompter le nombre des individus transhivernants en avril ou en mai. De nouvelles populations se sont développées dans les 12 fossés étudiés. La colonisation de chaque collection d'eau a été plus rapide lorsque l'échantillon de mollusques introduits comprenait 20 adultes. L'effectif global des descendants décomptés en avril ou en mai est passé par un pic au cours de la deuxième année post-introduction avant de diminuer graduellement jusqu'à une moyenne de 32,3-33,5 mollusques à la sixième année. La Limnée étroite est donc capable de coloniser de nouvelles zones sur sol acide à condition qu'il y ait une source temporaire.

Mots-Clés : colonisation, habitat, *Lymnaeidae*, *Omphiscola glabra*, sol acide, transplantation.

Can *Omphiscola glabra* adapt to new acid soil stations when low numbers of snails are introduced?

Abstract:

Samples of 5, 10 or 20 adult *Omphiscola glabra* were introduced into 12 road or way ditches on acid soil to study the colonization of these new sites by the snail. Surveys were conducted over the following six years to determine the area these *O. glabra* colonized in these new stations and to count the number of overwintering snails in April or May. New populations developed in the 12 ditches. Colonization of each water collection was faster when the sample of introduced snails included 20 adults. The overall number of offspring counted in April or May peaked in the second year post-introduction before gradually decreasing to a mean of 32.3-33.5 snails in the sixth year. *Omphiscola glabra* is therefore able to colonize new areas on acid soil so long as there is a temporary source.

Key-Words: acid soil, colonization, habitat, *Lymnaeidae*, *Omphiscola glabra*, transplantation

Introduction

La Limnée étroite, connue également sous le nom scientifique d'*Omphiscola glabra* (O.F. Müller, 1774) ou encore de *Lymnaea glabra*, est un gastéropode pulmoné qui vit dans les eaux douces. A l'inverse des autres espèces de limnées, *O. glabra* n'a qu'une distribution géographique limitée dans l'Europe de l'Ouest, depuis le sud de la Scandinavie jusqu'au sud de l'Espagne (Hubendick, 1951). Un certain nombre d'auteurs ont constaté que cette limnée présente un déclin actuel dans le nombre et la taille de ses populations (voir les synthèses de Prié *et al.*, 2011 et de Welter-Schultes, 2012, 2013). Les raisons invoquées sont liées au monde agricole. La réalisation de drainages souterrains dans les prairies, où pâture le bétail domestique, et la pratique d'une agriculture intensive ont entraîné la disparition de nombreuses colonies (Kerney, 1999 ; Glöer et Diercking, 2010). D'après Prié *et al.* (2011), la diminution moyenne dans le nombre de ces populations se situerait dans une fourchette allant de 20 à 25 % au cours des quinze dernières années. Mais ces chiffres varient selon les pays. Au Royaume-Uni, par exemple, cette réduction numérique serait comprise entre 25 et 49 % selon le pays constitutif (Ecosse, Pays de Galles, ...) et le district étudié (Maclean, 2010 ; Prié *et al.*, 2011).

Cette situation a conduit les autorités scientifiques de plusieurs pays à prendre des mesures pour assurer la sauvegarde de cette espèce. *Omphiscola glabra* a ainsi été inscrit sur les Listes rouges des espèces menacées comme un taxon en danger critique d'extinction en Irlande, une espèce en danger en Allemagne, et un mollusque vulnérable aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et en Suède (Byrne *et al.*, 2009 ; Prié *et al.*, 2011 ; Welter-Schultes, 2012, 2013). La Limnée étroite a, de plus, été inscrite par Wells et Chatfield (1992) sur la liste européenne des espèces à protéger. Une action pour la sauvegarde de cette limnée a, d'ailleurs, été mise en place en Ecosse depuis les années 2000 (Macadam et Baker, 2005 ; Macadam, 2006 ; Baker, 2013). Parmi les objectifs que le « mud snail group » a

définis, figurent l'inventaire des populations existant à l'heure actuelle sur le territoire écossais, l'élevage de mollusques captifs selon les principes de l'aquariophilie et la transplantation d'échantillons de mollusques à partir de leurs habitats naturels pour coloniser de nouveaux sites. Les chercheurs de ce groupe d'études cherchent à définir les facteurs biotiques ou environnementaux qui assurent le meilleur développement pour une population d'*O. glabra* dans son habitat.

Sur les sols acides du Limousin, *O. glabra* vit préférentiellement sur le réseau de drainage superficiel de nombreuses prairies marécageuses (Vareille-Morel *et al.*, 2007). Sur les 2150 populations que Dreyfuss *et al.* (2018a) ont recensées dans le département de la Haute-Vienne depuis 1970. 77 % ont été observées dans les prairies marécageuses et 13,8 % dans les fossés de route qui les entourent. Cette limnée se rencontre avec *Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) sur les mêmes réseaux de drainage superficiel, mais les deux limnées occupent des habitats différents. Ceux d'*O. glabra* se situent sur le cours moyen des rigoles de drainage superficiel, tandis que *G. truncatula* colonise souvent l'extrémité amont de ces mêmes rigoles (Vareille-Morel *et al.*, 1999 ; Dreyfuss *et al.*, 2015 ; Vignoles *et al.*, 2017, 2018).

Le déclin dans le nombre des populations a été également constaté dans le Limousin et les départements limitrophes depuis les années 2000. Sur les prairies de 162 fermes sur sols acides, ce déclin est de 23,4 % en 2013-2016 par rapport au nombre de populations décomptées entre 1976 et 1992 (Dreyfuss *et al.*, 2016). De même, sur les terrains sédimentaires de trois départements bordant le Limousin, Dreyfuss *et al.* (2018b) ont rapporté une chute de 38 % en 2016-2017 dans les pâtures de 52 fermes par rapport aux valeurs relevées avant 1998. Cette diminution actuelle dans le nombre des populations serait principalement due à l'activité humaine dans ces fermes. Devant le déclin dans le nombre des populations que les études de Dreyfuss *et al.* (2016, 2018b) ont montré, il était utile de déterminer si l'espèce pouvait coloniser de nouveaux habitats. Ce type d'étude a été

réalisé en analysant les résultats fournis par des transplantations d'*O. glabra* depuis leur habitat originel dans de nouvelles zones et sur leur suivi au cours des années qui suivent.

Des introductions d'*O. glabra* dans de nouvelles stations ont déjà été réalisées par notre équipe au cours de deux expériences entre 1996 et 2005 sur sol acide et entre 2003 et 2009 sur sols acide et sédimentaire (Dreyfuss *et al.*, 2010 ; Vignoles *et al.*, 2017, 2018). Des échantillons de 100 limnées adultes ont été placés dans des rigoles de drainage superficiel ou des fossés de route en tenant compte des exigences du mollusque (nécessité d'une végétation assez dense dans chaque station, présence d'une source temporaire ou permanente) et les populations en résultant ont été suivies sur une période de neuf et de sept années, respectivement, pour analyser les variations d'effectif. Dans les deux cas, les populations se sont accrues de 1,2 à 2,7 fois en moyenne au cours de la deuxième ou de la troisième année post-introduction avant de diminuer en nombre par la suite (Vignoles *et al.*, 2017, 2018). Devant ces premiers résultats, la question s'est posée de savoir si la colonisation de nouveaux habitats potentiels pouvait être réalisée avec succès en utilisant un nombre plus faible d'*O. glabra* (5, 10 ou 20 adultes par contingent). Une expérimentation de six années a donc été réalisée en introduisant des mollusques dans 12 fossés de route ou de chemin situés dans le nord de la Haute-Vienne. Toutes ces stations comportaient une source temporaire s'écoulant de la mi-novembre au mois de juin suivant. Le nombre de limnées adultes provenant de l'année précédente (mollusques transhivernants) et la superficie colonisée par la population dans ces nouveaux habitats ont été suivis pendant six années en avril ou en mai selon l'altitude de ces habitats.

Matériel et méthodes

Stations d'étude

L'expérimentation a porté sur 12 fossés de route ou de chemin. Ces derniers étaient vierges de limnées au début de l'expérience. Le tableau 1 fournit leurs principales caractéristiques. Ils ont été choisis pour les

raisons suivantes : *i*) aucun mollusque prédateur : *Zonitoides nitidus* (O.F. Müller, 1774) n'a été observé dans ces fossés au cours de l'année précédant l'expérience alors que cette espèce est particulièrement abondante dans les prairies marécageuses et effectue une prédation active sur les limnées présentes en juin ou au début de juillet (Rondelaud *et al.*, 2006) ; *ii*) ces fossés se situent à une altitude comprise entre 200 et 400 m dans le nord de la Haute-Vienne car les populations d'*O. glabra* diminuent en nombre, puis disparaissent lorsque l'altitude s'élève (Dreyfuss *et al.*, 2018a) ; *iii*) chaque fossé est alimenté par une source temporaire (ces sources sont fréquentes sur les sols acides) ; *iv*) la végétation présente dans les collections d'eau est abondante et est composée de joncs, de carex et d'espèces appartenant à la famille des Poaceae (principalement *Agrostis stolonifera* Linnaeus, 1753). Ces fossés sont situés sur les communes de Berneuil, Blond, Breuilaufa, Saint-Ouen-sur-Gartempe et Saint-Junien-les-Combes. Le sédiment de fond y est composé de sable et de gravier, soutenu par du granite. Le pH de l'eau y varie de 6,1 à 7 et le taux de calcium dissous dans l'eau courante est compris entre 15 et 19 mg/L (Guy *et al.*, 1996). Ils sont recouverts par de l'eau depuis la mi-novembre jusqu'à la fin juillet et sont donc en dessèchement pendant 3,5 à 4 mois. La largeur de la zone couverte par l'eau entre décembre et la fin mai varie de 5 à 30 cm selon les précipitations atmosphériques, tandis que la profondeur de la couche d'eau varie de 1 à 25 cm.

Tous ces fossés sont soumis à un climat continental fortement modulé par les vents humides qui viennent de l'Océan Atlantique. Selon les années, la pluviométrie annuelle moyenne se distribue entre 800 et 1000 mm, tandis que la température annuelle moyenne varie de 10,5° à 11,5° C selon l'altitude des stations (Rondelaud *et al.*, 2011 ; Vignoles *et al.*, 2017).

Protocole expérimental

La population d'*O. glabra* à l'origine des mollusques transplantés vit dans une prairie marécageuse située sur la commune de

Mézières-sur-Issoire, département de la Haute-Vienne. Un total de 140 limnées hautes de 12 mm ou plus, appartenant à la génération transhivernante, a été récolté entre 2011 et 2013, et celles-ci ont été réintroduites à la fin mars dans l'une ou l'autre des 12 nouvelles stations. Cette gamme de tailles a été choisie car les mollusques sont alors adultes et peuvent donc déposer des pontes après leur introduction dans les fossés.

Comme la densité de ces limnées en mars ou avril ne dépasse 10 individus/m² dans 68,4 % des cas sur les sols acides du Limousin (Rondelaud *et al.*, 2017), des échantillons de 5, 10 ou 20 adultes provenant de la population d'origine ont été introduits dans ces nouvelles stations selon le protocole indiqué sur le tableau 1. Ces individus ont été déposés en une seule fois à la fin mars au milieu de la collection d'eau présente dans chaque fossé. Le choix de la fin mars pour l'introduction des limnées tient compte de la date (début mai) où les premières pontes sont déposées par les mollusques transhivernants (Rondelaud *et al.*, 2016).

Dans les fossés où une population d'*O. glabra* s'est développée, les caractéristiques de l'habitat ont été suivies sur une période de six années après l'introduction des mollusques. La superficie de la zone colonisée par les limnées est déterminée dans un premier temps en tenant compte de sa forme géométrique. Les mollusques transhivernants sont ensuite décomptés par chasse à vue à l'aide d'une passoire (grandeur de mailles, 3 mm) car ils sont alors au stade adulte à cette période). Aucun relevé n'a été effectué dans ces stations en 2015. Par contre, ces relevés ont été réalisés en mars, avril ou mai au cours des autres années de 2012 à 2014 et de 2016 à 2019.

Aucune clôture n'a été mise en place et la végétation a été fauchée par gyrobroyage dans la plupart des fossés chaque année ou tous les deux ans en septembre (selon les communes).

Paramètres étudiés

Le premier est la fréquence des nouveaux habitats colonisés par *O. glabra*, tandis que les deux autres sont la superficie de la zone

colonisée par les limnées dans chaque collection d'eau (exprimée en pourcentage) et le nombre total des individus transhivernants en avril ou en mai. Comme l'introduction des *O. glabra* dans ces nouvelles stations s'est déroulée sur plusieurs années (voir le tableau 1), les résultats de chaque paramètre ont été exprimés par rapport au numéro d'ordre de l'année post-introduction.

Les valeurs individuelles se rapportant à la superficie des habitats ont été ramenées à une moyenne, encadrée d'un écart type, en tenant compte de la taille de l'échantillon (5, 10 ou 20 limnées) et de l'année post-introduction. Le même protocole a été utilisé pour le nombre total des mollusques transhivernants. La normalité de ces valeurs a d'abord été analysée en utilisant le test de Shapiro-Wilk (Shapiro et Wilk, 1965). Comme leurs distributions n'étaient pas normales, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé ensuite pour établir les niveaux de signification statistique. Nous avons également utilisé le package `r.pgirmess` (Siegel et Castellan, 1988) comme test post-hoc pour effectuer des comparaisons par paires. Les différentes analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R 3.3.0 (R Core Team, 2016).

Le nombre de descendants par mollusque adulte introduit a été également calculé pour chaque type d'échantillon (5, 10 ou 20 mollusques) en utilisant les valeurs obtenues lors de la deuxième année post-introduction car ce sont les plus élevées.

Résultats

De nouvelles populations se sont développées dans les 12 fossés étudiés. Dix d'entre elles ont été observées au cours des six années de l'expérience. Dans le cas des deux autres colonies, l'une a disparu au cours de la cinquième année post-introduction lors d'un curage mécanique de l'habitat et l'autre au cours de la sixième année en raison d'une pollution au gasoil.

Superficie de ces nouveaux habitats

La figure 1 montre la superficie moyenne de la zone colonisée par les limnées dans les

années qui ont suivi l'introduction des échantillons de 5, 10 ou 20 limnées adultes. Ces valeurs ont été notées en avril ou en mai selon l'altitude des habitats et ont été exprimées en pourcentage par rapport à l'aire recouverte par la collection d'eau dans chaque fossé. La collection d'eau présente dans les fossés, où des échantillons de 20 mollusques ont été implantés, a été entièrement colonisée par la Limnée étroite au cours de la deuxième année post-introduction. Cette colonisation a été plus lente dans le cas des autres fossés : au cours de la troisième ou de la quatrième année lorsque les échantillons comprenaient 10 mollusques, et au cours de la cinquième ou de la sixième année dans le cas des échantillons comprenant 5 limnées.

Effectif total des populations en avril ou en mai

Les variations numériques des descendants sont présentées sur la figure 2 par rapport au numéro d'ordre de l'année post-introduction. Ces descendants correspondent aux seuls adultes de la génération transhivernante car ces derniers n'ont pas encore déposé leurs pontes. Dans les trois types de fossés, l'effectif global de la population passe par un maximum au cours de la deuxième année post-introduction. Ce pic est significativement plus élevé ($H = 9,33$, $p < 1\%$) dans les fossés où des échantillons de 20 mollusques ont été introduits que dans les autres sites : 140,5 adultes transhivernants en moyenne au lieu de 128,3 et 102,5 *O. glabra* dans les sites où des échantillons de 10 et 5 limnées par ordre respectif ont été implantés. Par la suite, on assiste à une diminution graduelle de ces nombres pour aboutir à des moyennes comprises entre 32,3 et 33,5 limnées au cours de la sixième année. Aucune différence significative entre ces dernières moyennes n'a été notée à la fin de cette expérience.

Si l'on compare le nombre des individus décomptés au cours de la deuxième année et celui des parents qui ont été introduits, on constate une diminution nette dans l'effectif des descendants lorsque le nombre de parents par échantillon augmente : de 20,5 à 8,2 par

parent lorsque l'échantillon passe de 5 à 20 adultes (données non représentées).

Discussion

Le rôle d'hôte intermédiaire, qu'*O. glabra* joue dans la transmission de *Fasciola hepatica* Linnaeus, 1758 (Grande Douve du foie), a eu un effet négatif sur la sauvegarde de cette limnée dans le Limousin. En effet, ce mollusque peut assurer le développement des formes larvaires du parasite. Parmi les trois modes d'infestation de cette limnée, le plus fréquent semble être la co-infestation d'*O. glabra* par les miracidiums de *F. hepatica* et ceux d'un autre parasite, *Calicophoron daubneyi* (Dinnik, 1962) car ces deux helminthes se rencontrent souvent chez les mêmes bovins (Vignoles *et al.*, 2017, 2018). Comme ce mollusque vit dans les mêmes pâtures que *G. truncatula*, cet état de fait a incité un certain nombre d'éleveurs vers les années 1990 à prendre des mesures pour interrompre le cycle de *F. hepatica* en détruisant les habitats du mollusque. Curage mécanique des habitats et gyrobroyage de la végétation ont donc été appliqués pendant plusieurs années pour éliminer les deux limnées de leurs pâtures (D. Rondelaud, observation personnelle). L'utilisation croissante du triclabendazole pour traiter les bovins ou les ovins atteints par la fasciolose (Reynal, 2001) a permis de diminuer graduellement la prévalence de cette affection et, par suite, a incité les éleveurs à abandonner les mesures qu'ils appliquaient sur leurs prairies. La présence du bétail domestique et des limnées sur les mêmes prairies est cependant possible sur les sols acides comme cela a été démontré par Vignoles *et al.* (2016) dans le nord de la Haute-Vienne en isolant les habitats de l'une ou de l'autre limnée (la superficie de ces gîtes est souvent réduite) du reste des pâtures.

Les données de la présente étude confirment les résultats des deux expériences antérieures que notre équipe a réalisées en transférant des *O. glabra* sur des sols acides ou sédimentaires (Dreyfuss *et al.*, 2010 ; Vignoles *et al.*, 2017). Elles montrent, en plus, que l'introduction de faibles effectifs

comprenant 5, 10 ou 20 limnées par échantillon dans de nouveaux sites a permis le développement de populations dans les 12 fossés étudiés, à condition qu'il y ait une source temporaire qui les alimente. Quelques limnées introduites dans un nouveau site approprié suffisent donc pour fonder une nouvelle colonie. Comme *G. truncatula* (données non publiées), *O. glabra* possède aussi un pouvoir colonisateur, tout au moins sur des sols acides compris entre 200 et 400 m d'altitude. Ces résultats appellent deux commentaires. Tout d'abord, il est manifeste que les contingents de 100 mollusques adultes utilisés par notre équipe dans les deux expérimentations précédentes (Dreyfuss *et al.*, 2010 ; Vignoles *et al.*, 2017) étaient trop importants. Deuxièmement, nos résultats démontrent qu'*O. glabra* est capable de s'adapter parfaitement dans son nouveau milieu. La vitesse avec laquelle la limnée colonise la collection d'eau présente dans chaque fossé (Fig. 1) soutient cette dernière affirmation.

L'évolution numérique des descendants dans les différentes populations d'*O. glabra* est en accord avec les diverses observations qui ont été réalisées par notre équipe sur les sols acides du Limousin (Rondelaud *et al.*, 2006 ; Dreyfuss *et al.*, 2010 ; Vignoles *et al.*, 2017). L'abondance de chaque population présente un pic au cours de la deuxième ou de la troisième année post-introduction avant que les effectifs ne diminuent graduellement au cours des années suivantes pour aboutir à des moyennes qui se situent dans le même ordre de grandeur. Ces données suggèrent l'existence d'une régulation dans le nombre de ces descendants. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce résultat. La plus valide est de rattacher ce fait à la végétation présente dans l'habitat : celle-ci aurait augmenté en densité au cours des six années de l'expérience, entraînant par suite une diminution de l'effectif des limnées. Cette première interprétation s'appuie sur les observations de Moens (1981, 1991) qui note la diminution des effectifs d'une autre limnée (*G. truncatula*), puis la disparition de la population lorsque la végétation dans les

prairies marécageuses de la Belgique devient trop abondante. Mais on ne peut exclure une diminution des effectifs en rapport avec l'activité humaine car le gyrobroyage annuel ou bisannuel de la végétation dans les habitats de *G. truncatula* ou d'*O. glabra* entraîne souvent une diminution des effectifs comme l'un d'entre nous l'a constaté dans le nord de la Haute-Vienne (D. Rondelaud, observation personnelle).

La diminution nette notée dans l'effectif des descendants lorsque le nombre de parents par échantillon augmente n'a pas été observé dans le cas de *G. truncatula* lorsque cette espèce a été transplantée selon les mêmes conditions dans de nouvelles stations sur sol acide (Rondelaud *et al.*, 2019). Cette différence peut s'expliquer en partie par l'activité reproductrice de chaque limnée car les pontes d'*O. glabra* sur sol acide contiennent plus d'œufs que celles de *G. truncatula* : de 9 à 13 œufs par ponte au lieu de 4 à 6 (Vareille-Morel *et al.*, 1998 ; Rondelaud *et al.*, 2016). Une autre explication, qui est peut-être complémentaire de la précédente, est d'admettre que cette diminution numérique des descendants sur le terrain serait la conséquence d'un effet foule comme cela a déjà été rapporté dans les papiers de Mangal *et al.* (2010) ou de McCreesh *et al.* (2014) sur des planorbes. En effet, il existe une relation négative entre le nombre de descendants et l'augmentation de la densité des parents lorsque des mollusques d'eau douce sont élevés dans les conditions du laboratoire (Wright, 1960 ; Dillon, 2010).

Conclusion

L'introduction de quelques *O. glabra* (de 5 à 20 par échantillon) dans des fossés sur sol acide s'est traduite par le développement de toutes les populations. Celles-ci ont rapidement colonisé l'espace disponible dans leur nouvel habitat et ont présenté un accroissement numérique de leurs effectifs, suivi d'une diminution graduelle dans les années qui suivent. Comme *G. truncatula*, *O. glabra* est donc capable de coloniser de nouvelles zones sur sol acide à condition qu'il y ait une source temporaire ou permanente.

Bibliographie

Baker P., 2013. An action plan for the mud snail *Omphiscola glabra*. Disponible sur : <http://www.freshwaterhabitats.org.uk/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/Mud-Snail-Species-Dossier.pdf> (consulté le 27 juillet 2015).

Byrne A., Moorkens E.A., Anderson R., Killeen I.J. and Regan E.C., 2009. Ireland Red List no. 2: Non-marine molluscs. National Parks and Wildlife Service, Department of the Environment, Heritage and Local Government, Dublin, Ireland, 49 p.

Dillon R.T. Jr, 2010. The ecology of freshwater molluscs (Cambridge studies on ecology). Cambridge University Press, Cambridge, 523 p.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2010. *Omphiscola glabra* (Gastropoda, *Lymnaeidae*): changes occurring in natural infections with *Fasciola hepatica* and *Paramphistomum daubneyi* when this snail species is introduced into new areas. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **46**, 191–197.

Dreyfuss G., Vignoles P., Rondelaud D. and Cabaret J., 2015. The mud snail (*Galba truncatula*). Ecology, parasitism and control. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 238 p.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2016. Present decline in the number and size of populations of *Galba truncatula* and *Omphiscola glabra*, intermediate hosts of *Fasciola hepatica*, on the acidic soils of Central France. *Parasite* **23**, 46.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018a. *Omphiscola glabra* O.F. Müller, 1774 (Gastropoda, *Lymnaeidae*) : la distribution des populations et les

caractéristiques de leurs habitats par rapport à l'altitude et aux conditions climatiques de la Haute-Vienne. *MalaCo* **14**, 1–4.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018b. *Galba truncatula* and *Omphiscola glabra* (Gastropoda, *Lymnaeidae*): present decline in populations living on sedimentary soils in central France. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **54**, 11.

Glöer P. and Diercking R., 2010. Atlas der Süßwassermollusken Hamburg. Rote Liste, Verbreitung, Ökologie. Umweltbehörde, Hamburg, 182 p. Disponible sur : <http://www.malaco.de/Sonderdrucke/atlas-suesswassermollusken.pdf> (consulté le 27 juillet 2015).

Guy F., Rondelaud D., Botineau M., Dreyfuss G. et Ghestem A., 1996. Etude de relations entre les plantes les plus fréquentes et l'abondance de *Lymnaea truncatula* Müller, vecteur de *Fasciola hepatica* Linné dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Revue de Médecine Vétérinaire* **147**, 465–470.

Hubendick B., 1951. Recent *Lymnaeidae*. Their variation, morphology, taxonomy, nomenclature, and distribution. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* **3**, 1–223.

Kerney M., 1999. Atlas of the land and freshwater molluscs of Britain and Ireland. Harley Books, Colchester, 272 p.

Macadam C., 2006. Mud snails (*Omphiscola glabra*) in Scotland. *BRISC Recorder News* **62**, 6–8.

Macadam C. and Baker P., 2005. An action plan for the mud snail - *Omphiscola glabra* (Müller, 1774). Disponible sur :

<http://www.mudsnailstudygroup.co.uk>
(consulté le 27 juillet 2015).

Macleán N., 2010. Silent summer: the state of wildlife in Britain and Ireland. Cambridge University Press, Cambridge, 768 p.

Mangal T.D., Paterson S. and Fenton A., 2010. Effects of snail density on growth, reproduction and survival of *Biomphalaria alexandrina* exposed to *Schistosoma mansoni*. *Journal of Parasitology Research* **2010**, 186792.

McCreesh N., Arinaitwe M., Arineitwe W., Tukahebwa E.M. and Booth M., 2014. Effect of water temperature and population density on the population dynamics of *Schistosoma mansoni* intermediate host snails. *Parasites & Vectors* **7**, 503.

Moens R., 1981. Les habitats de *Lymnaea truncatula*, hôte intermédiaire de *Fasciola hepatica*. *Revue de l'Agriculture* **34**, 1563–1580.

Moens R., 1991. Factors affecting *Lymnaea truncatula* populations and related control measures. *Journal of Medical and Applied Malacology* **3**, 73–84.

Prié V., Seddon M.B. and Vavrova L., 2011. *Omphiscola glabra*. The IUCN Red List of threatened species. Version 2015.2. Disponible sur : <http://www.iucnredlist.org> (consulté le 27 juillet 2015).

R Core Team, 2016. R: a language and environment for statistical computing. Vienna : R Foundation for Statistical Computing. Disponible sur: <https://www.R-project.org> (consulté le 27 mai 2016).

Reynal J.L., 2001. Enquête épidémiologique sur les traitements appliqués contre la fasciolose et la paramphistomose bovine dans le Sud-

ouest de la Corrèze. Thèse d'exercice en Pharmacie, Université de Limoges, 83 p.

Rondelaud D., Vignoles P., Dreyfuss G. and Mage C., 2006. The control of *Galba truncatula* (Gastropoda: *Lymnaeidae*) by the terrestrial snail *Zonitoides nitidus* on acid soils. *Biological Control* **39**, 290–299.

Rondelaud D., Hourdin P., Vignoles P., Dreyfuss G. et Cabaret J., 2011. The detection of snail host habitats in liver fluke infected farms by use of plant indicators. *Veterinary Parasitology* **18**, 166–173.

Rondelaud D., Vignoles P. et Dreyfuss G., 2016. Caractéristiques des pontes et croissance d'*Omphiscola glabra* chez quatre populations vivant sur marne ou sur granite. *Annales Scientifiques du Limousin* **27**, 1–11.

Rondelaud D., Vignoles P. et Dreyfuss G., 2017. La Linnée étroite (*Omphiscola glabra* O.F. Müller, 1774) : les caractéristiques des habitats sur sols acides en fonction du type de biotope. *MalaCo* **13**, 1–4.

Shapiro S.S. and Wilk M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**, 591–611.

Siegel S. and Castellan N.J., 1988. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. MacGraw Hill Int., New York, 399 p.

Vareille-Morel C., Abrous M., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1998. Oviposition behaviour of *Lymnaea truncatula* in central France. *Journal of Molluscan Studies* **64**, 387–391.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1999. The characteristics of habitats colonized by three species of

Lymnaea in swampy meadows on acid soil: their interest for fasciolosis control. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **35**, 173–178.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 2007. Les habitats des *Lymnaeidae* sur sol acide. A propos de quelques observations dans la région Limousin sur une trentaine d'années. *MalaCo* **4**, 143–147.

Vignoles P., Rondelaud D. et Dreyfuss G., 2016. Contrôle intégré de deux parasitoses basé sur l'isolement des habitats colonisés par *Omphiscola glabra* dans deux fermes de la Haute-Vienne. *Annales Scientifiques du Limousin* **27**, 31–37.

Vignoles P., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 2017. Ecologie et parasitisme de la Limnée étroite (*Omphiscola glabra*). PULIM, Limoges, 228 p.

Vignoles P., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2018. The snail *Omphiscola glabra*.

Ecology, parasitism and conservation. Editions Universitaires Européennes, Sarrebruck, 194 p.

Wells S.M. and Chatfield J.E., 1992. Threatened non-marine molluscs of Europe. Nature and environment. Council of Europe, Strasbourg, 163 p.

Welter-Schultes F., 2012. European non-marine molluscs. A guide for species identification. Planet Poster Editions, Göttingen, 768 p.

Welter-Schultes F., 2013. Species summary for *Omphiscola glabra*. Disponible sur : <http://www.animalbase.uni-goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/home/species?id=2200> (consulté le 20 janvier 2016).

Wright C.A., 1960. The crowding phenomenon in laboratory colonies of freshwater snails. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* **54**, 224–232.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des 12 fossés utilisés dans le nord de la Haute-Vienne pour les transplantations de limnées.

Nouvelles stations dans lesquelles les mollusques ont été introduits		Début de l'expérimentation	Nombre de limnées introduites par station en mars
Nombre	Superficie de la collection d'eau à la mi-mars (m ²)		
4	7,7-10,5	2011 ou 2012	5
4	7,8-9,4	2011, 2012 ou 2013	10
4	7,2-10,3	2011 ou 2012	20

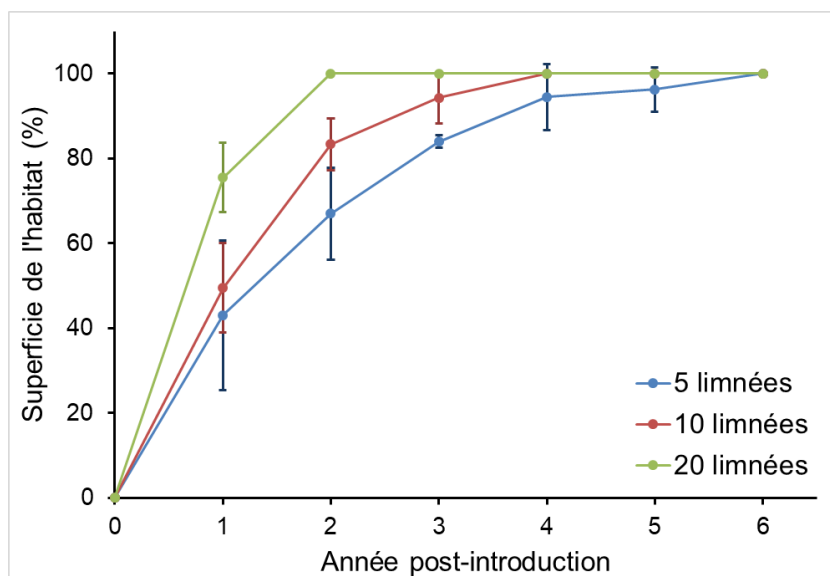


Figure 1 : La superficie colonisée par *Omphiscola glabra* dans 12 stations au cours des six années de l'expérience. Cette superficie est exprimée en pourcentage par rapport à celle de la collection d'eau présente dans chaque fossé lors du relevé. Les moyennes sont présentées sur ce graphe avec leurs écarts types.

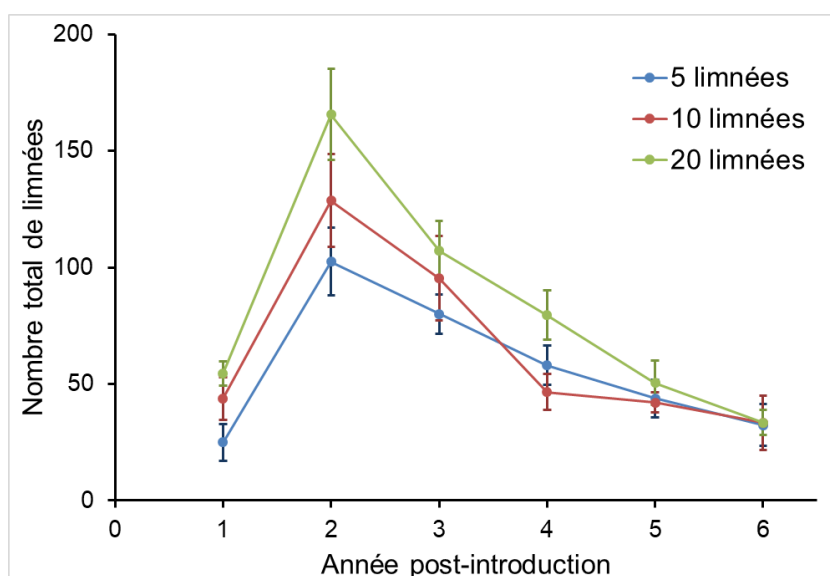


Figure 2 : Le nombre total des *Omphiscola glabra* dans 12 stations au cours des six années de l'expérience. Les moyennes sont présentées sur ce graphe avec leurs écarts types.

***Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) : observations écologiques et données biométriques sur deux morphotypes de limnées vivant sur des sols acides.**

Philippe VIGNOLES, Daniel RONDELAUD, Gilles DREYFUSS*

* gilles.dreyfuss@unilim.fr

Laboratoire de Parasitologie, Faculté de Pharmacie, Université de Limoges, 87025 Limoges Cedex

Résumé :

Des observations écologiques et des études biométriques ont été effectuées pendant trois années sur deux populations de *Galba truncatula* avec des coquilles présentant des tours convexes peu étagés (Châteauponsac, Chavanat) et les deux autres avec des coquilles présentant des tours en marches d'escalier (témoins). La densité des limnées tout au long de l'année était significativement plus élevée dans les populations de Châteauponsac et de Chavanat: une moyenne de 194.m⁻² et de 180.m⁻², respectivement, en mai ou juin, en fonction de l'altitude au lieu de 41.m⁻² et de 34.m⁻² dans les habitats témoins. Des résultats similaires ont également été notés pour la densité des pontes au printemps et le nombre d'oeufs par ponte. La croissance des mollusques tout au long de l'année n'a été étudiée que dans deux populations et n'a pas présenté de différence significative entre les quatre populations. Les limnées de Châteauponsac et de Chavanat ont une coquille plus étroite que celles des populations témoins, aussi bien pour la largeur du dernier tour de spire que pour celle de l'ouverture. Devant ces résultats, les auteurs proposent de classer provisoirement les deux populations de Châteauponsac et de Chavanat comme une variété de *G. truncatula* en attendant qu'un malacologue expérimenté en systématique précise le rang taxonomique de ces deux populations.

Mots-Clés : Biométrie, dynamique des populations, *Galba truncatula*, *Lymnaeidae*, morphotype.

***Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774): ecological observations and biometric data on two morphotypes of snails living on acid soils.**

Abstract:

Ecological observations and biometric studies were carried out over three years on two populations of *Galba truncatula* with shells showing convex whorls without steps (Châteauponsac, Chavanat) and the other two populations with shells having characteristic step-like whorls (controls). Snail density throughout the year was significantly higher in the Châteauponsac and Chavanat populations: an average of 194.m⁻² and 180.m⁻², respectively, in May or June, depending on altitude instead of 41.m⁻² and 34.m⁻² in control habitats. Similar results were also noted for egg-mass density in spring and the number of eggs per mass. Snail growth throughout the year was only studied in two populations and showed no significant difference between the four populations. The snails of Châteauponsac and Chavanat had a narrower shell than those of the control populations, as well for the width of the last whorl as for that of the aperture. Given these results, the authors propose to temporarily classify temporarily the two populations of Châteauponsac and Chavanat as a variety of *G. truncatula* while waiting for studies by a malacologist experienced in systematics to specify the taxonomic rank of these two populations.

Key-Words: Biometry, *Galba truncatula*, *Lymnaeidae*, morphotype, population dynamics.

Introduction

La famille des *Lymnaeidae* comprend de nombreuses espèces de mollusques pulmonés d'eau douce avec une coquille dextre. Les membres de cette famille ont une répartition presque cosmopolite (Correa *et al.*, 2010). Dans l'Europe de l'ouest, 13 espèces au total sont généralement admises par la plupart des auteurs (Welter-Schultes, 2012). Mais cette liste est provisoire car de nouvelles espèces de limnées comme *Galba schirazensis* (Küster, 1862) et *Galba cubensis* (L. Pfeiffer, 1839) en Espagne (Bargues *et al.*, 2011 ; Schniebs *et al.*, 2018) peuvent encore être découvertes lorsque les marqueurs moléculaires sont utilisés. Cet état de fait est dû à la grande diversité que les *Lymnaeidae* présentent dans la morphologie de leur coquille, ce qui est lié à leur plasticité éco-phénotypique importante (Samadi *et al.*, 2000 ; Hurtrez-Boussès *et al.*, 2005 ; Pfenninger *et al.*, 2006). D'après Schniebs *et al.* (2011, 2013, 2019), cette variabilité morphologique est particulièrement nette chez les populations européennes de *Radix balthica* (Linnaeus, 1758), *R. labiata* (Rossmässler, 1835) et *R. ampla* (Hartmann, 1821). Ces auteurs ont émis l'hypothèse que cette variabilité serait due à une adaptation de ces espèces aux diverses conditions qui existent dans les collections d'eau selon que celle-ci est fluente ou stagnante (Schniebs *et al.*, 2019). Il en résulte que la structure taxonomique des *Lymnaeidae* est plutôt compliquée et encore très controversée, avec plusieurs sous-familles, genres et sous-genres en son sein (Hubendick, 1951 ; Burch, 1982 ; Remigio et Blair, 1997 ; Jackiewicz, 1998 ; Bargues *et al.*, 2001, 2003, 2007 ; Correa *et al.*, 2010, 2011 ; Vinarski, 2013).

Dans le passé, de nombreux malacologues ont essayé de traduire la variation des caractères de la coquille en utilisant des catégories sous-spécifiques de rang différent, le plus souvent la « variété ». D'après Vinarski (2014), ce

rang a été utilisé de manière plutôt incohérente et a été généralement appliqué à des groupes sous-spécifiques différenciés sur la base de divers traits phénotypiques (dimensions de la coquille, coloration de surface, anomalie morphologique, etc.). Cette manière de procéder a également été utilisée dans le cas de *Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774). Cette limnée est la seule espèce du genre *Galba* à être reconnue pour l'instant par le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris et à être inscrite de ce fait sur la Liste de référence des Mollusques continentaux de France (Falkner *et al.*, 2002 ; Gargominy *et al.*, 2011). Cette décision s'appuie sur les travaux de biologie moléculaire que Bargues *et al.* (2001, 2003), Hurtrez-Boussès *et al.* (2005) et Correa *et al.* (2010, 2011, 2017) ont réalisés sur plusieurs populations françaises de cette espèce. Dans le passé, tous les auteurs n'étaient pas d'accord sur l'existence d'une seule espèce (*G. truncatula*) en France depuis les travaux de Locard (1893) ou de Germain (1903, 1930-1931). C'est ainsi que ce dernier auteur a décrit deux espèces supplémentaires de *Galba* et, également, deux variétés au sein de l'espèce *G. truncatula* (Germain, 1930-1931). Plus récemment, Adam (1960) ne liste qu'une seule espèce de *Galba* (*G. truncatula*) en Belgique, mais avec quatre variétés au sein de celle-ci. Ces variétés de *G. truncatula* rapportées par les auteurs précités ainsi que celles que Germain (1930-1931) a élevées au rang d'espèce ne sont probablement que des morphotypes particuliers de Limnées tronquées avec une coquille modifiée en fonction des contraintes du milieu dans lequel ces individus ont vécu.

De 1970 à 2006, notre équipe a mené plusieurs enquêtes dans 361 fermes situées dans la région du Limousin afin de détecter la présence d'habitats occupés par *G. truncatula*. Au total, 385,7 km² de pâtures ont été prospectés dans ces exploitations et 7 709 habitats peuplés par la limnée ont été trouvés (Vareille-Morel *et al.*, 2007 ; Rondelaud *et al.*, 2009, 2011). Sur ces

7709 populations, 7707 ont été identifiées comme *G. truncatula* en se basant sur la hauteur de la coquille à l'état adulte (8 à 9 mm sur les sols cristalloyphylliciens) et les tours de spire nettement étagés l'un par rapport à l'autre comme « des marches d'escalier » (Fig. 1a, b ; Germain, 1930-1931 ; Welter-Schultes, 2012). Les deux autres populations ont présenté un autre morphotype avec un dernier tour peu développé au stade adulte et des tours de spire convexes, peu étagés : Fig. 1c, d. De plus, différentes observations faites au cours des vingt dernières années sur ces deux populations ont montré une forte densité en individus dans leurs habitats. Comme ces deux populations ont été identifiées comme *G. truncatula* avec les marqueurs moléculaires (Prof. S. Mas-Coma, contribution personnelle), des observations écologiques sur les caractéristiques des pontes et la dynamique de ces deux populations ont été réalisées afin de comprendre les raisons d'une telle abondance en individus. Des observations biométriques ont également été effectuées sur ces deux colonies afin de préciser les caractéristiques de leur coquille. Les résultats obtenus avec ces deux populations ont été comparés avec ceux fournis par des colonies témoins de *G. truncatula*, identifiées par les tours nettement étagés de leur coquille. Le but de cette étude rétrospective est seulement d'apporter des données écologiques et biométriques sur ces deux populations à morphotype particulier. Les quatre populations ont été dénommées dans le cadre de la présente note par le nom de la commune sur laquelle chaque habitat est situé.

Matériel et méthodes

Populations étudiées

Le tableau 1 indique la localisation des quatre populations de *G. truncatula* et leurs coordonnées GPS. Les habitats occupés par les deux populations avec des coquilles à tours peu étagés sont situés, respectivement, sur les communes de Châteauponsac et de Chavanat. Il s'agit de

fossés de route avec une altitude respective de 275 m et de 600 m. Les deux populations témoins, avec des tours de spire nettement étagés, vivent également dans des fossés de route sur les communes de Rancon et de Saint-Michel-de-Veisse. La distance entre chaque population à morphotype particulier et celle qui a servi de témoin est inférieure à 15 km. Tous les habitats sont soumis à un climat continental modulé par les vents humides qui viennent de l'Océan Atlantique. La pluviométrie annuelle moyenne fluctue de 800 à 1 000 mm selon les années, tandis que la température annuelle moyenne varie de 10° à 10,5° C (Rondelaud *et al.*, 2009, 2011).

Le fossé de Châteauponsac longe une parcelle de terrain occupée par un immeuble commercial depuis 1995, tandis que les trois autres fossés sont situés le long de prairies pâturées. Dans chaque fossé, l'habitat occupé par les limnées est recouvert par de l'eau provenant d'une source temporaire de la mi-octobre ou de novembre jusqu'à la mi-juin (Chavanat, Saint-Michel-de-Veisse) ou de la mi-juillet (Châteauponsac, Rancon). La végétation poussant dans les deux habitats de chaque département était la même, avec une prédominance de *Juncus acutiflorus* Ehrhart, ex Hoffmann, 1791 dans les fossés de la Haute-Vienne et de *Juncus effusus* Linnaeus, 1753 dans ceux de la Creuse. Aucun escargot prédateur : *Zonitoides nitidus* (O.F. Müller, 1774) n'a été observé dans ces quatre fossés au cours de la période d'étude. Lorsque cet escargot est présent dans un pâturage ou une berge d'une rivière sur un sol acide, il consomme la plupart des limnées au début de l'assèchement estival des habitats (Rondelaud, 1975, 1999).

Détermination des caractéristiques des habitats

Comme les habitats des limnées sont linéaires dans les quatre fossés, leur superficie a été calculée à la mi-mars en considérant l'étendue de la nappe d'eau qui

les recouvre. Le choix de cette date nous a été dicté par le fait que les limnées sont alors toutes immergées. Les limites de chaque collection d'eau sont transcrites sur une carte et la superficie globale de chaque habitat est calculée à l'aide de formules mathématiques appropriées. Comme l'étendue de chaque habitat peut varier au cours des années en fonction de la pluviométrie locale, la détermination de ce paramètre a été faite pendant trois années successives (de 2011 à 2013) à la mi-mars afin d'avoir une valeur moyenne. Dans trois cas, un mètre carré d'habitat correspondait à une longueur de fossé comprise entre 1,9 et 2,4 m, tandis que la longueur n'était que de 1,25 m dans le fossé de Chavanat.

Des prélèvements d'eau ont été effectués dans chaque fossé à la mi-mars au cours des trois années précitées. Le pH de cette eau a été mesuré à la mi-mars par la méthode électrométrique tandis que la concentration en ions calcium dissous a été déterminée par spectrophotométrie atomique.

Dénombrement des individus et des pontes

Dans les quatre habitats, des comptages réguliers de limnées ont été effectués chaque mois en 2012 afin d'étudier leur densité. Aucun décompte n'a été fait en août (Châteauponsac, Rancon) ou en juillet et août (Chavanat, Saint-Michel-de-Weisse) en raison du dessèchement estival. Dans chaque habitat, trois quadrants de 1 m² ont été sélectionnés au hasard et les individus présents dans ces zones ont été dénombrés par chasse à vue par deux personnes pendant 30 à 40 minutes. Lors du premier dénombrement, les limnées sont prélevées après le comptage par l'une des personnes et placées dans un bac extérieur afin d'éviter d'être recomptées lors du deuxième dénombrement. Ce dernier est effectué par la seconde personne afin de recenser les limnées qui auraient échappé au premier

dénombrement. Les individus sont ensuite replacés sur le quadrant étudié.

Les masses d'oeufs ont, de même, été décomptées tous les 15 jours pendant la période principale de pontes (avril-juin 2013) sur trois quadrants de 40 cm² sélectionnés au hasard dans chaque habitat. Après le comptage, ces pontes sont laissées en place dans chaque quadrant étudié. Aucun dénombrement n'a été effectué au cours de l'autre période de pontes (automne) car le développement de la végétation ne permettait pas un comptage précis des masses d'oeufs.

Des échantillons de 50 pontes ont, enfin, été récoltés au hasard dans chaque habitat en dehors des trois quadrants précités. Ces prélèvements bimensuels ont eu lieu d'avril à juin 2013 et les pontes ont été transportées au laboratoire. Le nombre d'oeufs présents dans chaque masse a été déterminé sous un stéréomicroscope (grossissement, x 16). Les pontes ont ensuite été placées individuellement dans des boîtes de Pétri de 50 mm contenant des tiges de *Fontinalis sp.* et de l'eau de source oxygénée en permanence (9-13 mg/L de calcium dissous dans l'eau). Après une période d'incubation allant de 4 à 10 jours, les juvéniles qui sortent de chaque ponte ont été décomptés afin de déterminer le taux d'éclosion par rapport au nombre d'oeufs que celle-ci contenait.

Etudes biométriques

Des échantillons mensuels de 50 limnées adultes ont été prélevés au hasard sur une période de 12 mois (2013) dans les fossés de Chavanat et de Saint-Michel-de-Weisse. Les prélèvements n'ont été effectués que dans ces deux habitats car un herbicide avait été pulvérisé dans le fossé de Châteauponsac à la fin mai 2013, ce qui a entraîné une mortalité élevée dans cette population. La hauteur de coquille de chaque *G. truncatula* a été ensuite mesurée sur le terrain à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Cette dimension est le seul paramètre à avoir été pris en compte dans cette étude car le but de celle-ci était de

déterminer le nombre de générations annuelles. Les limnées ont finalement été réintroduites dans leurs habitats afin de ne pas perturber la croissance des autres individus dans ces populations.

Cinquante limnées adultes, appartenant à la génération transhivernante et en fin de vie, ont également été prélevées au hasard à la fin mai 2014 dans chacun des quatre habitats. Quatre paramètres ont été mesurés au laboratoire à l'aide d'un système d'analyse d'images Arès (Bélier, Châtillon, France).

Paramètres étudiés

Les quatre premiers ont été déterminés lors du dénombrement des limnées et de leurs pontes. Il s'agit de la densité des individus par m² d'habitat, du nombre de masses d'oeufs présentes sur 40 cm² de sédiment, du nombre d'oeufs contenus dans chaque ponte et du taux d'éclosion des juvéniles à partir de ces pontes. Les valeurs individuelles notées pour chacun de ces paramètres ont été ramenées à une moyenne, avec calcul de l'écart type, en tenant compte de l'habitat étudié et de la date de prospection.

Les paramètres mesurés lors des études biométriques sont la hauteur de la coquille, la largeur maximale du dernier tour de spire, ainsi que la hauteur maximale et la largeur maximale de l'ouverture. Les valeurs des trois rapports suivants : hauteur de la coquille / largeur du dernier tour (rapport A/B), hauteur de la coquille / hauteur de l'ouverture (A/C), et largeur du dernier tour / largeur de l'ouverture (B/D), ont été également déterminées. Des moyennes avec les écarts types correspondants ont été calculées pour chacun de ces paramètres ou de ces rapports en tenant compte de l'habitat (les deux types d'étude) et de la date de prospection (l'étude sur les générations annuelles de *G. truncatula*).

Tests statistiques

La normalité des valeurs individuelles a été analysée pour chaque paramètre à

l'aide du test de Shapiro-Wilk (Shapiro et Wilk, 1965). Comme leur distribution n'était pas normale, plusieurs tests statistiques ont été utilisés. Les tests de Scheirer-Ray-Hare et de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner (Holländer et Wolfe, 1999) ont été utilisés pour établir la significativité des différences entre chaque population avec des coquilles à tours peu étagés et le témoin correspondant pour les paramètres suivants : densité des individus, celle des pontes et nombre d'oeufs par ponte. Les différences entre les taux d'éclosion des juvéniles ont été comparées en utilisant le test Chi². Enfin, une analyse factorielle multiple a été réalisée afin de décrire et discriminer les individus selon les quatre populations étudiées et les valeurs des trois rapports. Les différentes analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R 3.3.0 (R Core Team, 2016).

Résultats

Au début du mois de mars 2012, les habitats occupés par chaque population présentant des coquilles avec des tours peu étagés et le témoin correspondant se situaient dans la même échelle de valeurs : de 16,1 à 18,5 m² en moyenne pour les habitats de la Haute-Vienne, de 23 à 24,3 m² pour ceux de la Creuse. Dans les habitats étudiés à Châteauponsac et à Rancon, le pH de l'eau courante était de 6,5 ou de 6,6, quelle que soit l'année où le pH a été mesuré, tandis que la concentration moyenne en ions calcium dissous était de 18,4 et 16,7 mg Ca⁺⁺/L, respectivement. Dans ceux situés dans le département de la Creuse, les valeurs moyennes étaient légèrement inférieures : pH 6,2 et 12,7 mg Ca⁺⁺/L à Chavanat, et pH 6,1 et 13,6 mg Ca⁺⁺/L à Saint-Michel-de-Veisse.

Dénombrement des individus et des pontes

La figure 2 montre les variations numériques mensuelles des mollusques dans les quatre populations. Deux pics ont été observés dans chaque population, le premier en mai ou juin et le second en

novembre, indiquant ainsi l'existence de deux générations annuelles. Dans les populations de Châteauponsac et de Chavanat, les valeurs du premier pic étaient supérieures à celles du second (respectivement $194,5.m^{-2}$ et $180,6.m^{-2}$ au lieu de $51,3.m^{-2}$ et $40,3.m^{-2}$). La même observation a également été constatée pour les populations témoins ($41,6.m^{-2}$ en juin à Rancon et $34,6.m^{-2}$ à Saint-Michel-de-Veisse au lieu de $26,6.m^{-2}$ et $16,0.m^{-2}$ en novembre par ordre respectif). La localité ($H = 64,71$, $p < 0,1 \%$) et la date de prospection ($H = 38,76$, $p < 0,1 \%$) ont eu un effet significatif sur la distribution de ces densités. Les différences les plus significatives ont été enregistrées entre chaque population avec des coquilles à tours peu étagés et le témoin correspondant, tandis que celles existant entre les deux populations de Châteauponsac et de Chavanat, ou entre les deux témoins n'étaient pas significatives.

Les pontes déposées au printemps par les limnées transhivernantes ont montré des valeurs élevées en mai (Fig. 3a, b). Celles-ci étaient plus importantes dans les populations de Châteauponsac et de Chavanat ($24,0 / 40 \text{ cm}^2$ et $21,0 / 40 \text{ cm}^2$, respectivement, à la mi-mai au lieu de $9,0 / 40 \text{ cm}^2$ à Rancon et $3,3 / 40 \text{ cm}^2$ à Saint-Michel-de-Veisse). La localité ($H = 32,85$, $p < 0,1 \%$) et la date des investigations ($H = 19,11$, $p < 1 \%$) ont eu, également, un effet significatif sur la distribution de ces densités. Sur chaque site, le nombre d'oeufs par masse (Fig. 3c, d) a légèrement augmenté pendant la période de pontes, avec un accroissement plus important à Châteauponsac et Chavanat que dans les sites témoins. La distribution de ces valeurs est significativement influencée par la localité ($H = 490,31$, $p < 0,1 \%$) et la date des investigations ($H = 66,13$, $p < 0,1 \%$).

Le taux d'éclosion des juvéniles à partir de ces œufs était de 100 % pour pontes déposées en avril et en mai. Ce taux a diminué en juin : 96,1 % au début du mois dans la population de Chavanat, par

exemple, et 88,0 % à la mi-juin (données non représentées). Les différences entre les taux d'éclosion dans les quatre populations n'étaient pas significatives pour chaque date d'investigation considérée séparément.

Etudes biométriques

La figure 4 montre la croissance des limnées dans les populations de Chavanat et de Saint-Michel-de-Veisse pour chaque mois de l'année et chaque génération considérée séparément. Dans chaque habitat, deux générations ont été notées, la première d'avril à décembre (génération de printemps) et la seconde d'octobre au mois de juin suivant (génération transhivernante). La génération de printemps a montré une croissance rapide d'avril à juin, suivie d'un plateau pendant le dessèchement estival, d'une nouvelle période de croissance de septembre à novembre et, enfin, de la disparition des derniers adultes en décembre. Après les éclosions en octobre, la génération transhivernante a montré une période de croissance rapide jusqu'en décembre, un plateau pendant les mois d'hiver (janvier-mars) et une nouvelle période de croissance au printemps jusqu'à la disparition des adultes à partir de mai. Sur les deux sites, la hauteur moyenne des coquilles des adultes en fin de vie variait de 7 à 7,2 mm. La date de prospection ($H = 29,41$, $p < 0,1 \%$) a significativement influencé la distribution de ces valeurs, alors que la localité n'a eu aucun effet significatif.

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes et les écarts types pour les quatre dimensions que nous avons mesurées avec les limnées des quatre populations. La figure 5 montre les deux premières composantes fournies par l'analyse factorielle multiple avec les valeurs des trois rapports. Dans les quatre habitats, l'analyse permet d'expliquer 61,9 % de la variabilité totale en prenant les deux premières composantes et 81,8 % en prenant les trois composantes. Sur l'axe horizontal, la première composante est

essentiellement représentée par le rapport A/B. La composante sur l'axe vertical est essentiellement représentée par les rapports A/C et B/D. La répartition des individus selon les populations est fournie sur la figure 6. Les individus des quatre habitats sont très homogènes et se mélangent peu. Ceux de Châteauponsac ont une coquille étroite avec une ouverture relativement petite par rapport à leur taille. Ceux de Chavanat ont également une coquille étroite mais l'ouverture est globalement plus large que celle des individus de Châteauponsac. Les limnées de Saint-Michel-de-Verisse et de Rancon ont une coquille globalement plus large que celle des individus de Châteauponsac et de Chavanat. Chez ces témoins, les proportions des coquilles sont assez semblables dans l'ensemble ; de même, les ouvertures de leurs coquilles sont assez proches.

Discussion

Les densités plus élevées en individus et en pontes relevées à Châteauponsac et à Chavanat indiquent la présence d'abondantes populations sur ces sites, alors que les deux habitats témoins ne sont occupés que par des populations de petite taille. Les densités observées dans les deux habitats témoins correspondent aux valeurs déjà signalées chez les *G. truncatula* vivant sur des sols cristallophylliens ou métamorphiques dans le centre de la France (Rondelaud *et al.*, 2009, 2011). En revanche, les populations de Châteauponsac et de Chavanat semblent se différencier des autres populations de *G. truncatula* par leur densité tout au long de l'année. Les nombres d'œufs par ponte, relevés dans les quatre populations (Fig. 3c, d), sont plus difficiles à commenter car ils se situent dans l'échelle des valeurs rapportées par plusieurs auteurs pour les populations de *G. truncatula* sur des sols acides (Morel-Vareille, 1973 ; Rondelaud et Mage, 1992 ; Vareille-Morel *et al.*, 1998). Comme ces nombres sont nettement inférieurs à ceux observés sur les sols

sédimentaires (une moyenne de 12 à 15 œufs par ponte pour Kendall en 1953 et de 6 à 32 œufs pour Oviedo Salas en 1992), cette différence peut être expliquée par la quantité de calcium dans l'eau (généralement < 20 mg/L sur des sols acides: Guy *et al.*, 1996) et, par conséquent, par la plus faible hauteur de coquille chez les adultes (Rondelaud *et al.*, 2009). Cependant, le nombre d'œufs par masse est plus élevé à Châteauponsac et Chavanat que dans les populations témoins. La qualité de la nourriture présente dans les habitats des limnées (dans chaque département, les fossés ont la même végétation) et la hauteur des limnées (elle est la même au stade adulte: tableau 2) ne peut expliquer ce résultat. À notre avis, l'hypothèse la plus probable est d'admettre que les populations de Châteauponsac et de Chavanat auraient une plus grande fécondité que celle existant dans les autres populations de *G. truncatula*. La présence de deux générations annuelles de limnées dans les deux types de populations est en accord avec les données rapportées dans la plupart des pays européens soumis à un climat tempéré (Kendall, 1953 ; Chowaniec et Drözd, 1958 ; Heppleston, 1972 ; Morel-Vareille, 1973 ; Smith, 1981, par exemple).

Les résultats de l'analyse factorielle multiple démontrent nettement que les coquilles étudiées chez les limnées de Châteauponsac et de Chavanat se démarquent nettement des coquilles étudiées dans les deux populations témoins car elles sont plus étroites comme en témoigne la largeur du dernier tour de spire et celle de l'ouverture (Tableau 2). Ce type de morphotype est rare sur les sols acides du Limousin (2 populations sur un total de 7709 identifiées au cours de notre enquête : Rondelaud *et al.*, 2009, 2011). La présence d'autres populations présentant ce morphotype sera probablement rare dans le département de la Haute-Vienne (c'est celui que notre équipe a le plus étudié au cours de ces 50 dernières années). Par contre, il n'en est pas de même pour la

Creuse car la plupart des 56 fermes prospectées au cours de notre enquête se situaient dans le nord ou l'ouest du département et seules quelques exploitations ont fait l'objet d'investigations malacologiques dans les régions d'Aubusson et de Bourgueuil (Vignoles *et al.*, 2017). Il est donc possible que d'autres populations avec des coquilles à tours peu étagés soient identifiées dans ce département dans les années à venir, en particulier dans la zone est. La rareté de ces populations soulève, de plus, un problème car on ne peut déterminer si les fortes densités relevées dans les deux habitats doivent être rapportées à ce morphotype ou s'il s'agit d'un processus local indépendant du morphotype, même si cette abondance d'individus a été constatée par notre équipe dans les deux habitats depuis les années 2000.

Conclusion

Les deux populations de Châteauponsac et de Chavanat, présentant des coquilles avec des tours peu étagés, se différencient nettement des autres populations de *G. truncatula* par la largeur plus faible du dernier tour de spire et par leurs effectifs élevés. Comme ces deux populations ont été identifiées comme *G. truncatula* à l'aide des marqueurs moléculaires, ce morphotype particulier pourrait être considéré provisoirement comme une variété phénotypique au sein de l'espèce. La morphologie de ces coquilles nous permet d'émettre l'hypothèse que les individus de ces deux populations pourraient appartenir à la variété *montana* (Bourguignat, 1888), variété que Germain (1930/1931) considèrait comme la forme montagnarde de *G. truncatula* en France. La détermination du rang taxonomique pour ces deux populations nécessite l'assistance d'un malacologue spécialisé en systématique après une étude de la variabilité génétique intra-spécifique chez *G. truncatula*.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements à M. le Professeur S. Mas-Coma, Université de Valencia (Espagne) pour son aide dans l'identification des deux populations de Châteauponsac et de Chavanat avec les marqueurs moléculaires. Les remarques formulées par deux lecteurs anonymes ont permis d'améliorer le texte de façon significative.

Bibliographie

Adam W., 1960. Faune de Belgique. Mollusques terrestres et fluviatiles. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, 402 p.

Bargues M.D., Artigas P., Khoubbane M., Flores R., Glöer P., Rojas-Garcia R., Ashrafi K., Falkner G. and Mas-Coma S., 2011. *Lymnaea schirazensis*, an overlooked snail distorting fascioliasis data: genotype, phenotype, ecology, worldwide spread, susceptibility, applicability. *PloS One* **6**, e24567. doi: 10.1371/journal.pone.0024567.

Bargues M.D., Artigas P., Mera y Sierra R.L., Pointier J.P. and Mas-Coma S., 2007. Characterisation of *Lymnaea cubensis*, *L. viatrix* and *L. neotropica* n. sp., the main vectors of *Fasciola hepatica* in Latin America, by analysis of their ribosomal and mitochondrial DNA. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* **101**, 7, 621–641. doi: 10.1179/136485907X229077.

Bargues M.D., Horák P., Patzner R.A., Pointier J.P., Jackiewicz M., Meier-Brook C. and Mas-Coma S., 2003. Insights into the relationships of palearctic and nearctic lymnaeids (Mollusca: Gastropoda) by rDNA ITS-2 sequencing and phylogeny of stagnicoline intermediate host species of *Fasciola hepatica*. *Parasite* **10**, 3, 243–255. doi: 10.1051/parasite/2003103243.

Bargues M.D., Vigo M., Horak P., Dvorak J., Patzner R.A., Pointier J.P., Jackiewicz

M., Meier-Brook C. and Mas-Coma S., 2001. European *Lymnaeidae* (Mollusca: Gastropoda), intermediate hosts of trematodiasis, based on nuclear ribosomal DNA ITS-2 sequences. *Infection, Genetics and Evolution* **1**, 2, 85–107. doi: 10.1016/S1567-1348(01)00019-3.

Burch J.B., 1982. North American freshwater snails. *Transactions of the POETS Society* **1**, 4, 217–365.

Chowaniec W. and Drózd, J., 1958. Badania nad biologią i ekologią a blotniarki moczarowej (*Galba truncatula*) oraz form larwalnych motylicy wotrobowej (*Fasciola hepatica*). *Wiadomości Parazytologiczne* **4**, 433–434.

Correa A.C., Escobar J.S., Durand P., Renaud F., David P., Jarne P., Pointier J.P. and Hurtrez-Boussès S., 2010. Bridging gaps in the molecular phylogeny of the *Lymnaeidae* (Gastropoda: Pulmonata), vectors of fascioliasis. *BMC Evolutionary Biology* **10**, 381. doi: 10.1186/1471-2148-10-381.

Correa A.C., Escobar J.S., Noya O., Velásquez L.E., González-Ramírez C., Hurtrez-Boussès S. and Pointier J.P., 2011. Morphological and molecular characterization of Neotropic *Lymnaeidae* (Gastropoda: Lymnaeidae), vectors of fascioliasis. *Infection, Genetics and Evolution* **11**, 1978–1988. doi: 10.1016/j.meegid.2011.09.003.

Correa A.C., De Meeûs T., Dreyfuss G., Rondelaud D. and Hurtrez-Boussès S., 2017. *Galba truncatula* and *Fasciola hepatica*: genetic costructures and interactions with intermediate host dispersal. *Infection, Genetics and Evolution* **55**, 186–194. doi: 10.1016/j.meegid.2017.09.012.

Falkner G., van Ripken T.E.J. et Falkner M., 2002. Mollusques continentaux de France. Liste de référence annotée et

bibliographie. *Patrimoines Naturels* **52**, 1–356.

Gargominy O., Prié V., Bichain J.M., Cucherat X. et Fontaine B., 2011. Liste de référence annotée des mollusques continentaux de France. *MalaCo* **7**, 307–382.

Germain, L., 1903. Etude sur les Mollusques terrestres et fluviatiles vivants des environs d'Angers et du département du Maine-et-Loire. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France* **3**, 1, 1–238.

Germain, L., 1930-1931. Mollusques terrestres et fluviatiles. Faune de France, nos. 21 and 22. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris, 893 p.

Guy F., Rondelaud D., Botineau M., Dreyfuss G. et Ghestem A., 1996. Etude de relations entre les plantes les plus fréquentes et l'abondance de *Lymnaea truncatula* Müller, vecteur de *Fasciola hepatica* Linné dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Revue de Médecine Vétérinaire* **147**, 6, 465–470.

Heppleston P.B., 1972. Life history and population fluctuations of *Lymnaea truncatula* Müller, the snail vector of fascioliasis. *Journal of Applied Ecology* **9**, 1, 235–248.

Holländer M. and Wolfe D.A., 1999. Nonparametric statistical methods, 2nd edit. John Wiley & Sons, New York, 816 p.

Hubendick B., 1951 Recent *Lymnaeidae*. Their variation, morphology, taxonomy, nomenclature and distribution. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. Fjärde Serien* **3**, 1–223.

Hurtrez-Boussès S., Pendino A., Bernabé C., Rondelaud D., Durand C., Meunier C., Hurtrez J.E. and Renaud F., 2005. Comparison between shell morphology and genetic diversity in two sympatric

lymnaeid snails, vectors of fasciolosis. *Canadian Journal of Zoology* **83**, 12, 1643–1648. doi: 10.1139/Z05-150.

Jackiewicz M., 1998. European species of the family *Lymnaeidae* (Gastropoda, Pulmonata, Basommatophora). *Genus* **9**, 1, 1–93.

Kendall S.B., 1953. The life-history of *Limnaea truncatula* under laboratory conditions. *Journal of Helminthology* **27**, 1-2, 17–28. doi : 10.1017/S0022149X00023476.

Locard A., 1893. Coquilles des eaux douces et saumâtres de France. Description des familles, genres et espèces. Librairie J.B. Baillière et Fils, Paris, 344 p.

Morel-Vareille C., 1973. Contribution à l'étude du cycle biologique de *Lymnaea truncatula* dans le Nord-ouest du Limousin. *Revue de Médecine Vétérinaire* **124**, 1447–1457.

Oviedo Salas J.O., 1992. Contribución al estudio del ciclo biológico de *Fasciola hepatica* (Linnaeus, 1758) (Trematoda: Fasciolidae) a nivel de molusco hospedador intermediario en la isla de Corcega (Francia). Thèse de Doctorat, Université de Valencia, Espagne, 336 p.

Pfenninger M., Cordellier M. and Streit B., 2006. Comparing the efficacy of morphologic and DNA-based taxonomy in the freshwater gastropod genus *Radix* (*Basommatophora*, *Pulmonata*). *BMC Evolutionary Biology* **6**, 100. doi: 10.1186/1471-2148-6-100.

R Core Team, 2016. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Website: <https://www.R-project.org>. Consulté le 19 octobre 2018.

Remigio E.A. and Blair D., 1997. Molecular systematics of the freshwater

snail family *Lymnaeidae* (Pulmonata: Basommatophora) utilising mitochondrial ribosomal DNA sequences. *Journal of Molluscan Studies* **63**, 2, 173–185. doi: 10.1093/mollus/63.2.173.

Rondelaud D., 1975. La prédation de *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller par *Zonitoides nitidus* Müller, moyen de lutte biologique. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **50**, 1, 55–61. doi : 10.1051/parasite/1975501055.

Rondelaud D., 1999. Le peuplement malacologique dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Vertigo* **6**, 3–13.

Rondelaud D. et Mage C., 1992. *Lymnaea truncatula* Müller: les conséquences d'une seule génération annuelle sur les caractéristiques de l'infestation par *Fasciola hepatica* L. *Revue de Médecine Vétérinaire* **143**, 11, 843–846.

Rondelaud D., Vignoles P. and Dreyfuss G. 2009. La Limnée tronquée, un mollusque d'intérêt médical et vétérinaire. Presses Universitaires de Limoges, Limoges, 283 p.

Rondelaud D., Hourdin P., Vignoles P., Dreyfuss G. and Cabaret J., 2011. The detection of snail host habitats in liver fluke infected farms by use of plant indicators. *Veterinary Parasitology* **181**, 2-4, 166–173. doi: 10.1016/j.vetpar.2011.03.056.

Samadi S., Roumegoux A., Bargues M.D., Mas-Coma S., Yong M. and Pointier J.P., 2000. Morphological studies of lymnaeid snails from the human fascioliasis endemic zone of Bolivia. *Journal of Molluscan Studies* **66**, 1, 31–44. doi: 10.1093/mollus/66.1.31.

Schniebs K., Glöer P., Vinarski M.V. and Hundsdoerfer A.K., 2011. Intraspecific morphological and genetic variability in *Radix balthica* (Linnaeus, 1758)

(Gastropoda: Basommatophora: *Lymnaeidae*) with morphological comparison to other European *Radix* species. *Journal of Conchology* **40**, 6, 657–678.

Schniebs K., Glöer P., Vinarski M.V. and Hundsdoerfer A.K., 2013. Intraspecific morphological and genetic variability in the European freshwater snail *Radix labiata* (Rossmassler, 1835) (Gastropoda: Basommatophora: *Lymnaeidae*). *Contributions to Zoology* **82**, 1, 55–68.

Schniebs K., Glöer P., Quinonero-Salgado S., Lopez-Soriano J. and Hundsdoerfer A.K., 2018. The first record of *Galba cubensis* (L. Pfeiffer, 1839) (Mollusca, Gastropoda, *Lymnaeidae*) from open fields in Europe. *Folia Malacologica* **26**, 1, 3–15. doi: 10.12657/folmal.026.002.

Schniebs K., Glöer P., Vinarski M.V., Beran L. and Hundsdoerfer A.K., 2019. Intraspecific morphological and genetic variability in the Palaearctic freshwater snail *Radix ampla* (Hartmann, 1821) (Gastropoda: Basommatophora: *Lymnaeidae*). *Journal of Conchology* **43**, 3, 245-267.

Shapiro S.S. and Wilk M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**, 3-4, 591–611.

Smith G., 1981. A three-year study of *Lymnaea truncatula* habitats, disease foci of

fascioliasis. *British Veterinary Journal* **137**, 4, 398–410.

Vareille-Morel C., Abrous M., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1998. Oviposition behaviour of *Lymnaea truncatula* in central France. *Journal of Molluscan Studies* **64**, 3, 387–391. doi: 10.1093/mollus/64.3.387.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2007. Les habitats des *Lymnaeidae* sur sol acide. A propos de quelques observations dans la région Limousin sur une trentaine d'années. *MalaCo* **4**, 143–147.

Vignoles G., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2017. Detection of habitats colonized by *Omphiscola glabra* (Gastropoda: *Lymnaeidae*) on acid soils using indicator plants. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **53**, 261–269. doi : 10.1051/limn/2017010.

Vinarski M.V., 2013. One, two, or several? How many lymnaeid genera are there? *Ruthenica* **23**, 1, 41–58.

Vinarski M.V., 2014. A comparative study of shell variation in two morphotypes of *Lymnaea stagnalis* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata). *Zoological Studies* **53**, 69. doi: 10.1186/s40555-014-0069-4.

Welter-Schultes F., 2012. European non-marine mollusks, a guide for species identification. Planet Poster Editions, Göttingen, 674 p.

Tableau 1 : Localisation géographique et coordonnées GPS des quatre populations de *Galba truncatula* dans les départements de la Creuse et de la Haute-Vienne.

Morphotype de <i>Galba truncatula</i>	Localité	Département	Coordonnées GPS	
			Latitude	Longitude
Coquilles à tours convexes, peu étagés	Chavanat	Creuse	45°57'18" N	1°57'32" E
	Châteauponsac	Haute-Vienne	46°8'3" N	1°17'36" E
Coquilles à tours nettement étagés « en marches d'escalier »*	Saint-Michel-de-Veisse	Creuse	45°55'47" N	2°2'34" E
	Rancon	Haute-Vienne	46°6'56" N	1°10'50" E

* Populations témoins.

Tableau 2 : Valeurs moyennes et écarts types pour quatre dimensions mesurées à la fin mai 2014 chez 200 *Galba truncatula* provenant de quatre populations et appartenant à la génération transhivernante. Les valeurs de trois rapports sont également indiquées. Les calculs statistiques n'ont été effectués que sur les quatre dimensions.

Paramètre ou rapport en mm	Localité (département)			
	Chavanat (Creuse)	Saint-Michel-de-Veisse (Creuse)	Châteauponsac (Haute-Vienne)	Rancon (Haute-Vienne)
Hauteur de la coquille (A)	7,91 ± 0,38	8,15 ± 0,49	8,21 ± 0,53	8,05 ± 0,60
Largeur du dernier tour (B)	3,34 ± 0,29	4,06 ± 0,33	3,49 ± 0,30	3,92 ± 0,24
Hauteur de l'ouverture (C)	3,59 ± 0,23	3,63 ± 0,26	3,51 ± 0,31	3,57 ± 0,35
Largeur de l'ouverture (D)	2,51 ± 0,20	2,90 ± 0,31	2,52 ± 0,22	2,96 ± 0,26
Rapport A/B	2,37 ± 0,12	2,00 ± 0,06	2,35 ± 0,08	2,04 ± 0,07
Rapport A/C	2,20 ± 0,06	2,24 ± 0,05	2,34 ± 0,08	2,25 ± 0,08
Rapport B/D	1,33 ± 0,06	1,40 ± 0,08	1,38 ± 0,06	1,33 ± 0,05

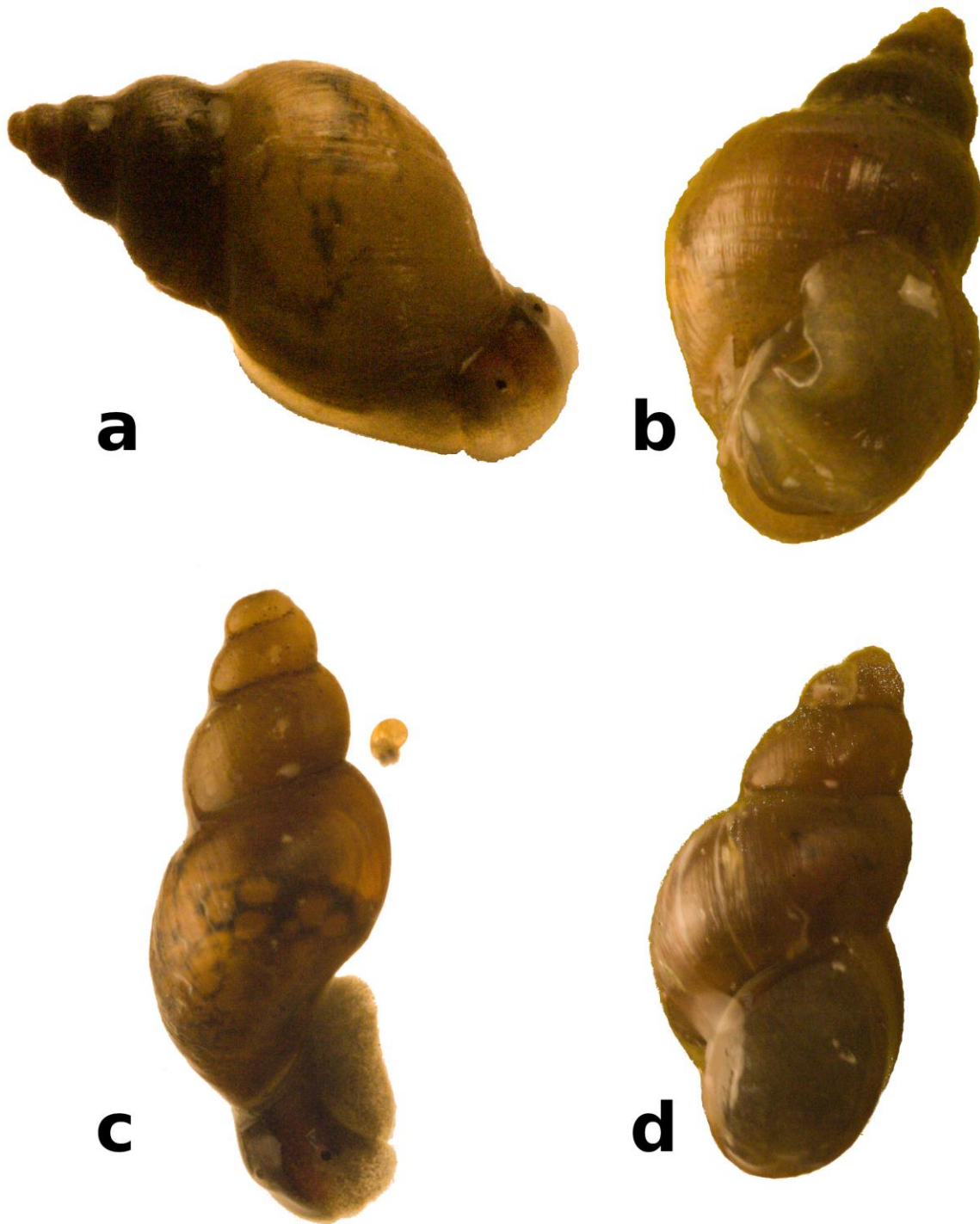


Figure 1 : Les deux morphotypes de *Galba truncatula* : 1a et b, coquille assez ventrue, avec des tours de spire nettement étagés « en marches d’escalier » (individus provenant de Saint-Michel-de-Veisse, Creuse) ; 1c et d, coquille élancée avec des tours de spire peu étagés et un dernier tour peu développé (individus provenant de Châteauponsac, Haute-Vienne). Face supérieure des spécimens : 1a et 1c ; face inférieure avec l’ouverture : 1b et 1d. Hauteur de coquille des spécimens : 6,71 mm (Saint-Michel-de-Veisse), 7,92 mm (Châteauponsac).

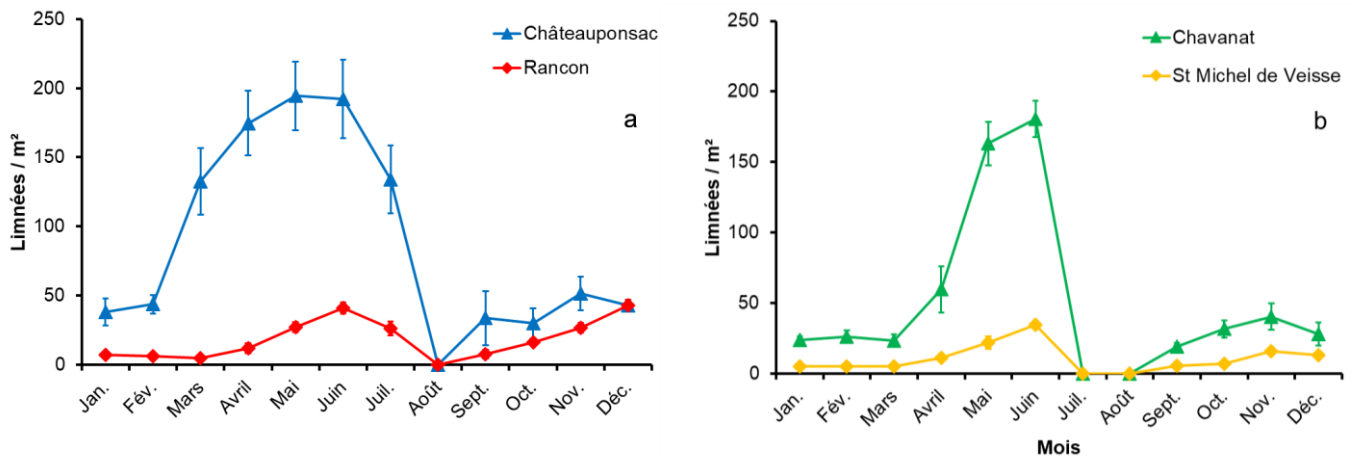


Figure 2 : Variations numériques mensuelles des limnées au cours de l'année chez les quatre populations de *Galba truncatula* : limnées de la Haute-Vienne (2a) et individus de la Creuse (2b). Les valeurs moyennes sont données avec leurs écarts types.

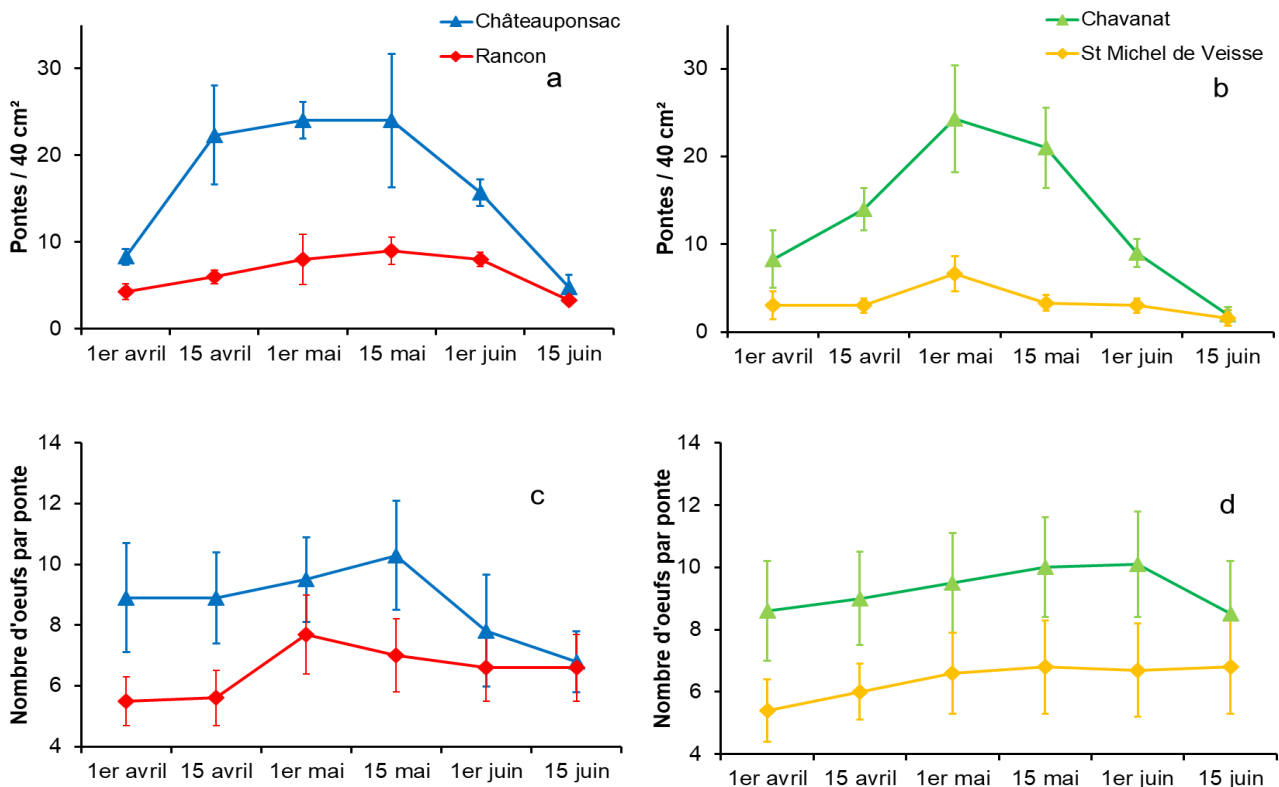


Figure 3 : Variations bimensuelles de deux paramètres chez *Galba truncatula* au cours des pontes printanières : la densité des masses d'oeufs sur une surface de 40 cm² (3a, b) et le nombre d'oeufs par ponte (3c, d). Les valeurs moyennes sont données avec leurs écarts types.

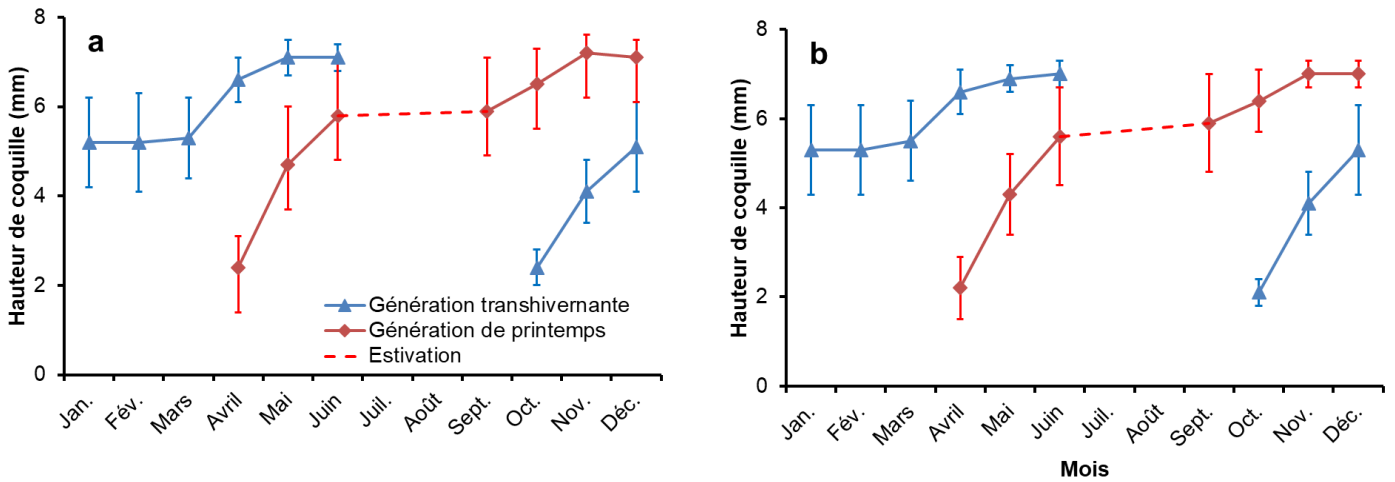


Figure 4 : Variations mensuelles de la hauteur de coquille chez deux populations de *Galba truncatula* au cours de l'année : Chavanat (4a) et Saint-Michel-de-Veisse (4b). Les valeurs moyennes sont données avec leurs écarts types.

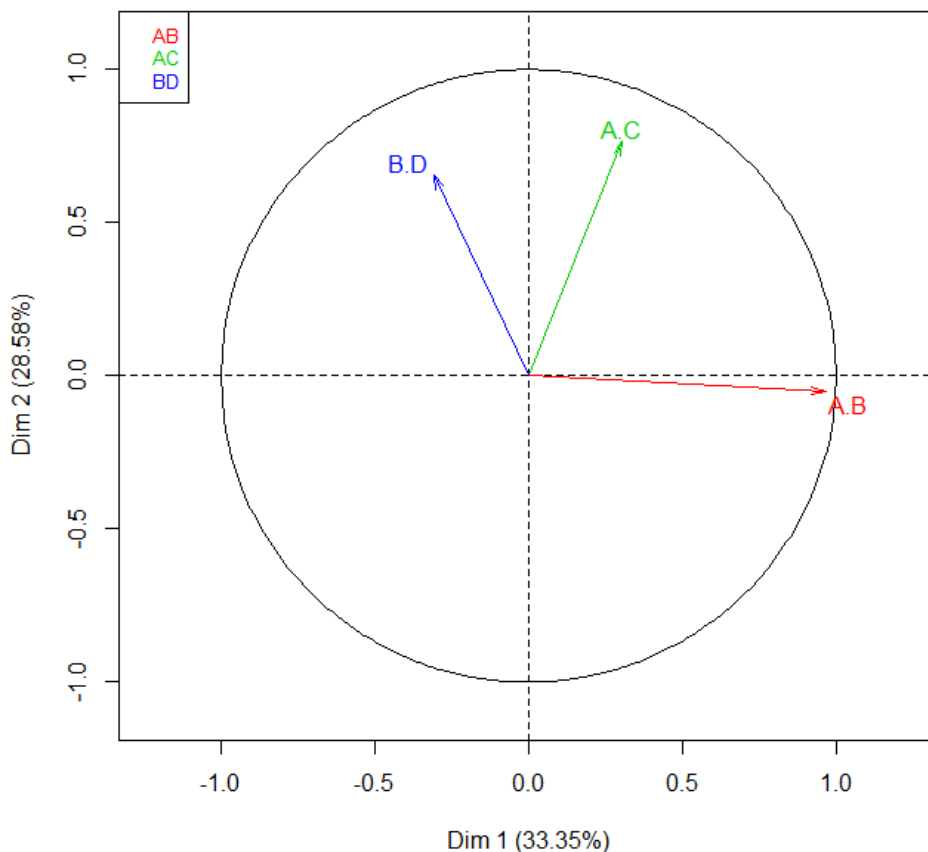


Figure 5 : Analyse factorielle multiple réalisée avec les quatre populations de *Galba truncatula* et les valeurs de trois rapports : contribution relative de chaque rapport à la composante. Rapports : AB, hauteur de la coquille / largeur du dernier tour de spire ; AC, hauteur de la coquille / hauteur de l'ouverture ; BD, largeur du dernier tour de spire / largeur de l'ouverture.

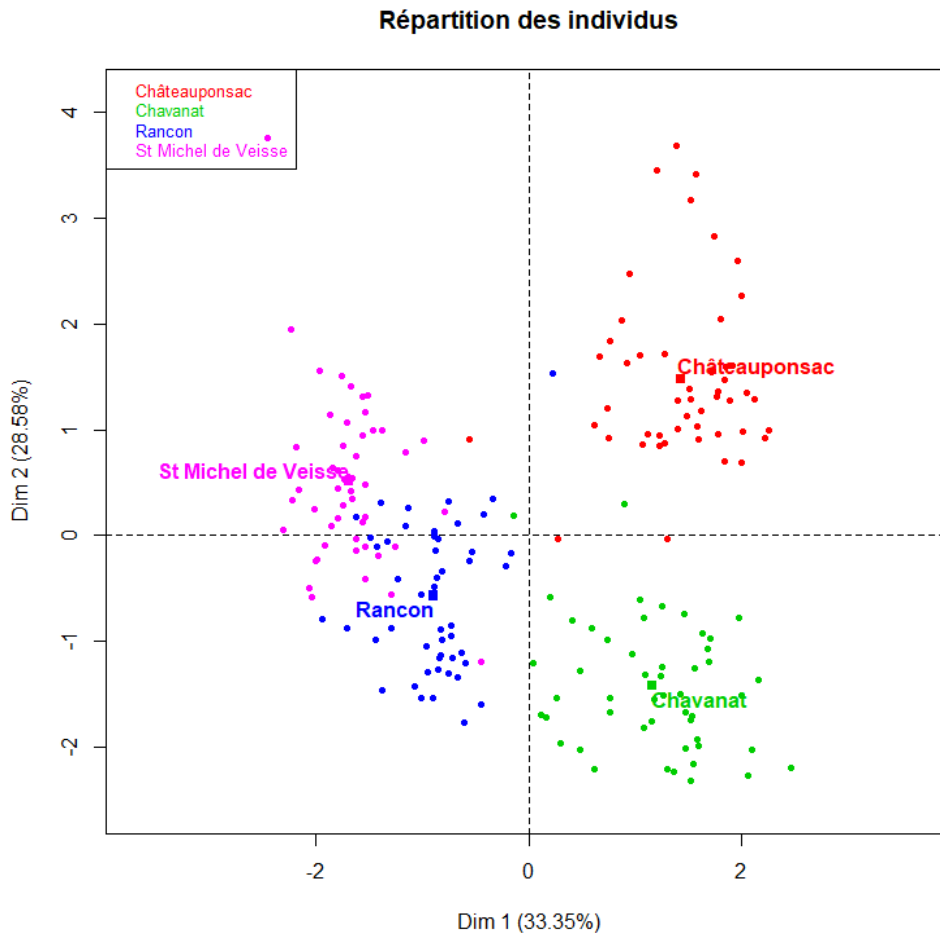


Figure 6 : Analyse factorielle multiple réalisée avec les quatre populations de *Galba truncatula* et les valeurs de trois rapports : répartition des individus pour chaque population.

***Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) et *Omphiscola glabra* (O.F. Müller, 1774) (Mollusques : *Lymnaeidae*) : influence de l'altitude sur les caractéristiques des populations vivant sur les sols acides de la Haute-Vienne.**

Gilles DREYFUSS*, Philippe VIGNOLES, Daniel RONDELAUD

¹ gilles.dreyfuss@unilim.fr

Laboratoire de Parasitologie, Faculté de Pharmacie, Université de Limoges, 87025 Limoges Cedex

Résumé :

Une étude rétrospective sur les populations de *Galba truncatula* et d'*Omphiscola glabra* vivant sur sols acides a été réalisée afin de déterminer l'influence de l'altitude sur leur distribution et les caractéristiques de leurs habitats. La fréquence des populations dans chaque municipalité et le nombre des individus transhivernants dans chaque population ont présenté une diminution significative lorsque l'altitude moyenne augmente. Un résultat similaire a été noté pour la superficie des habitats occupés par *G. truncatula*. Par contre, celle des sites colonisés par *O. glabra* n'a pas montré de variation significative par rapport à l'altitude. Ces résultats peuvent s'expliquer par la diminution de la température avec l'altitude et/ou par une plus grande acidité des sols lorsqu'ils sont au-dessus de 500 m d'altitude en Haute-Vienne.

Mots-Clés : écologie, *Galba truncatula*, *Lymnaeidae*, *Omphiscola glabra*, population, sol acide.

***Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) and *Omphiscola glabra* (O.F. Müller, 1774) (Mollusca: *Lymnaeidae*): influence of altitude on the characteristics of populations living on the acidic soils of Haute Vienne.**

Abstract:

A retrospective study on the populations of *Galba truncatula* and *Omphiscola glabra* living on acidic soils was carried out to determine the influence of altitude on their distribution and the characteristics of their habitats. The frequency of populations in each municipality and the number of overwintering individuals in each population decreased significantly with increasing mean altitude. A similar result was noted for the area of habitats occupied by *G. truncatula*. On the other hand, that of sites colonized by *O. glabra* did not show any significant variation in relation to altitude. These results can be explained by the drop in temperature with the increase in altitude and/or by a greater acidity of the soils above 500 m in altitude in Haute Vienne.

Key-Words: acidic soil, ecology, *Galba truncatula*, *Lymnaeidae*, *Omphiscola glabra*, population.

Introduction

Plusieurs espèces de *Lymnaeidae* ont été reconnues sur les terrains cristallophylliens ou métamorphiques de la Haute-Vienne (Vareille-Morel *et al.*, 2007). Les deux plus fréquentes sont *Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) et *Omphiscola glabra* (O.F. Müller, 1774).

Ces deux limnées s'observent essentiellement dans les prairies marécageuses, mais elles occupent des habitats différents sur le réseau de drainage superficiel qui est généralement présent dans ces pâtures. La première limnée colonise préférentiellement l'extrémité périphérique des rigoles de drainage, qu'il

y ait ou non une source temporaire, tandis qu'*O. glabra* se rencontre sur le cours moyen de ces mêmes rigoles (Vareille-Morel *et al.*, 1999). Les communautés mixtes avec les deux espèces vivant ensemble dans le même habitat sont assez rares dans le département (Dreyfuss *et al.*, 2014). D'autres types d'habitats colonisés par l'une ou l'autre des limnées ont été également reconnus sur les sols acides : fossés de route ou de chemin, bords d'étang, berges de ruisseau ou de rivière (Rondelaud *et al.*, 2011 ; Vignoles *et al.*, 2017). Mais ces habitats sont en nombre plus faible que ceux présents dans les prairies marécageuses (Vareille-Morel *et al.*, 2007).

Plusieurs études écologiques ont déjà été réalisées sur ces populations de limnées à partir des années 2010. La superficie des habitats occupés par chaque espèce et l'abondance des mollusques transhivernants ont été précisées pour chaque plante indicatrice (la présence de ces plantes dans in site indique l'existence d'un point d'eau dans lequel une limnée est susceptible de vivre) et chaque type d'habitat (Rondelaud *et al.*, 2011, 2017 ; Vignoles *et al.*, 2017). De plus, il existe une relation négative entre l'accroissement de l'altitude dans le département de la Haute-Vienne et la diminution dans la fréquence des populations pour *G. truncatula* comme pour *O. glabra* (Dreyfuss *et al.*, 2018a, b). C'est ainsi que la fréquence des populations de *G. truncatula* montre une diminution significative lorsque l'altitude augmente : de 71,3 % dans les municipalités en dessous de 300 m à 13,7 % dans celles qui sont situées au-dessus de 500 m en altitude (Dreyfuss *et al.*, 2018a). La même diminution dans la fréquence des populations s'observe aussi lorsque la pluviométrie annuelle moyenne s'accroît. En revanche, cette fréquence augmente de manière graduelle avec l'augmentation de la température annuelle moyenne (Dreyfuss *et al.*, 2018a, b).

Le problème posé par les résultats précités réside dans le fait que ces études ont été menées de manière séparée pour chaque limnée. Comme les deux espèces vivent ensemble dans la même rigole de drainage superficiel ou le même fossé de route, souvent à une faible distance l'une de l'autre (Vareille-Morel *et al.*, 1999), nous nous sommes posés la question de savoir *i*) si les données obtenues pour l'une et l'autre limnées allaient dans le même sens et pouvaient donc être généralisées ou *ii*) si, au contraire, les résultats sont propres à chaque espèce. Une étude rétrospective a donc été entreprise afin de répondre à cette question en vérifiant l'une ou l'autre possibilité. Pour cette étude, nous nous sommes intéressés aux populations de *G. truncatula* et d'*O. glabra* vivant dans le département de la Haute-Vienne car c'est le département pour lequel nous avons le plus de données.

Matériel et méthodes

La zone concernée par ces investigations et le protocole d'étude ont déjà été indiqués dans plusieurs publications (Rondelaud *et al.*, 2011 ; Vignoles *et al.*, 2017 ; Dreyfuss *et al.*, 2018a, b). Nous résumons ci-dessous les principales données.

Zone d'étude

Le département de la Haute-Vienne est situé dans la partie nord-ouest du Massif Central (Fig. 1a) et sa superficie est d'environ 5520 km². Il comprend trois districts : la Basse-Marche (altitude, 150-300 m) dans le tiers nord, les vallées de la Vienne et de ses affluents (altitude, 150-400 m) largement situées dans la partie centrale, et les plateaux et les Monts du Limousin avec une altitude comprise entre 300 et 777 m (Chèvremont, 2008). La figure 1b montre que les communes concernées par les Monts du Limousin se situent le long des bordures est, sud-est et sud-ouest du département. Le sous-sol est composé de granite ou de gneiss, avec quelques affleurements de micaschiste ou

de serpentinite. Le résultat est la présence de nombreuses rivières (> 7000 km). Le pH de l'eau courante varie de 5,6 à 7 dans la plupart des cas et la teneur en calcium dissous est généralement inférieure à 20 mg/L (Guy *et al.*, 1996). Le climat de type continental est modulé par les vents humides provenant de l'Océan Atlantique. Cependant, dans sa partie orientale, le climat subit une influence montagnarde due à la proximité du Massif Central (Chèvremont, 2008).

Les populations de limnées

De nombreuses populations ont été identifiées entre 1970 et 2006 lors de prospections dans 234 fermes élevant des bovins ou des ovins (Rondelaud *et al.*, 2011 ; Vignoles *et al.*, 2017). D'autres populations ont été découvertes *i*) entre 1986 et 1995 dans 25 autres fermes pour étudier l'implantation de limnées placées expérimentalement dans de nouveaux habitats potentiels (Vareille-Morel *et al.*, 2002) et *ii*) entre 1998 et 2000 lors d'une étude pour cartographier la répartition des limnées dans le nord du département (Rondelaud *et al.*, 2000b). Les populations restantes ont été découvertes lors d'études plus ciblées dans des cressonnières sauvages, sur des étangs ou des ruisseaux (Dreyfuss *et al.*, 1997 ; Rondelaud *et al.*, 2000a ; Rondelaud, 2004).

Les 7407 populations de *G. truncatula* impliquées dans cette étude ont été identifiées sur 179 municipalités de la Haute-Vienne, tandis que celles d'*O. glabra* ont été reconnues sur 158 communes. Les autres municipalités, soit 20 pour *G. truncatula* et 41 pour *O. glabra*, ont été exclues en raison *i*) d'un nombre trop faible de collections d'eau prospectées sur chaque commune entre 1970 et 2006 par rapport à sa superficie (voir ci-dessous) ou *ii*) de l'absence d'*O. glabra* dans les points d'eau lorsque l'altitude moyenne de la municipalité est supérieure à 500 m (10 cas).

Le tableau 1 indique le nombre de collections d'eau prospectées pour y

trouver des limnées et celui des habitats avec des mollusques en vie. La plupart des populations ont été trouvées dans des prairies marécageuses avec un système de drainage superficiel : sur les rigoles de drainage elles-mêmes (3986 pour *G. truncatula* et 1463 pour *O. glabra*), dans des sources temporaires ou permanentes, chacune étant entourée d'une jonchaie (1176 et 105 par ordre respectif) ou le long du fossé principal de drainage (525 et 82). Les autres populations ont été identifiées dans des fossés de route, dans des ruisseaux de moins d'un mètre de largeur, sur des bords d'étang ou sur des berges de rivière (pour *G. truncatula* uniquement).

Protocole des investigations

Les habitats de *G. truncatula* et d'*O. glabra* ont été recherchés en mars ou en avril en utilisant la méthode des plantes indicatrices (Over, 1962). Deux espèces : *Juncus acutiflorus* Ehrhart ex Hoffmann, 1791 et *J. effusus* Linnaeus, 1753, ont été utilisées. Lorsqu'une plante a été notée à côté d'une collection d'eau, la zone correspondante a été étudiée pour y détecter la présence des limnées. Si celles-ci sont présentes, l'abondance de la population est déterminée par un décompte des individus transhivernants car cette génération n'est alors composée que d'adultes. La superficie de chaque habitat est ensuite calculée.

Le nombre de points d'eau prospectés dépend de la superficie de la commune sur laquelle ils sont situés. Dans le cas de *G. truncatula*, ce nombre est d'au moins 60 collections pour chacune des 108 municipalités les plus petites (< 30 km²), de 90 à 100 pour chacune des 53 municipalités de taille intermédiaire (31-50 km²) et de 120 ou plus pour chacune des 18 plus grandes (> 50 km²). Les nombres de points d'eau prospectés sont plus faibles dans le cas d'*O. glabra* : 45, 65-75 et 95 ou plus pour un nombre de 94, 48 et 16 municipalités par ordre respectif.

L'altitude moyenne de chaque municipalité a été obtenue en considérant

celle de sa ville principale et a été déterminée en utilisant le website Carte-de-France (<http://www.cartesfrance.fr>). Des tranches de 100 m chacune (< 300 m, 301-400 m, 401-500 et > 500 m) ont été utilisées. Les valeurs individuelles notées pour chacun des trois paramètres étudiés ont été analysées en fonction des différentes catégories d'altitude.

Paramètres étudiés

Le premier est la fréquence des habitats occupés par *G. truncatula* ou *O. glabra* dans chaque municipalité. Les pourcentages individuels dans les catégories d'altitude ont été soumis à une régression linéaire simple. Les deux autres paramètres sont la superficie de chaque habitat et la densité des limnées transhivernantes par m² d'habitat. Les valeurs individuelles de ces deux paramètres dans chaque catégorie d'altitude ont été ramenées à une moyenne avec calcul de son écart type. La normalité de ces valeurs a d'abord été analysée en utilisant le test de Shapiro-Wilk (Shapiro et Wilk, 1965). Comme leurs distributions n'étaient pas normales, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé ensuite pour établir les niveaux de signification statistique. Nous avons également utilisé le package R *pgirmess* (Siegel et Castellan, 1988) comme test post-hoc pour effectuer des comparaisons par paires. Les différentes analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R 3.3.0 (R Core Team, 2016).

Résultats

Altitude et fréquence des populations

Le tableau 2 montre une diminution des fréquences avec l'augmentation de l'altitude, quelle que soit l'espèce de la limnée. Chez *G. truncatula*, le pourcentage décroît de 71,3 % dans les municipalités en-dessous de 300 m à 13,7 % dans celles qui sont situées au-dessus de 500 m d'altitude, tandis que chez *O. glabra*, la fréquence chute de 28,3 % dans les communes de moins de 300 m à 12,4 % dans celles au-dessus de 400 m. Dans les

deux cas, cette diminution dans les fréquences est significativement corrélée ($p < 0,1$ %) avec l'augmentation de l'altitude (Tableau 3). Chez *G. truncatula*, ce modèle permet d'expliquer 69,7 % de la variance totale dans la fréquence des populations, tandis que chez *O. glabra*, le modèle utilisé peut expliquer 43 % de la variance totale.

Altitude et caractéristiques des habitats

La superficie des habitats de *G. truncatula* (Tableau 4) diminue considérablement ($H = 52,59$; $p < 0,1$ %) avec l'augmentation de l'altitude, en passant de 1,6 m² dans les municipalités de moins de 300 m à 1,1 m² dans celles de plus de 500 m. Si l'on fait exception de la différence entre les moyennes dans les classes < 300 m et 300-400 m, les différences entre les autres catégories sont significatives. A l'inverse, la superficie des habitats d'*O. glabra* ne présente pas de variation significative par rapport à l'altitude des communes. La densité des *G. truncatula* transhivernants par m² d'habitat diminue aussi ($H = 166,85$; $p < 0,1$ %) avec l'augmentation de l'altitude, en passant de 16,0/m² dans les municipalités de moins de 300 m à 11,9/m² dans les plus de 500 m. La comparaison par paires montre que toutes les différences sont significatives. De la même façon, la densité des *O. glabra* diminue significativement ($H = 128,99$; $p < 0,1$ %) avec l'augmentation de l'altitude, en passant de 7,5 adultes/m² dans les communes de moins de 300 m d'altitude à 4,4/m² dans celles à plus de 400 m. Les différences existant entre les tranches d'altitude sont toutes significatives.

Discussion

Il est difficile de définir avec précision les facteurs environnementaux qui déterminent la distribution et l'abondance des mollusques terrestres ou aquatiques car la plupart des variables étudiées sont le plus souvent interdépendantes. De plus, les

études ne portent généralement que sur un nombre limité de variables environnementales, ce qui donne une description partielle et locale de l'habitat. Les facteurs déterminants, que les auteurs reconnaissent, sont le climat, la végétation et le sol (Labaune et Magnin, 2001). Parmi ces facteurs, la diminution de la température avec l'altitude est certainement un facteur limitant pour diverses espèces. Plusieurs études ont montré l'impact de l'altitude (du point de vue climatique) sur la richesse et la composition des communautés de mollusques (Cameron and Greenwood, 1991 ; Dyduch-Falsniowska, 1991, par exemple). Cependant, des facteurs autres que le climat peuvent aussi expliquer des variations dans la distribution et l'abondance des mollusques (Labaune et Magnin, 1991).

Sur les sols acides de la Haute-Vienne, les deux espèces de limnées présentent une diminution significative dans la fréquence de leurs populations lorsque l'altitude moyenne des municipalités s'élève de moins de 300 m à plus de 500 m. Ce paramètre est fortement corrélé avec la climatologie locale car son augmentation s'accompagne d'une hausse graduelle de la pluviométrie annuelle moyenne de 900 mm à plus de 1200 mm tandis que la température annuelle moyenne chute de 11° C à moins de 9,5° C (Dreyfuss *et al.*, 2018a, b). En Afrique du Sud, de Kock *et al.* (2003) ont rapporté des résultats similaires aux nôtres lorsqu'ils ont étudié la distribution de 723 populations de *G. truncatula* en relation avec l'altitude et le climat local. Selon ces auteurs, la température était un facteur déterminant dans la répartition géographique de l'espèce, tandis que l'altitude n'avait qu'un rôle limité en raison de la diversité des paysages et des conditions climatiques (de Koch *et al.*, 2003). La diminution du nombre des populations constatée dans la Haute-Vienne peut être due à la baisse de la température car un minimum d'au moins 10° C est nécessaire à la croissance de *G.*

truncatula sur le terrain comme au laboratoire (Kendall, 1953, 1965). Un argument supportant cette approche est l'existence d'une seule génération annuelle pour *G. truncatula* (au lieu de deux dans les plaines) dans le département de la Creuse à plus de 500 m d'altitude (Rondelaud et Mage, 1992) ou dans le Jura français et les Alpes lorsque l'altitude s'élève (de Massias *et al.*, 1996).

Cette première explication est cependant loin d'être satisfaisante et un facteur supplémentaire doit être recherché pour expliquer cette diminution des populations en Haute-Vienne lorsque l'altitude s'élève. Comme *O. glabra* est une espèce de plaine avec une aire de répartition ne dépassant pas 338 m d'altitude en Norvège (Økland, 1990) et comprise entre 400 et 500 m sur le territoire français (Germain, 1930-1931), il est inutile de rechercher cette limnée au-dessus de 500 m. Par contre, *G. truncatula* a déjà été observé jusqu'à 1200 m dans le Jura français (de Massias *et al.*, 1996), 2 100 m en Suisse (Eckert *et al.*, 1975) et 2600 m dans les Alpes françaises (de Massias *et al.*, 1996) et les Pyrénées (Combes, 1968). Dans ces conditions, il est nécessaire d'admettre que des conditions écologiques spécifiques pour *G. truncatula* existeraient dans les communes de la Haute-Vienne au-dessus de 500 m. A notre avis, l'hypothèse la plus solide est d'admettre que les terrains cristallophylliens ou métamorphiques seraient plus acides en altitude. Cette hypothèse s'appuie sur les deux observations suivantes : *i*) le pH de l'eau qui circule dans 24 jonchaies prairiales de la Basse-Marche se distribue entre 5,9 et 7,8, alors que les valeurs varient de 5,6 à 6,8 dans 29 jonchaies de pente, situées dans les Monts d'Ambazac (Guy, 1996 ; Guy *et al.*, 1996) ; *ii*) la présence de 2582 tourbières acides recensées dans les trois départements du Limousin lorsque l'altitude s'élève, avec une superficie pouvant aller de quelques centaines de mètres carrés à plus de 40 ha,

ce qui représente une surface totale de 11.442 ha (Blondel *et al.*, 2011).

Nos observations ont également montré que le nombre des mollusques transhivernants diminue dans les populations de l'une ou de l'autre limnée lorsque l'altitude moyenne des communes augmente. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Økland (1990) qui rapporte, lui aussi, une diminution dans l'abondance de ces deux espèces sur les sols acides de la Norvège lorsque l'altitude s'accroît. Il s'agit donc d'un phénomène général qui affecte les deux espèces de limnées. A notre avis, les conditions climatiques locales existant dans les communes de la Haute-Vienne au-dessus de 400 m d'altitude auraient un effet négatif sur la couverture algale, dont se nourrissent les limnées, en limitant son développement dans le temps, ce qui affecterait, par suite, le nombre des mollusques dans chaque population. Les résultats sur la superficie des habitats sont plus surprenants. Dans le cas de *G. truncatula*, cette superficie diminue avec l'altitude alors qu'elle ne présente pas de variation significative dans le cas d'*O. glabra*. Deux explications peuvent être proposées pour expliquer cette discordance. La première est de rapporter ce résultat aux habitats de chaque limnée car ceux-ci sont plus étendus dans le cas d'*O. glabra* que chez l'autre espèce. D'après Rondelaud *et al.* (2011), 80,8 % des habitats de *G. truncatula* (sur les 7709 que ces auteurs ont inventoriés sur sols acides) ont une superficie inférieure ou égale à 3 m². A l'inverse, la superficie des habitats d'*O. glabra* peut dépasser 40 m², avec un maximum (42,9 %) de sites s'étendant sur 5 à 10 m² (Vignoles *et al.*, 2017). La seconde explication est liée au type d'habitat que *G. truncatula* colonise par rapport à l'altitude. Les habitats dans les fossés de route ou de chemin sont nombreux en dessous de 400 m d'altitude. Mais leur nombre décroît fortement entre 400 et 500 m pour être très faible au-dessus de 500 m. La diminution de leur nombre à partir de 400 m d'altitude peut

expliquer les superficies plus faibles que nous avons notées entre 400 et 570 m.

Conclusion

Les deux espèces de limnées ont montré une diminution dans le nombre de leurs populations et dans celui des individus transhivernants pour chaque population lorsque l'altitude des communes augmente sur les sols acides de la Haute-Vienne. D'autres investigations sont encore nécessaires pour déterminer si cette diminution des populations, puis leur disparition en fonction de l'altitude se retrouve sur des terrains sédimentaires placés dans les mêmes conditions d'altitude.

Bibliographie

Blondel L., Bonhomme M., Cruveilhaer M., Guerbaa K. et Hennequin E., 2011. Tourbières en Limousin. Conservatoire des Espaces Naturels du Limousin, Saint-Gence, 7 p. Website : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/The_mes/Environnement/Milieus/Zones_humides/Tourbieres/Limousin/Limousin.pdf. Consulté le 30 décembre 2017.

Cameron R.A.D. and Greenwood J.J.D., 1991. Some montane and forest molluscan faunas from eastern Scotland: effects of altitude, disturbance and isolation. *Proceedings of the Tenth International Malacological Congress, Tübingen, 1989*, 437–442.

Chèvremont P., 2008. Carte géologique harmonisée du département de la Haute-Vienne (87). Notice technique. BRGM/RP-57447-FR, Orléans, 236 p.

Combes C., 1968. Biologie, écologie des cycles et biogéographie de Digènes et Monogènes d'Amphibiens dans les Pyrénées. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Série A : Zoologie* **51**, 1–195.

- De Kock K.N., Wolmarans C.T. and Bornman M., 2003. Distribution and habitats of the snail *Lymnaea truncatula*, intermediate host of the liver fluke *Fasciola hepatica*, in South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association* **74**, 117–122.
- De Massias E., Rondelaud D., Mage C. and Gevrey J., 1996. *Lymnaea truncatula* Müller dans les zones de haute altitude. Existence d'une seule génération annuelle. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **14**, 54–61.
- Dreyfuss G., Vareille-Morel C. et Rondelaud D., 1997. Les habitats de *Lymnaea truncatula* Müller (Mollusque) le long de deux rivières. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **33**, 67–72.
- Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2014. *Fasciola hepatica* and *Paramphistomum daubneyi*: decrease in prevalence of natural infection in habitats colonized by *Galba truncatula* and *Lymnaea glabra*. *Revue de Médecine Vétérinaire* **165**, 160–166.
- Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018a. Relationships between the distribution of *Galba truncatula* (Gastropoda: *Lymnaeidae*), climatic conditions and the altitude of municipalities in Haute Vienne (France). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **54**, 19.
- Dreyfuss G., Vignoles P. et Rondelaud D., 2018b. *Omphiscola glabra* O.F. Müller, 1774 (Gastropoda, *Lymnaeidae*): la distribution des populations et les caractéristiques de leurs habitats par rapport à l'altitude et aux conditions climatiques de la Haute-Vienne. *MalaCo* **14**, 1–4.
- Dyduch-Falsniowska A., 1991. The gastropods of the Polish Tatras. *Studia Naturae, Seria A*, **38**, 1–111.
- Eckert J., Sauerländer R. and Wolff K., 1975. Häufigkeit und geographische Verbreitung von *Fasciola hepatica* in der Schweiz. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* **117**, 173–184.
- Germain L., 1930-1931. Mollusques terrestres et fluviatiles. Faune de France, n° 21 et n° 22. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris, 893 p.
- Guy F., 1996. Étude de relations entre la végétation et le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller dans les jonchaies prairiales de la Haute-Vienne. Thèse d'exercice en Pharmacie, Université de Limoges, 103 p.
- Guy F., Rondelaud D., Botineau M., Dreyfuss G. et Ghestem A., 1996. Etude de relations entre les plantes les plus fréquentes et l'abondance de *Lymnaea truncatula* Müller, vecteur de *Fasciola hepatica* Linné dans les prairies marécageuses sur sol acide. *Revue de Médecine Vétérinaire* **147**, 465–470.
- Kendall S.B., 1953. The life-history of *Limnaea truncatula* under laboratory conditions. *Journal of Helminthology* **27**, 17–28.
- Kendall S.B., 1965. Relationships between the species of *Fasciola* and their molluscan hosts. *Advances in Parasitology* **3**, 59–98.
- Labaune C. and Magnin F., 2001. Land snail communities in Mediterranean upland grasslands: the relative importance of four sets of environmental and spatial variables. *Journal of Molluscan Studies* **67**, 463–474
- Økland J., 1990. Lakes and snails. Environment and gastropods in 1,500 Norwegian lakes, ponds and rivers.

Universal Book Services/Dr. W. Backhuys, Oegstgeest, 516 p.

Over H.J., 1962. A method of determining the liver fluke environment by means of the vegetation type. *Bulletin de l'Office International des Epizooties* **58**, 297–304.

R Core Team. 2016. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Website: <https://www.R-project.org>. Consulté le 27 mai 2016.

Rondelaud D., 2004. Cressonnières naturelles du Limousin et risques de distomatose humaine à *Fasciola hepatica*. *Annales Scientifiques du Limousin* **15**, 1–14.

Rondelaud D. and Mage C., 1992. *Lymnaea truncatula* Müller : les conséquences d'une seule génération annuelle sur les caractéristiques de l'infestation par *Fasciola hepatica* L. *Revue de Médecine Vétérinaire* **143**, 843–846.

Rondelaud D., Dreyfuss G., Bouteille B. and Dardé M.L., 2000a. Changes in human fasciolosis in a temperate area. About some observations over a 28-year period in central France. *Parasitology Research* **86**, 753–757.

Rondelaud D., Vignoles P., Dreyfuss G., Vareille-Morel C., Xuereb F. et Apostoloff C., 2000b. Cartographie de la répartition des Mollusques *Lymnaeidae* et d'espèces voisines dans la Basse-Marche (secteur nord de la Haute-Vienne). *Annales Scientifiques du Limousin* **11**, 1–18.

Rondelaud D., Hourdin P., Vignoles P., Dreyfuss G. et Cabaret J., 2011. The detection of snail host habitats in liver fluke infected farms by use of plant indicators. *Veterinary Parasitology* **181**, 166–173.

Rondelaud, D., Vignoles, G., Dreyfuss, G., 2017. La Limnée étroite (*Omphiscola glabra* O.F. Müller, 1774) : les caractéristiques des habitats sur sols acides en fonction du type de biotope. *MalaCo* **13**, 1–4.

Shapiro S.S. and Wilk M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**, 591–611.

Siegel, S. and Castellan N.J., 1988. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. MacGraw Hill Int., New York, 399 p.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1999. The characteristics of habitats colonized by three species of *Lymnaea* in swampy meadows on acid soil: their interest for fasciolosis control. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **35**, 173–178.

Vareille-Morel C., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2002. Experimental colonization of new habitats by *Galba truncatula* O.F. Müller (Gastropoda: *Lymnaeidae*) in central France and their susceptibility to experimental infection with *Fasciola hepatica*. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **38**, 35–40.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 2007. Les habitats des *Lymnaeidae* sur sol acide. A propos de quelques observations dans la région Limousin sur une trentaine d'années. *MalaCo* **4**, 143–147.

Vignoles P., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2017. Detection of habitats colonized by *Omphiscola glabra* (Gastropoda: *Lymnaeidae*) on acid soils using indicator plants. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **53**, 261–269.

Tableau 1 : Collections d'eau étudiées entre 1970 et 2006 dans le département de la Haute-Vienne avec indication du nombre d'habitats colonisés par *Galba truncatula* ou par *Omphiscola glabra*.

Type de collection d'eau	<i>Galba truncatula</i>		<i>Omphiscola glabra</i>	
	Collections prospectées	Habitats avec limnées (%)	Collections prospectées	Habitats avec limnées (%)
Rigoles de drainage	5232	3986 (76,0)	3694	1463 (39,6)
Sources (prairies)	1601	1176 (73,4)	917	105 (11,4)
Fossés de drainage	1539	525 (34,1)	846	82 (9,6)
Zones piétinées	279	20 (7,1)	154	3 (1,9)
Fossés de route	2174	1138 (52,3)	1452	297 (20,4)
Bords d'étang	910	283 (31,0)	1024	61 (5,9)
Ruisseaux	903	184 (20,3)	963	139 (14,4)
Berges de rivière	840	95 (11,3)	0	0 (-)
Totaux	13,478	7407 (54,9)	9050	2150 (23,7)

Tableau 2 : Fréquence des habitats occupés par *Galba truncatula* et *Omphiscola glabra* dans le département de la Haute-Vienne entre 1970 et 2006 par rapport à l'altitude moyenne des municipalités. *, aucune population d'*O. glabra* n'a été identifiée au-dessus de 415 m d'altitude.

Altitude des municipalités (m)	<i>Galba truncatula</i>		<i>Omphiscola glabra</i>	
	Collections prospectées	Habitats avec limnées (%)	Collections prospectées	Habitats avec limnées (%)
< 300 m	5212	3721 (71,3)	3865	1096 (28,3)
[300;400 m[	5415	2980 (55,0)	4145	935 (22,5)
[400;500 m[	2067	598 (28,9)	1036	129 (12,4)
≥ 500 m	784	108 (13,7)	0*	0 (-)
Totaux	13.478	7407 (54,9)	9050	2150 (23,7)

Tableau 3 : Valeurs fournies par une régression linéaire simple lorsqu'elle est utilisée pour calculer la relation entre la fréquence des habitats avec *Galba truncatula* ou *Omphiscola glabra* et l'altitude moyenne des municipalités de la Haute-Vienne.

Equation et coefficients	Estimation	Erreur standard	Intervalles de confiance à 95 %	Valeur de <i>t</i>	Significativité
<i>Galba truncatula</i>					
Fréquence = $a \cdot \text{altitude} + b$					
<i>a</i>	$-1,79 \cdot 10^{-3}$	$8,83 \cdot 10^{-5}$	$[-1,96 \cdot 10^{-3} ; -1,62 \cdot 10^{-3}]$	-20,26	$p < 0,1 \%$
<i>b</i>	1,14	$3,03 \cdot 10^{-2}$	[1,08 ; 1,20]	37,70	$p < 0,1 \%$
Erreur standard résiduelle : 0,106 ; degrés de liberté : 177. R^2 multiple : 0,699 ; R^2 après ajustement : 0,697.					
<i>Omphiscola glabra</i>					
Fréquence = $a \cdot \text{altitude} + b$					
<i>a</i>	$-7,08 \cdot 10^{-4}$	$6,47 \cdot 10^{-5}$	[0,41 ; 0,49]	-10,93	$p < 0,1 \%$
<i>b</i>	$4,51 \cdot 10^{-1}$	$2,05 \cdot 10^{-2}$	[0,02 ; 0,97]	22,02	$P < 0,1 \%$
Erreur standard résiduelle : 0,054 ; degrés de liberté : 156. R^2 multiple : 0,433 ; R^2 après ajustement : 0,430.					

Tableau 4 : Superficie des habitats et densité des limnées transhivernantes par mètre carré d'habitat chez *Galba truncatula* et *Omphiscola glabra* par rapport à l'altitude moyenne des municipalités. Les écarts types sont indiqués entre parenthèses.

Paramètre et espèce de la limnée	Tranches d'altitude			
	< 300 m	[300;400 m[	[400;500 m[	≥ 500 m
Superficie (m ²)				
<i>Galba truncatula</i>	1,67 (0,84)	1,67 (0,81)	1,52 (0,68)	1,19 (0,34)
<i>Omphiscola glabra</i>	5,86 (2,48)	5,75 (2,55)	5,52 (2,35)	-
Densité des limnées/m ²				
<i>G. truncatula</i>	16,04 (3,94)	15,71 (3,88)	14,15 (4,14)	11,99 (4,08)
<i>O. glabra</i>	7,51 (3,61)	6,70 (3,65)	4,47 (2,27)	-

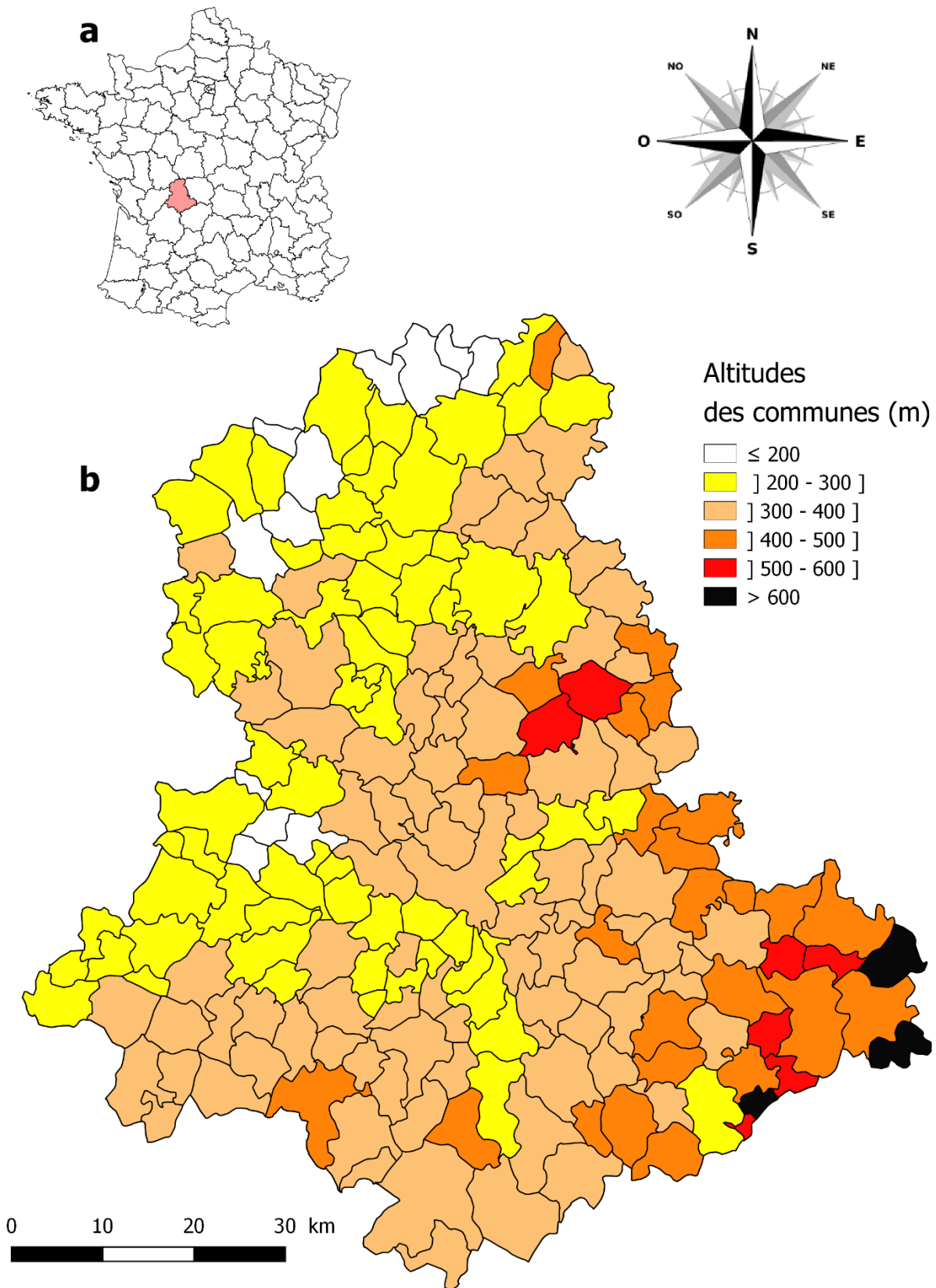


Figure 1 : Localisation de la Haute-Vienne sur le territoire français (a) et altitude moyenne des 200 municipalités constituant ce département (b). L'altitude moyenne est celle du chef-lieu de chaque commune.

Epidémiologie de la fasciolose dans le Limousin : bilan des recherches effectuées depuis les années 1970.

Philippe VIGNOLES¹, Philippe HOURDIN², Gilles DREYFUSS³, Daniel RONDELAUD⁴

¹philippe.vignoles@unilim.fr, ²philippe.hourdin@unilim.fr, ³gilles.dreyfuss@unilim.fr,

⁴daniel.rondelaud@unilim.fr

Laboratoire de Parasitologie^{1,3,4} et Laboratoire de Botanique², Faculté de Pharmacie, Université de Limoges, 87025 Limoges Cedex

Résumé :

Les auteurs dressent un bilan des recherches qu'ils ont effectuées depuis 1970 sur plusieurs espèces de *Lymnaeidae* dans le Limousin afin de déterminer leur rôle comme hôtes intermédiaires dans la transmission de la fasciolose humaine, de préciser plusieurs points dans le développement larvaire du parasite chez ces mollusques et de mettre au place un contrôle contre la limnée la plus fréquente, *Galba truncatula*. La fasciolose a fortement reculé dans la région depuis les années 2000 en raison de l'abandon du cresson « sauvage » dans la consommation humaine. Plusieurs espèces de limnées ont été identifiées dans ces cressonnières et trois modes d'infestation par *Fasciola hepatica* ont été mis en évidence. Chez *G. truncatula*, plusieurs générations rédiennes se succèdent dans le temps. La production de cercaires présente une variabilité en fonction des populations de limnées et également à l'intérieur d'une même population. Lors de l'évolution des formes larvaires du parasite, la limnée présente une pathologie au niveau de ses viscères. Dans les prairies sur sol acide, trois espèces d'escargots peuvent y vivre avec des caractéristiques propres pour chaque limnée. Deux types de contrôle pour *G. truncatula* ont été étudiés, l'un biologique basé sur des escargots prédateurs (*Zonitoides nitidus*) au début de l'assèchement estival, et l'autre intégré prenant en compte les différentes mesures connues pour déparasiter l'hôte définitif et éliminer la limnée. Les résultats obtenus lors de l'étude de ces différents thèmes sont analysés et plusieurs hypothèses de travail sont proposées pour les chercheurs à venir.

Mots-Clés : Contrôle, fasciolose, Limousin, *Lymnaeidae*, parasitologie.

Epidemiology of fasciolosis in Limousin: review of research carried out since the 1970s.

Abstract:

The authors take stock of the research they have carried out since 1970 on several species of *Lymnaeidae* in Limousin to determine their role as intermediate hosts in the transmission of human fasciolosis, to specify several points in the larval development of the parasite in these species. and to develop a control against the most common lymnaeid, *Galba truncatula*. Fasciolosis has declined sharply in the region since the 2000s due to the abandonment of "wild" watercress in human consumption. Several species of lymnaeids were identified in these watercress beds and three modes of snail infection with *Fasciola hepatica* were highlighted. In *G. truncatula*, several generations of rediae succeeded one another in time. In this species, the production of cercariae varied according to the lymnaeid population and also within the same population. During the development of parasite larval forms, the snail showed tissue lesions in its viscera. In the meadows on acid soil, three species of snails can live there with specific characteristics for each lymnaeid. Two types of control for *G. truncatula* were studied, one being biological with the use of predatory snails (*Zonitoides nitidus*) at the beginning of the summer drying, and the other integrated taking into account the various known measures to deworm the definitive host and eliminate the lymnaeid..

The results obtained during the study of these different themes are analyzed and several working hypotheses are proposed for future researchers.

Key-Words: Control, fasciolosis, Limousin, *Lymnaeidae*, parasitology.

Introduction

La distomatose à *Fasciola hepatica*, encore appelée fasciolose ou maladie de la Grande Douve du foie, est une parasitose de mauvaise renommée. La distribution de cette affection est mondiale et la maladie se rencontre essentiellement dans les pays où le climat est tempéré (Torgerson et Claxton, 1999). Mais les importations de bétail dans d'autres pays comme en Egypte (Lofty *et al.*, 2002 ; Periago *et al.*, 2008 ; Dar *et al.*, 2012) ou en Amérique du Sud (Mas-Coma *et al.*, 2009a) se sont traduites par l'introduction du parasite. Le cycle biologique de ce dernier est complexe car il fait intervenir un mollusque d'eau douce (une limnée) qui assure le développement des formes larvaires. Lorsque l'œuf pondu par le parasite adulte est excrété avec les fèces de l'hôte définitif (bovins, ovins, ...) dans le milieu extérieur et que les conditions sont favorables, il en sort un miracidium qui pénètre chez la limnée. Trois stades larvaires successifs : sporocyste, rédie et cercaire, se développent ensuite chez cette dernière pour aboutir à la sortie de cercaires libres à partir du mollusque hôte. Cette cercaire nage quelques minutes dans l'eau avant de se fixer sur une plante et se transformer en métacercaire. C'est cette dernière qui constituera la forme infectante et contaminera un nouvel hôte définitif si elle est ingérée avec la végétation. Elle se développe en une forme immature qui migre dans le parenchyme et devient adulte en se fixant dans le foie de ce nouvel hôte (Taylor, 1965 ; Andrews, 1999). Plusieurs espèces de limnées peuvent assurer le développement larvaire complet du parasite mais l'espèce la plus commune en Europe est *Galba truncatula*, connu aussi sous le nom de Limnée épaulée (Gargominy *et al.*, 2011) ou de Limnée

tronquée. D'autres limnées comme *Omphiscola glabra* (la Limnée étroite en français) peuvent également assurer ce développement larvaire à des degrés divers (Dreyfuss *et al.*, 2015b ; Vignoles *et al.*, 2017, 2018).

Dans le passé, cette parasitose a été à l'origine de nombreuses épizooties chez les ruminants domestiques sur le territoire français. Le premier auteur à signaler le danger des endroits marécageux (là où vivent les limnées) dans la survenue de la maladie chez les moutons fut de Brie (1379). Par la suite, les troupeaux d'ovins dans plusieurs régions françaises ont été régulièrement décimés par cette parasitose entre 1742 et 1854 comme le rapportent Neumann et MacQueen (1905). D'autres épizooties ont également été décrites par la suite comme celle survenue en 1910 dans le département de l'Indre (Baron, 2014, 2015). La survenue de pluies abondantes au cours de l'année est souvent à l'origine de ces épizooties car elle permet le développement de trois populations de limnées (au lieu de deux généralement lors d'une année normale) et, par suite, de nombreuses émissions cercariennes (Euzéby, 1971). Cette notion de pluviométrie comme facteur précédant la survenue de la fasciolose dans une région avait déjà été relevée par les auteurs dans le passé (voir les revues de Vallat, 2001 et de Baron, 2014). Elle est toujours d'actualité car elle est encore utilisée pour prévoir le risque de cette parasitose dans une région ou un pays donné depuis les travaux d'Ollerenshaw en Grande-Bretagne (Ollerenshaw et Smith, 1969 ; Ollerenshaw, 1971a, b). L'homme n'est pas en reste vis-à-vis de la fasciolose et certaines bouffées épidémiques en France ont frappé plus d'une centaine de personnes dans le passé (Houin, 2009).

Une enquête réalisée par Gaillet (1983) a, d'ailleurs montré que 10.000 cas humains environ avaient été diagnostiqués en France depuis 1956 jusqu'en 1982. Même si la fasciolose humaine a diminué en fréquence depuis plus d'une cinquantaine d'années, des épidémies sont toujours possibles comme celles qui ont été rapportées dans la Somme en 1988 (Chandenier *et al.*, 1989) ou dans la région Nord-Pas-de-Calais en 2002 (Institut de Veille Sanitaire, 2003).

Dans le sud de la Vienne et le nord de la Haute-Vienne, une épizootie de fasciolose a entraîné en 1969 la mort de 250.000 moutons et d'une cinquantaine de bovins (Duret, 1969). De même, plus de 150 personnes habitant la Corrèze, la Creuse, la Haute-Vienne ou un département limitrophe ont été touchées par la maladie en 1968 ou en 1969 (Rondelaud *et al.*, 2000, 2009a). Les conséquences économiques de cette épizootie et l'ampleur de la distomatose humaine ont été telles qu'elles ont conduit les éleveurs locaux, les élus, les professionnels de la santé et des chercheurs de l'Université de Limoges à se regrouper et à créer l'Institut de Pathologie Comparée et Expérimentale du Limousin dont l'axe principal de recherche était alors entré sur la fasciolose. Trois thèmes furent alors définis : *a*) l'étude épidémiologique de la maladie humaine dans la région, *b*) des travaux fondamentaux pour comprendre le développement des formes larvaires de *F. hepatica* chez les espèces locales de limnées, et *c*) la mise au point d'un contrôle de ces mollusques basé sur des agents biologiques (Rondelaud *et al.*, 2009a). De nombreux travaux matérialisés par des publications scientifiques et des thèses de Doctorat ont été effectués sur ces trois thèmes au cours des 50 dernières années. Il nous a paru utile, au terme de cette période, de dresser un bilan sur les études que les chercheurs de trois laboratoires : Biologie Animale (Faculté des Sciences de Limoges), Histologie (Faculté de Médecine) et Parasitologie

(Faculté de Pharmacie) ont effectuées sur ces trois thèmes. Comme cette maladie touche l'homme comme les animaux, certaines de ces recherches ont également été étendues aux ruminants locaux ainsi qu'aux prairies dans lesquelles ces animaux pâturent.

La fasciolose humaine

Distribution des cas dans le Limousin

Une enquête épidémiologique a été réalisée pendant 37 années (1970-2006) afin de colliger les personnes qui ont été touchées par la maladie entre 1955 et 2006 à la suite de la consommation d'une plante contaminée par les métacercaires de *F. hepatica*. Les résultats ont été rapportés dans plusieurs publications (Rondelaud, 1980a, 1987 ; Rondelaud *et al.*, 1982, 2000, 2006a ; Szymkowiak, 1999 ; Szymkowiak *et al.*, 2000). Au total, 863 patients ont été recensés au cours de la période précitée dans le Limousin ou un autre département français voisin de celui-ci. Sur cet échantillon, 721 ont été retrouvées et 621 ont accepté de répondre à un questionnaire précisant la date et les conditions du repas infestant, la fréquence de consommation par rapport à des plantes récoltées dans le milieu naturel, le nom de la plante consommée et son lieu d'origine. Ce questionnaire comportait également des demandes d'information sur les symptômes que ces patients ont présentés lors de l'apparition de la maladie et après l'application du traitement anthelminthique.

La figure 1 montre la distribution annuelle des cas humains sur la période allant de 1955 à 2006. Soixante-quatre personnes ont été exclues de cet échantillon car elles avaient acheté ou récolté la plante infestée à l'extérieur du Limousin si bien que 619 seulement ont été considérées pour construire cette figure. Ces valeurs sont présentées par rapport à la date du repas infestant. Jusqu'en 1987, le nombre de patients touchés par la fasciolose montre des fluctuations irrégulières et des pics s'observent en 1958, 1963, 1968,

1969, 1971, 1977, 1981 et 1987. A partir de cette dernière date, on note une diminution progressive jusqu'en 1998 où deux cas ont seulement été diagnostiqués. Par la suite, le nombre de cas est très faible jusqu'en 2006 (trois cas seulement sur cette période). La lecture de ce graphe montre une diminution significative dans le nombre des cas humains dans le Limousin, surtout marquée à partir de 1998. D'après Rondelaud et al. (2000), cette diminution dans le nombre de cas humains serait due à la migration des jeunes issus des communes rurales vers les villes les plus proches pour y travailler ou faire leurs études et, par suite, au changement dans leurs habitudes alimentaires. Deux autres hypothèses, peut-être complémentaires de l'explication précédente, peuvent aussi être proposées : a) la disparition progressive de la génération des seniors âgés de 80 ans et plus, car ces personnes étaient souvent à l'origine des cas familiaux (plusieurs personnes touchées dans une même famille) en raison de leur consommation répétée de cresson au cours de l'année ; b) la diminution graduelle de la fasciolose animale chez les ruminants domestiques depuis les années 2000, date où les éleveurs ont utilisé de plus en plus un anthelminthique spécifique contre *F. hepatica* (triclabendazole) au lieu des molécules à large spectre utilisées dans les années antérieures (Reynal, 2001).

Le problème des cressonnières naturelles

Plusieurs espèces de plantes « sauvages » ont été consommées par les personnes qui ont été affectées par la fasciolose. Ces plantes étaient contaminées par les métacercaires du parasite si bien que ces larves, après l'ingestion de la plante par ces personnes, ont pu sortir de leur kyste et se différencier pour se transformer à terme en formes adultes. Le tableau I montre la distribution numérique de 616 patients en fonction de l'espèce végétale qu'ils avaient consommée. Pour construire ce tableau, deux périodes : de 1955 à 1980 et de 1981 à 1998, ont été

considérées afin de montrer l'évolution qui existe dans la consommation de ces plantes contaminées en fonction du temps (Rondelaud *et al.*, 2000). Le cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*) est la plante qui a été le plus consommée par ces personnes. On note, cependant, un changement dans la consommation de ces plantes contaminées en fonction du temps. En effet, deux espèces de *Nasturtium* et deux autres de *Rorippa* (connues localement sous le nom de « cresson sauvage ») ont été incriminées par les patients avant 1980 car *Nasturtium* et *Rorippa* poussent souvent dans les mêmes points d'eau sur sol acide et ont été récoltées ensemble par des patients qui étaient alors certains de récolter du « cresson ». Par contre, sur la période allant de 1980 à 1998, *N. officinale* et, à un moindre degré, *Nasturtium microphyllum* sont seuls impliqués dans l'infestation humaine (Rondelaud *et al.*, 2000).

La prédominance du cresson sur les autres espèces végétales comme plante contaminante (Tableau 1) a orienté les recherches vers les cressonnières naturelles existant sur les sols acides du Limousin. L'enquête épidémiologique réalisée auprès des patients touchés par la fasciolose a révélé l'existence de 252 cressonnières, à savoir deux plantations à usage commercial, 87 pour la consommation familiale et 146 sites dans lesquels le cresson de fontaine pousse spontanément (« cressonnières naturelles » d'après Rondelaud *et al.*, 2000). Les deux derniers types de cressonnières sont généralement de faible superficie (< 2 m²) et se situent à l'émergence de sources permanentes ou temporaires ou encore sur le parcours de l'eau qui s'écoule de la source. La plupart d'entre elles sont localisées à l'extérieur des pâtures dans lesquelles le bétail pâture et 52 % sont clôturées par un grillage ou un mur afin d'éviter tout contact direct avec un mammifère domestique ou sauvage (Rondelaud, 1978 ; Descubes-Gouilly *et al.*, 1986 ; Rondelaud et Mage, 1990a, b ; Rondelaud *et al.*, 2001, 2008).

L'inventaire malacologique de 235 cressonnières à l'origine de cas humains de fasciolose a montré la présence d'une ou de deux espèces de limnées. Sur ces 235 sites, 199 n'étaient colonisés que par *G. truncatula*, 15 par *O. glabra* et quatre par *Lymnaea stagnalis*, *Radix balthica*, *Stagnicola fuscus* ou *S. palustris*. Des communautés mixtes avec deux espèces de limnées ont été observées dans les 17 autres sites dont 15 colonisés par *G. truncatula* et *O. glabra* (Rondelaud *et al.*, 2000). Cependant, *O. glabra* était présent dans le filet d'eau qui s'écoulait de 121 cressonnières colonisées par *G. truncatula* car la Limnée étroite vit souvent sur le cours moyen d'une rigole de drainage ou d'un fossé alors que l'extrémité périphérique est colonisée par *G. truncatula* (Vareille-Morel *et al.*, 1999). D'après Vareille-Morel *et al.* (2007), les populations de *G. truncatula* sont les plus nombreuses dans ces pâtures avec des effectifs moyens compris entre 50 et 100 individus par population. Celles d'*O. glabra* sont moins fréquentes avec des effectifs plus importants pouvant atteindre 150 individus par colonie. Dans ces conditions, les deux espèces précitées ont été soumises à des investigations parasitologiques à partir de 1990 dans 59 cressonnières naturelles (Rondelaud, 2004 ; Dreyfuss *et al.*, 2005) comme dans 361 fermes du Limousin où des prospections ont eu lieu (Vignoles *et al.*, 2017a, b, 2018).

La contamination des cressonnières par *Fasciola hepatica*

L'infestation naturelle de *G. truncatula* et d'*O. glabra* a été étudiée de 1990 à 2004 dans 59 cressonnières naturelles choisies en fonction de leur type (dans une source, dans une mare, sur le cours d'un ruisseau ou sur celui d'un fossé de drainage). Les récoltes ont eu lieu chaque année en juin ou juillet dans la cressonnière et sur le filet d'eau qui sort de celle-ci. Selon l'effectif de *G. truncatula*, un nombre variable de limnées adultes (4

mm et plus de hauteur) a été prélevé dans chaque population en laissant au moins 30 % des adultes sur place afin de permettre la survie de l'espèce. Comme les colonies d'*O. glabra* sont plus abondantes, 30 à 40 adultes (à partir de 8 mm de hauteur) jusqu'en 1993 et plus de 60 par population à partir de 1994 sont récoltés pour une dissection au laboratoire (Rondelaud, 2004). La figure 2 montre la prévalence de l'infestation naturelle par *F. hepatica* chez les deux limnées sur les 15 années de l'étude. Chez *G. truncatula*, la prévalence présente des variations allant de 2,3 à 3,7 %. L'infestation naturelle d'*O. glabra* par *F. hepatica* n'a été observée qu'à partir de 1996 et la prévalence s'est accrue par la suite jusqu'en 2001 (à 1,8 %), date au-delà de laquelle on observe un plateau dans les valeurs. Chez les deux limnées, la prévalence ne présente pas de corrélation significative avec le temps. Les seuls changements sont l'apparition d'un autre Digène, *Calicophoron daubneyi*, dans ces cressonnières et la possibilité pour *O. glabra* d'assurer le développement larvaire de *F. hepatica* lorsque cette limnée est co-exposée aux miracidiums des deux parasites précités (Rondelaud, 2004 ; Dreyfuss *et al.*, 2005).

Dix plants d'*Apium nodiflorum* (faux-cresson) et dix de *N. officinale* ont, de plus été récoltés dans chaque cressonnière sur la même période. Le nombre de cressonnières contaminées par les métacercaires de *F. hepatica* fluctue au cours des années puisqu'il passe de 15 en 1994 à 32 en 1999. La charge en larves enkystées sur les plantes reste assez faible : de 2,6 à 6,3 en moyenne par site (Rondelaud, 2004 ; Dreyfuss *et al.*, 2005).

Le mode d'infestation des limnées dans les cressonnières

Classiquement, *G. truncatula* est considéré comme l'hôte intermédiaire le plus fréquent dans l'Europe de l'Ouest (Taylor, 1965 ; Torgerson et Claxton, 1999 ; Mas-Coma *et al.*, 2009a). Mais les juvéniles des espèces de limnées autres que

G. truncatula peuvent également assurer le développement larvaire de *F. hepatica* lorsqu'ils sont exposés aux miracidiums dans leurs premiers jours de vie (avec une hauteur de coquille comprise entre 0,5-0,75 et 2 mm). Mais la mortalité de ces juvéniles infestés est importante, la prévalence faible et le nombre de cercaires émises généralement inférieur à 50 par individu (Kendall, 1950 ; Berghen, 1964 ; Boray, 1978 ; Busson *et al.*, 1982 ; Vignoles *et al.*, 2002b). Malgré le rôle des jeunes individus dans la transmission de la maladie, ce résultat ne pouvait expliquer la contamination de certains cas familiaux de distomatose lorsque le cresson contaminé provenait de cressonnières colonisées par des limnées autres que *G. truncatula*. Comme l'hypothèse de Limnées tronquées mortes dans ces cressonnières lors d'une émission cercarienne du parasite était difficilement vérifiable, il était logique de suggérer l'existence d'autres modes d'infestation chez ces limnées.

Deux autres modes d'infestation ont été mis en évidence chez plusieurs espèces de limnées autres que *G. truncatula*. Le premier est la co-infestation du mollusque préadulte (4 mm de hauteur) par *C. daubneyi* et *F. hepatica* à raison de deux expositions monomiracidiennes individuelles (une par parasite) séparées par un intervalle de 4 heures à 20°C (Augot *et al.*, 1996 ; Abrous *et al.*, 1998). Des individus avec des formes larvaires en vie de *F. hepatica*, de *C. daubneyi* ou des deux Digènes ont ainsi été observés chez *G. truncatula*, *O. glabra*, *S. fuscus* et *S. palustris* alors que les essais ont été négatifs chez *R. balthica*. Cependant, le nombre de cercaires de *F. hepatica* est nettement plus faible chez *O. glabra*, *S. fuscus* et *S. palustris* que chez *G. truncatula* (Tableau II). Des *O. glabra* et *S. palustris* naturellement infestés par l'un, l'autre ou les deux parasites ont été retrouvés lors d'investigations sur le terrain (Abrous *et al.*, 1999, 2000 ; Degueurce *et al.*, 1999). Le deuxième mode est le développement graduel d'une infestation

allant jusqu'à l'émission de cercaires au fur et à mesure des générations du mollusque lorsque des préadultes issus de parents déjà infestés par *F. hepatica* sont exposés à nouveau aux miracidiums. Trois à six générations successives selon l'espèce de la limnée ont été nécessaires pour obtenir des cercaires chez *O. glabra*, *R. balthica*, *S. fuscus* et *S. palustris* (Rondelaud *et al.*, 2014, 2015 ; Vignoles *et al.*, 2016a). Comme pour le deuxième mode, le nombre de cercaires émises est significativement plus faible chez ces quatre espèces de limnées que chez *G. truncatula* lorsque le même protocole expérimental est utilisé pour ces cinq espèces (Tableau III). Ces deux modes démontrent que le parasite est capable de s'adapter à son hôte intermédiaire et qu'il existe probablement d'autres modes que *F. hepatica* utilise pour assurer le développement de ses formes larvaires chez un mollusque hôte inhabituel.

Le développement larvaire de *Fasciola hepatica* chez le mollusque hôte

La mise en place d'un contrôle de la fasciolose dans une région donnée impose de connaître l'écologie du mollusque hôte et le développement larvaire du parasite chez ce dernier. Comme des inconnues existaient encore dans le déroulement du cycle chez la limnée, plusieurs études ont été réalisées sur la dynamique de deux stades larvaires et la réponse viscérale du mollusque vis-à-vis du parasitisme.

Les générations rédiennes du parasite

Classiquement, deux générations successives de *F. hepatica* se développent dans le corps de la limnée. Lorsque le sporocyste résultant de la transformation du miracidium s'est complètement différencié, il produit des rédies de première génération. Celles-ci deviennent indépendantes dans le corps du mollusque et produisent à leur tour des rédies filles (formant la deuxième génération) ou des cercaires selon les conditions environnementales. Les facteurs

responsables de cette orientation vers la formation de rédies filles ou de cercaires varient selon les auteurs (Thomas, 1883a, b ; Kendall, 1965 ; Styczynska-Jurewicz, 1965 ; Wilson et Draskau, 1978). Malgré cette contradiction plus qu'apparente, le concept de deux générations rédiennes est encore largement enseigné (Rondelaud *et al.*, 2009a). Comme ces générations rédiennes n'avaient jamais été étudiées sur le plan histologique, des coupes sériées de *G. truncatula* infestées par *F. hepatica* et sacrifiées à des intervalles réguliers ont été étudiées pour suivre le développement de ces rédies dans le temps car ces générations peuvent être identifiées d'après la forme et les dimensions de leurs pharynx (Augot *et al.*, 1998, 1999).

Trois et parfois quatre générations rédiennes (Fig. 3) se succèdent chez *G. truncatula*. L'action décisive est assurée par la première rédie de première génération (la rédie qui sort en premier du sporocyste). Si cette larve survit au cours de l'infestation, au moins jusqu'au 49^{ème} jour post-exposition, le développement des générations est normal (Rondelaud, 1978 ; Rondelaud et Barthe, 1862a). La première rédie de première génération ne produit que des rédies filles appartenant à la première cohorte de seconde génération. En conséquence, la production rédienne moyenne chez des limnées vivant sur sol acide varie de 28 à 43 larves au 88^{ème} jour post-exposition (à cette date, la hauteur des limnées adultes souvent ne dépasse pas 8 mm). Pour des tailles plus élevées (jusqu'à 12 mm), la charge peut atteindre jusqu'à 56 rédies en moyenne, avec un accroissement numérique chez les rédies de troisième et de quatrième générations (Rondelaud et Barthe, 1987). Si la première rédie de première génération meurt, le développement est anormal et la production en rédies filles est assurée par la deuxième rédie de première génération ou par la première rédie de deuxième génération (Rondelaud et Barthe, 1982b). Cependant, le nombre de rédies filles produites par cette rédie de substitution est

plus faible (de deux à six) et ce processus se produit tardivement (les premières rédies filles ne deviennent indépendantes qu'après le 30^{ème} jour post-exposition à 20° C). D'après Rondelaud et Barthe (1982b), la première variante du développement anormal a été observée chez 20 % environ des mollusques infestés tandis que la deuxième variante est rare (< 0,1 %).

L'action de différents facteurs environnementaux ou biotiques sur le développement de ces générations a aussi été étudiée. Les générations ont été retrouvées dans tous les cas mais avec des variations dans le nombre des rédies indépendantes et en vie. Selon la nature du facteur, cette limitation touche toutes les générations ou bien n'affecte que les rédies filles produites à partir du 35^e jour post-exposition ou du 63^e jour (Rondelaud *et al.*, 2009a ; Dreyfuss *et al.*, 2016).

Les émissions cercariennes du parasite

Toutes les populations de *G. truncatula* (le mollusque hôte le plus commun dans la région du Limousin) ne sont pas capables d'assurer le développement larvaire complet du parasite. Dans une étude expérimentale que Rondelaud (1993) a réalisée sur 17 populations différant entre elles par le type de contact avec le bétail parasité, cet auteur a montré que le nombre de limnées infestées, qui meurent sans émission, augmente lorsque le contact avec le parasite devient de plus en plus rare. Dans le même sens, les métacercaires fixées sur un support sont de moins en moins nombreuses tandis que les kystes flottants augmentent en nombre. Plusieurs colonies vivant sur des berges de rivières, où le contact avec le parasite est rare ou nul, n'ont présenté que des infestations abortives lorsqu'elles avaient été exposées à plusieurs reprises aux miracidiums de *F. hepatica* sans que l'on puisse parler d'une véritable résistance de ces mollusques à ce type de parasitisme (Rondelaud *et al.*, 2009a). En plus de cette variabilité interpopulationnelle, il existe aussi une variabilité à l'intérieur d'une même colonie

car tous les individus infestés qui la constituent n'effectuent pas des émissions cercariennes. Lorsque la prévalence de l'infestation dans les populations de *G. truncatula* diminue, le nombre de limnées qui effectuent des émissions cercariennes décroît également tandis que les limnées mourant sans émission et celles qui ne contiennent que des sporocystes ou des rédies de *F. hepatica* augmentent en nombre (Vignoles *et al.*, 2002a). Ce dernier résultat n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante car les mollusques sont infestés et élevés dans les mêmes conditions expérimentales. L'hypothèse proposée à l'heure actuelle est de rapporter cette variabilité intrapopulationnelle à la sensibilité propre de chaque individu par rapport au parasite (Dreyfuss *et al.*, 2016).

Les cercaires de *F. hepatica* sont émises par le mollusque sous forme de vagues d'un à plusieurs jours, séparées par des repos. Un rythme circadien dans les émissions (Fig. 4), avec une production maximale au cours de la nuit a été décrit chez *G. truncatula* (Audousset *et al.*, 1989). Lorsque les limnées sont élevées dans des conditions semi-naturelles, Audousset *et al.* (1989) rapportent également l'existence d'un rythme infradien (périodicité supérieure à 24 heures) mais ce rythme n'a pas été retrouvé dans les conditions constantes du laboratoire (Dreyfuss et Rondelaud, 1994). D'après Vignoles *et al.* (2006), ce rythme infradien ne s'observe que chez certains individus infestés dans une population lorsque ces derniers libèrent leurs cercaires à intervalles réguliers (tous les 6 à 8 jours) au cours de la période patente. L'influence de plusieurs facteurs tels que la température ont déjà été précisés par de nombreux auteurs (Kendall et McCullough, 1951 ; Hodasi, 1972, par exemple). Titi *et al.* (2016) et Vignoles *et al.* (2016) ont, en plus, montré que l'intensité de la lumière naturelle, couplée à la nébulosité, avaient, elles aussi, une

influence sur la dynamique de ces émissions cercariennes.

Parmi les métacercaires de *F. hepatica*, les kystes flottants étaient déjà connus depuis les années 1880 (Thomas, 1883a, b). Par contre, leur structure, leur dynamique au cours des émissions et leur pouvoir infestant n'avaient pas été encore étudiés jusqu'aux années 1990 (Morley, 2015). Ces métacercaires présentent une collerette formée par des fibrilles dissociées provenant de la paroi du kyste. Cette collerette contient des lacunes aérifères, ce qui permet au kyste de flotter en eau stagnante sur une longue période (Esclaire *et al.*, 1989). Par contre, la survenue d'une eau courante les fait tomber rapidement sur le fond (Vareille-Morel *et al.*, 1993). Ces kystes sont produits en nombre (jusqu'à 30 % des métacercaires formées) au début des deux premières vagues d'émission alors qu'ils sont nettement plus rares lors des vagues suivantes (Vareille-Morel *et al.*, 1994). Des variations quotidiennes de température allant de 12° à 25° C ont permis d'obtenir deux fois plus de kystes flottants qu'avec une température constante de 20° C, alors que les autres facteurs testés n'ont pas eu d'effet significatif sur leur production (Vareille-Morel et Rondelaud, 1991). L'infestation d'un hôte définitif par ce type de kystes a abouti aux mêmes résultats positifs qu'avec des métacercaires fixées (Rondelaud *et al.*, 2009a).

Parasitisme et pathologie viscérale chez la limnée

Après la pénétration du miracidium chez le mollusque, le sporocyste effectue des migrations dans le corps de ce dernier pendant la première semaine post-infestation pour se fixer dans un site préférentiel (généralement la région réno-péricardique). Ces migrations laissent des traces sous forme de lacunes en forme de tunnel aussi bien dans le pied et les tentacules de la limnée que dans le manteau et les organes internes (Préveraude-Sindou et Rondelaud, 1992).

Ces lacunes permettent de déterminer si le mollusque a été infesté ou non par un ou plusieurs miracidium(s). Cette pathologie a été retrouvée chez toutes les espèces françaises de *Lymnaeidae* lorsqu'elles sont exposées aux miracidiums de *F. hepatica* (Préveraud-Sindou *et al.*, 1994).

Au cours des semaines qui suivent, plusieurs organes internes, à savoir la glande digestive, la gonade, la glande de l'albumine et le rein présentent une pathologie particulière sous la forme d'une nécrose épithéliale d'abord multifocale, puis généralisée, suivie d'une reconstitution de cet épithélium avec hyperplasie cellulaire (Rondelaud *et al.*, 2009a). La figure 5 montre l'évolution de cette pathologie au cours de l'infestation chez trois viscères par rapport au développement des générations rédiennes du parasite. La nécrose épithéliale apparaît rapidement dans le rein du mollusque, alors qu'elle débute plus tardivement dans les deux autres glandes. Si l'on fait exception du rein où la reconstitution de l'épithélium se produit à partir du 21^{ème} jour d'infestation, la nécrose se développe dans les deux autres viscères lors de la période où les cercaires se différencient dans le corps des rédies parentales. La reconstitution épithéliale commence seulement au 42^{ème} jour post-exposition alors que les premières cercaires deviennent indépendantes dans le corps du mollusque. Dans le cas du rein, cette dernière date correspond au développement d'une autre vague de nécrose épithéliale (Sindou, 2017).

Si la limnée est soumise à deux expositions successives avec des miracidiums du même Digène ou d'espèces différentes, on assiste à un chevauchement d'une nouvelle vague de nécrose sur un épithélium en reconstitution et ce processus est d'autant plus important que l'intervalle de temps séparant les deux expositions est long (Rondelaud *et al.*, 2009a ; Dreyfuss *et al.*, 2016).

Le contrôle des populations de limnées

L'épizootie de fasciolose animale survenue en 1969 a incité les éleveurs à demander qu'un contrôle des populations du mollusque hôte (*G. truncatula*) soit mis au point. Quelques essais locaux ont été alors pratiqués avec le Frescon® en 1969 et 1970, mais ils se sont révélés inappropriés en modifiant la végétation des sites traités, même si les effets sur les mollusques se sont révélés concluants (données non publiées). C'est la raison pour laquelle un contrôle biologique de *G. truncatula* a été développé à partir de 1975 mais il était nécessaire dans un premier temps de définir les types d'habitats que la limnée colonise sur les sols acides du nord de la Haute-Vienne et de déterminer leurs caractéristiques.

Les habitats des limnées sur sol acide

Dans une prairie marécageuse sur sol acide, plusieurs espèces de limnées peuvent être reconnues. La figure 6 montre cette systématisation des habitats pour quatre d'entre elles. *Galba truncatula* colonise préférentiellement l'extrémité périphérique des rigoles de drainage superficiel, qu'il y ait ou non une source temporaire ou permanente, alors qu'*O. glabra* vit sur le cours moyen de ces mêmes rigoles. L'une ou l'autre des deux espèces de *Stagnicola* s'observe parfois dans la partie inférieure du fossé de drainage et *Radix balthica* dans le ruisseau sur lequel s'ouvre ce fossé (Vareille-Morel *et al.*, 1999). Malgré la présence de ces quatre espèces dans une prairie, leurs populations sont nettement séparées les unes des autres et les communautés mixtes formées par deux ou trois espèces sont relativement rares (Vareille *et al.*, 1996 ; Vareille-Morel *et al.*, 2007).

Les habitats de *G. truncatula* sont les plus nombreux dans le Limousin (7.709 populations sur un total de 11.992 points d'eau inventoriés dans 361 fermes élevant du bétail) et peuvent être identifiés à l'aide de plantes indicatrices comme *Juncus acutiflorus*. Ils sont généralement de faible

superficie (moins de 2 m² pour 56,8 % d'entre eux) avec un effectif ne dépassant 25 adultes transhivernants par mètre carré dans 54,4 % des cas (Rondelaud *et al.*, 2011). Dans le cas d'*O. glabra*, le nombre de populations est nettement plus faible (3137 sur un total de 11.992 points d'eau prospectés dans les mêmes fermes) et peuvent aussi être reconnus par la présence de *Juncus effusus*. La superficie des habitats est plus importante ((jusqu'à 10 m² pour 84,7 % d'entre eux) tandis que l'effectif au mètre carré est nettement plus faible avec 10 adultes transhivernants ou moins dans 68,4 % des cas (Vignoles *et al.*, 2017c). Chez les deux espèces, le nombre d'habitats diminue fortement lorsque l'altitude augmente et ce fait doit être rapporté à une acidité plus importante au-dessus de 400 ou de 500 m selon l'espèce de la limnée (Dreyfuss *et al.*, 2018b, c). Le nombre d'habitats colonisés par l'une ou l'autre des espèces de *Stagnicola* est faible (67 habitats pour *S. fuscus* et 72 pour *S. palustris* sur les fermes précitées). La première espèce préfère les fossés de drainage ou de route alors que la seconde vit essentiellement dans les étangs (Vareille-Morel *et al.*, 2007).

Sur sols acides, l'entretien régulier du système de drainage superficiel dans les prairies permet le maintien des populations de *G. truncatula* ou d'*O. glabra*, alors que l'absence d'entretien aboutit graduellement à la disparition des populations, tout au moins pour *G. truncatula* (Rondelaud, 1977 ; Moens, 1981). Dans les prairies, les limnées ne sont pas les seules car d'autres mollusques colonisent ces stations. Parmi celles-ci, figure un mollusque hygrophile, *Zonitoides nitidus*. Comme ce dernier effectue une prédation sur les limnées au début de l'assèchement estival (Rondelaud, 1975), il est à la base d'un contrôle biologique qui a été développé contre *G. truncatula*.

Le contrôle de *Galba truncatula* sur sols acides

Trois techniques ont été utilisées. La première est basée sur une fauche de la végétation hygrophile au début de l'assèchement estival et son dépôt sur l'habitat de *G. truncatula*, ce qui permet le maintien de l'humidité et attire les prédateurs locaux. Si nécessaire, des *Z. nitidus* sont introduits à raison de 20 par m² d'habitat. La deuxième technique ne comporte pas de fauche du milieu naturel mais un nombre plus élevé de prédateurs sont introduits (60/m²). Enfin la troisième technique s'effectue en deux temps, avec un déversement d'une solution de chlorure cuivrique (8 L à 0,1 mg/L) dans chaque gîte en avril lors de l'appariement printanier des limnées et l'introduction ou non de 20 *Z. nitidus*/m² au début de l'assèchement estival (Ximenes, 1991). Ces trois techniques ont été appliquées dans 122 prairies de fond de vallée, 59 jonchaies de pente, 11 zones piétinées, 37 berges de rivière ou d'étang et 134 cressonnières sauvages (Rondelaud *et al.*, 2006b).

Le tableau IV donne les pourcentages de survie pour *G. truncatula* en septembre dans plusieurs types d'habitats après un contrôle de 1, 2, 3 et 4 année(s) avec *Z. nitidus*. La fauche de la végétation hygrophile en juin et son dépôt sur les habitats du mollusque ont permis d'éliminer *G. truncatula* après deux années de contrôle dans les habitats situés dans les prairies marécageuses et autour des sources intermittentes. Dans le cas des cressonnières sauvages, trois années ont été nécessaires. Par contre, autour des sources permanentes, il n'y a eu qu'une diminution progressive dans le nombre des *G. truncatula* au cours des quatre années de contrôle. Dans les habitats traités sans fauche, les populations de *G. truncatula* sont restées stables tout comme les témoins (prairies marécageuses) ou ont légèrement diminué au cours du temps (les deux types de jonchaies). L'emploi d'une association de mollusques prédateurs : *Z. nitidus* +

Oxychilus draparnaudi, a permis l'élimination des *G. truncatula* en une seule année (jonchaies avec source intermittente) ou en deux années (prairies marécageuses, cressonnières naturelles). Enfin, dans les 117 cressonnières traitées par le chlorure cuivrique et *Z. nitidus*, aucune limnée n'a été décomptée en septembre après une seule année de contrôle, alors que dans les 17 autres, deux années ont été nécessaires pour éliminer la Limnée tronquée (Rondelaud *et al.*, 2006b).

Si l'on fait exception de quelques propriétaires qui ont introduit chaque année des *Z. nitidus* dans leur cressonnière, l'emploi de ce mollusque pour contrôler *G. truncatula* ne s'est pas généralisé dans les élevages de bovins et de moutons situés dans le département de la Haute-Vienne. Les raisons de cette situation sont probablement la complexité des techniques pour l'application de ce contrôle sur le terrain par des non-spécialistes et la difficulté de sélectionner la date de ce contrôle à la fin du mois de juin en raison des pluies qui sont fréquentes à cette période (Rondelaud *et al.*, 2006b).

La lutte intégrée contre la fasciolose

Le but du concept est de mettre en œuvre les différents moyens prophylactiques que l'on possède pour éradiquer la fasciolose sur certaines exploitations et limiter la fréquence de la maladie dans la plupart des autres fermes (Mage et Rondelaud, 1983). La première étape est de déterminer la présence du parasite chez le bétail par coproscopies ou par sérologie. Parallèlement à cette action, il faut étudier la topographie du terrain, la portance du sol, les écoulements de l'eau de ruissellement, et analyser la gestion des pâturages. Les habitats du mollusque sont isolés dans une deuxième étape à l'aide de clôtures et on pratique un déparasitage de l'hôte définitif à l'aide d'un anthelminthique. La troisième étape porte sur le choix de la technique pour éliminer les populations de limnées. L'isolement

des gîtes doit être pratiqué en l'absence de toute autre possibilité. Les zones très marécageuses sont à transformer en étangs. Le drainage superficiel doit être effectué lorsque les zones à traiter sont de grande superficie. Les gîtes de petite taille comme les jonchaies sont à traiter à l'aide d'un molluscicide ou de mollusques prédateurs).

Le premier essai s'est déroulé dans un élevage de bovins allaitants de la Corrèze. En 1986, le troupeau était composé de 30 bovins et les coproscopies étaient toutes positives. Les *G. truncatula* n'ont été retrouvées que dans une seule zone où les bovins stationnaient avant d'entrer en stabulation. Les différentes mesures du concept ont été appliquées sur le troupeau et le parc d'attente. Les limnées ont disparu à la fin 1988 et les coproscopies réalisées après l'assainissement du parc d'attente ont toutes été négatives (Mage *et al.*, 1989). D'autres essais ont été réalisés dans les prairies d'estive. Trois élevages laitiers du Cantal ont appliqué simultanément un fasciolicide chez 164 bovins et supprimé les sources d'infestation présentes sur ces exploitations. A la fin de la deuxième année, le pourcentage de bovins naturellement parasités par *F. hepatica* n'était plus que de 11,1 % lors de la mise à l'herbe alors qu'il était de 57,4 % dans les 10 élevages qui n'ont utilisé que le seul fasciolicide comme prévention thérapeutique (Mage *et al.*, 1995).

Discussion

En raison des trois thèmes de recherche explorés par notre équipe au cours des 48 dernières années, le commentaire des résultats présentés ci-dessus sera réalisé pour chaque axe considéré séparément.

La fasciolose humaine et son devenir

La forte diminution, que l'on observe à l'heure actuelle dans les cas de distomatose humaine, existe également au niveau du bétail local depuis que le triclabendazole est utilisé par les éleveurs

comme traitement anthelminthique contre la maladie (Reynal, 2001). L'emploi de ce médicament s'est accompagné d'une augmentation sensible dans le nombre de bovins touchés par la paramphistomose à *C. daubneyi* (Mage *et al.*, 2002) alors que les moutons ne semblent pas être affectés par cette parasitose (D. Rondelaud, observation personnelle). Comme des cas de résistance au triclabendazole sont rapportés de plus en plus chez le bétail (Moll *et al.*, 2000 ; Olaechea *et al.*, 2011 ; Kelley *et al.*, 2016), on peut se demander comment la prévalence de la maladie évoluera dans les années à venir d'autant plus que d'autres hôtes définitifs de ce parasite comme les ragondins (Ménard *et al.*, 2001) et les lagomorphes (Rondelaud *et al.*, 2001) sont, eux aussi, porteurs du parasite et peuvent assurer la continuité du cycle parasitaire car ils ne sont pas traités. Malgré ce risque possible, les cas de distomatose humaine dans le Limousin sont devenus rares en raison d'un changement dans les habitudes alimentaires chez les jeunes. A l'inverse de leurs aînés, les jeunes générations délaissent de plus en plus le cresson de fontaine comme aliment et les quelques gourmets qui existent encore ne récoltent plus le cresson sauvage dans le milieu naturel, tout au moins dans la région (Rondelaud *et al.*, 2000).

Depuis la loi du 5 janvier 2006 et l'ordonnance du 5 octobre 2006, la commercialisation du cresson de fontaine en France relève de la responsabilité des seuls vendeurs, ce qui revient, entre autres, à autoriser la vente de produits de cueillette comme c'est le cas pour les champignons (Houin, 2009). Comme la plupart des plantations de culture familiale et des cressonnières « sauvages » dans le Limousin ne sont pas contrôlées sur le plan sanitaire, on peut s'attendre, dans l'avenir, à la réapparition des vendeurs de cresson sur les marchés locaux, comme c'était le cas avant les années 1970, et à la vente de produits récoltés dans le milieu naturel. La survenue de quelques cas chez l'homme

n'est donc pas à exclure dans la région. Il serait utile que cette parasitose chez l'homme fasse partie des maladies à déclaration obligatoire, en particulier pour le Limousin où les demandes de diagnostic pour la fasciolose humaine sont encore envoyés vers des laboratoires spécialisés situés à plus de 100 km et plus de la région.

L'inventaire malacologique des cressonnières « sauvages » a montré la présence de plusieurs espèces de limnées, même si *G. truncatula* est l'espèce dominante. L'infestation expérimentale de ces populations par *F. hepatica* a, de plus, révélé l'existence de trois modes d'infestation possibles chez ces mollusques. Ces résultats démontrent que le parasite est capable de s'adapter à son hôte intermédiaire, quel qu'il soit, et n'excluent pas qu'il existe encore d'autres modes d'infestation des mollusques qui ne sont pas encore connus. Cette affirmation est basée sur les observations de Dreyfuss *et al.* (2000). D'après ces auteurs, des juvéniles et des préadultes avec des rédies et des cercaires de *F. hepatica* ont été obtenus après l'infestation expérimentale d'une population de *Radix balthica*, vivant dans un milieu soumis à des pulvérisations régulières d'un herbicide pour détruire la végétation aquatique. Le mécanisme selon lequel ce type de population peut s'infecter par *F. hepatica* est encore à explorer.

Le cycle de Fasciola hepatica chez le mollusque hôte

La mise en évidence de trois, voire de quatre générations rédiennes dans le cycle du parasite contraste avec le schéma à deux générations que Leuckart (1881, 1882) et Thomas (1883a, b) avaient rapporté dans leurs travaux. En fait, cette différence n'est qu'apparente car la première génération proposée par ces auteurs est constituée par des rédies de la première génération (cohorte 2) et des rédies filles appartenant à la deuxième génération (cohorte 1). Ces deux groupes de rédies (voir la figure 3) se développent chez le mollusque dans le

même laps de temps si bien que les auteurs précités les ont considérés comme faisant partie de la même génération. Dans le même sens, la deuxième génération rapportée par ces auteurs correspond à des rédies de deuxième génération (cohorte 2) et à d'autres appartenant à la troisième génération. Ces deux autres groupes de rédies se développent ensemble pour devenir indépendantes dans le corps du mollusque après le 35^{ème} jour d'infestation à la température constante de 20° C (Fig. 3). L'histologie réalisée sur des limnées infectées a donc permis d'apporter plus de précision que les simples observations morphologiques sur le développement de ces générations rédiennes.

A l'inverse des générations rédiennes, la variabilité qui existe dans l'infestation de la Limnée tronquée par *F. hepatica* selon l'origine des populations ou les individus qui constituent chaque colonie appelle davantage de commentaires. L'explication proposée par Rondelaud (1993) pour expliquer la variabilité interpopulationnelle est de rapporter cette dernière à la fréquence des contacts entre le mollusque et son parasite dans le milieu naturel. Lorsque les contacts sont rares, la prévalence de la maladie reste faible chez *G. truncatula*. Cette explication a été confortée depuis par les résultats positifs que Rondelaud *et al.* (2014, 2015), Vignoles *et al.* (2014) ont rapportés chez d'autres espèces de limnées en soumettant des juvéniles et des préadultes, issus de parents déjà infectés par *F. hepatica*, aux miracidiums du parasite et ce sur plusieurs générations successives de la limnée. D'après ces auteurs, le développement larvaire du parasite s'effectue progressivement au fur et à mesure des générations pour aboutir à des émissions cercariennes. La variabilité intrapopulationnelle observée chez les individus d'une même population de limnées par rapport à *F. hepatica* n'a toujours pas été expliquée par une hypothèse solide, surtout lorsque ces mollusques proviennent d'un nombre

réduit de parents comme c'est le cas dans la plupart des populations de *G. truncatula* vivant sur sol acide (Rondelaud *et al.*, 2009a). Deux hypothèses peut-être complémentaires peuvent être formulées pour expliquer cette variabilité. La première est de rapporter ces différences à des modifications d'ordre biochimique qui s'opèrent dans le corps des mollusques parasités (les rédies et les cercaires en se développant « pompent » le glycogène et les acides gras présents dans le corps de la limnée d'après Graczyk et Fried en 1999) et ces changements seraient transmis à leurs descendants, permettant ainsi d'améliorer la sensibilité de ces individus au parasitisme. La seconde hypothèse est basée sur la génétique et fait appel à des séquences d'ADN mobiles du parasite qui seraient insérées de plus en plus dans l'ADN du mollusque au fur et à mesure des infestations naturelles ou expérimentales, ce qui aurait pour conséquence d'accroître la sensibilité de la limnée à son parasite.

Une pathologie viscérale sous forme d'une nécrose épithéliale, suivie d'une reconstitution, a été mise en évidence au niveau de quatre viscères chez plusieurs espèces de *Lymnaeidae* et de *Physidae* lorsqu'elles sont soumises aux miracidiums de *F. hepatica* (Barthe et Rondelaud, 1986 ; Sindou *et al.*, 1990). Ces lésions ont, de même, été retrouvées chez deux *Planorbidae*, à savoir *Bulinus truncatus* et *Planorbarius metidjensis*, lorsqu'ils sont exposés aux miracidiums de *Schistosoma haematobium* (Zekhnini, 1994). Ces résultats montrent que cette pathologie viscérale n'est pas spécifique d'un parasite donné et qu'elle peut se développer dans les différentes familles de Pulmonés dulçaquicoles, quelle que soit l'espèce. Devant ces résultats, on peut émettre l'hypothèse que le cycle nécrose épithéliale-reconstitution serait un processus généralisé qui toucherait tous les mollusques aquatiques lorsqu'ils sont soumis pendant plusieurs jours au moins à une agression externe. Un argument

supportant cette approche provient des observations de Rondelaud et Dreyfuss (1996) sur *O. glabra*. D'après ces auteurs, les trois viscères étudiés chez cette limnée ont présenté une nécrose épithéliale, suivie d'une reconstitution, lorsqu'ils ont été soumis à une dose sub létale de molluscicide pendant quatre jours avant d'être remis dans une eau non polluée pendant les 21 jours suivants.

Les habitats des limnées et leur contrôle

Plusieurs publications ont traité des effets du réchauffement climatique sur le devenir des parasitoses humaines et animales, notamment de la fasciolose (Mas-Coma *et al.*, 2009b ; Fox *et al.*, 2011 ; Mehmood *et al.*, 2017, par exemple). A l'inverse, l'évolution du mollusque hôte est nettement moins considérée. Le cas de *G. truncatula* ne paraît pas préoccupant dans l'immédiat. Même si le nombre des populations chez cette espèce a diminué au cours des 50 dernières années (Dreyfuss *et al.*, 2016, 2018a), l'espèce est connue pour être un mollusque invasif (Seddon *et al.*, 2015) et est capable de s'adapter à un nouvel environnement. En effet, plus de 74 % des *G. truncatula*, y compris les adultes, s'enterrent complètement dans le sol lors d'assèchements périodiques allant de 11 à 18 jours dans la zone irriguée des Doukkala (Maroc), ce qui permet la survie de l'espèce dans un climat semi-aride (Belfaiza *et al.*, 2009). Par contre, ce processus est rare sous climat tempéré et ne touche que les juvéniles (Rondelaud et Morel-Vareille, 1975). A l'inverse de la Limnée tronquée, le devenir des populations d'*O. glabra* est nettement plus critique. Comme cette limnée n'a qu'une répartition géographique limitée depuis le sud de la Scandinavie jusqu'au nord de l'Espagne et ne dépasse pas 415 m d'altitude dans le Limousin (Dreyfuss *et al.*, 2018c), on peut se demander si cette limnée survivra au réchauffement climatique dans l'avenir.

Par rapport aux années 1970 où les éleveurs réclamaient que les populations du mollusque hôte, en l'occurrence *G. truncatula*, soient contrôlées afin que cette espèce soit éliminée dans leurs prairies sur sol acide, la situation a bien changé à l'heure actuelle en raison de l'intérêt croissant des jeunes générations pour la biodiversité et le respect de la faune. Malgré son intérêt, le contrôle biologique à l'aide de mollusques prédateurs n'a eu qu'un intérêt limité auprès des éleveurs ou des propriétaires de cressonnières naturelles en raison des difficultés de mise en œuvre (Rondelaud *et al.*, 2009a). Il en est de même pour le contrôle intégré de la fasciolose car beaucoup de fermiers préfèrent traiter leurs bovins et parfois leurs ovins avec le triclabendazole et ne veulent pas entreprendre les travaux qui seraient nécessaires pour assainir leurs prairies et prévenir le risque du parasitisme (D. Rondelaud, observation personnelle). Malgré cette limite, la préservation des populations de limnées lors d'un contrôle intégré est possible en isolant leurs habitats du reste des pâtures (la superficie de ces habitats sur sol acide est généralement faible) comme l'a montré une expérience réalisée de 2011 à 2014 dans deux fermes de la Haute-Vienne (Vignoles *et al.*, 2016b).

Conclusion

Par rapport aux trois thèmes de recherche définis dans les années 1970, l'étude épidémiologique de la fasciolose humaine dans le Limousin et les investigations pour comprendre le mode d'infestation ont été menées à terme, même si des études sont encore nécessaires pour élucider certains modes particuliers d'infestation du mollusque par le parasite (cas des limnées provenant d'habitats pollués, par exemple). La plupart des recherches fondamentales sur le développement larvaire du parasite chez le mollusque hôte ont été réalisées. Seuls plusieurs points dans la distribution des métacercaires de *F. hepatica* sur les plantes

hôtes dans le milieu naturel sont encore à élucider. A l'inverse des deux axes précédents, le dernier thème n'a été que partiellement exploré. A l'heure actuelle, le contrôle des limnées dans une région donnée n'est plus d'actualité, tout au moins dans les pays tempérés de l'Europe de l'ouest. D'autres investigations seraient encore nécessaires pour comprendre le mécanisme selon lequel le parasite réussit à développer ses formes larvaires jusqu'à l'émission ou non des cercaires chez le mollusque hôte, ou bien dégénère dans les jours qui suivent l'entrée du miracidium chez ce dernier.

Remerciements

Les recherches rapportées dans cette synthèse n'auraient pu être réalisées sans l'aide de nombreuses personnes qui nous ont assisté dans ces travaux, qui nous ont donné les autorisations nécessaires pour prospecter leurs prairies ou les cressonnières naturelles, ou qui nous ont permis d'accéder aux résultats fournis par les laboratoires d'analyse médicale ou vétérinaire. Nous tenons à remercier les doctorants d'exercice ou de recherche qui ont travaillé sur les thèmes précités depuis les années 1970, les patients et les professionnels de santé qui ont participé à l'enquête sur la fasciolose humaine, les 361 éleveurs et les 174 propriétaires de cressonnières naturelles pour leur autorisation et souvent leur aide lors de nos prospections, le personnel de trois laboratoires de l'Université de Limoges pour leur aide, et le comité éditorial des *Annales Scientifiques du Limousin* pour la publication de 26 articles entre 1986 et 2016.

Bibliographie

Abrous M., Rondelaud D., Dreyfuss G. and Cabaret J., 1998. Unusual transmission of the liver fluke, *Fasciola hepatica*, by *Lymnaea glabra* or *Planorbis leucostoma* in France. *Journal of Parasitology* **84** (6), 1257–1259.

Abrous M., Rondelaud D., Dreyfuss G. and Cabaret J., 1999. Infection of *Lymnaea truncatula* and *Lymnaea glabra* by *Fasciola hepatica* and *Paramphistomum daubneyi* in farms of central France. *Veterinary Research* **30** (1), 113–118.

Abrous M., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2000. A field study of natural infections in three freshwater snails with *Fasciola hepatica* and/or *Paramphistomum daubneyi* in central France. *Journal of Helminthology* **74** (3), 189–194.

Andrews S.J., 1999. The life cycle of *Fasciola hepatica*. In: Dalton J.P. (ed.), *Fasciolosis*. CABI Publishing, Oxon, pp. 1–29.

Audousset J.C., Rondelaud D., Dreyfuss G. et Vareille-Morel C., 1989. Les émissions cercariennes de *Fasciola hepatica* L. chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller. A propos de quelques observations chronobiologiques. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **7** (2), 217–224.

Augot D., Abrous M., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 1996. *Paramphistomum daubneyi* and *Fasciola hepatica*: the redial burden and cercarial shedding in *Lymnaea truncatula* submitted to successive unimiracidial cross-exposures. *Parasitology Research* **82** (7), 623–627.

Augot D., Rondelaud D., Dreyfuss G., Cabaret J., Bayssade-Dufour C. and Albaret J.L., 1998. Characterization of *Fasciola hepatica* redial generations (Trematoda: Fasciolidae) by morphometry and chaetotaxy under experimental conditions. *Journal of Helminthology* **72** (3), 193–198.

Augot D., Abrous M., Rondelaud D., Dreyfuss G. and Cabaret J., 1999. *Fasciola hepatica*: an unusual development of redial generations in an isolate of *Lymnaea truncatula*. *Journal of Helminthology* **73** (1), 27–30.

- Baron N., 2014. Les ovins du Bas-Berry face à la fasciolose hépatique (fin XVIII^e-milieu XX^e siècle). *Bulletin de la Société Française d'Histoire de la Médecine et des Sciences Vétérinaires* **14**, 111–121.
- Baron N., 2015. Être un ovin malade en Bas-Berry (fin XVIII^e – milieu XX^e siècle). *Anthropozoologica* **50**, 87–97.
- Barthe D. et Rondelaud D., 1986. Premières études sur la susceptibilité de trois espèces de Physidae et de *Bulinus truncatus* Audouin à l'infestation fasciolienne. A propos de quelques observations histopathologiques. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **4** (1), 33–35
- Belfaiza M., Vignoles P., Moncef M. et Rondelaud D., 2009. *Galba truncatula* (Mollusca Gastropoda, *Lymnaeidae*), le mollusque hôte de *Fasciola hepatica* : son aptitude à supporter un assèchement périodique en zone irriguée sous climat semi-aride. *Revue de Médecine Vétérinaire* **160** (2), 103–107.
- Berghen P., 1964. Some *Lymnaeidae* as intermediate hosts of *Fasciola hepatica* in Belgium. *Experimental Parasitology* **15** (2), 118–124.
- Boray J.C., 1978. The potential impact of exotic *Lymnaea* spp. on fascioliasis in Australasia. *Veterinary Parasitology* **4** (2), 127–141.
- Busson P., Busson D., Rondelaud D. et Pestre-Alexandre M., 1982. Données expérimentales sur l'infestation des jeunes de cinq espèces de limnées par *Fasciola hepatica* L. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **57** (6), 555–563.
- Chandenier J., Bastard J.P., Merioua A., Combes J. et Thiebault C., 1989. Première épidémie de distomatose à *Fasciola hepatica* dans le département de la Somme. *Médecine et Maladies Infectieuses* **20** (3), 145–147.
- Dar Y., Amer S., Mercier A. and Dreyfuss G., 2012. Molecular identification of *Fasciola* spp. (Digenea : Fasciolidae) in Egypt. *Parasite* **19** (2), 177–182.
- De Brie J., 1379. *Le bon berger. Le vrai règlement et gouvernement des bergers et bergères*. Réécrit en français moderne par Clevenot, M. Editions Stock, Paris, 1879, 160 pp.
- Degueurce F., Abrous M., Dreyfuss G., Rondelaud D. and Gevrey J., 1999. *Paramphistomum daubneyi* and *Fasciola hepatica*: the prevalence of natural or experimental infection in four species of freshwater snails in eastern France. *Journal of Helminthology* **73** (3), 197–202.
- Descubes-Gouilly C., Rondelaud D., Botineau M., Ghestem A. et Vilks A., 1986. Premières données sur les cressonnières "naturelles" dans la région du Limousin. *Annales Scientifiques du Limousin* **2**, 31–38.
- Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1994. *Fasciola hepatica*: a study on the shedding of cercariae from *Lymnaea truncatula* raised under constant conditions of temperature and photoperiod. *Parasite* **1** (4), 401–404.
- Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2000. Variability of *Fasciola hepatica* infection in *Lymnaea ovata* in relation to snail population and snail age. *Parasitology Research* **86** (1), 69–73.
- Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2005. *Fasciola hepatica*: epidemiological surveillance of natural watercress beds in central France. *Parasitology Research* **95** (4), 278–282.
- Dreyfuss G., Vignoles P. et Rondelaud D., 2015a. Nouvelles données sur le rôle de plusieurs espèces de limnées dans la transmission de la fasciolose. *Bulletin des Groupements Techniques Vétérinaires* **77**, 109–116.

Dreyfuss G., Vignoles P., Rondelaud D. and Cabaret J., 2015b. *The mud snail (Galba truncatula). Ecology, parasitism and control*. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 238 pp.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2016. Present decline in the number and size of populations of *Galba truncatula* and *Omphiscola glabra*, intermediate hosts of *Fasciola hepatica*, on the acidic soils of Central France. *Parasite* **23**, 46.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018a. *Galba truncatula* and *Omphiscola glabra* (Gastropoda, *Lymnaeidae*): present decline in populations living on sedimentary soils in central France. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **54**, 11.

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018b. Relationships between the distribution of *Galba truncatula* (Gastropoda: *Lymnaeidae*) climatic conditions and the altitude of municipalities in Haute Vienne (France). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (sous presse).

Dreyfuss G., Vignoles P. and Rondelaud D., 2018c. *Omphiscola glabra* O.F. Müller, 1774 (Gastropoda, *Lymnaeidae*): la distribution des populations et les caractéristiques de leurs habitats par rapport à l'altitude et aux conditions climatiques de la Haute-Vienne. *MalaCo* (sous presse).

Duret F., 1969. Essai d'estimation des dégâts dus à la Grande Douve dans la zone d'élevage ovin placée sous l'influence de « l'Alliance Pastorale », Montmorillon (Vienne). Rapport de stage, ESIPTA, Meudon, France, 16 pp.

Esclaire F., Audousset J.C., Rondelaud D. et Dreyfuss G., 1989. Les métacercaires "flottantes" de *Fasciola hepatica* L. A

propos de quelques observations sur leur structure et leurs variations numériques au cours d'une infestation expérimentale chez *Lymnaea truncatula* Müller. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **7** (2), 225–228.

Euzeby J., 1971. Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine. Tome II : Maladies dues aux Plathelminthes. Fascicule 2 : Trématodes. Livre 1 : Généralités. *Distomatoses hépato-biliaires*. Editions Vigot, Paris, 798 pp.

Fox J., White P.C.L., McClean C.J., Marion G., Evans A. and Hutchings M.R., 2011. Predicting impacts of climate change on *Fasciola hepatica* risk. *PLoS One* **6** (1), e16126.

Gaillet P., 1983. Contribution à l'étude épidémiologique de la distomatose humaine à *Fasciola hepatica* en France métropolitaine depuis 1956. À propos de quelque 10.000 cas. Thèse d'exercice en Médecine, Université Paris-Val-de-Marne, 163 pp.

Gargominy O., Prié V., Bichain J.M., Cucherat X. et Fontaine B., 2011. Liste de référence annotée des mollusques continentaux de France. *MalaCo* **7**, 307–382.

Graczyk T.K. and Fried B., 1999. Development of *Fasciola hepatica* in the intermediate host. In: Dalton J.P. (ed.), *Fasciolosis*. CABI Publishing, Oxon, pp. 31–46.

Hodasi J.K.M., 1972. The output of cercariae of *Fasciola hepatica* by *Lymnaea truncatula* and the distribution of metacercariae on grass. *Parasitology* **64** (1), 53–60.

Houin R., 2009. La fasciolose, une zoonose réémergente ? *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* **162** (2), 161–164.

Institut de Veille Sanitaire, 2003. Épidémie de distomatose à *Fasciola hepatica* dans la région Nord-Pas-de-Calais. Disponible sur : http://invs.santepubliquefrance.fr/publications/2003/distomatose_2003/index.html (consulté le 28 avril 2018).

Kelley J.M., Elliott T.P., Beddoe T., Anderson G., Skuce P. and Spithill T.W. 2016. Current threat of triclabendazole resistance in *Fasciola hepatica*. *Trends in Parasitology* **32** (6), 458–469.

Kendall S.B., 1950. Snail hosts of *Fasciola hepatica* in Britain. *Journal of Helminthology* **24** (1-2), 63–74.

Kendall S.B., 1965. Relationships between the species of *Fasciola* and their molluscan hosts. *Advances in Parasitology* **3**, 59–98.

Kendall S.B. and McCullough F.S., 1951. The emergence of the cercariae of *Fasciola hepatica* from the snail *Limnaea truncatula*. *Journal of Helminthology* **25** (1), 77–92.

Leuckart K.G.F.R., 1881. Zur Entwicklungsgeschichte des Leberegels (*Distonum hepaticum*). *Zoologischer Anzeiger* **4**, 641–646.

Leuckart K.G.F.R., 1882. Zur Entwicklungsgeschichte des Leberegels. Zweite Mitteilung. *Zoologischer Anzeiger* **5**, 524–528.

Lofty W.M., El-Morshey H.N., Abou El-Hoda M., El-Tawila M.M., Omar E.A. and Farag H.F., 2002. Identification of the Egyptian species of *Fasciola*. *Veterinary Parasitology* **103** (4), 323–332.

Mage C. et Rondelaud D., 1983. Réflexions sur la prévention de la fasciolose en France. *Dossiers de l'Elevage* **5**, 25–28.

Mage C., Reynal P., Rondelaud D. et Chasteloux C., 1989. Mise en pratique du contrôle de l'infestation par *Fasciola hepatica* chez des bovins limousins. *Bulletin des Groupements Techniques Vétérinaires* **347**, 5–10.

Mage C., Mauran A. et Moisset M., 1995. Contrôle de l'infestation de la Grande Douve des bovins : une organisation et une application en fermes. *Bulletin des Groupements Techniques Vétérinaires* **506**, 11–17.

Mage C., Bourgne H., Toullieu J.M., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2002. *Fasciola hepatica* and *Paramphistomum daubneyi*: changes in prevalences of natural infections in cattle and in *Limnaea truncatula* from central France over the past 12 years. *Veterinary Research* **33** (5), 439–447.

Mas-Coma S., Valero M.A. and Bargues M.D., 2009a. *Fasciola*, lymnaeids and human fascioliasis, with a global overview on disease transmission, epidemiology, evolutionary genetics, molecular epidemiology and control. *Advances in Parasitology* **69**, 41–146.

Mas-Coma S., Valero M.A. and Bargues M.D., 2009b. Climate change effects on trematodiasis, with emphasis on zoonotic fascioliasis and schistosomiasis. *Veterinary Parasitology* **163** (4), 264–280.

Mehmood K., Zhang H., Sabir A.J., Abbas R.Z., Ijaz M., Durrani A.Z., Saleem M.H., Reh-man M.U., Iqbal M.K., Wang Y., Ahmad H.I., Abbas T., Hussain R., Ghori M.T., Ali S., Khan A.U. and Li J., 2017. A review on epidemiology, global prevalence and economic losses of fasciolosis in ruminants. *Microbial Pathogenesis*, **109**, 253–262.

Ménard A., Agoulon A., L'Hostis M., Rondelaud D., Collard S. and Chauvin A., 2001. *Myocastor coypus* as a reservoir host of *Fasciola hepatica* in France. *Veterinary Research* **32** (5), 499–508.

Moens R., 1981. Les habitats de *Lymnaea truncatula*, hôte intermédiaire de *Fasciola hepatica*. *Revue de l'Agriculture* **34**, 1563–1580.

Moll L., Gaasenbeek C.P.H., Vellema P. and Borgsteede F.H.M., 2000. Resistance of *Fasciola hepatica* against triclabendazole in cattle and sheep in the Netherlands. *Veterinary Parasitology* **91** (1-2), 153–158.

Morley N.J., 2015. Ecology of free-living metacercariae (Trematoda). *Advances in Parasitology* **89**, 1–78.

Neumann L.G. and MacQueen J., 1905. *Parasites and parasitic diseases of domesticated animals*. 2nd edit. Editions Baillière, Tindall & Cox, London, 697 pp.

Olaechea F., Lovera V., Larroza M., Raffo F. and Cabrera R., 2011. Resistance of *Fasciola hepatica* against triclabendazole in cattle in Patagonia (Argentina). *Veterinary Parasitology* **178** (3-4), 365–366.

Ollerenshaw C.B., 1971a. Some observations on the epidemiology of fascioliasis in relation to the timing of molluscicide applications in the control of the disease. *The Veterinary Record* **88** (6), 152–164.

Ollerenshaw C.B., 1971b. Quelques aspects des relations entre le climat et l'incidence de la fasciolose en Europe. *Cahiers de Médecine Vétérinaire* **40** (6), 303–319.

Ollerenshaw C.B. and Smith L.P., 1969. Meteorological factors and forecasts of

helminthic diseases. *Advances in Parasitology* **7**, 283–323.

Periago M.V., Valero M.A., El-Sayed M., Ashrafi K., El-Wakeel A., Mohamed M.Y., Desquesnes M., Cortale F. and Mas-Coma S., 2008. First phenotypic description of *Fasciola hepatica*/*Fasciola gigantica* intermediate forms from the human endemic area of the Nile Delta, Egypt. *Infection, Genetics and Evolution* **8** (1), 51–58.

Préveraud-Sindou M. and Rondelaud D., 1992. *Fasciola hepatica*: early lesions in the viscera of seven pulmonate species after penetration of the miracidium. *Parasitology Research* **78** (4), 360–362.

Préveraud-Sindou M., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1994. Comparison of the migrations of *Fasciola hepatica* sporocysts in *Lymnaea truncatula* and other related snail families. *Parasitology Research* **80** (4), 342–346.

Reynal J.L., 2001. Enquête épidémiologique sur les traitements appliqués contre la fasciolose et la paramphistomose bovine dans le Sud-ouest de la Corrèze. Thèse d'exercice en Pharmacie, Université de Limoges, 83 pp.

Rondelaud D., 1975. La prédation de *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller par *Zonitoides nitidus* Müller, moyen de lutte biologique. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **50** (1), 55–61.

Rondelaud D., 1977. L'évolution démographique de *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller en Haute-Vienne. A propos de quatre années d'observations. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **52** (5), 511–520.

Rondelaud D., 1978. Les cressonnières à l'origine de cas de distomatose humaine en Haute-Vienne. Etude des Mollusques vecteurs et leur contrôle biologique.

Annales de Parasitologie Humaine et Comparée **53** (6), 523–530.

Rondelaud D., 1980a. Données épidémiologiques sur la distomatose humaine à *Fasciola hepatica* L. dans la région du Limousin, France. Les plantes consommées et les limnées vectrices. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **55** (4), 393–405.

Rondelaud D., 1980b. La distomatose humaine à *Fasciola hepatica* L. dans la région du Limousin, France. A propos de quelques données épidémiologiques et cliniques. *Revue de Médecine de Limoges* **11** (4), 289–294.

Rondelaud D., 1987. Etude épidémiologique de la distomatose à *Fasciola hepatica* L. In: *L'actualité sur les maladies d'origine parasitaire en milieu agricole en France. XIV^e Symposium National de Médecine Agricole, Tours, 9 avril 1987*, pp. 92–98.

Rondelaud D., 1993. Variabilité interpopulationnelle de l'infestation fasciolienne chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller. Influence du contact préalable de la population avec le parasite. *Bulletin de la Société Zoologique de France* **118** (2), 185–193.

Rondelaud D., 2004. Cressonnières naturelles du Limousin et risques de distomatose humaine à *Fasciola hepatica*. *Annales Scientifiques du Limousin* **15**, 1–14.

Rondelaud D. et Barthe D., 1978. Arguments et propositions pour une nouvelle interprétation de l'évolution de *Fasciola hepatica* L. dans *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **53** (2), 201–213.

Rondelaud D. et Barthe D., 1982a. Les générations rédiennes de *Fasciola hepatica* L. chez *Lymnaea truncatula* Müller. A

propos des effets de plusieurs facteurs. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **57** (3), 245–262.

Rondelaud D. et Barthe D., 1982b. Les générations rédiennes de *Fasciola hepatica* L. chez *Lymnaea truncatula* Müller. Pluralité des schémas de développement. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **57** (6), 639–642.

Rondelaud D. et Barthe D., 1987. *Fasciola hepatica* L. : étude de la productivité d'un sporocyste en fonction de la taille de *Lymnaea truncatula*. *Parasitology Research* **74** (2), 155–160.

Rondelaud D. and Dreyfuss G., 1996. The development of tissue lesions in *Lymnaea glabra* (Mollusca: Pulmonata) exposed to a sublethal dose of molluscicide. *Veterinary Research* **27** (1), 79–86.

Rondelaud D. et Mage C., 1990a. Les cressonnières naturelles dans la région du Limousin. A propos de quelques observations sur la dynamique de trois espèces de limnées. *Revue de Médecine Vétérinaire* **141** (11), 855–859.

Rondelaud D. et Mage C., 1990b. La fasciolose humaine et les cressonnières. *Point Vétérinaire* **21** (126), 899–903.

Rondelaud D. et Morel-Vareille C., 1975. Distribution estivale et survie des Limnées tronquées (*Lymnaea (Galba) truncatula* Müller) saines ou infestées par *Fasciola hepatica* L. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* **50** (5), 603–616.

Rondelaud D., Amat-Frut E. et Pestre-Alexandre M., 1982. La distomatose humaine à *Fasciola hepatica* L. Etude épidémiologique de 121 cas survenus sur une période de 25 ans. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique* **75**, 291–300.

Rondelaud D., Dreyfuss G., Bouteille B. and Dardé M.L., 2000. Changes in human

fasciolosis in a temperate area. About some observations over a 28-year period in central France. *Parasitology Research* **86** (9), 753–757.

Rondelaud D., Vignoles P., Abrous M. and Dreyfuss G., 2001. The definitive and intermediate hosts of *Fasciola hepatica* in the natural watercress beds in central France. *Parasitology Research* **87** (6), 475–478.

Rondelaud D., Dreyfuss G. et Cabaret J., 2003. Les mollusques d'intérêt vétérinaire. Chapitre 13. In : Provost A., Uilenberg G., Blancou J. et Lefèvre P.C. (éds.), *Maladies infectieuses et parasitaires du bétail des régions chaudes*, Livre 1. Editions TEC et DOC, Lavoisier, Paris, pp. 177–193.

Rondelaud D., Dreyfuss G. and Vignoles P., 2006a. Clinical and biological abnormalities in patients after treated fasciolosis. *Médecine et Maladies Infectieuses* **36** (9), 466–468.

Rondelaud D., Vignoles P., Dreyfuss G. and Mage C., 2006b. The control of *Galba truncatula* (Gastropoda: *Lymnaeidae*) by the terrestrial snail *Zonitoides nitidus* on acid soils. *Biological Control* **39** (3), 290–299.

Rondelaud D., Dreyfuss G. et Cabaret J., 2008. Les cressonnières et le risque de distomatose à *Fasciola hepatica* chez l'homme. *Le Nouveau Praticien Vétérinaire, Elevages et Santé* **9**, 341–344.

Rondelaud D., Vignoles P. et Dreyfuss G., 2009a. *La Limnée tronquée, un mollusque d'intérêt médical et vétérinaire*. PULIM, Limoges, 283 pp.

Rondelaud D., Belfaiza M., Vignoles P., Moncef M. and Dreyfuss G., 2009b. The redial generations of *Fasciola hepatica*: a review. *Journal of Helminthology* **83** (3), 245–254.

Rondelaud D., Hourdin P., Vignoles P., Dreyfuss G. and Cabaret J., 2011. The detection of snail host habitats in liver fluke infected farms by use of plant indicators. *Veterinary Parasitology* **181** (2-4), 166–173.

Rondelaud D., Vignoles P. and Dreyfuss G., 2014. Adaptation of preadult *Lymnaea fuscus* and *Radix balthica* to *Fasciola hepatica* through the infection of several successive generations of snails. *Parasites and Vectors* **7**, 296.

Rondelaud D., Djuikwo Teukeng F.F., Vignoles P. and Dreyfuss G., 2015. *Lymnaea glabra*: progressive increase in susceptibility to *Fasciola hepatica* through successive generations of experimentally infected snails. *Journal of Helminthology* **89** (4), 398–403

Seddon M.B., Kebapçı U. and Van Damme D., 2015. *Galba truncatula*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T155730A85693575. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015.RLTS.T155730A85693575.en>. (consulté le 15 octobre 2017).

Sindou P., 2017. La pathologie viscérale de la limnée. In : Vignoles P., Dreyfuss G. et Rondelaud, D. (eds.), *Ecologie et parasitisme de la Limnée étroite* (*Omphiscola glabra*). PULIM, Limoges, pp. 151–173.

Sindou P., Rondelaud D. et Barthe D., 1990. *Fasciola hepatica* L. : étude comparative de la pathologie viscérale chez six espèces de limnées soumises dès leur naissance à des infestations monomiracidienues individuelles. *Bulletin de la Société Zoologique de France* **115** (4), 331–340.

Styczynska-Jurewicz E., 1965. Adaptation of eggs and larvae of *Fasciola hepatica* to the conditions of astatic habitats of *Galba*

truncatula. *Acta Parasitologica Polonica* **13** (14/23), 151–170.

Szymkowiak D., 1999. Étude épidémiologique de 69 cas de distomatose humaine à *Fasciola hepatica* survenus dans le département de la Haute-Vienne entre 1981 et 1998. Thèse d'exercice en Médecine, Université de Lille II, 102 pp.

Szymkowiak D., Rondelaud D., Dreyfuss G., Bouteille B., Dardé M.L. et Camus D., 2000. Étude épidémiologique de 69 cas de distomatose humaine à *Fasciola hepatica* sur-venus dans le département de la Haute-Vienne entre 1981 et 1998. *Médecine et Maladies Infectieuses* **30** (5), 262–269.

Taylor E.L., 1965. Fascioliasis and the liver-fluke. FAO Agricultural Studies, Roma, n° 64, 235 pp.

Thomas A.P., 1883a. The life-history of the liver-fluke (*Fasciola hepatica*). *Quarterly Journal of Microscopical Science, New Series* **23**, 99–133.

Thomas A.P., 1883b. The natural history of the liver fluke and the prevention of rot. *Journal of the Royal Agricultural Society of England* **19**, 276–305.

Titi A., Rondelaud D., Mekroud A., Vignoles P. and Dreyfuss G., 2014. Natural light influences cercarial emergence of *Calicophoron daubneyi* but not that of *Haplometra cylindracea* from temperature-challenged *Galba truncatula*. *Parasitology Research* **113** (10), 3557–3563.

Torgerson P. and Claxton J., 1999. Epidemiology and control. In: Dalton J.P. (ed.), *Fasciolosis*. CABI Publishing, Oxon, pp. 113–149.

Vallat F., 2001. Les épizooties en France de 1700 à 1850. Inventaire clinique chez les bovins et les ovins. *Histoire et Sociétés Rurales* **15**, 67–104.

Vareille L., Vareille-Morel C., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 1996. Les gîtes à limnées dans les prairies marécageuses sur sol acide : les effets d'impacts agricoles. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **32** (3), 97–104.

Vareille-Morel C. et Rondelaud D., 1991. Les métacercaires flottantes de *Fasciola hepatica* L. Etude expérimentale de facteurs sur leur formation. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **9** (1), 81–85.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 1993. Premières données sur la dispersion et le devenir des métacercaires flottantes de *Fasciola hepatica* L. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **11** (1), 63–69.

Vareille-Morel C., Rondelaud D. et Dreyfuss G., 1994. *Fasciola hepatica* Linné : relations entre l'ordre de sortie des cercaires à partir de *Lymnaea truncatula* Müller et la formation des kystes flottants ou fixés. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie* **12** (1), 55–60.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 1999. The characteristics of habitats colonized by three species of *Lymnaea* in swampy meadows on acid soil: their interest for fasciolosis control. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **35** (3), 173–178.

Vareille-Morel C., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 2007. Les habitats des *Lymnaeidae* sur sol acide. A propos de quelques observations dans la région Limousin sur une trentaine d'années. *MalaCo* **4**, 143–147.

Vignoles P., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2002a. Larval development of *Fasciola hepatica* in experimental infections: variations with populations of *Lymnaea truncatula*. *Journal of Helminthology* **76** (2), 179–183.

Vignoles P., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2002b. Redial growth and cercarial productivity of *Fasciola hepatica* in three species of young lymnaeid snails. *Journal of Helminthology* **76** (3), 269–272.

Vignoles P., Alarion N., Bellet V., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2006. A 6-8 day periodicity in cercarial shedding occurred in some *Galba truncatula* experimentally infected with *Fasciola hepatica*. *Parasitology Research* **98** (4), 385–388.

Vignoles P., Titi A., Rondelaud D., Mekroud A. and Dreyfuss G., 2014. *Fasciola hepatica*: effect of natural light level on parasite cercarial emergence from temperature-challenged *Galba truncatula*. *Parasite* **21**, 8.

Vignoles P., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2016a. Aptitude of *Lymnaea palustris* and *L. stagnalis* to *Fasciola hepatica* larval development through the infection of several successive generations of 4-mm high snails. *Parasitology Research* **115** (6), 2263–2268.

Vignoles P., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2016b. Contrôle intégré de deux parasitoses basé sur l'isolement des habitats colonisés par *Omphiscola glabra* dans deux fermes de la Haute-Vienne. *Annales Scientifiques du Limousin* **27**, 31–37.

Vignoles P., Dreyfuss G. et Rondelaud D., 2017a. *Ecologie et parasitisme de la Limnée étroite* (*Omphiscola glabra*). PULIM, Limoges, 228 pp.

Vignoles P., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2017b. Determination of zones at risk for fasciolosis in the department of Haute Vienne (France): a retrospective study on natural infections detected in 108,481 *Galba truncatula* for 37 years. *Parasite* **24**, 55.

Vignoles G., Dreyfuss G. and Rondelaud D., 2017c. Detection of habitats colonized by *Omphiscola glabra* (Gastropoda: Lymnaeidae) on acid soils using indicator plants. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **53**, 261–269.

Vignoles P., Rondelaud D. and Dreyfuss G., 2018. *The snail Omphiscola glabra. Ecology, parasitism and conservation*. Editions Universitaires Européennes, Sarrebruck, 194 pp.

Wilson R.A. and Draskau T., 1976. The stimulation of daughter redia production during the larval development of *Fasciola hepatica*. *Parasitology* **72** (3), 245–247.

Ximenes T.F., 1991. Le contrôle biologique de *Lymnaea truncatula* Müller, hôte intermédiaire de *Fasciola hepatica* L. Possibilités et perspectives. Thèse d'exercice en Médecine Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 103 pp.

Zekhnini A., 1994. Contribution à l'étude de l'infestation expérimentale chez *Planorbarius metidjensis* Forbes et *Bulinus truncatus* Audouin par *Schistosoma haematobium* Bilharz dans la région d'Agadir (Maroc). Thèse de Doctorat ès-Sciences Naturelles, Université d'Agadir, Maroc, 179 pp.

Tableau 1 : Distribution numérique de 616 patients sur deux périodes: 1955-1980 et 1981-1998, par rapport à leur mode d'infestation. Abréviation : *n*, nombre de cas de fasciolose humaine sur la période.

Mode d'infestation	Fréquence de consommation des plantes contaminées par les patients (%)	
	1955-1980 (<i>n</i> = 434)	1981-1998 (<i>n</i> = 182)
<i>Nasturtium officinale</i> , <i>N. microphyllum</i> ou hybrides	60,5	98,9
<i>Rorippa sylvestris</i> , parfois <i>R. amphibia</i>	11,2	0
Cresson mélangé (<i>Nasturtium</i> + <i>Rorippa</i>)	26,0	0
<i>Taraxacum officinale</i> (pissenlit)	1,6	0,5
<i>Valerianella olitoria</i> (mâche)	9,2	0
Eau de source	0,4	0
Graminée non identifiée	0	0,5

Tableau 2 : Survie au 30^e jour, prévalence de l'infestation, hauteur des limnées parasitées à leur mort et nombre de cercaires émises chez les préadultes de cinq limnées co-infestées par *Calicophoron daubneyi* et *Fasciola hepatica*. D'après Dreyfuss *et al.* (2015a).

Espèce de limnée et nombre de préadultes lors de l'exposition	Nombre de mollusques		Hauteur de la coquille à la mort du mollusque avec émission (mm)*	Nombre de cercaires émises (<i>F. hepatica</i>)*
	Survivant au 30 ^e jour (%)	Emettant des cercaires (prévalence en %)		
<i>Galba truncatula</i> , 600	443 (74,8 %)	187 (42,2 %)	6,7 ± 0,9	93,7 ± 41,2
<i>Omphiscola glabra</i> , 800	408 (51,0 %)	84 (20,5 %)	8,9 ± 1,5	31,3 ± 26,7
<i>Radix balthica</i> , 200	141 (70,5%)	0 (-)	-	0
<i>Stagnicola fuscus</i> , 300	181 (60,3 %)	2 (1,1 %)	11,3 ± 1,7	11,5 ± 3,1
<i>S. palustris</i> , 300	228 (76,0 %)	7 (3,0 %)	12,5 ± 2,0	16,5 ± 7,1

* Valeur moyenne ± écart type.

Tableau 3 : Survie au 30^e jour, prévalence de l'infestation, hauteur des limnées parasitées à leur mort et nombre de cercaires émises chez les préadultes de quatre limnées infectés par *Fasciola hepatica* à la génération F5 (*Radix balthica*, *Stagnicola fuscus*), F6 (*S. palustris*) ou F7 (*Omphiscola glabra*). D'après Dreyfuss *et al.* (2015a).

Espèce de limnée, génération et nombre total de jeunes lors de l'exposition	Nombre de mollusques		Hauteur de la coquille à la mort du mollusque*	Nombre de cercaires émises*
	Survivant au 30 ^e jour (%)	Emettant des cercaires (prévalence en %)		
<i>Galba truncatula</i> , F1, 200	142 (71,0 %)	85 (58,8 %)	7,5 ± 0,9	157,7 ± 50,4
<i>Omphiscola glabra</i> , F7, 200	103 (51,5 %)	18 (17,4 %)	7,6 ± 1,1	66,4 ± 15,5
<i>Radix balthica</i> , F5, 100	65 (65,0 %)	13 (20,0 %)	10,0 ± 1,1	66,8 ± 21,2
<i>Stagnicola fuscus</i> , F5, 100	54 (54,0 %)	7 (12,9 %)	11,7 ± 1,5	80,3 ± 35,8
<i>S. palustris</i> , F6, 100	47 (47,0 %)	3 (6,3 %)	12,3 ± 1,4	34,3 ± 11,2

* Valeur moyenne ± écart type.

Tableau 4 : Pourcentage de *Galba truncatula* en vie, décomptés en septembre dans plusieurs types d'habitats sur sols acides après un contrôle de 1, 2, 3 et 4 années avec *Zonitoides nitidus*. D'après Rondelaud *et al.* (2006).

Type d'habitat	Nombre	Pourcentage de <i>Galba truncatula</i> en vie, décompté en Septembre après un contrôle de			
		1 an	2 ans	3 ans	4 ans
Prairies marécageuses					
Témoins	9	94,3	90,2	92,7	96,5
Traitées avec fauche	78	11,5	0,1	0	0
Traitées sans fauche	14	91,2	87,3	95,3	88,7
Jonchaies avec source temporaire					
Témoins	3	78,5	69,6	81,3	73,6
Traitées avec fauche	20	5,1	0,6	0	0
Traitées sans fauche	4	81,7	63,2	56,5	43,7
Jonchaies avec source permanente					
Traitées avec fauche	1	29,1	22,5	17,5	9,3
Traitées sans fauche	2	61,3	47,6	32,1	15,4
Cressonnières naturelles					
Traitées avec fauche	15	39,6	7,2	2,3	0

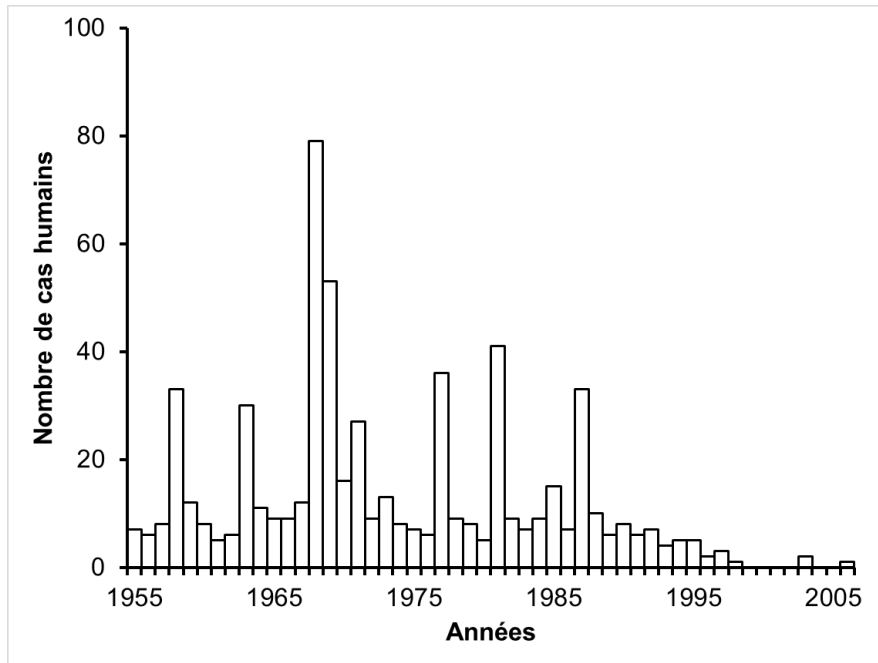


Figure 1 : Distribution numérique de 619 personnes touchées par la fasciolose dans la région du Limousin entre 1955 et 2006. D’après Rondelaud *et al.* (2000).

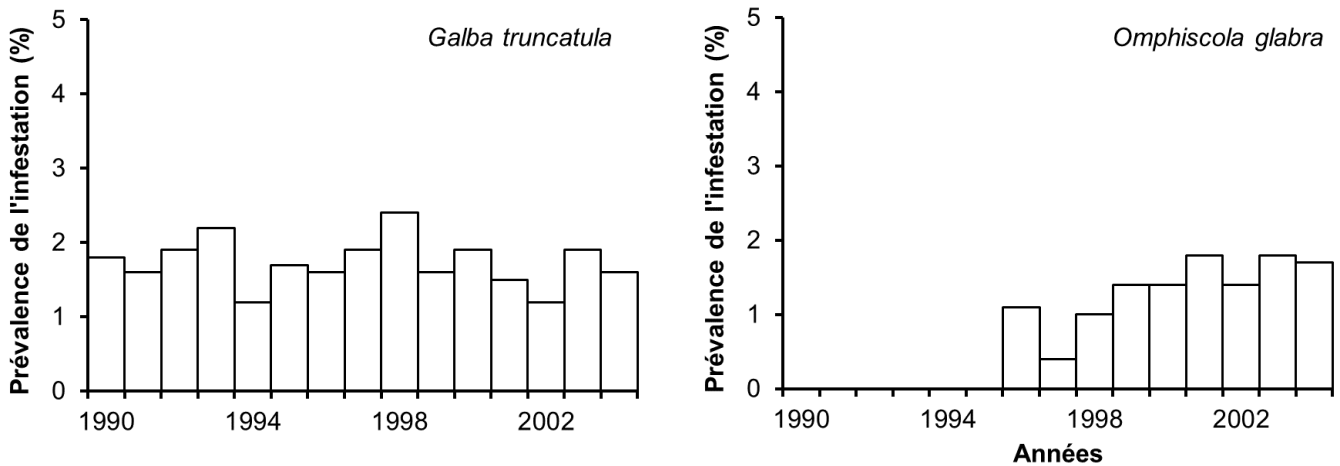


Figure 2 : Prévalence de l’infestation naturelle par *Fasciola hepatica* chez les limnées de 59 cressonnières naturelles du Limousin sur une période de 15 années (1990-2004). Ces chiffres proviennent de 19.249 *G. truncatula* et de 13.039 *O. glabra* récoltés au cours de cette période. D’après Rondelaud (2004) et Dreyfuss *et al.* (2005).

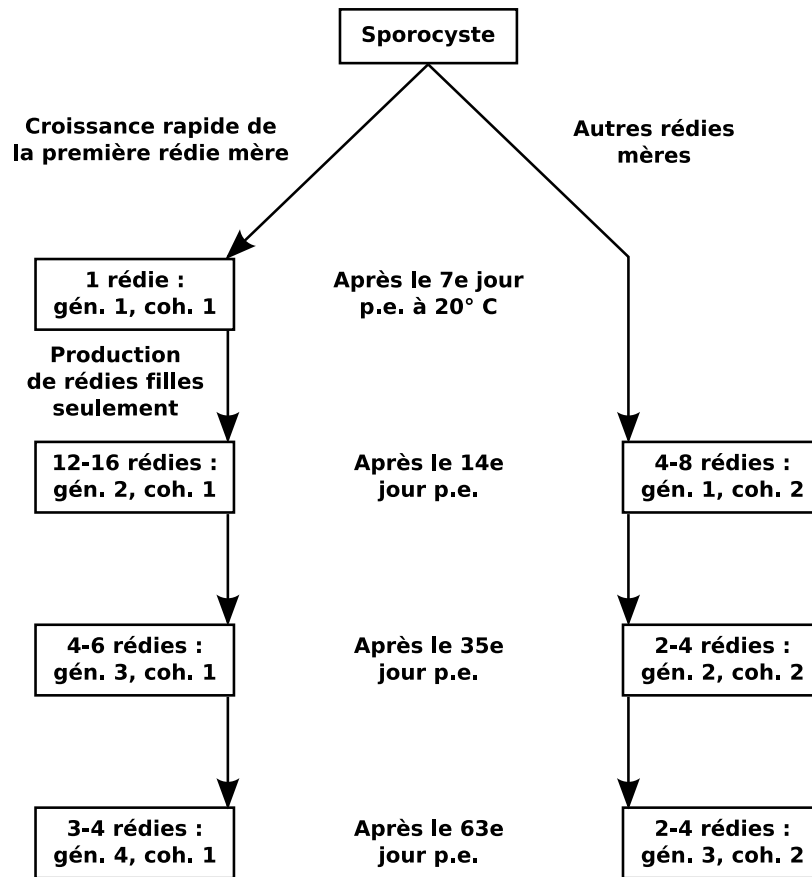


Figure 3 : Développement normal des générations rédiennes de *Fasciola hepatica* chez *Galba truncatula* soumis à des expositions monomiracidienne individuelles, avec indication du nombre de rédies pour chaque cohorte. Abréviations : coh., cohorte ; gén., génération ; p.e., post-exposition. D’après Rondelaud *et al.* (2009a, b).

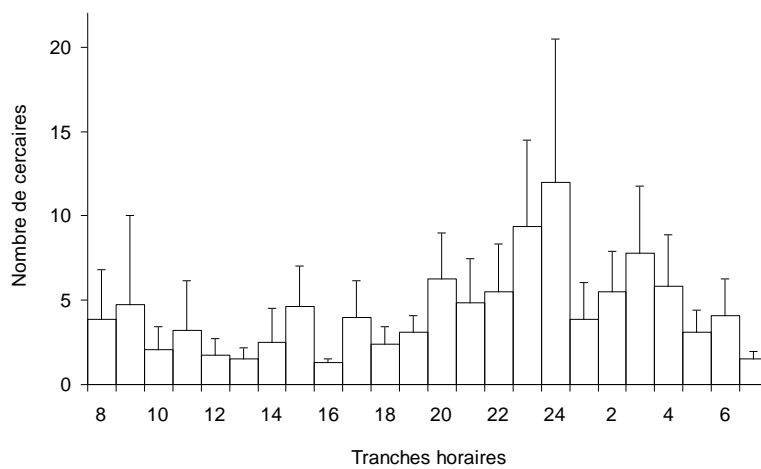


Figure 4 : Nombre de cercaires émises par 57 *Galba truncatula* infectés par *Fasciola hepatica* par rapport aux différentes heures du jour. Les moyennes sont indiquées avec leurs écarts types. D’après Audousset *et al.* (1989).

Figure 5 : Réponse de trois viscères chez *Galba truncatula* infecté par *Fasciola hepatica*. La chronologie des lésions tissulaires et les divers stades du développement larvaire du parasite sont indiqués jusqu'au 42^{ème} jour d'infestation à 20°C. Stades parasitaires : T1, rédies immatures ; T2, rédies contenant des cercaires ; T3, cercaires indépendantes dans le corps du mollusque. Lésions tissulaires : N, aspect normal de l'organe ; Ne, nécrose épithéliale ; R, reconstitution épithéliale. D'après Rondelaud *et al.* (2003, 2009a).

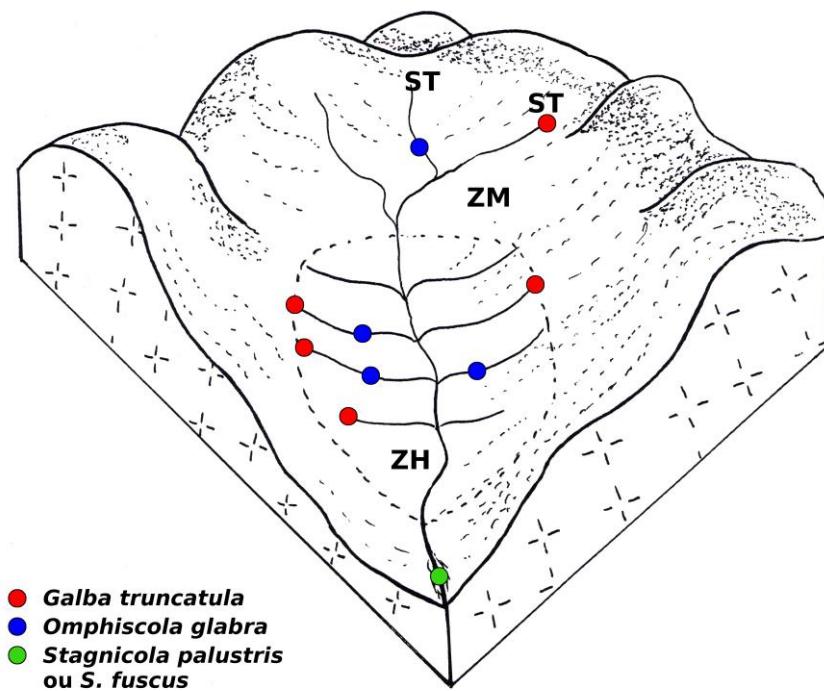
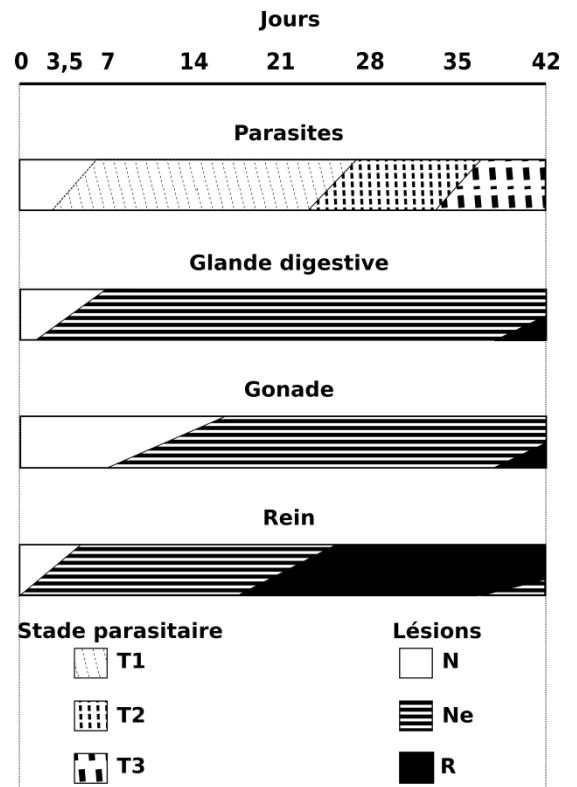
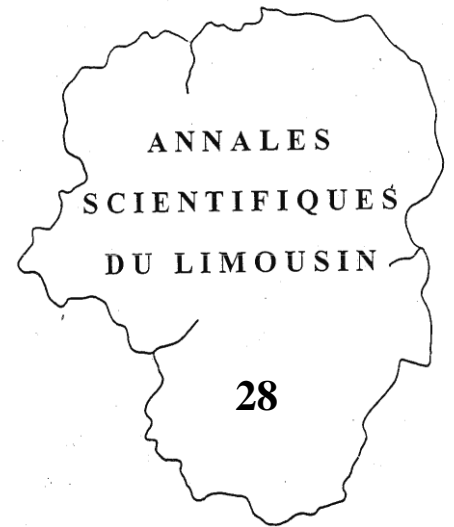


Figure 6 : Bloc-diagramme montrant la localisation des habitats colonisés par plusieurs espèces de limnées sur le réseau de drainage superficiel dans une prairie marécageuse sur sol acide. Abréviations : ZH, zone hygrophile ; ZM, zone mésophile ; ST, source temporaire.

Sommaire



- Edito
Pascal LABROUSSE p. 1
- La Limnée étroite est-elle capable de s'adapter à de nouvelles stations sur sol acide lorsque de faibles effectifs sont utilisés ?
Daniel RONDELAUD, Philippe VIGNOLES et Gilles DREYFUSS p. 2-11
- Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) : observations écologiques et données biométriques sur deux morphotypes de limnées vivant sur des sols acides.
Philippe VIGNOLES, Daniel RONDELAUD et Gilles DREYFUSS p. 12-27
- Galba truncatula* (O.F. Müller, 1774) et *Omphiscola glabra* (O.F. Müller, 1774) (Mollusques : *Lymnaeidae*) : influence de l'altitude sur les caractéristiques des populations vivant sur les sols acides de la Haute-Vienne.
Gilles DREYFUSS, Philippe VIGNOLES et Daniel RONDELAUD p. 28-38
- Epidémiologie de la fasciolose dans le Limousin : bilan des recherches effectuées depuis les années 1970.
Philippe VIGNOLES, Philippe HOURDIN, Gilles DREYFUSS et Daniel RONDELAUD p. 39-66