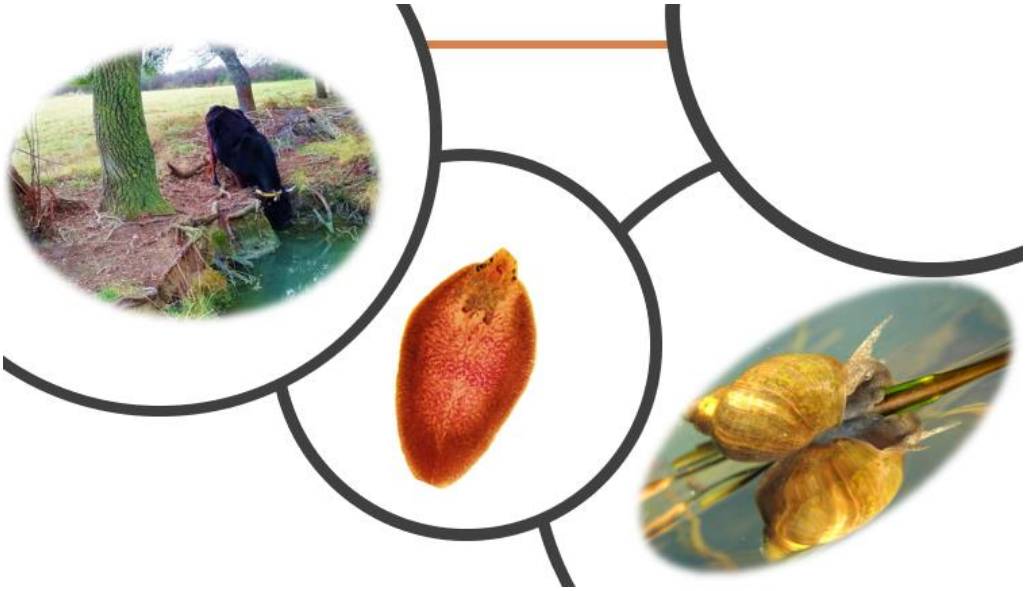
Master 2 Dynamique des Interactions 2018/2019

Hôtes-Parasites-Environnement

Université de Montpellier

Dynamiques des hôtes intermédiaires et des hôtes définitifs impliqués dans les trématodoses en Camargue

Clémentine Leroy



Sous la direction de :

Sylvie Hurtrez-Boussès

Antonio A. Vázquez

Marion Vittecoq

MIVEGEC, IRD, Université de Montpellier et Tour du Valat

Tour du Valat

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

MiVEGEC
Maladies Infectieuses et Vecteurs
Écologie, Génétique, Évolution et Contrôle

Table des matières

Remerciements

1. Introduction 1

1.1. Le fardeau des maladies (ré)émergentes 1

1.2. Des maladies négligées 2

1.3. Les maladies négligées liée à l'eau 2

1.4. Les trématodoses : un triptyque infectieux 3

1.5. La Camargue : un observatoire des risques épidémiologiques liés aux trématodoses 4

2. Matériel et Méthodes 5

2.1. Localisation et description de l'aire d'étude 5

2.2. Estimation des charges parasitaires en trématodes chez les bovins 6

2.3. Echantillonnage de populations de mollusques d'eau douce 6

2.3.1. Inventaire des espèces de mollusques d'eau douce sur le domaine de la TdV 6

2.3.2. Dynamique des populations des mollusques 6

2.3.3. Dynamique de l'infection parasitaire chez les mollusques 7

2.4. Analyses statistiques 7

3. Résultats 8

3.1. Charges parasitaires des bovins aux abattoirs 8

3.2. Inventaire des espèces de mollusques d'eau douce sur le domaine de la TdV 8

3.3. Dynamiques temporelles des communautés de mollusques d'eau douce 9

4. Discussion 9

4.1. Prévalences chez les hôtes définitifs 9

4.2. Espèces de mollusques d'eau douce de la TdV et prévalences naturelles 10

4.3. Effets des variables environnementales sur les communautés de mollusques d'eau douce 12

4.4. Perspectives 13

Références Bibliographiques

Annexe 1

Remerciements

Je tiens à remercier **Marion Vittecoq** pour m'avoir intégrée à ce beau projet au sein de son équipe de recherche à la Tour du Valat et d'avoir accepté d'être mon maître de stage durant ces quelques mois. Merci pour l'intérêt et l'aide apportés à mon travail et à ma réflexion qui ont largement contribué à l'aboutissement de ce rapport.

Un grand merci à **Sylvie Hurtrez-Boussès** pour m'avoir accueillie et de m'avoir permis de participer aux sessions de terrains, aux manipulations en laboratoire et à tout le reste. Merci pour les discussions enrichissantes et la transmission de connaissances autour de ce travail.

J'adresse des remerciements tout particuliers à **Antonio** qui s'est montré être un encadrant de qualité. Je te remercie pour tout ce que tu as accepté de partager, pour toutes les anecdotes et expériences scientifiques et annexes pour la volonté et la bienveillance avec laquelle tu m'as suivie. Merci pour ta gentillesse, ton dévouement et la richesse de tes connaissances.

Un grand merci à **Annia et Pili**, d'avoir été là. Par votre présence, vos conseils et votre sourire, merci d'avoir apporté une bienveillance et des encouragements remarquables pendant ces quelques mois.

Enfin, mes remerciements s'adressent aux directeurs scientifiques des structures d'accueil de MIVEGEC et de la Tour du Valat, **Frédéric Simard et Patrick Grillas** de m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de cette structure et de mettre à la disposition des stagiaires toutes les commodités dont il est possible de bénéficier.

Ce stage a été réalisé dans le cadre d'un financement de la Fondation pour la Recherche et la Biodiversité.

1. Introduction

1.1. Le fardeau des maladies (ré)émergentes

Les maladies émergentes sont longtemps restées une énigme sanitaire comme peuvent l'attester les différents récits de peste rapportés depuis l'Antiquité (Morens et al., 2004). Ces dernières décennies, le fardeau imposé par les maladies infectieuses a drastiquement augmenté dans beaucoup de régions du monde en raison de l'émergence de nouveaux pathogènes et de la réémergence d'anciens agents, nouvellement résistants aux méthodes actuelles de contrôle (Woolhouse and Gowtage-Sequeria, 2005). Ces maladies émergentes sont définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme des infections nouvelles, causées par l'évolution ou la modification d'un agent pathogène ou d'un parasite existant et dont l'incidence réelle augmente de manière significative dans une population donnée, d'une région donnée, par rapport à la situation habituelle de cette maladie (WHO, 1996).

Au sein des populations humaines, environ 60% des maladies infectieuses émergentes sont causées par des agents pathogènes ayant une origine zoonotique, c'est-à-dire qu'elles circulaient à l'origine chez d'autres animaux que les humains (Jones et al., 2008). En raison de l'importance du rôle des zoonoses dans les menaces actuelles de santé publique, la faune sauvage et les animaux domestiques jouent un rôle clé dans le processus en fournissant un « pool zoonotique » duquel des pathogènes précédemment inconnus peuvent émerger (Daszak et al., 2001). L'émergence ou la réémergence de ces agents sont étroitement associées aux perturbations environnementales. Ces dernières comprennent l'érosion de la biodiversité, les changements climatiques, le changement d'usage des sols (qui comprend entre autres la déforestation, la construction de routes, l'empiètement agricole, l'irrigation, la dégradation des zones côtières, la modification des zones humides, la construction de barrages…) ainsi que l'évolution des pratiques agricoles et toutes les formes de pollution, que l'on connaît sous le terme de changements globaux (Gauthier-Clerc et al., 2010). L'impact des maladies infectieuses nouvelles et réémergentes au sein des populations humaines est également expliqué par la vitesse et l'importance de leur expansion dans diverses géographiques, dépendant du déplacement et des comportements des hôtes humains, des vecteurs ou des réservoirs d'infection. A titre d'exemple, en 2003, le virus de la variole simienne (monkeypox), une infection endémique des rongeurs africains, a traversé l'Atlantique par le biais de l'exportation des animaux de compagnie qui ont ensuite été expédies du Texas et ont infecté 37 personnes à travers cinq états du Midwest américain (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2003).

1.2. Des maladies négligées

Parmi les maladies émergentes et ré-émergentes certaines sont désignées sous le nom de maladies négligées (MN) car elles ne font pas l'objet d'un intérêt aussi aiguisé que celles jugées prioritaires (malaria, tuberculose, bilharzioses…). Il s'agit d'un ensemble de maladies chroniques, invalidantes et préoccupantes affectant les humains, majoritairement implantées dans les régions tropicales et subtropicales mais pas exclusivement (Hotez et al., 2007). Ces maladies constituent un fardeau supplémentaire pour les pays en développement puisqu'elles impliquent plus d'un milliard de personnes et coûtent plusieurs milliards de dollars chaque année (Hotez et al., 2009; Hutton and Haller, 2004). Ces maladies accablent principalement les éleveurs d'Afrique et d'Asie vivant en contact étroit avec leurs animaux et dépendant d'eux pour subsister et se nourrir. Par exemple, dans le cas de l'échinococcose, *Echinococcus* se maintient principalement dans un cycle chien – mouton – chien, mais peut aussi impliquer plusieurs autres espèces animales domestiques, dont la chèvre, le porc, le bœuf, le chameau ou le yack (Harandi et al., 2002). Ici, les dommages de production imputables à la maladie proviennent de la perte des tissus comestibles, de la réduction du poids de la carcasse, de la baisse de valeur des peaux, de la chute de production de lait et de la réduction de la fertilité (Harandi et al., 2012; Kebede et al., 2009).

1.3. Les maladies négligées liée à l'eau

La plupart de ces MN sont liées à l'eau et aux changements d'usage des écosystèmes hydrologiques. Les activités humaines liées aux écosystèmes d'eau douce sont un facteur clé de dispersion d'espèces envahissantes, notamment en raison des connexions artificielles et naturelles entre rivières et canaux d'irrigation facilitant l'installation d'envahisseurs d'eau douce en dehors de leur aire géographique native (Lodge et al., 1998; Loo et al., 2007). En effet, la stabilité de nouveaux habitats, entretenus par l'Homme a permis l'installation de populations d'invertébrés aquatiques notamment des mollusques (Boycott, 1936; Ponder, 1988). La construction de barrages ou de systèmes d'irrigation peut avoir des répercussions sur l'émergence ou la réémergence de certaines MN en raison du lien entre épidémiologie et gestion de l'eau dans les zones humides. La création d'un barrage peut par exemple créer de nouveaux habitats convenables et/ou favorables pour la survie et/ou la reproduction de vecteurs ou d'hôtes intermédiaires (Petney and Taraschewski, 2010). Des ouvrages hydriques peuvent être sources d'augmentation de prévalence pour les populations vivant à proximité comme c'est le cas au Sénégal (Sokolow et al., 2017) ou au Laos où la mise en place de bassins d'aquaculture a suscité une intensification des cas de cholangiocarcinomes liés au trématode *Opisthorchis viverrini* (Ziegler et al., 2013).

Au sein de ces maladies liées à l'eau, les trématodoses occupent une place prépondérante dans le catalogue des maladies négligées. Toutefois, alors que les bilharzioses constituent la deuxième

endémie parasitaire mondiale après le paludisme, affectant 150-200 millions de personnes et causant 500 000 décès chaque année, les autres trématodoses ne reçoivent que très peu d'attention (Martínez et al., 2005). En effet, malgré l'impact considérable en santé humaine et la réémergence de plusieurs d'entre elles (Keiser and Utzinger, 2005), certaines trématodoses sont parmi les plus négligées des maladies négligées (Mas-Coma et al., 2009). Pourtant, 300 millions de gens défavorisés souffrent d'infections par des trématodes transmis par l'intermédiaire de mollusques, avec des conséquences allant d'un cholangiocarcinome malin potentiellement mortel à des effets subtils de morbidité qui retardent le développement mental et physique (Adema et al., 2012).

1.4. Les trématodoses : un triptyque infectieux

Les mollusques et les trématodes digènes sont associés depuis au moins 200 millions d'années (Blair et al., 2001; Cribb et al., 2001). Les trématodes ont des cycles de vie hétéroxènes impliquant des vertébrés comme hôtes définitifs et généralement des mollusques comme (premier) hôte intermédiaire (Keiser and Utzinger, 2009). Le passage par l'hôte intermédiaire est obligatoire pour l'aboutissement de la phase larvaire du parasite. L'infection de ce dernier est un processus dynamique et complexe dans lequel plusieurs étapes (recherche du mollusque, pénétration, migration, implantation et développement de la larve) (Wilson and Denison, 1970) et conditions/exigences (biochimiques, physiologiques et immunologiques) importantes pour la comptabilité hôte-parasite doivent être remplies pour assurer le succès du parasite (Vázquez et al., 2014). Parmi ces trématodes, *Fasciola hepatica* Linnaeus, 1758 est cosmopolite et à très large spectre (Figure 1). Ce trématode est capable d'infecter à la fois des animaux domestiques (ovins, bovins) mais également de se développer dans une multitude d'espèces de la faune sauvage (cervidés, lamas, kangourous, castors, rats, lapins, etc) (Robinson and Dalton, 2009) sur tous les continents (Mas-Coma, 2004). La charge globale, probablement sous-estimée, associée à la fasciolose est située entre 35 et 72 millions d'individus atteints avec, en prime, 180 millions de personnes à risque (Nyindo and Lukambagire, 2015). Les larves de *F. hepatica* peuvent infecter une grande diversité de mollusques d'eau douce, principalement de la famille des Lymnaeidae (Correa et al., 2010) appartenant essentiellement aux genres *Galba* (Rondelaud et al., 2016; Vignoles et al., 2002)*, Radix* (Relf et al., 2009) et *Pseudossucinea* (McKown and Ridley, 1995). Parmi les 30 espèces de limnées aux caractéristiques écologiques diverses, reconnues à ce jour comme hôtes intermédiaires de *F. hepatica* (Vázquez, 2018), certaines sont amphibies ; c'est le cas du genre *Galba* chez qui les individus vivent à l'interface entre eau et berge et qui peuvent, si les conditions l'obligent survivre dans des habitats secs en s'enterrant partiellement ou complètement dans le sol (*G. cubensis*: Alba et al., 2016; *G. truncatula*: Moukrim and Rondelaud, 1992) (Figure 2). La présence et l'établissement de ces espèces originaires d'Amérique sur le territoire français sont désormais avérées (Pointier et al., 2007) et la diversité de leurs susceptibilités aux infections

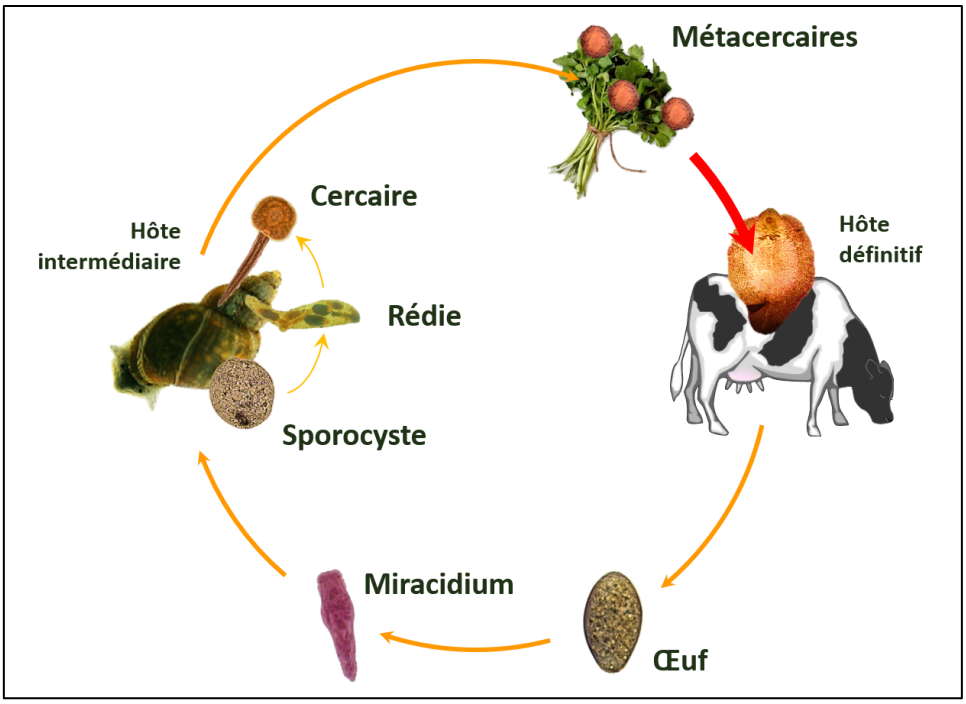


Figure 1: Représentation du cycle de vie de *Fasciola hepatica* causant la Fasciolose.



Figure 2: *Galba truncatula*, hôte intermédiaire principal de *Fasciola hepatica* en Camargue (A : regroupement de limnées sur la berge boueuse d'une des localités ; B : individu sur une herbe ; C : coquille avec ouverture dextre, trait = 5mm.

compliquent les scénarios épidémiologiques des trématodoses (Dreyfuss et al., 2015). Dès lors, il est essentiel d'aborder la répartition des communautés de mollusques à la lumière des changements environnementaux et plus particulièrement de la dynamique hydrique. Malgré la faible importance accordée au domaine de la malacologie médicale, la surveillance malacologique des prévalences naturelles est cruciale. En effet, ce type d'études permet de connaître la diversité des vecteurs, les niveaux d'infection les plus élevés et les plus faibles, et l'identification des espèces de parasites (Gurelli and Gocmen, 2007). L'autre point incontestable est qu'il est à la fois utile et avantageux de pouvoir prédire l'aire de répartition des espèces impliquées dans la circulation de maladies humaines et/ou vétérinaires à différentes échelles. C'est pour l'ensemble de ces raisons qu'une approche intégrative de l'épidémiologie de la fasciolose est essentielle. En travaillant d'une part sur la dynamique des populations et l'écologie des mollusques et d'autre part sur l'écologie parasitaire au sein des hôtes définitifs tout en faisant le lien avec le contexte environnemental et les risques parasitaires qu'il comprend.

1.5. La Camargue : un observatoire des risques épidémiologiques liés aux trématodoses

La zone méditerranéenne est une des régions où les risques d'émergence sont très élevés (Jones, 1990). Berceau de nombreuses civilisations, la région méditerranéenne a été l'un des principaux théâtres de transitions marquant à la fois l'histoire des humains et celle des agents pathogènes, qui se trouvent être étroitement liées (McMichael, 2004). La région se prête ainsi parfaitement aux questionnements sur la préservation des systèmes écologiques et les risques épidémiologiques associés (Vittecoq, 2012). En effet, la combinaison de sa grande biodiversité avec sa situation géographique particulière de carrefour et sa grande vulnérabilité aux changements globaux la rend propice au développement des parasites et en fait un point chaud potentiel de réémergence de maladies infectieuses (Jourdain et al., 2007). Il en va ainsi du delta du Rhône, qui forme la Camargue en jouant un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes locaux car les caractères écologiques de la Camargue dépendent directement de la circulation de l'eau et de ses différents niveaux (Figure 3). En effet, ce territoire est organisé selon un réseau très dense et complexe de canaux, roubines (fossés) associés à une extension des rizières, grandes consommatrices d'eau, et qui imposent l'irrigation ou le maintien d'une lame d'eau douce sur les terrains. Cette pratique participe à la connexion entre habitats temporaires (souvent asséchés pendant la période estivale) et permanents dans lesquels évoluent toute l'année les ovins et bovins des élevages de Camargue. Cette activité, tout comme le prélèvement par la chasse ou l'utilisation des terres favorisent les contacts entre faune sauvage et domestique et sont autant de mécanismes pouvant entraîner le maintien et/ou l'évolution de pathogènes (Lebarbenchon et al., 2008). Dans ces zones humides, qui sont sensibles du point de

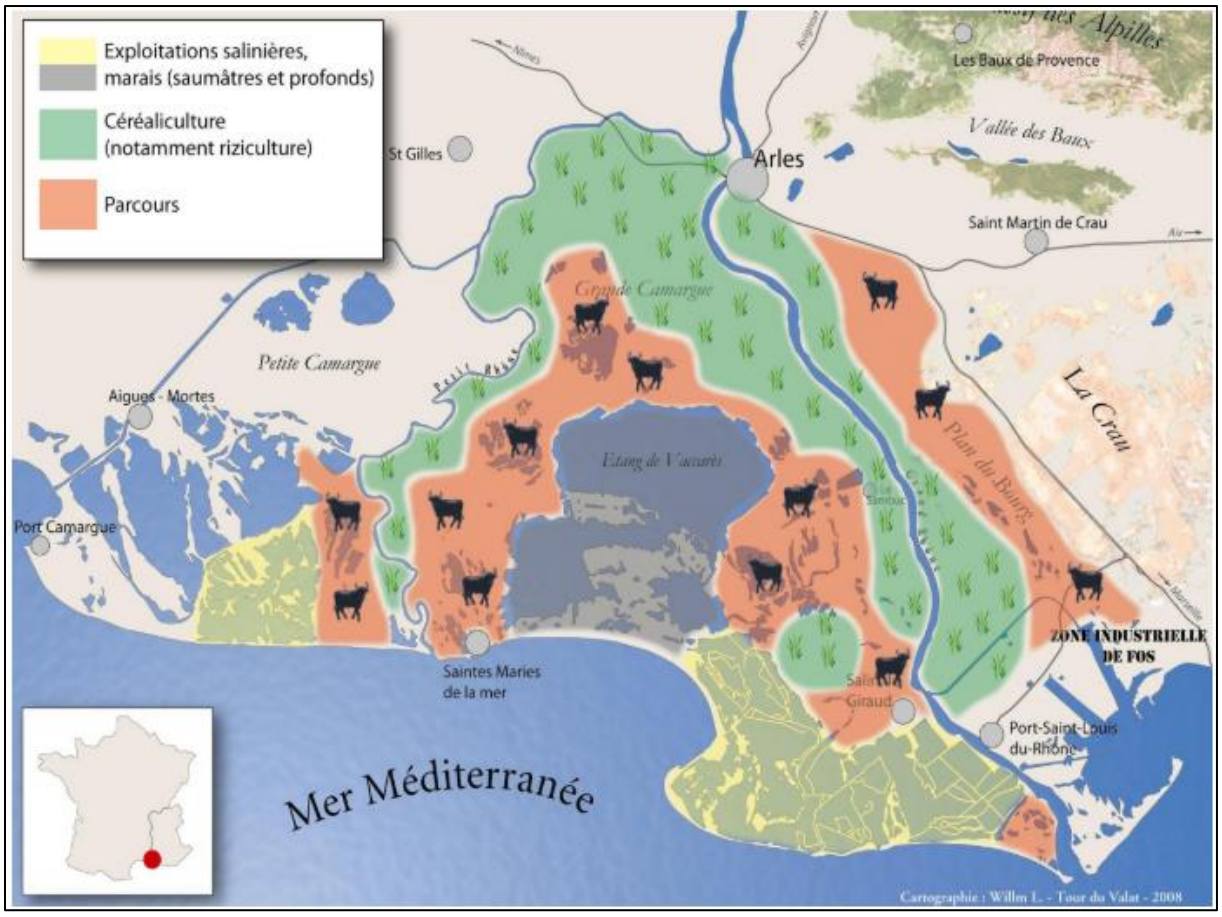


Figure 3: Représentation de la Camargue et de ses trois "ceintures" dans le delta du Rhône.

vue épidémiologique, on observe une prévalence importante de plusieurs parasites au sein des troupeaux bovins camarguais à la fois chez les jeunes et les adultes comme les strongles gastro intestinaux, la petite et la grande douve ainsi que le paramphistome (Hénoux et al., 2014). C'est dans ce cadre qu'il est judicieux de s'interroger sur la manière dont les facteurs environnementaux modulent les risques épidémiologiques et plus particulièrement sur les conditions écologiques liées à la gestion de l'eau qui affectent la circulation et donc la probabilité de transmission de *F. hepatica* (autrement dit favorisent l'infection des mollusques par la grande douve). Le succès de la transmission dépend également des troupeaux d'hôtes définitifs et donc des pratiques d'élevage locales. Au sein des cheptels de taureaux en Camargue, on retrouve deux races que sont la « *Raço di biou* » et la « *Toros bravos* » mais aussi des hybrides entre les deux, ainsi que des troupeaux de moutons « Mérinos d'Arles » (Blondel et al., 2013). Au sein des communautés d'hôtes sont également retrouvées des espèces sauvages communément présentes sur le territoire depuis les années 70 telles que le ragondin (Costa, 2005) ou encore le sanglier (Potevin et al., 2010) qui peuvent participer activement à la circulation de la fasciolose (Sabourin, 2018).

Ce travail s'inscrit dans un projet sur les risques épidémiologiques de la fasciolose et autres trématodoses dans un contexte de biologie de la conservation et de perturbations anthropiques, initié depuis quelques années (Sabourin, 2018) et dont les acquis et les suivis permettent de répondre à des problématiques prégnantes dans le système camarguais. Dans le cadre de ces problématiques globales, mon stage vise à (1) étudier l'écologie parasitaire des trématodes au sein de l'hôte définitif bovin, sur cette base, (2) identifier les habitats regroupant les conditions favorables pour abriter les mollusques d'eau douce impliqués dans la transmission des trématodes, (3) caractériser les dynamiques spatio-temporelles des populations de ces mêmes mollusques.

Pour ce faire, nous avons combiné un échantillonnage systématique des parasites du foie lors des abattages des bovins et un suivi de la dynamique des communautés de mollusques d'eau dans des zones hydrologiquement différentes.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Localisation et description de l'aire d'étude

Notre étude a pris place dans un territoire particulier de la Camargue qui est le domaine de la Tour du Valat (TdV), zone de 2700 ha où une grande diversité de milieux humides est présente (Figure 4). Le domaine est éloigné des zones habitées cependant les activités humaines y jouent un rôle majeur sur les habitats. On y retrouve des parcelles d'élevage de bovins et toute la zone est traversée par des canaux d'irrigation, principalement utilisés par les rizières environnantes et qui sont aussi utiles pour abreuver le bétail. Sur le domaine de la TdV, on retrouve l'élevage extensif de bovins répartis en lots



Figure 4: Représentation de la diversité des habitats retrouvés sur le domaine de la Tour du Valat (A : Canal interne permanent ; B : Marais connecté et mis en eau de manière temporaire ; C : Canal temporaire dans une sansouïre, mis en eau lors du débordement d'un canal d'irrigation.

très peu manipulés et pâturant et vivant en extérieur toute l'année. Les troupeaux évoluant dans les marais du domaine sont d'autant plus confrontés aux infections parasitaires que certains ne reçoivent plus d'antihelminthiques depuis 2005 (Hénoux et al., 2014). On y retrouve également des communautés d'hôtes intermédiaires impliquées dans les cycles de transmission (Sabourin, 2018).

2.2. Estimation des charges parasitaires en trématodes chez les bovins

Les co-infections entre plusieurs espèces de parasites au sein des foies de bovins étant communes (Sabourin, 2018), nous avons décidé de collecter la totalité des parasites présents. Afin d'accéder aux charges parasitaires, nous avons examiné les foies de tous les bovins de la TdV qui ont été abattus. Durant la période d'étude, cinq sessions d'abattage ont eu lieu les 12,16 et 25 avril et les 02 et 14 mai à l'abattoir de Tarascon. Les données relevées ont été utilisées pour estimer les paramètres d'écologie parasitaire (Reiczigel et al., 2019) : la prévalence (% d'individus infectés sur le nombre total d'individus examinés) et intensité (nombre de parasites infectant chaque individu atteint). Pour chaque animal abattu, en plus de son statut parasitaire, nous avons consigné le sexe, l'âge et le poids de la carcasse (données par l'éleveur).

2.3. Echantillonnage de populations de mollusques d'eau douce

2.3.1. Inventaire des espèces de mollusques d'eau douce sur le domaine de la TdV

Nous nous sommes rendus sur 31 sites pour inventorier les espèces de mollusques d'eau douce sur le domaine de la TdV (Figure 5). Les spécimens récoltés ont été stockés et transportés au laboratoire pour leur identification. Pour chaque site inventorié, le type d'habitat a été précisé et les coordonnées GPS enregistrées pour la construction d'une carte malacologique avec le logiciel QGIS (Équipe de développement de QGIS (2019). Système d'information géographique QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project).

2.3.2. Dynamique des populations des mollusques

Sept sites combinant les différentes caractéristiques de mise en eau et de connexion (Tableau 1) ont été sélectionnés pour étudier mensuellement la dynamique des communautés de mollusques d'eau douce, entre décembre 2018 et mai 2019. A chaque site, nous avons mesuré dix facteurs abiotiques tels que la dureté totale et en carbonates (DC, °d), la température (T,°C), la concentration en nitrites (NO_2^-,mg/mL), nitrates (NO_3^-, mg/mL), ammonium (NH_4^+, mg/mL) et phosphates (PO_4^{3-},mg/mL), la concentration en oxygène (O_2,%) et le pH ont été mesurés *in situ* par méthodes titrimétriques ou colorimétriques en utilisant un kit d'analyse de l'eau (Merck™, Compact Laboratory for Water Testing). La profondeur (Prof, m) a aussi été relevée à chaque session grâce à une échelle limnimétrique pour surveiller les changements de niveau d'eau. Au même moment, un échantillonnage de capture par

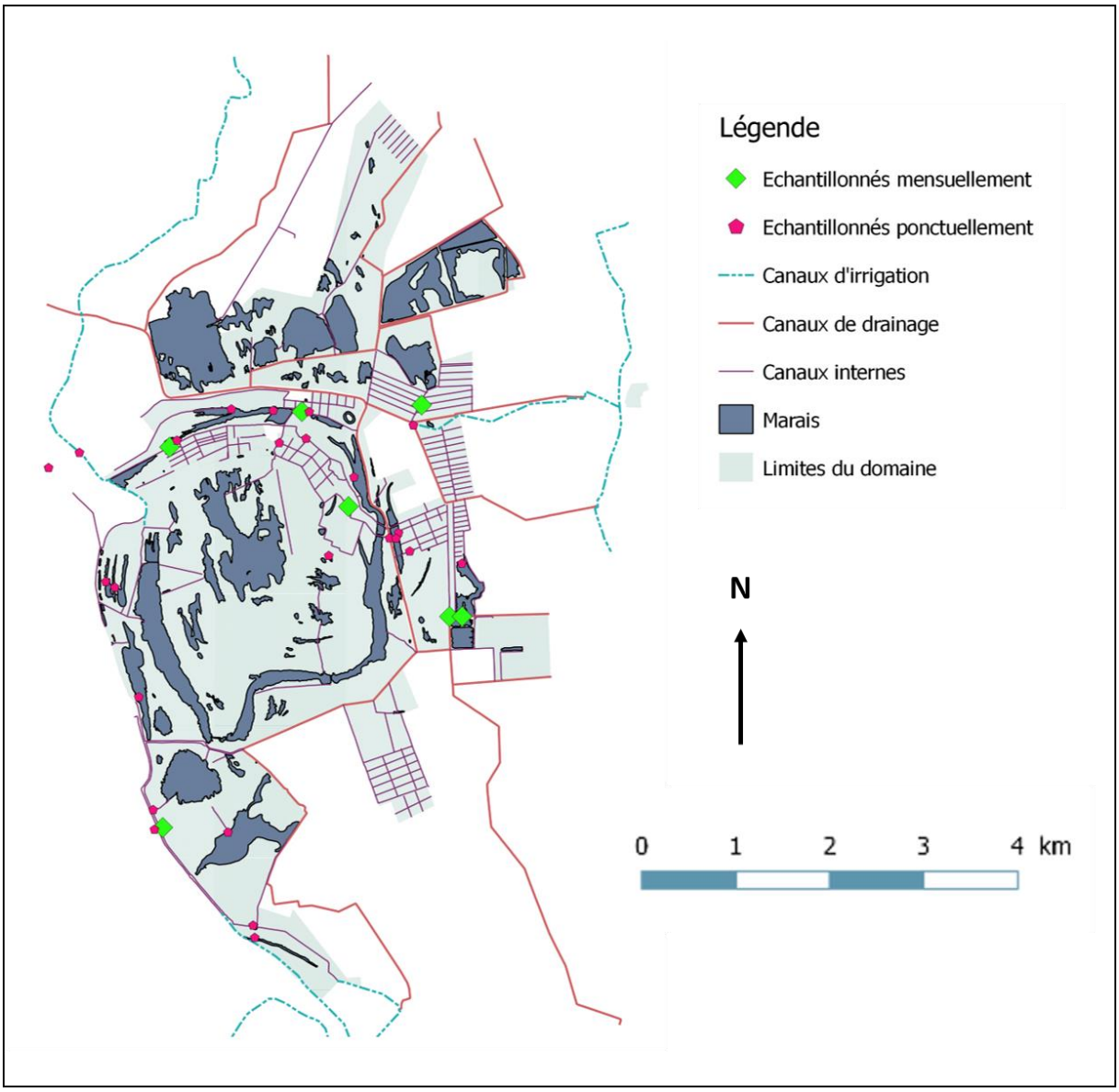


Figure 5: Localisation de sites d'échantillonnage mensuel (en vert) et des sites supplémentaires (en rose) ainsi que du réseau hydrographique sur le domaine de la Tour du Valat.

Tableau 1: Caractéristiques des huit sites d'échantillonnage mensuel.

Habitat	Types	Connexion	Sites
Permanent	Berges, canaux	permanente	AV, RI
Semi-permanent	Canaux ou mares	non permanente	CRV, MMC, FA
emporaire	Mares, flaques, anciens canaux	absente	RE, MaMC

unité d'effort d'une durée de 15 minutes a été effectué conformément aux protocoles utilisés par Perera (1996) et Vázquez (2015). Les mollusques ont été prélevés directement de la boue ou de l'eau à l'aide de pinces fines et d'une passoire de maille 1mm. Les abondances ont été estimées par le nombre d'individus collectés en 15 minutes. Les mollusques de chaque communauté ont été placés dans des tubes et apportés vivants au laboratoire MIVEGEC pour leur identification et dissection.

2.3.3. Dynamique de l'infection parasitaire chez les mollusques

Tous les individus échantillonnés ont été disséqués sous loupe binoculaire pour rechercher les stades larvaires de trématodes (sporocystes, rédies et cercaires) en vue de leur identification grâce aux clés de détermination de Frandsen et Christensen (1984) et Rondelaud et al. (2009). De même que chez les bovins, prévalence et intensité parasitaires ont été évaluées chez les mollusques (Reiczigel et al., 2019).

2.4. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été menées en utilisant les packages du logiciel statistique RStudio (version 1.1.419). Les données ont été confrontées au préalable aux tests de normalité et d'homoscédasticité pour vérifier qu'elles satisfont aux conditions d'utilisation de tests statistiques paramétriques. En cas de non-conformité nous avons utilisé la corrélation linéaire de Spearman et la comparaison de moyennes deux à deux de Mann-Whitney pour l'analyse des intensités parasitaires chez les hôtes définitifs.

Nous avons procédé à une Analyse en Composantes Principales (ACP), pour identifier la contribution de chaque variable des taureaux (âge, poids de la carcasse et sexe) et leurs relations avec les intensités parasitaires et ainsi voir si des catégories d'individus ont des probabilités plus élevées de s'infecter. Une ACP (package *ade4*) met en évidence des composantes principales et les variables explicatives associées à ces composantes.

L'Analyse Canonique de Correspondances (ACC) nous a permis d'explorer les relations entre les différentes communautés de mollusques et les variables environnementales et de visualiser quelle variable contribue le plus aux richesses et abondances observées des communautés. Ce type d'analyse multivariée descriptive (Ter Braak, 1986; Ter Braak and Verdonschot, 1995) (package *ade4*) permet de détecter une relation unimodale entre les variables biologiques et les variables environnementales.

Suite à l'observation de certaines relations, nous avons procédé à un modèle linéaire généralisé (GLM, abréviation de l'anglais) qui nous a permis d'observer de potentiels effets significatifs des variables environnementales sur l'abondance estimée de chaque espèce de mollusque. A partir des données d'abondances obtenues dans le comptage de notre étude, nous avons procédé à la régression de Poisson (Coxe et al., 2009) (package *stats*). La régression de Poisson permet d'évaluer les effets de plusieurs variables prédictives de type numérique continue sur des réponses de type comptage.

3. Résultats

3.1. Charges parasitaires des bovins aux abattoirs

Sur les 31 individus abattus lors de cette saison du printemps 2019, la prévalence en grande douve (*F. hepatica*) est de 80,6%. Nous avons également détecté la petite douve *Dicrocoelium dendriticum* dans 87,1% des cas. Quel que soit l'âge ou le sexe, tous les individus sont parasités, à noter que nous avons retrouvé une prévalence de co-infection de 67,7%. Les moyennes obtenues pour les intensités parasitaires sont de 13,68 (6,73 IC) pour *F. hepatica* et 23,16 (12,32 IC) pour *D. dendriticum*. Il est intéressant de noter que la moyenne d'intensité est plus importante pour les femelles que pour mâles pour les deux espèces de parasites. Dans le cas de *F. hepatica* on retrouve une moyenne de 19,9 (10,5 IC) chez les femelles contre 5,1 (3,4 IC) chez les mâles tandis que pour *D. dendriticum* la moyenne a une valeur de 27,9 (20,3 IC) chez les femelles contre 16,6 (8,6 IC) chez les mâles.

Le cercle de corrélation issu de l'ACP est représenté selon les deux premières dimensions puisqu'elles expliquent 65,7% de la variance observée (Figure 6). Aux vues de l'orientation des axes, les intensités en *F. hepatica* et *D. dentriticum* semblent être négativement reliées, c'est-à-dire que plus il y a de grandes douves moins il y a petites douves et inversement. Les mâles, se répartissent autour du vecteur de *D. dendriticum*, ce qui signifie qu'ils affichent des prévalences en petites douves plus élevées. L'âge est bien représenté dans les deux dimensions mais ne semble pas expliquer ni les charges parasitaires ni le poids. A partir de la relation observée entre les intensités de chaque espèce de parasite, nous avons procédé à une comparaison de moyennes deux à deux via le test de Mann-Whitney. Cette comparaison ne nous a pas permis de constater des différences statistiquement significatives (U=550,5 ; p=0,32). De plus, une corrélation de Spearman effectuée sur ces données nous a montré une tendance négative entre les intensités de grande douve et petite douve, bien que non statistiquement significative (r=-0,29 ; p=0,115 ; n=31).

3.2. Inventaire des espèces de mollusques d'eau douce sur le domaine de la TdV

Dans l'ensemble des 31 sites inventoriés sur le domaine de la TdV, seules trois espèces ont été retrouvées. L'espèce *Galba truncatula* (Lymnaeidae) a été retrouvée dans 13 sites, *Physa acuta* (Physidae) dans 19 sites et *Anisus leucostoma* (Planorbidae) dans 2 sites (Figure 7). Les espèces *G. truncatula* et *P. acuta* coexistent dans cinq sites (Annexe 1). La limnée tronquée *G. truncatula* a été retrouvée dans six canaux, cinq mares temporaires et deux mares permanentes. A l'issue des six mois d'échantillonnage sur l'ensemble des sites du domaine (31), 689 individus (529 pour *G. truncatula*, 133 pour *P. acuta* et 27 pour *A. leucostoma*) ont été prélevés. Tous les individus ont été disséqués et aucun n'était porteur de larves de trématodes pour la période étudiée.

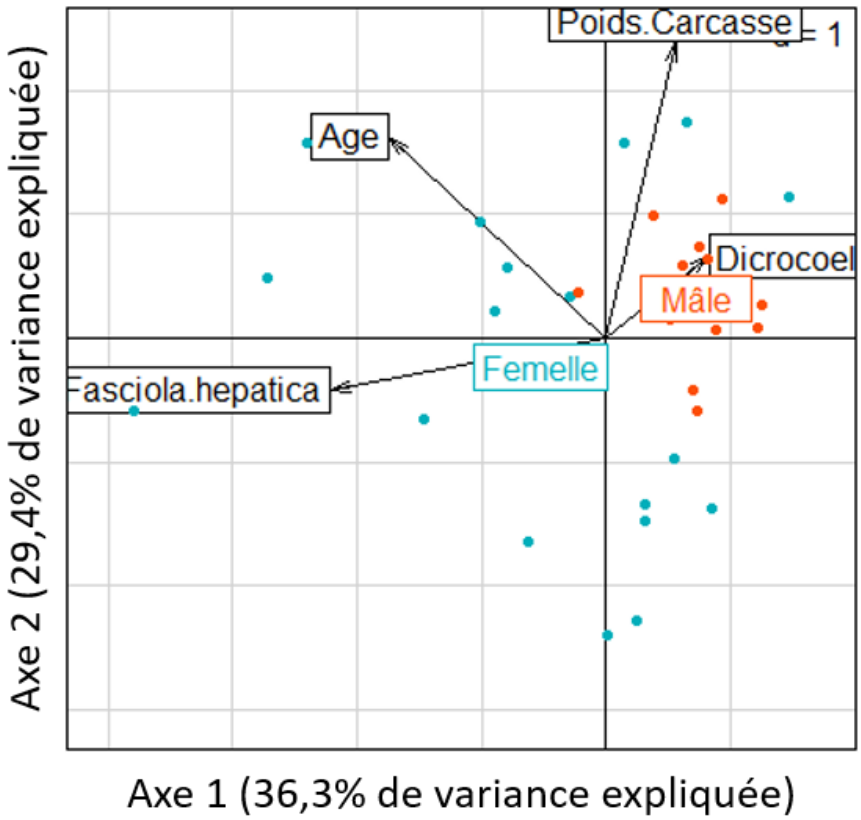


Figure 6: Diagramme de dispersion de l'analyse de composantes principales représentant la contribution des variables des intensités parasitaires, de l'âge et du poids des bovins selon la modalité du sexe.

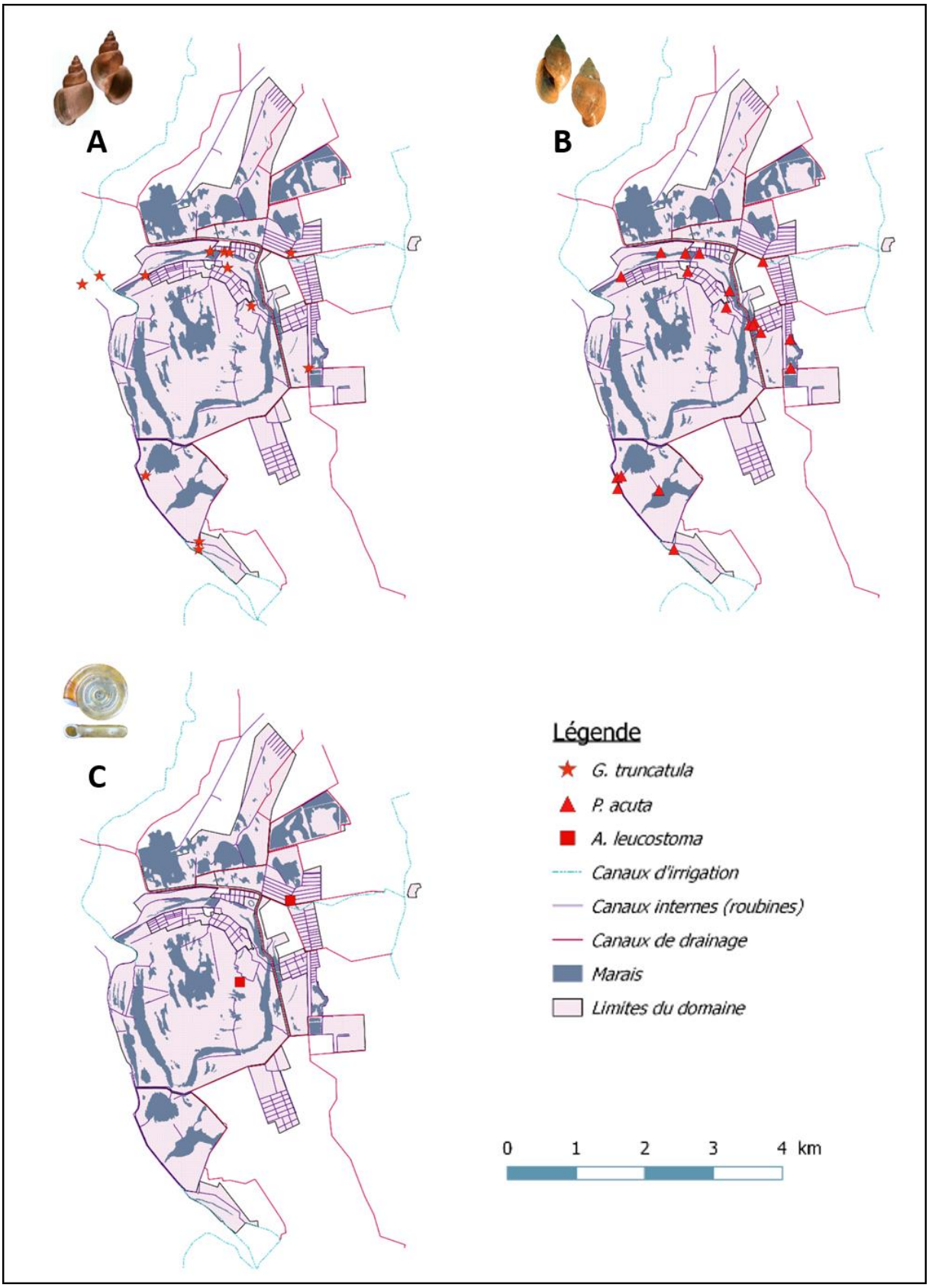


Figure 7: Répartition spatiale des trois espèces présentes à la Tour du Valat (A : *Galba truncatula* ; B : *Physa acuta* ; C : *Anisus leucostoma*.

3.3. Dynamiques temporelles des communautés de mollusques d'eau douce

Le suivi dans les sept sites de décembre à mai a permis de collecter un total de 464 individus dont 375 *G. truncatula* et 89 *P. acuta.* Les abondances estimées de chacune des deux espèces ont montré des variations différentes selon les sites (Figures 8). L'espèce *G. truncatula* est retrouvée sur cinq sites (AV, RI, FA, CRV et MMC) au mois de décembre puis la plupart des effectifs baissent jusqu'à 0 dès janvier. Une augmentation des effectifs de *G. truncatula* a été constatée sur deux canaux à partir de février avec des maximums en mars pour Anciennes Vignes (AV) et en avril pour Roubine des Iris (RI). Après six mois d'échantillonnage, aucun individu n'a été retrouvé dans le site de Marais Mon Canard (MaMC). Dans le cas de *P. acuta,* elle est retrouvée sur quatre sites (MaMC, FA, AV et CRV) en décembre avec des effectifs assez disparates. La localité qui recense les abondances les plus élevées est le Marais Mon Canard (MaMC) avec l'abondance la plus élevée en décembre. Il est intéressant de noter que cette espèce est absente ou avec des abondances très faibles dans les sites où nous avons retrouvé les abondances les plus élevées de *G. truncatula* (AV et RI).

Nous avons retrouvé des relations entre les abondances estimées pour *G. truncatula* et *P. acuta* et les variables abiotiques dans le cadre de l'ACC (Figure 9). Les deux premiers axes de l'ACC expliquent 81% de la variance totale. Les variables le mieux représentées sur le plan factoriel et contribuant le plus à expliquer les abondances observées des deux espèces sont les duretés (totale et en carbonates), le pH et le niveau d'eau. Le reste des variables ne semble pas contribuer à expliquer les abondances observées. Les répartitions des populations de *G. truncatula* et *P. acuta* semblent être discordantes sur la base des facteurs abiotiques mesurés à chaque site. La régression de Poisson nous a permis de quantifier la significativité des relations observées dans l'ACC. Dans le cas de *G. truncatula*, le meilleur modèle après « correction » de la surdispersion avec un modèle « quasipoisson », correspondant à l'AIC le plus faible (347,23) souligne une significativité de la dureté totale de l'eau (DT, $p= 1{,}11*10^{-5}$) et de l'oxygène (O2, p=0,00831) sur les abondances (Tableau 2). Pour *P. acuta*, après le passage du modèle en quasi-Poisson aucune des variables prédictives conservées (pH, DT et DC) n'a un effet notoire sur les abondances observées (Tableau 3).

4. Discussion

4.1. Prévalences chez les hôtes définitifs

Les infections les plus communes par les trématodes chez le bétail en Europe sont causées par les douves appartenant aux genres *Fasciola*, *Paramphistomum* et *Dicrocoelium* (Arias et al., 2011). Chez les 31 bovins abattus, nous avons pu observer des co-infections entre la petite douve *Dicrocoelium dendriticum* (Dicroceliidae) et *Fasciola hepatica* pour 21 des 31 individus. Ces deux parasites colonisent

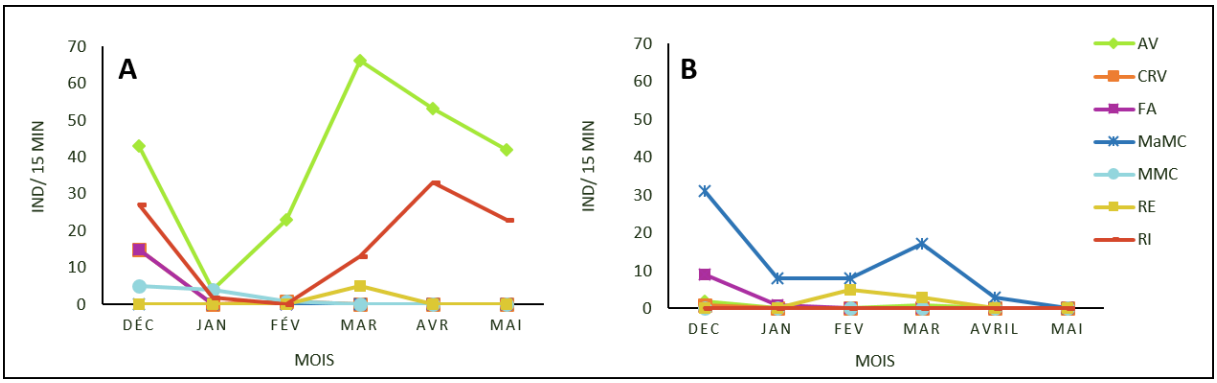


Figure 8: Dynamique temporelle (décembre à mai) des abondances relatives de *Galba truncatula* (A) et de *Physa acuta* (B) sur les 7 sites d'échantillonnage à la Tour du Valat.

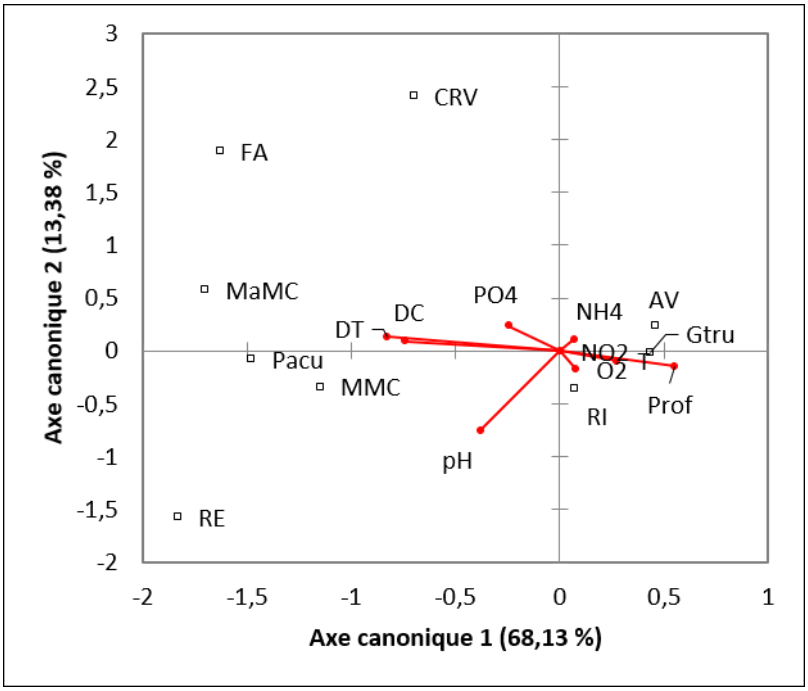


Figure 9: Diagramme d'ordination de l'analyse canonique de correspondance pour les deux espèces *G. truncatula* et *P. acuta* et les différents facteurs environnementaux mesurés (Sites : FA=Fangouse, CRV=Clos du Rendez-vous, MaMA=Marais Moncanard, MMC=Mare Moncanard, AV=Anciennes Vignes, RI=Rubine des Iris, RE=Redon ; Espèces : Gtru=*Galba truncatula*, Pacu=*Physa acuta* ; Facteurs : DT=dureté totale, DC=dureté en carbonates, Prof=profondeur).

Tableau 2: Régression de Poisson des abondances relatives de *Galba truncatula* en fonction des variables environnementales explicatives. Les variables gardées pour ce modèle sont la Profondeur, la température, le pH, la Dureté totale (DT), les nitrites et l'oxygène (meilleur modèle avec une valeur de 347,23 pour l'AIC). Les effets significatifs sont notés en gras (p<0,05).

	Estimation	**Erreur Standard**	**T valeur**	**Pr(>|t|)**
Profondeur	-0,00904	0,01110	-0,814	0,42192
Température	0,07786	0,05345	1,457	0,15557
pH	0,71829	0,89063	0,806	0,42631
DT	-0,31044	0,05900	-5,261	**$1{,}11*10^{-5}$**
$N0_2^-$	-19,0273	17,2712	-1,102	0,27936
O_2	-0,31452	0,11131	-2,826	**0,00831**

Tableau3: Régression de Poisson des abondances relatives de *Physa acuta* en fonction des variables environnementales explicatives. Les variables gardées pour ce modèle sont le pH, la dureté totale (DC) et la dureté en carbonates (DC) (meilleur modèle avec une valeur de 272,1 pour l'AIC). Les effets significatifs sont notés en gras (p<0,05).

	Estimation	**Erreur Standard**	**T valeur**	**Pr(>|t|)**
Interaction	-10,9223	8,7977	-1,241	0,223
pH	0,06410	0,9632	0,665	0,510
DT	0,2239	0,2322	0,964	0,342
DC	0,1012	0,1021	0,991	0,329

tous deux le foie et les co-infections sont régulièrement reportées (Ducommun and Pfister, 1991; Khanjari et al., 2014). Dans notre étude, les abondances et intensités observées pour *D. dicrocoelium* sont plus élevées que celles pour *F. hepatica*. Ceci s'explique par deux points importants qui différencient leur épidémiologie. Le premier est que, contrairement à *F. hepatica*, les hôtes intermédiaires (escargots terrestres comme premier hôte et fourmis comme deuxième) de *D. dendriticum* ne requièrent pas de conditions humides et sont, par conséquent, largement présents tout au long de l'année dans les pâtures, à condition que les sols soient suffisamment calcaires et alcalins (Manga-González et al., 2001). Le deuxième est que les œufs de *D. dendriticum* peuvent survivre pendant des mois dans ces pâtures (Taylor, 2012) en raison de leur résistance à des conditions de sécheresse ou alors des températures très froides. On peut imaginer qu'en l'absence de points d'eau, au moins temporaires, alors l'infection serait plutôt en faveur de *D. dendriticum*. En revanche, si les bovins ont accès à des points d'eau, la transmission par les mollusques d'eau douce pourrait être favorisée et l'infection par *F. hepatica* serait plus probable. Conformément à d'autres études nous avons aussi observé que les femelles ont des intensités en *D. dendriticum* plus élevées que les mâles (Ducommun and Pfister, 1991; Khanjari et al., 2014). Ceci pourrait s'expliquer par les aires dans lesquelles elles pâturent plus fréquemment, différentes de celles des mâles pour lesquelles nous n'avons malheureusement pas obtenu d'informations dans notre travail. Contrairement à certaines études (Arias et al., 2011; Sánchez-Andrade et al., 2002), l'âge des bovins ne semble pas avoir d'effet sur les prévalences observées que ce soit pour la petite douve ou la grande douve, en ce qui concerne notre échantillonnage. En effet, il a déjà été observé que les individus les plus vieux peuvent développer une forme de résistance après une exposition initiale à ces trématodes (Díaz et al., 2006; Sánchez-Andrade et al., 2002).

4.2. Espèces de mollusques d'eau douce de la TdV et prévalences naturelles

Les espèces *G. truncatula* et *P. acuta* retrouvées en Camargue sur le domaine de la TdV font partie des mollusques d'eau douce les plus largement répandus mondialement avec la limnée *Pseudosuccinea columella* (Ebbs et al., 2018; Lounnas et al., 2017). Les mollusques d'eau douce impliqués en tant qu'hôtes intermédiaires dans la transmission de la fasciolose font essentiellement partie de la famille des Lymnaeidae Rafinesque 1815 qui comptabilise une centaine d'espèces d'escargots amphibies (Correa et al., 2010; Strong et al., 2008). En Europe, bien que d'autres espèces comme *Omphiscola glabra* ont été signalées comme hôtes naturels de *F. hepatica* (Abrous et al., 1999; Vignoles et al., 2017), la plus grande part de responsabilité dans la transmission est attribuée à *G. truncatula* (Abrous et al., 2000; Manga-Gonzalez et al., 1991; Rondelaud et al., 2016). Les prévalences enregistrées en *F. hepatica* pour *G. truncatula* sont comprises entre 5 et 33% en France, ont déjà atteint une moyenne de 11% en Espagne (Rondelaud et al., 2009) et sont même parvenus jusqu'à 85% en Pologne (Kozak

and Wedrychowicz, 2010). En revanche, les prévalences les plus communément retrouvées chez les limnées sont relativement faibles et vont de 0,3-3% à Cuba (Vázquez et al., 2015), 0,67% en Argentine (Kleiman et al., 2007), 1,8% en France (Degueurce et al., 1999) jusqu'à 3% au Maroc (Rondelaud et al., 2009). La troisième espèce retrouvée sur le domaine, *Anisus leucostoma* (Planorbidae), n'est pas considérée comme l'hôte intermédiaire principal jouant un rôle dans la transmission de fasciolose. Cependant cette espèce a déjà été retrouvée infectée une fois en France avec des prévalences en *F. hepatica* de 0,1% sur un échantillon de 547 individus (Dreyfuss et al., 2002) et participerait même à maintenir les infections par *F. hepatica* dans les endroits où *G. truncatula* est absente (Abrous et al., 1998).

Pour l'heure, l'échantillonnage mensuel conduit de décembre à mai ne nous permet pas de conclure sur l'existence de prévalences naturelles chez les hôtes intermédiaires. En effet, bien que des individus aient déjà été retrouvés infectés sur le domaine de la TdV avec une prévalence de 0,37% sur un échantillon de 2139 individus chez *G. truncatula* (Sabourin, 2018), aucune infection par *F. hepatica* ni aucun autre trématode n'a été recensée chez les 464 mollusques récoltés durant ces six mois. Pour aboutir à des prévalences importantes, on suppose qu'il faut que la probabilité de contacts entre les mollusques et les miracidia de trématodes soit accrue, notamment par l'augmentation des densités de populations de limnées (McKenzie and Townsend, 2007). On pourrait penser que les abondances des populations retrouvées sur les sept sites de la TdV durant les six mois ne sont pas suffisamment conséquentes pour supporter des prévalences très ou au moins ne permettent pas de les observer au cours de sessions d'échantillonnage. Pourtant, certains de nos sites abritent des populations qui atteignent des effectifs élevés et se maintiennent dans le temps (cf. partie 3.2. et Figure 7). Ceci peut-être expliqué par le fait que la majorité des espèces reconnues comme étant les vecteurs principaux de la fasciolose se reproduisent par autofécondation, ce qui amène à une grande capacité de coloniser de nouveaux habitats ou de recolonisation après des évènements d'extinction (Lounnas et al., 2017; Meunier et al., 2004; Trouvé et al., 2005). Par exemple, le vecteur de la fasciolose, *P. columella* qui est probablement natif de l'Amérique du Nord a colonisé l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Europe jusqu'aux îles Pacifique en moins d'un siècle (probablement en raison des premiers évènements de colonisation) (Lounnas et al., 2017). Un autre exemple concernant *G. truncatula* montre que cette espèce a envahi l'Altiplano bolivien durant le 20ème siècle induisant le plus grand niveau d'hyperendémie de fasciolose jamais enregistré jusqu'à présent (Meunier et al., 2001). Rajouté à cela, il faut remarquer que la plasticité écologique des limnées leur permet d'occuper une large gamme d'écosystèmes, ce qui représente l'un des aspects clés de l'étendue fructueuse de la fasciolose (Vázquez, 2018).

4.3. Effets des variables environnementales sur les communautés de mollusques d'eau douce

A de petites échelles spatiales, l'habitat peut être considéré comme l'un des facteurs les plus importants dans la structuration des communautés de mollusques et de trématodes (Johnson and Brown, 1997; Tolley-Jordan and Owen, 2008; Wetzel and Shreve, 2003). En Camargue comme ailleurs, la qualité de l'eau dépend des concentrations de nombreux composants chimiques, largement tributaires de l'activité humaine (agriculture, industrie, usages domestiques). Parmi eux les nutriments (azote, phosphore, potassium) à l'origine de l'eutrophisation des zones humides, sont les paramètres les plus couramment suivis, au même titre que la demande biologique en oxygène (DBO) et les métaux lourds (Ciparis et al., 2013). Ils sont pertinents à mesurer puisque l'apport d'éléments nutritifs dans les écosystèmes aquatiques résulte en une augmentation de la croissance, de la densité, de la biomasse et de l'efficacité dans la reproduction des mollusques d'eau douce dus à une augmentation dans la production des biofilms d'algues (Chase and Knight, 2006; Thomas and Daldorph, 1994). Les abondances de *P. acuta* et de *G. truncatula* retrouvées sur nos sites ne semblent pas être significativement influencées par les concentrations en ammonium, phosphates et nitrites (Figure 9, Tableaux 3 et 4). Il est possible d'envisager que la précision et l'échelle des facteurs mesurés puissent ne pas atteindre les valeurs considérées limitantes pour les mollusques. En effet, *P. acuta* et *G. truncatula* possèdent un spectre de tolérance très vaste vis-à-vis des paramètres physico-chimiques de l'eau qui leur permet de s'établir dans des micro-habitats où les fluctuations de ces facteurs sont très accentuées (Vázquez and Gutiérrez, 2007). Contrairement à des espèces appartenant aux Caenogastropoda qui sont dotées de branchies pour la respiration, les Hygrophila (y compris les anciens Pulmonata) ne sont pas aussi sensibles aux solides ou aux molécules en suspension ni à la faible concentration en oxygène dissous (Thorp and Covich, 2010). Cela dit, les abondances relatives retrouvées pour l'espèce *G. truncatula* semblent, en partie, significativement expliquées par la concentration en oxygène (Tableau 3). Ce constat n'est pas si étonnant car, bien que l'oxygène dissout ne soit d'aucune utilité dans la physiologie respiratoire des Pulmonés, une source adéquate est nécessaire à la croissance des algues unicellulaires et des macrophytes servant de principale ressource alimentaire à la plupart des mollusques pulmonés. Pour l'autre facteur expliquant significativement les abondances observées chez *G. truncatula* (Tableau 3), des eaux dures contribuent généralement davantage à la croissance des plantes (Dussart, 1976) qui vont automatiquement générer plus d'opportunités d'abris et de formation de humus (Boycott, 1936). De plus, la dureté de l'eau s'exprime par la concentration en carbonates et bicarbonates, connues comme étant le paramètre chimique le plus important pour les mollusques (Hunter, 1964). En effet, elle est connue pour participer à l'accroissement de la coquille ainsi qu'à la reproduction (Yipp, 1990).

4.4. Perspectives

L'étude des foies des hôtes définitifs à l'abattoir ainsi que l'échantillonnage des hôtes intermédiaires sur le terrain reflètent la situation épidémiologique de la Camargue. Cela confirme que la Camargue est une région endémique pour les infections de *F. hepatica* et de *D. dendriticum*. Davantage de sessions de prélèvements et d'abattage sont nécessaires pour développer des prédictions et formuler des stratégies de contrôle appropriées pour abaisser les possibles pertes économiques dues à ces parasites. Ces dernières décennies la prévalence de la fasciolose bovine a augmenté dans certaines régions d'Europe en raison d'hivers plus cléments, laissant supposer que la recrudescence n'en est pas à ses dernières heures. En considérant que la majorité des chimiothérapies se focalisent contre le genre *Fasciola* l'effet sur l'ensemble des trématodes apparaît insatisfaisant. Davantage d'efforts sont nécessaires notamment pour contrôler l'habitat des hôtes intermédiaires ou les hôtes intermédiaires eux-même ; par exemple en utilisant un biomolluscicide qui n'affecte pas les communautés faunistiques et floristiques associées au mollusque (Chawech et al., 2017) ou bien l'utilisation de prédateurs de mollusques (Rondelaud et al., 2006).

Pour mieux identifier les zones à risques sur le domaine de la TdV, l'échantillonnage des mollusques hôtes doit se poursuivre en suivant les troupeaux et les habitats temporaires qu'ils fréquentent. En effet, l'accessibilité des bovins y est rendue plus aisée et la possibilité de stagnation des bouses contenant les œufs de *F. hepatica* est favorisée, privilégiant par ce biais, l'exposition et l'infection des mollusques. En effet le pâturage et l'accès à l'eau sont des facteurs clés de la propagation de la fasciolose (Novobilský et al., 2014). Il a été prouvé que le risque de fasciolose augmente dans les régions avec des saisons de pâturage prolongées (Novobilský et al., 2015) comme c'est le cas en Camargue. Par exemple, en Tanzanie, les taux d'infection par *F. gigantica* (28,2%*)* et les paramphistomes (62,8%) sont plus élevés sur les hauts plateaux où les troupeaux pâturent en toute liberté dans les cultures irriguées que dans les villages de basse altitude (Nzalawahe et al., 2015). Dans les zones tempérées, la transmission saisonnière peut-être observée lorsque la température est appropriée et que l'eau est disponible pour la reproduction des mollusques et ainsi pour le développement des parasites. Dans les zones tropicales, les troupeaux sont plus facilement en contact avec des douves du foie lors de la saison des pluies comme par exemple au Pakistan (Afshan et al., 2014).

Pour finir, il est important de poursuivre l'échantillonnage mensuel pour parvenir à caractériser la dynamique annuelle des communautés de mollusques d'eau douce, mieux comprendre leurs pics d'abondance et les mettre en relation avec les possibles pics d'infections naturelles de *F. hepatica*. Un contrôle intégratif par le traitement des hôtes définitifs ainsi que la réduction de l'exposition entre

hôtes définitifs et hôtes intermédiaires serait nécessaire pour amoindrir le risque posé par la fasciolose en Camargue.

Références bibliographiques

Abrous, M., Rondelaud, D., Dreyfuss, G., 2000. A field study of natural infections in three freshwater snails with Fasciola hepatica and/or Paramphistomum daubneyi in central France. J. Helminthol. 74, 189–194. https://doi.org/10.1017/S0022149X00000275

Abrous, M., Rondelaud, D., Dreyfuss, G., Cabaret, J., 1999. Infection of lymnaea truncatula and lymnaea glabra by fasciola hepatica and paramphistomum daubneyi in farms of central france. Vet. Res.

Abrous, M., Rondelaud, D., Dreyfuss, G., Cabaret, J., 1998. Unusual Transmission of the Liver Fluke, Fasciola hepatica, by Lymnaea glabra or Planorbis leucostoma in France. J. Parasitol. https://doi.org/10.2307/3284683

Adema, C.M., Bayne, C.J., Bridger, J.M., Knight, M., Loker, E.S., Yoshino, T.P., Zhang, S.M., 2012. Will All Scientists Working on Snails and the Diseases They Transmit Please Stand Up? PLoS Negl. Trop. Dis. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001835

Afshan, K., Fortes-Lima, C.A., Artigas, P., Valero, A.M., Qayyum, M., Mas-Coma, S., 2014. Impact of climate change and man-made irrigation systems on the transmission risk, long-term trend and seasonality of human and animal fascioliasis in Pakistan. Geospat. Health. https://doi.org/10.4081/gh.2014.22

Alba, A., Vázquez, A.A., Sánchez, J., Fraga, J., Hernández, H., Martínez, E., Marcet, R., Figueredo, M., Sarracent, J., 2016. Assessment of the FasciMol-ELISA in the detection of the trematode Fasciola hepatica in field-collected Galba cubensis: A novel tool for the malacological survey of fasciolosis transmission. Parasites and Vectors. https://doi.org/10.1186/s13071-016-1303-1

Arias, M., Lomba, C., Dacal, V., Vázquez, L., Pedreira, J., Francisco, I., Piñeiro, P., Cazapal-Monteiro, C., Suárez, J.L., Díez-Baños, P., Morrondo, P., Sánchez-Andrade, R., Paz-Silva, A., 2011. Prevalence of mixed trematode infections in an abattoir receiving cattle from northern Portugal and north-west Spain. Vet. Rec. https://doi.org/10.1136/vr.d85

Blair, D., Davis, G.M., Wu, B., 2001. Evolutionary relationships between trematodes and snails emphasizing schistosomes and paragonimids. Parasitology. https://doi.org/10.1017/S003118200100837X

Blondel, J., Barruol, G., Vianet, R., 2013. L'Encyclopédie de la Camargue, Buchet-Cha. ed. Arles.

Boycott, A.E., 1936. The Habitats of Fresh-Water Mollusca in Britain. J. Anim. Ecol. 116–186. https://doi.org/10.2307/1096

Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2003. Multistate outbreak of monkeypox--Illinois, Indiana, and Wisconsin, 2003. MMWR. Morb. Mortal. Wkly. Rep. https://doi.org/10.1001/jama.290.1.30

Chase, J.M., Knight, T.M., 2006. Effects of eutrophication and snails on Eurasian watermilfoil (Myriophyllum spicatum) invasion. Biol. Invasions. https://doi.org/10.1007/s10530-005-3933-7

Chawech, R., Njeh, F., Hamed, N., Damak, M., Ayadi, A., Hammami, H., Mezghani-Jarraya, R., 2017. A study of the molluscicidal and larvicidal activities of Citrullus colocynthis (L.) leaf extract and its main cucurbitacins against the mollusc Galba truncatula, intermediate host of Fasciola hepatica. Pest Manag. Sci. 73, 1473–1477. https://doi.org/10.1002/ps.4479

Ciparis, S., Iwanowicz, D.D., Voshell, J.R., 2013. Relationships between nutrient enrichment, pleurocerid snail density and trematode infection rate in streams. Freshw. Biol.

https://doi.org/10.1111/fwb.12135

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

Costa, C., 2005. Atlas des espèces invasives présentes sur le pérmiètre du parc régional de Camargue.

Coxe, S., West, S.G., Aiken, L.S., 2009. The analysis of count data: a gentle introduction to poisson regression and its alternatives. J. Pers. Assess. https://doi.org/10.1080/00223890802634175

Cribb, T.H., Bray, R.A., Littlewood, D.T.J., 2001. The nature and evolution of the association among digeneans, molluscs and fishes, in: International Journal for Parasitology. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(01)00204-1

Daszak, P., Cunningham, A.A., Hyatt, A.D., 2001. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife, in: Acta Tropica. https://doi.org/10.1016/S0001-706X(00)00179-0

Degueurce, F., Abrous, M., Dreyfuss, G., Rondelaud, D., Gevrey, J., 1999. Paramphistomum daubneyi and Fasciola hepatica: the prevalence of natural or experimental infections in four species of freshwater snails in eastern France. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/s0022149x99000311

Díaz, P., Lomba, C., Pedreira, J., Arias, M., Sánchez-Andrade, R., Suárez, J.L., Díez-Baños, P., Morrondo, P., Paz-Silva, A., 2006. Analysis of the IgG antibody response against Paramphistomidae trematoda in naturally infected cattle. Application to serological surveys. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.007

Dreyfuss, G., Correa, A.C., Djuikwo-Teukeng, F.F., Novobilský, A., Höglund, J., Pankrác, J., Kašný, M., Vignoles, P., Hurtrez-Boussès, S., Pointier, J.P., Rondelaud, D., 2015. Differences in the compatibility of infection between the liver flukes Fascioloides magna and Fasciola hepatica in a Colombian population of the snail Galba sp. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/S0022149X14000509

Dreyfuss, G., Vignoles, P., Abrous, M., Rondelaud, D., 2002. Unusual snail species involved in the transmission of Fasciola hepatica in watercress beds in central France. Parasite. https://doi.org/10.1051/parasite/2002092113

Ducommun, D., Pfister, K., 1991. Prevalence and distribution ofDicrocoelium dendriticum andFasciola hepatica infections in cattle in Switzerland. Parasitol. Res. https://doi.org/10.1007/bf00930918

Dussart, G.B.J., 1976. The ecology of freshwater molluscs in north west England in relation to water chemistry. J. Molluscan Stud. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.mollus.a065325

Ebbs, E.T., Loker, E.S., Brant, S. V., 2018. Phylogeography and genetics of the globally invasive snail Physa acuta Draparnaud 1805, and its potential to serve as an intermediate host to larval digenetic trematodes. BMC Evol. Biol. https://doi.org/10.1186/s12862-018-1208-z

Frandsen, F., Christensen, N.O., 1984. An introductory guide to the identification of cercariae from African freshwater snails with special reference to cercariae of trematode species of medical and veterinary importance. Acta Trop.

Gauthier-Clerc, M., Thomas, F., Guégan, J.F., 2010. Ecologie de la santé et biodiversité, De Boeck. ed.

Gurelli, G., Gocmen, B., 2007. Natural Infection of Helix aspersa (Mollusca: Pulmonata) by Dicrocoeliidae (Diginea) larval stages in Izmir, Turkey. Turkiye Parazitoloji Dern.

Harandi, M., Budke, C.M., Rostami, S., 2012. The Monetary Burden of Cystic Echinococcosis in Iran.

PLoS Negl. Trop. Dis. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001915

Harandi, M.F., Hobbs, R.P., Adams, P.J., Mobedi, I., Morgan-Ryan, U.M., Thompson, R.C.A., 2002. Molecular and morphological characterization of Echinococcus granulosus of human and animal origin in Iran. Parasitology.

Hénoux, V., Vadon, A., Debiesse, L., Boutefeu, M., Constantin, P., 2014. Gestion du parasitisme bovin et faune coprophage, Programme LIFE + Chiro Med.

Hotez, P.J., Fenwick, A., Savioli, L., Molyneux, D.H., 2009. Rescuing the bottom billion through control of neglected tropical diseases. Lancet. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(09)60233-6

Hotez, P.J., Molyneux, D.H., Fenwick, A., Kumaresan, J., Sachs, S.E., Sachs, J.D., Savioli, L., 2007. Control of neglected tropical diseases. N. Engl. J. Med. https://doi.org/10.1186/1741-7015-8-67

Hunter, W.R., 1964. Physiological Aspects of Ecology in Nonmarine Molluscs, in: Physiology of Mollusca. https://doi.org/10.1016/b978-1-4832-3241-6.50009-3

Hutton, G., Haller, L., 2004. Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level, World Health Organization. https://doi.org/10.2166/wh.2007.008

Johnson, P.D., Brown, K.M., 1997. The Role of Current and Light in Explaining the Habitat Distribution of the Lotic Snail Elimia semicarinata (Say). J. North Am. Benthol. Soc. https://doi.org/10.2307/1468143

Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. Nature 451, 990–993. https://doi.org/10.1038/nature06536

Jourdain, E., Gauthier-Clerc, M., Bicout, D.J., Sabatier, P., 2007. Bird migration routes and risk for pathogen dispersion into western Mediterranean wetlands. Emerg. Infect. Dis. https://doi.org/10.3201/eid1303.060301

Kebede, W., Hagos, A., Girma, Z., Lobago, F., 2009. Echinococcosis/hydatidosis: Its prevalence, economic and public health significance in Tigray region, North Ethiopia. Trop. Anim. Health Prod. https://doi.org/10.1007/s11250-008-9264-9

Keiser, J., Utzinger, J., 2009. Food-borne trematodiases. Clin. Microbiol. Rev. https://doi.org/10.1128/CMR.00012-09

Keiser, J., Utzinger, J., 2005. Emerging foodborne trematodiasis. Emerg. Infect. Dis. https://doi.org/10.3201/eid1110.050614

Khanjari, A., Bahonar, A., Fallah, S., Bagheri, M., Alizadeh, A., Fallah, M., Khanjari, Z., 2014. Prevalence of fasciolosis and dicrocoeliosis in slaughtered sheep and goats in Amol Abattoir, Mazandaran, northern Iran. Asian Pacific J. Trop. Dis. https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60327-3

Kleiman, F., Pietrokovsky, S., Prepelitchi, L., Carbajo, A.E., Wisnivesky-Colli, C., 2007. Dynamics of Fasciola hepatica transmission in the Andean Patagonian valleys, Argentina. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.12.020

Kozak, M., Wedrychowicz, H., 2010. The performance of a PCR assay for field studies on the prevalence of Fasciola hepatica infection in Galba truncatula intermediate host snails. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.10.014

Lebarbenchon, C., Brown, S.P., Poulin, R., Gauthier-Clerc, M., Thomas, F., 2008. Evolution of pathogens in a man-made world. Mol. Ecol. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03375.x

Lodge, D.M., Stein, R.A., Brown, K.M., Covich, A.P., Brönmark, C., Garvey, J.E., Klosiewski, S.P., 1998.

Predicting impact of freshwater exotic species on native biodiversity: Challenges in spatial scaling. Austral Ecol. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1998.tb00705.x

Loo, S.E., Keller, R.P., Leung, B., 2007. Freshwater invasions: Using historical data to analyse spread. Divers. Distrib. https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00313.x

Lounnas, M., Correa, A.C., Vázquez, A.A., Dia, A., Escobar, J.S., Nicot, A., Arenas, J., Ayaqui, R., Dubois, M.P., Gimenez, T., Gutiérrez, A., González-Ramírez, C., Noya, O., Prepelitchi, L., Uribe, N., Wisnivesky-Colli, C., Yong, M., David, P., Loker, E.S., Jarne, P., Pointier, J.P., Hurtrez-Boussès, S., 2017. Self-fertilization, long-distance flash invasion and biogeography shape the population structure of Pseudosuccinea columella at the worldwide scale. Mol. Ecol. 26, 887–903. https://doi.org/10.1111/mec.13984

Manga-González, M.Y., González-Lanza, C., Cabanas, E., Campo, R., 2001. Contributions to and review of dicrocoeliosis, with special reference to the intermediate hosts of Dicrocoelium dendriticum. Parasitology. https://doi.org/10.1017/s0031182001008204

Manga-Gonzalez, Y., Gonzalez-Lanza, C., Otero-Merino, C.B., 1991. Natural infection of Lymnaea truncatula by the liver fluke Fasciola hepatica in the Porma Basin, Leon, NW Spain. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/S0022149X00010385

Martínez, S., Restrepo, S.C., Carrillo, J.A., Betancourt, S.L., Franquet, T., Varón, C., Ojeda, P., Giménez, A., 2005. Thoracic manifestations of tropical parasitic infections: A pictorial review. RadioGraphics. https://doi.org/10.1148/rg.251045043

Mas-Coma, S., 2004. Human Fascoliasis: Epidemiological patterns in human endemic areas of South America, Africa and Asia, in: Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health.

Mas-Coma, S., Valero, M.A., Bargues, M.D., 2009. Chapter 2 Fasciola, Lymnaeids and Human Fascioliasis, with a Global Overview on Disease Transmission, Epidemiology, Evolutionary Genetics, Molecular Epidemiology and Control. Adv. Parasitol. https://doi.org/10.1016/S0065-308X(09)69002-3

McKenzie, V.J., Townsend, A.R., 2007. Parasitic and infectious disease responses to changing global nutrient cycles. Ecohealth. https://doi.org/10.1007/s10393-007-0131-3

McKown, R.D., Ridley, R.K., 1995. Distribution of fasciolosis in Kansas, with results of experimental snail susceptibility studies. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)00688-9

McMichael, A.J., 2004. Environmental and social influences on emerging infectious diseases: Past, present and future, in: Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1480

Meunier, C., Hurtrez-Boussès, S., Jabbour-Zahab, R., Durand, P., Rondelaud, D., Renaud, F., 2004. Field and experimental evidence of preferential selfing in the freshwater mollusc Lymnaea truncatula (Gastropoda, Pulmonata). Heredity (Edinb). https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800410

Meunier, C., Tirard, C., Hurtrez-Boussès, S., Durand, P., Bargues, M.D., Mas-Coma, S., Pointier, P., Jourdane, J., Renaud, F., 2001. Lack of molluscan host diversity and the transmission of an emerging parasitic disease in Bolivia. Mol. Ecol. https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.01284.x

Morens, D.M., Folkers, G.K., Fauci, A.S., 2004. The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. Nature. https://doi.org/10.1038/nature02759

Moukrim, A., Rondelaud, D., 1992. Vertical spatial behaviour patterns of *Lymnaea truncatula* in relation with origin of snails, infection with *Fasciola hepatica,* and experimental environment.

Ann. Parasitol. Hum. Comparée. https://doi.org/10.1051/parasite/1992676174

Novobilský, A., Engström, A., Sollenberg, S., Gustafsson, K., Morrison, D.A., Höglund, J., 2014. Transmission patterns of Fasciola hepatica to ruminants in sweden. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.04.015

Novobilský, A., Novák, J., Björkman, C., Höglund, J., 2015. Impact of meteorological and environmental factors on the spatial distribution of Fasciola hepatica in beef cattle herds in Sweden. BMC Vet. Res. https://doi.org/10.1186/s12917-015-0447-0

Nyindo, M., Lukambagire, A.-H., 2015. Fascioliasis: An Ongoing Zoonotic Trematode Infection. Biomed Res. Int. 2015, 1–8. https://doi.org/10.1155/2015/786195

Nzalawahe, J., Kassuku, A.A., Stothard, J.R., Coles, G.C., Eisler, M.C., 2015. Associations between trematode infections in cattle and freshwater snails in highland and lowland areas of Iringa Rural District, Tanzania. Parasitology. https://doi.org/10.1017/S0031182015000827

Perera, G., 1996. Ecologie des mollusques d'eau douce d'intérêt médical et vétérinaire à Cuba. Université de Perpignan.

Petney, T.N., Taraschewski, H., 2010. Waterborne Parasitic Diseases: Hydrology, Regional Development, and Control, in: Treatise on Water Science. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00061-0

Pointier, J.P., Coustau, C., Rondelaud, D., Theron, A., 2007. Pseudosuccinea columella (Say 1817) (Gastropoda, Lymnaeidae), snail host of Fasciola hepatica: First record for France in the wild. Parasitol. Res. https://doi.org/10.1007/s00436-007-0656-y

Ponder, W.F., 1988. Potamopyrgus antipodarum-a molluscan coloniser of Europe and Australia. J. Molluscan Stud. https://doi.org/10.1093/mollus/54.3.271

Potevin, F., Olivier, A., Bayle, P., Scher, O., 2010. Mammifères de Camargue. Regards du vivant.

Reiczigel, J., Marozzi, M., Fábián, I., Rózsa, L., 2019. Biostatistics for Parasitologists – A Primer to Quantitative Parasitology. Trends Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.01.003

Relf, V., Good, B., McCarthy, E., de Waal, T., 2009. Evidence of Fasciola hepatica infection in Radix peregra and a mollusc of the family Succineidae in Ireland. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.04.003

Robinson, M.W., Dalton, J.P., 2009. Zoonotic helminth infections with particular emphasis on fasciolosis and other trematodiases. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0089

Rondelaud, D., Belfaiza, M., Vignoles, P., Moncef, M., Dreyfuss, G., 2009. Redial generations of Fasciola hepatica: A review. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/S0022149X09222528

Rondelaud, D., Vignoles, P., Dreyfuss, G., 2016. Larval trematode infections in Galba truncatula (Gastropoda, Lymnaeidae) from the Brenne Regional Natural Park, central France. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/S0022149X15000073

Rondelaud, D., Vignoles, P., Dreyfuss, G., Mage, C., 2006. The control of Galba truncatula (Gastropoda: Lymnaeidae) by the terrestrial snail Zonitoides nitidus on acid soils. Biol. Control. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.07.015

Sabourin, E., 2018. Dynamique de la fasciolose dans un milieu fortement anthropisé : La Camargue.

Sánchez-Andrade, R., Paz-Silva, A., Suárez, J.L., Panadero, R., Pedreira, J., López, C., Díez-Baños, P., Morrondo, P., 2002. Influence of age and breed on natural bovine fasciolosis in an endemic area

(Galicia, NW Spain). Vet. Res. Commun. https://doi.org/10.1023/A:1016290727793

Sokolow, S.H., Jones, I.J., Jocque, M., La, D., Cords, O., Knight, A., Lund, A., Wood, C.L., Lafferty, K.D., Hoover, C.M., Collender, P.A., Remais, J. V., Lopez-Carr, D., Fisk, J., Kuris, A.M., de Leo, G.A., 2017. Nearly 400 million people are at higher risk of schistosomiasis because dams block the migration of snail-eating river prawns. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0127

Strong, E.E., Gargominy, O., Ponder, W.F., Bouchet, P., 2008. Global diversity of gastropods (Gastropoda; Mollusca) in freshwater. Hydrobiologia. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9012-6

Taylor, M.A., 2012. Emerging parasitic diseases of sheep. Vet. Parasitol. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.027

Thomas, J.D., Daldorph, P.W.G., 1994. The Influence of Nutrient and Organic Enrichment on a Community Dominated by Macrophytes and Gastropod Molluscs in a Eutrophic Drainage Channel: Relevance to Snail Control and Conservation. J. Appl. Ecol. https://doi.org/10.2307/2404451

Thorp, J.H., Covich, A.P., 2010. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. https://doi.org/10.1016/C2009-0-02669-5

Tolley-Jordan, L.R., Owen, J.M., 2008. Habitat influences snail community structure and trematode infection levels in a spring-fed river, Texas, USA. Hydrobiologia. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9173-3

Trouvé, S., Degen, L., Goudet, J., 2005. Ecological components and evolution of selfing in the freshwater snail Galba truncatula. J. Evol. Biol. https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2004.00831.x

Vázquez, A., 2018. Lymnaeid snails hosts of Fasciola hepatica and Fasciola gigantica (Trematoda: Digenea): a worldwide review. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour. 13. https://doi.org/10.1079/pavsnnr201813062

Vázquez, A.A., 2015. Interaction hôte – parasite en contexte insulaire : relations entre Fasciola hepatica (Trematoda) et les mollusques Galba cubensis et Pseudosuccinea columella (G.

Vázquez, A.A., Gutiérrez, A., 2007. Ecología de moluscos fluviales de importancia médica y veterinaria en 3 localidades de La Habana. Rev. Cubana Med. Trop.

Vázquez, A.A., Sánchez, J., Alba, A., Pointier, J.P., Hurtrez-Boussès, S., 2015. Natural prevalence in Cuban populations of the lymnaeid snail Galba cubensis infected with the liver fluke Fasciola hepatica: small values do matter. Parasitol. Res. https://doi.org/10.1007/s00436-015-4653-2

Vázquez, A.A., Sánchez, J., Pointier, J.P., Théron, A., Hurtrez-Boussès, S., 2014. Fasciola hepatica in Cuba: Compatibility of different isolates with two intermediate snail hosts, Galba cubensis and Pseudosuccinea columella. J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/S0022149X13000382

Vignoles, P., Dreyfuss, G., Rondelaud, D., 2002. Redial growth and cercarial productivity of Fasciola hepatica in three species of young lymnaeid snails . J. Helminthol. https://doi.org/10.1079/joh2002118

Vignoles, P., Titi, A., Mekroud, A., Rondelaud, D., Dreyfuss, G., 2017. Calicophoron daubneyi and Fasciola hepatica : characteristics of natural and experimental co-infections of these digeneans in the snail Lymnaea glabra . J. Helminthol. https://doi.org/10.1017/s0022149x1500108x

Vittecoq, M., 2012. Maladies infectieuses emergentes au sein des zones humides mediterraneennes dans le contexte des changements globaux 1–284.

Wetzel, E.J., Shreve, E.W., 2003. The Influence of Habitat on the Distribution and Abundance of Metacercariae of Macravestibulum obtusicaudum (Pronocephalidae) in a Small Indiana Stream. J. Parasitol. https://doi.org/10.1645/ge-3220rn

WHO, 1996. New, Emerging and Re-Emerging Infectious Diseases: Prevention and Control.

Wilson, R.A., Denison, J., 1970. Short-chain fatty acids as stimulants of turning activity by the miracidium of Fasciola hepatica. Comp. Biochem. Physiol. https://doi.org/10.1016/0010-406X(70)90468-8

Woolhouse, M.E.J., Gowtage-Sequeria, S., 2005. Host range and emerging and reemerging pathogens. Emerg. Infect. Dis. https://doi.org/10.3201/eid1112.050997

Yipp, M.W., 1990. Distribution of the schistosome vector snail, Biomphalaria straminea (pulmonata: Planorbidae) in Hong Kong. J. Molluscan Stud. https://doi.org/10.1093/mollus/56.1.47

Ziegler, A.D., Petney, T.N., Grundy-Warr, C., Andrews, R.H., Baird, I.G., Wasson, R.J., Sithithaworn, P., 2013. Dams and Disease Triggers on the Lower Mekong River. PLoS Negl. Trop. Dis. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002166

Annexe 1. Liste de sites échantillonnés à la Tour du Valat entre décembre 2018 et mai 2019 avec les données de présence/absence d'espèces de mollusques d'eau douce, type d'habitat et coordonnées géographiques.

Localité géo-référencée	*Galba truncatula*	*Physa acuta*	*Anisus leucostoma*	Habitat	Latitude	Longitude
Anciennes Vignes	1	1	0	Canal	43,501679	4,678911
Aube de Bouic-Fielouse	1	0	0	Canal	43,508029	4,639673
Baisse du Rendez-Vous	0	1	0	Mare temporaire	43,504804	4,679814
Bomborinette	0	1	0	Mare temporaire	43,467179	4,66027
Canal Route Fielouse-Sambuc	0	1	0	Canal	43,510207	4,688686
Canaux Tour du Valat	0	1	0	Canal	43,508627	4,668977
Clos du Rendez-Vous	1	1	0	Mare permanente	43,507917	4,651522
Clos Expérimentaux	1	0	0	Canal	43,509028	4,672914
Fumemorte-Garcines	0	1	0	Canal	43,498217	4,684835
Les Garcines	0	1	0	Mare temporaire	43,498745	4,686174
Marais des Iris	0	1	0	Mare temporaire	43,512123	4,668489
Marais Esquineau	0	1	0	Mare temporaire	43,512334	4,66206
Marais Garcines	0	1	0	Mare temporaire	43,498155	4,685785
Marais Moncanard	0	1	0	Mare temporaire	43,489861	4,695383
Marais Pesquier	1	1	0	Mare temporaire	43,455878	4,663854
Marais Roubine des Iris	1	0	0	Mare temporaire	43,512164	4,66849
Mare Libellules	0	0	1	Mare temporaire	43,496406	4,675936
Mare Moncanard	1	0	0	Canal	43,489742	4,693418
Mare Permanente Redon	0	1	0	Mare permanente	43,4697475	4,6493743
Mare Temporaire Redon	0	1	0	Mare temporaire	43,467647	4,649508
Mas de Fielouse	1	0	0	Canal	43,50648	4,635106
Nord du Baisse Salée	0	0	0	Mare temporaire	43,494197	4,643138
Nord du Moncanard	0	1	0	Mare temporaire	43,495347	4,695363
Pesquier	1	0	0	Mare permanente	43,457346	4,664025
Roubine des Iris	1	1	0	Canal	43,512031	4,672113
Saline	0	0	0	Mare temporaire	43,481811	4,647616
Terre de la Fangouse	1	0	1	Mare temporaire	43,511576	4,689414
Terre de l'Etang Redon	1	1	0	Mare temporaire	43,470008	4,650513
Terres de Faisses	0	1	0	Mare temporaire	43,496762	4,68776
Terres du CNRS	1	0	0	Mare temporaire	43,51187	4,6734696