

EXPOSITION À LA BORRÉLIOSE DE LYME : COMMENT CARTOGRAPHIER LES DÉPLACEMENTS EN FORÊT ?

par Vincent Godard

Professeur, Université de Paris 8 - Saint-Denis
UMR 8185 Espaces, nature et culture CNRS
vgodard@univ-paris8.fr

Christelle Méha

Doctorante, Université Paris-Sorbonne (Paris 4)
UMR 8185 Espaces, nature et culture CNRS
christelle.meha@sfr.fr

Olivier Thomas

Ingénieur support, ESRI France, ancien du Master Géomatique,
géomarketing et multimédia de Paris 8
othomas@esrifrance.fr

Bien connue en milieu rural, la borréliose de Lyme semble poser une nouvelle problématique de santé publique dans les espaces fortement urbanisés. Alors qu'il est sans doute trop tôt pour parler d'émergence (ou de réémergence) en région Île-de-France, il devient toutefois nécessaire de prendre en considération les expositions et les facteurs de risque liés à cette maladie, particulièrement pour les populations urbaines, qui sont souvent mal informées sur le risque de borréliose de Lyme. Nous souhaitons mettre en évidence les contacts entre les itinéraires de déplacement des usagers en forêt et les espaces et environnements « à risque ». Pour ce faire, nous avons réalisé un certain nombre d'enquêtes auprès des populations fréquentant la forêt domaniale de Sénart en 2009 et 2010. Ces enquêtes ont relevé, par cartographie, les itinéraires empruntés par les promeneurs et, par questionnaires, les paramètres sociodémographiques qui les caractérisent. Un autre volet de cette étude est actuellement en cours pour évaluer le niveau d'infestation des parcelles forestières (collectes de tiques in situ et sur cervidés). Il va permettre de rechercher en quoi la structuration de l'espace forestier peut favoriser le contact entre usagers et vecteur de la maladie, l'intérêt étant de spatialiser ce contact et de réfléchir à la façon de minimiser le risque sur le plan paysager. Cependant, la méthode de collecte déclarative des itinéraires par cartographie manuelle doit être comparée à des méthodes passives pour élucider certains comportements des promeneurs.

Well known in rural areas, Lyme borreliosis poses a new problem of public health in heavily urbanized spaces. While it is too early to say whether there is an emergence (or a re-emergence) of Lyme borreliosis in the Île-de-France Region, however, it is necessary to take into account exposures and risk factors related to this disease, particularly for urban populations which are sometimes poorly informed about the risk of Lyme borreliosis. For instance, we need to do some research on the contacts between the routes that people follow in the forest and the spaces and environments considered to be risky (e.g. the most suitable habitat for ticks). So, we have therefore carried out a number of inquiries on people who are doing some physical activities in the pilot site of the Forest of Sénart in 2009-2010. Such inquiries have recorded, by mapping, the routes followed by users, and by questionnaires, the socio-demographic parameters that are associated to each of them. Another section of the present study is carried out, at the moment, to estimate tick abundance in Sénart Forest (ticks sampling from the vegetation and from deer populations). It will then be possible to find how the structure of a forest area is likely to favour the contact between forest users and vectors of the disease; the outcome being the spatialization of this contact and to study ways in which it is possible to minimize risk via the landscape and design. However, the declarative method of itineraries reported by manual mapping must be compared with passive method to elucidate the behaviour of some walkers.

Introduction

La borréliose de Lyme, plus communément appelée maladie de Lyme, est une zoonose infectieuse due à des espèces de *Borrelia burgdorferi* sensu lato (sl). Elle est transmise à l'homme par l'intermédiaire d'une piquûre de tique infectée par ce complexe bactérien. D'après Jongejan et Uilenberg (2004), la borréliose de Lyme est actuellement la maladie à transmission vectorielle la plus fréquente sur l'ensemble de son aire de répartition. Sa distribution géographique apparaît étroitement liée à celle de son vecteur, une tique du genre *Ixodes*, dont la répartition s'étend du Japon à l'Amérique du Nord et de la Scandinavie à l'Afrique du Nord (Ward et Brown, 2004).

Avec près de 30 000 cas annuels aux États-Unis en 2009 (CDC, 2011) et près de 85 000 cas incidents en Europe (Lindgren et Jaenson, 2006), l'Amérique du Nord et l'Europe sont les deux principaux foyers d'endémie. De façon générale, l'homme contracte cette maladie dans les milieux forestiers où se trouvent préférentiellement les tiques (Gilot et al., 1994). Le risque de transmission de l'infection chez l'homme est alors lié à l'abondance et au taux d'infestation de son vecteur principal, à savoir les tiques du groupe *Ixodes ricinus* en Europe de l'ouest (Anderson et al., 1986), et aux différents types de comportement humain.

Si la borréliose de Lyme, maladie transmise par des espèces de tiques, touche surtout les professionnels de la forêt (bûcherons, gardes forestiers...), elle concerne aussi tous ceux qui ont des activités de loisirs et de détente en forêt (marche à pied, jogging, cyclisme, randonnée à cheval, cueillette...). Dès lors, le processus de contamination s'articule à l'intérieur d'« espaces partagés » (Hervouët, 2003) entre populations de tiques et usagers de la forêt. Il convient donc de s'interroger sur le lien entre certaines configurations spatiales visibles et les comportements socio-spatiaux observés afin d'identifier des lieux de réalisation du contact entre usagers et vecteurs de maladies. La cartographie des itinéraires de déplacement des usagers ainsi que celle de la distribution des populations de tiques s'inscrivent dans cette démarche que nous nous proposons de mener en forêt domaniale de Sénart (fig. 1). Présenté comme un espace-laboratoire intéressant à travailler en liaison avec une problématique de santé publique, ce petit massif forestier périurbain (3 200 ha) du sud-est parisien connaît une fréquentation très élevée dont le nombre de visites annuelles était déjà estimé à plus de trois millions, il y a 10 ans (Maresca, Credoc, 2000).

Or, d'un point de vue méthodologique, comment cartographier les itinéraires de déplacement des usagers en forêt pour évaluer la pénétration dans des espaces et environnements plus ou moins à « risque » ? Le recueil d'informations en fin de promenade est-il suffisamment fiable ? La mémoire humaine permet-elle de retracer un itinéraire qui a duré plusieurs heures ? Existe-t-il un mode de collecte qui ne fasse pas appel à la mémoire ? Enfin, quel que soit le mode de collecte de l'information, quelles méthodes d'analyse des données préconiser pour évaluer l'exposition vis-à-vis d'un aléa sanitaire ? Ce sont ces questions qui sont examinées dans cet article.

Contexte et objectifs

Le contexte épidémiologique

Bien connue en milieu rural, de par son caractère endémique (régions de l'est et du centre de la France), la borréliose de Lyme pose une nouvelle problématique de santé publique dans des espaces urbanisés, et ce, en raison d'une forte concentration humaine et de la capacité polarisante des grands massifs forestiers périurbains. Ce déploiement spatial de la problématique sanitaire aux abords des grandes villes pourrait aboutir à une recrudescence des cas constatés par des praticiens de santé. Cette crainte d'une augmentation du risque, qui n'a pas encore été montrée, est exprimée de façon importante en Île-de-France, et en particulier autour de la forêt de Sénart (Méha et al., 2010), selon des informations recueillies ces dernières années auprès de médecins. Une raison pour laquelle cette forêt, située à 22 km au sud-est de Paris et d'une superficie sept à huit fois inférieure à celle du massif de Fontainebleau, est considérée comme pilote dans le cadre de programmes de recherche financés par la région Île-de-France. À l'interface entre santé et environnement, la problématique définie pose, au sens large, la question des enjeux humains et revient à s'intéresser plus particulièrement au contact entre société et forêt. Elle porte sur la nécessité d'identifier et de caractériser des variables indicatrices de risque en lien avec l'épidémiologie de la borréliose de Lyme.

Parmi les travaux initiés dans le cadre de ces programmes, une enquête d'incidence, susceptible de nous renseigner sur une éventuelle augmentation du nombre de cas de borréliose de Lyme et de nous documenter sur les lieux fréquentés par les personnes atteintes, est actuellement en cours de réalisation. Reprenant la méthodologie des précédentes enquêtes effectuées par les cellules de l'InVS en région [CIRE]¹ et le Centre national de référence

[CNR] des *Borrelia* de l'Institut Pasteur, elle comporte le signalement des nouveaux cas de malades résidant autour de la forêt de Sénart par un réseau de médecins exerçant dans une zone définie à proximité de ce massif forestier. Le risque de borréliose de Lyme a été peu évalué en Île-de-France et une actualisation des données sur le niveau de risque dans cette région représente une priorité dans le cadre d'une politique de prévention efficace de la maladie (Vassallo *et al.*, 2000).

Les objectifs : cartographier et renseigner la base de données

Sur le plan épidémiologique, le risque de contracter la borréliose de Lyme est lié à la probabilité d'être piqué par une tique infectante. Dès lors, une étape essentielle dans l'appréciation du risque épidémiologique consiste à localiser, à un instant donné, les zones géographiques où les populations sont susceptibles de contracter l'infection. Trop souvent négligé dans les études sur le vecteur, le paramètre humain, qui se caractérise notamment par des types de comportements tels le mode de pénétration et la fréquence de visites des foyers endémiques, constitue une composante essentielle du risque. Il est donc intéressant de mettre en évidence des contacts entre les itinéraires de promenade des usagers en forêt et les secteurs identifiés comme « à risque ». La forêt de Sénart fait, à cet égard, l'objet depuis plusieurs décennies d'un aménagement interne et périphérique prenant en compte l'accessibilité et la fréquentation (Moigneu, 2005). Il convient alors de rechercher en quoi cette structuration de l'espace forestier peut favoriser le contact entre usagers et vecteur, l'intérêt étant de spatialiser ce contact, d'apporter des éléments de réponse quant à la nature et l'intensité du contact, et de réfléchir à la façon de minimiser le risque sur le plan paysager.

Pour spatialiser ce contact, il faut obtenir une cartographie de la distribution des tiques. Cette cartographie doit prendre en compte la saisonnalité de la présence des tiques dans le milieu. L'activité des tiques est en général nulle en hiver et connaît un développement plus ou moins marqué avec la belle saison. Comme les tiques sont sensibles au déficit hydrique, le niveau d'infestation du milieu peut être très variable d'une année sur l'autre en fonction des pluies de fin de printemps/début d'été (McCabe et Bunnell, 2004). Ce volet, dont nous ne ferons pas

mention ici, est coordonné par le CNR des *Borrelia* qui a en charge la surveillance des populations de tiques grâce à des collectes réalisées sur le terrain permettant ainsi d'estimer leur densité et leur taux d'infection par *Borrelia burgdorferi* sl.

Puisque la caractérisation de zones à risque passe par la mise en relation des paramètres sur la densité du vecteur et leur taux d'infection avec des enquêtes de fréquentation, l'objectif de cet article est d'exposer la procédure utilisée pour renseigner la base de données des itinéraires de déplacement des usagers dans la forêt et les caractéristiques sociodémographiques associées à chacun d'eux.

Approche et méthodes

Afin de satisfaire l'étude des expositions et des facteurs de risque sanitaire liés à la borréliose de Lyme, des enquêtes de fréquentation en forêt de Sénart ont été réalisées en 2009 et 2010. Ces enquêtes ont porté sur la population des personnes âgées de 18 ans et plus fréquentant la forêt. La population enquêtée est un échantillon d'adultes volontaires, franciliens ou non, obtenu par sondage systématique (interroger la X^e personne après avoir fini un questionnaire). Les données individuelles sont recueillies par entretien en face à face à l'aide d'un questionnaire standardisé, annoté pour les enquêteurs. Les périodes d'enquêtes correspondent à des périodes de fréquentation maximale de la forêt pendant la phase d'activité des tiques. Ces enquêtes ont permis de décrire précisément les caractéristiques sociodémographiques, les lieux fréquentés et les comportements des personnes au sein du massif forestier. L'ensemble des données recueillies a fait l'objet de traitements statistiques.

Sur le plan spécifique, les usagers de la forêt ont été interrogés sur leur itinéraire de promenade réalisé le jour même de l'enquête ainsi que les trajets habituellement effectués. À la fin du questionnaire, il est demandé si la personne interrogée veut bien indiquer le cheminement réalisé avec les lieux d'arrêt et activités s'y rapportant. Afin de tester le protocole de recueil des données, une pré-enquête a été réalisée en 2009 sur plusieurs week-ends. Les résultats méthodologiques ont été présentés et discutés lors d'un atelier portant sur la géo-simulation des zoonoses, organisé par le Ministère de la santé canadien et l'Université de York à Toronto (Godard *et al.*,

1 En France, les experts réservent le terme de maladie de Lyme (Lyme disease) pour qualifier l'infection qui est transmise aux États-Unis par les tiques *Ixodes scapularis* et *Ixodes pacificus*, et due uniquement à *Borrelia burgdorferi* sensu stricto (SPILF, 2006).

2 Placées sous la responsabilité scientifique de l'Institut de veille sanitaire, les cellules de l'Institut de veille sanitaire en région (CIRE) relaient son action et exercent une partie de ses missions au niveau régional.

2009). À la suite de ces confrontations, des améliorations ont été apportées à l'enquête et une attention particulière est désormais consacrée à la prise en compte du temps passé au sein de la forêt, du nombre de pauses réalisées, ainsi que des comportements susceptibles d'accroître l'exposition vis-à-vis de l'aléa. Des modélisations et simulations du comportement (par systèmes multi-agents) des promeneurs en forêt sont en cours de réalisation en collaboration avec des chercheurs de l'Université Laval (Québec, Canada), d'où l'importance de pouvoir décrire finement le comportement des promeneurs en forêt.

La méthode développée pour numériser les itinéraires relevés sur une carte papier (tirage A3 en noir et blanc de la Top 25 2415 OT centré sur la forêt) consiste en une vectorisation manuelle. Deux informations sont alors extraites de cette procédure, à savoir la distribution des usagers et la fréquentation des sentiers de la forêt, tronçon par tronçon. Le résultat de la vectorisation des trajets est un réseau de type « spaghetti » dont nous avons extrait un échantillon de 15 promeneurs (fig. 2).

Pour additionner le nombre de visiteurs ayant emprunté un sentier, tous les trajets doivent être superposables « au dessus » du sentier. Afin de réaliser cette superposition des trajets vectorisés, un traitement topologique a été réalisé sous ArcGIS (ESRI®), puis, parallèlement à ce travail, les questionnaires ont été intégrés dans une base de données relationnelle. À partir d'un script réalisé en VBA, il est possible de compter les données par modalités (homme/femme ; avec chien/sans chien...) sur chaque tronçon (fig. 3). Cette opération permet, par exemple, de cartographier le nombre de joggeurs, de sexe masculin, sans chien, par tronçon dans la forêt de Sénart (fig. 4).

Résultats et discussion

Il existe très peu d'enquêtes de fréquentation où la trajectoire des enquêtés est représentée, surtout dans les espaces de nature. En comparaison, l'espace urbain semble avoir été davantage l'objet de travaux visant à comprendre et analyser les comportements de mobilité : déplacements piétonniers (Foltête, 2006), automobiles (Genre-Grandpierre et al., 2006), en transports en commun (Genre-Grandpierre, 2006). Une des principales différences dans la collecte et le traitement des données de déplacement est sans doute due à la possibilité qu'a le promeneur de s'affranchir du réseau des sentiers lorsqu'il chemine en forêt. Ainsi, c'est au niveau de la collecte, puis de la transcription de l'information que le résultat peut être altéré.

Lorsque l'on observe un échantillon de trajets en forêt de Sénart (fig. 2), il est surprenant de constater la faiblesse des cheminements hors sentiers, qu'on nommera « hors pistes » pour en faciliter la compréhension. La plupart des trajets empruntent les voies tracées au cordeau de cette ancienne forêt royale où les pratiques cynégétiques anciennes ont laissé des carrefours en étoile reliés par des routes forestières rectilignes. Qu'une famille avec poussette les préfère aux layons sinuant en sous bois, cela s'admet, mais que la majorité des usagers s'y conforme, cela impose de contrôler voire d'adapter le dispositif d'enquête. Les usagers de la forêt de Sénart auraient-ils un comportement singulier, voire pusillanime, bien que le massif soit de petite taille ? Nous y reviendrons plus loin.

Un des rares exemples de « hors pistes » (HP) est mis en exergue pour étayer notre interrogation (fig. 5). Notre mode d'enquête, par cartographie *a posteriori*, serait-il en cause dans cette sous estimation des parcours en dehors des sentiers matérialisés pour l'essentiel par, dans le meilleur des cas, des axes cimentés ou goudronnés, et dans le pire, des simples voies en terre mais carrossables ? Rien ne permet d'affirmer que le biais introduit par la déclaration *a posteriori* se manifeste par ces pratiques. Cependant, alertés par ce constat, nous avons estimé que d'autres façons d'enregistrer les trajectoires devaient être évaluées. L'enregistrement des traces par GPS fait bien évidemment partie des méthodes expérimentales à envisager.

Plusieurs études ont déjà été menées dans ce sens, l'une d'entre elles (Colas, 2007) s'est déroulée en forêt de Fontainebleau et représente une source d'enseignements pour compléter le volet méthodologique de la cartographie de l'exposition au risque de borréliose de Lyme présenté ici. Pour en tirer partie, il convient de revenir sur un point méthodologique. Des GPS « grand public » sont confiés à des promeneurs. Au retour de leur promenade, les visiteurs sont interrogés à l'aide de questionnaires qui viendront compléter les trajectoires en forêt. Les GPS sont restitués puis déchargés quelque temps plus tard dans un SIG. Les segments d'un même tracé sont ensuite agrégés pour réaliser un trajet unique et les tracés aberrants sont éliminés (Colas, 2007). Deux extraits de cette expérimentation sont présentés dans les figures 6 et 7.

La figure 6 permet de visualiser des secteurs de fortes concentrations des traces GPS qui indiquent clairement que les promeneurs ont cheminé sur un sentier bien matérialisé, ainsi qu'un secteur où un GPS semble avoir quitté le sentier pour s'enfoncer

dans la parcelle (cf. la flèche et le point d'interrogation, fig. 6). Après traitement, concaténation des traces validées et élimination des traces aberrantes pour obtenir une fréquence de passages, il ne reste plus que le tracé « majoritaire ». Les tracés marginaux – ceux qui sortent des sentiers – risquent de disparaître de la base de données ou au moins de sa représentation, en raison des traitements appliqués (cf. la flèche et le point d'interrogation, fig. 7). Pourtant, ce promeneur singulier, lorsque l'on porte sur lui un regard de géographe axé sur les questions de santé et d'épidémiologie spatiale, est sans doute le plus intéressant, car il va (en présence de l'aléa) être davantage exposé que s'il était resté sur un chemin très piétiné où il y a peu de végétation herbacée susceptible d'accueillir des tiques en quête d'hôtes. L'absence de tracés marginaux renvoie au cadre de notre enquête déclarative (par opposition à l'attitude passive du promeneur avec GPS) en forêt de Sénart.

Ainsi, la richesse de l'information collectée par les GPS ne peut être exploitée que si l'on ne concatène pas systématiquement les traces GPS et si l'on n'élimine pas les traces solitaires pour cause de marginalités. La figure 8 nous donne un aperçu de ce que peut être une fréquentation réaliste d'un secteur forestier avant concaténation. Cette Réserve biologique dirigée [RBD] n'est pas interdite au public, mais le visiteur n'est pas encouragé, ni par des aménagements, ni par des panneaux à y pénétrer, et pourtant la fréquentation est bien visible dans ce secteur du massif de Fontainebleau ; marginale sans doute par rapport à ce qui se passe autour, mais quantifiable et superposable à des informations environnementales caractérisant l'intérieur de la parcelle.

Conclusion et perspectives

Cet article propose une réflexion sur des outils méthodologiques en géographie appliquée à l'épidémiologie, en prenant en compte le paysage comme espace global de transmission d'une maladie et support des activités humaines. Si l'acquisition de données sur les itinéraires de déplacement des populations n'offre pas un caractère original (Foltête, 2006), leur utilisation à des fins d'expertise et d'évaluation des expositions et des facteurs de risque sanitaire constitue un axe encore peu représenté dans les études épidémiologiques. Une approche présentant une méthodologie similaire a été développée par Benabderrahmane et al. (2009) qui consiste à proposer une modélisation du risque sanitaire lié à l'échi-

nococcose alvéolaire dans un espace récréatif fréquenté tel que le parc de La Courneuve (Seine-Saint-Denis). Bien que le cheminement dans un espace forestier ne soit pas soumis aux mêmes contraintes de déplacement que dans un parc urbain, il est possible que notre enquête dans le parc de La Courneuve ait été légèrement biaisée par une sous-déclaration des sorties de piste. Celle réalisée en forêt de Sénart l'est certainement plus, bien qu'il soit actuellement impossible de l'affirmer ou de l'infirmier. Ceci nous oblige à tester une nouvelle méthode d'enregistrement des itinéraires.

Comme nous l'avons indiqué, les enquêtes de fréquentation ne renseignent pas, ou rarement, sur les comportements de mobilité des usagers. Quand elles le font, c'est à l'issue du parcours (en fin de promenade quand on est pressé de rentrer !) et elles font appel à la mémoire et à la bonne volonté de ces derniers, par un tracé sur carte papier. Il existe au moins une expérience dans le contexte francilien, en forêt de Fontainebleau (Colas, 2007), où des GPS ont été prêtés à des promeneurs pour capter en dynamique leur trajet. Cependant, l'expérience a nécessité le prêt de 80 GPS « grand public ». Une autre piste s'ouvre à notre expérimentation avec l'arrivée d'informaticiens dans notre équipe. En effet, la population française, urbaine en particulier, est de plus en plus équipée de téléphones intelligents (*smartphones*) intégrant des puces GPS. Ne devient-il pas envisageable de tester, sur des volontaires, un capteur d'itinéraire automatique (via une application embarquée), et de s'affranchir ainsi des défaillances de la mémoire pour bénéficier de cartes d'exposition vis-à-vis d'un aléa sanitaire ?

Remerciements

Cette recherche est le fruit d'une action soutenue par la Région Île-de-France dans le cadre d'un contrat Partenariats institutions citoyens pour la recherche et l'innovation [PICRI] et d'une réponse à un appel à projet validée par le Conseil scientifique de la Maison des sciences de l'homme Paris Nord. Nous souhaitons également remercier Bernard Cauchetier (IAU-Île-de-France) pour les données MOS et ECOMOS et Sylvain Ducroux (ONF) pour les données sur la forêt de Sénart. Un grand merci également à nos étudiants (Camille Delahaye, Dimitri Le Torrielec, Marianne Liechty, Samuel Mermet, Juliette Pinard, Aurélien Ponce) pour leur participation à la réalisation des enquêtes de fréquentation.

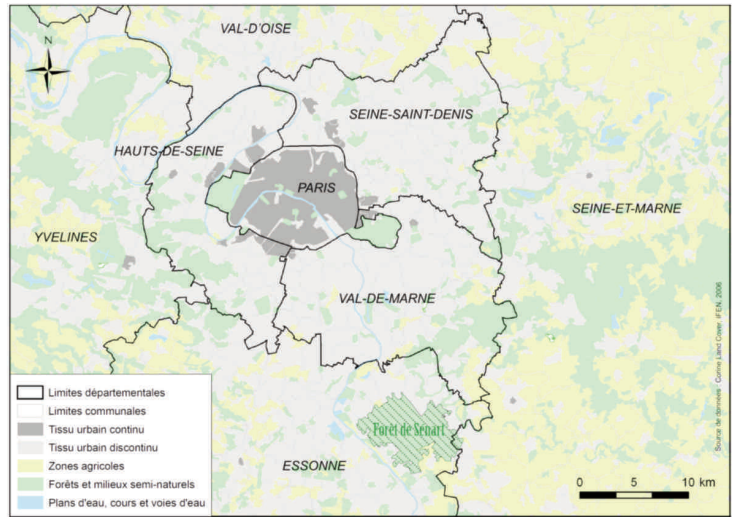


Figure 1 : Carte de localisation de la forêt de Sénart

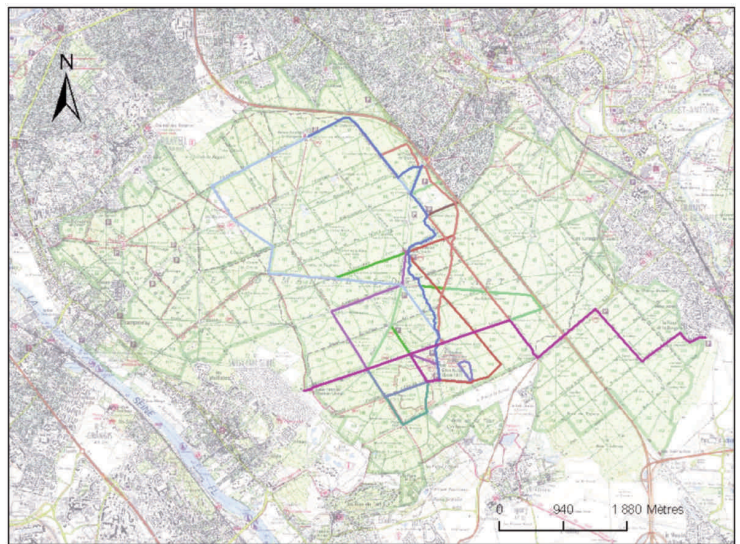


Figure 2 : Itinéraires d'un échantillon de 15 promeneurs en forêt de Sénart (printemps 2009)

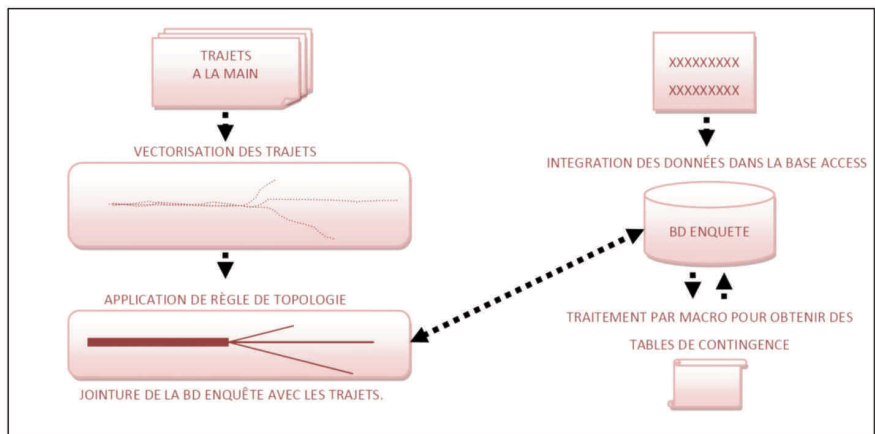


Figure 3 : Processus d'intégration des données (Thomas, 2010)

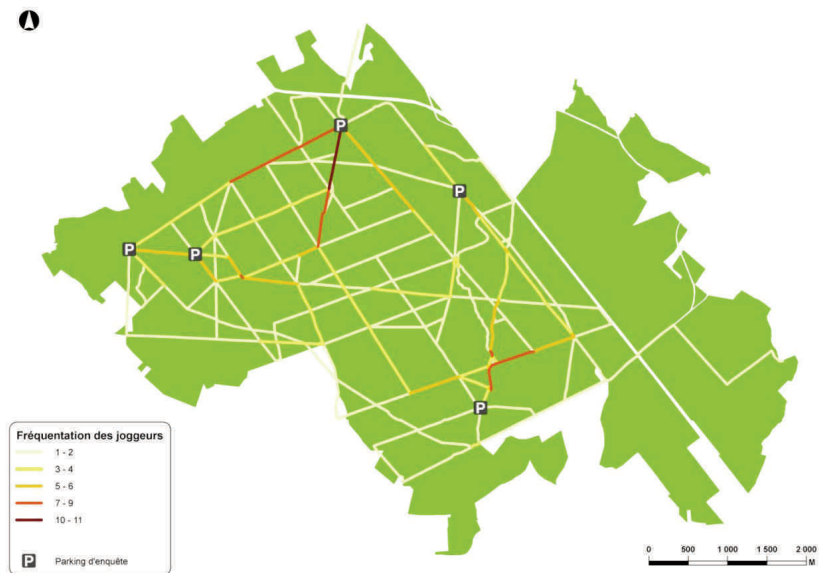


Figure 4 : Quantification du nombre de trajectoires issues d'un échantillon de joggeurs enquêtés sur 5 parkings différents (Thomas, 2010)



Figure 5 : Extrait d'un échantillon d'itinéraires autour du parking de la Faisanderie matérialisant un « hors piste (HP) » (printemps 2009)

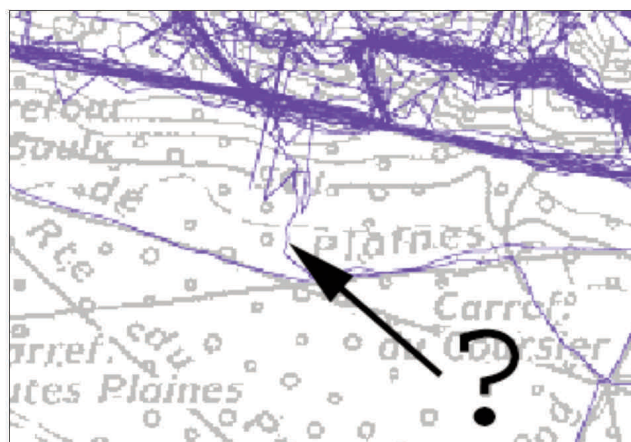


Figure 6 : Extrait d'un échantillon d'itinéraires enregistrés par GPS dans le secteur des Hautes Plaines, Fontainebleau (Colas, 2007)

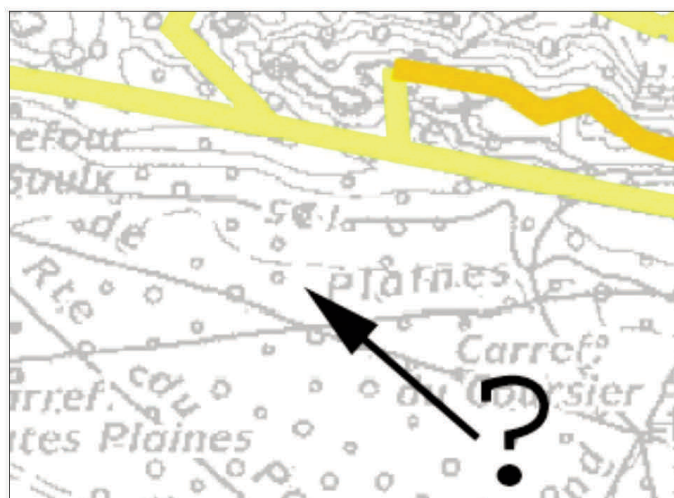


Figure 7 : Extrait d'un échantillon d'itinéraires agrégés pour évaluer la fréquentation dans le secteur des Hautes Plaines, Fontainebleau (Colas, 2007)

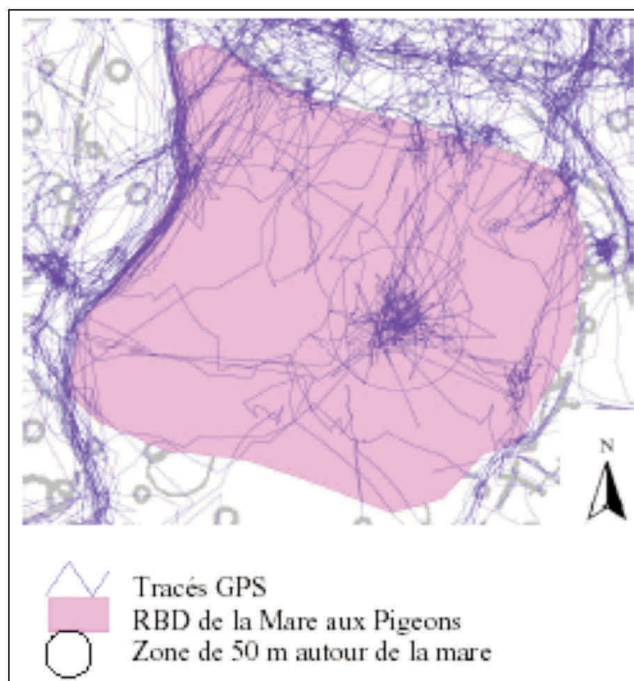


Figure 8 : Tracés dans la Réserve biologique dirigée (RBD) de la mare aux pigeons et à proximité de la mare (Colas, 2007)