



HAL
open science

Explorer la répartition spatiotemporelle des piqûres de tiques sur les humains en France : la température moyenne comme indicateur du risque acarologique

Hilami Khaldoune, Vincent Godard

► To cite this version:

Hilami Khaldoune, Vincent Godard. Explorer la répartition spatiotemporelle des piqûres de tiques sur les humains en France : la température moyenne comme indicateur du risque acarologique. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2024, Environnement, Nature, Paysage, 10.4000/cybergeo.40927 . hal-04514910

HAL Id: hal-04514910

<https://hal.science/hal-04514910>

Submitted on 25 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Explorer la répartition spatiotemporelle des piqûres de tiques sur les humains en France : la température moyenne comme indicateur du risque acarologique.

Exploring the spatiotemporal distribution of tick bites on humans in France: average temperature as an indicator of acarological risk.

Hilami Khaldoune : Université Paris 8, CNRS-UMR7533/LADYSS, F-93200 Saint-Denis, France, CEV master G2M, hilami@free.fr

Godard Vincent : Université Paris 8, CNRS-UMR7533/LADYSS, F-93200 Saint-Denis, France, PU, vgodard@univ-paris8.fr

Noûs Camille : Laboratoire Cogitamus, <https://www.cogitamus.fr/camille.nous@cogitamus.fr>

Résumé

Parmi les maladies à transmissions vectorielles, les maladies à tiques (dont la Borréliose de Lyme) sont celles dont la fréquence des cas est en constante augmentation. L'Europe et l'Amérique du Nord sont particulièrement concernées dans les régions tempérées. Comme il existe une saisonnalité des piqûres de tiques, plus de signalement en été, moins en hiver, nous nous sommes demandés s'il existait des marqueurs climatiques permettant de connaître le début de la saison du risque acarologique pour en informer le public. Grâce à programme de sciences participatives de l'INRAe, CiTIQUE, 22 000 cas géolocalisés en France de piqûres de tiques sur des humains ont été collectés, entre juillet 2017 et avril 2020. Ces signalements ont été appariés avec les conditions météorologiques (issues des bases Météo-France et Dark Sky) qui régnaient au lieu et à la date de chacune des piqûres signalées. Parmi toutes les variables analysées, la température quotidienne moyenne est le meilleur indicateur. Mesurée lors des signalements, elle est significativement plus élevée de presque 6°C que celle du jeu de données témoin (mesure sur des semis de points aléatoirement distribués sur le territoire métropolitain). Cet écart de températures permet d'aller au-delà de la seule activité des tiques à la recherche d'un hôte (l'aléa) et d'intégrer l'enjeu humain - lorsque celui-ci est présent et suffisamment "accessible" (tenue, comportement...) - pour que l'interaction transforme l'aléa en risque. Dans le cadre d'un "porter à connaissance" par les Pouvoirs publics vers les citoyens qui fréquentent les espaces de natures, cet indicateur est le plus facilement manipulable parmi ceux étudiés dans cet article.

Mots clefs : analyse de données, climat, environnement, outils de participation, risque sanitaire

Abstract

Among vector-borne diseases, tick-borne diseases (including Lyme borreliosis) are those whose incidence is constantly on the rise. Europe and North America are particularly affected in temperate regions. As there is a seasonal pattern to tick bites, with more reports in summer and fewer in winter, we wondered whether there were any climatic markers that could be used to identify the start of the tick-borne risk season, so that the public could be informed. Thanks to INRAe's participatory science program, CiTIQUE, 22,000 geolocated cases in France of tick bites on humans were collected, between July 2017 and April 2020. These reports were matched with the weather conditions (from the Météo-France and Dark Sky databases)

prevailing at the location and date of each reported bite. Of all the variables analyzed, average daily temperature was the best indicator. Measured at the time of the reports, it is significantly higher by almost 6°C than that of the control dataset (measured at randomly distributed points across mainland France). This temperature difference allows us to go beyond the mere activity of ticks in search of a host (the hazard) and to integrate the human factor - when present and sufficiently "accessible" (dress, behavior...) - so that the interaction transforms the hazard into a risk. This indicator is the most easily manipulated of those studied in this article, in the context of public authorities "informing" citizens who frequent nature areas.

Key words: climate, data analysis, environment, health risk, participation tools

Introduction

Les maladies transmises par les tiques sont en constante augmentation en Europe et en Amérique du Nord, sans que l'on sache vraiment si cela correspond à une augmentation de leur incidence et/ou à une augmentation de leur détection par les services de santé (Steere *et al.*, 2016 ; Kilpatrick *et al.*, 2017).

Parmi les maladies à transmission vectorielle, la borréliose de Lyme (BL) est sans doute celle, pour les régions tempérées de l'hémisphère nord, dont la fréquence des cas sur l'ensemble de son aire de distribution est la plus élevée et ce depuis de nombreuses années (Ward, Brown, 2004). La BL est considérée comme maladie émergente car, depuis 1977, année où elle a été mise en évidence chez les humains (Steere *et al.*, 1977), les dernières décennies ont vu son incidence augmenter rapidement (Stone *et al.*, 2017).

Longtemps associée à la ruralité, la BL semble pourtant poser une nouvelle problématique de santé publique dans les espaces fortement urbanisés (Rizzoli *et al.*, 2014), et ce en raison d'une plus forte densité humaine et de l'attractivité des grands massifs forestiers périurbains. Pour autant, la présence des tiques ne se cantonne pas à la forêt, elles sont également rencontrées dans les jardins, les pâtures, les friches, etc. (Mulder *et al.*, 2013 ; Zeman *et al.*, 2015) des secteurs ruraux mais également péri-urbains voire urbains.

Du rural à l'urbain dense en passant par un périurbain plus ou moins lâche, la présence des tiques est attestée, mais la connaissance des conditions d'interaction avec la population – là où les morsures se produisent – reste à construire. De même, cette morsure se produit-elle au printemps, en été, voire en hiver, par temps sec, par temps humide ? Là encore, les connaissances sont lacunaires. Jusqu'à présent, il paraissait difficilement envisageable d'aller plus loin que la simple écologie des espèces de tiques après des campagnes de collectes au drapeau¹ sur la végétation (Cohnstaedt *et al.*, 2012 ; Bord *et al.*, 2014) ou par collectage sur des animaux abattus à la chasse (Gilot *et al.*, 1994 ; Kriz *et al.*, 2014) ou bien encore sur des troupeaux domestiques (L'Hostis, 1994 ; Grech-Angelini *et al.*, 2016 ; Bord, Agoulon, 2017), en extrapolant cette infestation aux écosystèmes fréquentés. De plus, dans le cas de la BL, qui n'est pas une maladie à déclaration obligatoire en France, et malgré la présence de réseaux de médecins volontaires, comme ceux du réseau "Sentinelles"², il est extrêmement difficile de connaître la distribution géographique des cas. Au mieux, c'est à l'échelle régionale, grâce aux cartographies "Sentinelles", qu'il est possible de percevoir les zones et les périodes où la contamination semble se concentrer, croître ou décroître. De ce fait, pour faire de la prévention ou du "porter à connaissance", il est quasiment impossible, à l'heure actuelle, d'analyser les déterminants paysagers et climatiques qui pourraient favoriser la prolifération des tiques et donc des piqûres, ces dernières étant la première étape vers une BL ou autre maladie transmise par les tiques, si celles-ci sont infectées. Pour progresser dans la

¹[En ligne]. URL : <https://books.openedition.org/irdeditions/9062>, consulté le 29/10/2023.

² [En ligne]. URL : <https://websenti.u707.jussieu.fr/sentiweb/?page=carte>, consulté le 16/01/2023

connaissance des espaces et des conditions de morsures, donc des contaminations potentielles, il est indispensable d'accroître le volume des données à traiter en dépassant la seule collecte effectuée par des équipes scientifiques (Laaksonen *et al.*, 2017). Impliquer les citoyens dans la constitution de bases de données sur des questions de santé est maintenant bien documenté (Ranard *et al.*, 2014). Recourir à la contribution citoyenne pour collecter des données portant sur les morsures de tiques est relativement récent. En Europe, les premières expérimentations furent menées aux Pays-Bas (Garcia-Marti *et al.*, 2018) et sont consultables sur les sites de Natuurkalender³ et Tekenradar⁴. C'est la solution qui a été retenue pour faire entrer de gros volumes d'informations sur des situations et des lieux variés qui seuls pourront permettre de faire ressortir les déterminants d'exposition aux morsures et donc progresser vers la connaissance du risque. Actuellement, la parcimonie des données ne permet pas de savoir si, pendant la saison acarologique, les jardins ruraux sont plus "à risque" que les forêts périurbaines, en nombre de morsures constatées par exemple. Elle ne permet pas non plus de savoir s'ils le restent toute la saison ou seulement au printemps, avant la dessiccation liée aux chaleurs estivales, qui se feront moins sentir dans les litières forestières. Cette progression des connaissances est un préalable à la constitution d'observatoires dédiés aux maladies transmises par les tiques, dont l'objectif serait de faire de la prévention ou du "porter à connaissance" à partir de signaux climatiques avant-coureurs concernant les espaces les plus favorables à l'interaction tiques-humains, ceux où se produisent les morsures. L'exposition aux tiques et à leurs morsures et les maladies qui en découlent sont le résultat d'une combinaison complexe de facteurs écologiques et comportementaux humains. En quelques années, les maladies à tiques sont devenues un problème important en santé publique et vétérinaire dans de nombreux pays développés (Vayssier-Taussat, Cosson, *et al.*, 2015 ; Vayssier-Taussat, Kazimirova, *et al.*, 2015). Elles sont complexes et relèvent typiquement d'une approche dite "One Health", tant les santé humaine, animale et environnementale se combinent dans leur épidémiologie (Vayssier-Taussat, Cosson, *et al.*, 2015). Leur impact économique (direct et indirect) est considérable (Lohr *et al.*, 2015 ; van den Wijngaard *et al.*, 2017). Ces maladies convoient également une très forte charge émotionnelle dans les sociétés occidentales, en Amérique du Nord comme en Europe, où les citoyens s'inquiètent de cette recrudescence et interpellent les gouvernements et les services de santé (Salomon, Vayssier-Taussat, 2016). Dans ce contexte anxigène, plusieurs pays européens comme les Pays-Bas, la Belgique, la Suisse et la France, ont initié des plans nationaux ou des projets de recherche participative (Cosson, 2018), dans le but d'impliquer les citoyens pour améliorer les connaissances et la prévention de ces maladies. En France, le projet CiTIQUE⁵, initié par l'INRAe (l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), la DGS (Direction générale de la santé) et l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), lancé le 17 juillet 2017⁶, a tout de suite suscité une très forte participation. Les résultats présentés ici s'appuient sur l'implication des citoyens dans la collecte d'informations sur les conditions de la survenue de piqûres de tiques, grâce à l'application "Signalement TIQUE"⁷. Rappelons que l'utilisation d'Internet puis des smartphones, pour la collecte des données de santé, remonte aux années 2000 (Freifeld *et al.*, 2010 ; Dickinson *et al.*, 2012) et au début des années 2010 pour les signalements de piqûres de tiques (Haddad *et al.*, 2015). La littérature scientifique croisant sciences participatives, collecte de tiques et applications mobiles était encore peu abondante ces dernières années. Cependant, quelques références commencent à être consultables dans la littérature scientifique (Bord *et al.*, 2019). Une des toutes premières publications, concernant

³ [En ligne]. URL : <http://www.natuurkalender.nl>, consulté le 16/01/2023

⁴ [En ligne]. URL : <https://www.tekenradar.nl/>, consulté le 16/01/2023

⁵ [En ligne]. URL : <https://www.citique.fr/>, consulté le 16/01/2023

⁶ [En ligne]. URL : <https://www.inrae.fr/actualites/signalement-tique-nouvelle-version-lapplication-signaler-piqures-tiques>, consulté le 16/01/2023.

⁷ [En ligne]. URL : <https://www.citique.fr/signalement-tique/>, consulté le 16/01/2023

une application pour animaux de compagnie, essentiellement les chiens, a été proposée en 2018 aux Pays-Bas (Jongejan *et al.*, 2019) à l'intention des vétérinaires.

Dans notre étude, sur les trente premiers mois de fonctionnement, entre juillet 2017 et avril 2020, après nettoyage de la base de données, plus de 22 000 signalements ont été enregistrés, dont plus de 17 000 sur des humains et 5 000 sur les animaux de compagnie. Parmi les plus de 20 000 tiques qui ont été archivées dans les "tiquothèques" de l'INRAe, à la suite d'envois liés au programme de sciences participatives CiTIQUE, environ 1 400 tiques piqueuses furent analysées afin d'étudier la distribution géographique en France des agents pathogènes qu'elles contenaient⁸. Ce n'est pas cet aspect qui est présenté ici, mais celui de la participation citoyenne aux signalements, et surtout de l'enrichissement de ces données par de la donnée météorologique, le but étant d'améliorer la compréhension des conditions météorologiques avant et pendant les piquûres. Si les premières analyses de cette masse de données confirment la nécessité de comprendre les ressorts de la participation citoyenne pour interpréter les résultats, il demeure intéressant de compléter et qualifier ces signalements par de la donnée météorologique, l'objet de cette publication, pour faire le lien entre aléa (présence des tiques dans le paysage) et enjeu (présence concomitante des humains dans ce même paysage) pour évoquer un risque d'exposition. En effet, la littérature scientifique nous renseigne sur l'écologie des tiques et en particulier sur celle qui a le plus fréquemment été fournies par les participants lors des signalements, à savoir *Ixodes ricinus*, dans 90 % des cas pour la France métropolitaine⁹. Si les conditions de températures, de précipitations, d'hygrométrie, etc. des signalements s'écartent significativement des conditions climatiques générales constatées sur l'ensemble du territoire au même moment à l'aide d'un jeu de données témoin, nous faisons l'hypothèse qu'il existe une météorologie caractérisant les lieux et conditions de piquûres de tiques et que celle-ci diffère de celle des conditions générales. Notre objectif est également de trouver une ou plusieurs variables, ou combinaison de variables, servant de signal pour déclencher un "porter à connaissance" d'un accroissement du risque acarologique. Nous savions déjà, par les données disponibles dans la littérature, comme le rappellent Ostfeld et Brunner (2015), que ces variables abiotiques, comme le sont les données météorologiques, diffèrent en valeurs, entre le laboratoire et le terrain.

Avec l'analyse des données de signalements couplées à de la donnée météorologique, nous essayons d'apporter ici des informations sur les conditions d'exposition réelles au risque acarologique, au travers de l'interaction tique-humain, en France métropolitaine, et de fournir un repère à base de paramètres météorologiques qui conditionnerait nos promenades dans les espaces de nature en vue des changements climatiques constatés ou annoncés.

Méthodologie

Les données qui ont servi à cette étude sont issues d'actes volontaires de citoyens qui ont décidé de contribuer au programme de science participative CiTIQUE. Comme cela a déjà été signalé, depuis une quinzaine d'année avec l'essor des sciences participatives (Cohn, 2008 ; Bonney *et al.*, 2009 ; Silvertown, 2009 ; Wang Wei *et al.*, 2016), l'information, la motivation, l'implication des participants¹⁰ sont des paramètres aussi importants, si ce n'est plus, que la présence de l'objet d'étude. Nous ne sommes pas exactement sur les données protocolées des sciences expérimentales obtenues en laboratoire. La carte des signalements (carte 1) en est un bon exemple. Elle n'indique pas où se trouvent les concentrations ou les absences de concentrations de tiques à l'affût mais où se trouvaient des lieux d'interactions tiques-humains par des personnes informées et souhaitant signaler une piquûre. Nous

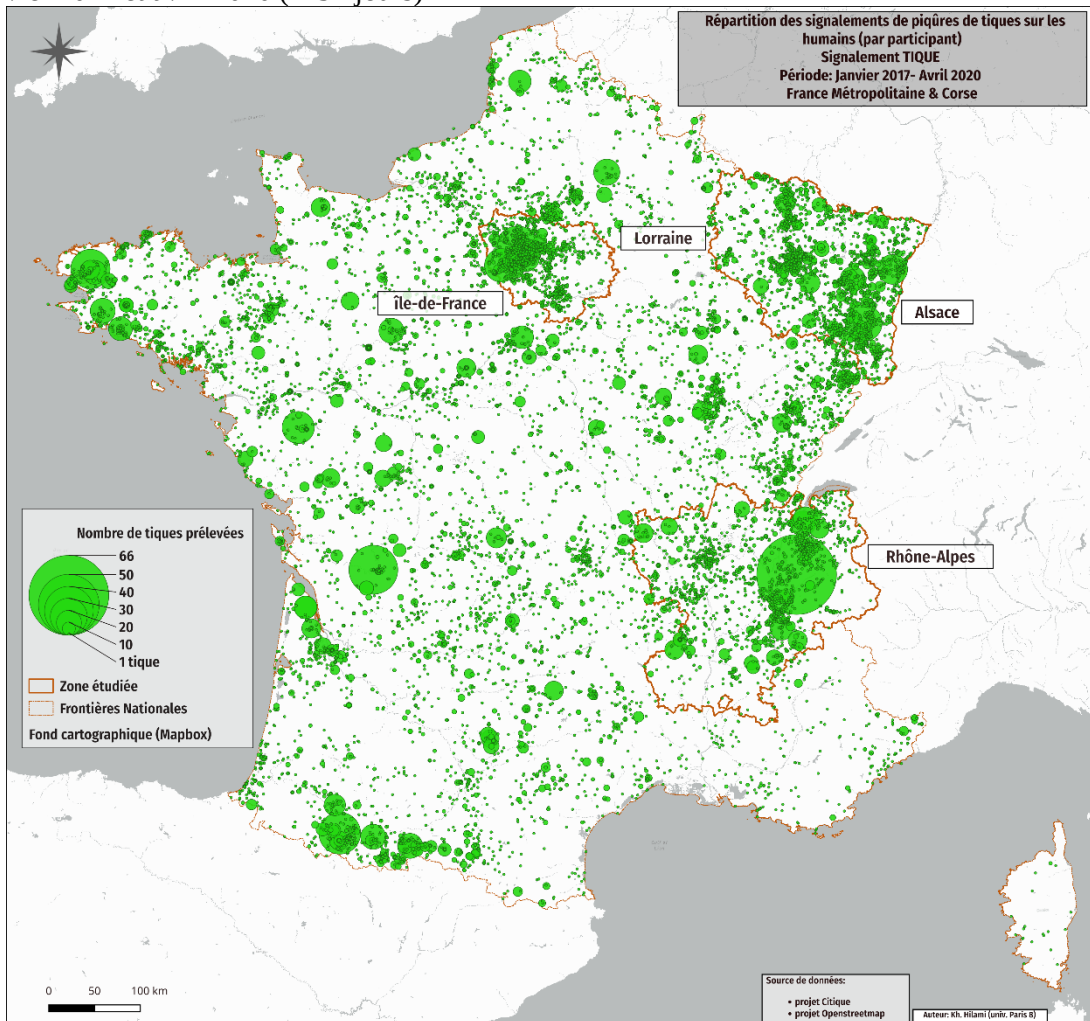
⁸ [En ligne]. URL : <https://www.citique.fr/actualites-2/>, consulté le 16/01/2023

⁹ [En ligne]. URL : <https://www.arb-idf.fr/article/rencontres-naturalistes-2018/>, consulté le 16/01/2023

¹⁰ Des études sur le profil des participants sont en cours. Les derniers, actuellement accessibles, sont consultables en ligne. URL : <https://www.citique.fr/citique-chiffres-2017-2019/>

réfléchissons à réduire ce biais méthodologique en explorant des approches bayésiennes pour limiter les erreurs d'estimation (Geldmann *et al.*, 2016 ; Kosmala *et al.*, 2016).

Carte 1 : Répartition des signalements de piqûres de tiques sur les humains en France entre janvier 2017 et avril 2020 (1191 jours)



Sources : données du programme CiTIQUE, fond OpenStreetMap project (réal. Kh. Hilami, 2023)

Un grand nombre de signalements dans un secteur donné peut être le résultat d'une communication plus efficace, comme en Alsace-Lorraine, où est basé le siège de CiTIQUE, ou de la présence d'une forte population, comme en Île-de-France, etc. Si le biais induit par les écarts de population peut être corrigé, celui lié à l'information, voire à la motivation et par la même celui lié à l'engagement citoyen est plus difficile à appréhender. Conscients du manque de comparaison avec des données protocolées pour en évaluer la fiabilité et ayant connaissance d'une littérature nombreuse portant sur l'évaluation des biais des données collectées par les citoyens (Ratnieks *et al.*, 2016 ; Aceves-Bueno *et al.*, 2017 ; Balázs *et al.*, 2021), nous restons prudents quant à la portée des résultats obtenus surtout en matière de répartition fine, en particulier locale.

Activité, biologie des tiques et information climatique dans la littérature

Les principaux déterminants climatiques associés à l'activité des tiques décrits dans la littérature scientifique sont la température et l'humidité. Ces paramètres abiotiques sont connus depuis longtemps pour les principales espèces de tiques, en particulier pour *Ixodes ricinus* sur le continent européen et *Ixodes scapularis* sur le continent américain. Pour ces tiques du genre *Ixodes*, il est établi depuis longtemps que le fonctionnement métabolique est conditionné par la température du milieu tout au long de l'année (Lees, Milne, 1951 ; Macleod, 1932). Que ce soit dans les phases de développement ou dans les phases de survie de la tique, la littérature scientifique recense un grand nombre de paramètres relatifs à la température et à l'humidité relative. Le temps de développement biologique est minimal autour de 15°C pour les femelles gorgées et de 20°C pour les larves et nymphes gorgées (Campbell, 1948 ; Ogden *et al.*, 2004), en deçà et au-delà, ce temps de développement augmente.

L'activité d'*Ixodes ricinus* ne démarre réellement qu'à partir de 5°C. C'est à partir de cette température qu'elle accumule de l'énergie pour initier son développement (Campbell, 1948). Hauser et ses collègues retiennent une température de 7°C, calculée avec une moyenne mobile sur 5 jours (Hauser *et al.*, 2018). De même, si la survie est courte en dessous de 0°C (Aeschlimann, 1972 ; Herrmann, Gern, 2013), les températures chaudes ne leur sont guère favorables. Il y a cependant peu d'études, même en laboratoire, qui dépassent les 25°C, d'après une recension réalisée par Julie Cat pour sa thèse (Cat, 2017). Toujours sur le principe des moyennes mobiles sur 5 jours, Hauser et ses collègues retiennent une température de 27°C au-delà de laquelle la densité des nymphes décroît significativement (Hauser *et al.*, 2018). Il est donc courant de retenir un optimal de température compris entre 10 et 20°C.

Comme les tiques s'hydratent par l'humidité atmosphérique, les valeurs d'humidité relative citées comme minimales pour assurer leur développement et leur survie doivent atteindre ou dépasser 80% en milieu naturel (Gray, 1998 ; Boyard *et al.*, 2008). Julie Cat, dans la recension précédemment citée, évoque "*Une humidité relative au moins supérieure à 75% [...] pour que les tiques puissent s'hydrater pour les phases en développement comme pour les phases actives*" (Kahl, 1991, in Cat, 2017).

Hormis la température et l'humidité relative, les autres déterminants sont peu présents dans la littérature scientifique. Il est possible de trouver quelques références croisant activité des tiques et précipitations (Hauser *et al.*, 2018 ; Hubálek *et al.*, 2004) ou déficit de saturation (Hauser *et al.*, 2018 ; Perret *et al.*, 2000) ou encore vitesse du vent (Mathews-Martin *et al.*, 2020 ; Hubálek *et al.*, 2004), mais elles sont plus rares et peu citées. Il s'agit donc ici de défricher un domaine relativement vierge car, pour le moment, seule l'activité des tiques en lien avec la météorologie a été analysée et non le risque acarologique pris en compte au travers des signalements de piqûres en relation avec d'autres facteurs météorologiques que les seuls températures et taux d'humidité.

Signalement TIQUE/CiTIQUE

La connaissance de l'aire de distribution d'*Ixodes ricinus* en France est, depuis longtemps, bien décrite. Une synthèse reprenant les travaux de B. Gilot (1985), de Gilot et Pérez-Eid (1998) ou de Pérez-Eid (2007), puis complétée par des travaux du réseau VBORNET¹¹ et de l'EFSA¹² permet de considérer que peu de parties du territoire métropolitain français échappent à cette tique dure (Fontenille *et al.*, 2013, p.3). Cette synthèse opérée par Fontenille indique qu'à l'exception de zones au-delà de 1 500 m d'altitude et des zones les plus sèches

¹¹ [En ligne]. URL : <http://www.vbornet.eu/>, consulté le 16/01/2023

¹² [En ligne]. URL : <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/efsa.2010.1723>, consulté le 16/01/2023

du pourtour méditerranéen, *Ixodes ricinus* est potentiellement partout. Depuis les années 1980, différents auteurs se sont penchés sur l'évolution de l'aire de répartition des tiques hématophages en général et d'*Ixodes ricinus* en particulier. Une synthèse d'une large part des travaux disponibles permet de constater que cette aire de répartition a tendance à gagner en altitude et en latitude (Léger *et al.*, 2013). Il est souvent admis que les principaux facteurs qui influencent cette extension se regroupent en une composante paysagère et une composante climatique (Marsot *et al.*, 2017), toutes les deux étant influencées par les activités humaines (Medlock *et al.*, 2013). C'est de la composante climatique dont il s'agit dans cet article, élaborée par la collecte des données météorologiques au moment et aux jours précédant le moment où le participant a "collecté" la tique responsable de la piqûre détectée. Elles proviennent du distributeur et agrégateur de données climatiques historiques Darksky.net¹³ ainsi que de Météo-France, et non pas de capteurs disséminés à hauteur des tiques dans les sous-bois, les parcs ou les jardins. Elles viennent qualifier les données issues des signalements envoyés par les "collecteurs" et fournies par l'application "Signalement TIQUE"¹⁴, que ce soit via un smartphone ou un ordinateur, fixe ou portable (cf. infra).

Les données de signalements du lieu et date de piqûre consistent principalement en : un identifiant unique généré à la saisie ; des dates (de piqûre, de saisie) ; un couple de coordonnées géographiques (obtenu par un pointeur sur une carte numérique géoréférencée) ; le sexe du répondant et son âge ; le nombre de tiques collectées ; une estimation de la précision du lieu et de la date ; un descriptif du lieu (décrit en : forêt, jardin privé, parc urbain, prairie, zone agricole cultivée ou autre à préciser) ; l'activité qui était pratiquée par le signalant au moment du contact (activité professionnelle, lieu de résidence, randonnée-promenade-pique-nique, sortie scolaire, scoutisme ou autre à préciser). Un formulaire papier comprenant toutes ces rubriques est également téléchargeable sur le site de CiTIQUE¹⁵.

Collecte des données climatiques historiques de Dark Sky et Météo-France

Préparation des données

Tableau 1 : Nombre des tiques signalées et conservées en fonction de l'étape du traitement informatique

| Année de collecte | Humains | | | Animaux | | |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | PT | T | NET | PT | T | NET |
| 2017 | 3 586 | 3 271 | 2 979 | 1 920 | 991 | 952 |
| 2018 | 8 636 | 7 546 | 6 412 | 2 376 | 2 052 | 1 914 |
| 2019 | 5 516 | 5 277 | 5 266 | 2 096 | 2 070 | 2 060 |
| Total | 17 134 | 16 094 | 14 657 | 5 762 | 5 113 | 4 926 |

La période de signalements pour les animaux est comprise entre le 13/01/2017 et le 28/02/2020
PT=pré-traitement. T=traitement. NET=nettoyé (réal. Kh. Hilami 2020).

Source : données du programme CiTIQUE

Le jeu de données brutes issu des collectes du projet CiTIQUE comporte des signalements concernant les humains et les animaux de compagnie. Ces signalements s'étalent sur une

¹³ La plate-forme acquise par Apple inc. en Mars 2020 maintient une API fonctionnelle jusqu'à fin novembre 2022 pour les développeurs ayant souscrit un compte avant la date d'acquisition. Le reste des services a été suspendu. Plus de détails en ligne. URL : <https://blog.darksky.net/>, consulté le 16/01/2023

¹⁴ [En ligne]. URL : <https://www.citique.fr/signalement-tique/>, consulté le 16/01/2023

¹⁵ [En ligne]. URL : <https://www.citique.fr/telechargements/download-info/formulaire-papier-signaler-une-et-envoyer-une-piqure-de-tique/>, consulté le 16/01/2023

période allant du 17 janvier 2017 au 04 avril 2020. Les "saisons" de collecte, quant à elles, sont qualifiées selon les quatre années principales d'activité, soit 2017, 2018, 2019 et 2020. Le tableau 1 présente le nombre de signalements bruts, prétraités et nettoyés¹⁶, puis finaux et qualifiés prêts à l'analyse.

Après avoir éliminé les localités hors France métropolitaine et uniformisé les dates au format "ISO 8601"¹⁷, un relevé météorologique est associé à chaque date de signalements. La description des conditions météorologiques relevées le jour de la piqûre est faite par interrogation du silo de donnée climatique Dark Sky avec leur interface (API)¹⁸. Le déclarant ayant fourni uniquement la date de morsure, l'interrogation récupère une valeur journalière interpolée entre les stations météorologiques les plus proches sur vingt-quatre heures¹⁹. Les principaux paramètres météorologiques quotidiens sont les suivants : températures enregistrées et ressenties (moyenne, min, max, jour et nuit avec l'heure d'enregistrement) ; couvert nuageux estimé (en pourcentage) ; point de rosée (en degrés C°) ; humidité relative (en pourcentage) ; précipitations (quantité, intensité moyenne par heure (mm/h), maximum d'intensité (mm/h)) ; pression atmosphérique en hectopascal (hPa) au niveau de la mer ; indice de rayonnement ultra-violet (plus le temps d'enregistrement du maximum de rayonnement ultra-violet) ; visibilité atmosphérique (en km) ; vent (direction, force moyenne, vitesse des rafales et heure d'enregistrement). La liste complète est disponible sur le site relatif à l'API²⁰ de Dark Sky et de Météo-France. Deux documents récapitulatifs et explicatifs sont également disponibles sur le dépôt en ligne du projet²¹. Certains paramètres comme la température sont déclinés en températures nocturne et diurne, vues les différences évidentes entre les deux périodes de la journée. Le demi-intervalle est utilisé ici pour calculer la température moyenne du jour du signalement.

Dans le cadre de la politique dite "Open Data", les codes et scripts ayant permis ce traitement sont disponibles et consultables dans un dépôt à contrôle versionné ou Git²².

Comparaison des sources de données météorologiques

Pour comparer les conditions climatiques caractérisant les signalements de piqûres et les conditions contextuelles générales, il était indispensable de connaître quotidiennement – sur un échantillon représentatif de l'ensemble du territoire métropolitain – la valeur des principaux paramètres météorologiques. La logique aurait voulu que l'on se tourne vers l'opérateur national français, Météo-France. Or, en 2017, lorsque nous avons initié ce projet, les échanges que nous avons eus avec les services concernés de Météo-France nous ont incité à nous tourner vers un autre fournisseur. Nous avons retenu le fournisseur Dark Sky, dont nous avons testé la pertinence des données par rapport aux données de référence, à savoir, les 42 stations synoptiques (carte 2) en libre accès issues des 554 stations métropolitaines du réseau Radome²³ de Météo-France.

Les deux jeux de données ont été uniformisés (Hilami *et al.*, 2022) et limités aux dates de l'étude, soit 1 191 dates. Les comparaisons ont été menées sur les données qui étaient en commun dans les deux jeux constitués à partir de la base synoptique Météo-France et de la base Dark Sky. Il s'agit des données quotidiennes moyennes telles : la couverture nuageuse (*Cloud Cover*), le point de rosé (*Dew Point*), le taux d'humidité relative (*Humidity*), l'intensité

¹⁶ Le détail des prétraitements est développé dans Hilami *et al.*, 2022

¹⁷ [En ligne]. URL : <https://www.iso.org/fr/iso-8601-date-and-time-format.html>, consulté le 16/01/2023

¹⁸ Application Programming Interface (Interface de programmation d'applications)

¹⁹ [En ligne]. URL : <https://darksky.net/dev/docs#time-machine-request>, consulté le 16/01/2023

²⁰ [En ligne]. URL : <https://darksky.net/dev/login?next=/docs>, consulté le 16/01/2023

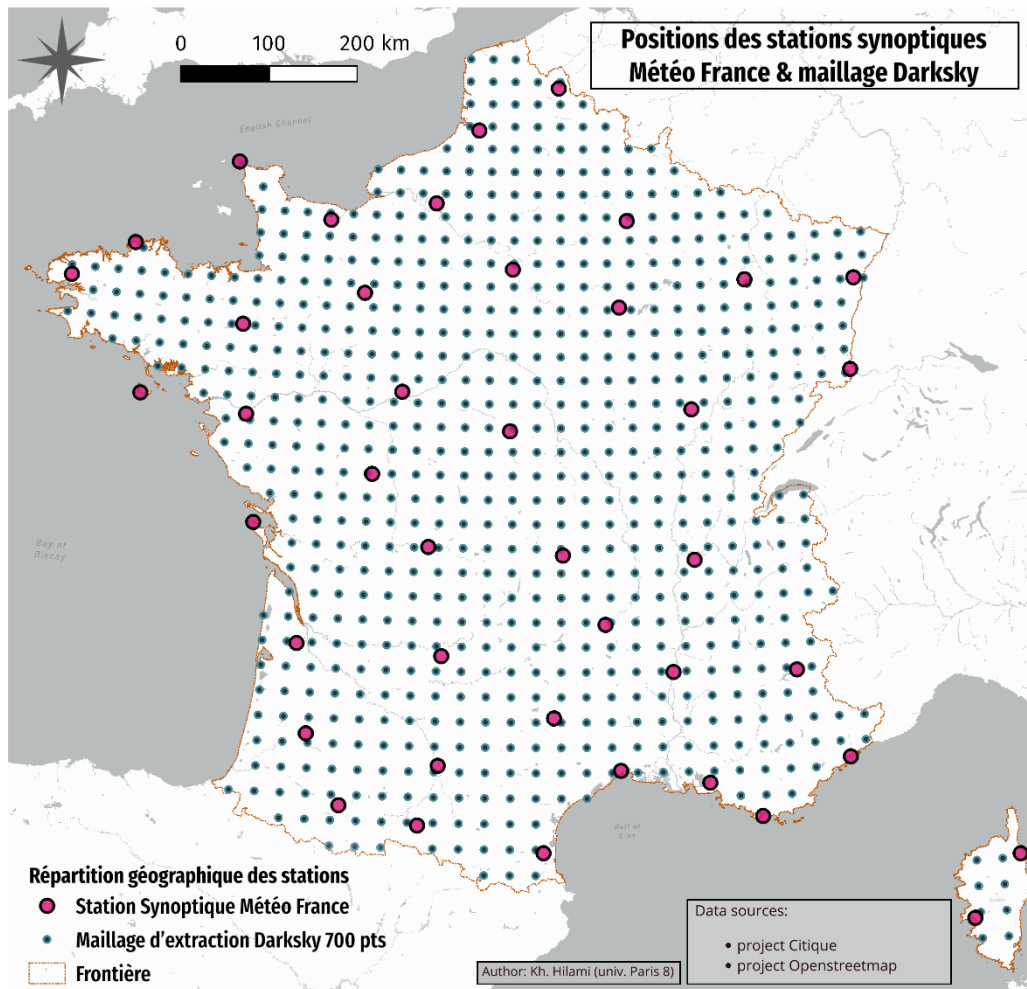
²¹ [En ligne]. URL : <https://github.com/spicysardine/pycitique/tree/master/PDF/documentation>, consulté le 16/01/2023

²² [En ligne]. URL : <https://github.com/spicysardine/pycitique>, consultation le 16/01/2023

²³ [En ligne]. URL : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=93&id_rubrique=32, consulté le 16/01/2023

des précipitations (*Precipitation intensity*), la pression ramenée au niveau de la mer (*Pressure at sea level*), la température moyenne sur 24 heures (*Temperature*), la température minimum sur 24 heures (*Temperature low*), la température maximum sur 24 heures (*Temperature high*), la visibilité (*Visibility*), les rafales de vents (*Wind Gust*) et la vitesse du vent (*Wind Speed*). Ces paramètres ont été traités comme des données appariées sur lesquelles nous avons appliqué le test de Wilcoxon [paquet `wilcox.test`, logiciel R, version 4.0.3]. Les résultats des tests sont regroupés dans le tableau 2 et présentées au chapitre des résultats.

Carte 2 : Répartition des 42 stations synoptiques de Météo-France et du maillage systématique pour extraire la donnée climatique de Dark Sky



Sources : données Météo France et Dark Sky, fond OpenStreetMap project (réal. Kh. Hilami 2020)

Dans cette étude, la base météorologique Dark Sky est donc utilisée pour, d'une part, enrichir les signalements et, d'autre part, constituer un jeu de données témoin "France entière" permettant de tester si les conditions climatiques de signalements diffèrent significativement des conditions climatiques générales, encore qualifiées de "témoin", l'objectif étant de vérifier si les signalements s'effectuent dans un contexte climatique spécifique ou identique aux

conditions climatiques générales de la même période. Ce jeu témoin "France entière" a été constitué à l'aide d'un maillage spatiale systématique de 700 points (carte 2). À chacun des 700 points de la maille, une extraction pour les 1 191 journées de la période d'étude a été réalisée, soit 833 700 échantillons. Ce deuxième jeu de données constitue l'échantillon climatique témoin auquel est comparé celui qualifiant les signalements.

Échantillonnage des signalements et des données météorologiques

Pour permettre les comparaisons entre les conditions météorologiques des signalements et celles du jeu témoin, nous avons échantillonné les mêmes indicateurs (valeurs centrales ou fonctions de répartition d'une distribution) pour chaque variable. Ces indicateurs (centiles, déciles, quartiles, médiane, moyenne), par couple de variables (*reporting vs random* ou signalements vs témoins), ont été obtenus par simulations en échantillonnant avec remise selon la méthode de rééchantillonnage dite du "*bootstrap*", publiée pour la première fois par B. Efron (1979). Plusieurs bibliothèques dans R sont disponibles, comme "boot", "bootstrap", également la fonction "boot.ci" pour obtenir les intervalles de confiance (Carpenter, Bithelle, 2000). Nous avons toutefois préféré programmer nos itérations à partir des formules proposées par D. Poinot (2005) qui décomposent la procédure.

À titre d'exemple, pour la température quotidienne, cinquante températures associées à des dates de signalement sont échantillonnées avec la fonction "sample()" de R sur lesquelles est calculé le premier décile qui est stocké dans un tableau de données (*dataframe*). Cette opération est reproduite mille fois à l'aide d'une boucle pour constituer un tableau de mille premiers déciles. Sur ce millier de premiers déciles, une moyenne est calculée ainsi qu'un intervalle de confiance à 95 % pour encadrer cette moyenne. Cette opération a été faite systématiquement pour les températures associées aux signalements et les températures associées aux lieux témoins. Le même processus est ensuite reproduit par la même méthode du *bootstrap* en calculant cette fois-ci non plus le premier décile mais la moyenne de l'échantillon de 50 températures. L'opération est à nouveau reproduite mille fois et sur ces milles moyennes d'échantillon, une moyenne générale et un intervalle de confiance sont calculés sur les températures moyennes des signalements et des lieux témoins. Enfin, la même opération est reproduite sur le neuvième décile, les quartiles, les centiles, etc. sur des échantillons de 50 tirages avec remise. À la suite des températures déjà évoquées, neuf autres variables ont été échantillonnées par *bootstrap*. Les scripts sous R sont disponibles en libre accès sur la plateforme Git²⁴. Les résultats des premiers déciles moyens, des moyennes et des neuvièmes déciles moyens accompagnés de leur intervalle de confiance respectif sont regroupés dans le tableau 3 des paramètres climatiques associés aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux. Dans le tableau 4, ce sont les résultats des premiers quartiles moyens, des deuxièmes quartiles (médianes) moyens et des troisièmes quartiles moyens accompagnés de leur intervalle de confiance respectif et, dans le tableau 5 et 6, quelques-uns des centiles des deux paramètres les plus significatifs statistiquement.

La comparaison des paramètres de chaque couple, signalements et lieux témoin, aurait pu suffire pour pointer les différences, mais il nous a paru intéressant de montrer également l'amplification du décalage selon que l'on s'intéresse aux 10 % des valeurs les plus faibles (premier décile), ou aux 10 % des valeurs les plus élevées (neuvième décile) de la variable, par exemple. Des figures reprenant ces paramètres sont également présentées pour visualiser l'écart ou l'absence d'écart entre les signalements et les témoins pour chaque variable. On peut non seulement visualiser le décalage entre la courbe des témoins et celles des

²⁴ [En ligne]. URL : <https://github.com/spicvsardine/pycitique>, consulté le 17/01/2023

signalements, mais également une asymétrie du décalage qui explique pourquoi l'écart au premier décile, par exemple pour les températures, est significatif et ne l'est plus au neuvième décile (figure 5A) qu'il est difficile de percevoir à la lecture d'un intervalle de confiance. Nous devons toutefois rappeler, pour les résultats présentés maintenant, qu'ils sont les prémisses de séries plus longues (la collecte se poursuit via Signalement TIQUE) et qu'ils devront être consolidés dans les années à venir en accumulant les données de signalements et la météorologie qui leur est associée pour confirmer et accroître leur robustesse.

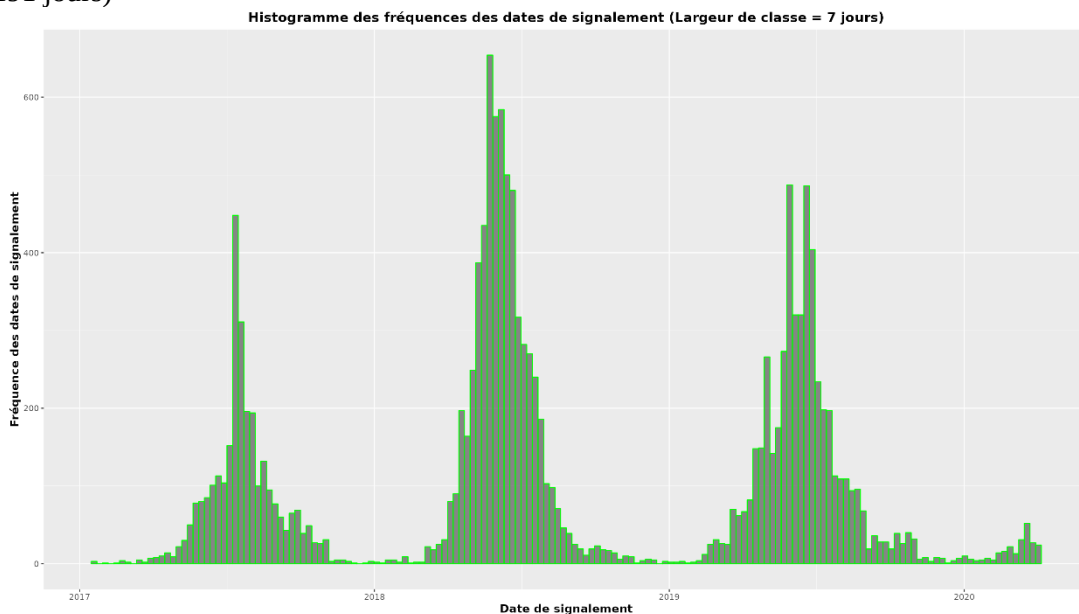
Résultats

Signalements et bases de données météorologiques

Répartition des signalements sur la période d'étude

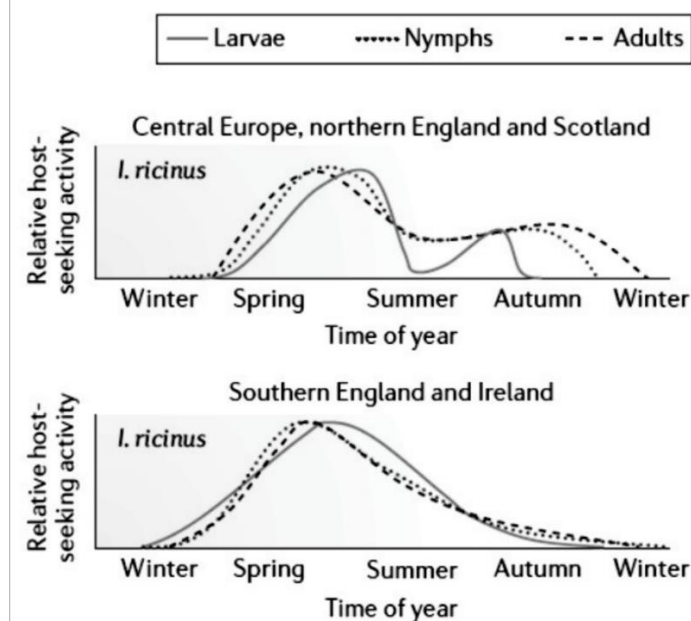
La première série de résultats présentée concerne la répartition des signalements sur la période d'étude, soit 1 191 jours répartis du 15 juillet 2017, date officielle du lancement de l'opération de collecte collaborative, jusqu'au 4 avril 2020, peu après le début du premier confinement. La figure 1 reprend l'ensemble des signalements sur les humains. Elle matérialise la répartition pluriannuelle des signalements de mi 2017 à début 2020. Les pics et les creux de signalements rappellent ceux de l'activité biologique des tiques. Cependant, les transitions sont plus abruptes et centrées sur l'été que la seule activité des tiques présentée sur la figure 2. Cette question sera abordée au chapitre des discussions.

Figure 1 : Répartition temporelle des signalements en France entre janvier 2017 et avril 2020 (1191 jours)



Sources : données du programme CiTIQUE (réal. Kh. Hilami 2021).

Figure 2 : Profil-type de l'activité d'*I. ricinus* sur une année



Sources : Kurtenbach *et al.*, 2006 (in Cat, 2017)

Météo-France vs Dark Sky

Cette deuxième série de résultats concernent les données météorologiques dans leur ensemble. En premier lieu, comme nous n'avions pas accès aux données issues des 554 stations du réseau Radome de Météo-France, nous avons sélectionné les variables Dark Sky qui ne différaient pas significativement de celles issues des 42 stations synoptiques de Météo-France. En second lieu, à partir des données Dark Sky issues de cette sélection, nous avons procédé à des comparaisons entre les données associées aux jeux témoins et celles associées aux signalements.

La significativité des différences entre les variables climatiques issues des données Météo-France et celles issues de Dark Sky a été testée à l'aide du test de Wilcoxon sur des données appariées (logiciel R, version 4.0.3). L'absence de différences est démontrée pour la moitié des paramètres communs aux deux bases de données (tableau 2 et figure 3).

Dans la mesure où les données Dark Sky sont une combinaison de plusieurs sources de données²⁵, nous pensions observer un décalage important entre les deux jeux de paramètres. Six d'entre eux diffèrent significativement. Il s'agit des paramètres couverture nuageuse (*Cloud Cover*), intensité des précipitations (*Precipitation intensity*), température minimum sur 24 heures (*Temperature low*), température maximum sur 24 heures (*Temperature high*), visibilité (*Visibility*) et rafales de vents (*Wind Gust*). Ces six paramètres ne sont pas conservés dans la suite des analyses et discussions.

En revanche, pour les cinq autres paramètres, à savoir le point de rosé (*Dew Point*), le taux d'humidité (*Humidity*), la pression ramenée au niveau de la mer (*Pressure at sea level*), la température (*Temperature*) et la vitesse du vent (*Wind Speed*), la p-value du test de Wilcoxon est trop élevée pour que l'on puisse conclure à une différence significative entre les jeux de données Météo-France et Dark Sky. Ils sont donc conservés pour évaluer leur pertinence dans le cadre du "porter à connaissance" qui vise à sensibiliser ou prévenir d'un risque acarologique.

²⁵ [En ligne]. URL : <https://darksky.net/attribution>, consulté le 17/01/2023

Tableau 2 : Test de Wilcoxon sur la significativité de l'écart entre 42 stations synoptiques Météo-France (MF) et leur équivalent Dark Sky (DS) sur les moyennes quotidiennes de 11 paramètres climatiques, sur les données récoltées en France entre janvier 2017 et avril 2020 (1 163 jours)

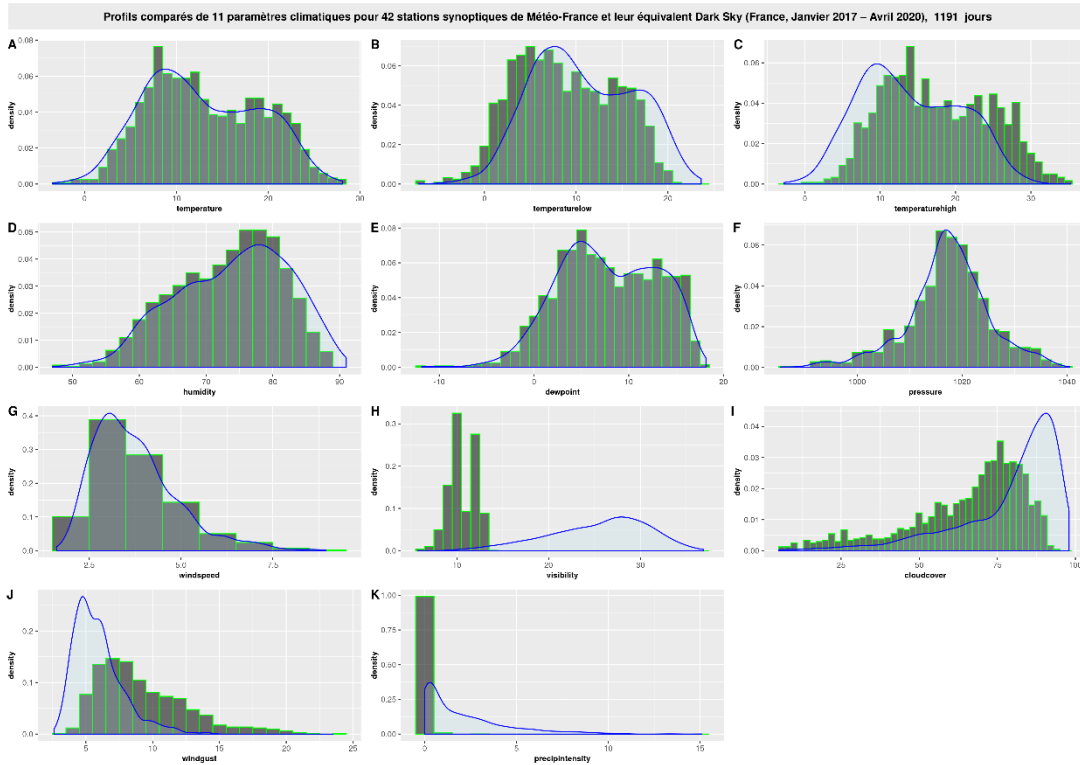
| Variables météorologiques | Wilcox.test DS vs MF | p.value DS vs MF |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|
| Cloud Cover | 353918.5 | 1.59340934647312E-99** |
| Dew Point | 708416 | 0.960842956 |
| Humidity | 682276 | 0.107909245 |
| Precipitation Intensity | 120330 | 2.22659078436252E-247** |
| Pressure at sea level | 654606.5 | 0.510847674 |
| Temperature | 736229 | 0.107833828 |
| Visibility | 7853.5 | 0** |
| Wind Gust | 1080694 | 1.97669570230878E-163** |
| Wind Speed | 719398.5 | 0.545039039 |
| temperaturehigh | 913930 | 3.27137586792281E-34** |
| temperaturelow | 563220 | 3.31292262415113E-18** |

** : différence significative

Sources : Météo France et Dark Sky, Wilcox.test dans le programme R version 4.0.3 (réal. Kh. Hilami 2021).

La lecture des graphiques présentés sur la figure 3 "donne à voir" le résultat des tests. Il y a une bonne superposition de la courbe bleue (données Dark Sky) sur le diagramme en barres vert (Météo-France) pour les graphes 3A (*temperature*), 3D (*humidity*), 3E (*dewpoint*), 3F (*pressure*) et 3G (*windspeed*). Pour ces variables, les tests de Wilcoxon n'indiquent pas de différences significatives entre les données Dark Sky et Météo-France (tableau 2). La superposition est moins bonne, avec un léger ou fort décalage de la courbe bleue par rapport au diagramme en barres vert, pour les autres variables, à savoir 3B (*temperaturelow*), 3C (*temperaturehigh*), 3H (*visibility*), 3I (*cloudcover*), 3J (*windgust*) et 3K (*precipintensity*). Pour ces variables, les tests de Wilcoxon indiquent des différences significatives entre les données Dark Sky et Météo-France (tableau 2).

Figure 3 : Profils comparés de 11 paramètres climatiques pour 42 stations synoptiques de Météo-France et leur équivalent Dark Sky



Légende : **courbe bleue** - semis régulier Dark Sky ; **diagramme en barres vert** - stations synoptiques Météo France. (réal. Kh. Hilami 2021).

Sources : données climatiques Météo-France et Dark Sky

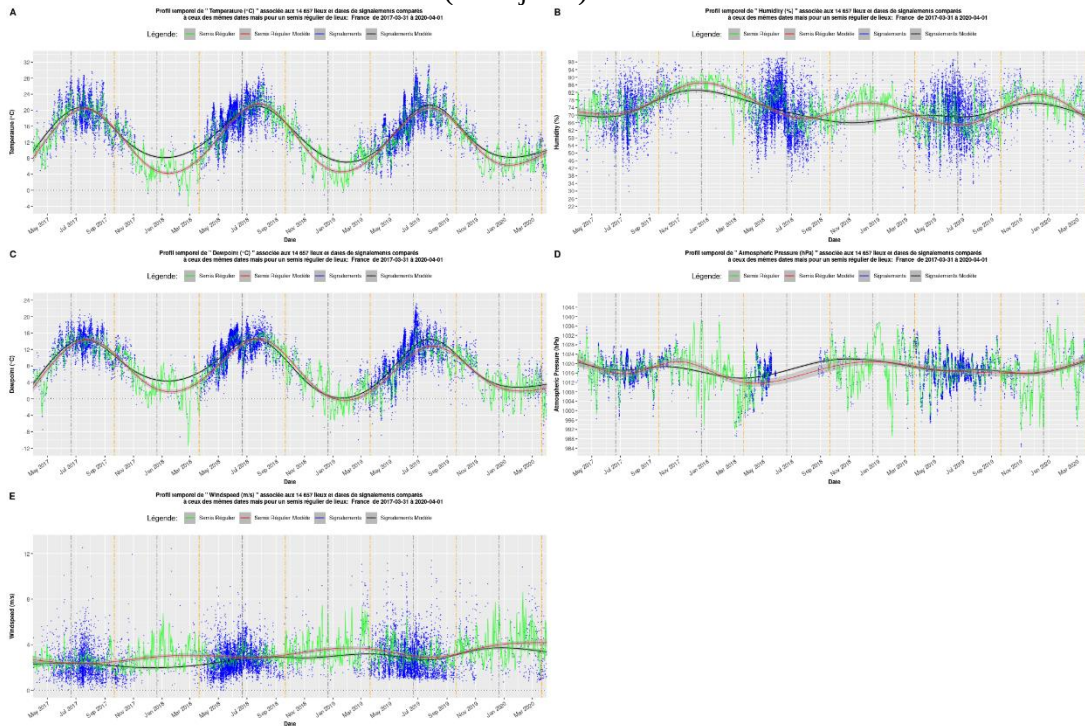
Caractérisation climatique des signalements

Les données Dark Sky sur la figure 4 ont servi à représenter les profils météorologiques au moment des signalements de piqûres, profils que nous avons comparés avec ceux des jeux-témoins collectés sur l'échantillon représentatif de l'ensemble du territoire. Nous avons représenté, en fonction des dates des signalements, les différents paramètres, des températures aux vitesses du vent, sous la forme d'un semis de points bleus (lissé en noir) pour les signalements et la courbe verte (lissée en rouge) pour les valeurs témoins (figure 4). Chaque semi a été lissé avec la fonction "geom_smooth()"²⁶ de ggplot²⁷ du logiciel R (version 4.0.3), pour obtenir les courbes d'interpolation présentées sur les figures 4 A à E.

²⁶ [En ligne]. URL : https://ggplot2.tidyverse.org/reference/geom_smooth.html, consulté le 17/01/2023

²⁷ [En ligne]. URL : <https://ggplot2.tidyverse.org/index.html>, consulté le 17/01/2023

Figure 4 : Profils temporels des variables météorologiques associées aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux, en France du 31 mars 2017 au 5 avril 2020 (1100 jours)

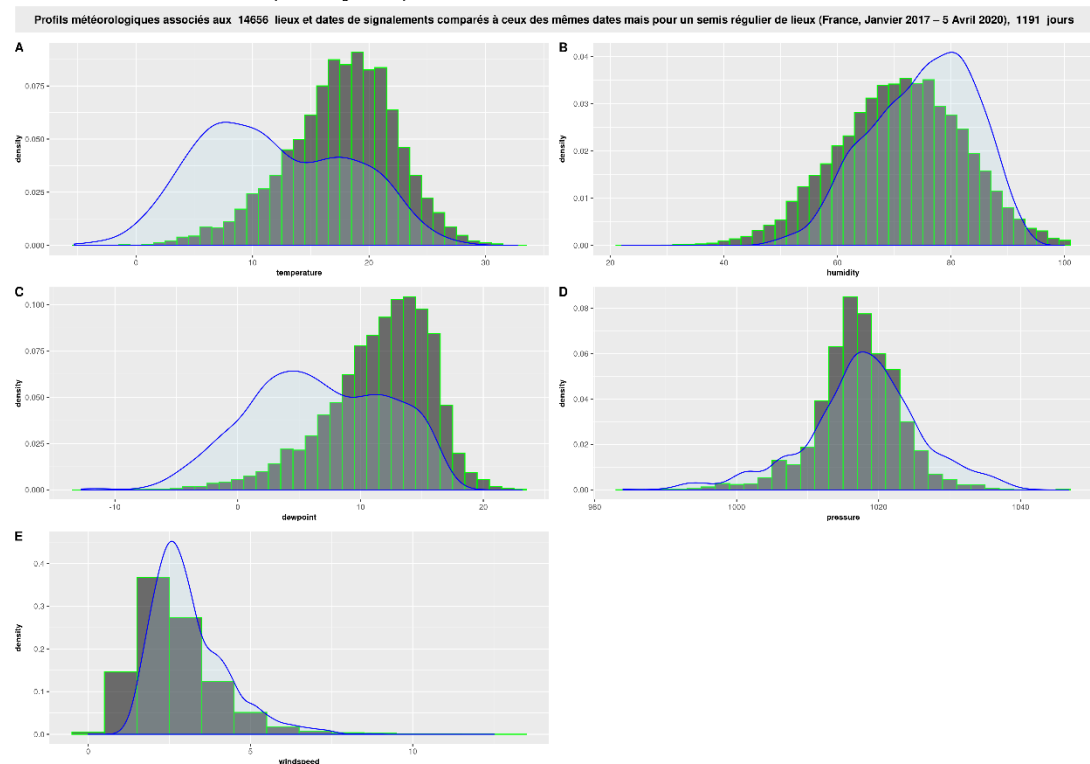


Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky (réal. Kh. Hilami 2021).

C'est cette interpolation qui permet de repérer le décalage entre les paramètres météorologiques des signalements (courbes noires) et ceux des données témoins (courbe rouges) pour chaque variable. C'est l'amplitude du signal entre l'été et l'hiver combinée au découplage des deux courbes pour la température (figure 4A) et le point de rosé (figure 4C) qui facilite le repérage des variables susceptibles d'être les indicateurs recherchés dans le cadre du "porter à connaissance" pour sensibiliser ou prévenir d'un risque acarologique. Cette approche visuelle permet d'identifier les paramètres répondant à notre objectif et de rejeter ceux qui, de par le manque d'amplitude ou de découplage entre les courbes (figures 4B, 4E, 4F) ne peuvent être retenus, est complétée par des tests statistiques et détaillée ci-après.

Une autre approche visuelle de sélection de variables pertinentes pour notre "porter à connaissance" est proposée avec la figure 5. Là encore, les graphiques présentés ont servi à visualiser les décalages entre les données météorologiques associées aux jeux témoins, diagramme en barres vert, et celles associées aux signalements, courbe bleue.

Figure 5 : Profils météorologiques associés aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux en France de janvier 2017 au 5 Avril 2020 (1191 jours)



Légende : **courbe bleue** - semis régulier (*random*) Dark Sky ; **histogramme vert** - météo associée aux signalements (*reporting*). (réal. Kh. Hilami 2021).

Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky

Contrairement à la figure 4, où la saisonnalité des décalages est perceptible – le temps est en abscisse, et l’unité en ordonnée – sur la figure 5, où l’unité de la variable est en abscisse et la fréquence en ordonnée, cette saisonnalité disparaît au profit d’une information sur le décalage vers les plus ou en moins fortes valeurs des signalements par rapport au jeu témoin. Pour les températures (figure 5A), les signalements (diagramme en barres vert) sont décalés vers les fortes valeurs par rapport au jeu témoin (courbe bleue). De même pour le point de rosé (figure 5C). Cela signifie que les participants signalent à des températures plus élevées que le jeu témoin. En revanche pour l’humidité (figure 5B), la pression (figure 5D) et la vitesse du vent (figure 5E), le décalage est faible ou inexistant. Éventuellement, les participants signalent pour des valeurs plus faibles que le jeu témoin. Cette impression visuelle est-elle corroborée par les résultats des tests statistiques ?

Températures moyennes

Quelle est la particularité des températures (variable "*temperature*", moyenne des températures sur 24h, de minuit à minuit) associées aux signalements par rapport aux températures témoins ? Comme tracés sur la figure 5 (figure 5A), les signalements (*Reporting*) se produisent pour des températures nettement plus chaudes que pour les températures témoins (*Random*). Pour la moyenne des températures quotidiennes moyennes, l’écart est de presque 6°C en faveur du signalement (*Mean*, tableau 3). La moyenne des températures moyennes des signalements est de 17,6°C (intervalle de confiance, IC, à 95 %

de [16,3°C ; 18,9°C]) alors qu'elle n'est que de 11,7°C (IC à 95 % de [9,8°C ; 13,4°C]) pour la moyenne des températures témoins moyennes pour les mêmes périodes.

Tableau 3 : Valeur des premiers déciles, moyennes et neuvièmes déciles des paramètres climatiques associés aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux, en France de juillet 2017 à avril 2020 (966 jours)

| Variables météorologiques | Origine de l'échantillon | 1 ^{er} décile | Intervalle de confiance autour du 1 ^{er} décile | moyenne | Intervalle de confiance autour de la moyenne | 3 ^{ème} décile | Intervalle de confiance autour du 3 ^{ème} décile |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|--|------------|--|-------------------------|---|
| température | Signalements | 11,5°C | [8,7°C ; 14°C] | 17,6°C | [16,3°C ; 18,9°C] | 23°C | [21,3°C ; 24,8°C] |
| | Aléatoire (semis) | 3,3°C | [0,9°C ; 5,8°C] | 11,7°C | [9,8°C ; 13,4°C] | 20,7°C | [17,8°C ; 23,6°C] |
| températurehigh | Signalements | 16,2°C | [13,3°C ; 19,1°C] | 23,1°C | [21,6°C ; 24,7°C] | 29,6°C | [27,4 °C ; 32°C] |
| | Aléatoire (semis) | 6,9°C | [4,3°C ; 9,4°C] | 16,4°C | [14,2°C ; 18,7°C] | 27°C | [23,2 °C ; 30,4°C] |
| humidity | Signalements | 57,60 % | [52,5 % ; 62,8 %] | 71,60 % | [68,5 % ; 74,3 %] | 85 % | [81 % ; 90,1 %] |
| | Aléatoire (semis) | 57,30 % | [50 % ; 64 %] | 74,70 % | [71,2 % ; 78,3 %] | 89,90 % | [85,2°C ; 94,2°C] |
| dewpoint | Signalements | 6°C | [3,3°C ; 8,6°C] | 11,5°C | [10,3°C ; 12,7°C] | 16,2°C | [15°C ; 17,3°C] |
| | Aléatoire (semis) | -1,3°C | [-4,6°C ; 1,7°C] | 6,5°C | [4,7°C ; 8,1°C] | 14°C | [11,6°C ; 15,9°C] |
| pressure | Signalements | 1010,6 hPa | [1005,9 hPa ; 1014,1 hPa] | 1017,1 hPa | [1015,2 hPa ; 1019,2 hPa] | 1023,6 hPa | [1020,8 hPa ; 1026,8 hPa] |
| | Aléatoire (semis) | 1006,7 hPa | [1000,4 hPa ; 1011,7 hPa] | 1017,6 hPa | [1014,9 hPa ; 1020,2 hPa] | 1028 hPa | [1023,8 hPa ; 1032,7 hPa] |
| windspeed | Signalements | 1,4 m/s | [1,1 m/s ; 1,7 m/s] | 2,7 m/s | [2,4 m/s ; 3,1 m/s] | 4,3 m/s | [3,5 m/s ; 5,2 m/s] |
| | Aléatoire (semis) | 1,3 m/s | [1 m/s ; 1,7 m/s] | 3,2 m/s | [2,7 m/s ; 3,8 m/s] | 5,7 m/s | [4,4 m/s ; 7,3 m/s] |
| visibility | Signalements | 9,1 km | [7,9 km ; 9,8 km] | 11,9 km | [11 km ; 12,7 km] | 16,1 km | [16,1 km ; 16,1 km] |
| | Aléatoire (semis) | 9 km | [7,3 km ; 9,9 km] | 12,96 km | [12 km ; 13,9 km] | 16,1 km | [16,1 km ; 16,1 km] |
| cloudcover | Signalements | 18,90 % | [3,6 % ; 38 %] | 59,80 % | [51,2 % ; 68,2 %] | 90 % | [83 % ; 95,8 %] |
| | Aléatoire (semis) | 17,50 % | [2 % ; 39 %] | 64,20 % | [55,1 % ; 73,2 %] | 95,70 % | [90,5 % ; 99 %] |
| windgust | Signalements | 3,3 m/s | [2,3 m/s ; 4,4 m/s] | 7 m/s | [5,8 m/s ; 8,3 m/s] | 11,7 m/s | [8,9 m/s ; 14,9 m/s] |
| | Aléatoire (semis) | 3,4 m/s | [2,4 m/s ; 4,6 m/s] | 8,9 m/s | [7,4 m/s ; 10,4 m/s] | 15,3 m/s | [12,6 m/s ; 18,4 m/s] |
| uvindex | Signalements | 2,9 | [1 ; 4] | 5,5 | [4,8 ; 6,1] | 8 | [7 ; 9] |
| | Aléatoire (semis) | 0,8 | [0 ; 1] | 3,1 | [2,5 ; 3,8] | 6,2 | [5 ; 8] |

Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky (réal. V. Godard 2021).

Avec un écart à peine supérieur, 6,7°C en faveur du signalement (*median*, tableau 4), la médiane des températures moyennes des signalements est de 18°C (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [16,5°C ; 19,5°C]) alors qu'elle n'est que de 11,3°C (IC à 95 % de [8,9°C ; 14,1°C]) pour la médiane des températures témoins moyennes pour les mêmes périodes. Moyenne et médiane sont pratiquement superposées.

Tableau 4 : Valeur des premiers quartiles, deuxième quartiles (médiane) et troisième quartiles des paramètres climatiques associés aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux en France de juillet 2017 à avril 2020 (966 jours)

| Variables Mé-téorologiques | Origine de l'échantillon | 1er quartile | Intervalle de confiance autour du 1er quartile | médiane | Intervalle de confiance autour de la médiane | 3ème quartile | Intervalle de confiance autour du 3ème quartile |
|----------------------------|--------------------------|--------------|--|------------|--|---------------|---|
| temperature | Reporting | 14,8°C | [12,8°C ; 16,7°C] | 18°C | [16,5°C ; 19,5°C] | 20,8°C | [19,2°C ; 22,3°C] |
| | Random | 6,8°C | [4,6°C ; 9,2°C] | 11,3°C | [8,9°C ; 14,1°C] | 16,5°C | [13,6°C ; 19,2°C] |
| temperaturehigh | Reporting | 19,9°C | [17,6°C ; 21,8°C] | 23,6°C | [21,7°C ; 25,2°C] | 26,9°C | [25,1°C ; 28,6°C] |
| | Random | 10,4°C | [8°C ; 13°C] | 15,6°C | [12,7°C ; 19,1°C] | 22,1°C | [18,3°C ; 25,5°C] |
| humidity | Reporting | 64,30 % | [60 % ; 68,3 %] | 71,80 % | [68 % ; 75,5 %] | 79,10 % | [75 % ; 83 %] |
| | Random | 66,50 % | [60,3 % ; 73 %] | 76,40 % | [71,5 % ; 81 %] | 84,30 % | [80°C ; 88°C] |
| dewpoint | Reporting | 9,3°C | [7,3°C ; 10,9°C] | 12,2°C | [10,7°C ; 13,5°C] | 14,6°C | [13,4°C ; 15,7°C] |
| | Random | 2,4°C | [-0,1°C ; 4,6°C] | 6,7°C | [4,4°C ; 9,2°C] | 11°C | [8,9°C ; 13,1°C] |
| pressure | Reporting | 1014,1 hPa | [1011,7 hPa ; 1016,3 hPa] | 1017,2 hPa | [1015,2 hPa ; 1019,2 hPa] | 1020,5 hPa | [1018,3 hPa ; 1022,7 hPa] |
| | Random | 1012,9 hPa | [1009 hPa ; 1016,2 hPa] | 1018,1 hPa | [1015,4 hPa ; 1020,8 hPa] | 1022,9 hPa | [1020 hPa ; 1026,1 hPa] |
| windspeed | Reporting | 1,8 m/s | [1,5 m/s ; 2,2 m/s] | 2,5 m/s | [2,1 m/s ; 2,8 m/s] | 3,3 m/s | [2,8 m/s ; 3,9 m/s] |
| | Random | 1,9 m/s | [1,5 m/s ; 2,3 m/s] | 2,8 m/s | [2,2 m/s ; 3,4 m/s] | 4,1 m/s | [3,3 m/s ; 5,1 m/s] |
| visibility | Reporting | 9,9 km | [9,5 km ; 10 km] | 10,2 km | [10 km ; 13,5 km] | 15,5 km | [10,5 km ; 16,1 km] |
| | Random | 10 km | [9,5 km ; 10,6 km] | 14,26 km | [10 km ; 16,1 km] | 16,1 km | [16,1 km ; 16,1 km] |
| cloudcover | Reporting | 41,20 % | [22,5 % ; 58 %] | 66,20 % | [51 % ; 76,5 %] | 81,70 % | [73,5 % ; 88 %] |
| | Random | 44,10 % | [24,8 % ; 62,8 %] | 72,40 % | [59 % ; 82 %] | 88,40 % | [81 % ; 94,5 %] |
| windgust | Reporting | 4,4 m/s | [3,4 m/s ; 5,5 m/s] | 6,3 m/s | [5 m/s ; 7,8 m/s] | 9 m/s | [7 m/s ; 11,3 m/s] |
| | Random | 5 m/s | [3,7 m/s ; 6,7 m/s] | 8,1 m/s | [5,9 m/s ; 10,2 m/s] | 12,2 m/s | [9,8 m/s ; 14,5 m/s] |
| uvindex | Reporting | 4,3 | [4 ; 5] | 5,6 | [5 ; 6] | 6,9 | [6 ; 8] |
| | Random | 1,2 | [1 ; 2] | 2,8 | [2 ; 4] | 4,6 | [4 ; 6] |

Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky (réal. V. Godard 2021).

Pour le premier décile, l'écart est encore plus significatif avec une différence de 8,2°C. La température moyenne au premier décile des signalements est de 11,5°C (IC à 95 % de [8,7°C ; 14°C]) alors qu'elle n'est que de 3,3°C (IC à 95 % de [0,9°C ; 5,8°C]) pour les températures témoins moyennes au premier décile pour les mêmes périodes (tableau 3). Du fait de l'amplitude et de l'asymétrie des données témoin (*Random*), il y a un rattrapage dans les hautes valeurs de températures de la courbe témoin sur la courbe des signalements (figure 5A). Les intervalles de confiance des températures moyennes du neuvième décile, entre les témoins et les signalements, ne sont plus significativement différents, ils se chevauchent (IC à 95 % de [21,3°C ; 24,8°C] pour les signalements et [17,8°C ; 23,6°C] pour les témoins). De toutes façons, si c'était un décile qui devait être utilisé pour faire le "porter à connaissance"

vers le public, ce serait le premier, celui qui voit les 10 premiers p.100 de signalements liés à la remontée des températures, signe de la reprise des interactions entre tiques et humains.

Tableau 5 : Valeurs des centiles 1, 2 et 3 pour les températures moyennes associées aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux en France de juillet 2017 à avril 2020 (966 jours)

| Variables météorologiques | Origine de l'échantillon | 1er centile | Intervalle de confiance autour du 1er centile | 2^{ème} centile | Intervalle de confiance autour du 2^{ème} centile | 3^{ème} centile | Intervalle de confiance autour du 3^{ème} centile |
|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| température | Signalements | 6,6°C | [1,72°C ; 10,5°C] | 7,7°C | [3,9°C ; 11,3°C] | 8,4°C | [4,6°C ; 12,1°C] |
| | Aléatoire (semis) | -1,7°C | [-7,0°C ; 2,5°C] | -0,4°C | [-4,8°C ; 3,4°C] | 0,2°C | [-4,2°C ; 3,2°C] |

Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky (réal. V. Godard 2023).

La fonction de répartition en centiles permet d'affiner le seuil limite entre températures de signalements significativement différentes ou non d'un tirage aléatoire. La température moyenne au premier centile des signalements est de 6,6°C (IC à 95 % de [1,72°C ; 10,5°C]) alors qu'elle n'est que de -1,7°C (IC à 95 % de [-7,0°C ; 2,5°C]) pour les températures témoins moyennes au premier centile pour les mêmes périodes (tableau 5). Bien que cette différence soit de 8,3°C, les intervalles de confiance qui encadrent ces températures moyennes du premier centile, entre les témoins et les signalements, se chevauchent. Elles ne sont pas significativement différentes pour le premier centile.

En revanche, pour le deuxième centile, l'écart est significatif. Avec une différence de 8,1°C, la température moyenne au deuxième centile des signalements est de 7,7°C (IC à 95 % de [3,9°C ; 11,3°C]) alors qu'elle n'est que de -0,4°C (IC à 95 % de [-4,8°C ; 3,4°C]) pour les températures témoins moyennes au deuxième centile pour les mêmes périodes (tableau 5). Nous constatons que, cette fois-ci, les intervalles de confiance des températures moyennes du deuxième centile, entre les témoins et les signalements, sont significativement différents, ils ne se chevauchent plus.

Taux d'humidité

Comme vu sur le graphe de la figure 5 (figure 5B), les signalements (*Reporting*) se produisent pour des taux d'humidité à peine légèrement plus faibles que pour les taux d'humidité témoins (*Random*). Le taux d'humidité quotidien moyen présente un écart de 3,1 % en faveur des taux d'humidité témoins (*Mean*, tableau 3). Le taux d'humidité moyen des témoins est de 74,7 % (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [71,2 % ; 78,3 %]) alors qu'il n'est que de 71,6 % (IC à 95 % de [68,5 % ; 74,3 %]) pour le taux d'humidité moyen des signalements pour les mêmes périodes (tableau 3). L'écart n'est pas significatif, les intervalles de confiance se chevauchent. Au vu des données dont nous disposons, le taux d'humidité n'est donc pas un bon indicateur de "porter à connaissance" du risque acarologique.

Point de rosé

Combinant la température et l'humidité relative, la température du point de rosé (DP, variable *dewpoint*, température auquel l'air doit être refroidi pour saturer²⁸) montre un écart de 5°C en faveur du signalement (*Mean*, tableau 3). La DP moyenne des signalements est de 11,5°C (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [10,3°C ; 12,7°C]) alors qu'elle n'est que de 6,5°C (IC à 95 % de [4,7°C ; 8,1°C]) pour la DP témoin pour les mêmes périodes (tableau 3). Les citoyens signaleurs se rendent donc sur les lieux où les tiques sont à l'affût par des DP

²⁸ [En ligne]. URL : <https://www.britannica.com/science/dew-point-temperature>, consulté le 17/01/2023

beaucoup plus élevées que les DP des lieux témoins répartis sur toute la métropole (figure 5C). Comme pour les températures, pour le premier décile, l'écart est encore plus significatif entre les DP des signalements et celles des lieux témoins. Avec une différence de 7,3°C, la DP moyenne au premier décile des signalements est de 6°C (IC à 95 % de [3,3°C ; 8,6°C]) alors qu'elle n'est que de -1,3°C (IC à 95 % de [-4,6°C ; 1,7°C]) pour les DP témoins moyennes au premier décile pour les mêmes périodes (tableau 3). Comme pour les températures, du fait de l'amplitude et de l'asymétrie des données témoins (*Random*), il y a un rattrapage dans les hautes valeurs des DP de la courbe témoin sur la courbe des signalements.

Tableau 6 : Valeurs des centiles 4, 5 et 6 pour les points de rosé associés aux 14 657 lieux et dates de signalements comparés à ceux des mêmes dates mais pour un semis régulier de lieux en France de juillet 2017 à avril 2020 (966 jours)

| Variables météorologiques | Origine de l'échantillon | 4ème centile | Intervalle de confiance autour du 4ème centile | 5ème centile | Intervalle de confiance autour du 5ème centile | 6ème centile | Intervalle de confiance autour du 6ème centile |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|
| dewpoint | <i>Reporting</i> | 3,4°C | [-1,1°C ; 7,1°C] | 4,1°C | [0°C ; 7,2°C] | 4,5°C | [1,7°C ; 7,5°C] |
| | <i>Random</i> | -4,2°C | [-8,3°C ; -0,6°C] | -3,6°C | [-7,6°C ; -0,3°C] | -3,0°C | [-6,9°C ; 0,4°C] |

Sources : données du programme CiTIQUE, données Dark Sky (réal. V. Godard 2023).

Là aussi, la fonction de répartition en centiles permet d'affiner le seuil limite entre températures de point de rosé de signalements significativement différentes ou non d'un tirage aléatoire. Contrairement aux températures moyennes, il faut atteindre le cinquième centile pour avoir un écart significatif (tableau 6). La température de points de rosé moyenne au cinquième centile des signalements est de 4,1°C (IC à 95 % de [0°C ; 7,2°C]) alors qu'elle n'est que de -3,6°C (IC à 95 % de [-7,6°C ; -0,3°C]) pour les températures de points de rosé témoins moyennes pour les mêmes périodes (tableau 6). Les intervalles de confiance des températures de points de rosé moyennes du cinquième centile, entre les témoins et les signalements, sont significativement différents, ils ne se chevauchent plus.

Pression atmosphérique

Comme pour le taux d'humidité, la pression atmosphérique (variable *pressure*, moyenne des pressions atmosphériques ramenées au niveau moyen des mers sur 24h, de minuit à minuit), associée aux signalements ne diffère pas significativement de la pression atmosphérique des témoins. Comme tracés sur la figure 5 (figure 5D), les signalements (*Reporting*) se produisent pour des pressions quasi identiques aux pressions des témoins (*Random*). La pression quotidienne moyenne des témoins est de 1017,6 hPa (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [1014,9 hPa ; 1020,2 hPa]) alors qu'elle n'est que de 1017,1 hPa (IC à 95 % de [1015,2 hPa ; 1019,2 hPa]) pour la pression quotidienne moyenne des signalements, pour les mêmes périodes (tableau 3). Au vu des données dont nous disposons, la pression atmosphérique n'est donc pas un bon indicateur de "porter à connaissance" du risque acarologique.

Vitesse du vent

Comme pour le taux d'humidité et la pression atmosphérique, la vitesse du vent (variable *windSpeed*, moyenne des vitesses du vent sur 24h, de minuit à minuit en m/s²⁹), associé aux signalements ne diffère pas significativement de la vitesse du vent des témoins. Comme tracés sur la figure 5 (figure 5E), les signalements (*Reporting*) se produisent pour des vitesses de

²⁹ [En ligne]. URL : <https://darksky.net/dev/login?next=/docs>, consulté le 17/01/2023

vent quasi identiques aux vitesses de vent pour les témoins (*Random*). La vitesse quotidienne moyenne du vent pour les sites témoins est de 3,2 m/s (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [2,7 m/s ; 3,8 m/s]) alors qu'elle n'est que de 2,7 m/s (IC à 95 % de [2,4 m/s ; 3,1 m/s]) pour la vitesse quotidienne moyenne des signalements, pour les mêmes périodes (tableau 3). Au vu des données dont nous disposons, la vitesse du vent n'est donc pas un bon indicateur de "porter à connaissance" du risque acarologique.

Discussion

Répartition des signalements sur la période d'étude

La variabilité interannuelle de l'activité et celle de l'abondance des tiques sont bien documentées à des échelles fines de collecte et sur des durées longues (Paul *et al.*, 2016). Si les conditions climatiques, surtout la sécheresse et la chaleur, ont un impact sur la densité des tiques, en revanche, elles ne réduisent pas forcément l'infestation des hôtes, comme les petits mammifères par les larves et nymphes, cas d'*Ixodes scapularis* documenté en Amérique du Nord sur 11 ans (Burtis *et al.*, 2016). Le climat n'est donc pas le seul marqueur de l'activité des tiques. D'autres paramètres, comme la variabilité de la densité des rongeurs (Krawczyk *et al.*, 2020), ont une influence avérée sur l'activité des tiques. Cependant, la répartition interannuelle des signalements étudiée de mi 2017 à début 2020, présentée sur la figure 1, en plus de ce qui vient d'être décrit, matérialise l'interaction avec les humains, c'est-à-dire le moment où l'aléa tique a rencontré l'enjeu humain pour le transformer en risque acarologique. Nous savons que cette connaissance de l'interaction est partielle car elle repose sur la connaissance du programme de sciences citoyennes CiTIQUE, ainsi que la volonté d'y participer³⁰. Ceci explique que les figures 1 et 2, bien que de formes très proches, ne puissent pas être parfaitement identiques.

De tous ces paramètres (biologiques, abiotiques, humain), le climat est un des plus faciles à appréhender sur de larges territoires grâce aux bases de données. Parmi les cinq paramètres dont nous avons présentés les résultats, quels sont ceux qui seront les plus efficaces dans le cadre de notre objectif de "porter à connaissance" ?

Températures moyennes

Comme vu pour les résultats des températures moyennes des signalements, les citoyens signaleurs se rendent donc sur les lieux où les tiques sont à l'affût par des températures majoritairement plus élevées que les températures des lieux témoins métropolitains. Cela signifie que, pour qu'il y ait un aléa acarologique, il faut que les tiques soient actives et à la recherche d'un hôte, ce qui commence à des températures plus basses, mais aussi que l'enjeu humain soit présent et suffisamment "accessible" (tenue, comportement, etc.) pour que l'interaction transforme l'aléa en risque.

En quoi le premier décile serait-il plus pertinent que la moyenne, la médiane, le premier quartile, voire le deuxième centile comme valeur seuil pour effectuer le "porter à connaissance" ? Cette dernière proposition recoupe les valeurs de températures quotidiennes moyennes évoquées pour initier une activité notable des tiques *Ixodes ricinus* (entre 5 et 7°C, Campbell, 1948 ; Hauser *et al.*, 2018). Il aurait une certaine légitimité pour ouvrir la "saison acarologique".

Le choix d'un seuil d'alerte relève de l'acceptation d'une prise de risque. Soit on met un seuil très bas car on a une "aversion au risque" (*risk aversion*), soit on accepte une prise de risque plus importante (*risk taking*), pour garder une certaine exceptionnalité au "porter à connaissance" et on met le seuil plus haut. Ces approches sont particulièrement développées

³⁰ [En ligne]. URL : https://www.citique.fr/distribution_signalements_2019/, consulté le 16/01/2023

dans les disciplines qui pratiquent l'Aide à la décision, comme la psychologie (de Juan-Rippol *et al.*, 2021), mais aussi la géographie avec l'analyse multicritère implémentées dans les systèmes d'information géographique (SIG) depuis plus d'un quart de siècle, comme dans les SIG raster (Eastman *et al.*, 1995).

Dans un cas d'aversion au risque, le deuxième centile sera retenu pour mettre en garde le public par un "porter à connaissance" la plus précoce possible. Le seuil de 2 p.100 des signalements correspond environ à une température quotidienne moyenne de 8°C (7,7°C, tableau 5) et est survenu approximativement en 9^{ème} semaine d'année civile, soit fin février-début mars, en se fondant sur les quatre années d'études regroupées pour n'en faire qu'une et conserver ainsi une population de plus de 14 000 signalements. La sortie du "porter à connaissance" n'a pas été testée, mais si on se fonde sur un 98^{ème} centile, le seuil serait franchi en 44^{ème} semaine, soit fin octobre-début novembre.

Dans le cas d'une prise de risque qui se veut moins alarmiste pour espérer accroître l'efficacité du "porter à connaissance", en n'étant pas tout le temps en période de vigilance, le premier décile pourrait être retenu. Le seuil de 10 p.100 des signalements correspond environ à une température quotidienne moyenne de 11,5°C (tableau 3) et est survenu approximativement en 15^{ème} semaine d'année civile, soit mi-avril, en se fondant toujours sur les quatre années d'études regroupées. La sortie n'a pas non plus été testée, mais si on se base sur le neuvième décile, le seuil serait franchi en 39^{ème} semaine, soit fin septembre. Cela paraît tôt, mais pour ces quatre années (rappel : juillet 2017-avril 2020), il ne "manquait" plus que 10 p.100 des signalements de piqûres, mais 3 mois pour atteindre la fin de l'année, les citoyens signaleurs sortant peut-être moins après les vacances d'été ?

Dans ce cas d'une aversion marquée au risque acarologique (seuil des centiles), il y aurait donc environ 15 semaines, soit 3 mois et demi, hors période de vigilance. Dans le cas d'une prise de risque plus souple (seuil des déciles), il y aurait donc environ 18 semaines, soit un peu plus de 4 mois, hors période de vigilance qui correspondent, pour la France du Nord, à la période où il est exceptionnel que les promeneurs s'exposent – se découvrent – lors de leurs sorties en raison des conditions météorologiques les moins favorables dans l'année. Il serait sans doute pertinent de prolonger cette étude par une approche régionale qui permettrait de comparer les contextes océanique, continental, méridional, etc. Enfin, dans un contexte de réchauffement climatique, les trois/quatre mois hors période de vigilance décrit sur la base des données 2017-2020 se verraient dans une proportion à déterminer sur des séries plus longues que celles en notre possession.

Point de rosé

Qu'apporte le point de rosé par rapport à la seule température quotidienne moyenne ? Comme vu dans la section des résultats, le taux d'humidité des signalements n'est pas significativement différent de celui du semi témoin. Le taux d'humidité a, de ce fait, été rejeté des résultats significatifs. Analyser l'apport du point de rosé est donc une possibilité de réintégrer l'humidité dans un indicateur significatif. Pour autant, est-il pertinent dans le cadre d'un "porter à connaissance" ? Apporte-t-il un "plus" par rapport à la température quotidienne moyenne pour alerter du risque acarologique ?

La température du point de rosé (DP, variable « *dewpoint* »), combinant la température et l'humidité relative, est un indicateur peu présent dans la littérature scientifique sur les tiques, peut-être parce qu'il est un indicateur dérivé ? La forme de la distribution des signalements en lien avec la DP (figure 5E) n'est pas sans rappeler celle des températures vues précédemment (figures 5A, 5B).

Sur le même principe que celui décrit pour les températures quotidiennes moyennes, dans un cas d'aversion au risque, il faut, cette fois-ci, utiliser le cinquième centile pour avoir un indicateur significatif et faire la mise en garde du public, par un "porter à connaissance", la

plus précoce possible. Le seuil de 5 p.100 des signalements correspond environ à une température du point de rosé moyenne de 4°C (4,1°C, tableau 6) et est survenu approximativement en 12^{ème} semaine d'année civile, soit mi-fin mars, en se fondant sur les quatre années d'études regroupées pour n'en faire qu'une et conserver ainsi une population de plus de 14 000 signalements. La sortie du "porter à connaissance" n'a pas, non plus, été testée, mais si on se fonde sur un 95^{ème} centile, le seuil serait franchi en 42^{ème} semaine, soit mi-octobre.

Dans le cas d'une prise de risque qui se veut moins alarmiste et qui retiendrait le premier et le dernier décile, les périodes d'entrée et de sortie de "porter à connaissance" du risque acarologique seraient les mêmes que pour les températures quotidiennes moyennes. Pour rappel, entrée en 15^{ème} semaine d'année civile, soit mi-avril, sortie en 39^{ème} semaine, soit fin septembre.

À l'heure du choix, entre ces deux derniers indicateurs, la température apparaît comme le plus efficace. C'est un indicateur plus connu et donc plus compréhensible par un large public que le point de rosé. Ce n'est pas un indicateur dérivé. Enfin, d'un point de vue accessibilité, tous les sites météo donne la température, ce qui n'est pas le cas pour le point de rosé.

Conclusion

Il ressort de l'analyse des résultats discutée précédemment que seules deux variables météorologiques sont associées dans cette étude au risque acarologique : risque analysé au travers des signalements de piqûres dans le cadre d'une approche par les sciences participatives pendant quatre années successives. Ces variables sont significativement différentes d'un jeu de données témoin auquel elles sont confrontées. Il s'agit de la température moyenne quotidienne et du point de rosé, qui intègre une information sur l'humidité, sachant que celle-ci n'est pas significative prise isolément. Nous devons toutefois garder à l'esprit que les résultats obtenus devront être consolidés dans les années à venir en continuant d'accumuler les données de signalements et la météorologie qui leur est associée pour confirmer leur robustesse.

Ces variables peuvent être utilisées comme signal d'alerte caractérisant la reprise de l'activité acarologique au sortir de la mauvaise saison. Cette activité, en présence d'un enjeu humain, doit se traduire pour les gestionnaires et les autorités publiques par un "porter à connaissance" du risque de piqûres, donc d'un potentiel risque de transmission de maladies à tiques (non étudiée ici).

Parmi ces variables, la moyenne des températures sur 24h fournit, au travers des signalements issus de l'application "Signalement TIQUE", l'indicateur le plus intuitivement utilisable. La température quotidienne moyenne associée aux signalements est de 17,6°C (intervalle de confiance, IC, à 95 % de [16,3°C ; 18,9°C]) alors que celle du jeu témoin est en moyenne de 11,7°C (IC à 95 % de [9,8°C ; 13,4°C]). Cela signifie que pour qu'il y ait un risque acarologique, il ne faut pas seulement que les tiques soient actives et à la recherche d'un hôte, ce qui commence à des températures plus basses, mais que l'enjeu humain soit présent et suffisamment "accessible" (tenue, comportement, etc.) pour que l'interaction transforme l'aléa en risque. Pour utiliser cette variable comme seuil d'alerte, deux attitudes sont possibles, l'une d'aversion au risque l'autre avec une acceptation de prise de risques plus importante.

Pour l'aversion au risque la plus marquée, nous retenons le deuxième centile comme seuil d'alerte le plus précoce, dès que le seuil de 2 p.100 de signalements est franchi. Ce seuil de 2 p.100 correspond environ à une température quotidienne moyenne de 8°C (7,7°C, tableau 5) qui survient approximativement en 9^{ème} semaine d'année civile, soit fin février-début mars. On pourra clore la saison acarologique symétriquement sur le 98^{ème} centile, approximativement en 44^{ème} semaine, soit fin octobre-début novembre. Dans ce cas

d'aversion marquée, il y aurait donc environ 15 semaines, soit 3 mois et demi, hors période de vigilance.

Pour une aversion au risque moins marquée, on retient le premier décile. Le seuil de 10 p.100 des signalements correspond environ à une température quotidienne moyenne de 11,5°C (tableau 3) qui survient approximativement en 15^{ème} semaine d'année civile, soit mi-avril, en se fondant toujours sur les quatre années d'études regroupées. Pour la sortie de la période de vigilance, si on se fonde sur le 9^{ème} décile, le seuil serait franchi en 39^{ème} semaine, soit fin septembre. Dans ce cas d'aversion moins marquée, il y aurait donc environ 28 semaines, soit un peu plus de 6 mois, hors période de vigilance.

Une deuxième variable est utilisable dans le cadre d'un "porter à connaissance" d'entrée dans la saison de risque acarologique potentiel, c'est la température du point de rosée. Cependant, celle-ci s'avère moins compréhensible par un large public et moins facile à collecter que la température moyenne quotidienne par ceux qui auraient à déclencher le "porter à connaissance". Nous lui préférons donc la température quotidienne moyenne.

Nous avons testé des indicateurs synthétiques pour permettre aux élus et responsables d'espaces de nature, de déclencher des "porter à connaissance" lorsqu'il y a un risque acarologique en cours ou à venir. Toutefois, il est possible, au vu de ces analyses croisées de signalements de piqûres de tiques et de variables météorologiques, de faire passer un message simplifié d'avertissement. Car même si le dépouillement de séries plus longues faisait émerger de nouvelles variables significatives pour comprendre les signalements, il y a de bonne chance que celles qui caractérisent les "belles journées" (comme les températures élevées, mais pas trop, et une "belle" lumière) restent des marqueurs de la rencontre entre des tiques en quête d'un repas sanguin et des peaux humaines peu protégées.

Bibliographie

Aceves-Bueno E., Adeleye A.S., Feraud M., Huang Y., Tao M., Yang Y., Anderson S.E., 2017, "The Accuracy of Citizen Science Data: A Quantitative Review", *The Bulletin of the Ecological Society of America*, Vol.98, No.4, 278-290, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1002/bes2.1336>.

Aeschlimann A., 2021, "*Ixodes ricinus*, Linné, 1758 (Ixodoidea; Ixodidae): Essai préliminaire de synthèse sur la biologie de cette espèce en Suisse", [en ligne]. URL : <https://core.ac.uk/reader/20650510>.

Aho A., 1990, "CHAPTER 5 - Algorithms for Finding Patterns in Strings", In: JAN Van Leeuwen (Ed.), *Algorithms and Complexity*, Handbook of Theoretical Computer Science, Amsterdam, Elsevier, 255-300, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88071-0.50010-2>.

Balázs B., Mooney P., Nováková E., Bastin L., Jokar Arsanjani J., 2021, "Data Quality in Citizen Science", In: Vohland K., Land-Zandstra A., Ceccaroni L., Lemmens R., Perelló J., Ponti M., Samson R., Wagenknecht K., *The Science of Citizen Science*, Cham, Springer International Publishing, 139-157, [en ligne]. URL : https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_8.

Bonney R., Cooper C.B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V., Shirk J., 2009, "Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy", *BioScience*, Vol.59, No.11, 977-984, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>.

Bord S., Druilhet P., Gasqui P., Abrial D., Vourc'h G., 2014, "Bayesian Estimation of Abundance Based on Removal Sampling under Weak Assumption of Closed Population with Catchability Depending on Environmental Conditions. Application to Tick Abundance", *Ecological Modelling*, Vol.274, 72-79, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.004>.

Bord S., Lebert I., René-Martellet F.M., Dernas S., Johany F., Bimonte S., Chalvet-Monfray K., Poux V., Cosson J.F., Smoreda Z., Vourc'h G., 2019, *Intérêt des données de téléphonie mobile et des sciences participatives pour l'estimation et la compréhension du risque de transmission de maladies liées à l'environnement : Application aux maladies transmises par les tiques*, REID-IMMUNINV-2019, Université de Montpellier, [en ligne]. URL : https://reid-immuninv-2019.edu.umontpellier.fr/files/2019/05/Programme_REID_entier-1.pdf.

Bord S., Agoulon A., 2017, "Annexe 1 : Méthodes d'échantillonnage des tiques et fiabilité", In: Boulanger N., McCoy K.D. (Eds.), *Tiques et maladies à tiques : Biologie, écologie évolutive, épidémiologie*, Didactiques. Marseille, IRD Éditions, 279-286, [en ligne]. URL : <http://books.openedition.org/irdeditions/9062>.

Burtis J.C., Sullivan P., Levi T., Oggenfuss K., Fahey T.J., Ostfeld R.S., 2016, "The impact of temperature and precipitation on blacklegged tick activity and Lyme disease incidence in endemic and emerging regions", *Parasites & Vectors*, Vol.9, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1894-6>.

Carpenter J., Bithell J., 2000, "Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians", *Statistics in Medicine*, Vol.19, 1141-1164, [en ligne]. URL : [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0258\(20000515\)19:9<1141::AID-SIM479>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0258(20000515)19:9<1141::AID-SIM479>3.0.CO;2-F).

Cat J., 2017, *Intégrer les effets de la météorologie dans la modélisation de l'activité et de la survie des populations de tiques Ixodes ricinus dans le contexte du changement climatique*, thèse de doctorat, Université Clermont Auvergne, [en ligne]. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01708980>.

Cohn J.P., 2008, "Citizen Science: Can Volunteers Do Real Research?", *BioScience*, Vol.58, No.3, 192-197, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1641/B580303>.

Cohnstaedt L.W., Rochon K., Duehl A.J., Anderson J.F., Barrera R., Su N., Gerry A.C. et al., 2012, "Arthropod Surveillance Programs: Basic Components, Strategies, and Analysis", *Annals of the Entomological Society of America*, Vol.105, No.2, 135-149, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1603/AN11127>.

Cosson J.F., 2018, "Écologie de la maladie de Lyme", *Revue Forestière Française*, No.2-3-4, 185-203, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.4267/2042/69996>.

Daniel M., Malý M., Danielová V., Kříž B., Nuttall P., 2015, "Abiotic predictors and annual seasonal dynamics of *Ixodes ricinus*, the major disease vector of Central Europe", *Parasites & Vectors*, Vol.8, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1092-y>.

Daniel M., Zitek K., Danielová V., Kríz B., Valter J., Kott I., 2006, "Risk Assessment and Prediction of *Ixodes ricinus* Tick Questing Activity and Human Tick-Borne Encephalitis Infection in Space and Time in the Czech Republic", *International Journal of Medical Microbiology: IJMM*, Vol.296, Suppl.40, 41-47, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2006.02.008>.

Dickinson J.L., Shirk J., Bonter D., Bonney R., Crain R.L., Martin J., Phillips T., Purcell K., 2012, "The Current State of Citizen Science as a Tool for Ecological Research and Public Engagement", *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol.10, No.6, 291-297, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1890/110236>.

Eastman J.R., Jin W., Kyem P., Toledano J., 1995, "Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.61, 539-547.

Efron B., 1979, "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife", *The Annals of Statistics*, Vol.7, No.1, 1-26, [en ligne]. URL : <http://www.jstor.org/stable/2958830>.

Fontenille D., Jourdain F., Léger E., Perrin Y., 2013, *Note relative à la distribution d'Ixodes ricinus en France ainsi qu'aux principaux facteurs susceptibles d'impacter la distribution et l'abondance de l'espèce en France métropolitaine*, [en ligne]. URL : https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/2013_distribution_ixodes_ricinus.pdf.

Freifeld C.C., Chunara R., Mekaru S.R., Chan E.H., Kass-Hout T., Iacucci A.A., Brownstein J.S., 2010, "Participatory Epidemiology: Use of Mobile Phones for Community-Based Health Reporting", *PLOS Medicine*, Vol.7, No.12, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000376>.

Garcia-Martí I., Zurita-Milla R., Harms M.G., Swart A., 2018, "Using Volunteered Observations to Map Human Exposure to Ticks", *Scientific Reports*, Vol.8, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33900-2>.

Geldmann J., Heilmann-Clausen J., Holm T.E., Levinsky I., Markussen B.O., Olsen K., Tøttrup A.P., 2016, "What determines spatial bias in citizen science? Exploring four recording schemes with different proficiency requirements", *Diversity and Distributions*, Vol.22, No.11, 1139-1149.

Gilot B., Bonnefille M., Degeilh B., Beaucournu J.C., Pichot J., Guiguen C., 1994, "La colonisation des massifs forestiers par *Ixodes ricinus* (linné, 1758) en France : utilisation du chevreuil, *Capreolus capreolus* (l. 1758) comme marqueur biologique", *Parasite*, Vol.1, No.1, 81-86, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1051/parasite/1994011081>.

Gilot B., Perez-Eid C., 1998, "Bio-écologie des tiques induisant les pathologies les plus importantes en France", *7e Colloque sur le Contrôle Épidémiologique des Maladies Infectieuses, Institut Pasteur de Paris - 29 mai 1998*, Vol.28, No.4, Suppl.1, 325-334, [en ligne]. URL : [https://doi.org/10.1016/S0399-077X\(98\)70217-3](https://doi.org/10.1016/S0399-077X(98)70217-3).

Gilot B., 1985, *Bases biologiques, écologiques et cartographiques pour l'étude des maladies transmises par les tiques (Ixodidae et Argasidae) dans les Alpes françaises et leur avant-pays*, Thèse d'Etat, Université de Grenoble.

Gray J.S., Kahl O., Lane R.S., Levin M.L., Tsao J.I., 2016, "Diapause in ticks of the medically important *Ixodes ricinus* species complex", *Ticks and tick-borne diseases*, Vol.7, No.5, 992-1003, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.05.006>.

Grech-Angelini S., Stachurski F., Lancelot R., Boissier J., Allienne J.F., Marco S., Maestrini O., Uilenberg G., 2016, "Ticks (Acari: Ixodidae) infesting cattle and some other domestic and wild hosts on the French Mediterranean island of Corsica", *Parasites & Vectors*, Vol.9, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1876-8>.

Haddad H., Moulin B., Manirakiza F., Méha C., Godard V., Mermet S., 2015, "Web Mapping and Behavior Pattern Extraction Tools to Assess Lyme Disease Risk for Humans in Peri-Urban Forests", *Analyzing and Modeling Spatial and Temporal Dynamics of Infectious Diseases*, John Wiley & Sons, Ltd, 371-402, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1002/9781118630013.ch18>.

Hartemink N., van Vliet A., Sprong H., Jacobs F., Garcia-Martí I., Zurita-Milla R., Takken W., 2019, "Temporal-Spatial Variation in Questing Tick Activity in the Netherlands: The Effect of Climatic and Habitat Factors", *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, Vol.19, No.7, 494-505, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1089/vbz.2018.2369>.

Hauser G., Rais O., Morán Cadenas F., Gonseth Y., Bouzelboudjen M., Gern L., 2018, "Influence of climatic factors on *Ixodes ricinus* nymph abundance and phenology over a long-term monthly observation in Switzerland (2000-2014)", *Parasites & Vectors*, Vol.11, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2876-7>.

Herrmann C., Gern L., 2013, "Survival of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) Nymphs under Cold Conditions Is Negatively Influenced by Frequent Temperature Variations", *Ticks and Tick-Borne Diseases*, Vol.4, No.5, 445-451, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2013.05.002>.

Hilami K., Godard V., Noûs C., 2022, *Existe-t-il des conditions climatiques favorables aux piqûres de tiques ? Utilisation de données issues des sciences participatives et des bases de données météorologiques pour décrire la distribution spatiotemporelle des piqûres de tiques sur les humains en France métropolitaine entre 2017 et 2020*, [en ligne]. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03864745>

Hubálek Z., Halouzka J., Juricová Z., 2004, "Host-seeking activity of ixodid ticks in relation to weather variables", *Journal of vector ecology: journal of the Society for Vector Ecology*, Vol.28, 159-165.

Jongejan F., de Jong S., Voskuilen T., van den Heuvel L., Bouman R., Heesen H., Ijzermans C., Berger L., 2019, "'Tekenscanner': a novel smartphone application for companion animal owners and veterinarians to engage in tick and tick-borne pathogen surveillance in the Netherlands", *Parasites & Vectors*, Vol.12, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3373-3>.

de-Juan-Ripoll C., Chicchi Giglioli I.A., Llanes-Jurado J., Marín-Morales J., Alcañiz M., 2021, "Why Do We Take Risks? Perception of the Situation and Risk Proneness Predict Domain-Specific Risk Taking", *Frontiers in Psychology*, Vol.12, [en ligne]. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.562381>

Kahl O., 1991, "Water management of the non-parasitic phases of *Ixodes ricinus* in the course of its postembryonic development", *Modern acarology*.

Kiewra D., Kryza M., Szymanowski M., 2014, "Influence of Selected Meteorological Variables on the Questing Activity of *Ixodes ricinus* Ticks in Lower Silesia, SW Poland", *Journal of Vector Ecology*, Vol.39, No.1, 138-145, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2014.12080.x>.

Kilpatrick A.M., Andrew D.M.D., Levi T., Salkeld D.J., Swei A., Ginsberg H.S., Kjemtrup A. *et al.*, 2017, "Lyme disease ecology in a changing world: consensus, uncertainty and critical gaps for improving control", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol.372, No.1722, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0117>.

Kosmala M., Wiggins A., Swanson A., Simmons B., 2016, "Assessing data quality in citizen science", *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol.14, No.10, 551-560.

Krawczyk A., van Duijvendijk G., Swart A., Heylen D., Jaarsma R.I., Jacobs F.H.H., Fonville M., Sprong H., Takken W., 2020, "Effect of Rodent Density on Tick and Tick-Borne Pathogen Populations: Consequences for Infectious Disease Risk", *Parasites & Vectors*, Vol.13, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-020-3902-0>.

Kriz B., Daniel M., Benes C., Maly M., 2014, "The Role of Game (Wild Boar and Roe Deer) in the Spread of Tick-Borne Encephalitis in the Czech Republic", *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, Vol.14, No.11, 801-807, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1089/vbz.2013.1569>.

Kurtenbach K., Hanincová K., Tsao J.I., Margos G., Fish D., Ogden N.H., 2006, "Fundamental Processes in the Evolutionary Ecology of Lyme Borreliosis", *Nature Reviews. Microbiology*, Vol.4, No.9, 660-669, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1038/nrmicro1475>.

Laaksonen M., Sajanti E., Sormunen J.J., Penttinen R., Hänninen J., Ruohomäki K., Sääksjärvi I. *et al.*, 2017, "Crowdsourcing-Based Nationwide Tick Collection Reveals the Distribution of *Ixodes ricinus* and *I. persulcatus* and Associated Pathogens in Finland", *Emerging Microbes & Infections*, Vol.6, No.5, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1038/emi.2017.17>.

Lees A.D., Milne A., 1951, "The Seasonal and Diurnal Activities of Individual Sheep Ticks (*Ixodes ricinus* L.)", *Parasitology*, Vol.41, No.3-4, 189-208, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1017/S0031182000084031>.

Léger E., Vourc'h G., Vial L., Chevillon C., McCoy K.D., 2013, "Changing Distributions of Ticks: Causes and Consequences", *Experimental and Applied Acarology*, Vol.59, No.1-2, 219-244, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9615-0>.

Lejal E., Marsot M., Chalvet-Monfray K., Cosson J.F., Moutailler S., Vayssier-Taussat M., Pollet T., 2019, "A three-years assessment of *Ixodes ricinus*-borne pathogens in a French peri-urban forest", *Parasites & Vectors*, Vol.12, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3799-7>.

L'Hostis M., 1994, *Babesia divergens en France : épidémiologie descriptive et analytique*, thèse de doctorat, Université Montpellier 1, [en ligne]. URL : <http://www.theses.fr/1994MON13515>.

Lohr B., Müller I., Mai M., Norris D.E., Schöffski O., Hunfeld K.P., 2015, "Epidemiology and Cost of Hospital Care for Lyme Borreliosis in Germany: Lessons from a Health Care Utilization Database Analysis", *Ticks and Tick-Borne Diseases*, Vol.6, No.1, 56-62, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.09.004>.

Macleod J., 1932, "The Bionomics of *Ixodes ricinus* L., The "Sheep Tick" of Scotland", *Parasitology*, Vol.24, No.3, 382-400, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1017/S0031182000020795>.

Marsot M., Hoch T., Perez G., Léger E., Verheyden H., Richomme C., Vourc'h G., 2017, "Modification et modélisation du risque de maladies transmises par les tiques", In: Boulanger N., McCoy K.D., *Tiques et maladies à tiques : Biologie, écologie évolutive, épidémiologie*, Didactiques, Marseille, IRD Éditions, 239-258, [en ligne]. URL : <http://books.openedition.org/irdeditions/9056>.

Medlock J.M., Hansford K.M., Bormane A., Derdakova M., Estrada-Peña A., George J.C., Golovljova I. *et al.*, 2013, "Driving Forces for Changes in Geographical Distribution of *Ixodes ricinus* Ticks in Europe", *Parasites & Vectors*, Vol.6, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-1>.

Mulder S., van Vliet A.J.H., Bron W.A., Gassner F., Takken W., 2013, "High Risk of Tick Bites in Dutch Gardens", *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, Vol.13, No.12, 865-871, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1089/vbz.2012.1194>.

Ogden N.H., Lindsay L.R., Beauchamp G., Charron D., Maarouf A., O'Callaghan C.J., Waltner-Toews D., Barker I.K., 2004, "Investigation of Relationships between Temperature and Developmental Rates of Tick *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in the Laboratory and Field", *Journal of Medical Entomology*, Vol.41, No.4, 622-633, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.4.622>.

Ostfeld R.S., Brunner J.L., 2015, "Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol.370, No.1665, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0051>.

Paul R.E.L., Cote M., Le Naour E., Bonnet S.I., 2016, "Environmental Factors Influencing Tick Densities over Seven Years in a French Suburban Forest", *Parasites & Vectors*, Vol.9, No.1, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1591-5>.

Pérez-Eid C., 2007, *Les tiques: identification, biologie, importance médicale et vétérinaire*, Collection Monographies de microbiologie, Lavoisier, [en ligne]. URL : <https://books.google.fr/books?id=Z7BmPQAACAAJ>.

Perret J.L., Guigoz E., Rais O., Gern L., 2000, "Influence of Saturation Deficit and Temperature on *Ixodes ricinus* Tick Questing Activity in a Lyme Borreliosis-Endemic Area (Switzerland)", *Parasitology Research*, Vol.86, No.7, 554-557, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1007/s004360000209>.

Poinsot, D., 2005, *R pour les statophobes*, [en ligne]. URL : https://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinsot/Statistiques_%20pour_statophobes/R%20pour%20les%20statophobes.pdf.

Ranard B.L., Ha Y.P., Meisel Z.F., Asch D.A., Hill S.S., Becker L.B., Seymour A.K., Merchant R.M., 2014, "Crowdsourcing--Harnessing the Masses to Advance Health and Medicine, a Systematic Review", *Journal of General Internal Medicine*, Vol.29, No.1, 187-203, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1007/s11606-013-2536-8>.

Ratnieks F.L.W., Schrell F., Sheppard R.C., Brown E., Bristow O.E., Garbuzov M., 2016, "Data Reliability in Citizen Science: Learning Curve and the Effects of Training Method, Volunteer Background and Experience on Identification Accuracy of Insects Visiting Ivy

Flowers", *Methods in Ecology and Evolution*, Vol.7, No.10, 1226-1235, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12581>.

Rizzoli A., Silaghi C., Obiegala A., Rudolf I., Hubálek Z., Földvári G., Plantard O. *et al.*, 2014, "*Ixodes ricinus* and Its Transmitted Pathogens in Urban and Peri-Urban Areas in Europe: New Hazards and Relevance for Public Health", *Frontiers in Public Health*, Vol.2, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00251>.

Salomon J., Vayssier-Taussat M., 2016, "Plan Maladie de Lyme: Les Tiques s'en Réjouissent", *The Conversation*, [en ligne]. URL : <http://theconversation.com/plan-maladie-de-lyme-les-tiques-sen-rejouissent-66351>.

Silvertown J., 2009, "A New Dawn for Citizen Science", *Trends in Ecology & Evolution*, Vol.24, No.9, 467-471, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>.

Steere A.C., Malawista S.E., Hardin J.A., Ruddy S., Askenase W., Andiman W.A., 1977, "Erythema Chronicum Migrans and Lyme Arthritis. The Enlarging Clinical Spectrum", *Annals of Internal Medicine*, Vol.86, No.6, 685-698, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.7326/0003-4819-86-6-685>.

Steere A.C., Strle F., Wormser G.P., Hu L.T., Branda J.A., Hovius J.W.R., Li X., Mead P.S., 2016, "Lyme Borreliosis", *Nature Reviews Disease Primers*, Vol.2, No.1, 1-19, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.90>.

Stone B.L., Tourand Y., Brissette C.A., 2017, "Brave New Worlds: The Expanding Universe of Lyme Disease", *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, Vol.17, No.9, 619-629, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2127>.

Vayssier-Taussat M., Cosson J.F., Degeilh B., Eloit M., Fontanet A., Moutailler S., Raoult D., Sellal E., Ungeheuer M.N., Zylbermann P., 2015, "How a multidisciplinary 'One Health' approach can combat the tick-borne pathogen threat in Europe", *Future Microbiology*, Vol.10, No.5, 809-818, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.2217/fmb.15.15>.

Vayssier-Taussat M., Kazimirova M., Hubálek Z., Hornok S., Farkas R., Cosson J.F., Bonnet S. *et al.*, 2015, "Emerging horizons for tick-borne pathogens: from the 'one pathogen-one disease' vision to the pathobiome paradigm", *Future Microbiology*, Vol.10, No.12, 2033-2043, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.2217/fmb.15.114>.

Wang Wei J., Benjamin P.Y.H. Lee, Low Bing Wen, 2016, "Citizen Science and the Urban Ecology of Birds and Butterflies - A Systematic Review", In: Goffredo S. (Ed.), *PLOS ONE*, Vol.11, No.6, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156425>.

Ward S.E., Brown R.D., 2004, "A Framework for Incorporating the Prevention of Lyme Disease Transmission into the Landscape Planning and Design Process", *Landscape and Urban Planning*, Vol.66, No.2, 91-106, [en ligne]. URL : [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00097-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00097-5).

Wijngaard C.C. van den, Hofhuis A., Wong A., Harms M.G., de Wit G.A., Lugné A.K., Suijkerbuijk A.W.M., Mangel M.J.J., van Pelt W., 2017, "The Cost of Lyme Borreliosis", *European Journal of Public Health*, Vol.27, No.3, 538-547, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw269>.

Zeman P., Benes C., Markvart K., 2015, "Increasing Residential Proximity of Lyme Borreliosis Cases to High-Risk Habitats: A Retrospective Study in Central Bohemia, the Czech Republic, 1987-2010", *EcoHealth*, Vol.12, No.3, 519-522, [en ligne]. URL : <https://doi.org/10.1007/s10393-015-1016-5>.

Remerciements

Les premiers mots de remerciements qui viennent aux auteurs vont à Jean-François Cosson, alors à l'UMR BIPAR de l'INRAe, qui devait cosigner cet article mais ne verra pas l'aboutissement de ce travail. C'est son ouverture d'esprit qui a permis notre accueil au sein du projet CiTIQUE il y a sept ans. Sans lui et ses encouragements, cette recherche n'aurait

probablement pas été possible. Les auteurs remercient également Julien Marchand, alors au CPIE54, pour avoir assuré la continuité de l'accès aux données de signalements, après le décès de Jean-François Cosson. Enfin, les auteurs remercient la Maison des Sciences de l'Homme Paris-Nord (MSHPN) pour son soutien financier et sa logistique (AAP 2020, 19 2 F 1) pour l'aboutissement de cet article, Florian Raymond (Département de Géographie, Université Paris 8, UMR LADYSS CNRS) pour sa relecture et tous les contributeurs qui, par leurs nombreux signalements, ont permis cette analyse.

Conflits d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt d'ordre financier concurrent, aucun intérêt concurrent lié à ce travail et aucun conflit d'intérêt connu associé à cette publication. The authors declare that they have no competing financial interests, no competing interests related to this work and no known conflicts of interest associated with this publication.

Données et scripts d'analyse

Le jeu de données collectées par CiTIQUE est déposé sous ce DOI : <https://doi.org/10.57745/NALLBB>

Les signalements enrichis des données climatiques, ainsi que les programmes ayant servi aux calculs présentés sont sur ce dispositif de versionnement en ligne (Git) : <https://github.com/spicysardine/pycitique>

Afin de reproduire les figures et les calculs, il suffit d'exécuter sous un environnement R le script : `R/citik_humains/smartick_hum_meteo_analyse_statistique.R`

Un environnement R de version 3.6.3 ou ultérieur est fortement recommandé.

Vu le volume conséquent des données, une base de type SQLite sera automatiquement téléchargée par le programme et déposée dans le répertoire du Git cloné sur la machine locale.

Pré-Publication

Une pré-publication a été déposée en ligne en 2022 sur HAL. URL : <https://hal.science/hal-03864745>