

Projet « Emergences et risques sanitaires » (ATP) CIRAD, 2010-2013

6 & 7 Novembre 2013

Axe 3 - Modélisations et scénarios géographiques

Synthèse des résultats

Surveillance des émergences liées à la mobilité géographique : intégrer les disciplines et les échelles

Gilles Balança[1], Caroline Coste[2], Marie-Noël DeVischer[1], Vladimir Grosbois[1], Hélène Guis[2], Renaud Lancelot[2], Laurence Vial[2]

Etudiants : Aurore Bourguignon, Fanny Chapuis, Abderrahmane Hadjemi, Aurélie Merlin

[1]UPR 22 AGIR
[2]UMR 15 CMAEE

Deux types de processus participent aux phénomènes d'émergence :

1) des processus évolutifs (mutations, recombinaisons, sélection, dérive), qui génèrent de nouveaux génotypes et phénotypes chez les pathogènes (virulence, modes et taux de transmission, spectres d'hôtes) et les hôtes (susceptibilité, immunité).

2) des processus écologiques, qui génèrent de nouvelles situations d'exposition d'hôtes à des pathogènes auxquels ils n'étaient précédemment pas exposés. Ces processus impliquent la dispersion des pathogènes via les mouvements de leurs porteurs au sens large (hôtes et vecteurs), et les changements, sous les effets de modifications environnementales, des aires de distribution potentielle et effective des hôtes, des vecteurs et des pathogènes.

L'axe 3 se concentre sur le second type de processus. Il s'appuie principalement (mais pas uniquement) sur l'étude des risques d'émergence des maladies dont les tiques du genre *Hyalomma* sont les vecteurs. Ce vecteur, très représenté dans la zone méditerranéenne, transmet deux maladies majeures : la théléiose dans les populations de bovidés et la fièvre hémorragique Crimée Congo (CCHF) dans les populations humaines. Ce modèle nous a permis de développer une approche intégrée pour caractériser les risques d'émergence résultant de processus écologiques. Cette approche peut fournir des informations pour

surveiller l'émergence – « surveiller où et quand ». Notre approche intègre trois composantes qui impliquent plusieurs échelles spatiales et différentes disciplines.

La première composante s'inscrit dans des échelles géographiques allant du global au régional et implique des approches biogéographiques.

Concernant la **dispersion à longue distance des hôtes,** nous nous sommes concentrés sur l'étude des mouvements des hôtes communément décrits pour les tiques du genre *Hyalomma*, c'est-à-dire les oiseaux pour les stades immatures et les ruminants pour les stades adultes.

Ainsi, une synthèse bibliographique des migrations aviaires dans le bassin méditerranéen et la zone sahélienne a été réalisée afin de déterminer quelles espèces d'oiseaux migrateurs traversent chaque année la Méditerranée et peuvent donc participer à l'extension de l'aire de distribution des tiques du genre *Hyalomma*. La majorité des espèces migre sur un large front, même au-dessus de la mer, et fait des haltes migratoires dans tous les habitats favorables. C'est le cas notamment de la plupart des passereaux, qui migrent la nuit (rouge gorges, grives, fauvettes, etc.). D'autres espèces (rapaces, cigognes) ont besoin d'ascendances d'air chaud pour économiser leur énergie. Elles empruntent des voies migratoires étroites et se concentrent dans les détroits (Gibraltar, Tunisie-Sicile, Bosphore) pour éviter de survoler de grandes étendues de mer. Enfin, certains oiseaux d'eau (canards, limicoles) longent les côtes et stationnent dans les zones humides. A ces migrateurs qui ne s'arrêtent que quelques jours à quelques semaines dans une région située sur un parcours migratoire, s'ajoutent les nicheurs, sédentaires ou migrateurs, et les hivernants provenant du nord et du centre de l'Europe et de l'ouest de l'Asie. En Europe, environ 5 % des oiseaux examinés sont porteurs de tiques, la prévalence étant très variable selon les sites, les saisons et les espèces (maximum publié de 43 % en République tchèque). De plus, les oiseaux qui portent le plus de tiques (grives et merles) sont aussi les meilleurs réservoirs d'organismes pathogènes. Ainsi, environ 10 % à plus de 50 % des tiques transportées par les oiseaux sont d'après la littérature infectées par des *Borrelia burgdorferi sensu lato,* responsables de la maladie de Lyme. De récentes études menées en Espagne et en Grande-Bretagne ont identifié des espèces d'oiseaux fréquemment associées aux tiques du genre *Hyalomma*, en particulier *Hyalomma marginatum* transmettant la CCHF. Selon le pathogène considéré, si l'on connait sa prévalence dans les zones d'hivernage des oiseaux, il est alors possible d'évaluer le risque d'introduction dans les régions du nord du bassin méditerranéen du pathogène dans les régions du nord du bassin méditerranéen, par des tiques immatures infectées transportées par les oiseaux au cours de leur migration vers le nord.

Concernant **les mouvements sur longue distance des hôtes vertébrés des stades adultes des tiques** du genre *Hyalomma,* une étude pilote a été menée sur les déplacements des ruminants domestiques au Sénégal. Des données de mobilité (nationale et transfrontalière, commerce ou transhumance) ont été collectées entre 2011 et 2013 par le biais d'enquêtes de terrain et de documents officiels détenus par les services vétérinaires. Ces données ont ensuite été cartographiées. Pour ce faire, un outil informatique a été mis au point pour visualiser les données de mobilité animale à différentes échelles spatiales (internationales à régionales) et sur différents pas de temps (annuel à mensuel) (Fig 1). Le système intègre des

informations d'origines variées (bases de données internationales, données de mobilité des systèmes d'information régionaux, d'observatoires de filières, de projets de recherche et données de terrain) dans une seule et même plateforme. Les technologies utilisées sont basées sur des services web en entrée comme en sortie. Cela donne de la souplesse pour intégrer de nouvelles données à partir de sources différentes et pour redistribuer l'information selon des standards cartographiques. Enfin, l'analyse des données a été réalisée par une analyse des réseaux sociaux (SNA), fondée sur l'étude des relations entre des groupes d'entités et sur l'intensité de ces relations. Cette méthode permet de représenter le commerce de ruminants comme un réseau où les marchés, abattoirs ou élevages seraient des nœuds, et les mouvements des liens orientés entre ces entités. Il ressort de cette étude que les trois principaux axes empruntés sont Kidira-Tambacounda-Kaolack-Dakar, Mauritanie-Matam-Linguère-Dahra-Touba-Thiès et Mauritanie-Saint Louis-Louga-Thiès-Dakar (Fig 1). Les mouvements de marché à marché représentent environ 60 % et la transhumance seulement 6 %, mais cette dernière doit être fortement sous-estimée. Le pic de flux enregistré en octobre correspond à la fête du mouton (Tabaski). Des fluctuations sont enregistrées par l'alternance des saisons sèches et humides faisant varier la disponibilité des ressources pastorales. Dahra et Kaolack ont été identifiées comme deux carrefours commerciaux stratégiques ou « hub », points à haut risque de transmission des maladies (Fig 2).

Associés à l'étude des mouvements d'hôtes, des modèles statistiques ont été réalisés pour prédire les distributions potentielles de différentes espèces de tiques du genre *Hyalomma* dans le bassin méditerranéen. Définir des habitats favorables pour les tiques permet d'une part de faire coïncider les aires d'origine des hôtes migrants et les aires de présence des tiques (donc d'identifier des « sources » de tiques), et d'autre part de déterminer les zones où des tiques introduites par leurs hôtes pourraient potentiellement s'établir. Compte tenu de la rareté de données biologiques précises pour certaines espèces du genre *Hyalomma*, nous avons utilisé des modèles dits statistiques basés sur la prédiction de la niche environnementale propre à chaque espèce, en faisant coïncider données disponibles de présence et données environnementales. La plupart des données de présence provenaient essentiellement de la valorisation du manuscrit de Pierre-Claude Morel, chercheur du Cirad, décédé, ayant passé sa carrière à rapporter toutes les données de collecte de tiques afrotropicales et paléarctiques durant le 20^{e} siècle. Après un processus de validation, développé spécifiquement pour le projet afin de ne garder que les données répondant aux exigences fixées en termes de taxonomie, de précision géographique, et de non-synonymie, celles-ci ont été géoréférencées puis intégrées au modèle. Les données environnementales incluaient à la fois des données climatiques (bases de données Wordclim et CRU) mais aussi des indices de végétation ou encore l'altitude, l'ensoleillement, le gel du sol. Deux méthodes de modélisation (ENFA/MADIFA et MAXENT) ont été testées. Des modèles d'habitats favorables ont ainsi été obtenus pour cinq espèces de tiques (*H. marginatum marginatum, H. a. anatolicum, H. d. detritum, H. dromedarii* et *H. impeltatum*) (Fig 3 et 4), avec des efficacités de prédiction fortement variable selon le modèle utilisé et l'espèce considérée. Par exemple, la niche environnementale de *H. m. marginatum* correspond aux zones méditerranéennes présentant des hivers doux et des étés très chauds, ainsi que des précipitations faibles et concentrées sur l'automne et l'hiver. La Camargue, zone de regroupement des oiseaux migrateurs au

printemps et en automne, serait une zone favorable à *H. m. marginatum* avec l'un des modèles mais pas avec l'autre, ce qui suggère qu'une période d'amélioration/validation des modèles est encore nécessaire (Fig 3). Un des points d'amélioration pourrait être de prendre en compte la temporalité, afin d'intégrer au modèle les paramètres essentiels du cycle annuel de développement de la tique.

La seconde composante s'inscrit à l'échelle locale et implique principalement des approches d'**écologie des communautés.** Ces approches sont complémentaires des approches à large échelle décrites dans la composante précédente. Elles permettent une caractérisation détaillée du parasitage des hôtes par les tiques et des conditions environnementales favorables à la survie et à la reproduction des tiques. Elles permettent également de valider localement les prédictions des modèles de distribution des habitats favorables aux tiques.

Forts des constats que les migrations d'oiseaux sont susceptible de générer des liens épidémiologiques entre régions du bassin méditerranéen et que la Camargue pourrait présenter des conditions environnementales favorables aux tiques du genre à *H. m. marginatum*, nous avons mis en place à partir de l'année de Février 2012 des protocoles permettant de caractériser et de suivre sur le terrain les patrons de parasitage par des tiques au sein d'une communauté d'oiseaux (plus précisément de passereaux). Ce suivi, qui se poursuit, a été mis en place dans la réserve naturelle de l'Estagnol, située à une vingtaine de kilomètres de Montpellier, qui est utilisée au printemps et à l'automne comme halte par les oiseaux effectuant des migrations transméditerranéennes. Lors de sessions de terrain bihebdomadaires, des passereaux ont été capturés à l'aide de filets, puis ils ont été bagués et examinés afin de détecter les tiques qu'ils portaient. Les tiques détectées ont été prélevées puis conservées au congélateur au laboratoire. Les protocole utilisés pour capturer les oiseaux et détecter les tiques qu'ils portaient ont suivi les principes de l'échantillonnage répété (plusieurs sessions de capture d'oiseaux séparés par des temps courts, examen des oiseaux pour la détection des tiques effectués indépendamment par deux expérimentateurs) L'analyse des données produites par de tels protocoles d'échantillonnage répété permettent d'estimer et de modéliser simultanément l'abondance ou la prévalence des organismes cibles, et d'autre part les probabilités de détection de ces organismes. Nous sommes donc en mesure décrire la composition de la communauté de passereaux fréquentant le site d'étude, sa dynamique saisonnière et les patrons de parasitage par des tiques au sein de cette communauté en tenant compte des biais de détection.

La figure 5 présente le nombre d'oiseaux capturés sur le site d'étude au printemps et à l'automne depuis février 2012 en fonction de leur statut migratoire et d'un facteur potentiellement important pour l'exposition aux tiques : la hauteur à laquelle les espèces considérées se nourrissent (les espèces se nourrissant au sol devraient être plus exposées aux tiques que les espèces se nourrissant en hauteur). Elle montre que, sur le site d'étude, les migrateurs transméditerranéens (catégories Afrique et Maghreb) constituent la majeure partie de la communauté locale de passereaux au printemps et à l'automne. Ce constat amène deux conclusions. Premièrement, notre site peut constituer un bon observatoire du parasitage par

les tiques des passereaux migrateurs susceptible de disperser des pathogènes portés par des tiques sur de longues distances. Deuxièmement, des introductions locales à l'automne de tiques et de pathogènes originaires du nord de l'Europe sont possibles, tout comme des introductions locales au printemps de tiques et de pathogènes originaires du sud du bassin méditerranéen et même de régions subsahariennes.

Les données produites lors de notre suivi nous ont également permis d'estimer la fréquence de parasitage par des tiques. La figure 6 présente ces estimations. On peut constater que les espèces se nourrissant au sol sont plus fréquemment parasitées par des tiques que les espèces se nourrissant en hauteur, que la fréquence de parasitage est plus élevée au printemps qu'à l'automne, et que le taux de parasitage des espèces qui nous intéressent particulièrement du fait de leur capacité à disperser les tiques et les pathogènes qu'elles portent à travers le bassin méditerranéen et au-delà (catégories Maghreb et Afrique) peut atteindre jusqu'à 15-20 % pour les oiseaux se nourrissant au sol et hivernant dans la région du Maghreb.

En combinant les indices d'abondance des différentes espèces de passereaux et les estimations de fréquence de parasitage de ces espèces par des tiques, nous obtenons des indices d'abondance relative de tiques portées par les différentes catégories d'oiseaux composant la communauté locale de passereaux et nous pouvons décrire les variations de ces indices entre années et entre saisons (voir figure 7). On constate que la communauté des tiques portées par les passereaux est dominée par les tiques portées par des oiseaux qui nichent en Europe et hivernent au Maghreb. L'abondance relative des tiques portées par des oiseaux qui nichent en Europe et hivernent en Afrique subsaharienne est également non négligeable. Par ailleurs l'abondance des tiques portées par ces oiseaux est comparable au printemps et à l'automne, ce qui suggère que la dispersion des tiques, et des pathogènes qu'ils portent, à grande distance est possible dans du Sud vers le Nord au printemps, et du Nord vers le Sud à l'automne.

La troisième et dernière composante s'inscrit à l'échelle **des interactions entre hôtes, vecteurs et pathogènes et implique principalement des approches s'apparentant à la systématique et à la virologie.** Cette composante a pour objectif d'estimer le risque d'introduction de pathogènes par l'intermédiaire des tiques collectées sur les oiseaux migrateurs. A ce jour, nous avons récolté près de 300 spécimens de tiques sur un peu plus de 150 passereaux appartenant à une vingtaine d'espèces (un oiseau parasité était porteur en moyenne de 2 tiques). La détermination des espèces auxquelles appartiennent ces tiques et la recherche des pathogènes portés par ces tiques sont encore à l'état de projet. Cependant, la banque de tiques constituée au cours du projet présente un fort potentiel. En effet, chaque tique récoltée est associée à une saison et à un individu hôte identifié dont l'espèce, et donc le statut migratoire et les caractéristiques écologiques, est connue. Par conséquent, cette banque de tiques pourra être utilisée pour décrire les patrons de variation du parasitage par différentes espèces de tiques et les patrons de variation des prévalences des pathogènes portés par ces tiques selon plusieurs facteurs de variation : (l'hôte, l'espèce à laquelle appartient l'hôte, les caractéristiques migratoires et écologiques de cette espèce et la saison. Il est à noter que ce projet fait fortement écho à l'axe 1.

Fig 1 : Carte de flux de la mobilité animale au Sénégal.



Fig 2 : Représentation des origines et destinations des flux via des Indicateurs SNA

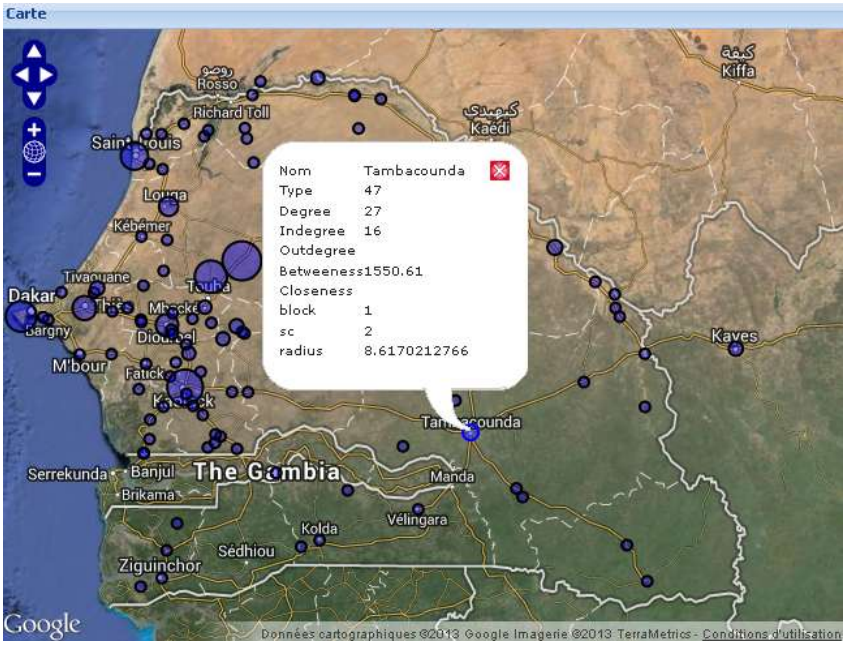
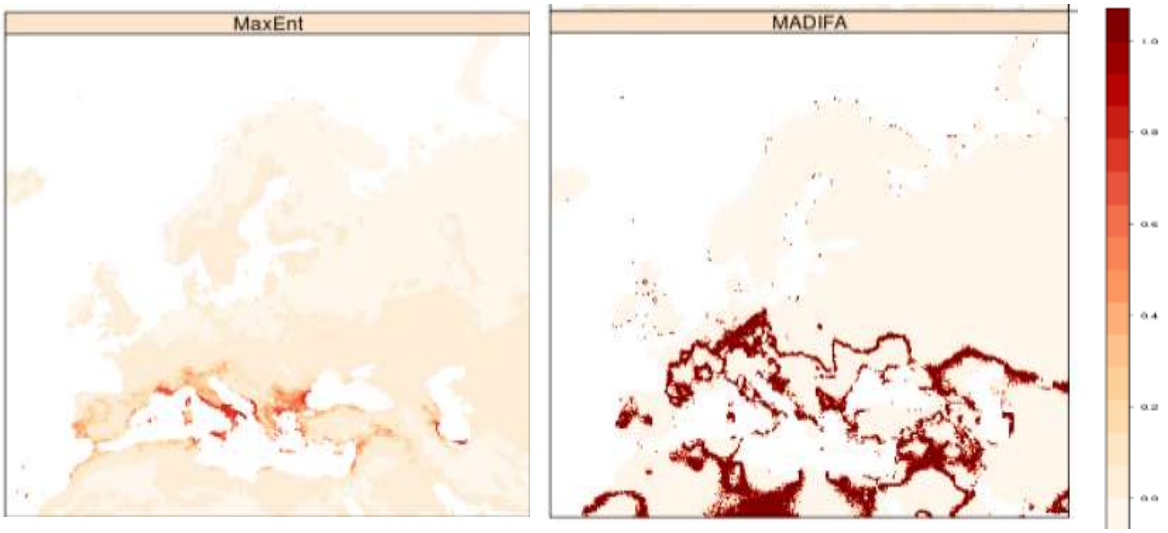


Fig 3 : Cartes d'habitats favorables de *H. m. marginatum* à l'aide des méthodes Maxent



Enfa/Madifa

Fig 4 : Cartes d'habitats favorables pour 4 espèces de *Hyalomma* à l'aide de la technique Enfa/Madifa (points de présence historique en noir)

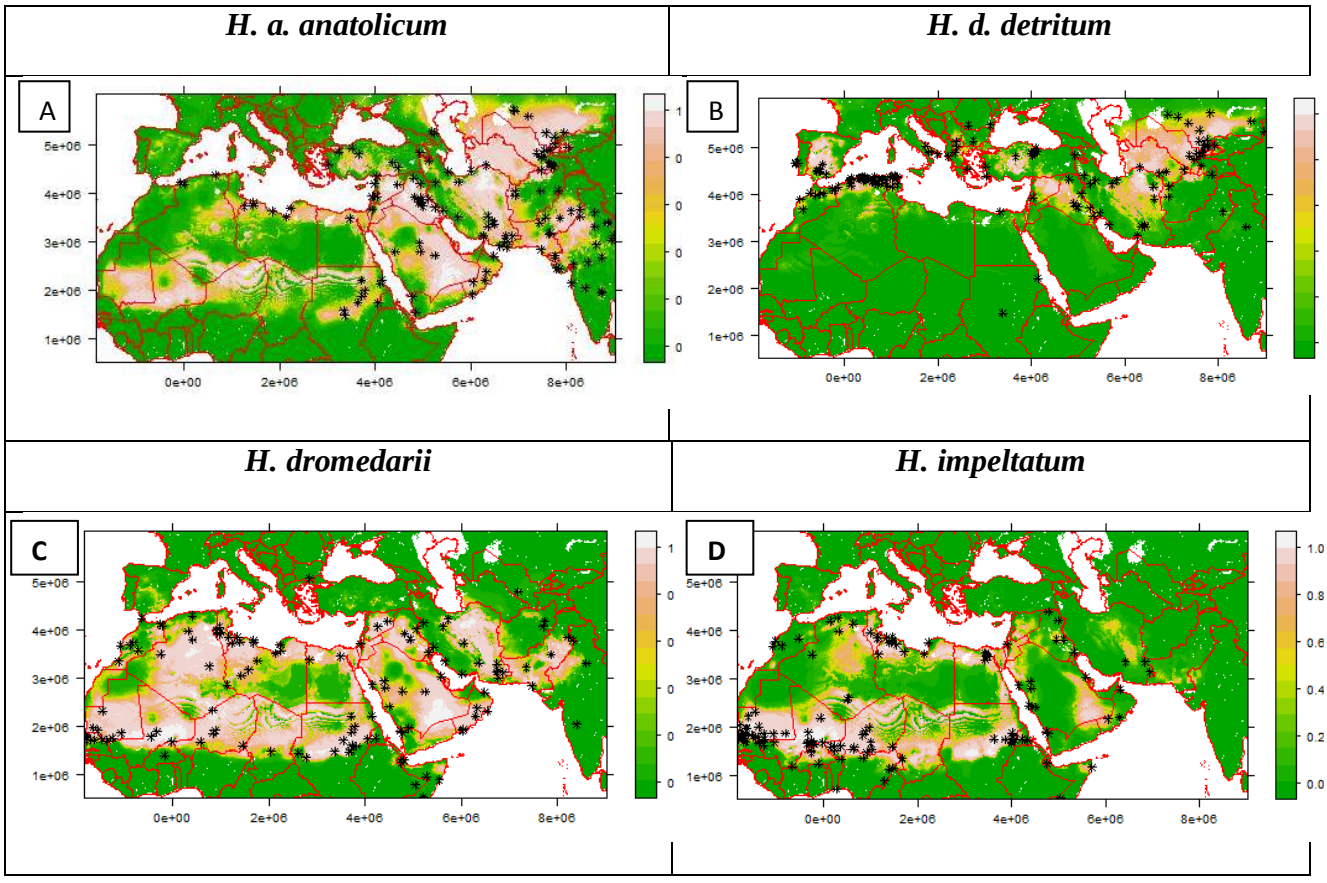


Fig 5 : Les nombre d'oiseaux capturés sont ici utilisés comme des indices d'abondance relative des différentes catégories d'espèces au sein de la communauté de passereaux. La figure relfète les variations de ces indices en fonction de l'année, de la saison, du statut migratoire des espèces et de la hauteur à laquelle les espèces se nourrissent (indice d'exposition aux tiques).

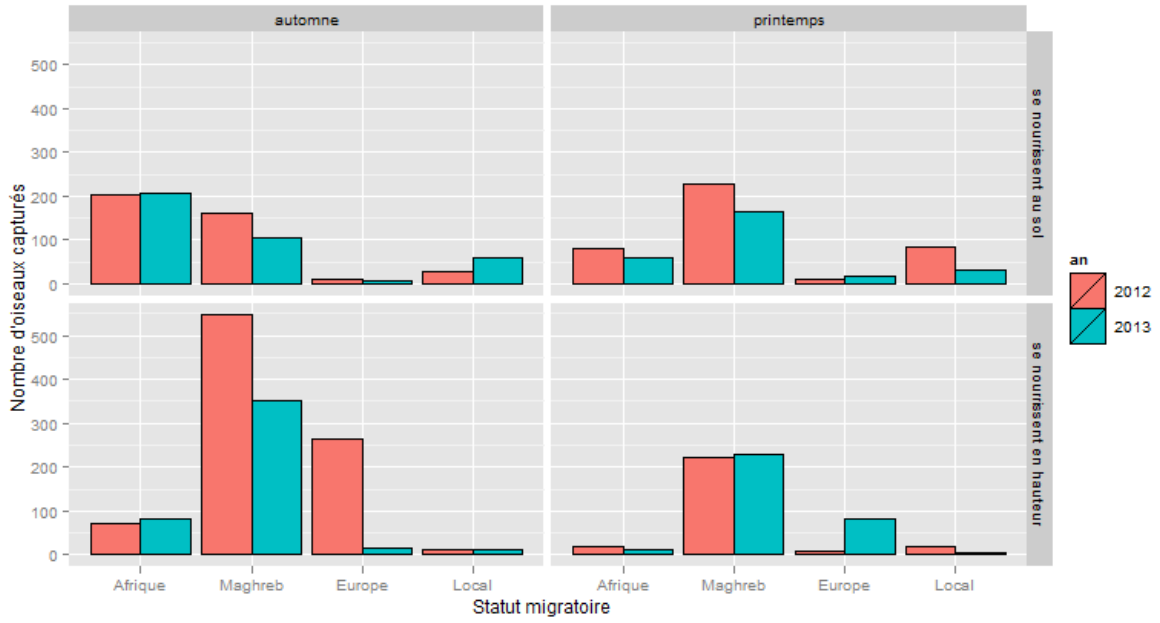


Fig 6 : Estimations des fréquences de parasitage par des tiques des passereaux capturés sur le site de l'Estagnol en fonction de l'année, de la saison, du statut migratoire des espèces et de la hauteur à laquelle les espèces se nourrissent.

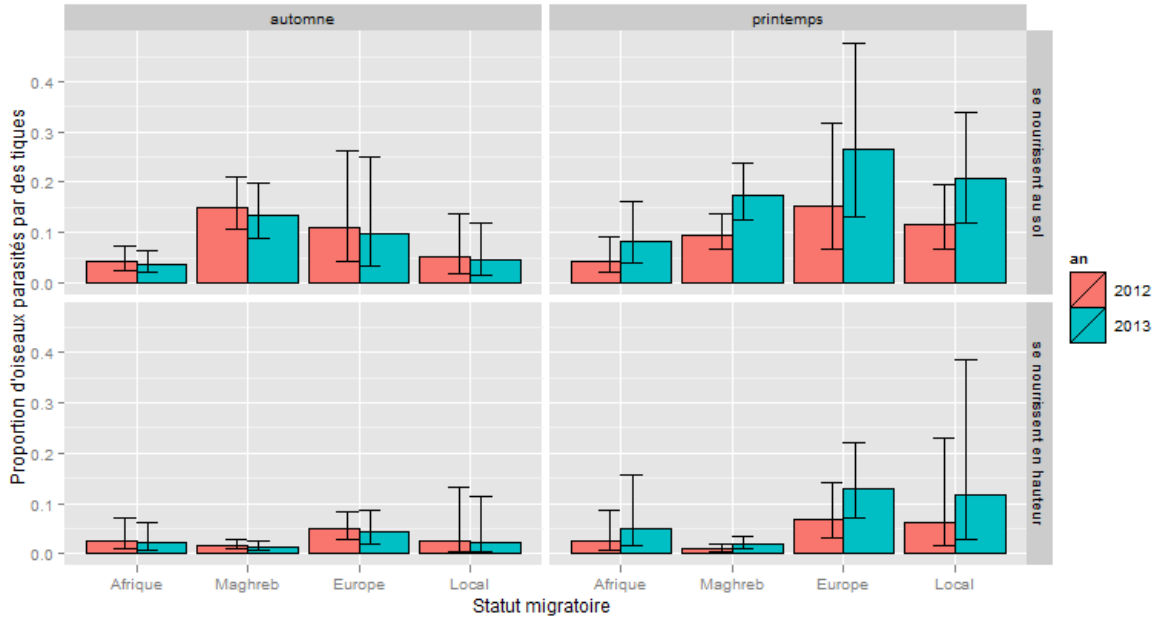


Fig 7 : En combinant les indices d'abondance relative des différentes types d'oiseaux composant la communauté de passereaux (figure 5) et les estimations des fréquences de parasitage par des tiques de ces oiseaux (figure 6), on obtient un indice d'abondance relative de tiques portées par les différents types d'oiseaux constituant la communauté de passereaux.

