



Contact :

chiron@itavi.asso.fr

¹ ITAVI - LYON² UMR 5175 CEFE, CNRS-UM-UPVM3-EPHE- MONTEPELLIER

Cette étude a été financée par la région Auvergne-Rhône-Alpes via le PEP avicole, par l'Europe (FEADER) et par le CNPO.

Identification des interactions entre arthropodes :

en vue du développement de la lutte biologique par conservation contre le pou rouge

Résumé

Le pou rouge *Dermanyssus gallinae* est un acarien d'importance économique et sanitaire qui pose problème en élevage de poules partout dans le monde. L'importante disparité dans la dynamique temporelle des populations du microprédateur observée sur le terrain indique qu'une mise à profit de processus écologiques naturellement en place pour le contrôle biologique du pou rouge pourrait être prometteuse (lutte biologique par conservation). Le projet Bioptipou vise à enrichir la connaissance sur deux questions : (1) Y-a-t-il présence d'ennemis naturels du pou, en particulier arthropodes prédateurs d'acariens dans les élevages de poules pondeuses ? (2) Si oui, comment les ennemis potentiels identifiés s'inscrivent-ils dans les réseaux d'interaction (prédation sur le pou rouge, sur autres invertébrés, entre prédateurs) ? Ainsi, une approche multi-technique pour faire émerger des interactions au sein des communautés de prédateurs a été développée. Elle consiste à mettre en convergence des résultats issus d'approches corrélatives sur données d'inventaire issues de prélèvements de fumier sur le terrain et de tests *in vitro* au laboratoire. L'analyse des données terrain indique des fortes corrélations entre la présence du pou rouge et 3 prédateurs potentiels : *Androlaelaps casalis*, *Macrocheles* spp. et *Cheyletus* spp. De plus, ces trois mêmes prédateurs sont les seuls à avoir montré une capacité avérée de prédation sur le pou en conditions de laboratoire. En outre, les résultats montrent que ces prédateurs sont également capables de prédation sur d'autres proies mais privilégient le pou rouge ou mangent les deux proies lorsque deux types de proies sont présents. Enfin, de la prédation entre prédateurs a été relevée entre plusieurs espèces d'arthropodes. Ces résultats constituent des éléments très encourageants pour le développement de la lutte biologique par conservation, mais souligne à quel point il sera nécessaire par la suite d'explorer l'effet des prédateurs par assemblage et non plus seulement espèce par espèce.

1. Introduction

Le pou rouge *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778) est un acarien d'importance économique et sanitaire qui pose problème en élevage de poules partout dans le monde (Sparagano et al. 2014). En Europe, sa prévalence élevée, associée aux dommages importants qu'il engendre (déclassement des œufs, augmentation du stress et de l'anémie chez la poule, effet réservoir pour les salmonelles) rendent son contrôle nécessaire. D'une manière générale, **les actions de contrôle qui le visent méritent d'être améliorées** en vue d'une meilleure efficacité, mais aussi d'une modération des impacts environnementaux et sur la santé humaine, comme en témoigne la très récente affaire de la contamination d'œufs par l'insecticide fipronil (<https://www.anses.fr/en/node/129804>).

Dermanyssus gallinae est un acarien hématophage strict, mais n'est pas un parasite typique. Ses habitudes permettent de le classer parmi les microprédateurs *sensu* Lafferty et Kuris (2002). En effet, au même titre que le moustique ou la punaise de lit, il ne recherche un hôte que pour de rapides repas, ponctuels, effectués sur différents individus hôtes, et réalise toutes les étapes de son développement (mue, ponte) dans des micro-habitats

disponibles dans le bâtiment, à proximité des aires de repos ou de stationnement de la poule (perchoirs et pondoires dans les élevages de poules). *D. gallinae* est ainsi confiné à l'intérieur des bâtiments d'élevage et **soumis aux interactions avec les organismes qui peuplent les micro-habitats** où ses populations se développent (nids, fientes sèches, litière, fumier...).

L'importante disparité dans la dynamique temporelle des populations du microprédateur observée sur le terrain entre bâtiments similaires, parfois dans la même exploitation (L. Roy, observation personnelle), permet de soupçonner des interactions biotiques fortes. En effet, la dynamique des populations de *D. gallinae* intègre dans la plupart des bâtiments des événements récurrents de pullulation massive (engendrant des dégâts problématiques pour l'éleveur) alors que dans d'autres elle se réduit à une présence maintenue à bas bruit (présence du microprédateur connue ou non de l'éleveur, absence de dégâts constatés). Si des interactions biotiques expliquent ces disparités, **la mise à profit de processus écologiques naturellement en place pour le contrôle du pou rouge pourrait être prometteuse** (lutte biologique).

2. Contexte : la lutte biologique par conservation appliquée au cas du pou rouge

La lutte biologique met à profit des processus écologiques pour réduire les effectifs d'un bioagresseur - animal ou plante. Elle consiste à faire diminuer et/ou maintenir à bas niveau les populations de celui-ci par l'action de ses ennemis naturels. On distingue deux principaux types de lutte biologique :

- **La Lutte Biologique par Augmentation (LBA) :** augmentation de l'activité régulatrice naturelle par des agents biologiques produits en masse au laboratoire grâce à l'introduction périodique d'ennemis en grand nombre (lâchers inondatifs). Un des exemples emblématique est l'introduction de coccinelles pour la lutte contre les pucerons. En filière avicole, deux agents de lutte biologique sont aujourd'hui communément mobilisés dans le cadre de la LBA : des mini-guêpes parasitoïdes contre les mouches et des acariens prédateurs contre le pou rouge.
- **La Lutte Biologique par Conservation (LBC) :** intensification *in situ* (dans le bâtiment d'élevage) de l'action des ennemis naturellement présents en effectuant des actions locales sur les micro-habitats (les bâtiments d'élevage contiennent des écosystèmes invisibles à l'œil nu). La LBC, encore absente des filières animales, existe dans de nombreuses filières végétales. Par exemple, la mise en place de bandes enherbées et haies multi-espèces en grandes cultures permet de fournir des habitats et/ou des ressources supplémentaires pour les ennemis des organismes que l'on cherche à maîtriser.

L'objectif à long terme du projet Bioptipou vise, en vue d'appliquer la LBC à plus ou moins long terme, à **déterminer les processus écologiques qui favoriseront l'activité des ennemis du pou rouge**. Le principe général repose sur l'adage : « L'ennemi de mon ennemi est mon ami ». Bien que la LBC se base sur un principe simple lorsque l'on considère seulement notre « ennemi » (le pou rouge) et l'un de ses ennemis (ex. un prédateur), **la situation est en réalité extrêmement complexe puisque différentes espèces cohabitent**. Les interactions dans les bâtiments d'élevages, comme dans tout écosystème, peuvent être représentées par une pelote de fils emmêlés.

En effet, d'autres ennemis (différents prédateurs et parasites) ainsi que d'autres groupes fonctionnels, font partie du réseau d'interactions impliquant le bioagresseur. Les prédateurs sont rarement spécialistes, si bien que les prédateurs du pou rouge peuvent également se nourrir d'autres proies parfois très abondantes en élevage (ex.

insectes et acariens détritiques). De plus, il peut exister de la prédation entre prédateurs. Enfin, d'autres organismes peuvent agir en synergie, soit en facilitant l'action des ennemis soit en exerçant une action antagoniste sur le pou (champignons, protozoaires, nématodes, bactéries, ...). Il est ainsi **nécessaire d'évaluer au mieux les interactions entre les êtres vivants** des écosystèmes des bâtiments d'élevage. Cela nécessite une bonne connaissance de la composition des communautés d'êtres vivants les plus susceptibles d'englober des ennemis du pou rouge. **Les arthropodes** (insectes, acariens et autres arachnides) **sont particulièrement susceptibles de contenir des espèces de prédateurs d'acariens**. Cependant, la littérature scientifique est extrêmement pauvre sur ces communautés dans ce type d'écosystème.

Pour résumer, le projet Bioptipou vise à enrichir la connaissance sur deux questions :

- **Y a-t-il présence d'ennemis naturels du pou, en particulier d'arthropodes prédateurs d'acariens, dans les élevages de poules pondeuses ?**
- **Si oui, comment les ennemis potentiels identifiés s'inscrivent-ils dans les réseaux d'interaction (prédation sur le pou rouge, sur autres invertébrés, entre prédateurs) ?**

En premier lieu, de manière à maximiser les chances de détecter des ennemis naturels intéressants, nous avons décidé d'étudier en particulier les arthropodes (regroupant insectes, arachnides, mille-pattes...), avec un focus sur les acariens (sous-division des arachnides). Ce groupe zoologique est connu pour contenir de nombreuses espèces de prédateurs ou parasitoïdes d'invertébrés. Il est le groupe d'animaux le plus susceptible de contenir des ennemis du pou rouge.

Pour évaluer le potentiel de LBC contre le pou rouge en élevage de pondeuses, en nous appuyant sur Begg et al. (2017), nous émettons les hypothèses suivantes :

- **Les réseaux trophiques impliquent des interactions effectives avec le pou ;**
- **Les potentiels ennemis naturels sont capables de percoler depuis les habitats extérieurs dans les bâtiments et de s'y établir.** Cette percolation (par les trappes, volets) peut se dérouler de deux façons : directement pour les ennemis ailés, ou par phorésie sur insectes ailés (une espèce s'attache à une autre et se fait véhiculer comme un « taxi ») ;
- **Les pratiques des éleveurs sont susceptibles d'influencer la composition des communautés d'arthropodes pratiques et le potentiel régulateur des ennemis sur le pou rouge.**

3. Matériel et Méthodes

3.1. Démarche générale

La littérature étant quasiment inexistante sur le sujet de la LBC en élevage, il nous a fallu développer une approche par étapes successives. Nous avons tout d'abord procédé à une **caractérisation fine des communautés d'arthropodes** des bâtiments de poule afin de déterminer si des prédateurs potentiels d'acariens peuvent être spontanément présents. Cela reposait sur un inventaire suivi de recherches bibliographiques sur les traits de vie des taxa rencontrés. Nous avons ensuite **évalué la faisabilité de la démarche de la LBC** en testant plusieurs hypothèses sur les données d'inventaire. Ces deux étapes ont été publiées par Roy et al. (2017). Nous avons enfin **exploré les interactions** centrées sur le pou suivant l'approche décrite ci-dessous.

Il est impossible d'observer sur le terrain les événements de prédateurs entre arthropodes, d'en estimer la fréquence et l'effet sur les poux. De manière à lever ce verrou majeur de l'investigation du service écosystémique « lutte biologique », nous avons développé une **approche multitechnique** pour faire émerger des interactions au sein des communautés de prédateurs. Elle consiste à mettre en convergence (1) les résultats de l'analyse de **données d'inventaire issues du terrain** et (2) les résultats de **tests de prédation *in vitro*** pour reconstruire les réseaux d'interaction entre acariens impliquant le pou. Pour les analyses (1), nous partons du principe que les interactions proie-prédateur impliquent des dépendances entre abondances des proies et des prédateurs. La mesure de corrélations entre abondance de proie et abondance de prédateur potentiel (par paires incluant le pou) permet d'obtenir un aperçu des interactions qui ont effectivement lieu sur le terrain. Celles-ci peuvent être de différents types (prédation, ressource partagée, compétition pour l'habitat ...) et se déroulent en présence de barrières physiques diverses. Les micro-habitats fournis par les bâtiments peuvent comporter des barrières physiques plus ou moins importantes, souvent indiscernables par l'homme, susceptible d'empêcher certains prédateurs de rencontrer le pou (texture de substrat, substances toxiques ...). Les tests *in vitro* apportent des informations sur la capacité de prédation et la voracité relative entre prédateurs en l'absence de barrière physique. Cela permet de déterminer dans quelle mesure les corrélations significatives entre abondance de pou et abondance d'autres arthropodes résultent d'interactions de prédation ou d'autres interactions.

3.2. Mise au point de la technique d'inventaire des arthropodes

La littérature étant très pauvre sur le sujet de la mésofaune dans le fumier des bâtiments de poules, la première

étape du projet visait à établir la connaissance de base sur le sujet.

3.2.1. Échantillonnage

Afin de pouvoir mesurer l'effet des pratiques, il était nécessaire de disposer de systèmes comparables dans leur structure mais variant par leurs modes de conduite. Les systèmes sol (hors volière), plein air et biologiques sont similaires au niveau de la structure des bâtiments tout en répondant à cette exigence. C'est pourquoi l'étude a porté sur ce type d'élevage. Vingt bâtiments (16 exploitations) d'élevages alternatifs de poules pondeuses (code 0 biologique, 1 plein air ou 2 au sol) ont été sélectionnés pour cette étude. Ils sont répartis sur deux zones géographiques : 10 dans le secteur Nord de Lyon (Ain) et 10 dans le secteur Sud de Lyon (Drôme, Gard, Vaucluse). Le recrutement de ces élevages a été effectué de manière à inclure une diversité de niveaux d'infestations du pou rouge (avis du technicien du groupement ou du vétérinaire conseil partenaires du projet).

Quatre campagnes de prélèvements ont été organisées à intervalles de 3 mois. Durant le vide sanitaire, les prélèvements n'étaient pas réalisés. Le fumier est le substrat susceptible de contenir le plus d'arthropodes différents (El Adouzi et al., 2017) et a donc été choisi comme substrat d'étude. Même s'il ne s'agit pas du lieu de vie privilégié du pou rouge, les prédateurs de ce compartiment sont capables de se déplacer jusqu'aux sites d'agrégation du pou rouge par les éléments du bâtiment et certains ont été observés dans les agrégats de pou (L. Roy, obs. pers.). De même, Maurer et al. (1993) recensaient plusieurs de ces espèces de prédateurs dans des pièges passifs où s'aggrave le pou.

Au cours de chaque visite et dans chaque bâtiment, 5 prélèvements standardisés de fumier étaient collectés en 5 points sélectionnés au hasard sous les caillbotis. Afin d'être à même de comparer quantitativement les résultats d'inventaire par prélèvement, un volume fixe de fumier était prélevé grâce à des carottiers-mesures adaptés à des flacons de verre de 250 ml. L'intégrité des communautés prélevées était assurée par le blocage du développement des populations d'arthropodes au moment du prélèvement en produisant une vapeur saturante d'acétate d'éthyle dans le flacon.

3.2.2. Inventaire des arthropodes

D'une manière générale, les communautés de petits arthropodes (mésofaune, ex. acariens) sont très insuffisamment étudiées pour des raisons de difficultés d'ordre pratique et taxinomique (Gulvik 2007). L'identification des acariens est à la fois chronophage et délicate en raison de leur petite taille et de leur structure corporelle simplifiée. En outre, les observations microscopiques pour la diagnose spécifique exigent des

compétences très spécialisées, les caractères diagnostiques étant peu nombreux et difficiles à observer même en microscopie. **La méthode Rapid Biodiversity Assessment (RBA)**, développée en écologie de la conservation, **permet d'obtenir des données comparables sur des gros volumes d'échantillons**. Elle consiste à délimiter des groupes morphologiques (morphoespèces) aisés à distinguer par des non spécialistes et concordant avec des groupes taxinomiques afin de pouvoir analyser un grand nombre d'échantillons rapidement et de manière robuste.

Dans le cadre du projet Bioptipou, afin de rendre possible l'inventaire robuste des communautés d'arthropodes, et en particulier d'acariens, et d'appliquer des approches corrélatives, nous avons adapté la méthode RBA pour l'analyse de prélèvements de fumier. Pour cela, des morphoespèces ont été définies au travers d'expérimentations préliminaires comparant identification à la loupe et au microscope par des spécialistes. La littérature scientifique étant assez pauvre concernant les habitudes alimentaires précises des espèces d'acariens, de grandes tendances sont toutefois associées aux groupes taxinomiques de haut niveau (ordre, superfamille, famille) et permettent de positionner les morphoespèces recensées dans de grands groupes fonctionnels ou guildes. Des non spécialistes ont ensuite été formés à l'identification des morphoespèces à la loupe et leur capacité à réaliser des inventaires a été testée et validée suivant une approche en double aveugle (identification par non spécialistes et spécialistes), puis en mesurant l'effet de l'expérimentateur. Cela a permis de mobiliser un nombre suffisant d'observateurs pour réaliser un inventaire exhaustif à la loupe binoculaire des arthropodes présents dans des centaines de prélèvements contenant chacun des milliers ou dizaines de milliers d'individus.

Les arthropodes ont été extraits du fumier par la technique de flottation proposée par Faraji et al. (2004), dans une émulsion de 10 ml d'huile de paraffine et 40 ml d'éthanol à 40%. Après mélange et homogénéisation du fumier et des trois liquides, le mélange est centrifugé et les arthropodes sont récupérés dans la phase huileuse par filtration du surnageant sur une membrane de nylon. Ils sont ensuite rincés au cyclohexane et fixés à l'acide lactique. L'examen de la membrane pour identification et dénombrement des arthropodes (morphoespèces) a été réalisé à la loupe binoculaire.

De manière à **connaître les différentes espèces effectivement regroupées dans les morphoespèces**, un sous-échantillon d'environ 300 acariens mésostigmates tirés au hasard parmi les individus identifiés au cours des deux premières campagnes a été **identifié à l'espèce suivant une approche morpho-moléculaire**. Chaque individu a fait l'objet d'une digestion par la protéinase K. La

cuticule ainsi éclaircie a été montée entre lame et lamelle dans du milieu de Hoyer, puis identifiée au microscope. Le produit de digestion pour chaque individu a fait l'objet en parallèle d'analyses moléculaires : une région des gènes codant l'ARNr 16S (mitochondrial) et l'ARNr 18S (nucléaire) a été amplifiée par PCR et séquencée suivant la méthode Sanger par MWG Eurofins Operon (Allemagne). Les séquences obtenues pour chaque gène ont été rassemblées dans un fichier séparé avec les séquences orthologues (même région génomique) d'acariens collectées dans la GenBank. Ces deux jeux de données ont fait l'objet d'alignement au moyen du programme MAFFT version 7 (<https://mafft.cbrc.jp/alignment/server/>), puis d'une analyse phylogénétique suivant la méthode du Maximum de vraisemblance au moyen du logiciel Mega 6.06.

3.3. Tests de prédation *in vitro*

Afin de mieux comprendre les interactions entre les potentiels prédateurs et le pou rouge ou les autres arthropodes du milieu, des **tests de prédation *in vitro* ont été réalisés**. Les prédateurs potentiels du pou rouge ont été prélevés directement dans les élevages de pondeuses impliqués dans les inventaires. Ces arthropodes ont été séparés et maintenus à jeun durant 48h avant les tests. Ils ont ensuite été individualisés dans des microplaques de 96 puits en polystyrène transparent à fonds plats recouvertes de parafilm étiré (1 prédateur par puits) et placés en contact avec 1 ou 2 types de proies. Les observations de prédation étaient réalisées 24h après depuis la face inférieure à la loupe binoculaire en différenciant les proies vivantes des mortes. De manière à évaluer la mortalité naturelle des proies dans les conditions du test, à chaque série de tests étaient associée une série identique de puits témoins contenant la ou les proies testées en l'absence de prédateur. Chaque test de prédation était répété sur minimum 24 individus du prédateur considéré (généralement entre 40 et 50), dans au moins deux séries différentes.

3.4. Traitements statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées au moyen du logiciel R (R Core Team 2016).

3.4.1. Approche corrélative pour déterminer l'effet des variables sur la composition des communautés

Pour les analyses statistiques, l'accent a été mis sur les acariens (morphoespèces). Les données ont été analysées à la fois à l'échelle locale du bâtiment (5 prélèvement par bâtiment) et à l'échelle régionale (10 bâtiments par zone géographique Nord ou Sud). **Les variables environnementales explicatives testées étaient la conduite d'élevage** (sol, plein air ou biologique) **et la zone géographique** (variables qualitatives). **Les variables temporelles explicatives testées étaient la**

saison et l'âge des poules (qui est corrélé positivement avec l'accumulation de fientes).

Afin de comparer la composition des communautés d'acariens avec les variables spatiales et temporelles, la transformation de Hellinger a été appliquée à la matrice de données d'inventaire et une matrice de dissimilarités a été créée en utilisant la méthode de Bray-Curtis. Un Positionnement Multidimensionnel Non Métrique (NMDS, Nonmetric dimensional scaling) a été réalisé pour visualiser les similarités parmi les échantillons. A partir de la matrice de dissimilarité entre prélèvements, les coordonnées de ces derniers ont été calculées pour les projeter dans un espace à 2 dimensions en réduisant au minimum la quantité de conflits entre distances estimées et proximités d'entrée (stress) suivant une démarche itérative. Ensuite, une Analyse de variance multivariée par permutations (PERMANOVA) a été appliquée en prenant en compte 5 facteurs (bâtiment, âge de la bande, saison, mode de conduite et région). Il s'agit d'un test statistique multivarié non paramétrique typiquement approprié à l'analyse de données d'inventaire en écologie des communautés, car ces données présentent généralement une distribution éloignée d'une distribution normale (distribution de Poisson). La PERMANOVA est utilisée pour comparer des groupes d'objets (ici composition des communautés dans chaque prélèvement). Elle a permis de tester l'hypothèse nulle que les centres de gravité et la dispersion définis par leur positionnement dans l'espace étaient équivalents pour tous les groupes.

3.4.2. Approche corrélative pour identifier les interactions de prédation sur le pou

Les données d'inventaire à partir du fumier ont été analysées au moyen d'un modèle bayésien hiérarchique. Lorsque l'on considère les paires proie-prédateur, **l'abondance des prédateurs est susceptible d'être influencée par l'abondance des proies et vice-versa**, si bien que des corrélations significatives sont attendues entre données de comptage de pou et données de comptage des prédateurs qui mangent le pou. **La relation n'est pas symétrique : plus il y a de proies, plus il y a de prédateurs, d'une part. D'autre part, si le prédateur est « efficace », plus il y a de prédateurs, moins il y a de proies.** Seuls le pou et les acariens potentiellement prédateurs (appartenant à des familles de prédateurs ou d'omnivores d'après la littérature) recensés de manière récurrente dans les bâtiments ont été intégrés à l'analyse. Les morphoespèces strictement détritivores ou rarement recensées (donc a priori peu adaptées aux conditions d'élevage) ont été exclues du modèle.

3.4.3. Tests *in vitro*

Afin d'évaluer la mortalité des proies due à la prédation et de la distinguer de la mortalité naturelle, nous avons calculé la mortalité corrigée suivant la formule d'Abbott

(1987). Les données issues des tests de prédation ont été traitées avec le logiciel R au moyen de tests de chi 2 afin d'évaluer la significativité des différences de choix entre proies (d'espèces ou de stades différents).

4. Résultats et discussion

4.1. Communautés du fumier

Au cours de cette étude, différents arthropodes appartenant à des familles variées d'insectes (mouches, coléoptères, punaises, ...) et d'arachnides (acariens, pseudoscorpions, araignées) ont été recensés dans les bâtiments de poules. Le groupe le plus diversifié (plus grand nombre d'espèces et de familles) était celui des acariens. L'exploration morpho-moléculaire d'un sous échantillon d'env. 300 acariens méso-stigmates a permis de vérifier l'absence de chevauchement entre morphoespèces et d'établir la distribution des espèces au sein de celles-ci (Tableau 1).

Tableau 1 : Composition en espèces des morphoespèces d'acariens communément rencontrées. Les acariens méso-stigmates ME1, ME2, ME4, ME7, UR1, UR2 ont fait l'objet d'une analyse morpho-moléculaire sur un sous-échantillon identifiés au niveau de la morphoespèce.

Morpho-espèce	Superfamille	Genre (& espèce)	Espèce dominante le cas échéant
Dg	Dermanyssoidea	<i>Dermanyssus gallinae</i>	-
ME1	Rhodaroidea	<i>Dendrolaelaps presepum</i> , <i>D. longiusculus</i> , <i>Dendrolaelaps</i> sp., <i>Halolaelaps</i> sp.	<i>Dendrolaelaps presepum</i> (env. 47%)
ME2	Dermanyssoidea	<i>Androlaelaps casalis</i>	-
ME4	Ascoidea	<i>Proctolaelaps parascolyti</i>	-
ME7	Eviphidoidea	<i>Macrocheles muscaedomesticae</i> , <i>M. penicilliger</i> , <i>M. merdarius</i>	<i>M. muscaedomesticae</i> (env. 91%)
UR1	Uropodina	<i>Uroobovella fimicola</i>	-
UR2	autres Uropodina	<i>Trichouropoda orbicularis</i> , <i>Uroobovella marginata</i> ,	-
CHE	Cheyletoidea	<i>Cheyletus</i> spp.	?
Astigmates		(divers)	?

Comme on pouvait l'attendre et de manière comparable à la faune des nids d'oiseaux (Lesna et al. 2009), plusieurs guildes sont représentées (figure 1) :

- **la guildes des arthropodes détritivores / microbivores** (très abondants dans le fumier) représentés majoritairement par les acariens astigmates. On retrouve également les diptères (mouches et moucheron), dont de nombreux brachycères (mouches), aux stades larvaires généralement.
- **la guildes des ectoparasites** (une seule espèce recensée : *D. gallinae*)
- **la guildes des prédateurs**, qui se nourrissent des deux précédentes guildes. Parmi les acariens, on y trouve des Méso-stigmates Gamasina et des

Cheleytoidea. Les autres prédateurs recensés étaient des insectes de la famille des Lyctocoridae (punaises) et de la famille des Histeridae (coléoptères), des pseudoscorpions (petits arachnides ressemblant à des scorpions, mais dénués de queue venimeuse ; *Pseudoscorpionida*), ou encore des araignées. Ces dernières étaient rarement recensées dans le fumier, mais observées fréquemment dans d'autres micro-habitats.

La première guildes peut aussi regrouper des charognards (qui se nourrissent des cadavres des autres guildes notamment). Et certaines espèces peuvent se trouver à l'interface entre la première et la dernière guildes (omnivores). C'est le cas en particulier du petit ténébrion *Alphitobius diaperinus* ou des acariens Mésostigmates Uropodina.

En ce qui concerne les modes de dispersion dans la guildes des prédateurs, seuls les punaises Lyctocoridae et les coléoptères Histeridae sont capables de voler. Cependant, la littérature signale des habitudes phorétiques chez toutes les familles d'acariens prédateurs et omnivores recensés, ainsi que chez les pseudoscorpions : tous ces prédateurs sont susceptibles de s'agripper à des insectes volants tels les mouches et coléoptères (Histeridae, petit ténébrion).

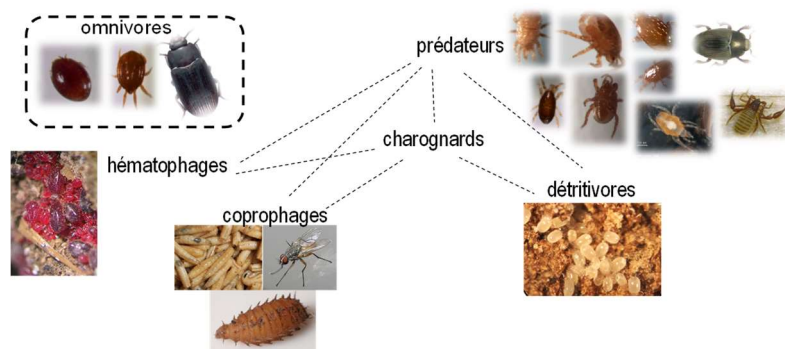


Figure 1 : Aperçu des guildes présentes dans le fumier des élevages de poules pondeuses alternatives

Malgré une variation importante des communautés entre prélèvements au sein d'un même bâtiment, l'effet bâtiment était très significatif (PERMANOVA $F=7.684$, $df=19$, $r^2=0.39$, $p=0.001$). Le bâtiment semble donc bien constitué une unité à part entière.

Notons qu'**aucun des acariens** hors pou rouge recensés dans la présente étude **ne sont capables de ponctionner du sang sur animal vivant**, que ce soit sur poule ou homme. Ils ne sont pas équipés de pièces buccales appropriées et des expérimentations ont confirmé cela sur *Androlaelaps casalis* (Lesna et al. 2009).

4.2. Validation des prérequis de la LBC

On rencontre bien en bâtiments des pondeuses des prédateurs d'invertébrés (au minimum 20 espèces). Parmi eux sont comptés des acariens appartenant au groupe des Mésostigmates Gamasina, qui contiennent de nombreux prédateurs d'acariens. Et **les prérequis de la LBC** énoncés par Begg et al. (2017) **ont pu être validés** au cours du projet :

- **Echelle régionale** : Des différences significatives ont été mesurées selon la région (plaine humide de l'Ain vs région submontagneuse et multiculture du sud de la vallée du Rhône ; $r^2=0.13$, $p=0.001$) et selon la saison ($r^2=0.06$, $p=0.001$). Les deux zones géographiques ayant des caractéristiques environnementales et paysagères très différentes, on s'attend à ce que les communautés d'acariens qui se développent à proximité des bâtiments soient globalement assez différentes. L'effet de la variable « région » suggère une répercussion de cette variation externe sur les communautés qui se développent à l'intérieur des bâtiments. Cela est cohérent avec une **percolation du milieu extérieur vers le bâtiment**. L'effet de la variable « saison » malgré les conditions de température et d'hygrométrie relativement constante à l'intérieur du bâtiment est aussi en cohérence avec cette hypothèse. La percolation peut s'effectuer du fait que les prédateurs potentiels appartiennent tous soit à des taxa volants, soit à des taxa phorétiques.
- **Echelle locale** : Des différences significatives ont été mesurées selon les pratiques (sol, plein air, biologique) : $r^2=0.09$, $p=0.001$, et l'âge de la bande : $r^2=0.11$, $p=0.001$. **Ces effets permettent de supposer qu'il est possible d'agir sur la structure et la stabilité des communautés à l'échelle locale** (du bâtiment d'élevage) **en faisant varier les pratiques d'élevage**.

4.3. Interactions entre prédateurs potentiels et pou rouge

Le modèle bayésien a été appliqué aux données d'abondance de *D. gallinae* et des morphoespèces d'acariens prédateurs ou omnivores suivantes : ME1, ME2, ME4, ME7, UR1, UR2, Che (voir Tableau 1). La capacité de prédation *in vitro*, en l'absence de barrière physique, a été testée chez une à deux espèces de chacune de ces mêmes morphoespèces. Les résultats du traitement des données de terrain par le modèle bayésien et des tests *in vitro* mettent à jour de manière concordante **des interactions entre le pou rouge et trois genres d'acariens**. Cela qui suggère une certaine robustesse des résultats d'ensemble.

L'analyse menée avec le modèle bayésien hiérarchique a permis de mettre en évidence de fortes corrélations (positives ou négatives) entre la présence du pou rouge et 3 prédateurs potentiels : *Androlaelaps casalis* (ME2), *Macrocheles* spp. (*Macrocheles muscaedomesticae* et *M. penicilliger* (ME7); cf fig 2). et *Cheyletus* spp. Ces corrélations varient selon les pratiques d'élevage (tableau 2) :

- *Androlaelaps casalis* : fortes corrélations positives avec le pou rouge sur les 3 systèmes d'élevage
- *Macrocheles* spp. : variable selon le mode d'élevage : forte corrélation positive au sol, f forte corrélation négative en plein air et corrélation quasi nulle en biologique.
- *Cheyletus* spp. : fortes corrélations négatives en plein air et en biologique, corrélation quasi nulle au sol

Tableau 2 : Ampleur de l'effet de l'abondance de 3 morphoespèces de prédateurs sur *D. gallinae*. Les valeurs indiquées représentent les médianes des densités de probabilité postérieure des coefficients de régression (en vert effet ou corrélation positif, en rouge négatif, en gris effet nul)

	<i>Cheyletus</i> spp	<i>Macrocheles</i> spp	<i>Androlaelaps casalis</i>
Sol	(0,0055)	+ (0.043)	+ (0.040)
Plein air	- (-0.075)	- (0.048)	+ (0.035)
AB	- (-0.025)	(0.0065)	+ (0.037)

Les **corrélations négatives avec *Macrocheles* spp. et *Cheyletus* spp.** permettent de supposer qu'il s'agit de **prédateurs potentiellement intéressants**. Attention cependant, **une corrélation positive avec le pou rouge n'est pas forcément à connotation négative**. La relation proie-prédateur n'est pas symétrique : plus il y a de prédateurs, moins il y a de proies (si les paramètres de croissance des deux et voracité du premier sont adéquats), mais aussi plus il y a de proies, plus il y a de prédateurs. Le fait **qu'*Androlaelaps casalis* soit systématiquement en corrélation positive avec le pou rouge encourage à explorer les contraintes sur lesquelles il faut agir pour améliorer l'effet de l'interaction**. Les différences de corrélation entre types d'élevage permettent de supposer que les différentes pratiques influencent les interactions entre arthropodes. Cela est encourageant car cela suggère que **l'on peut agir pour augmenter l'effet des prédateurs *in situ***. Par exemple, l'utilisation d'antiparasitaires digestifs est communément pratiquée pour les élevages à parcours (à base de molécules de synthèse en plein air, à base de substances d'origine naturelle en biologique), ce qui n'est pas le cas pour les

élevages au sol étudiés. En outre, une exploration plus poussée des exigences et habitudes des prédateurs pourraient amener à des préconisations permettant d'augmenter la fréquence des rencontres entre pou et prédateur (ex. modification des sites d'agrégation du pou par des modifications structurales et / ou par l'usage d'attractants de synthèse).

Parmi les acariens, seuls les trois mêmes genres de prédateurs (espèces testées : *Androlaelaps casalis* (ME2), *Macrocheles muscaedomesticae* et *M. penicilliger* (ME7), *Cheyletus* sp.) ont montré une capacité avérée de prédation sur le pou en conditions de laboratoire. Hormis *Uroobovella fimicola* (UR1), aucune des autres espèces testées (*Dendrolaelaps* sp. (ME1), *Proctolaelaps parascolyti* (ME4), *Uropodina* sp. (UR2)) n'a permis de détecter une mortalité des proies supérieure à la mortalité naturelle à leur contact. Une très légère augmentation de la mortalité en présence de *Uroobovella fimicola* (UR1) a été notée (3% après correction Abbott), trop anecdotique pour être considérée comme une véritable activité de prédation. En bref, **les trois genres d'acariens dont les abondances apparaissent en corrélation forte avec celles du pou rouge se trouvent être les seuls capables de prédation répétée sur celui-ci en conditions de laboratoire**. Cela conforte l'hypothèse que les corrélations mesurées résultent d'interactions de prédation.

Les trois groupes de prédateurs de pou avérés présentent en outre ***in vitro* des voracités contrastées**. Dans 33% des cas, le pou rouge était consommé par *Androlaelaps casalis*, 45% pour *Macrocheles muscaedomesticae*, 46% pour *Cheyletus* spp. et 95% pour *Macrocheles penicilliger*, (fig. 2).

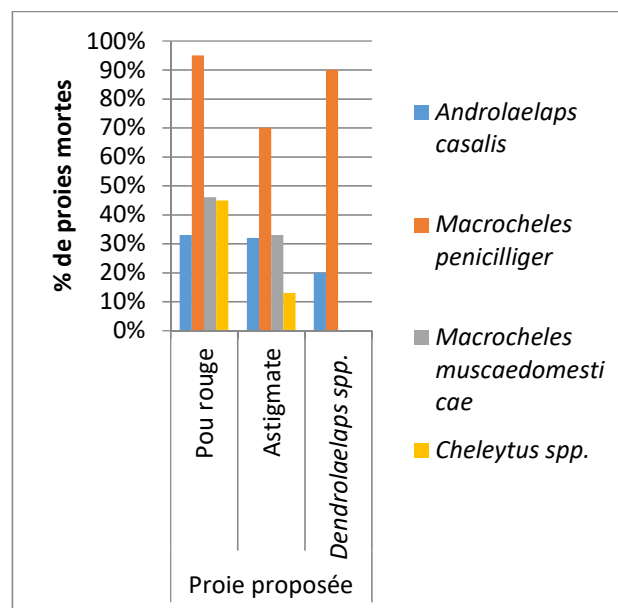


Figure 2 : Pourcentage de proies mortes en fonction du prédateur proposé lors des tests de prédation en proposant 1 type de proie

De plus, les résultats montrent que les prédateurs intéressants identifiés sont également capables de prédation sur d'autres proies (astigmate ou *Dendrolaelaps* spp). **Lorsque ces prédateurs sont présentés avec deux proies simultanément** (pou rouge et astigmate, figure 3), **les résultats montrent qu'en général, en cas de prédation, les prédateurs mangent les deux proies ou privilégient le pou rouge** (tests de χ^2 , $p < 0.01$ pour les trois espèces testées : *Cheyletus* sp., *Androlaelaps casalis* et *Macrocheles muscaedomesticae*).

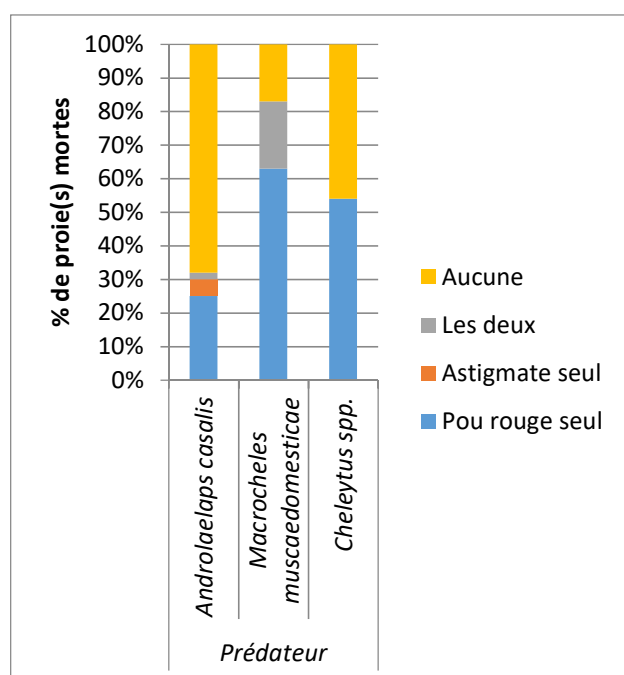


Figure 3 : pourcentage de proies mortes en fonction du prédateur proposé lors des tests de prédation en proposant 2 types de proies

Enfin, un petit nombre d'arthropodes prédateurs non acariciens ont été testés : une espèce d'araignée, une espèce de pseudoscorpion et une espèce de punaise *Lycitoridae*. Ils ont montré une capacité de prédation élevée sur le pou *in vitro* (42%, 66% et 73% de mortalité des poux à leur contact, respectivement). En outre, **de la prédation entre prédateurs a été relevée entre plusieurs espèces d'arthropodes** (tableau 2). Par exemple, *Macrocheles penicilliger* et le pseudoscorpion sont capables de prédation sur *Androlaelaps casalis*. De plus, *Macrocheles penicilliger* et le pseudoscorpion sont capables de prédation l'un envers l'autre. **Des effets antagonistes vis-à-vis du contrôle biologique pourraient être associés à la présence de ces espèces. Mais le contraire est aussi possible**, puisque les études réalisées à ce jour en filières végétales montrent que la prédation entre prédateurs a plus souvent des effets positifs ou neutres. (Janssen et al. 2007).

Tableau 2 : résultats des tests de prédation entre prédateurs

Proie				
Prédateur		<i>Androlaelaps casalis</i>	<i>Machrocheles penicilliger</i>	Pseudoscorpion
	<i>Androlaelaps casalis</i>	0%	0%	0%
	<i>Machrocheles penicilliger</i>	100%	0%	14%
	Pseudoscorpion	50%	14%	0%

Ces résultats constituent **des éléments très encourageants pour le développement de la LBC**, mais **soulignent à quel point il sera nécessaire par la suite d'explorer l'effet des prédateurs par assemblage et non plus seulement espèce par espèce.**

5. Conclusion

Les résultats du projet Bioptipou sont très encourageants puisqu'ils permettent de **valider les prérequis de la LBC** pour son application en élevage et mettent en évidence la **présence de trois prédateurs potentiellement intéressants**. De manière intéressante aussi, plusieurs espèces d'arthropodes autres qu'acariciens ont montré une capacité de prédation marquée sur le pou (une punaise, un pseudoscorpion et une araignée). Cela ouvre le champ d'exploration des prédateurs à encourager. Les interactions entre espèces n'ont cependant pas pu être toutes testées et les travaux nécessitent d'être poursuivis afin de déterminer les assemblages les plus prometteurs pour la lutte contre le pou rouge (impact de la présence de proies alternatives au pou rouge, impact de la prédation entre prédateurs, rôle d'autres organismes comme les nématodes ou les champignons dans les interactions).

Le projet Bioptipou se poursuivra en 2019 via des travaux complémentaires à la recherche en cours :

- Tests d'assemblages dans des mésocosmes (modèles réduits d'élevages) pour déterminer le potentiel régulateur sur le pou rouge
- Mise en œuvre d'analyses de l'ADN environnemental pour préciser le lieu et la fréquence des rencontres pou-prédateurs (détection de l'ADN de prédateurs dans des micro-habitats fréquentés par le pou).

6. Remerciements

Nous remercions chaleureusement les nombreuses personnes qui ont contribué aux prélèvements terrain et aux analyses au laboratoire: M. El Adouzi, S. Enaud, T. Gambin, G. Le Peutrec, E. Villeuneuve de Janti et V. Comorge. De même, nous adressons nos remerciements à : S. Gastinel, A. Poncet, P. Chabrol, P. Gindre ainsi que l'ensemble des éleveurs qui nous ont permis d'entrer dans leurs bâtiments, de procéder aux prélèvements, et qui ont répondu à nos nombreuses questions.

Références bibliographiques

- Abbott, W.S. 1987. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of the American Mosquito Control Association* 3:2:302-303
- ANSES : Evaluation des risques liés à la consommation d'œufs et de produits à base d'œufs contaminés au fipronil. [en ligne], ANSES, 2017, [consulté le 28 novembre 2018], <https://www.anses.fr/en/node/129804>
- Begg, G.S., Cook, S.M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lövei, G.L., Mansion-Vaquie, A., Pell, J.K., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S.D., Birch, A.N.E., 2017. A functional overview of conservation biological control. *Crop Prot.* 97,145–158.
- Chiron G., Varescon A., Lubac S., Bicout D.J., Roy L., 2014 : Méthode d'aide à la prise de décision de traitement contre *Dermanyssus gallinae* (pou rouge). *TeMA* n° 32 - octobre/novembre/décembre 2014, pp 27-34
- De Geer, C. 1778. Mémoires pour servir à l'histoire des insectes. Tome septième. - pp. I-XII [= 1-12], 1-950, Pl. 1-49. Stockholm.
- El Adouzi M., Chiron G., Le Peutrec G., Gambin T., Villeuneuve de Janti E., Bonato O., Roy L. 2017 : Caractérisation des assemblages d'acariens prédateurs présents naturellement en élevages de pondeuses et potentiel pour le contrôle biologique (Projet Bioptipou). Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 05 et 06 avril 2017, pp 274 – 278
- Faraji, F., Bruin, J., Bakker, F., 2004. A new method for mite extraction from leaf samples. *Experimental and Applied Acarology*, 32 :31-39
- Lafferty, K.D., Kuris, A.M., 2002. Trophic strategies, animal diversity and body size. *Trends Ecol. Evol.* 17, 507–513.
- Lesna, I., Wolfs, P., Faraji, F., Roy, L., Komdeur, J., Sabelis, M.W., 2009. Candidate predators for biological control of the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*. *Exp. Appl. Acarol.* 48, 63–80.
- Janssen A., Sabelis M.W., Magalhães S., Montserrat M, Van der Hammen T., 2007 : Habitat structure affects intraguild predation. *Ecological Society of America*, Vol 88 Issue 11, pp 2713-2719
- Maurer, V., Baumgärtner, J., Bieri, M., Fölsch, Detlef W., 1993. The occurrence of the chicken mite *Dermanyssus gallinae* (Acari : Dermanyssidae) in Swiss poultry houses. *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* <http://dx.doi.org/10.5169/seals-402510>
- Roy L., El Adouzi M., Lourdes Moraza M., Chiron G., Villeneuve de Janti E., Le Peutrec G., Bonato, O. (2017) Arthropod communities of laying hen houses: An integrative pilot study toward conservation biocontrol of the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*. *Biological Control* 114: 176–194
- Sparagano, O.A.E., George, D.R., Harrington, D.W.J., Giangaspero, A., 2014. Significance and control of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*. *Annu. Rev. Entomol.* 59,447–466.

Characterization of the predation interactions of arthropods for the biological control of the poultry red mite

The poultry red mite (PRM) *Dermanyssus gallinae* is a hematophagous mite of economic importance in the poultry industry throughout the world. The important discrepancy of PRM temporal population dynamics observed on the field suggests that making use of natural ecological processes in henhouses for the control of the PRM could be promising (conservative biological control). The Bioptipou project aims to increase knowledge regarding two questions: (1) Are there naturally occurring PRM enemies in henhouses, in particular predatory arthropods? (2) If this is the case, how do these potential enemies fall within the interaction web (predation on the PRM, on other invertebrates, between predators)? As a result, a multitechnique approach has been carried meaning to emerge interactions among predatory communities by converging results from manure field sampling and *in vitro* laboratory tests. Field data analysis indicate strong correlations (positive or negative) between the presence of the PRM and 3 potential predators: *Androlaelaps casalis*, *Macrocheles* spp. et *Cheyletus* spp. Moreover, these same predators are the only ones who showed proven predatory ability on the PRM in laboratory conditions. In addition, results showed that these predators are also capable of predation on other preys but prefer PRM when two types of preys are presented. Finally, predation between predators was brought out between several arthropod species. This study brings encouraging elements for the development of conservative biological control in hen houses but underlines the necessity to further explore the effect of predators by assembly and not only specie by species.