

# Les rats musqués sont de plus grands porteurs de *Leptospira* pathogène que les ragondins dans les écosystèmes aux climats tempérés

Florence Ayrat, Angeli Kodjo, Gérald Guédon, Franck Boué, Céline Richomme

Publié: 19 février 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228577>

## Abstrait

Les connaissances sur les sources possibles de leptospirose humaine, autres que les rats, font actuellement défaut. Pour évaluer le profil de distribution de l'exposition et de l'infection par les sérogroupes de *Leptospira* chez les deux principaux rongeurs semi-aquatiques de l'ouest de la France, les ragondins (*Myocastor coypus*) et les rats musqués (*Ondatra zibethicus*), les résultats des tests de micro-agglutination et de la PCR du tissu rénal ont été utilisés. Chez les ragondins, la prévalence apparente était de 11% (n = 524, IC 95% = [9% - 14%]), la séroprévalence était de 42% (n = 590, IC 95% = [38% - 46%]), et le séro groupe prédominant était Australis (84%). Chez le rat musqué, la prévalence apparente était de 33% (n = 274, IC 95% = [27% - 39%]), la séroprévalence était de 57% (n = 305, IC 95% = [52% - 63%]), et le séro groupe prédominant était Grippotyphosa (47%). Le rat musqué doit donc être considéré comme une source importante d'infection Grippotyphosa chez l'homme et les animaux domestiques exposés dans cette partie de la France.

**Citation:** Ayrat F, Kodjo A, Guédon G, Boué F, Richomme C (2020) Les rats musqués sont de plus grands porteurs de *Leptospira* pathogène que les ragondins dans les écosystèmes aux climats tempérés. PLoS ONE 15 (2): e0228577. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228577>

**Editeur:** Kalimthusamy Natarajaseenivasan, Université de Bharathidasan, INDE

**Reçu:** 3 septembre 2019; **Accepté:** 17 janvier 2020; **Publié:** 19 février 2020

**Copyright:** © 2020 Ayrat et al. Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la [licence d'attribution Creative Commons](#), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur n'importe quel support, à condition que l'auteur original et la source soient crédités.

**Disponibilité des données:** Toutes les données pertinentes se trouvent dans le manuscrit et ses fichiers d'informations complémentaires.

**Financement:** L'échantillonnage et l'analyse ont été principalement financés par le ministère de l'Agriculture dans le cadre du projet GEDUVER piloté par la Fédération nationale de lutte contre les organismes nuisibles (FNLON). Les bailleurs de fonds n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publier ou la préparation du manuscrit.

**Intérêts concurrents:** les auteurs ont déclaré qu'il n'y avait pas d'intérêts concurrents.

## introduction

*Leptospira* spp. peuvent infecter de nombreux mammifères domestiques et sauvages qui peuvent excréter les bactéries dans leur urine. Les humains peuvent contracter une leptospirose potentiellement mortelle par contact direct avec l'urine d'animaux infectés ou indirectement par interaction avec un environnement contaminé par l'urine [ 1 ]. Les agents pathogènes de la leptospirose sont des bactéries du genre *Leptospira*. Plus précisément, subclade 1, considéré historiquement pour couvrir les espèces pathogènes, comprend 17 espèces, parmi lesquelles *L. interrogans*, *L. kirschneri* et *L. borgpetersenii* [ 2 ]. Selon la classification sérologique, plus de 250 sérotypes pathogènes sont désormais reconnus et regroupés en 24 sérogroupes antigéniquement apparentés [ 3 ].

Selon les données du Centre national de référence de la leptospirose, en charge de la surveillance nationale de la leptospirose, la France métropolitaine a une incidence plus élevée (0,5 à 1 cas pour 100 000 habitants) par rapport aux autres pays industrialisés au climat tempéré similaire [ 4 ]. Une augmentation du nombre de cas confirmés en France métropolitaine a été observée ces dernières années, avec une incidence de 1 pour 100 000 habitants en 2014 et 2015, un chiffre sans précédent dans le pays depuis le début de la surveillance de la leptospirose en 1920 [ 4 , 5 ].

Les éclosions de leptospirose ont déjà été associées à des activités de loisirs (canoë, kayak, rafting, triathlon et natation) qui mettent les gens en contact étroit avec de l'eau contaminée par des leptospires pathogènes [ 6 , 7 ]. Les conditions climatiques des zones intertropicales favorisent les flambées [ 8 , 9 ]. Dans les zones tempérées telles que l'Europe occidentale, les flambées de leptospirose étaient rares au cours des décennies précédentes et étaient généralement limitées dans leur étendue [ 10 ]. Cependant, le développement croissant des activités récréatives aquatiques en France, et l'augmentation correspondante du nombre de personnes exposées à l'eau douce, pourraient conduire à une incidence plus élevée de leptospirose dans les années à venir en France. Des études récentes ont fait état d'épidémies à plus grande échelle liées à l'exposition à l'eau en France et dans les pays voisins [ 11 , 12 ].

Bien que *Leptospira* puisse être maintenu dans des environnements aquatiques pendant des semaines [ 13 ], la principale source de la bactérie est un large éventail de mammifères domestiques et sauvages porteurs de sérogroupes spécifiques de *Leptospira*. Le rat sauvage (*Rattus* spp.) Est bien documenté comme étant l'hôte du séro groupe Icterohaemorrhagiae dans le monde entier, y compris en France [ 14 ], mais on en sait peu sur le rôle d'autres espèces sauvages dans le portage de *Leptospira* et leur importance relative dans les infections humaines. Les ragondins, également connus sous le nom de nutrias (*Myocastor Coypus*), et les rats musqués (*Ondatra zibethicus*) sont des rongeurs semi-aquatiques et des porteurs importants de pathogènes *Leptospira*

en Europe. Les activités aquatiques humaines pourraient conduire à un contact étroit avec leur habitat, avec des problèmes de santé publique [ 15 , 16 ]. En France, des études antérieures sur les ragondins ont rapporté une prévalence comprise entre 5% et 12%, et la prédominance du sérotype Icterohaemorrhagiae [ 15 , 17 , 18 ]. Cependant, les données sur les rats musqués sont limitées même s'ils partagent le même habitat et peuvent être une source de contamination de l'eau.

Pour évaluer l'importance relative des ragondins et des rats musqués dans la contamination de l'eau, [ 1 ] la prévalence du portage rénal de *Leptospira*, ainsi que l'exposition à *Leptospira* ont été estimées chez des rongeurs semi-aquatiques piégés dans l'ouest de la France, et [ 2 ] la distribution des sérogroupes de *Leptospira* que ces espèces ont été exposées a été décrite.

## matériaux et méthodes

Tous les échantillons ont été prélevés sur des rongeurs tués légalement pour le contrôle de la population; par conséquent, cette étude n'a pas impliqué de mise à mort supplémentaire délibérée d'animaux et aucune approbation éthique n'a été jugée nécessaire. Toutes les procédures de contrôle des populations étaient conformes aux normes éthiques des réglementations nationales et européennes applicables en matière de soins et d'utilisation des animaux (décision de l'autorité française 2007/04/06 et directive 2010/63 / CE).

De septembre 2010 à mai 2011, des ragondins et des rats musqués ont été piégés dans des zones humides (marais / étang ou rivière), dans chacun des 12 départements (c'est-à-dire des unités administratives) des régions la partie occidentale de la France métropolitaine. Le piégeage a été effectué sur cinq sites choisis au hasard par département, soit 60 sites d'échantillonnage au total. Le piégeage a été mis en œuvre par des techniciens dûment habilités de la *Fédération départementale des groupements de défense des organismes nuisibles*, FDGDON). L'emplacement des animaux piégés a été défini comme les coordonnées GPS du centre de gravité de la zone de piégeage. Dans chaque zone, 20 pièges ont été répartis sur un transect de 1 km. Les pièges ont été posés pendant 3 à 5 jours et vérifiés quotidiennement. Les individus capturés ont été immédiatement euthanasiés et un échantillon de sang a été prélevé par ponction cardiaque. Par la suite, les rongeurs ont été autopsiés pour la collecte des reins, et immédiatement conservés à -20 ° C jusqu'à une analyse plus approfondie dans les neuf mois suivants. La colonisation par *leptospire* du rein a été évaluée via un *Leptospira* spécifique de l'agent pathogène Kit de réaction en chaîne par polymérase en temps réel (PCR) TaqMan (kit TaqVet PathoLept, LSI, France) utilisé au Laboratoire des Leptospires (Marcy-L'Etoile, France). Les échantillons avec un seuil de cycle inférieur à 40 cycles ont été considérés comme des échantillons positifs. L'exposition au *leptospira* a été évaluée en utilisant un test de micro-agglutination (MAT) comme test sérologique standard. La MAT a été réalisée en utilisant un panel d'antigènes représentant à la fois des sérotypes omniprésents et des sérotypes localement répandus, avec des séries de dilutions log2 comprises entre 1: 100 et 1: 6400. Le *Leptospira* suivant des sérogroupes, avec des sérotypes apparentés entre parenthèses, ont été recherchés chez les deux espèces: Icterohaemorrhagiae (Icterohaemorrhagiae, Copenhageni), Australis (Munchen, Australis, Bratislava), Autumnalis (Autumnalis, Bim), Ballum (Castelionis), Bataviae (Bataviae), Canicola ( Canicola), Cynopteri (Cynopteri), Grippytyphosa (Grippytyphosa, Vanderhoedoni), Hebdomadis (Hebdomadis), Panama (Manama, Mangus), Pomona (Pomona, Mozdok), Pyrogenes (Pyrogenes), Sejroe (Sejroe, Saxkoebingi, Hardjo) Tarassovi (Tarassovi).

Comme les anticorps peuvent persister pendant de longues périodes après l'infection, aucun consensus n'est rapporté sur le seuil de titre requis pour définir un individu infecté. Cependant, un titre  $\geq 100$  avec une séroréactivité dirigée contre au moins un sérotype est considéré comme indiquant une exposition antérieure ou récente de l'individu. Le sérotype présumé responsable de la séroréactivité est ensuite défini sur la base du titre maximal d'anticorps dirigés contre un sérotype, comme suggéré par Chappel *et al.*, (2006). La réactivité croisée entre les sérogroupes survient fréquemment dans la MAT et résulte d'un manque de spécificité, en particulier des anticorps non spécifiques d'immunoglobuline M (IgM) prédominants au début de l'infection [ 19]. Dans ces cas, les résultats MAT impliquent les titres d'anticorps maximum dirigés contre deux sérogroupes ou plus, empêchant ainsi la détermination du sérotype infectant. Les résultats MAT, y compris les titres d'anticorps maximum dirigés contre deux sérogroupes (c'est-à-dire les résultats «mixtes»), sont toujours informatifs en indiquant l'un ou l'autre comme potentiellement circulant. En revanche, la prise en compte de plus de deux sérogroupes en circulation possibles est spéculative et non informative (c'est-à-dire des résultats «inconnus»).

La prévalence apparente, la séroprévalence et les intervalles de confiance à 95% ont été calculés à l'aide de tests binomiaux exacts. Pour évaluer la variation potentielle de la distribution du sérotype de *Leptospira*, la zone d'étude a été divisée en trois régions administratives: Bretagne, Normandie et Pays de la Loire. Les données ont été visualisées dans ArcGIS version 9.3 (ESRI, Redland, CA, USA) avec le fond de carte d'IGN GEOFLA®.

## Résultats

Parmi les 590 ragondins piégés, la détection de *Leptospira* par PCR a pu être réalisée sur 524 individus avec 59 positifs, résultant en une prévalence apparente de l'infection de 11%, IC 95% = [9% - 14%].

Les résultats positifs au MAT sur 247 ragondins (42%, n = 590) ont montré une large exposition à *Leptospira* avec des résultats de titre MAT allant de 1: 100 à 1: 6400 (médiane: 1: 3200). Les sérogroupes prédominants étaient Australis (84%) ( Fig 1 ). Au total, des séroréactions comprenant deux sérogroupes ont été observées chez 17 ragondins, avec des combinaisons d'Australis et d'Icterohaemorrhagiae (n = 16) et d'Australis et Bataviae (n = 1). Parmi les ragondins infectés (PCR-positifs) avec une séroréaction (n = 32), le sérotype prédominant restait Australis (90%, résultats mitigés non inclus).

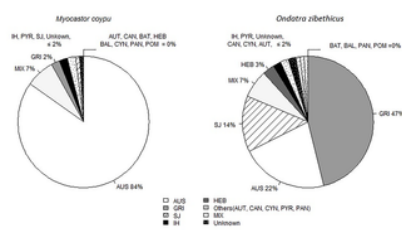


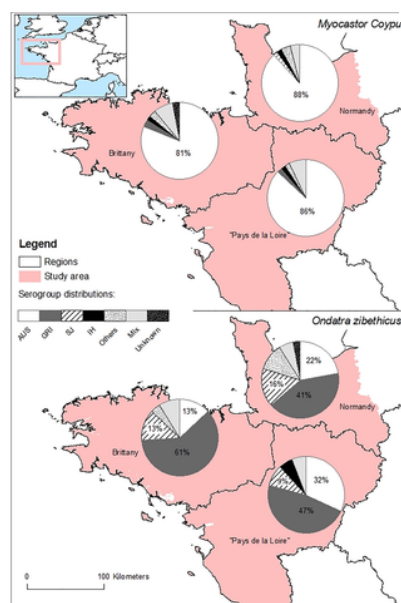
Fig 1. Répartition des sérogroupes de *Leptospira* parmi les 590 ragondins et 305 rats musqués testés.

Abréviations de sérogroupes: Australis (AUS), Autumnalis (AUT), Bataviae (BAT), Grippytyphosa (GRI), Icterohaemorrhagiae (IH), Panama (PAN), Pomona (POM), Pyrogenes (PYR) et Sejroe (SJ). MIX: résultats incluant les titres maximum dirigés contre deux sérogroupes. Inconnu: résultats incluant les titres maximum dirigés contre plus de deux sérogroupes.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228577.g001>

Parmi les 305 rats musqués piégés, la détection de *Leptospira* par PCR a pu être réalisée sur 274 individus avec 90 positifs, résultant en une prévalence apparente de 33%, IC 95% = [27% - 39%].

Les résultats MAT-positifs sur 175 rats musqués (57%, n = 305) ont également montré une large exposition à *Leptospira* avec des résultats de titre MAT allant de 1: 100 à 1: 6400 (médiane: 1: 1600). Les sérogroupes prédominants étaient Grippytyphosa (47%), Australis (22%) et Sejroe (14%) ( Fig\_1 ). Au total, des séroréactions comprenant deux sérogroupes ont été observées chez 12 rats musqués, avec principalement des combinaisons d'Australis et d'Icterohaemorrhagiae (n = 4) et d'Australis et Sejroe (n = 3). Parmi les rats musqués infectés (PCR positifs) avec une séroréaction (n = 65), le sérogroupes prédominant restait Grippytyphosa (34%, résultats mitigés non inclus).

La distribution spatiale des sérogroupes prédominants, Australis chez le ragondin et Grippytyphosa chez le rat musqué, est apparue homogène dans les trois régions ( Fig\_2 ).



**Fig 2. Distribution spatiale des sérogroupes infectants.**

Résultats obtenus sur ragondins (n = 590) et rats musqués (n = 305) dans les trois régions de l'ouest de la France (Bretagne, Normandie et Pays de la Loire). Carte de fond source: IGN GEOFLA<sup>®</sup>.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228577.g002>

## Discussion

Dans la présente étude, la prévalence de l'infection rénale par *leptospire* pathogène a été estimée et la distribution des sérogroupes a été examinée chez les rongeurs semi-aquatiques les plus abondants de l'ouest de la France, les ragondins et les rats musqués. La prévalence la plus élevée a été observée chez les rats musqués et les sérogroupes Australis et Grippytyphosa prédominaient respectivement chez les ragondins et les rats musqués. Considérant que les conditions de terrain peuvent conduire à des inhibiteurs de la PCR dans le tissu rénal et que les animaux infectés peuvent avoir des titres MAT inférieurs au titre significatif minimum largement accepté de 100 [ 20 ], la prévalence et la séroprévalence peuvent avoir été sous-estimées ici.

Les rats seraient le principal porteur de *Leptospira* dans le monde et, en France, la prévalence de *Leptospira* chez ces hôtes était auparavant estimée à 26% (IC 95% : 20% -33%) [ 14 ]. Ici, les résultats ont montré que l'étendue du portage de *Leptospira* est similaire dans les populations de rats musqués et de rats. De plus, une récente épidémie de leptospirose en Allemagne a été liée à une infection chez le rat musqué [ 16 ], cette espèce semblant être une source de leptospirose chez l'homme. Surtout, la prévalence observée chez les rats musqués dans l'ouest de la France est supérieure à celle récemment rapportée en Allemagne, variant de 3% à 13% [ 16 ].

Comme indiqué précédemment, le MAT a correctement prédit le sérogroupes infectant dans 46 à 86% des cas humains [ 19 , 21 ]; les données présumées sur les sérogroupes semblent fournir un large aperçu des sérogroupes couramment présents dans une population. Ici, près de la moitié des rats musqués testés (47%) présentent une exposition à la grippytyphose, quelle que soit la région de l'ouest de la France. Ce résultat est cohérent avec les conclusions d'une étude précédente en Belgique [ 12 ], donnant des preuves supplémentaires du portage de Grippytyphosa même à une distance significative des sites étudiés ici. Basé sur le portage rénal élevé et la souche pathogène de *Leptospira* trouvée chez les rats musqués, qui était la même souche trouvée chez des patients faisant du kayak dans la même région quelques années plus tard [ 11 ], mais aussi dans un certain nombre de cas de leptospirose chez l'homme (3% à 24%) et le bétail (17%) en France [ 22 , 23 ], la présence de rats musqués apparaît comme un facteur de risque considérable pour l'homme et les animaux domestiques.

Les résultats chez les ragondins sont cohérents avec les résultats d'une précédente étude dans l'Est de la France [ 15 ]. Dans cette étude, la même méthodologie analytique a été utilisée et les estimations de prévalence étaient similaires à nos résultats (12%), suggérant un portage rénal par les ragondins dans différentes régions de France. En outre, la majorité des ragondins (84%) de la présente étude présentaient des séroréactions envers le sérotype Australis, et la cohérence de la distribution dans différents endroits a fourni des preuves substantielles de la prédominance d'Australis chez les ragondins. Les profils sérologiques définis dans une précédente étude en France suggéraient la prédominance des Icterohaemorrhagiae, ce qui pose la question d'un éventuel changement de sérotypes principalement transportés chez les ragondins dans le temps [ 24 ]. En France, le hérisson a été identifié comme un vecteur majeur de *Leptospira* lié au sérotype Australis et des investigations complémentaires, y compris une analyse moléculaire chez le ragondin, pourraient confirmer l'étendue relative du portage d'Australis chez les deux espèces, ragondin et hérisson [ 25 ]. Des anticorps contre le sérotype *Leptospira* Australis, historiquement considérés comme peu courants, ont été récemment trouvés chez 6% à 18% des patients infectés et 43% des cas de leptospirose chez le bétail, diagnostiqués dans les deux par l'utilisation de MAT [ 22 , 23 ]. Les résultats actuels soulignent le risque infectieux potentiel pour les personnes qui fréquentent les eaux où les ragondins sont établis.

La cartographie des résultats suggère que la distribution spatiale des sérotypes prédominants, Australis chez les ragondins et Grippotyphosa chez les rats musqués, est homogène dans les trois régions, bien que les deux espèces partagent le même habitat. Cela prouve que ces espèces sont infectées par des souches de différents sérotypes de *Leptospira*, malgré une exposition dans le même environnement. Cette découverte est cohérente avec la spécificité de l'hôte précédemment décrite chez le rat [ 26 ], et suggère la capacité des ragondins et des rats musqués à porter des sérotypes spécifiques de *Leptospira* plutôt que d'autres.

## Conclusion

Cette étude montre que les rats musqués et les ragondins sont des vecteurs importants de *Leptospira* pathogène dans les milieux aquatiques des climats tempérés. Les sérotypes Australis et Grippotyphosa étaient prédominants respectivement chez les ragondins et les rats musqués, et la prévalence la plus élevée a été observée chez les rats musqués. Comme les ragondins, les rats musqués sont une espèce envahissante de rongeurs semi-aquatiques et leur abondance peut être élevée dans les plans d'eau éventuellement fréquentés par les humains et les animaux domestiques. La présence de cette espèce doit être considérée comme un facteur de risque de leptospirose humaine et animale domestique et prise en compte par les responsables des politiques de santé publique, notamment en termes de prévention et de contrôle des populations.

## Renseignements à l'appui

**Données S1. Informations individuelles et résultats des tests.**

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228577.s001>

(XLS)

## Remerciements

Nous remercions Denis Onfroy, Marie-Lucie Tropes, Gérard Guédon et Marc Pondaven de la *Fédération nationale de lutte contre les organismes nuisibles* (FNLON) pour la coordination de l'échantillonnage. Nous remercions les techniciens et directeurs des 12 fédérations départementales de lutte antiparasitaire (FDGDON) pour le piégeage des rongeurs, le prélèvement sanguin et la collecte de données, et les 12 laboratoires vétérinaires départementaux pour les échantillons de sérums et d'organes. Nous remercions Jean-Marc Boucher (Anses) pour l'enregistrement des échantillons, ainsi que Claire Renaud et Océane Romatif pour leur contribution à l'analyse des échantillons. Nous remercions également Craig Stevens, MA, ELS pour l'édition en anglais.

## Les références

1. Faine SB, Adler B, Bolin C, Perolat P. *Leptospira* et leptospirose. MediSci. Melbourne, Australie; 1999.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
2. Vincent AT, Schiettekatte O, Goarant C, Neela VK, Bernet E, Thibeaux R, et al. Revisiter la taxonomie et l'évolution de la pathogénicité du genre *Leptospira* à travers le prisme de la génomique. *Martins EAL*, éditeur. *PLoS Negl Trop Dis*. 23 mai 2019; 13 (5): e0007270. pmid: 31120895  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
3. Cameron C. Structure, physiologie et métabolisme leptospiraux. Dans: *Leptospira et leptospirose*. Springer. Adler B; 2015. p. 21-42.
4. Bourhy P, Septfons A, Picardeau M. Diagnostic, surveillance et épidémiologie de la leptospirose en France [Diagnostic, surveillance et épidémiologie de la leptospirose en France]. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*. 2017; 8-9: 131-7.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
5. Baranton G, Postic D. Tendances de l'épidémiologie de la leptospirose en France. Soixante-six ans de surveillance sérologique passive de 1920 à 2003. *Int J Infect Dis*. mars 2006; 10 (2): 162-70. pmid: 16298537  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
6. Nardone A, Capek I, Baranton G, Campese C, Postic D, Vaillant V, et al. Facteurs de risque de leptospirose en France métropolitaine: résultats d'une étude cas-témoins nationale, 1999-2000. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am*. 1er sept. 2004; 39 (5): 751-3.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
7. Brehm TT, Schulze Zur Wiesch J, Lütgehetmann M, Tappe D, Eisermann P, Lohse AW, et al. Caractéristiques épidémiologiques, cliniques et de laboratoire de 24 cas consécutifs de leptospirose dans un centre de maladies infectieuses allemand. *Infection*. déc.2018; 46 (6): 847-53.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
8. Hochedez P, Escher M, Decoussy H, Pasgrimaud L, Martinez R, Rosine J, et al. Epidémie de leptospirose chez les participants au canyoning, Martinique, 2011. *Euro Surveill Bull Eur Sur Mal Transm Eur Commun Dis Bull*. 2 mai 2013; 18 (18): 20472.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

9. Pagès F, Larrieu S, Simoes J, Lenabat P, Kurtkowiak B, Guernier V, et al. Enquête sur une épidémie de leptospirose chez des participants au triathlon, Ile de la Réunion, 2013. *Epidemiol Infect.* févr 2016; 144 (3): 661-9.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
- dix. Perra A, Servas V, Terrier G, Postic D, Baranton G, André-Fontaine G, et al. Cas groupés de leptospirose à Rochefort, France, juin 2001. *Euro Surveill Bull Eur Sur Mal Transm Eur Commun Dis Bull.* octobre 2002; 7 (10): 131-6.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
11. Guillois Y, Bourhy P, Ayrat F, Pivette M, Decors A, Aranda Grau JH, et al. Une épidémie de leptospirose chez les kayakistes en Bretagne, Nord-Ouest de la France, 2016. *Eurosurveillance* [Internet]. 29 nov 2018 [cité 4 juill 2019]; 23 (48). Disponible sur: <https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.48.1700848>
12. Mori M, Van Esbroeck M, Depoorter S, Decaluwe W, Vandecasteele SJ, Fretin D, et al. Epidémie de leptospirose lors d'un camp scout dans la province belge luxembourgeoise, Belgique, été 2012. *Epidemiol Infect.* juin 2015; 143 (8): 1761-6.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
13. Andre-Fontaine G, Aviat F, Thorin C. Leptospirose d'origine hydrique: survie et préservation de la virulence de *Leptospira* spp. en eau douce. *Curr Microbiol.* juill 2015; 71 (1): 136-42.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
14. Ayrat F, Zilber AL, Bicout DJ, Kodjo A, Artois M, Djelouadi Z. Répartition des interrogans de *Leptospira* par typage séquentiel multi-espaceur chez le rat norvégien urbain (*Rattus norvegicus*): Une enquête en France en 2011–2013. Stevenson B, éditeur. *PLOS ONE.* 8 octobre 2015; 10 (10): e0139604. pmid: 26447693  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
15. Vein J, Leblond A, Belli P, Kodjo A, Berry PJ. Le rôle du ragondin (*Myocastor coypus*), espèce de rongeur aquatique envahissante, dans le cycle épidémiologique de la leptospirose: une étude dans deux zones humides de l'Est de la France. *Eur J Wildl Res.* 1 févr.2014; 60 (1): 125-33.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
16. Hurd J, Berke O, Poljak Z, Runge M. Analyse spatiale de l'infection à *Leptospira* chez les rats musqués en Basse-Saxe, en Allemagne, et l'association avec la leptospirose humaine. *Res Vet Sci.* 1er octobre 2017; 114: 351-4. pmid: 28668503  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
17. Aviat F, Blanchard B, Michel V, Blanchet B, Branger C, Hars J, et al. Exposition au leptospira dans l'environnement humain en France: Une enquête chez les rongeurs sauvages et en eau douce. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis.* déc 2009; 32 (6): 463-76. pmid: 18639932  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
18. Michel V, Ruvoen-Clouet N, Menard A, Sonrier C, Fillonneau C, Rakotovo F, et al. Rôle du ragondin (*Myocastor coypus*) dans l'épidémiologie de la leptospirose chez l'animal domestique et l'homme en France. *Eur J Epidemiol.* 2001; 17 (2): 111-21. pmid: 11599683  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
19. Chappel RJ, Goris M, Palmer MF, Hartskeerl RA. Impact des tests d'aptitude sur les résultats du test d'agglutination microscopique pour le diagnostic de la leptospirose. *J Clin Microbiol.* déc 2004; 42 (12): 5484-8.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
20. Ellis WA. Leptospirose animale. Dans: *Leptospira et leptospirose.* Springer. Adler B; 2015. p. 99-137.
21. Levett PN. Utilité de l'analyse sérologique comme prédicteur du sérovar infectant chez les patients atteints de leptospirose sévère. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am.* 15 févr 2003; 36 (4): 447-52.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
22. Picardeau M, Bourhy P. Centre National de Référence de la Leptospirose: rapport d'activité [Internet]. 2017. Disponible sur: [https://www.pasteur.fr/sites/default/files/rubrique\\_pro\\_sante\\_publicue/les\\_cnr/leptospirose/cnr-leptospirose-2016-short.pdf](https://www.pasteur.fr/sites/default/files/rubrique_pro_sante_publicue/les_cnr/leptospirose/cnr-leptospirose-2016-short.pdf)
23. Ayrat FC, Bicout DJ, Pereira H, Artois M, Kodjo A. Distribution des sérogroupes de *Leptospira* dans les troupeaux de bovins et les chiens en France. *Suis J Trop Med Hyg.* 1er octobre 2014; 91 (4): 756-9. pmid: 25092816  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
24. André-Fontaine G, Baranton G. Leptospiroses animales, la leptospirose humaine en métropole. *Bull Épidémiologique* 2004; 12: 11 – 3.  
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
25. Ayrat F, Djelouadi Z, Raton V, Zilber AL, Gasqui P, Faure E, et al. Hérissons et espèces de mustélidés: principaux porteurs de leptospires pathogènes, une enquête sur 28 espèces animales en France (2012-2015). Dellagostin OA, éditeur. *PLOS ONE.* 28 sept 2016; 11 (9): e0162549. pmid: 27680672  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
26. Thiermann AB. Le rat de Norvège en tant que porteur chronique sélectif de *Leptospira icterohaemorrhagiae*. *J Wildl Dis.* janv 1981; 17 (1): 39-43. pmid: 7253100  
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)