



HAL
open science

Subterranean termites in the Centre-Val de Loire region: distribution patterns and invasion risks

Dominique Andrieu, Elfie Perdereau, Christelle Robinet, Christelle Suppo, Simon Dupont, Maxime Cornillon, Anne-Geneviève Bagnères

► To cite this version:

Dominique Andrieu, Elfie Perdereau, Christelle Robinet, Christelle Suppo, Simon Dupont, et al.. Subterranean termites in the Centre-Val de Loire region: distribution patterns and invasion risks. *Cybergeog: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2017, 10.4000/cybergeo.28412 . hal-02136833

HAL Id: hal-02136833

<https://hal.science/hal-02136833>

Submitted on 26 May 2020

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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Géographie des termites souterrains en région Centre-Val de Loire : le risque d'une espèce invasive

*Subterranean termites in the Centre-Val de Loire region: distribution patterns
and invasion risks*

**Dominique Andrieu, Elfie Perdereau, Christelle Robinet, Christelle Suppo,
Simon Dupont, Maxime Cornillon et Anne-Geneviève Bagnères**



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/cybergegeo/28412>

DOI : [10.4000/cybergegeo.28412](https://doi.org/10.4000/cybergegeo.28412)

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par INRA Institut National de la Recherche Agronomique



Référence électronique

Dominique Andrieu, Elfie Perdereau, Christelle Robinet, Christelle Suppo, Simon Dupont, Maxime Cornillon et Anne-Geneviève Bagnères, « Géographie des termites souterrains en région Centre-Val de Loire : le risque d'une espèce invasive », *Cybergegeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 824, mis en ligne le 26 juin 2017, consulté le 22 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergegeo/28412> ; DOI : [10.4000/cybergegeo.28412](https://doi.org/10.4000/cybergegeo.28412)

Ce document a été généré automatiquement le 22 juin 2018.

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Géographie des termites souterrains en région Centre-Val de Loire : le risque d'une espèce invasive

Subterranean termites in the Centre-Val de Loire region: distribution patterns and invasion risks

Dominique Andrieu, Elfie Perdereau, Christelle Robinet, Christelle Suppo, Simon Dupont, Maxime Cornillon et Anne-Geneviève Bagnères

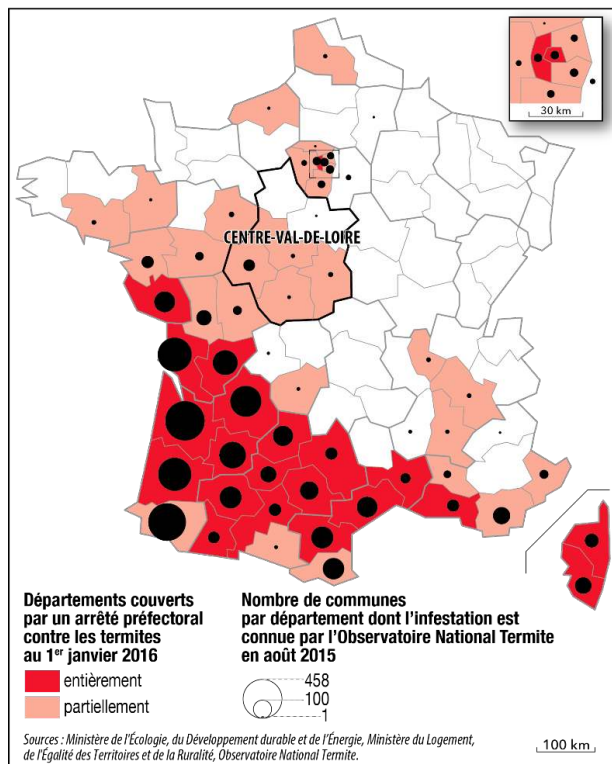
- 1 La question des invasions biologiques mobilise depuis peu la recherche en Sciences du Vivant (SV) et en Sciences Humaines et Sociales (SHS) (Claeys et Thiann-Bo Morel, 2015 ; Atlan et Darrot, 2015). Les résultats développés dans le présent article sont issus d'une relation interdisciplinaire entre chercheurs en SV et en SHS. L'objet d'étude commun est la répartition géographique d'un termite invasif présent en région Centre-Val de Loire¹.
- 2 Parmi les nombreuses espèces de termites, l'une d'entre elles est classée comme envahissante au niveau européen². En SV, les espèces envahissantes sont un sujet d'étude important (Menozzi, 2010 ; Roy, 2010 ; Kenis *et al.*, 2007) et les SHS sont associées à l'étude de cette problématique (Atlan et Darot, 2012 ; Claeys et Thiann-Bo Morel, 2015). L'extension pérenne de la répartition géographique d'une espèce locale ou exotique (Facon *et al.*, 2006) caractérise les espèces envahissantes. Sur une échelle de temps géologique, ces expansions constituent des mouvements naturels au même titre que leur réduction, voire la disparition d'espèces. Lorsque cette expansion provient d'une espèce introduite (majoritairement par l'homme), l'espèce est alors qualifiée d'invasive, anglicisme utilisé aujourd'hui en français (Menozzi, 2010). Les biologistes complètent cette définition par les conséquences de ces introductions sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (Perdereau, 2010a ; McGeoch *et al.*, 2010). La prise en compte de ces impacts est discutée, car ils ne sont pas constitutifs du phénomène invasif mais en sont la conséquence. L'International Union of Conservation of Nature (IUCN³) prend en compte les dommages écologiques et socio-économiques qu'une espèce invasive engendre (Haury *et al.*, 2015). Dès qu'il y a des préjudices aux activités humaines, Menozzi

(2010) et Fall et Matthey (2011) ont montré l'apparition du sentiment d'invasion chez les personnes concernées, qui se traduit par une rhétorique agressive, voire guerrière. Récemment, Bradshaw *et al.* (2016) ont calculé que le termite de Formose (*Coptotermes formosanus*), présent aux Etats-Unis, est l'insecte invasif qui entraîne le plus de coûts à ce jour. Récemment, on a également pu noter une prise en compte des termites en tant qu'espèces invasives liées aux risques climatiques (Buczowski & Bertelsmeier, 2017).

- 3 Dans le cas des termites en région Centre-Val de Loire, le caractère invasif est confirmé par les biologistes pour l'une des espèces observées, *Reticulitermes flavipes*, qui est le seul termite en Europe répertorié comme espèce invasive par l'inventaire européen². En effet, son aire de répartition d'origine est le Sud-Est des États-Unis (la Louisiane), et son introduction en Europe remonterait aux XVII^e-XVIII^e siècles (Bagnères *et al.*, 1990 ; Clément *et al.*, 2001 ; Perdereau *et al.*, 2010b, 2013b, 2015). La seconde espèce observée dans la région, *Reticulitermes grassei*, est d'origine ibérique et est indigène en Europe où elle est concurrencée par le termite invasif (Perdereau *et al.*, 2011). Elle n'a été identifiée que dans deux sites de la région étudiée et elle est réputée comme plus fragile et moins compétitive que l'espèce invasive (Leniaud *et al.*, 2011 ; Perdereau *et al.*, 2010).
- 4 Toutefois, le problème engendré par les termites n'affecte pas réellement la biodiversité du milieu naturel forestier où ils prospèrent, car ils participent positivement à la dégradation des ligneux dans les forêts (Grassé, 1984 ; Ewart *et al.*, 2017). Leur alimentation est en effet composée exclusivement de cellulose que les termites⁴ trouvent dans le bois mort. Cependant on trouve la cellulose également dans le papier, le carton ou certains tissus. Ils se retrouvent par conséquent aussi dans les habitations où la cellulose est présente autant dans les matériaux de construction comme le bois ou le carton des plaques de plâtre, que dans les mobiliers ou les divers papiers, livres et cartons présents dans les logements ou les bureaux. Du sol dans lequel ils vivent, aux planchers et toitures, les termites se créent des chemins à l'abri de la lumière et de l'air ambiant. Ces galeries-tunnels, qui s'appellent des cordonnets, permettent l'infestation complète des constructions et protègent les termites de la dessiccation. Les termites créent alors des dégâts préjudiciables aux habitations lorsque les structures sont touchées et cela entraîne des coûts de réparation et d'éradication importants.
- 5 Les conséquences socio-économiques de ces dégradations occasionnées par les termites sont donc potentiellement très importantes (Pimentel *et al.*, 2005 ; Haury *et al.*, 2015 ; Bradshaw *et al.*, 2016). En Floride, S. Alvarez (2016) a estimé le coût potentiel entre 6,9 et 9,9 millions de dollars sur 10 ans si une invasion de termites n'était pas gérée et traitée⁵. En France, ces conséquences sont moins connues qu'aux États-Unis, mais elles existent et l'on retrouve dans les médias des exemples de dégâts comme à Paris, où un immeuble du XIV^e arrondissement a dû être évacué en 2012⁶. Au-delà de la menace sur l'intégrité des bâtiments, la valeur patrimoniale est touchée. Sur cet aspect, les termites sont redoutés des documentalistes confrontés aux ravageurs s'attaquant au patrimoine culturel et collectif des bibliothèques (Nicosia, 2012).
- 6 La France est concernée par ce problème sur une grande partie de son territoire (une soixantaine de départements de métropole) mais surtout dans le Sud et le Sud-Ouest (Figure 1). Il existe une législation spécifique (loi Termite n° 99-741 du 8 juin 1999) instaurée pour la prévention de leur expansion. Si la présence de termites est avérée, une déclaration en mairie est obligatoire, puis remontée en préfecture pour délimiter les zones infestées. Dans les périmètres géographiques d'arrêtés préfectoraux, les maires peuvent exiger des propriétaires une recherche de termites qui, si elle se révèle positive,

entraîne des travaux d'éradication. Si des travaux ou des démolitions sont réalisés dans ces périmètres, les matériaux contaminés doivent être incinérés ou traités sur place. Le décret du 23 mai 2006 complète le code de la construction pour les bâtiments neufs ou rénovés par la mise en place de barrières physico-chimiques entre le sol où les termites vivent, et l'habitation où ils trouvent leur alimentation. Cette loi s'applique aux départements concernés par au moins un arrêté préfectoral. Un arrêté du 28 novembre 2014 réduit la portée de ces protections en les limitant aux seuls périmètres des arrêtés préfectoraux. Cependant des freins à différents niveaux existent pour les déclarations, à la fois du côté des propriétaires qui ne déclarent pas toujours la présence de termites du fait des coûts que cela engendrerait par l'obligation de traitement, mais également du côté des mairies qui craignent les répercussions négatives de telles déclarations sur l'image de leur commune. Ceci n'est pas démontré car les communes comme Domène (38) ou Bourges (18), ou encore Paris (quartier des Epinettes) (Watissée, 2016), qui ont pris le problème sérieusement, ont au contraire été largement gagnantes dans le processus d'éradication (A.-G. Bagnères, communication personnelle).

Figure 1 : État de l'infestation des termites en France.



- 7 Dans sa configuration géographique nationale, la région Centre-Val de Loire apparaît comme un maillon d'infestation entre le Sud-Ouest et la région parisienne (Figure 1). La Ville de Paris est infestée, et les premières observations datent de 1945 (Watissée, 2016), alors que la région Centre-Val de Loire présente une infestation plus récemment attestée. Jacquot (1965) a effectivement relevé la présence de termites dans une ville à l'Est de la région (Chouzé-sur-Loire), mais les infestations ont commencé à être réellement connues au début des années 1980 pour l'agglomération de Tours, de même que pour la ville de Bourges. Cette position géographique particulière a justifié un état des lieux de l'infestation par cet insecte et une évaluation de son expansion future. Cependant, dans la région étudiée, il y a encore à ce jour de nombreuses mairies qui n'ont pas déclaré la

présence de termites et cela crée des difficultés lorsque l'on essaye de recenser leur présence et effectuer des prélèvements.

- 8 Après avoir présenté les capacités d'expansion spatiale des termites et les modalités d'acquisition des lieux où ils ont été observés, nous exposerons les résultats d'une analyse spatiale. Son objectif est d'établir l'existence de facteurs spécifiques de l'environnement des lieux infestés. Ces facteurs créent une « aptitude zonale » (Caloz et Collet, 2011), qui est une aire favorable à la reproduction et au développement des termites. Cette aire favorable a pour but d'être intégrée dans un modèle de propagation de ces insectes simulant ses capacités d'expansion jusqu'en 2030. Ce modèle prend en compte des paramètres physiologiques des termites et les caractéristiques des populations d'insectes reproducteurs dans les colonies⁷.
- 9 L'enjeu de la présente étude est d'anticiper une éventuelle propagation de cette invasion biologique sur un territoire régional français, la région Centre-Val de Loire. La compréhension des facteurs explicatifs de l'expansion des termites (Facon *et al.*, 2015) est nécessaire à toute action pouvant être menée pour se prémunir de l'infestation dans une région *a priori* non prédestinée au développement des termites. Les connaissances produites ont pour but d'améliorer la prise de conscience des acteurs potentiellement concernés par ce sujet. Face à de tels enjeux, il est difficile de ne pas évoquer cette recherche sous l'angle de la géographie du risque, classiquement définie comme la conjonction d'un aléa et d'une vulnérabilité (Dauphiné et Provitolo, 2013). Nous posons l'hypothèse que ces travaux sur une invasion biologique définissent un nouveau type de risque qui n'a pas encore été étudié en géographie.

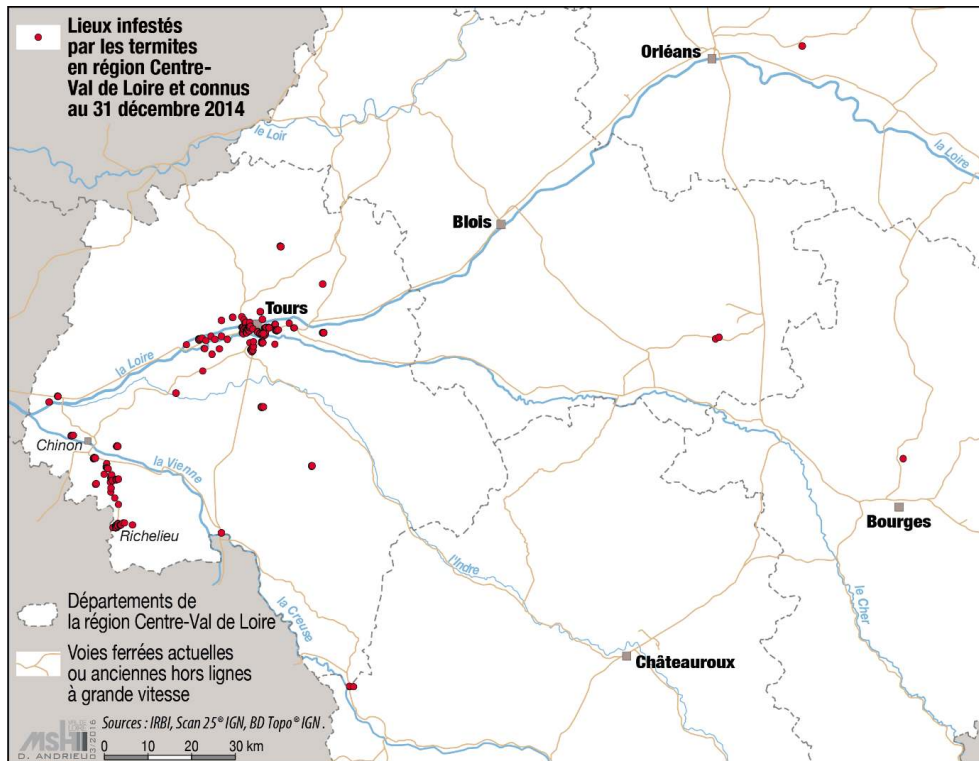
Des termites souterrains dans un SIG

- 10 Comme nous l'avons indiqué précédemment, les *Reticulitermes* présents en région Centre-Val de Loire sont des termites souterrains qui ont une vie cryptique. L'approche spatiale ne peut donc s'effectuer sur une observation globale à partir de sources satellitaires, ou autres observations aériennes comme pour d'autres espèces invasives (citons par exemple les insectes aériens comme le frelon asiatique ou le moustique tigre). Une connaissance de ces insectes est donc nécessaire afin de caractériser leur présence.
- 11 Les colonies souterraines sont formées par des dizaines de milliers, voire des centaines de milliers d'individus. Ils ont deux façons naturelles de se disperser dans l'espace (Perdereau *et al.*, 2011). Le premier mode de dispersion dans l'espace est l'essaimage. Des reproducteurs primaires ailés s'envolent jusqu'à une distance de quelques centaines de mètres entre les mois d'avril et de mai : Shelton *et al.* (2006) estiment à 458 m la distance maximale d'essaimage des *R. flavipes*, et pour Tonini *et al.* (2013) elle serait de l'ordre de 200 m pour une espèce différente. Ces reproducteurs ailés mélanisés (de couleur noire) sont les seuls que l'on peut observer à l'air libre. Toutefois ces vols n'éveillent en général aucune inquiétude du public, car ces reproducteurs se confondent facilement avec des fourmis. Le second mode de dispersion est le bouturage. Les néoténiques, reproducteurs secondaires restant à l'état larvaire, sont à l'origine du bouturage. Ils s'éloignent de leur colonie d'origine lorsqu'ils sont en trop grand nombre dans la termitière, ou lorsque des individus se trouvent isolés de leur colonie d'origine. Ils forment alors de nouveaux foyers, augmentant la taille de la colonie qui en compte alors plusieurs (Perdereau *et al.*, 2010a, 2011). Pour le termite *R. flavipes*, Perdereau *et al.* (2011) ont identifié sur l'île d'Oléron (Charente-Maritime) une colonie de termites mesurant 114,62 m grâce au

bouturage. Ce mode d'expansion serait privilégié chez *R. flavipes* (Perdereau *et al.*, 2015), termite majoritaire en région Centre-Val de Loire⁸. De plus cette propension à faire des reproducteurs secondaires favorise le bouturage anthropique.

- 12 La localisation souterraine de l'habitat du termite rend difficile une connaissance exhaustive de leur répartition spatiale. L'absence de relevés sur un espace donné ne garantit pas l'absence de termites. La présence de cordonnets d'envol ou de recherche de nourriture sont les seuls indices de leur présence visibles à l'air libre, mais encore faut-il les connaître. L'identification des termites se construit par conséquent grâce à la collaboration d'experts qui déterminent la réalité d'une infestation en la confrontant aux connaissances techniques et scientifiques (Fall et Matthey, 2011) sur ces insectes, même si le rôle des experts peut être discuté au sein de la société civile, par exemple par Trépos (2002) ou Fall et Matthey (2011). Ce travail de recherche regroupe des chercheurs et des professionnels qui connaissent bien la problématique de cet insecte nuisible dans la mesure où la connaissance des termites, de leur biologie, est une compétence indispensable au recensement de lieux infestés. Coordinés par les chercheurs de l'IRBI⁹, les relevés sur le terrain ont été effectués par ces derniers, ainsi que par le CETU Innophyt¹⁰ avec la Fredon Centre-Val de Loire¹¹, les applicateurs¹² et les municipalités.¹³
- 13 Ainsi, 509 relevés d'observations de termites ont été collectés chez des particuliers ou dans des espaces publics entre 1991 et 2014 en région Centre-Val de Loire. Ces relevés renseignent la présence de l'insecte localisé suivant trois possibilités :
- l'adresse postale de la propriété infestée : il s'agit des plus anciens relevés réalisés par l'IRBI depuis 1991 ;
 - la parcelle cadastrale ;
 - les coordonnées géographiques relevées par GPS : il s'agit de données récentes effectuées dans le cadre du projet¹⁴ (de 2012 à 2014).
- 14 En plus de ces informations spatiales, l'identification de l'espèce, la date du relevé, et l'expert à l'origine de l'observation, sont renseignés. Les colonies étant souterraines, l'observation de la présence de termites ne permet aucunement d'établir une quelconque ancienneté de leur présence. Il est effectivement impossible de déduire de l'observation sur le terrain une date d'arrivée des insectes en un lieu. La date d'observation ne peut donc être exploitée dans le cadre d'une évolution de l'infestation. Certains lieux sont régulièrement suivis lorsqu'il y a un traitement appliqué, et ont fait l'objet de plusieurs relevés espacés dans le temps. Au final ce sont 320 sites d'infestation qui ont été cartographiés (Figure 2).

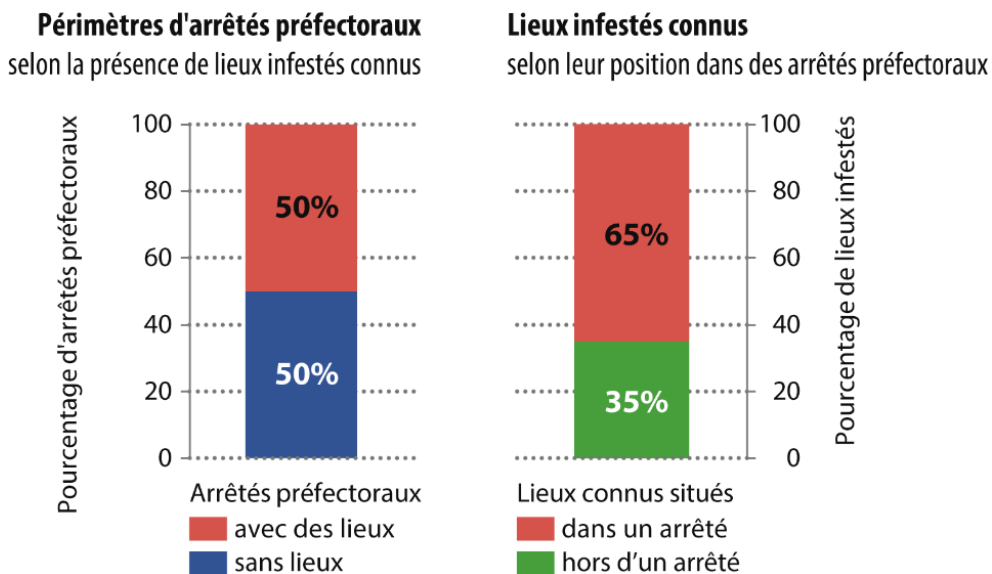
Figure 2 : Lieux infestés par les termites relevés en région Centre-Val de Loire au 31/01/2014.



- 15 Il n'est pas possible d'établir un protocole d'échantillonnage pour les termites, à la différence d'autres espèces animales qui nécessitent aussi une expertise pour leur identification, comme par exemple une espèce d'huître introduite en France et étudiée par Le Berre *et al.* (2009). Pour pallier cette difficulté, il est courant de créer un effectif de points de « pseudo-absence » (Franklin, 2010 ; Bertelsmeier *et al.*, 2013), qui sont des points localisés au hasard dans l'espace d'étude pour les besoins d'une modélisation. Il n'est possible de générer ces points de « pseudo-absence », qu'à la condition de présupposer ou de connaître le milieu adapté à l'espèce étudiée. Notre démarche visant à définir les caractéristiques d'une aire favorable aux termites, les lieux connus de l'infestation acquis dans les conditions précédemment décrites forment l'unique source de données. Le niveau d'agrégation du semis de lieux infestés est la première analyse réalisée, afin de décrire la répartition spatiale des lieux et de poser les premières hypothèses.
- 16 L'absence d'une information quantitative, décrivant par exemple un degré d'infestation, limite le choix des méthodes d'analyse spatiale. Celle du calcul de la distance au plus proche voisin a été employée pour les 320 lieux. Les distances caractérisant ainsi le semis de points observés sont ensuite comparées avec des distances similaires calculées sur un semis de points aléatoires¹⁵.
- 17 Le rapport R de la distance moyenne entre les points observés et la distance moyenne entre les points du semis aléatoire est ensuite analysé (Clark et Evans, 1954) :
- si $R = 1$ alors le semis de points observés est aléatoire ;
 - si $R = 0$ alors le semis de points observés est groupé ;
 - si $R = 2,1419$ alors le semis de points observés est régulièrement espacé.

- 18 Tandis que la moyenne des distances au plus proche voisin calculée entre les lieux infestés est de 598 m, celle du semis de points aléatoires est de 5 106 m. On obtient un rapport R de 0,117 qui indique un arrangement spatial agrégé associé à une très faible probabilité d'erreur (proche de 0). Par conséquent le semis de lieux est spatialement non aléatoire. Leur répartition géographique est concentrée dans l'agglomération de Tours, et entre Richelieu et Chinon (Figure 2). Cette répartition s'explique soit par un échantillon biaisé, soit par des conditions favorables aux termites dans ces lieux.
- 19 Si maintenant on croise ces lieux connus au 31 décembre 2014, avec les périmètres des arrêtés préfectoraux en vigueur à cette date, 35 % des lieux sont situés en dehors d'un périmètre d'arrêté (Figure 3). Cet écart montre que la recherche de termites n'a pas été réalisée dans ces périmètres où il est *a priori* plus probable de trouver des termites. En effet, ce sont les experts (notamment l'IRBI et la Fredon) qui indiquent les lieux infestés aux services de l'Etat et aux communes concernées lorsque de nouvelles présences de termites sont découvertes. Les maires des communes les soumettent à l'approbation de leurs conseils municipaux pour, comme précisé précédemment, que les préfetures prennent un arrêté de délimitation des zones contaminées ou susceptibles de l'être à court terme. À ce jour des points d'infestation sont encore découverts hors des périmètres comme dans le Loiret ou l'Indre-et-Loire.

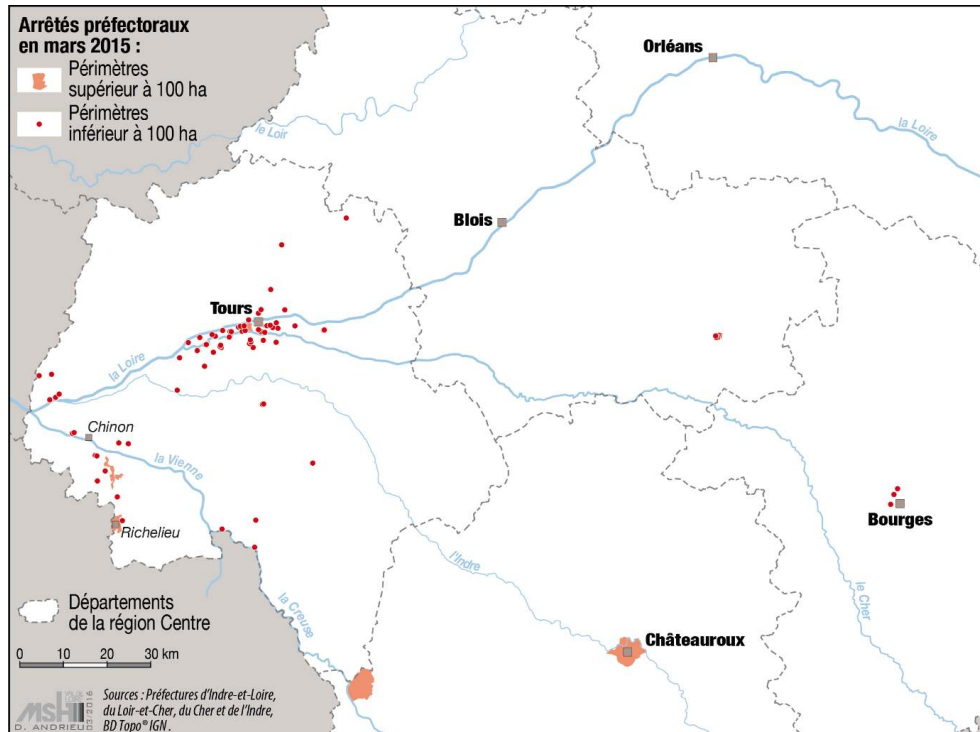
Figure 3 : Répartition des lieux infestés et des arrêtés préfectoraux en région Centre-Val de Loire au 31/01/2015.



- 20 Il est également intéressant d'observer que 50 % de ces arrêtés dans les départements de la région Centre-Val de Loire ne renferment aucun lieu connu d'infestation relevée dans le cadre de cette recherche. Les périmètres sans relevé d'infestation connu ont soit été traités et donc il n'y a plus de présence avérée, soit renseignés comme tels par les communes et donc non visités : c'est le cas de Châteauroux ou Bourges (Figure 4), où il n'y a plus de lieux infestés relevés dans ces communes, alors qu'elles sont encore couvertes par des arrêtés. Il n'est cependant pas garanti que ces lieux soient, sur le long terme, indemnes de toute présence d'insecte. Si quelques lieux infestés localisés dans ces deux communes avaient enrichi notre échantillon, l'agrégation serait moins marquée mais persisterait malgré tout, car la majeure partie des arrêtés préfectoraux et des lieux

infestés connus se concentrent en Touraine, et plus précisément autour des agglomérations de Tours et de Richelieu.

Figure 4 : Périmètres d'arrêtés préfectoraux contre les termites en région Centre-Val de Loire au 31/12/2016.



- 21 Le travail des experts n'est pas réellement influencé par la présence de ces arrêtés et marque leur volonté d'assurer une connaissance du phénomène la plus exhaustive possible. Si l'hypothèse d'un échantillon orienté par les experts peut être levée, il reste la seconde hypothèse qui pose l'explication du semis de points par l'expansion des termites : nous avons précédemment décrit les distances praticables par les termites, de l'ordre de quelques centaines de mètres. La recherche de termites s'appuie sur la connaissance de leur physiologie pour trouver des lieux infestés. Si la répartition du semis de points observés traduit une logique spatiale des termites, l'existence d'une aire favorable devient alors une hypothèse à explorer.

L'aire favorable

- 22 La détermination d'une aire favorable aux termites peut se construire autour de paramètres directs ou indirects. Le premier type de paramètres concerne les éléments de l'environnement ayant une influence sur la physiologie de l'insecte, tels que la température, les sources d'alimentation, etc. Les relevés de points ne renseignent pas ces informations, et l'étude s'appuie par conséquent sur le second type, les paramètres indirects. Ils concernent les éléments de l'environnement qui ne conditionnent pas le développement physiologique de l'espèce étudiée. Ils remplacent avantageusement les paramètres directs par leur corrélation avec la répartition des points d'observation (Guisan et Zimmermann, 2000).

- 23 En SHS, le sujet des invasions biologiques est rarement traité sous l'angle spatial, comme par exemple dans l'étude menée par Le Berre *et al.* (2009) sur les conséquences de la prolifération sur les côtes bretonnes d'une huître creuse du Pacifique, introduite pour la production ostréicole, sur les activités humaines. En SV l'approche est radicalement différente, l'analyse spatiale étant largement investie pour tous types d'espèces invasives (Guisan et Zimmermann, 2000). Ainsi les modèles de distribution d'espèces (SDM : *Species distribution model*) identifient une grande variété de méthodes d'analyse statistique et spatiale, qui ont pour objectif de déterminer les caractéristiques de l'environnement d'une espèce, de simuler ou prédire leur expansion géographique ou biologique (Franklin, 2010). Concernant les termites, des travaux récents de simulation spatiale de propagation d'une espèce d'origine tropicale non souterraine sont à attribuer à Tonini *et al.* (2013), qui simulent cette expansion à l'aide d'un modèle individu-centré, méthode répandue en écologie. La dispersion spatiale des termites se réalise dans toutes les directions, en présupposant leur expansion dans un environnement adéquat, déterminé uniquement à partir de l'occupation du sol. Pour Tonini *et al.* (2014a), ces modèles ne peuvent pas être développés sur des espaces trop étendus. En effet, le modèle décrivant l'expansion physiologique des termites est appliqué sur une grille d'une résolution assez fine (100 m), et il nécessite le suivi de chaque individu dans le temps et l'espace, en générant plusieurs répliques pour rendre compte de la part aléatoire de la dispersion. Le temps de calcul augmente donc avec le nombre de mailles considérées dans la grille et le nombre d'individus suivis. L'amélioration est apportée en réduisant les mailles qualifiées d'inadéquates par Tonini *et al.* (2014a).
- 24 Une recherche des facteurs environnementaux favorables aux termites a également été menée (Tonini *et al.*, 2014b) en fonction de points d'infestation par des termites invasifs de deux espèces, appliquée à l'État de Floride. Les données concernant les termites sont uniquement construites sur leur présence sans autres informations quantitatives liées aux points de localisation. Les méthodes testées par les auteurs sont la régression logistique linéaire et l'approche de l'entropie maximale. Les résultats produisent une distribution de probabilités d'infestation en fonction des paramètres testés. Toutefois, le modèle biologique utilisé dans notre projet simule la dispersion des termites sur un espace maillé binaire qui est parfois employé pour d'autres espèces invasives (Bertelsmeier *et al.*, 2013). Par conséquent, au regard de cette contrainte et de la surface couverte par la région Centre-Val de Loire (39 000 km²), notre démarche est descriptive et non prédictive. Elle consiste en une comparaison de la distribution statistique des espaces infestés et non infestés (Facon *et al.* 2015). Une aire favorable booléenne sur la région Centre-Val de Loire alimente ainsi le modèle portant les conditions biotiques de l'expansion des termites¹⁶.
- 25 Après une description des facteurs environnementaux favorables aux termites, la méthodologie comportera trois étapes :
- la comparaison des distributions statistiques : les distributions statistiques de chaque facteur environnemental renseignant les lieux infestés sont comparées aux distributions statistiques des facteurs équivalents sur l'espace étudié ;
 - la détermination d'un seuil : pour chaque facteur validé par l'étape précédente, un seuil est défini à partir duquel l'environnement est potentiellement favorable aux termites ;
 - la combinaison des facteurs : les facteurs validés doivent permettre d'aboutir à une représentation unique de l'espace définissant une aire favorable.

- 26 Cette démarche est appliquée à une description maillée de l'espace régional. Fixée à 100 m de côté, la dimension des mailles est identique à celle choisie par Tonini *et al.* (2013) et arrondit la distance moyenne de dispersion décrite précédemment (114,62 m). Chaque facteur renseigne ces mailles, ainsi que le nombre de lieux connus de l'infestation regroupés dans 195 mailles pour 3 362 300 mailles non infestées. Le semis de lieux infestés ne couvrant pas la totalité de la région, l'espace étudié est réduit aux seuls départements portant au moins un lieu connu de l'infestation. Ainsi tous les départements de la région, excepté l'Eure-et-Loir, forment l'espace étudié par la suite. Ce choix des départements déterminant la zone d'étude se justifie par l'autorité préfectorale qui fixe les périmètres réglementaires de la loi.

Choix des paramètres indirects

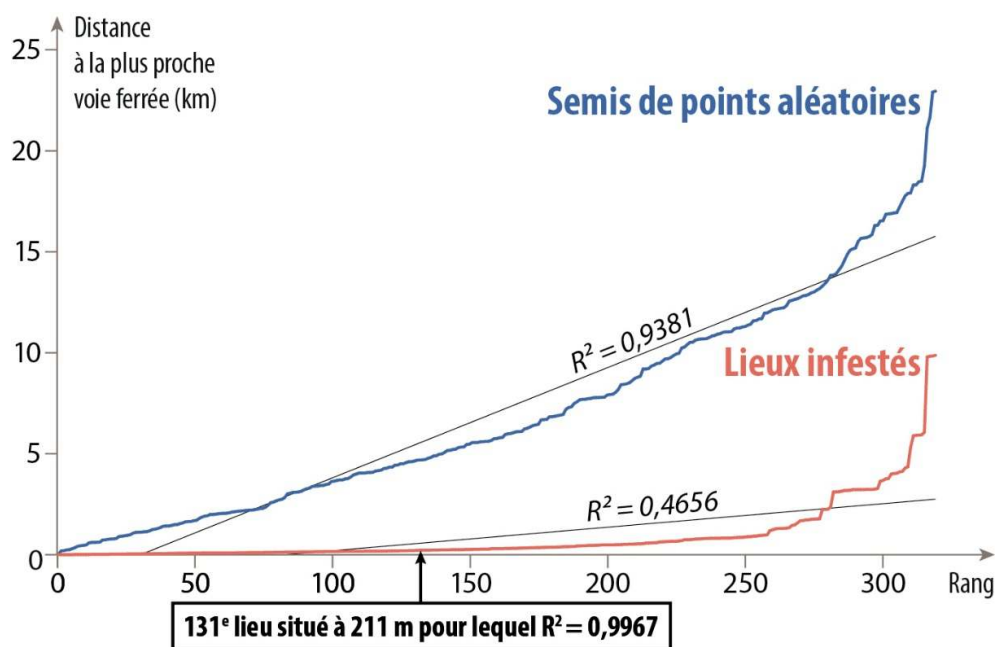
- 27 Des facteurs environnementaux indirects sont proposés comme hypothèse de travail. En concertation avec les experts et grâce à l'expérience de leurs observations, les éléments sont détaillés ci-après en indiquant les sources d'information géographique mobilisées.
- 28 L'occupation du sol bâti est souvent citée par les biologistes (Tonini *et al.*, 2013 ; Ewart *et al.*, 2017). Nous nous proposons de tester la pertinence de cet environnement où les termites trouveraient un abri pour leurs colonies ainsi qu'une source alimentaire importante. La source employée pour analyser ce facteur est la couche des bâtiments indifférenciés de la BD Topo® de l'IGN, et plus particulièrement la surface au sol des constructions renseignant chaque maille de l'espace.
- 29 À l'échelle mondiale, les facteurs climatiques sont pertinents pour de nombreuses espèces invasives (Bellard *et al.*, 2016). À l'échelle de la région étudiée, le climat apparaît tout aussi déterminant dans la mesure où le termite invasif observé est originaire d'une aire climatique subtropicale à méditerranéenne. L'écart conséquent avec le climat océanique du centre de la France¹⁷ ne semble pas limiter son installation. Cet écart climatique oriente l'analyse vers les facteurs de phénomènes extrêmes où les limites physiologiques peuvent être atteintes (Ewart *et al.*, 2017). Toutefois si les extrêmes climatiques sont pertinents, il est préférable d'employer des statistiques homogènes dans le temps et sur l'espace étudié (Joly *et al.*, 2010 ; Wimmer et Richard, 2013). Ainsi, les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales journalières, et les mêmes moyennes pour les taux d'humidité minimale et maximale, sont les indicateurs les plus proches des extrêmes climatiques. Ils sont calculés à partir des données sur 22 ans (1991-2013) de 130 stations météorologiques couvrant un espace plus large que la région (source : Météo-France). Une interpolation par la méthode des voisins naturels est appliquée pour les quatre paramètres et permet d'obtenir une information surfacique renseignant chaque maille (Joly *et al.*, 2010).
- 30 Les forêts de la région et les surfaces en eau sont définies comme étant défavorables aux termites. La nature des points relevés n'attestant que la présence d'infestation et non l'absence d'infestation, ces deux facteurs ne peuvent être validés statistiquement. Pour l'eau, la biologie de l'insecte montre une incompatibilité naturelle corroborée par des expériences effectuées en laboratoire où la présence excessive d'eau refoule les termites, mêmes si ces insectes apprécient une atmosphère relativement humide qu'ils régulent dans leurs galeries (Grassé, 1984). L'absence de termites dans les bois et forêts de la région est un constat empirique réalisé sur le terrain, comme en forêt de Chinon par exemple, où la recherche de termites est restée infructueuse : les zones forestières infestées les plus

septentrionales sont en Vendée comme la forêt d'Olonne (Perdereau *et al.*, 2015). L'hypothèse non validée dans cette recherche est de considérer que, sous nos latitudes, l'humidité des sols forestiers, voire la présence d'eau en hiver, et surtout des températures froides sont défavorables à l'installation des termites.

Un facteur d'introduction : les voies ferrées

- 31 Parmi les facteurs mentionnés, il est nécessaire d'accorder une attention particulière aux voies ferrées dont le rôle est décrit dans la diffusion des termites (Ewart *et al.*, 2017). En géographie, elles ne définissent pas un milieu ou un environnement qui pourrait être favorable en tant que tel, mais une infrastructure de transport. Les observations sur le terrain montrent une proximité particulière à celle-ci. Il convient d'analyser les voies ferrées comme facteur d'introduction ou de diffusion de l'insecte à la faveur de la construction de ces voies, ayant nécessité l'apport de terres et de bois infestés, ou encore par leur transport. Certains relevés de termites à Richelieu ou à St-Pierre-des-Corps près de Tours ont été effectués sur des vieilles traverses en bois posées à même le sol, soit lorsque la ligne ferroviaire n'était plus utilisée (cas de Richelieu), soit lorsque ces traverses, remplacées par de nouveaux matériaux, ont été reléguées sur les côtés des voies.
- 32 Si une relation particulière existe entre les lieux infestés et la proximité à ce mode de transport, alors la distance de chaque lieu à la plus proche voie ferrée¹⁸ à vol d'oiseau doit être analysée (Figure 2). La loi Rang/Taille ou loi de Zipf (Pumain, 2012) est appliquée à cette distance. Très largement employée en géographie urbaine ou en économie, la loi Rang/Taille est utilisée pour son intérêt à décrire les irrégularités que présenterait la distribution du phénomène étudié. Dans le cas où la répartition spatiale des termites n'aurait pas de relation avec la proximité de voies ferrées, la localisation des lieux infestés devrait être indépendante de la distance à la plus proche voie ferrée. Dans cette situation la loi Rang/Taille est une droite. Si nous produisons un semis de points aléatoires, le coefficient de corrélation entre la distance à la plus proche voie ferrée et le rang est de 0,93 (Figure 5) : il existe d'autant plus de points dans l'espace qu'ils sont situés loin d'une voie ferrée. Ce même coefficient calculé pour les lieux infestés est de 0,47. Par conséquent, la répartition des lieux infestés n'est donc qu'en partie aléatoire. Le coefficient indique que la répartition spatiale s'explique pour moitié par la présence de voies ferrées. La présence d'un des nœuds ferroviaires les plus importants de France dans l'agglomération tourangelle n'est sans doute pas anodine.

Figure 5 : Comparaison des distances à la plus proche voie ferrée entre les lieux infestés et un semis de points aléatoires.



- 33 Si l'on recherche le coefficient s'approchant au mieux de 1 sur la série rangée des 320 lieux, la valeur 0,9967 correspond à une distance de 211 m de la voie ferrée. Cet éloignement est biologiquement cohérent par rapport aux distances pratiquées par les termites ailés lors de l'essaimage, ou encore du bouturage par les néoténiques.
- 34 En s'éloignant des voies ferrées, 39,4 % des lieux infestés sont situés au-delà de 458 m (cf. première partie) d'une ligne ferroviaire, et 19,1 % des points sont situés à plus de 1 km (le maximum étant 9,9 km). Ces distances, sans rapport avec les capacités biologiques d'expansion spatiale de l'insecte, indiquent une forte probabilité que d'autres moyens de transports terrestres aient été à l'origine des lieux infestés situés à plusieurs kilomètres d'une voie ferrée. Le transport de bois ou de terres infestés est un paramètre de diffusion des termites connu (Moller, 1996 ; Perdereau, 2010 ; Ewart *et al.*, 2017). Indépendamment de ce second vecteur d'infestation probable, la proximité par les voies ferrées est validée par cette analyse. Elle serait d'ailleurs également visible à Paris¹⁹. Cette proximité peut s'expliquer en partie par l'introduction d'infestation par les voies ferrées, mais toutes les infestations situées à proximité d'une voie ferrée ne sont pas consécutives de nouvelles introductions. La date du début des infestations n'étant pas connue pour chaque relevé, il est impossible de statuer sur le rôle actuel de voies ferrées dans le développement de l'infestation de ces espaces.
- 35 Que ce soient les voies ferrées, les routes, les canaux, les voies fluviales ou autres, les moyens de transport ont permis le déplacement d'une partie de l'environnement des termites : un peu de terre ou de bois contaminés avec une trentaine d'individus peuvent suffire à créer une nouvelle colonie de *R. flavipes* (Pichon *et al.*, 2007). Il apparaît déterminant de comprendre quels sont les facteurs environnementaux que vont trouver les termites pour permettre leur survie puis leur développement.

Analyse du maillage

- 36 Les valeurs de chaque facteur décrit précédemment renseignent la série de mailles infestées et non infestées sur les cinq départements de la région. Les statistiques descriptives sont ensuite comparées par des intervalles de dispersion (graphiques dits en « boîtes à moustaches ») pour valider la pertinence des facteurs (Cauvin *et al.*, 2008). Les boîtes à moustaches appliquées ici utilisent les valeurs charnières qui définissent les plages de valeurs exceptionnelles. Cette représentation graphique n'est pas employée pour les surfaces de bâtiments, dont la distribution est peu pertinente pour cette méthode.

Validation du paramètre des surfaces bâties

Tableau 1 : Statistiques descriptives des surfaces bâties sur la région étudiée.

	BATIMENT	
	Surface (m ²) par maille	
	Non infestée	Infestée
Nombre de mailles	3 362 308	195
Moyenne	70,69	1318,18
Ecart type	338,01	1154,63
Min	0	0
Max	10 000	5 403,05
Q1	0	414,64
Médiane	0	1 065,97
Q3	0	1 921,51

- 37 En effet, le Tableau 1 présente les statistiques descriptives de la surface dont la distribution est fortement dissymétrique, avec une surreprésentation des valeurs nulles, c'est-à-dire sans bâtiments. Dans cette configuration particulière, les quartiles et la médiane sont égaux à 0. Seules les mailles infestées montrent ces mêmes indicateurs non nuls. Par conséquent, la présence de surfaces bâties est clairement plus importante pour les mailles infestées. En effet, la proportion de mailles infestées bâties est de 94 % contre 11 % pour les mailles non infestées (Tableau 2).
- 38 Inversement 6 % des mailles infestées ne présentent aucune superficie de bâtiments, contre 89 % pour les non infestées. Toutefois ces mailles sans constructions sont toutes

voisines de mailles bâties. Ce facteur apparaît donc comme pertinent dans l'explication de la répartition des termites en région Centre-Val de Loire.

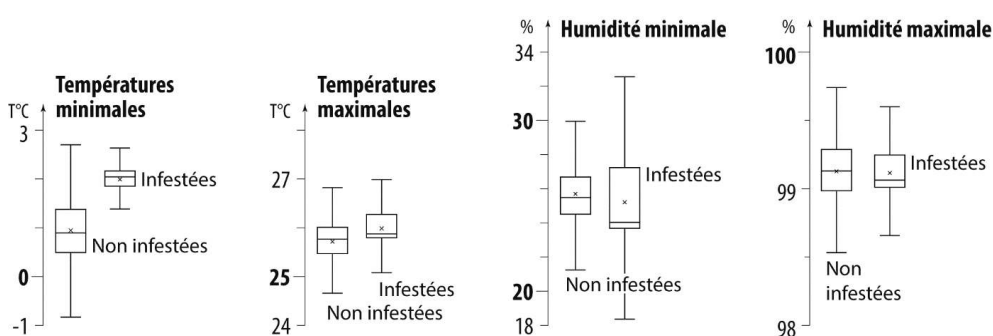
Tableau 2 : Pourcentages de mailles avec ou sans surfaces bâties sur la région étudiée.

	Surfaces bâties par maille	
	Non infestée	Infestée
Mailles vides	88,7 %	6,2 %
Mailles non vides	11,3 %	93,8 %

Validation des paramètres climatiques

- 39 La validation des paramètres climatiques est représentée par des boîtes à moustaches (Figure 6) juxtaposant le graphique des mailles infestées et celui des mailles non infestées. Sur les quatre paramètres climatiques, seules les températures minimales moyennes des mailles infestées sont nettement différentes de celles des mailles non infestées. En effet, les températures négatives ne sont pas représentées dans les valeurs adjacentes des mailles infestées : une seule d'entre elles est concernée par une valeur proche de zéro. La série statistique des mailles infestées est concentrée dans le dernier quartile des mailles non infestées. Par conséquent, les températures hivernales négatives semblent être déterminantes dans la définition de l'aire favorable des termites en région Centre-Val de Loire.
- 40 Les autres paramètres climatiques ne montrent aucun écart aussi net et ne seront pas retenus dans les étapes suivantes.

Figure 6 : Boîtes à moustaches des séries statistiques de mailles infestées comparées aux mailles non infestées.



- 41 Au final, deux facteurs sont retenus : les surfaces bâties, et la moyenne des températures minimales, facteurs pour lesquels il faut désormais déterminer un seuil de validité à partir duquel l'aire favorable pourra être construite.

Détermination d'un seuil

- 42 Pour garantir la comparaison entre les effectifs très contrastés des distributions statistiques des mailles infestées d'un côté et non infestées de l'autre, les séries sont discrétisées. Les paramètres de la discrétisation sont définis par la série ayant le plus petit effectif, celle des mailles infestées. Ils sont ensuite appliqués aux mailles non infestées.
- 43 Le nombre de classes est fixé à 11 en appliquant la méthode de Brooks-Carruthers (Cauvin *et al.*, 2008). La méthode de discrétisation est choisie en fonction de la forme de la distribution statistique des facteurs à analyser. Le test de Shapiro-Wilk est utilisé pour vérifier la normalité statistique des distributions des mailles infestées. Pour le facteur des surfaces bâties, le test indique une distribution qui ne suit pas la loi normale, une discrétisation géométrique sera alors appliquée. Pour le facteur des températures minimales, la série suit une loi normale et une discrétisation basée sur la moyenne et l'écart-type sera appliquée.

Les surfaces bâties

- 44 Une discrétisation géométrique étant appliquée pour le facteur des surfaces bâties, il est nécessaire d'effectuer une pondération pour atténuer le contraste des amplitudes de classes, et permettre ainsi la comparaison des deux distributions (mailles infestées et non infestées), dont les effectifs de mailles sont très différents entre les deux séries. La fréquence pondérée suit cette formule :

$$F_p = F(Cl) \times A(m) / A(Cl)$$

F_p : Fréquence pondérée

$F(Cl)$: Fréquence observée pour la classe à pondérer

$A(m)$: Amplitude minimale parmi les 11 classes d'une distribution

$A(Cl)$: Amplitude de la classe considérée

Tableau 3 : Distribution des surfaces bâties pour les mailles infestées ou non infestées sur la région étudiée (la couleur concernant l'écart relatif exprime une sous-représentation en bleu ou une surreprésentation en rouge des mailles infestées par rapport aux mailles non-infestées).

Classes	Fréquence pondérée mailles infestées	Fréquence pondérée mailles non infestées	Écart relatif (%)
[0 ; 0,07[	6,15	88,68	-93,1 %
[0,07 ; 0,29[	0,00	9,10E-03	-100,0 %
[0,29 ; 0,97[	0,00	4,69E-03	-100,0 %
[0,97 ; 3,13[	0,01	2,50E-03	359,0 %
[3,13 ; 9,97[	0,00	1,59E-03	-100,0 %
[9,97 ; 31,59[	4,55E-03	1,29E-03	253,0 %
[31,59 ; 99,97[	2,15E-03	9,69E-04	122,3 %
[99,97 ; 316,20[	2,50E-03	6,49E-04	285,1 %

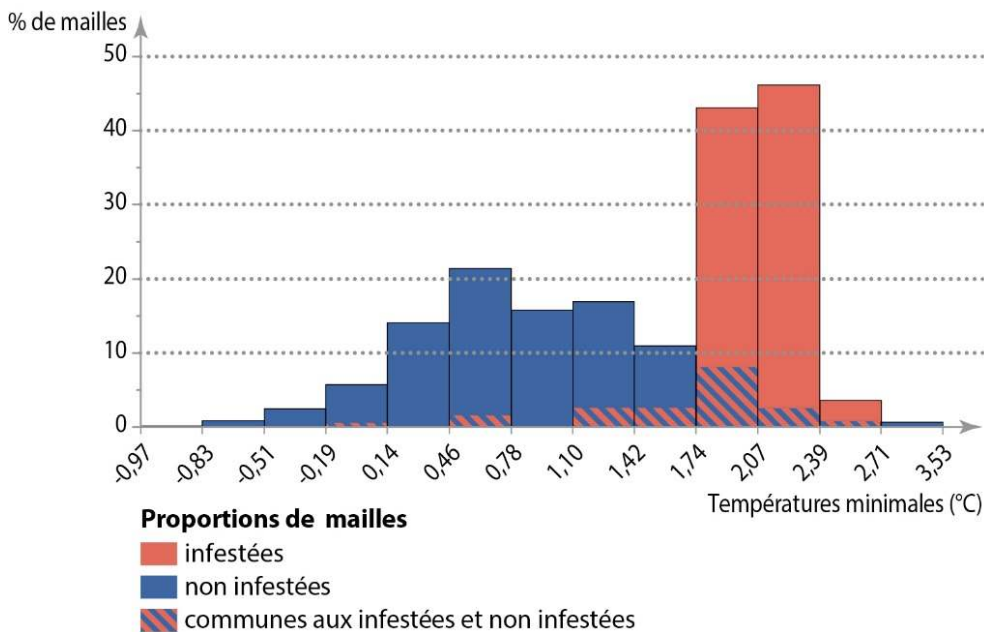
[316,20 ; 999,97[	1,62E-03	2,63E-04	514,8 %
[999,97 ; 3162,26[	1,01E-03	4,48E-05	2155,9 %
[3162,26 ; 10000[	5,74E-05	1,44E-06	3897,4 %

- 45 Le Tableau 3 montre une surreprésentation relative des mailles infestées très nette au-dessus de 9,97 m² de surfaces bâties. Par conséquent, les mailles présentant une surface bâtie supérieure à 10 m², valeur arrondie, sont considérées comme favorables aux termites. On peut penser que la chaleur dégagée par ce type de bâti, ainsi que la présence de bois ou de cellulose nécessaires à leur alimentation, expliqueraient ce type d'environnement.

La température minimale

- 46 Les températures minimales étant discrétisées en fonction de la moyenne et de l'écart-type, l'amplitude des classes est constante et la pondération n'est pas justifiée dans ce cas. La Figure 7 montre le décalage décrit précédemment entre la distribution des deux types de mailles, où une surreprésentation relative des mailles infestées apparaît au-dessus de 1,7°C. Au-dessus de ce seuil, les mailles sont plus favorables au développement des termites en région Centre-Val de Loire.

Figure 7 : Distribution des mailles infestées ou non infestées en fonction de la température minimale sur la région étudiée.



La synthèse des facteurs

47 Les deux facteurs (les surfaces bâties et la moyenne des températures minimales) sont ressortis de l'analyse et sont des caractéristiques de l'environnement. Ils doivent être combinés dans cette dernière étape pour observer les éventuelles relations statistiques avec l'infestation. Une matrice de corrélations (Tableau 4) est produite sur les mailles infestées renseignées par les trois variables suivantes :

- le nombre de lieux infestés,
- la surface bâtie,
- la température minimale annuelle moyenne.

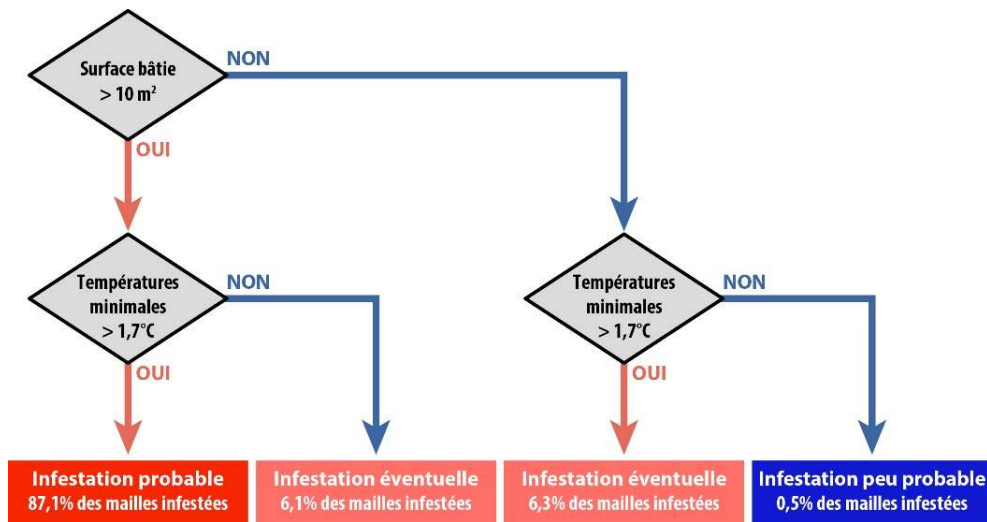
Tableau 4 : Matrice de corrélation de Pearson des facteurs favorables et de l'infestation.

Variabiles	Température minimale	Surface bâtie	Niveau d'infestation
Température minimale	1	0,309	0,133
Surface bâtie	0,309	1	0,084
Niveau d'infestation	0,133	0,084	1

48 Les valeurs des coefficients sont très faibles et traduisent une indépendance relative des facteurs indirects (Caloz et Collet, 2011). Cela montre que le mode de vie des termites les rend capables d'être déconnectés de leur environnement, en compensant les variations régionales des paramètres environnementaux par une adaptation locale à l'échelle du site (Guisan et Zimmerman, 2000) et de la colonie²⁰ (Grassé, 1984). Les résultats séparés des deux facteurs précédemment retenus montrent pourtant un environnement particulier assez net, mais aucun d'entre eux ne conditionne le niveau d'infestation par une corrélation avec le nombre de lieux par maille. Les facteurs plutôt indépendants montrent que l'aire favorable aux termites est déterminée au moins par l'un ou l'autre. Par conséquent la combinaison des deux facteurs est booléenne et s'assimile à un processus d'aide à la décision employé par exemple par les aménageurs pour la recherche d'une localisation optimale (Caloz et Collet, 2011).

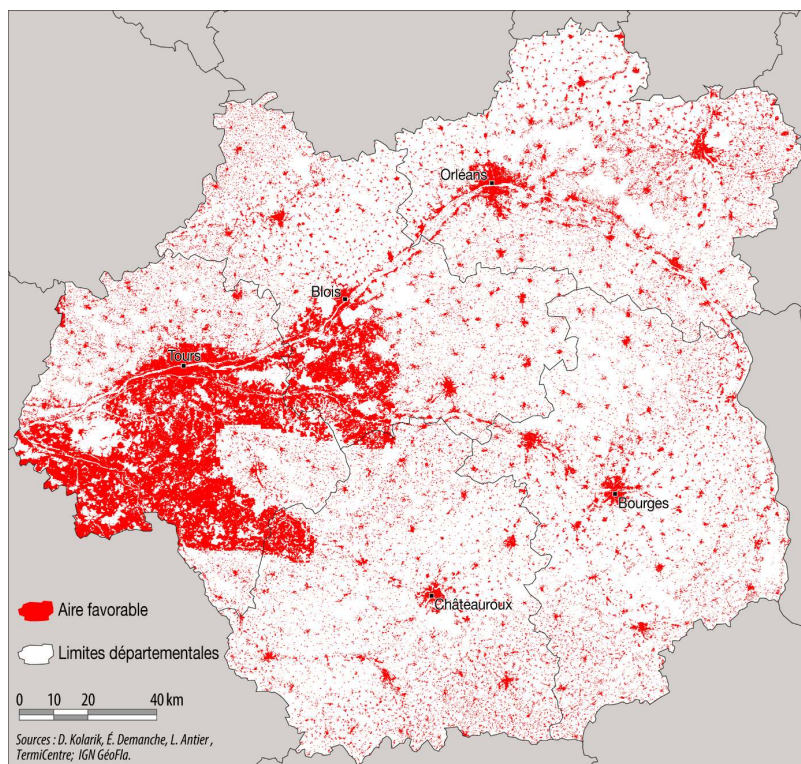
49 La détermination de l'aire favorable aux termites applique la logique binaire de ces outils d'aide à la décision : le facteur déterminant est effectivement réalisé ou il ne l'est pas. Avec une introduction potentielle par le transport terrestre, les termites se développent lorsqu'au moins un des facteurs est supérieur au seuil déterminé. La Figure 8 présente la définition de l'aire favorable finale par la combinaison des deux facteurs : 87 % des mailles infestées vérifient les conditions des deux facteurs et 0,5 % des mailles n'en vérifie aucun.

Figure 8 : Arbre logique de construction de l'aire favorable.



- 50 La carte résultant de l'arbre de décision (Figure 9) représente l'extension spatiale de l'aire favorable au développement des termites. Elle intègre les facteurs potentiellement défavorables à l'expansion décrits précédemment que sont la couverture forestière et les surfaces en eau : lorsque les mailles sont totalement couvertes par l'un des deux facteurs défavorables, alors elles ne peuvent pas être favorables. Ce cas réduit l'extension de l'aire uniquement pour le facteur climatique. Les températures minimales créent une surface plus compacte à l'ouest (en Touraine essentiellement), et la région formerait la limite de l'extension géographique des termites, au moins hors des villes, entre la région parisienne au nord du Centre-Val de Loire, et le Sud-Ouest de la France (Figure 1). La répartition de l'aire en taches disjointes et éloignées est *a priori* contraire aux capacités naturelles d'expansion spatiale des termites qui ne dépassent pas plus de 500 mètres. Seul le facteur anthropique que nous avons déjà décrit est capable d'amplifier la dispersion des termites dans l'espace, mais sa part dans la propagation des termites sur l'espace géographique est difficile à évaluer (Ewart *et al.*, 2017). Le facteur « habitation » est à l'origine de ce morcellement, qui intègre indirectement le rôle anthropique de l'infestation.

Figure 9 : Aire favorable à l'expansion des termites - estimation 2014 sur les 5 départements analysés de la région Centre-Val de Loire.



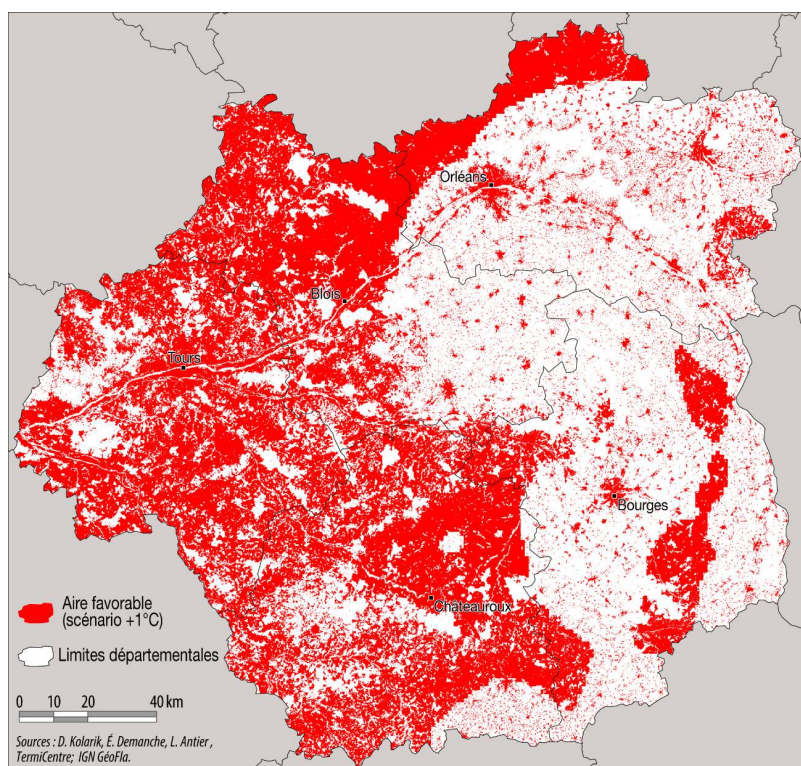
- 51 Le modèle biologique²¹, développé dans le cadre de cette recherche, utilise par la suite cette aire pour évaluer l'expansion potentielle dans les prochaines décennies. Cette aire devient l'espace potentiel d'infestation dans lequel le termite peut se développer après bouturage, essaimage, ou dissémination par le transport terrestre.

Vers un risque-termites

- 52 À cette échelle régionale, la construction d'une aire favorable pour une invasion de ce type est rare en France. Il est nécessaire de discuter le résultat obtenu afin d'améliorer la composition et la délimitation de cette aire.
- 53 En premier lieu, la construction d'un zonage par une sélection booléenne ou binaire est connue pour la simplicité réductrice de sa représentation (Caloz et Collet, 2011 ; Guisan et Zimmermann, 2000). La représentation en présence et absence qui en résulte est stricte : il existe par exemple 0,5 % de mailles infestées situées en dehors de la zone favorable. Si nous avons noté la proximité de ces mailles aux surfaces bâties, le résultat obtenu oblitère les nuances.
- 54 Le corollaire de la description booléenne de l'espace est l'importance des seuils. Le facteur climatique sélectionné dans notre étude est particulièrement sensible à ce phénomène, tant sa variabilité statistique est faible sur la surface de la région étudiée, climatiquement assez homogène : sur la superficie des cinq départements étudiés, la variation des températures minimales n'excède pas 4,5°C. La modification d'un seuil peut ainsi étendre l'aire favorable de façon importante (Bertelsmeier *et al.*, 2013). Dans l'hypothèse du changement climatique, avec l'élévation de la température minimale²² de 1°C, l'aire

favorable passerait de 446 milliers d'hectares à 2 milliards d'hectares, soit une multiplication par 4,5 de la surface (Figure 10). Cette représentation garde les forêts comme un environnement défavorable, alors que dans l'hypothèse de ce changement, il est probable qu'elles deviendraient au moins en partie un milieu investi par les termites. Cette aire serait à réévaluer en fonction de l'évolution de conditions climatiques qui affecteront tout autant les forêts (Wimmer et Richard, 2013).

Figure 10 : Aire favorable aux termites dans l'hypothèse d'une élévation de température de 1°C - estimation 2014 sur les 5 départements analysés de la région Centre-Val de Loire



- 55 Pour améliorer la délimitation de l'aire favorable, d'autres méthodologies peuvent être appliquées, notamment en réduisant l'espace étudié, ou en réunissant un plus grand nombre de lieux infestés (Tonini *et al.*, 2014b). Toutefois l'infestation d'une maille dépend aussi de la période de reproduction ou du vol des termites ailés dont la direction comporte une part de hasard, de même que le bouturage. La modélisation s'appuyant sur les paramètres biologiques des cycles de vie des termites à l'horizon de 2030²³ permettrait ainsi d'affecter à chaque maille une probabilité de présence des insectes. La surface ainsi définie ne serait plus une « aire favorable », mais elle représenterait un risque d'infestation en fonction du temps.
- 56 La problématique des termites croisant les disciplines des SV et des SHS laisse entrevoir la complexité de sa gestion et de ses conséquences sur le territoire régional. Les SHS proposent par exemple d'aborder la complexité territoriale par l'incertitude et l'imprécision utilisées par la logique floue (Rolland-May C., 2000). Dans une évaluation de l'infestation en région Centre-Val de Loire, cette orientation prendrait en compte la composante humaine et sociale en abordant potentiellement les sujets suivants : la position des services communaux face à la menace d'une infestation, la réglementation dans le cadre des arrêtés préfectoraux, la variation de l'infestation possible en fonction du type de constructions (matériaux de construction à base de bois traités ou non par

exemple), les formes d'infestations préjudiciables ou non à l'activité humaine, etc. De tels questionnements imposent un travail interdisciplinaire plus étroit entre SHS et SV, voire une transdisciplinarité (Claeys et Thiann-Bo Morel, 2015).

- 57 Notre démarche interdisciplinaire, et davantage encore dans une perspective transdisciplinaire, nous permet de rapprocher la gestion de l'expansion des termites de la géographie du risque naturel. Le corollaire de cette notion est évalué en géographie en termes d'aléa et de vulnérabilité (Dauphiné et Provitolo, 2013). Nous avons décrit le régime alimentaire des termites qui rendent vulnérables les constructions où le bois, et plus généralement la cellulose, sont présents. L'aléa, décrivant la probabilité qu'un évènement survienne dans une période déterminée, est souvent lié à la catastrophe. La présence des termites ne crée pas de phénomènes aussi violents qu'une crue, un séisme, ou une avalanche. Ils infestent une habitation sur une période longue, et leur présence souterraine est insidieuse et insoupçonnée jusqu'au diagnostic immobilier ou aux dégâts visibles. Le risque de présence de termites ne peut pas être qualifié réellement de majeur, mais l'infestation fait peser une menace sur l'intégrité des bâtiments, et par conséquent sur ses habitants, doublée d'un coût important de réparation et de traitement. Par conséquent, il est possible de définir un aléa lié aux termites par la probabilité de leur présence. L'aire favorable peut être affinée dans ce sens.
- 58 Le risque ne se réduit pas à la définition spatiale de son aléa. Il est aussi le résultat d'une prise de conscience par les acteurs de la société (Martinais *et al.*, 2013). En plus de l'aspect technique et de l'analyse spatiale, la géographie peut tout autant investir le champ social de l'infestation des termites. Le rôle des individus et de leurs actions est nécessaire à la prise de conscience d'un risque. Plus que pour tout autre type de phénomène naturel, il est possible d'opposer une petite partie de la société, qui connaît l'existence de l'infestation par les termites, au reste de la société qui n'en a pas connaissance (Martinais *et al.*, 2013).
- 59 Comme nous l'avons indiqué en première partie, le rôle des experts est indispensable à la prise de conscience d'un risque-termites du fait du mode de vie souterrain de l'insecte. La diffusion de l'information est nécessaire auprès d'autres acteurs non experts pour réduire le risque (Dauphiné et Provitolo, 2013). Cette information est diffusée auprès des acteurs pouvant être confrontés à cet insecte comme la filière industrielle du bois ou les services municipaux. Les syndicats interprofessionnels de la filière du bois²⁴ jouent ce rôle d'information et de prévention auprès de leurs adhérents. Les services municipaux, qu'ils soient des services des espaces verts ou de l'hygiène, comme c'est le cas par exemple à Tours, sont les premiers acteurs publics à être confrontés aux termites. Toutefois, il faut souligner que les communes sont soumises à une législation qui ne favorise pas la connaissance de l'infestation sur un espace plus large que les périmètres des arrêtés préfectoraux. En effet, un décret du 28 novembre 2014 réduit la politique de prévention et d'adaptation de constructions contre les termites au seul périmètre de l'arrêté, alors qu'elle s'appliquait auparavant à tout département possédant au moins une infestation légalement reconnue. Nous avons remarqué en première partie un décalage entre l'infestation et les périmètres. Au regard de la législation actuelle, il serait nécessaire d'actualiser ce périmètre²⁵ pour avoir une meilleure connaissance de l'infestation, et anticiper l'adaptation de nos constructions avant la présence de termites sur un territoire, comme cela est fait au Japon par exemple.
- 60 L'amélioration de la connaissance de l'infestation doit pouvoir être généralisée pour une meilleure gestion du termite (Haury *et al.*, 2015). Elle doit couvrir un large espace (la

commune *a minima*) et un public spécialiste ou non. En effet, les propriétaires ont selon la Loi l'obligation d'informer leur mairie de la présence d'infestation sur leur terrain ou dans leur habitation. Par conséquent, l'information doit aussi être diffusée à l'ensemble des habitants potentiellement concernés par l'infestation (Ewart *et al.*, 2017). Ceux résidant dans des communes infestées, ou pouvant l'être à court ou moyen terme, doivent pouvoir connaître cet insecte et reconnaître les maigres indices de présence qu'il laisse. Cette identification par la population peut générer des comportements opposés : soit les habitants informeront d'une infestation leur municipalité ou des professionnels, soit ils la cacheront, préférant se voiler la face sur les conséquences à venir sur leur patrimoine bâti. Cette posture niant le risque est bien connue (Scarwell *et al.*, 2014) et semble aussi le cas pour un phénomène souterrain comme le mentionne Watissée (2016) dans ses enquêtes. Le déni est pourtant préjudiciable individuellement, mais surtout collectivement à terme. Il serait intéressant d'analyser la perception qu'ont les habitants de cette infestation particulière puisqu'elle est peu visible. A ce jour une seule étude a été menée dans le cadre d'un projet initié par la Ville de Paris avec l'IRBI (Watissée, 2016). Elle pointe la nécessité de sensibiliser la population pour mieux fédérer les moyens humains et financiers pour l'éradication. La prise de conscience collective est indispensable à la réussite de projets de traitement de l'infestation. Les termites souterrains, du fait de leur vie cryptique, troublent peu le public, et ce malgré une législation encore mal connue sur ce risque, jusqu'à ce qu'un bien soit touché.

Conclusion

- 61 En abordant la géographie des termites, nous avons identifié un risque qui pèse sur la société avec des modalités de gestion et de prévention de l'infestation. Les modes de régulation existent, et notre étude propose une première représentation spatiale de l'infestation observée et potentielle. Sans tomber ici dans le catastrophisme, il est important d'adapter la connaissance et les outils de prévention, tels que les périmètres préfectoraux, dont les extensions doivent être actualisées régulièrement. Ensuite l'acceptation sociale de ce risque passe par une information sur ces insectes. La connaissance du risque apparaît alors importante, d'autant plus qu'il n'est pas réaliste, d'après les professionnels, de viser l'éradication des termites. On peut essayer toutefois de le contrôler pour limiter les nuisances, en organisant des luttes plus collectives et des campagnes de communication plus importantes. La diffusion d'information concernant des solutions radicales participe au discours catastrophiste connu dans la société dans certaines situations d'invasions biologiques (Menozzi, 2010). Il serait plus raisonnable de « vivre avec », comme pour d'autres types de risques, en adaptant nos modes de vie et de construction, comme par exemple l'utilisation de matériaux adéquats, et en limitant et contrôlant les transports de gravats, terres et bois.

BIBLIOGRAPHIE

- Alvarez S., 2016, "Potential economic costs of invasive structural pests: conehead termites, *Nasutitermes corniger*, in Florida", *Journal of Environmental Planning and Management*. 25 avril 2016, DOI : 10.1080/09640568.2015.1130689 URL : <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2015.1130689>
- Antier L., Demanche É., Kolarik D., 2014, "TermiCentre, Termites en région Centre : modélisation et représentation cartographique des données de répartition et leurs variables", École Polytechnique Universitaire – Département Aménagement, Rapport de stage de groupe, Université de Tours.
- Atlan A. et Darrot C., 2012, "Les invasions biologiques entre écologie et sciences sociales : quelle spécificités pour l'Outre-Mer français ? ", *la Revue d'écologie – la Terre et la Vie*, Supplément 11, 101-111.
- Bagnères A.-G., Clément J.-C., Blum M.S., Severson R. F., Joulie C., Lange C., 1990, "Cuticular hydrocarbons and defensive compounds of *Reticulitermes flavipes* (Kollar) and *R. santonensis* (Feytaud): polymorphism and chemotaxonomy", *Journal of Chemical Ecology*, vol. 16, 3213-3244.
- Bellard C., Leroy B., Thuiller W., Rysman J.-F., F. Courchamp, 2016, "Major drivers of invasion risks throughout the world", *Ecosphere*, vol. 7, N° 3, DOI: 10.1002/ecs2.1241
- Bertelsmeier C., Luque G., Courchamp F., 2013, "Increase in Quantity and Quality of Suitable Areas for Invasive Species as Climate Changes: Range of Invasive Species", *Conservation Biology*, vol. 27, No.6, 1458-1467. DOI: 10.1111/cobi.12093
- Bradshaw Corey J. A., Leroy B., Bellard C., Roiz D., Albert C., Fournier A., Barbet-Massin M., Salles J.-M., Simard F. et Courchamp F., 2016, "Massive yet Grossly Underestimated Global Costs of Invasive Insects", *Nature Communications*, vol. 7: 12986. DOI: 10.1038/ncomms12986.
- Buczowski G., Bertelsmeier C., 2017, "Invasive termites in a rapidly changing climate: a global perspective". *Ecology and Evolution*, sous-presse.
- Caloz R., Collet C., 2011, *Analyse spatiale de l'information géographique*, Science & ingénierie de l'environnement, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Cauvin C., Escobar F., Serradj A., Antoni J.-P., 2008, *Cartographie thématique ; 3 Méthodes quantitatives et transformations attributaires*, Traité IGAT, Information géographique et aménagement du territoire. Paris, Hermès science Lavoisier.
- Claeys C., Thiann-Bo Morel M., 2015, "L'apport de la sociologie à l'analyse des invasions biologiques : retour d'expériences et pistes de recherche pour dépasser déceptions méthodologiques et irritations épistémologiques", Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France, *La Terre et la Vie - Revue d'Écologie*, vol. 70, Supplément No.12 « Espèces invasives », 175-190.
- Clark P. J., Evans F. C., 1954, "Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations". *Ecology*, vol. 35, No.4, 445-53.
- Clément J.-L., Bagnères A.-G., Uva P., Wilfert L., Quintana A., Reinhard J., Dronnet S., 2001, "Biosystematics of *Reticulitermes* termites in Europe, Morphological, chemical, molecular data", *Insectes Sociaux*, vol. 48, 202-215.

- Dauphiné A. et Provitilo D., 2013, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Paris, A. Colin, Collection U.
- Ewart, D., Nunes L., de Troya T., Kutnik M., 2017, "Termites and a Changing Climate". in: *Climate Change Impacts on Urban Pests*, Ed. P. Dhang, 80-94. Wallingford: CABI, DOI: 10.1079/9781780645377.0080
- Facon B., Genton B.J., Shykoff J., Jarne P., Estoup A., David P., 2006, "A general eco-evolutionary framework for understanding bioinvasions", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 21, No.3, 130-135.
- Facon B., Mailleret L., Renault D., Roques L., 2015 "Processus d'invasion biologiques : de l'approche descriptive à l'approche prédictive", *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, vol. 70, Supplément No.12, 110-113.
- Fall, J., Matthey L., 2011, "De plantes dignes et d'invasions barbares : Les sociétés au miroir du végétal". *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, DOI : 10.4000/vertigo.11046
- Franklin J., 2010, *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge, New York, Cambridge University Press.
- Grassé P.-P., 1984, *Termitologia*, Tome 2, Paris, Masson.
- Guisan A., Zimmermann N.E., 2000, "Predictive habitat distribution models in ecology", *Ecological Modelling*, vol. 135, No.2-3, 147-186.
- Hauray J., Tassin J., Renault D., Atlan A., 2015, "Évaluation socio-économique et gestion des invasions biologiques", Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France, *La Terre et la Vie - Revue d'Écologie*, vol. 70, Supplément No.12 "Espèces invasives", 172-174.
- Jacquot C., 1965, "Sur une nouvelle colonie de termite de saintonge à Chouzé-sur-Loire (*Reticulitermes santonenensis*, de Feytaud)", *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*. Paris, 993-994. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6512291t>
- Kenis M., Rabitsch W., Auger-Rozenberg M.A., Roques A., 2007, "How can alien species inventories and interception data help us prevent insect invasions?", *Bulletin of Entomological Research*, vol. 97, 489-502.
- Le Berre I., Hily C., Lejart M., Gouill R., 2009, "Analyse spatiale de la prolifération de *C. gigas* en Bretagne". *Cybergeo : European Journal of Geography*, 8 décembre 2009. DOI : 10.4000/cybergeo.22818 URL : <http://0-cybergeo.revues.org.sso.scd.univ-tours.fr/22818>
- Leniaud L., Darrouzet E., Dedeine F., Ahn K., Huang Z.Y., Bagnères A.-G., 2011, "Ontogenic potentialities of the worker caste in two subterranean termites", *Evolution & Development*, vol. 13, No.2, 138-148.
- Martinais E., Morel-Journel C., Duchêne F., 2013, "La construction sociale du risque environnemental : un objet géographique ?", in : Séchet R., Veschambre V. (dir.), *Penser et faire la géographie sociale : Contribution à une épistémologie de la géographie sociale*, Géographie sociale. Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- McGeoch M.A., Butchart S., Spear D., Marais E., Kleynhans E., Symes A., Chanson J., Hoffman M., 2010, "Global indicators of biological invasion: species numbers, biodiversity impact and policy responses", *Diversity and Distributions*, vol. 16, N° 1, 95-108.
- Menzio M.-J., 2010, "Comment catégoriser les espèces exotiques envahissantes", *Études rurales*, No.185, 51-66. URL : www.cairn.info/revue-etudes-rurales-2010-1-page-51.html
- Moller H., 1996, "Lessons for invasion theory from social insects". *Biological Conservation*, vol. 78, 125-142.

- Nicosia G., 2012, "Les infestations des collections patrimoniales : goût des insectes et évaluation des risques". *In Situ. Revue des patrimoines*, No.19.
- Perdereau E., Bagnères A.-G., Dupont S., Dedeine F., 2010a, "High occurrence of colony fusion in a French population of the American termite *Reticulitermes flavipes*: did social organization evolve after introduction?", *Insectes Sociaux*, vol. 57, 393-402.
- Perdereau E., Dedeine F., Christidès, J.-P., Bagnères, A.-G., 2010b, "Variations in worker cuticular hydrocarbons and soldier isoprenoid defensive secretions within and among introduced and native populations of the subterranean termite, *Reticulitermes flavipes*", *Journal of Chemical Ecology*, vol. 36, 1189-1198.
- Perdereau E., 2010, "Biologie de l'invasion d'un termite américain en France : évolution de l'organisation sociale et conséquences sur le succès invasif", Thèse de doctorat, Université François-Rabelais, Tours, 274p.
- Perdereau E., Dedeine F., Christidès J.-P., Dupont S., Bagnères A.-G., 2011, "Competition between Invasive and Indigenous Species: An Insular Case Study of Subterranean Termites", *Biological Invasions*, vol. 13, No.6, 1457-1470.
- Perdereau E., Velona A., Dupont S., Labédan M., Luchetti A., Mantovani B., Bagnères A.-G., 2013a, "Colony breeding structure of the invasive termite *Reticulitermes urbis*", *Journal of Economic Entomology*, vol. 106, 2216-2224.
- Perdereau E., Bagnères A. G., Bankhead Dronnet S., Dupont S., Zimmermann M., Vargo E.L. Dedeine F., 2013b, "Global genetic analysis reveals the putative native source of the invasive termite, *Reticulitermes flavipes*, in France", *Molecular Ecology*, vol. 22, 1105-1119.
- Perdereau E., Bagnères A.-G., Vargo E.L., Baudouin G., Xu Y., Labadie P., Dupont S., Dedeine F., 2015, "Relationships between invasion success and colony breeding structure in a subterranean termite", *Molecular Ecology*, vol. 24, 2125-2142.
- Pichon A., Kutnik M., Leniaud L., Darrouzet E., Châline N., Dupont S., Bagnères A.-G., 2007, "Development of experimentally orphaned termite worker colonies of two *Reticulitermes* species", *Sociobiology*, vol. 50, 1200-1208.
- Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T., Tsomondo T., 2001, "Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 84, No.1, 1-20.
- Pumain, D., 2012, "Une théorie géographique pour la loi de Zipf", *Région et Développement*, No.36, 36-54.
- Rolland-May C., 2000, *Évaluation des territoires : concepts, modèle, méthodes*, Paris, Hermès science.
- Tonini F., Hochmair H.H., Scheffrahn R.H., DeAngelis D.L., 2013, "Simulating the spread of an invasive termite in an urban environment using a stochastic individual-based model", *Environmental Entomology*, vol. 42, 412-423.
- Tonini F., Hochmair H.H., Scheffrahn R.H., DeAngelis D.L., 2014a, "Stochastic spread models: A comparison between an individual-based and a lattice-based model for assessing the expansion of invasive termites over a landscape", *Ecological Informatics*, vol. 24, 222-30. DOI : 10.1016/j.ecoinf.2014.09.011
- Tonini, F., Divino F., Lasinio G.J., Hochmair H.H., Scheffrahn R.H., 2014b, "Predicting the Geographical Distribution of Two Invasive Termite Species From Occurrence Data", *Environmental Entomology*, vol. 43, No.5, 1135-1144.

Trépos J.-Y., 2002, "L'expertise comme équipement politique de la société civile", *Questions de communication*, N° 2, 7-18. DOI : 10.4000/questionsdecommunication.7064

Scarwell, H.-J., Schmitt G., Salvador P.-G., (dir.) 2014, *Urbanisme et inondation : outils de réconciliation et de valorisation*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, Coll. Environnement et société, No.1460.

Shelton T.G., Hu X.P., Appel A.G., Wagner T.L., 2006, "Flight speed of tethered *Reticulitermes flavipes* (Kollar) (Isoptera: Rhinotermitidae) alates", *Journal of Insect Behavior*, vol. 19, 115-128.

Watissée P., 2016, "Vivre avec les termites à Paris - Une relation entre les habitants, l'insecte et les pouvoirs publics, à travers le prisme des connaissances, des perceptions et des actions", rapport de stage Master 2 BIOTERRE, Université Paris 1 la Sorbonne.

Wimmer W., Richard Y., 2013 "Les hêtraies du Châtillonnais (Côte-d'Or) face au changement climatique", *M@ppemonde*, No.109. <http://mappemonde.mgm.fr/num37/articles/art13105.html>

NOTES

1. Projet de recherche TermiCentre financé par la région Centre-Val de Loire, coordonné par Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte (CNRS - Université de Tours). Nous tenons à remercier les personnes ayant participé au projet et plus particulièrement Lolita Antier, Élise Demanche et Daphné Kolarik, élèves ingénieures d'Aménagement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours en stage de groupe pour l'analyse spatiale. Pour la collecte des échantillons de termites et des informations des sites infestées, nous remercions Ingrid Arnaud du CETU INNOPHYT de l'Université de Tours et Marie-Pierre Dufresne de la Fredon Centre-Val de Loire. Enfin, nous remercions Agroclim de l'INRA à Avignon et Météo-France pour la mise à disposition des données climatiques.

2. Inventaire européen des espèces envahissantes, Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE) : <http://www.europe-aliens.org> (consulté le 15/04/2016)

3. <http://www.iucn.org> (consulté le 15/04/2016)

4. Par commodité, le mot « termite » identifiera désormais indifféremment les espèces de termites *Reticulitermes flavipes* et *Reticulitermes grassei* étudiées dans cet article.

5. Cette estimation s'appuie sur les dégradations d'une espèce différente du termite étudié dans l'article, mais qui crée des dégâts similaires.

6. Voir l'article suivant en ligne (consulté le 20/06/2017) : <http://lavoixdu14e.blogspot.com/archive/2012/04/09/des-termites-dans-le-14eme-un-immeuble-evacue.html>

7. Suppo C., Robinet C., Perdereau E., Andrieu D. et Bagnères A.-G., "Potential spread of the invasive North American termite, *Reticulitermes flavipes*, and the impact of climate warming", accepté avec revisions mineures dans *Biological Invasions*.

8. Perdereau E., Baudouin G., Bankhead-Dronnet S., Chevalier Z., Zimmermann M., Dupont S., Dedeine F. and Bagnères A.-G. "Genetic analysis of termite pest infestations at different spatial scales", *en préparation*.

9. IRBI : Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte, UMR 7261 CNRS - Université François-Rabelais de Tours (<http://irbi.univ-tours.fr/>).

10. Le CETU Innophyt est un Centre d'Expertise et de Transfert Universitaire de l'Université François-Rabelais. (<http://innophyt.univ-tours.fr/>).

11. Fredon : Fédération régionale de défense contre les organismes nuisibles qui anime le réseau d'épidémiologie-surveillance sur diverses espèces animales ou végétales.

12. Les applicateurs sont les sociétés qui mettent en œuvre des traitements d'élimination des termites.

13. Lorsque des municipalités sont concernées par les termites, des agents des espaces verts, des services d'hygiène ou encore des services de l'habitat ont les compétences pour reconnaître les termites.

14. Cf. note 1

15. La méthode est appliquée sous ArcGIS 10.2, pour laquelle le semis de points aléatoires est généré sur la même couverture spatiale que les observations.

16. Cf. note 7

17. On peut citer les écarts suivants : à la Nouvelle-Orléans la température annuelle moyenne est de 20,9°C, contre 11,2°C à Tours, les précipitations cumulées annuelles moyennes sont respectivement de 1613 mm et 612 mm.

18. Les voies ferrées considérées intègrent les anciennes lignes désaffectées mais on ne prend pas en compte les lignes nouvelles à grande vitesse qui ne transportent pas de marchandises et pour lesquelles les traverses sont en acier et béton.

19. Baudouin G., Bech N., Dedeine F., Dupont S., Bagnères A.-G., « Introduction and dispersion processes of an American termite in Paris », colloque international SFE2016, Marseille.

20. Perdereau *et al.*, op. cit.

21. Cf. note 7

22. Température minimale de 1,7°C : voir paragraphe 2.4.2.

23. Ibid.

24. Par exemple l'Institut technologique FCBA : <http://www.fcba.fr/> (consulté le 12/01/2017)

25. Suite aux résultats produits par le projet TermiCentre, une délibération du conseil municipal de la ville de Tours (Indre-et-Loire, 37) du 15 mai 2017 étend le périmètre des zones termitées ou susceptibles de l'être à court terme, de 28 à 975 hectares. L'intérêt de ce nouveau zonage est de couvrir entièrement l'espace le plus densément peuplé de la ville, pour que les déclarations et les traitements arrivent à terme à réduire les infestations. Le travail de zonage a été étendu par la suite pour l'ensemble du département par la Direction départementale du territoire d'Indre-et-Loire.

RÉSUMÉS

Cet article présente une recherche sur les termites souterrains en région Centre-Val de Loire. Très peu étudiée en sciences humaines et sociales, la géographie de ces insectes – dont une espèce observée, le *Reticulitermes flavipes*, classée comme invasive au niveau international – est analysée pour comprendre les facteurs de sa répartition spatiale. En collaboration avec les sciences du vivant où ces insectes sont largement étudiés, la géomatique et l'analyse spatiale de la répartition de ces insectes ont permis de déterminer une aire favorable à leur expansion. Au final, cette géographie des termites identifiant divers acteurs mobilisés au sujet de ces insectes pose la question d'une prise de conscience du « risque-termites » dans notre société.

This study presents research concerning subterranean termites found in the Centre-Val de Loire region. More specifically, we examined the geographical distribution of *Reticulitermes flavipes*, a globally invasive species. This work was conducted in collaboration with both social and life science specialists in order to better understand the factors mediating its spatial distribution. Using geomatics and the spatial analysis of *R. flavipes*' distribution, we were able to define geographical areas favorable to the termite. This geographical study and the diversity of players

involved in this research underscore a growing awareness of termite invasion risks in society at large.

INDEX

Keywords : termites, Reticulitermes flavipes, invasive species, spatial analysis, favorable area, urban pest, biological risk assessment

Mots-clés : termites, Reticulitermes flavipes, espèce invasive, analyse spatiale, aire favorable, nuisible urbain, risque-termites

Index géographique : Europe, Europe de l'ouest, France, Centre Val de Loire

AUTEURS

DOMINIQUE ANDRIEU

dominique.andrieu@univ-tours.fr Ingénieur d'études

USR 3501 MSH Val de Loire – Université François-Rabelais, Tours, France

ELFIE PERDEREAU

christelle.robinet@inra.fr Chargée de recherche

perdereau@univ-tours.fr Ingénieur de recherche

UMR 7261 Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte,

CNRS – Université François-Rabelais, Tours, France

CHRISTELLE ROBINET

christelle.robinet@inra.fr Chargée de recherche

INRA, UR633 Zoologie Forestière, Orléans, France

CHRISTELLE SUPPO

christelle.suppo@univ-tours.fr Professeur

UMR 7261 Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte,

CNRS – Université François-Rabelais, Tours, France

SIMON DUPONT

simon.dupont@univ-tours.fr Ingénieur d'études CNRS

UMR 7261 Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte,

CNRS – Université François-Rabelais, Tours, France

MAXIME CORNILLON

maxime.cornillon@univ-tours.fr Ingénieur d'études

CETU Innophyt, Université de Tours, Tours, France

ANNE-GENEVIÈVE BAGNÈRES

bagneres@univ-tours.fr Directrice de recherche CNRS

UMR 7261 Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte,

CNRS – Université François-Rabelais, Tours, France