FRB
FONDATION POUR LA RECHERCHE SUR LA BIODIVERSITÉ

Synthèse de l'article

Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems

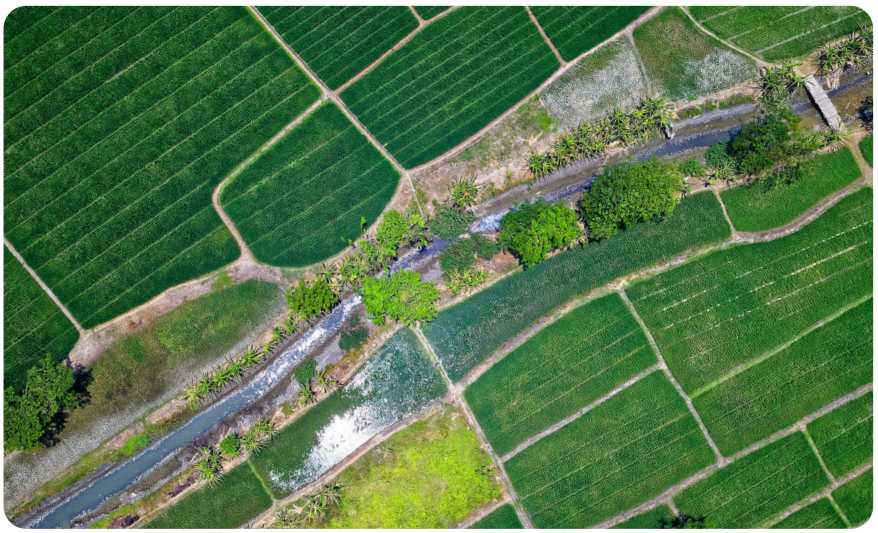
Octobre 2020

Référence

Gibb, R., Redding, D.W., Chin, K.Q. et al. Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature* 584, 398–402 (2020).

https://doi.org/10.1038/s41586-020-2562-8

La diversité des espèces hôtes de pathogènes susceptibles d'être transmis à l'Homme augmente dans les écosystèmes dominés par celui-ci



© Tom Fisk

Introduction

Les changements environnementaux d'origine anthropique affectent de nombreux aspects de la santé et du bien-être des êtres humains, notamment l'incidence et l'émergence de maladies zoonotiques et à transmission vectorielle. Bien que la recherche à grande échelle sur les facteurs environnementaux favorisant les maladies ait été principalement axée sur le climat, il existe un consensus croissant sur le fait que le changement d'usage des terres (c'est-à-dire la conversion des habitats naturels en écosystèmes modifiés, notamment agricoles ou urbains) est un facteur important du risque d'émergence de maladies chez l'Homme. En effet, le changement d'affectation des terres :

- entraîne directement et indirectement la perte, le renouvellement et l'homogénéisation de la biodiversité (notamment par des invasions biologiques et des disparitions d'espèces rares) ;
- modifie la structure du paysage ;
- et module les processus épidémiologiques (par exemple, la fragmentation de l'espace et l'approvisionnement en ressources).

Ce changement peut aussi accroître les contacts entre les hommes et les animaux sauvages (par exemple, par les pratiques agricoles et la chasse).

→ Ces processus interagissent entre eux et influencent la dynamique de propagation des pathogènes dans les communautés de réservoirs et de vecteurs et, en fin de compte, le risque de transmission des agents pathogènes à l'homme (Plowright *et al.* 2017 ; Shah *et al.* 2019).

Le changement d'utilisation des terres est impliqué dans des zoonoses tant endémiques[1] (présentes régulièrement sur un territoire) qu'épidémiques[2] (qui se répandent rapidement hors de leur zone d'origine). Il est cependant difficile d'évaluer l'effet des différents types d'utilisation des terres sur les facteurs écologiques qui influencent le risque de zoonoses étant donné la complexité des processus en jeu. Il s'agit là d'une lacune critique dans les connaissances compte tenu des tendances actuelles du changement d'utilisation des terres au niveau mondial.

Il existe aujourd'hui de nombreuses preuves des effets régulateurs de la diversité locale des espèces sur la transmission des agents pathogènes (Civitello *et al.*, 2015) : plus un écosystème est constitué d'espèces différentes, moins les agents pathogènes circulent d'une espèce à l'autre. Toutefois, ces effets ne sont pas universels : un risque de maladie plus élevé dans des assemblages d'espèces appauvris a bien été observé pour certains pathosystèmes comme dans les cas de la borelliose de Lyme (LoGiudice *et al.*, 2003), de la maladie West Nile (Kilpatrick, 2011) ou pour le parasite des amphibiens *Ribeiroia* (Johnson *et al.*, 2013), mais pas pour d'autres.

Un facteur écologique à l'origine de ces différences pourrait correspondre aux variations de sensibilité des espèces hôtes aux pressions humaines (Ostfeld et LoGiudice, 2003). Il est souvent avancé que les espèces hôtes zoonotiques les plus efficaces sont généralement plus susceptibles de persister dans des écosystèmes perturbés. Certaines de leurs caractéristiques (par exemple, cycles de vie « rapides » et densités de population plus élevées) sont en effet en corrélation avec le statut de réservoir et avec un risque réduit de disparition chez plusieurs taxons[3] de vertébrés (Purvis *et al.*, 2000 ; Johnson *et al.*, 2015).

---

1 Exemple de zoonoses endémiques : la trypanosomiase (Gottdenker *et al.*, 2012) et le paludisme (Fornace *et al.*, 2016)

2 Exemple de zoonoses épidémiques : par exemple, les maladies causées par le virus Nipah (Pulliam *et al.*, 2012) et West Nile (Kilpatrick, 2011)

3 Un taxon est un groupe d'êtres vivants possèdant des caractères en communs du fait de leur parenté

Par ailleurs, ces tendances peuvent être taxonomiquement ou géographiquement spécifiques. Par exemple, les mammifères les plus proches de l'Homme sur le plan phylogénétique sont aussi plus susceptibles d'être des réservoirs zoonotiques (Olival *et al.*, 2017), mais leur sensibilité aux perturbations anthropiques peut également être très variable.

Enfin, les réponses d'hôtes réservoirs aux perturbations ont été étudiées chez certains taxons (comme les primates) et systèmes de maladies (comme la maladie de Lyme ou la maladie de Chagas) mais, jusqu'à présent, il n'y a pas eu d'analyse complète des effets de l'utilisation des terres sur la diversité des hôtes zoonotiques et la composition en espèces.

Méthode

Les chercheurs ont utilisé 6 801 assemblages écologiques répertoriés dans la base de données PREDICTS (*Projecting Responses of Ecological Diversity in Changing Terrestrial Systems*) pour vérifier si le changement d'usage des terres a des effets systématiques sur le potentiel zoonotique des communautés d'animaux sauvages.

ENCADRÉ

PREDICTS compile plus de 3,2 millions de relevés d'espèces provenant de 666 études publiées dans lesquelles la biodiversité a été échantillonnée selon des gradients d'utilisation des terres à l'aide de protocoles stricts. Ceux-ci permettent de comparer à l'échelle mondiale des assemblages locaux d'espèces dans :

- les aires de végétation primaire (= perturbations minimales),
- les écosystèmes secondarisés (= perturbations passées),
- les écosystèmes gérés (= terres cultivées, pâturages ou plantations),
- et les écosystèmes urbains d'intensités d'utilisation variables (ici, une utilisation minimale ou substantielle).

Pour ce faire, les auteurs ont sélectionné, dans PREDICTS, les espèces sauvages hôtes de pathogènes, puis ont identifié celles étant des hôtes zoonotiques sur la base de preuves montrant leur association avec au moins un pathogène partagé avec l'Homme. 376 relevés d'espèces hôtes ont ainsi été retenus dans un ensemble de données des 6 801 sites d'étude provenant de 184 études sur six continents, avec une distribution taxonomique largement représentative de la diversité des hôtes zoonotiques connus.

Une fois cette identification faite, les réponses des espèces hôtes aux changements d'usage des terres ont été comparées aux réponses de 6 512 espèces non-hôtes, aux mêmes endroits, et en utilisant des modèles mathématiques[4] pour contrôler les effets des méthodes d'étude et des plans d'échantillonnage. La détection des agents pathogènes est en effet sensible à l'effort de recherche, de sorte que certaines espèces mal étudiées peuvent être mal classées (non-hôtes au lieu de hôtes par exemple). Les auteurs ont donc tenu compte de ce biais dans les modèles en utilisant une méthode de ré-échantillonnage des données.

Les effets du type de l'utilisation des sols et de son intensité ont été estimés à l'aide de deux indicateurs de biodiversité :

- la richesse en espèces hôtes au niveau du site (nombre d'espèces hôtes ; lié à la richesse potentielle en agents pathogènes) ;
- et l'abondance totale des hôtes (nombre total d'individus hôtes ; une mesure plus pertinente sur le plan épidémiologique liée aux possibilités de transmission).

4 Modèles bayésiens à effets mixtes

Résultats

Résultats généraux de l'étude issue de la base PREDICTS

L'intensité de l'utilisation des terres a des effets positifs clairs sur le potentiel zoonotique des communautés, c'est-à-dire que la probabilité d'émergence de zoonoses est plus élevée dans les territoires où le changement d'usage des terres est fort. Les plus fortes augmentations sont observées pour les écosystèmes urbains :

- **écosystèmes secondarisés (perturbations passés) et écosystèmes gérés (terres cultivées, pâturages ou plantations) :** de + 18 à + 21 % pour la richesse en espèces hôtes, de + 21 à + 26 % pour l'abondance des hôtes ;
- **sites urbains :** de + 62 à + 72 % pour la richesse des hôtes, de + 136 à + 144 % pour l'abondance des hôtes ; mais avec une plus grande incertitude en raison d'un échantillonnage plus espacé géographiquement.

Il est à noter qu'une bonne définition du statut d'hôte est cruciale pour anticiper le risque de maladie. En effet, les espèces susceptibles d'être infectées par un agent pathogène donné pourraient ne pas contribuer de manière substantielle à la dynamique de transmission ou au risque de propagation zoonotique. Consécutivement, les chercheurs ont cherché à confirmer les précédents résultats :

- en répétant les analyses avec une définition plus stricte de l'hôte réservoir,
- en se concentrant sur les mammifères (principaux réservoirs de zoonoses au niveau mondial),
- et en définissant l'association hôte-pathogène sur la base de la détection ou de l'isolement de l'agent pathogène, ou du statut de réservoir confirmé.

Au total, 143 espèces hôtes, 2 026 sites et 63 études ont été pris en compte. Les tendances générales sont conservées. Cependant, les effets du type d'écosystème :

- Sont nettement plus importants sur la proportion d'hôtes par rapport à l'abondance totale (nombre d'individus) : de + 42 à + 52 % dans les écosystèmes secondarisés et gérés.
- Sont plus faibles sur la richesse en espèces hôtes. Cela peut refléter la variabilité sous-jacente des réponses selon les taxons de mammifères.

→ Dans les habitats dominés par l'Homme, en particulier dans les écosystèmes gérés et urbains, les espèces hôtes sont plus diverses et plus abondantes, en nombre d'individus.

Carnivores, cétartiodactyles[5], chiroptères[6], primates, rongeurs, passeriformes[7], psittaciformes[8]

Pour examiner la possibilité d'une variabilité selon les taxons dans les réponses des hôtes au changement d'usage des terres, les chercheurs ont conduit une analyse des effets généraux de l'utilisation des terres sur la présence et l'abondance d'espèces hôtes (strictement définies) et non-hôtes. Ils ont réalisé ce travail pour plusieurs ordres de mammifères (carnivores, cétartiodactyles, chiroptères, primates, rongeurs) et d'oiseaux (passeriformes, psittaciformes), bien échantillonnés dans PREDICTS et abritant la majorité des zoonoses connues.

5 Ordre de mammifères ongulés qui possèdent un nombre pair de doigts, par exemple les bovins, mais aussi les baleines et dauphins

6 Ordre de mammifères nocturne volants, appelé couramment chauves-souris

7 Ordre qui regroupe plus de la moitié des oiseaux appelé couramment passereaux.

8 Ordre d'oiseaux tropicaux comprenant les perroquets et les perruches

→ Dans la plupart de ces ordres, les espèces non-hôtes ont tendance à décliner plus fortement que les espèces hôtes en réponse aux changements d'usage des terres, mais avec une variation importante entre les ordres.

→ Chez les passereaux, les chauves-souris et les rongeurs, les espèces hôtes et non-hôtes présentent des réponses nettement divergentes au changement d'usage des terres.

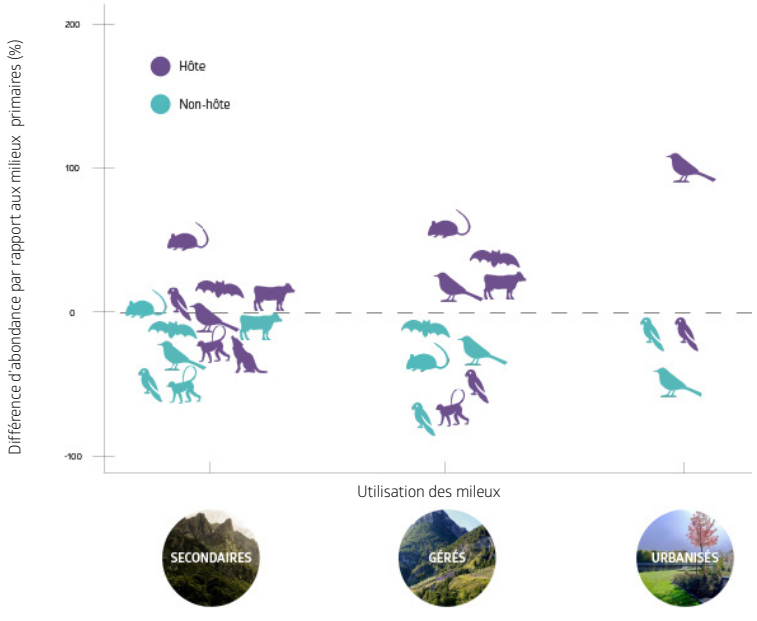
Les premières augmentent dans les habitats perturbés tandis que les secondes diminuent :

- Augmentation moyenne de l'abondance des espèces hôtes : passeriformes, de + 14 à + 96 % ; chiroptères, + 45 % ; rongeurs, + 52 %.
- Diminution de l'abondance des espèces non-hôtes : passeriformes, - 28 % à – 43 % ; chiroptères, - 13 % ; rongeurs, - 53 % dans les sites dominés par l'Homme par rapport aux sites faiblement impactés.

Bien qu'une telle tendance ait été observée dans certains pathosystèmes, ces résultats suggèrent qu'il s'agit d'un phénomène général pour ces taxons. Cela pourrait contribuer à expliquer de nombreux liens documentés entre les écosystèmes anthropiques et les infections émergentes transmises par les chauves-souris, les rongeurs et les oiseaux (par exemple : les coronavirus, les henipavirus, les arenavirus et les flavivirus, les Borrelia et les Leptospira spp.).

→ En revanche, les réponses des espèces hôtes chez les primates et les carnivores ne se distinguent pas clairement du déclin global de l'ensemble des espèces dans ces ordres face au changement d'usage des terres.
Ce résultat est conforme aux études antérieures qui ne montrent aucun lien direct entre les perturbations dans l'usage des terres et les maladies chez les primates. Il souligne également l'importance des écotones (lisière) en tant qu'interfaces épidémiologiques entre l'Homme et les primates (bien qu'un échantillonnage urbain plus clairsemé semble indiquer que les primates adaptés aux villes, tels que les macaques, sont probablement sous-représentés).

Effets de l'utilisation des terres sur l'abondance des espèces de mammifères et d'oiseaux hôtes et non hôtes zoonotiques



	Espèces totales	hôtes zoonotiques	Sites
Passereaux	1 868	62	4 302
Chiroptères	177	36	346
Rongeurs	126	36	1 133
Cétartiodactyles	33	11	604
Psittaciformes	77	22	2 500
Carnivores	58	23	827
Primates	38	17	583

Les espèces qui sont positionnées sous la ligne de référence (0) sont en déclin (leur abondance diminue par rapport à l'abondance en milieu non perturbé), les espèces positionnées au-dessus sont en croissance (leur abondance augmente par rapport au milieu non perturbé).

Influence des traits de vie des espèces

Des différences dans les réponses des espèces hôtes et non-hôtes peuvent être induites par le degré de variation simultanée entre les traits qui influencent à la fois le statut d'hôte et la tolérance aux pressions humaines. Elles pourraient également refléter des antécédents de contact entre l'Homme et la faune et des processus de coévolution (c'est-à-dire des processus évolutifs qui s'influencent réciproquement) avec des agents pathogènes communs.

Dans le premier cas énoncé ci-dessus, on s'attend à ce que le fait d'héberger un nombre plus élevé d'agents pathogènes (richesse des agents pathogènes, zoonotiques ou non) soit associé à une plus grande résilience des espèces à la pression d'utilisation des terres.

Les chercheurs ont testé cette hypothèse sur tous les mammifères de leur jeu de données[9], en tenant compte des différences d'effort de recherche entre les espèces.

→ **Les résultats sont les suivants :**

- Dans les sites gérés, plus il y a d'espèces, plus il y a d'agents pathogènes ; ce qui n'est pas le cas dans les habitats peu dégradés.
- Le résultat obtenu dans les sites gérés se retrouve à la fois pour les agents pathogènes partagés par l'Homme ou pour ceux non partagés par l'Homme.

Cela suggère que l'augmentation nette de la diversité des hôtes zoonotiques dans les sites perturbés est au moins partiellement due à des traits de vie.

→ **En particulier, les traits des espèces associés à un cycle de vie plus rapide sont souvent corrélés à la fois avec le statut de réservoir, avec une sensibilité à l'infection (potentiellement en raison de compromis découlant du cycle de vie entre le taux de reproduction et l'investissement dans la défense immunitaire) et *in fine* avec la résilience aux pressions anthropiques.**

L'implication des traits de vie est également étayée par la constatation selon laquelle les réponses différentes des espèces hôtes et non-hôtes au changement d'usage des terres sont plus clairement observées lorsque l'on fait des comparaisons dans de grands groupes taxonomiques où les espèces ont une grande diversité de cycles biologiques, comme les rongeurs, les passereaux et les mammifères en général.

→ **En revanche, les groupes taxonomiques qui ont généralement une durée de vie plus longue et un corps plus volumineux (par exemple, les primates et les carnivores) présentent des réponses plus spécifiques, ou négatives, aux perturbations du paysage.**

→ **Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que les effets d'homogénéisation associés au changement d'usage des terres sur la biodiversité à l'échelle mondiale ont produit de manière systématique des changements dans la composition des communautés d'hôtes zoonotiques locales. Cela pourrait être un facteur à l'origine des liens entre les écosystèmes perturbés par l'Homme et l'émergence de maladies.**

En exploitant les données d'enquêtes au niveau des sites, les analyses reflètent les changements des communautés animales à des échelles paysagères locales

9 En raison de la disponibilité de données plus complètes sur les agents pathogènes que pour les autres taxons ; l'étude porte sur 546 espèces dans 1 950 sites.

pertinentes du point de vue épidémiologique. Cela renforce l'intérêt de considérer les interactions entre les communautés et souligne le risque qu'il y aurait à généraliser les processus écologiques à des échelles spatiales plus globales, une limite typique des études mondiales qui peut confondre, ou masquer, les relations entre la biodiversité et les maladies (Rohr *et al.*, 2020).

Conclusion

La seule proximité des hôtes réservoirs n'étant pas suffisante pour expliquer les transferts de pathogènes vers les humains et les émergences infectieuses, les résultats de cette étude permettent de mieux comprendre le risque zoonotique et montrent l'impact des perturbations humaines qui amènent à la création de pathosystèmes à plus fort risque zoonotique.

Le risque de maladie émergente dépend de facteurs contextuels (par exemple, la prévalence des agents pathogènes, les populations d'hôtes et de vecteurs intermédiaires, la structure du paysage, les facteurs sociaux-économiques) qui peuvent avoir un effet synergique ou antagoniste sur la dynamique de transmission et les taux d'exposition. Néanmoins, le changement d'usage des terres a également un effet prévisible sur d'autres facteurs qui peuvent amplifier la transmission intra-espèce et inter-espèces (tels que la disponibilité en ressources et la diversité des vecteurs). Il augmente également les contacts potentiels entre l'Homme et la faune sauvage : par exemple, les populations humaines sont systématiquement plus nombreuses dans les sites perturbés de la base de données utilisée dans l'étude.

L'expansion mondiale des terres agricoles et urbaines qui est prévue pour les prochaines décennies - dont une grande partie devrait se produire dans les pays à faibles et moyens revenus déjà vulnérables aux risques naturels - risque de multiplier les interfaces d'exposition aux agents pathogènes zoonotiques. **La disponibilité plus rare de données pour les écosystèmes urbains (notamment pour les mammifères) met en évidence une lacune importante dans les connaissances pour anticiper les effets de l'urbanisation sur la santé publique et la biodiversité.**

Les chercheurs appellent à soutenir des programmes pour améliorer la surveillance pro-active des humains et des animaux dans les écosystèmes agricoles, pastoraux et en voie d'urbanisation (Hassel *et al.*, 2017 ; Holmes *et al.*, 2018). Ils soulignent la nécessité de prendre en compte les coûts sanitaires liés aux maladies dans la planification de l'utilisation et de la conservation des terres.

synthèse Hélène Soubelet,
directrice de la FRB

relecture Jean-François Silvain,
président de la FRB

Robin Goffaux,
chargé de mission « biodiversité et agriculture » ;
co-point focal national sbstta cdb

Pauline Coulomb,
Responsable du pôle communication et valorisation scientifique