



UNIVERSITE D'ORLEANS

COLLEGIUM SCIENCES ET TECHNIQUES

Master science biologie spécialité BOPE Année 2014-2015

CHAUVEAU Antoine

**ROLE DE LA REPARTITION SPATIALE DES ARBRES ORNEMENTAUX
DANS LA CIRCULATION DES ESPECES ENVAHISSANTES :**

**Identification des acteurs publics et privés constituant le paysage arboré
de l'agglomération Orléanaise**

Sous la direction de Jérôme Rousselet (Unité de Recherche de Zoologie Forestière, INRA Val de Loire) et de
Jean-Pierre Rossi (Centre de Biologie pour la Gestion des Populations, INRA Montpellier)

INRA - Centre Val de Loire, Unité de Recherche en Zoologie Forestière (URZF)
2163, avenue de la pomme de pins, Ardon CS 40001 F-45075 Orléans CEDEX 2

Résumé :

Le patrimoine arboré urbain résulte de l'action d'intervenants multiples, privés ou publics. Ces acteurs créent et entretiennent des continuités écologiques entre villes, zones agricoles et forêts qui sont bénéfiques en matière de biodiversité mais qui peuvent également être exploitées par des espèces envahissantes, autochtones ou exotiques. C'est le cas de la processionnaire du pin (PP), un ravageur forestier dont les larves urticantes posent des problèmes de santé publique dans les milieux urbains et péri-urbains. Le travail présenté dans ce rapport avait pour objectif de déterminer si les choix en matière de plantations ornementales diffèrent selon les catégories de propriétaires, la taille des parcelles et le régime foncier et d'évaluer les variations du niveau de population de la processionnaire du pin suivant le régime de propriété et le cortège d'hôtes potentiels de l'insecte. Les particuliers plantent une gamme d'essences plus large que les personnes morales et choisissent plus souvent des espèces de conifères peu favorables à la PP. Les pratiques ornementales des personnes morales conduisent à des assemblages d'espèces moins diversifiés et globalement plus favorables à la PP avec l'emploi des principales espèces hôtes tels que le pin noir (*P. nigra*).

Mots clés : Arbres Hors Forêt, Trames vertes urbaines, Régime foncier, Processionnaire du pin

Abstract:

The urban trees result from the action of multiple stakeholders, either private or public. These actors create and maintain ecological continuity between towns, agricultural areas and forests that are beneficial in terms of biodiversity but which can also be exploited by invading species, indigenous or exotic. This is the case of the pine processionary moth (PPM), a forest pest whose urticating larvae cause serious public health problems in urban and peri-urban areas. The work presented in this report was intended to determine whether the choice of different ornamental plantings for different categories of owners, plot size and land tenure and assess associated levels of PPM densities. Owners of private gardens plant a wider range of species in comparison to corporations and more often choose species of conifers unfavorable to PPM. Ornamental practices of corporations lead to less diverse assemblages of species and generally more favorable to the PPM with the use of the main host species such as black pine (*P. nigra*).

Key words: trees outside forest; ornamental trees, urban green corridor, land tenure, pine processionary moth

1/ INTRODUCTION:

Les Arbres Hors Forêt (AHF) constituent une composante majeure des infrastructures vertes de nombreux paysages fortement anthropisés comme les terres agricoles ou les milieux urbains (Bellefontaine et al. 2001; Clergeau & Blanc 2013). La politique des trames vertes et bleues (TVB) mise en place suite au Grenelle de l'Environnement vise à préserver et à développer ces infrastructures pour améliorer la connectivité des habitats et lutter contre l'érosion de la biodiversité (Bergès 2010 ; Clergeau & Blanc 2013). Dans ce contexte, les fonctions écologiques et les services écosystémiques rendus par les AHF sont de mieux en mieux reconnus (Bellefontaine et al. 2001 ; Plieninger et al. 2004 ; Lumsden & Bennett 2005 ; Soini 2005 ; Manning et al. 2006). Toutefois l'arbre hors forêt, et plus particulièrement l'arbre en ville, entraîne également des « *disservices* » comme des dommages aux infrastructures, la production d'allergènes, l'hébergement d'espèces responsables de nuisances, ... (Roy et al. 2012).

Certaines essences d'arbre sont utilisées à la fois en forêt et en ornement et la dynamique des bioagresseurs forestiers inféodées à celles-ci est ainsi également dépendante des composantes non forestières des territoires. La difficulté pour appréhender cette dynamique est triple (i) les arbres hors forêts échappent généralement aux inventaires forestiers qui recensent au mieux les parcelles supérieures à 0.5 ha (ii) lorsque ces arbres font l'objet d'inventaires

dédiés, l'information est très rarement disponible au niveau de l'espèce et rarement collectée en milieu artificialisé, en particulier sur le domaine privé (iii) les flux de certains microorganismes phytopathogènes ou insectes déprédateurs (démontrant l'importance fonctionnelle de ces connectivités spatiales pour eux) sont beaucoup plus difficiles à percevoir que ceux de grands vertébrés par exemple.

Notre étude s'inscrit dans un programme de recherche visant à caractériser la distribution des arbres hôtes de la processionnaire du pin (PP) en milieu non forestier.

La PP est un lépidoptère qui s'attaque à une large gamme de conifères et constitue le premier défoliateur forestier en France (Nageleisen et al. 2010). Parmi ses arbres-hôtes potentiels, plusieurs sont utilisés en ornement. Ses chenilles étant urticantes, cette espèce est devenue un problème sanitaire majeur en milieu non forestier (Moneo et al. 2015). Cet insecte constitue un bon modèle pour étudier le rôle des AHF dans la perméabilité des milieux non forestiers. Comme beaucoup d'autres, ce papillon de nuit a généralement une vie imaginaire de quelques heures et sa dispersion est impossible à suivre la nuit sur le terrain (Démolin 1969 ; Roques 2015). Par contre, ses chenilles sont grégaires et forment dans leurs arbres hôtes des nids faciles à observer et à cartographier (cf 2.1.1.). Son aire de distribution, en expansion sous l'effet du changement climatique contemporain, a ainsi été cartographiée avec précision à l'échelle continentale (Roques 2015).

Les milieux non forestiers rencontrés par cette espèce lors de sa colonisation du Bassin Parisien n'ont pas constitué une barrière à son expansion (Roques 2015 ; Rossi et al, sous presse). Suite à un inventaire exhaustif des AHF hôtes de la PP dans une région d'*open-field* de près de 500 km² (Thymerais, Eure-et-Loir), Rossi et al. (sous presse) ont montré que leur distribution était fortement liée à la distribution du bâti, et que ces arbres correspondent en fait essentiellement à des arbres ornementaux. La relation au bâti a permis de construire un modèle statistique de distribution des AHF hôtes applicable à des régions similaires non inventoriées. Celui-ci a été utilisé sur la Beauce, un écopaysage voisin d'une superficie d'environ 5000 km², et il a été montré que les arbres ornementaux des villages et hameaux suffisaient à expliquer la propagation de la PP dans ce milieu au regard de ses capacités de dispersion (Rossi et al, sous presse, Laubray, 2012).

Ce résultat pose deux types de questions :

(1) La construction d'un modèle permettant d'évaluer la connectivité du milieu pour cette espèce à l'échelle régionale se heurte à l'existence d'environnements très différenciés (zones urbaines, prairiales, humides, ...). Plus particulièrement en milieu urbain où le bâti est

omniprésent, la relation observée en milieu champêtre ne paraît pas transposable. Est-il possible de définir de nouvelles covariables adaptées à ce milieu complexe ?

(2) Différents acteurs contribuent à la formation du patrimoine arboré ornemental générant les continuités écologiques favorables à la processionnaire du pin (particuliers, collectivités territoriales, paysagistes et aménageurs, ...). Tous ces acteurs ont-ils le même comportement en matière de choix de plantation et quel est leur poids relatif ? Existe-t-il une relation entre pratiques ornementales (abondance, richesse spécifique, « favorabilité » des essences plantées) et usage des sols ou régime foncier (nature du propriétaire conditionnant le type de « planteur », contraintes liées à la structure de la parcelle et au terrain disponible) ? Existe-t-il une relation entre usage des sols ou régime foncier et abondance de la PP ?

L'objectif de mon stage est de répondre à la question de l'importance du régime foncier et de tracer des perspectives en matière de construction d'un modèle global. On peut en effet considérer « la production de paysage vue comme le résultat de pratiques individuelles répondant à des logiques quotidiennes correspondant à des pratiques « utiles » mais aussi à des pratiques « agréables » » (Caillaud & Marie, 2009). La démarche engagée vise donc à définir des leviers d'actions permettant de réduire les nuisances de la PP en identifiant les acteurs majeurs construisant le paysage arboré.

Pour répondre à ces questions, j'ai travaillé sur des données d'inventaire d'AHF hôtes de la PP collectées dans l'agglomération orléanaise et disponibles à mon arrivée au laboratoire. J'ai été chargé d'acquérir via diverses sources (bases de données spatialisées, internet, cadastre) les informations relatives à l'usage des sols et au régime foncier et de calculer des variables quantitatives relatives aux AHF (densité, diversité, « favorabilité ») et à la structure de la parcelle (taille, forme, position dans la ville, ...). A partir de ces données, j'ai réalisé des analyses multivariées pour identifier les relations AHF / structure de la parcelle / régime foncier.

2/ MATERIEL ET METHODES

2.1/ Matériel biologique, zone d'étude et données d'inventaire disponibles

2.1.1/ Espèces inventoriées

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un insecte lépidoptère dont les chenilles se nourrissent d'aiguilles de pins (*Pinus spp.*) et de cèdres (*Cedrus spp.*), voire occasionnellement d'autres conifères exotiques. Les chenilles sont grégaires et tissent dans les arbres des nids en soie blanche visibles à plusieurs mètres, voire dizaine de mètres. En région Centre, ces nids sont facilement observables d'octobre à avril car (i) dès les premiers froids ils

se sédentarisent sur un rameau de l'arbre hôte et l'activité de tissage devient importante (ii) dans le même temps les feuillus ont perdu leurs feuilles et les conifères hôtes deviennent facilement repérables. Les nids continuent cependant à être encore observables jusqu'en Mai-Juin après que les chenilles les aient quittés à l'arrivée du printemps pour nymphoser dans le sol. L'imago femelle présente un comportement philopatric. Lorsqu'elle rencontre ses essences préférées, elle ne disperse pas ou peu (Démolin, 1969). La majorité des femelles ne parcourent pas plus de quelques centaines de mètres, et seuls de très rares individus volent au-delà de 3-4 kilomètres (Roques, 2015).

L'ensemble des arbres hôtes potentiels de la processionnaire du pin a été pris en compte dans l'inventaire (Rousselet *et al.*, 2015). L'essence préférée est le pin noir (*Pinus nigra*), suivi en France du pin sylvestre (*P. sylvestris*), du pin maritime (*P. pinaster*) et du Cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodara*) (Rousselet *et al.* 2015 ; Roques, 2015). Parmi les arbres utilisés en ornement dans le nord de la France, on peut trouver également des essences natives d'Europe et des essences exotiques qui sont attaquées plus rarement et plus faiblement : le cèdre de l'Atlas (*C. atlantica*), le cèdre du Liban (*C. libani*), le pin parasol (*P. pinea*), le pin mugo (*P. mugo*), les pins à cinq aiguilles de la section *Quinquifoliae* du sous-genre *Strobos* (*P. wallichiana*, *P. strobos*, *P. parviflora*, ...) et le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*).

2.1.2/ Zone d'étude et période d'inventaire

La zone d'étude est une zone urbanisée localisée sur le territoire de cinq communes du nord de l'agglomération Orléans Val de Loire (Saint-Jean-de-Braye, Fleury-les-Aubrais, Saran, Semoy et la partie d'Orléans au nord de la Loire ; Rousselet *et al.*, 2015). Située entre Sologne et Loire au sud, forêt d'Orléans au nord-est et Beauce au nord-ouest, elle correspond à une interface ville-champs-forêt (Annexe 1) posant la question de la circulation de l'insecte entre ces différents milieux qui apparaissent très contrastés du point de vue de l'usage et de la disponibilité en arbres. Au sein de cette zone d'étude, on rencontre 17 types d'usage des sols selon la nomenclature Corine Land Cover (CLC) de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) (cf. 2.2.2.). Le centre-ville d'Orléans correspond à un habitat dense référencé comme tissu urbain continu (couche CLC 111). Il est entouré de tissu urbain discontinu correspondant essentiellement à des zones résidentielles (CLC 112). La périphérie de la zone d'étude apparaît surtout composée (i) de zones industrielles et commerciales (CLC 121) (ii) de divers terres agricoles plus ou moins mêlées à des espaces naturels et à des zones bâties (CLC 211, 222, 231, 242, 243) (iii) de parcelles forestières (CLC 311, 312, 313) qui font également l'objet d'un géo-référencement par l'Inventaire Forestier National (IFN) dès que leur superficie atteint 0.5

ha (Annexe 1). Ces couches peuvent mêler à des degrés divers des régimes fonciers (public / privé, personne morale / personne physique) et des usages (habitation, production de biens et de services, ...) correspondant à des acteurs du paysage attendus pour avoir des comportements différents en matière de pratiques ornementales.

Sur un territoire total de 64.93 km², 49.13 km² ont été inventoriés exhaustivement par un agent INRA contractuel entre le 1^{er} novembre 2012 et le 21 juin 2013. Les 15.80 km² restants correspondent soit à des zones forestières qui n'ont volontairement pas été inventoriées dans le cadre de cette première phase du travail de terrain focalisée sur les AHF, soit à des terrains non observables depuis le domaine public et auxquels il n'a pas été possible d'accéder (Annexe 2).

2.1.3/ Méthodes d'inventaire et données de terrain disponibles au début du stage

Les données disponibles au début de mon stage correspondent à l'inventaire géo-référencé de 9382 AHF hôtes de la PP dont 9344 arbres identifiés au niveau de l'espèce et 38 au niveau du genre. Ils correspondent à des arbres isolés, à des arbres d'alignement et à des bosquets ou des petites plantations (à l'exclusion des surfaces de nature forestière). L'ensemble des voies et du domaine public de la zone d'étude a été parcouru à pied ou en vélo. Les arbres ont été géo-référencés à l'aide d'un GPS (Getac PS236) disposant d'un Système d'Information Géographique (SIG) embarqué (logiciel ArpentGIS mobile, D3E), soit en enregistrant les coordonnées géographiques au pied de l'arbre lorsqu'il était accessible, soit en le positionnant sur des photographies aériennes de l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) à partir d'une observation à distance réalisée depuis le domaine public. La précision du GPS était de 2.5 m. Dans le cas de grandes propriétés privées ne garantissant pas une observation exhaustive depuis la voie publique, l'autorisation d'accès a été demandée au propriétaire du terrain. L'ensemble des territoires qui n'ont pas été inventoriés (« zones d'ombre ») a été cartographié à l'aide d'un GPS et du logiciel PhotoExploreur (Bayo). Le formulaire de saisie embarqué sur le GPS et permettant d'associer des attributs à chaque objet ponctuel géo-référencé a été préparé à l'aide du logiciel ArpentGIS Expert. La liste des attributs enregistrés par l'opérateur sur le terrain était la suivante : genre, espèce, hauteur des arbres (0-2 m / 2-6 m / 6-12 m / plus de 12 m), possibilité de recensement des nids (dénombrement total / partiel / impossible), nombre de nids (comptage exhaustif de 0 à 20, puis "21 et +" au-delà), type de terrain (zone industrielle et commerciale et entreprise / établissement scolaire, périscolaire et crèche / habitat individuel / habitat collectif / espace vert / dépendances de voirie / autre ou indéterminé). Le "type de terrain" était une typologie sommaire des types de propriétaire. L'opérateur avait pour consigne de ne pas y perdre de temps, d'autant plus que ces

informations ne pouvaient pas toujours être obtenues par une simple observation du terrain. Pour 2171 arbres, ce champ n'avait pas pu être déterminé, la mention "indéterminé" était alors renseignée.

2.2 Organisation des données d'inventaire sur SIG et collecte des données de régime foncier et d'usage des terrains

2.2.1/ Gestion des données spatialisées

Les données issues de l'inventaire et les informations géo-référencées collectées au cours de mon stage ont été recueillies et gérées dans un SIG. Le logiciel libre QGIS 2.4.0 a été utilisé. Un SIG est un système informatique conçu pour stocker, traiter, analyser et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. D'un point de vue SIG, chaque arbre du jeu de données initial correspond à une entité ponctuelle assortie d'un couple de coordonnées géographiques (x,y) dans un système de projection donné. Le système de projection utilisé pour le stockage et l'affichage des données dans cette étude est le Lambert 93, qui correspond à la projection officielle pour les cartes de France métropolitaine.

2.2.2/ Collecte de couches SIG d'intérêt auprès de l'IGN et de l'EEA

Différents types d'informations peuvent être stockées sous la forme de couches thématiques (« couches SIG ») et peuvent ainsi être reliées les unes aux autres par la géographie. Il s'agit d'utiliser ces couches de données comme source d'information en matière d'environnement des arbres inventoriés et d'usage des terrains sur lesquels ils se trouvent. Des données spatialisées déjà décrites sur notre zone d'étude (données libres ou accessibles dans le cadre de conventions institutionnelles avec l'INRA) ont donc été collectées auprès de l'IGN et de l'EEA. Les couches d'intérêt suivantes ont ainsi été rassemblées :

- Les orthophotographies de la BD ORTHO 50 cm (IGN) correspondant aux photographies aériennes de la zone d'étude rectifiées géométriquement et égalisées radiométriquement : la résolution de 50 cm de ces images géo-référencées permet notamment de visualiser le houppier des arbres.
- Les parcelles cadastrales de la BD PARCELLAIRE (IGN) correspondant à la version numérique, géo-référencée et continue du plan cadastral de la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP) : cette couche SIG permet de disposer à une précision métrique de la délimitation spatiale de chacune des 50 702 parcelles de la zone inventoriée, de leur identifiant administratif (numéro + section + feuille + commune) mais d'aucune donnée en matière de régime foncier ; par ailleurs seuls 47.83 km² du territoire inventorié sur 49.13 km² (97.4%) sont

divisés en parcelles cadastrales (les territoires hors cadastre correspondent à une partie des tronçons routiers et à divers terrains publics).

- les éléments bâtis de la BD PARCELLAIRE (IGN) : cette couche référençant les bâtiments en durs et les constructions légères permet de disposer à une précision métrique de la délimitation spatiale de tous les bâtiments et d'en déduire leur emprise sur la parcelle cadastrale et le restant de terrain potentiellement disponible pour planter un arbre.

- les éléments bâtis de la BD TOPO (IGN) : ils sont distribués en plusieurs couches référençant à une précision métrique, mais de façon non exhaustive, le bâti industriel, commercial et agricole, le bâti remarquable (mairies, préfectures, sous-préfectures, châteaux et monuments, bâtiments religieux, sportifs, gares, péages), les cimetières et les terrains de sport.

- les surfaces d'activité et les points d'activité et d'intérêt (PAI) de la BD TOPO (IGN) : ils sont distribués en plusieurs couches géo-référençant de façon non systématique et non exhaustive des zones d'activités ou le centroïde de terrains dédiés à des activités administratives, militaires, industrielles, commerciales, religieuses, sportives, de culture et de loisirs, d'enseignement, de santé, de gestion des eaux, de transport.

- les tronçons routiers de la BD TOPO : ce sont les éléments constituant le réseau routier tels que tronçons entre deux carrefours, ronds-points, ponts, échangeurs, ... ; chacun possède un identifiant unique et ils nous ont servi de référence (au même titre que les parcelles de la BD PARCELLAIRE)

- les adresses postales de la BD ADRESSE (IGN) : il s'agit de points adresse positionnés généralement en bordure de la voie publique dont la table attributaire fournit le numéro de rue et le nom de la voie. Ces attributs permettent de rechercher ou de recouper l'information foncière auprès de sources de données qui utilisent l'adresse postale et non les références cadastrales.

- les couches CLC (EEA) : elles correspondent aux données de l'inventaire biophysique de l'occupation des terres produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement (CORINE) ; CLC est basée essentiellement sur une analyse colorimétrique de photographies satellite à l'échelle du 1/100 000^e et considère l'usage dominant de toute partie homogène du territoire d'une superficie d'au moins 25 ha (<http://image2000.jrc.ec.europa.eu>) ; cet inventaire repose sur une nomenclature standard hiérarchisée délivrée à 3 niveaux de précisions différents ; la nomenclature utilisée (CLC3 édition 2009) est la plus fine et comprend 44 postes répartis selon 5 grands types d'occupation du territoire (territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides, surfaces en eau) (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>).

2.2.3/ Collectes d'informations non spatiales sur internet

Des informations non spatiales ont été recueillies sur internet. Elles nous ont permis de compléter et de renseigner la table attributaire du jeu de données en matière d'usage des sols (type de propriétaire).

a. Observations visuelles à l'aide de Google Street View (GSV) :

Google Street View est un service gratuit de navigation virtuelle en ligne. Il permet de visualiser l'environnement d'une voie de circulation sur un panorama de 360°. Il est ainsi possible de faire sans perte de temps en déplacement des observations similaires à celles effectuées par l'opérateur qui a réalisé l'inventaire sur le terrain depuis le domaine public. L'adresse postale du terrain sur lequel se trouve l'arbre dont l'information foncière est à déterminer est obtenue à partir de la BD ADRESSE. Elle est saisie dans le moteur de recherche du service de cartographie en ligne Google Map. Celui-ci permet de visualiser l'ensemble des voies de circulation et d'accéder aux vues Google Street View à l'endroit souhaité. Google Map permet également par un simple pointage d'un élément de la carte (houppier d'un arbre par exemple), d'obtenir les coordonnées géographiques de ce dernier. Si les vues disponibles ne sont pas suffisantes pour obtenir l'information souhaitée, une visite sur le terrain est réalisée. L'observation du terrain hébergeant un arbre permet d'identifier entre autres s'il est occupé par une habitation individuelle (jardin d'une maison sans affichage indiquant l'existence d'une activité commerciale, administrative, ...), un logement collectif (plusieurs étages, parking, biens personnels sur balcon), un espace vert (présence de bancs, poubelles, ...). L'ensemble de ces clés visuelles de détermination ainsi qu'une définition des régimes fonciers déterminés est expliqué en Annexe 3.

b. Collecte d'informations via des moteurs de recherche et des annuaires en ligne spécialisés :

Des moteurs de recherche et annuaires en lignes spécialisés ont été utilisés en complément de GSV qui ne permettait pas toujours d'atteindre le degré de précision recherché et de trancher entre plusieurs régimes fonciers (Annexe 4). En saisissant directement sur les moteurs de recherche le nom de la structure (visible sur la façade du bâtiment) et l'adresse, il était possible de déterminer s'il s'agissait d'une société, d'une association, et de préciser généralement le secteur d'activité. Ces outils ont également été utilisés pour déterminer le nombre approximatif d'employés dans une entreprise; notamment avec le site <http://www.societe.com/> (Annexe 3). Enfin, ils nous ont permis de déterminer le statut public/privé pour certaines personnes morales dont le secteur d'activité n'est pas spécifiquement du domaine public ou privé (associations, sociétés, instituts médicaux et établissements scolaires).

2.2.4/ Collecte d'information cadastrale auprès des services municipaux

Le cadastre des communes contient les informations suivantes en ce qui concerne le propriétaire : (i) son statut public/privé (ii) sa personnalité juridique morale/physique (iii) son nom. Le facteur limitant pour l'acquisition de ces données a donc été les possibilités restreintes d'accès. Le caractère nominatif des données contenues nécessitait en effet d'être accompagné d'un agent y ayant accès et pouvant filtrer les informations mises à notre disposition (i, ii sans restriction, iii information nominative non collectée, mise à disposition d'une information dégradée sur la nature du propriétaire correspondant à nos typologies : nature de la collectivité territoriale, société, particulier). Cette source de données n'a donc été utilisée que pour les parcelles avec AHF restant indéterminées après les autres approches, et pour un échantillon de parcelles déjà identifiées via d'autres sources afin de vérifier la cohérence des informations. Le cadastre ne renferme pas d'information en matière d'usage du foncier et il n'est pas possible de renseigner le régime foncier selon notre typologie la plus détaillée à partir de cette source. Par ailleurs les parcelles cadastrales ne correspondent qu'à une partie du territoire (cf. 2.2.2 BD PARCELLAIRE).

2.2.5/ Procédure de travail

a. Correction préalable des données d'inventaire

Nous avons donc comparé la position de chaque arbre géo-référencé sur le terrain avec la position des houppiers visibles sur les photographies aériennes de la BD ORTHO. Si les positions n'étaient pas parfaitement superposées et si l'imprécision risquait d'affecter la détermination du régime foncier, le point était repositionné en corrigeant ses coordonnées géographiques. GSV a également été utilisé lors de cette phase de vérification (notamment pour les cas litigieux en limite parcelle/voirie où GSV permettait de voir de quel côté de la limite de propriété se situait l'arbre, celle-ci étant généralement matérialisée par une clôture).

b. Création des typologies de régime foncier et d'usage des sols

Une première phase d'identification des parcelles avec AHF associée à des recherches bibliographiques sur les termes utilisés en aménagement urbain, en cartographie, sur les typologies des bâtiments, lieux publics et espaces verts a permis la création d'une typologie détaillée (Annexe 5) correspondant à un compromis entre les informations collectables rapidement et les informations supposées à ce stade potentiellement intéressantes du point de vue des pratiques ornementales. A partir des informations de personnalités juridiques et de statut foncier (déterminées à partir du cadastre ou déduites des informations obtenues sur le type de foncier et la nature du propriétaire), une typologie simplifiée a également été créée en

croisant ces deux informations pour aboutir aux catégories suivantes : personnes morales publiques, personnes morales privées, personnes physiques privées, indéterminées (Annexe 5).

c. Méthodologie :

Sur les 9382 arbres inventoriés, 7211 possédaient déjà des informations de régime foncier sommaires collectées sur le terrain. Cependant, ces informations ayant été acquises par une typologie différente, nous avons reconsidéré l'ensemble des arbres selon les typologies établies au cours de ce travail (cf. 2.2.5.b). Le jeu de données initial a été divisé en deux sous-ensembles correspondant d'une part aux arbres situés sur le domaine parcellaire (« arbres dans le cadastre ») et d'autre part à ceux situés en dehors (« arbres hors cadastre ») (cf. 2.2.2. et 2.2.4.). Le premier sous-jeu de données contient seulement les arbres sur le domaine parcellaire (8364 arbres). Le second contient les arbres hors parcelles cadastrales de la BD PARCELLAIRE (1018 arbres).

Le sous-jeu de données « arbres dans le cadastre » correspondant à des entités ponctuelles (« AHF ») a été transformé par une jointure spatiale (Annexe 6) entre la couche parcellaire et celles des arbres en un nouveau jeu de données sous forme d'entités surfaciques (« parcelles avec AHF »). Cette transformation permettra par la suite, d'intégrer des données de structure de la parcelle, éléments qui pourraient influencer la distribution des arbres.

Le sous-jeu de données « arbres hors cadastre » a également été transformé sous forme d'entité surfacique. Etant principalement constituées d'arbres de voirie, ces entités surfaciques ont été réalisées en définissant une zone tampon (Annexe 6) de x12 à 40 mètres autour des routes disponibles sous forme d'entités linéaires dans la BD TOPO de l'IGN. Les entités générées, visant à représenter les tronçons routiers et leurs dépendances, a permis de capturer la quasi-totalité de ces arbres. Après identification des régimes fonciers, ces deux sous-jeux de données ayant du faire l'objet de traitements différents, ont été fusionnés pour constituer le jeu de données final ne contenant que des entités surfaciques qui a été l'objet des analyses présentées dans la partie 2.3.

Pour les arbres situés dans des parcelles cadastrales, nous avons d'abord utilisé GSV qui a permis de déterminer les grandes catégories de propriétaire (cf 2.2.3.a et Annexe 4). Ensuite, des recherches internet ont permis de compléter et préciser les catégories précédemment établies. Lorsqu'il restait encore des parcelles dont le régime foncier était indéterminé, les données ont été complétées grâce aux données cadastrales disponibles en mairie.

Pour les arbres hors du domaine parcellaire l'identification des régimes fonciers a d'abord été réalisée par GSV puis par des recherches internet, sans possibilité de complément d'information via les cadastres. Cependant cela n'a pas posé de problème pour la typologie

simplifiée puisque tout arbre hors du domaine parcellaire est de statut public (2.2.2) et dépend donc d'une personnalité juridique de type morale.

Le travail sur les informations non spatiales des tables attributaires des couches d'entités surfaciques a été réalisé sous Excel. La table attributaire une fois les champs ajoutés ou modifiés a été réimportée sous Qgis via une jointure vectorielle (Annexe 6) en utilisant un identifiant unique des parcelles préalablement créé.

2.2.6/. Calcul des variables du jeu de données final

a. Description de la parcelle

L'aire (m²), le périmètre (m) et le rapport entre périmètre sur aire (indice de forme) respectivement PAR_AireM2, PAR_PeriM, PAR_P.A ont été calculés pour chaque parcelle grâce à une calculatrice de champs sous Qgis. Le nombre de bâtiments; Bati_Nb, a été dénombré par la fonction "Points dans un polygone" (Annexe 6). De la même façon que pour l'aire des parcelles, nous avons calculé l'aire des bâtiments; Bati_AirM2 (m²). Cette variable représente la somme de la surface de tous les bâtiments sur la parcelle. Le pourcentage de bâti par parcelle (Bati_Pourc), a été obtenu par le rapport entre Bati_AirM2 et PAR_AireM2.

b. Description de la position et du voisinage de la parcelle

Notre zone d'étude se trouvant à l'interface ville/champ/forêt, nous avons calculé la distance entre la parcelle et le centre-ville, le plus proche milieu champêtre et le plus proche milieu forestier respectivement représentés par le centroïde des entités surfaciques de la couche CLC111 (tissu urbain continu), CLC211 (Terres arables) et CLC 313 (Forêts mélangées). Nous avons également calculé le nombre de couches CLC sur lesquels les parcelles émergent.

c. Description AHF

Le nombre d'arbres total (AHF_parKM2), le nombre d'espèces (AHF_Nb_esp), d'individus de chaque espèce, d'arbres favorables (AHF_Nb_PPp) ou défavorables à la PP (AHF_Nb_PPM) ont respectivement été calculés par la fonction "Points dans un polygone". Chacune de ces valeurs a été rapportée en densité en divisant le nombre d'arbres par parcelle par l'aire de la parcelle.

d/ Description des attaques de la PP

Le nombre d'arbres attaqués et le nombre de nids observés ont été dénombrés pour chaque parcelle (Rossi et Rousselet, en préparation). Ces valeurs étaient déjà disponibles dans le jeu de données créé lors de l'inventaire. Il a cependant fallu les exprimer à l'échelle de la parcelle. Nous avons donc calculé pour chaque parcelle, la somme des arbres attaqués et des nombres de nids par arbre. Dès lors qu'une parcelle comportait au moins un arbre attaqué, elle était

considérée comme telle. Ces informations permettront de déterminer si le niveau d'attaque par l'insecte varie selon le régime foncier.

2.3/ Analyses des données

Nos données sont par essence multivariées et nous avons utilisé l'Analyse en Composante Principale (ACP, Legendre et Legendre 1998). L'ACP est une méthode factorielle permettant de réduire le nombre de dimension d'un jeu de données et d'en identifier les sources de variation principales. L'ACP interclasses permet en outre de réaliser une typologie des objets étudiés (ici les parcelles), de tester les différences statistiques entre groupes d'objets (par exemple des ensembles de parcelles correspondant à différents types de régimes fonciers).

2.3.1/ Variabilité entre régime foncier (Analyses des parcelles avec Arbre)

Dans notre cas, nous voulons expliquer à partir des variables précédemment estimées, les différences (structure de la parcelle, distribution des arbres) existantes entre régimes fonciers. L'ACP interclasses, qui permet de maximiser la variance entre classes (régimes fonciers), a été utilisé de façon à séparer le mieux possible nos régimes fonciers de la typologie détaillée.

Les moyennes et erreurs standards des variables ont été calculées pour chaque régime foncier. Des comparaisons de moyenne ont été réalisées avec le Tests T de Student.

2.3.2/ Vers une acquisition des données simplifiées :

Une ACP interclasse sur la typologie détaillée n'intégrant pas les variables "Arbres" ainsi qu'une ACP interclasses sur la typologie simplifiée ont été réalisées sur les parcelles avec arbres et comparées à l'ACP interclasses de la typologie détaillée (Figure 1). Enfin, une ACP intégrant seulement les variables liées à la parcelle a été réalisé sur l'ensemble des parcelles de la zone d'étude (50 702 parcelles).

3/ RESULTATS :

3-1/ Variabilité entre régimes fonciers :

Les objectifs de cette partie sont de déterminer s'il existe des structures parcellaires, des pratiques ornementales et des niveaux d'attaques divergeant selon les régimes fonciers. Les variables décrivant les arbres (code commençant par "AHF") sont exprimées sous forme de densité (nb. arbres km²). Les variables associées aux arbres hôtes et à la structure des parcelles ont été analysées à l'aide d'une Analyse en Composante Principale (ACP) Interclasses (Figure

1a et 1b). On note que les axes décrivent respectivement 92% de l'information contenue dans notre jeu de données (60% pour l'axe 1 et 32% pour l'axe 2). La quasi totalité de l'information est donc prise en compte sur le plan défini par les axes 1 et 2. Le cercle des corrélations (Figure 1b) indique qu'AHF_Nb_esp, PAR_AireM2 et PAR_Perim sont fortement corrélées avec l'axe 1 et expliquent donc une partie importante de la variabilité représentée sur cet axe. Positivement pour la densité en espèce et négativement pour l'aire et le périmètre des parcelles. Pour l'axe 2, c'est Bati_Pourc qui a la plus forte corrélation (positive). Bati_AireM2, Bati_Nb, AHF_parKM2 et PAR_P.A participent à la formation des 2 axes. Les autres variables affectent peu les deux premiers axes. Néanmoins, on peut noter que les variables décrivant les arbres favorables (AHF_Nb_Psy, AHF_Nb_Pma...) ou défavorables (AHF_Nb_Cal, AHF_Nb_PSm) sont corrélées avec AHF_Nb_Pp et AHF_Nb_Ppm.

3.1.1/ Structure de la parcelle :

Nous recherchons ici les différences entre les parcelles décrites pour les différents régimes fonciers. Seules les variables qui jouent fortement dans la création des axes (Figure 1b) seront décrites dans cette partie. Les variables reliées à l'aire et au périmètre des parcelles pour le régime "Réseau routier" n'ont pas été utilisées car la majorité de ces parcelles n'existent pas physiquement (contrairement aux parcelles cadastrales), elles ont été créées pour notre étude (cf 2.2.5.c). Sur l'ACP (Figure 1a), deux nuages de points apparaissent clairement. Le nuage de point situé sous l'axe 1 est constitué des parcelles d'espaces verts, ouverts, boisés, de réseau routier et des maisons individuelles. D'après le cercle des corrélations (Figure 1b) et le Tableau I, ces régimes fonciers sont caractérisés par peu de bâti. (i) En termes de pourcentage : 0.40% pour les espaces ouverts, 0.81% pour les espaces verts, (ii) en termes de nombre : 0.05 bâtiments par parcelles pour les espaces boisés, 0.45 pour le réseau routier (iii) et en termes de surface : 0.08 m² de bâti par parcelle pour les espaces boisés. Pour ces cinq régimes fonciers, un Test T de Student montre que les moyennes des trois variables bâties sont toutes significativement différentes des autres régimes fonciers.

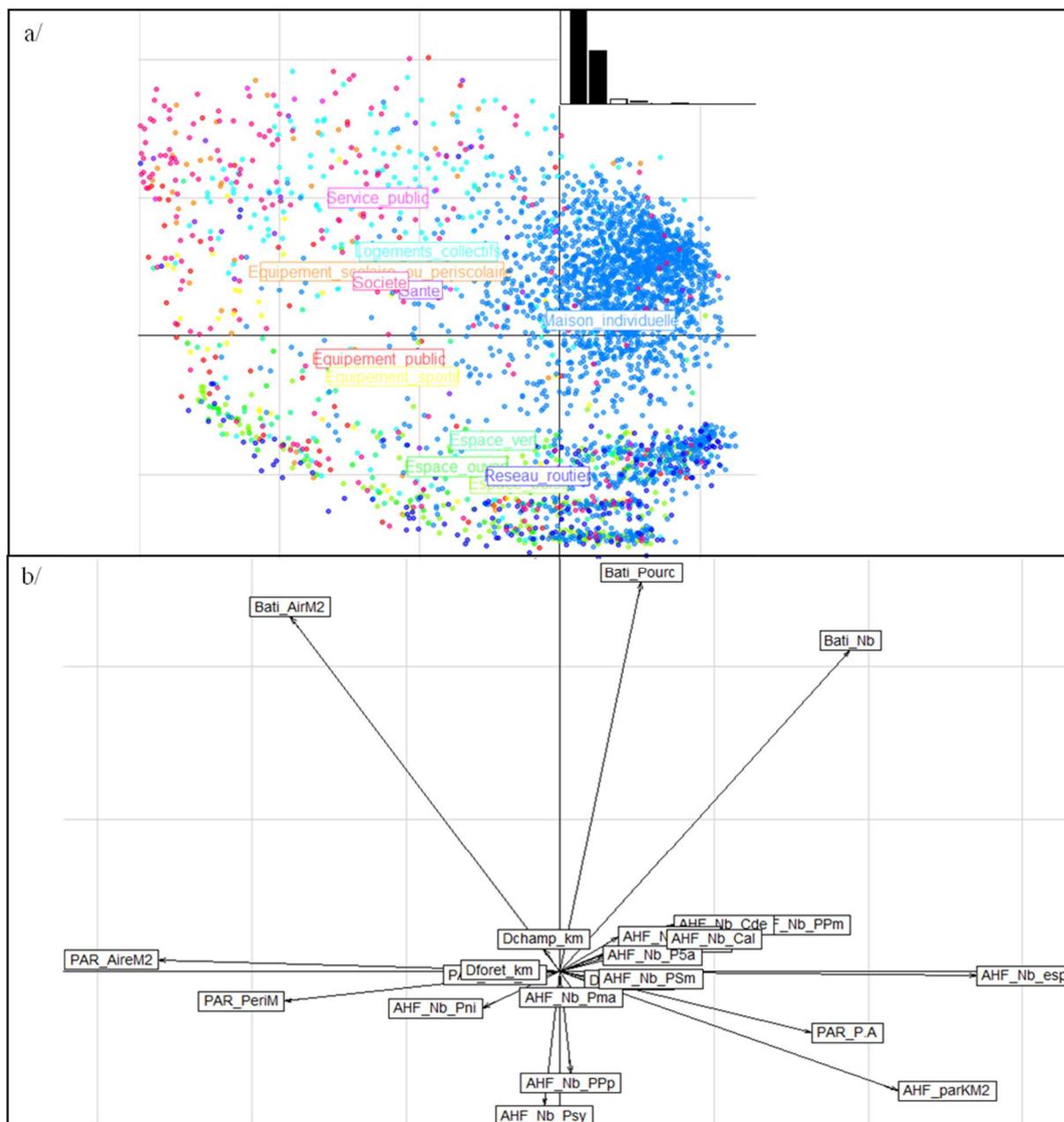


Figure 1 : Analyse en Composante Principale (ACP) Inter-classes (a), et le cercle des corrélations correspondant (b).

Sur l'axe 1, malgré des aires et périmètres relativement faibles par rapport aux autres régimes fonciers, les espaces ouverts, verts et boisés ne se distinguent pas clairement. En effet, les comparaisons de moyennes ne sont pas significatives ($p > 0.05$, test de Student). Les maisons individuelles, essentiellement représentées pour les coordonnées positives sur l'axe 1 et 2, se distinguent par la superficie (955.11 m^2) et le périmètre (132.90 m) le plus faibles face aux autres régimes fonciers (dans les deux cas $p < 0.05$, test de Student). On note également que le rapport entre le périmètre et l'aire est le plus grand pour ce régime foncier ($p < 0.05$, test de

Student). Les maisons individuelles se différencient également par leur pourcentage de bâti intermédiaire (14.66%). L'ensemble des autres régimes fonciers ne se différencie pas clairement. Cependant ils possèdent globalement tous des aires importantes (Tableau I) ainsi que des surfaces de bâti importantes (2260.45 m² pour les parcelles "Santé", 1949.93 m² pour les parcelles d'équipement public).

Tableau I : Moyennes et erreurs standards des variables décrivant la structure des parcelles calculées pour l'ensemble des régimes fonciers. Les abréviations "Eq", "Esp", "Log" et "MI" correspondent respectivement à des Equipements, des Espaces, des Logements et des Maisons Individuelles. Le tableau est classé par Aires croissantes.

Moyennes +/- Erreurs Standards							
Variab les	Nombre de parcelles	Aire des parcelles (m²)	Périmètre des parcelles (m)	Rapport P/A	Aire des bâtiments (m²)	% de bâtiments par parcelle	Nombre de bâtiments par parcelle
MI	2475	955.11 +/- 31.72	132.90 +/- 1.49	0.20 +/- 0.00	109.54 +/- 2.27	14.66% +/- 0.23	1.38 +/- 0.02
Réseau routier	169	2694.66 +/- 436.34	370.77 +/- 30.29	0.34 +/- 0.02	159.12 +/- 105.09	1.22% +/- 0.55	0.45 +/- 0.21
Log Collectif	212	4243.74 +/- 340.83	308.01 +/- 13.75	0.12 +/- 0.01	780.17 +/- 63.66	21.43% +/- 1.04	3.63 +/- 0.37
Esp Ouvert	55	5533.98 +/- 1130.93	321.84 +/- 39.48	0.13 +/- 0.01	19.11 +/- 10.35	0.40% +/- 0.23	0.31 +/- 0.13
Esp Vert	86	6013.08 +/- 1251.18	335.57 +/- 42.34	0.17 +/- 0.02	145.27 +/- 88.76	0.81% +/- 0.37	0.70 +/- 0.27
Esp Boisé	208	6313.93 +/- 1822.73	241.92 +/- 22.08	0.18 +/- 0.01	1.01 +/- 0.38	0.08% +/- 0.05	0.05 +/-0.02
Service Public	11	8374.61 +/- 5025.24	348.91 +/- 75.31	0.10 +/- 0.02	2322.08 +/- 1244.39	29.31% +/- 5.02	4.36 +/- 1.66
Eq Scolaire	59	9005.74 +/- 1383.84	390.55 +/- 35.44	0.10 +/- 0.01	1952.77 +/- 401.00	19.82% +/- 2.16	4.68 +/-0.68
Moyennes +/- Erreurs Standards							

*

Variabes	Nombre de parcelles	Aire des parcelles (m ²)	Périmètre des parcelles (m)	Rapport P/A	Aire des bâtiments (m ²)	% de bâtiments par parcelle	Nombre de bâtiments par parcelle
Santé	20	9352.76 +/- 3033.25	395.62 +/- 74.06	0.13 +/- 0.03	2260.45 +/- 1096.33	19.94% +/- 4.63	4.70 +/- 1.74
Société	226	11056.40 +/- 1316.17	400.06 +/- 23.60	0.11 +/- 0.01	2484.11 +/- 354.83	19.92% +/- 1.21	2.82 +/- 0.36
Eq Sportif	51	14438.73 +/- 3608.07	486.53 +/- 74.64	0.11 +/- 0.01	687.41 +/- 180.12	3.90% +/- 0.89	2.41 +/- 0.56
Eq Public	68	26589.09 +/-9581.47	617.78 +/- 97.18	0.11 +/- 0.01	1949.93 +/- 569.22	9.34% +/- 1.80	4.19 +/- 1.03

* Suite du tableau I

3.1.2/ Densité, diversité et favorabilité :

Ici nous décrivons seulement les données liées aux arbres. Là encore, pour les données tenant compte de l'aire des parcelles telles que les densités d'arbres, nous n'interpréterons pas les résultats pour le réseau routier.

Densité : Globalement, la densité en AHF varie fortement entre les régimes fonciers. Les services publics représentent le régime foncier dont la densité en AHF hôtes est la plus faible (872.05 AHF/km²). Les sociétés, logements collectifs possèdent également des densités faibles. Les maisons individuelles ont, quant à elles, une densité relativement forte (2970.74 AHF/km²). Si ce n'est les équipements sportifs dont la densité est très élevée, seuls les espaces boisés et les espaces verts possèdent une densité plus forte. La densité en AHF pour ces trois régimes fonciers n'était pas significativement différente des maisons individuelles.

Diversité : La diversité des AHF hôtes a été estimée par la densité en espèces. Cette variable a l'avantage de permettre de comparer des parcelles de taille très différentes sans introduire de biais. Sur le cercle des corrélations (Figure 1b), on observe une corrélation positive entre densité des arbres et diversité des essences potentiellement hôtes de la PP (Figure 1b). D'après le Tableau II, c'est dans les Equipements publics, les Equipements scolaires, les Services publics et les sociétés que la diversité était la plus faible. En ne tenant pas compte de la diversité pour le réseau routier, c'est pour les maisons individuelles que la diversité est la plus forte (2413.38 espèces/km²).

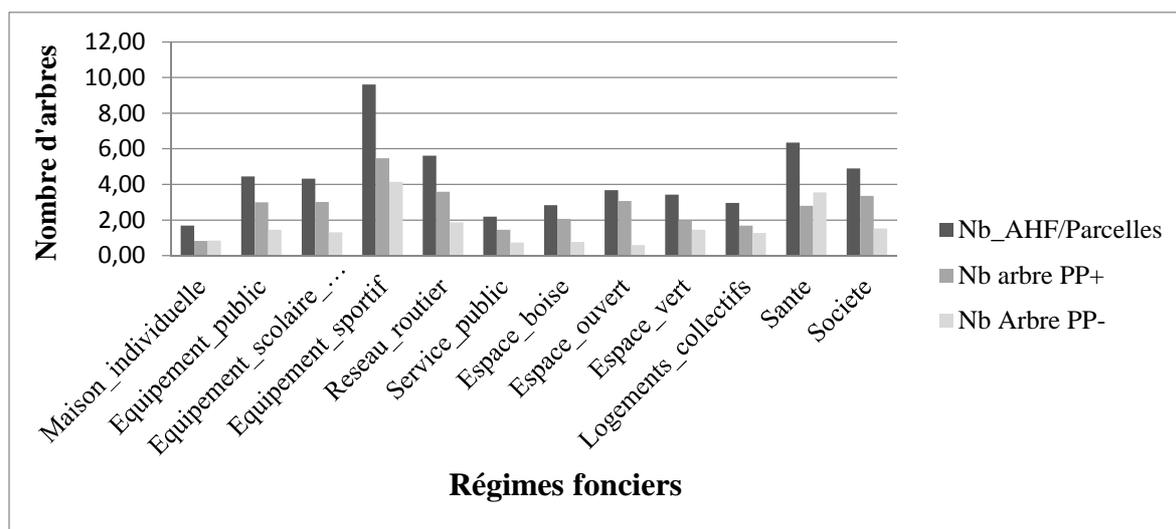


Figure 2 : Moyennes des nombres d'arbres totaux, nombres d'arbres favorables (PP+), nombre d'arbres défavorables (PP-) par parcelle selon les différents régimes fonciers.

« **Favorabilité** » : Pour dix régimes fonciers sur les douze au total, la densité en arbre PP+ est sensiblement de deux fois supérieure à celle en arbres défavorables (Tableau II). Seules les maisons individuelles ainsi que les espaces ouverts possèdent plus d'arbre PP-. D'après les proportions d'AHF PP+, les plus gros planteurs d'arbres favorables sont les équipements publics (70.60%), les espaces ouverts (77.07%) et le réseau routier (64.87%).

3.1.3/ Niveau d'attaques :

Pour exprimer les niveaux d'attaques nous avons calculé la fréquence ainsi que le pourcentage de parcelles attaquées selon les régimes fonciers. Pour neuf régimes fonciers, le pourcentage de parcelles attaquées est supérieur à 15%. C'est dans les espaces verts que le pourcentage d'attaques y est le plus fort avec près de 37% de parcelles attaquées. C'est dans les services publics et les espaces boisés que la proportion est la plus faible avec environ 8%. Les maisons individuelles aussi ont un faible pourcentage d'attaques avec 10% de parcelles attaquées. Cependant, en fréquence, ce sont les maisons individuelles qui sont le plus attaquées. En effet, 243 parcelles de maisons individuelles ont été attaquées contre 227 parcelles pour l'ensemble des autres régimes fonciers (Annexe 7).

Tableau II : Moyennes et erreurs standards des densités en AHF total, en espèces, en arbres défavorables pour la PP (AHF PP-), en arbres favorables pour la PP (AHF PP+). La proportion en AHF PP+ exprime pour chaque régime foncier la somme d'AHF PP+ divisé par la somme total d'AHF dans ce même régime, ce n'est pas une moyenne. Les abréviations ainsi que les effectifs des régimes fonciers sont les mêmes que pour le Tableau I.

Moyennes et Erreurs Standards des densités (AHF/km²)					
Variabes	Tout AHF confondu	Espèces d'AHF	AHF PP-	AHF PP+	Proportion totale d'AHF PP+
Eq Public	1383.25 +/- 306.19	760.67 +/- 131.72	455.83 +/- 283.01	927.42 +/- 158.94	70.60%
Eq Scolaire	1547.13 +/- 345.75	778.09 +/-136.70	538.44 +/- 151.95	1008.69 +/- 328.44	55.42%
Eq Sportif	5875.56 +/- 2161.76	994.45 +/- 207.11	1186.69 +/- 495.08	4688.97 +/- 2146.95	43.27%
Esp Boisé	4156.31 +/- 647.53	2236.68 +/- 237.44	1585.76 +/- 574.94	2570.55 +/- 348.84	73.87%
Esp Ouvert	2260.84 +/- 435.32	1145.09 +/- 175.14	821.33 +/- 406.74	1439.51 +/- 239.20	77.07%
Esp Vert	3164.84 +/- 839.52	2030.55 +/- 343.26	1022.33 +/- 193.34	2142.51 +/- 841.43	52.83%
Log Collectif	1594.09 +/- 281.51	1091.02 +/- 257.33	736.43 +/- 255.20	857.66 +/- 139.78	55.00%
MI	2970.74 +/- 87.12	2413.38 +/- 62.85	1561.56 +/- 60.56	1409.18 +/- 70.76	46.33%
Réseau routier	8284.98 +/- 1396.12	3215.55 +/- 451.48	3922.14 +/- 1167.68	4005.47 +/- 777.34	64.87%
Santé	1740.12 +/- 389.30	1267.21 +/- 355.99	697.48 +/- 266.35	1042.64 +/- 382.45	40.20%
Service Public	872.05 +/- 365.14	486.82 +/- 140.70	517.68 +/- 380.35	354.38 +/- 131.36	57.95%
Société	1550.62 +/- 195.82	857.87 +/- 91.10	562.08 +/- 125.65	988.54 +/-154.69	63.83%

3.2/ Vers une acquisition des données simplifiées

3.2.1/ Typologie simplifiée

Une ACP inter-classes a été réalisée sur la typologie simplifiée (cf 2.3.2). On retrouve les mêmes nuages de points qu'avec l'ACP interclasse de la typologie détaillée (Annexe 8 et Figure 1a). On distingue très bien le régime foncier "Physique Privé". Par contre, les trois autres régimes ne se distinguent pas, ils sont repartis sur l'ensemble du plan. Si on compare les cercles des corrélations, les variables participent toutes de la même façon à la création des axes dans les deux typologies.

3.2.2/ Sans données "arbres"

Une nouvelle ACP interclasses a été réalisée en ne conservant que les données liées à la structure de la parcelle (Annexe 9). Sans les données arbres, les résultats de l'ACP changent de façon marquée. La distribution des points sur les axes est plus compacte, cependant le nuage de points des maisons individuelles se différencie tout de même du reste. Le périmètre des parcelles contribue fortement à la création de l'axe 2 tandis que le pourcentage de bâti participe le plus à la création de l'axe 1. Ici, les régimes fonciers sont principalement séparés sur l'axe 2.

3.2.3/ Seuil de présence d'arbres hôtes

Après avoir effectué l'ACP sur l'ensemble des parcelles de la zone d'étude (avec et sans arbres) en différenciant les parcelles avec et sans arbres (Figure 3a), on observe que les parcelles avec arbres forment un nuage de points non distinct de l'ensemble des parcelles mais localisé sur une partie de ce plan de l'ACP. D'après le cercle des corrélations correspondant (Annexe 10), il semblerait que sous une superficie seuil, la proportion de parcelles avec arbres soit quasi nulle. En fixant le seuil à 200 m² (Figure 3b), on observe globalement les mêmes nuages de point entre les deux ACP. Pour des parcelles dont la taille est inférieure à 200m², il semblerait que la probabilité de trouver un arbre hôte soit très faible.

3.2.2/ Via Corin Land Cover

Sur l'ensemble des parcelles avec arbres qui traversent la couche Corin Land Cover de tissu urbain discontinu, 74.88% sont des maisons individuelles (Annexe 11). Les autres régimes fonciers ne dépassant pas 7% (6.84% pour les logements collectifs).

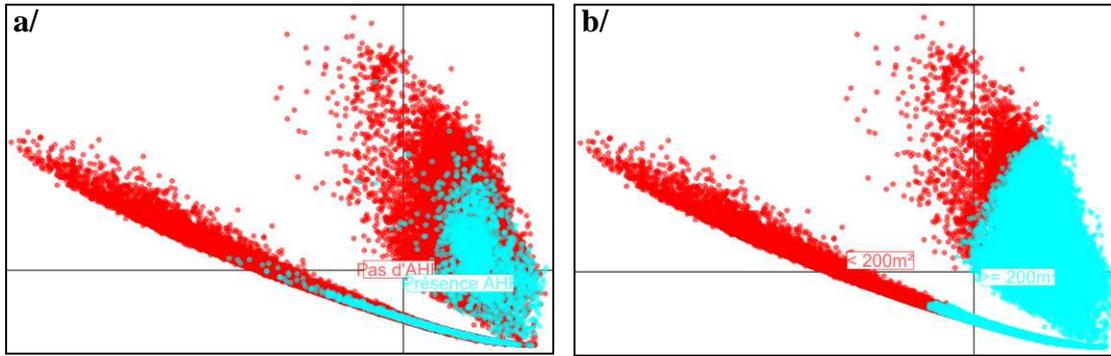


Figure 3 : ACP sur l'ensemble des parcelles (avec et sans arbres). Les variables utilisées pour cette ACP sont l'ensemble des variables liées à la structure de la parcelle. (a) Représentation des parcelles avec (rouges) et sans arbres (bleues). (b) Représentation des parcelles avec une superficie inférieures à 200m² (bleues) et une superficie supérieure à 200m² (rouges).

4/ DISCUSSION :

4-1/ Contribution des régimes fonciers à la distribution des AHF et de la processionnaire

Nos résultats indiquent (Figure 1) qu'en considérant l'ensemble des variables (arbres et structure de la parcelle), on peut définir trois grands ensembles d'usages des sols qui se différencient graduellement les uns des autres (Figure 1) : (i) Les maisons individuelles (ii) les sociétés, logements collectifs, services publics, équipements publics... (iii) les espaces verts, boisés, ouverts et tronçons routiers. Ces trois grands ensembles correspondent respectivement à des terrains bâtis appartenant à des personnes physiques, des personnes morales et des terrains non bâtis de divers régimes fonciers (Annexe 5). Nous mettons donc en évidence des relations entre régimes fonciers, structure du terrain et distribution des arbres-hôtes de la processionnaire du pin.

La plantation d'arbres en milieu urbain dépend en partie de caractéristiques des parcelles (taille, forme, présence de bâti, ...). Les parcelles avec AHF se différencient de l'ensemble des parcelles de la zone d'étude (avec et sans AHF hôtes) seulement par une absence de toute petites parcelles (Figure 3). Sous le seuil de 200 m², la taille du terrain permet plus difficilement de planter des arbres. Sur l'ACP inter-classes (Figure 1), la densité et la richesse en AHF hôtes s'oppose sur l'axe 1 à la surface des parcelles et à l'aire du bâti. A la différence des arbres sur des parcelles forestières, les arbres à usage ornementaux ont rarement vocation à occuper largement l'espace disponible. Ceci étant probablement indépendant du type de propriétaire. Sur de grandes parcelles, la densité tend donc à être plus faible. La relation du même type entre densité et aire du bâti peut s'expliquer par le fait que plus le bâti occupe une part importante de

la parcelle, moins elle pourra comporter d'arbre (Tableau I et Tableau II). La relation entre richesse spécifique et densité pourrait s'expliquer par le fait que plus on plante d'arbres, plus on a des chances de diversifier l'assemblage d'espèces. Cependant, les parcelles pour lesquelles le nombre d'arbres est en moyenne le plus élevé sont celles qui possèdent la richesse spécifique la plus faible (Figure 2 et Tableau II). Cette relation pourrait donc aussi s'expliquer par le comportement différent de certains types de propriétaires (personnes morales *versus* personnes physiques).

Plus étonnamment, l'axe 2 montre que plus le pourcentage de bâti est fort, moins on tend à planter d'essences favorables à la processionnaire du pin. Cette relation paraît cette fois plus difficile à expliquer par les seules caractéristiques de la parcelle et semble devoir faire intervenir le comportement des propriétaires en matière de choix d'essences.

L'axe 2 sépare en particulier les parcelles bâties des parcelles non bâties avec d'un côté plutôt les maisons individuelles, les sociétés, logements collectifs, ... et de l'autre les tronçons routiers et les espaces verts, ouverts ou boisés. Il est à noter que l'ensemble de points « maison individuelle » se trouvant sous l'axe 2 correspond en fait à des parcelles non construites attenantes à une parcelle bâtie et faisant généralement partie d'un même ensemble clôturé (Annexe 3). Ceux-ci mériteraient peut être d'être considérés séparément même s'ils appartiennent au même propriétaire, ce qui pourrait renforcer l'opposition sur l'axe 2.

La variable densité d'essences favorables est très liée aux valeurs négatives de l'axe 2. De plus, les maisons (2475 parcelles au total) et espaces boisés (208 parcelles) sont les catégories qui plantent le plus d'espèce défavorables (Tableau II). Les pins noirs sont connus pour être couramment utilisés comme accompagnement de voies de circulation, en particulier le long de la « tangentielle » qui traversent toute la zone d'étude. Les pins sylvestres, très présents en forêt d'Orléans sont également facilement rencontrés dans les espaces verts. Nos résultats confirment alors que les personnes morales, généralement publiques, gérant espaces verts et routes ont tendance à planter plus d'espèces favorables à la processionnaire (Figure 2). Leur comportement en matière de choix d'essences apparaît donc s'opposer en particulier aux personnes physiques (propriétaires de maisons individuelles). Dans l'ensemble, les propriétaires de maisons individuelles tendraient quant à eux à planter plus d'essences défavorables, en même temps qu'ils plantent plus d'essences différentes (Tableau II). De ce point de vue (axe 1 de l'ACP et Figure 1), ils se différencient en partie des sociétés et autres personnes morales privées ou publiques. Au final, on peut penser qu'il s'agit plus d'une question de choix que d'une contrainte directement liée aux caractéristiques du terrain. Une relation directe de causalité structure de la parcelle / « favorabilité » apparaît peu vraisemblable

car les deux catégories d'arbres (favorables et défavorables) présentent dans l'ensemble, des contraintes d'encombrement similaire. La catégorie des arbres défavorables est plus hétéroclite car elle contient des arbres allant à maturité de tailles très petites (*P. mugo*) à des tailles très grandes (*Cedrus*, *Pseudotsuga*). Néanmoins, le *P. mugo* ne représente que 4% des essences défavorables. On peut supposer que les motivations des particuliers en matière de plantation les poussent plus facilement à diversifier les essences (par exemple personnaliser sa propriété). A l'inverse, des personnes morales publiques pourraient plus souvent acheter en gros par exemple via des procédures de marché public.

Les propriétaires des maisons individuelles pourraient donc avoir de « meilleures pratiques » du point de vue de la limitation des nuisances de la PP, car au-delà de la « favorabilité » des essences, Rousselet et al (2015) ont suggéré que la richesse spécifique en arbres-hôtes pourrait éventuellement avoir un effet négatif sur l'abondance.

De plus, il semblerait que l'abondance de la PP soit liée à la composition en arbre favorable et défavorable de la parcelle. Les régimes fonciers les moins attaqués (Annexe 7) sont ceux qui plantent plus d'arbres défavorables (service publics et maisons individuelles, Tableau II). De la même façon, les régimes fonciers les plus attaqués (Annexe 7) se révèlent être ceux qui plantent le plus d'arbres favorables (globalement des personnes morales, Tableau II). Les équipements sportifs, le réseau routier, les espaces verts sont fortement attaqués. (Annexe 7). Néanmoins, ceci ne se vérifie pas pour les espaces boisés. Les parcelles y sont peu attaquées malgré des densités plus fortes en arbres favorables. Il semblerait que les espaces ouverts soient plus favorables aux attaques de la PP que les espaces fermés (espaces boisés) (Samalens & Rossi 2011).

Nous avons mis en évidence l'existence de pratiques ornementales différentes selon les types de personnalités juridiques. Les pratiques des particuliers auraient tendance à être moins favorables à la PP que d'autres. Néanmoins, nos résultats montrent que cette catégorie est un contributeur important en AHF et que globalement la densité en hôtes de la PP est forte. Le milieu urbain est donc une composante importante à considérer dans un modèle de connectivité à une échelle régionale. Ces résultats couplés à ceux de Rossi et al (sous presse) suggèrent que villes, villages et hameaux constituent un tissu « irriguant » les milieux non forestiers en AHF hôtes de la PP.

4-2/ Perspectives en matière de construction d'un modèle de distribution des AHF

Dans le contexte de l'expansion de la PP vers le Nord du pays, la création d'un modèle statistique de la distribution de ses arbres hôtes pourrait permettre de simuler des continuités

écologiques potentielles et ainsi de prévenir à temps les collectivités risquant d'être colonisées. L'idée étant de définir en un pixel de l'espace la probabilité de mettre un arbre à partir de données disponibles ou dont l'acquisition est aisée.

Une typologie croisant les informations de personnalités juridiques (morale/physique) ainsi que du statut foncier (public/privé) permet de ne pas perdre trop d'information. En effet d'après nos résultats (Annexe 5), l'information récoltée avec la typologie simplifiée est comparable à celle obtenue avec notre typologie plus complexe (Figure 1).

Nos résultats montrent que les différents fonciers sont associés à des probabilités différentes de recevoir des arbres. Dans notre jeu de données AHF, la relation entre le foncier et les variables de structure de la parcelle permettent d'envisager de se baser sur ces dernières sans forcément avoir à acquérir les données foncières. Cependant, notre jeu de données ne traite qu'un sous-ensemble du total des parcelles. D'après la Figure 3, les parcelles avec AHF et sans AHF varient de façon similaire sur une large gamme des paramètres de structure étudiés à l'exception des petites parcelles. A partir de ce qu'on a observé dans notre jeu de données, il serait possible de fixer un seuil pour les petites parcelles dont la probabilité de recevoir un arbre est quasi nulle.

Enfin, il apparaît possible de stratifier un modèle de distribution des arbres sur la base des couches CLC. La couche CLC 112 de l'EEA vise à décrire les zones résidentielles, caractérisées sur les photos satellites par un mélange de bleu (terres artificialisées, en particulier bâti) et de rouge (végétation). Notre travail à un grain beaucoup plus fin montre que cette couche « capture » bien les maisons individuelles (70% de cette catégorie) sur cette (Annexe 11). Elles constituent une catégorie essentielle à prendre en compte pour évaluer les continuités écologiques envers la PP.

4-3/ conclusion

Parmi les pratiques ornementales des différents acteurs, les propriétaires de maisons individuelles n'apparaissent pas avoir les pratiques les plus favorables à la PP, mais vu leur poids numérique, ils contribuent très fortement à la disponibilité en arbres hôtes. La communication vers les personnes morales, en particulier publiques, des régions affectées par la processionnaire ou allant l'être est probablement assez facile. D'ailleurs certaines collectivités, comme c'est le cas dans notre zone d'étude, ont commencé à réduire les plantations de pins favorables par exemple en modifiant les cahiers des charges des appels d'offres paysagers en supprimant les pins noirs des zones à risques ou en accentuant la communication sur ce thème avec leurs administrés. L'effort le plus important, mais sans doute

le plus difficile à mettre en œuvre, doit être orienté vers les personnes physiques du fait de leur importance numérique dans le système. L'objectif serait d'accroître encore la plantation d'essences défavorables et pour ce faire, de mettre en place une communication accrue avec ces acteurs. L'adaptation du patrimoine arboré urbain au changement climatique constitue de ce point de vue une opportunité d'orienter les choix d'espèces. Pour avancer dans cette direction, il apparaît aujourd'hui indispensable de faire appel aux compétences de chercheurs en sciences humaines et sociales notamment pour identifier les facteurs économiques et culturels influençant les choix d'essences afin de définir des leviers d'action permettant de réduire les continuités écologiques favorables à la processionnaire du pin. Il s'agit de concevoir les infrastructures vertes de façon à en obtenir un service et non un « *disservice* » vis-à-vis de cette espèce urticante.

REMERCIEMENTS :

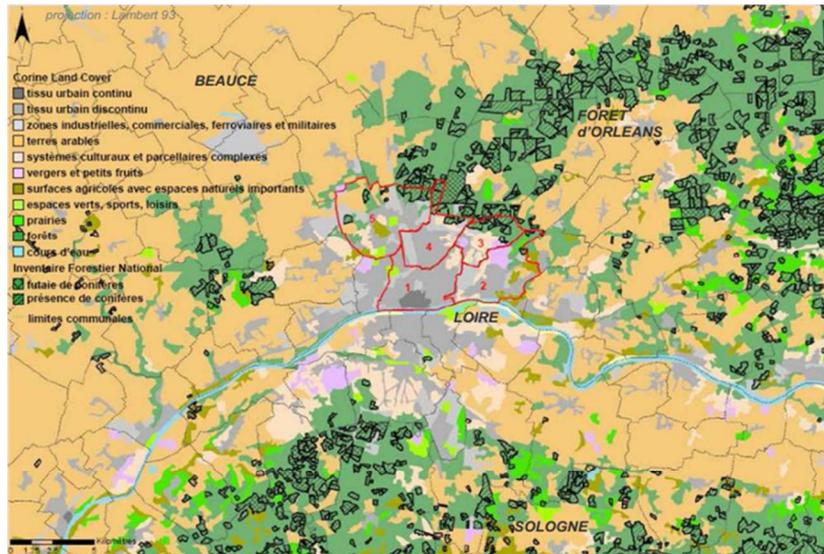
Je tiens à remercier Jérôme Rousselet et Jean-Pierre Rossi pour l'aide qu'ils m'ont apportée tout au long de mon stage, pour la richesse de leurs enseignements et pour leur bonne humeur communicative. Je remercie également Alain Roques de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire. Je souhaite remercier tout particulièrement Elia Lanher, Jean-Pierre Orange, Bernard Chevalier, Philippe Rota et Hervé Mifsud qui m'ont accueilli dans les locaux de leurs communes afin de consulter les données cadastrales. Mon travail de stage s'est inscrit dans les projets ADRIEN 2012-2015 (APR d'intérêt régional Région Centre Val de Loire) et Sésame 2013-2015 (métaprogramme INRA SMaCH) et je tiens donc à exprimer ma reconnaissance à la Région Centre Val de Loire et à l'INRA qui ont financé ce travail, à Vanessa Imbault qui a réalisé l'inventaire de terrain, ainsi qu'à l'ensemble des partenaires (villes de Fleury-les-Aubrais, Saint-Jean-de-Braye et Saran, l'agglomération Orléans Val de Loire, Plante et Cité, la FREDON-Centre, le CAGF de l'ONF, le LBLGC de l'Université d'Orléans et l'INRA-AGPF) et membres du comité de pilotage (ville d'Orléans, CRPF IdF-Centre, Arbocentre, INRA-Infosol).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

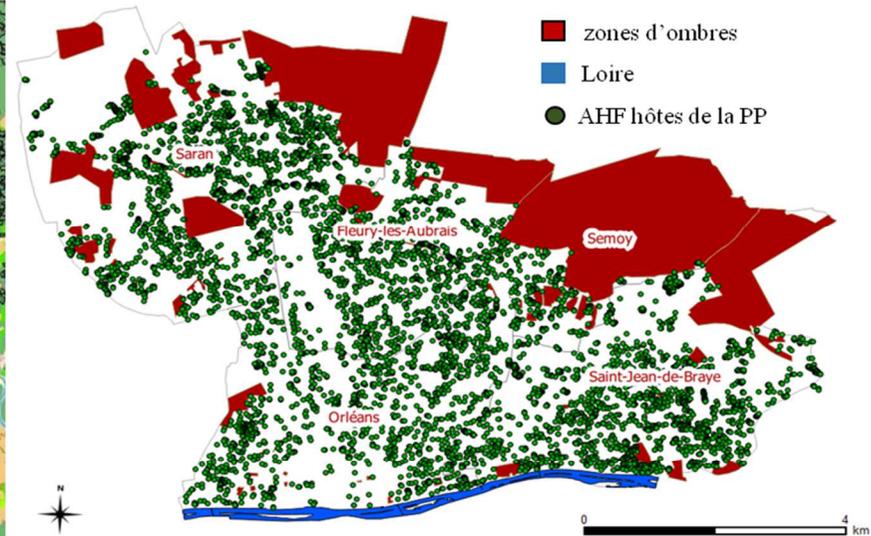
- Bellefontaine, R. et al 2001. Les arbres hors forêt: vers une meilleure prise en compte. Cahiers FAO conservation, 35 FAO.
- Bergès, L. et al 2010. Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la Trame verte et bleue. Sciences Eaux & Territoire n°03. 34-39.

- Caillault, S. et al 2009. Pratiques agricoles, perceptions et représentations du paysage : quelles articulations ? Approches croisées Nord / Sud, *Norois*.
- Clergeau, P. et al 2013. Trames vertes urbaines – de la recherche scientifique au projet urbain. Editions du Moniteur, Paris, 340 pp.
- Démolin, G. et al 1969. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance économique. *Annales des Sciences Forestières* 26 : 81-102.
- Laubray, S. 2012. Dynamique de l'expansion spatiale de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans le bassin Parisien. Apport de la génétique et de l'écologie du paysage. Rapport de stage Master 2 Biologie des Organismes, des Populations et des Ecosystème (BOPE). Université Orléans, 25 Pages.
- Legendre, P. et al. 1998. Numerical Ecology, Elsevier
- Lumsden, LF. et al 2005. Scattered trees in rural landscapes: foraging habitat for insectivorous bats in south-eastern Australia. *Biol Conserv* 122:205-222
- Manning, AD. et al 2006. Scattered trees are keystone structures –Implications for conservation. *Biol Conserv* 132:311-321
- Moneo, I. et al 2014. Medical and Veterinary Impact of the Urticating Processionary Larvae. In *Processionary moths and climate change: an update*. Berlin (DEU): Editions Springer, Versailles (FRA) : Editions Quae 2015. 188-193
- Nageleisen, L.-M. et al 2010. La santé des Forêts : Maladies, insectes, accidents climatiques ... Diagnostics et prévention. Département de la Santé des Forêts / Institut pour le Développement Forestier, Paris, 608 p.
- Plieninger, T. et al 2004. Effects of land use and landscape structure on holm oak recruitment and regeneration at farm level in *Quercus ilex* L. dehesas. *J Arid Environ* 57:345-364
- Rousselet, J. et al. 2015. Range Expansion in the Pine Processionary Moth: A Population Genetics Approach. In *Processionary moths and climate change: an update*. Berlin (DEU), Editions Springer; Versailles (FRA) Editions Quae. 188-193
- Roques, A. 2015. *Processionary moths and climate change: an update*. Berlin (DEU) : Editions Springer, Versailles (FRA) : Editions Quae
- Rossi, J.P. (sous presse). Trees outside forests in agricultural landscapes: spatial distribution and impact on habitat connectivity for forest organisms, *Landscape Ecology*.
- Roy, S. et al 2012. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones.
- Samalens, J.C. et al 2011. Does Landscape Composition Alter the Spatiotemporal Distribution of the Pine Processionary Moth in a Pine Plantation Forest?. *Population Ecology* 53, 2: 287-296
- Soini, E. 2005. Inventory methods for forests and trees outside forests (TOF) using remote sensing: A literature review. Dissertation, University of Helsinki.

ANNEXES :



Annexe 1 : Usage des sols dans l'environnement de l'agglomération orléanaise et localisation géographique de la zone d'inventaire de la processionnaire du pin et de ses arbres-hôtes potentiels : en rouge, limites des cinq communes inventoriées (1. Orléans, 2. Saint-Jean-de-Braye, 3. Semoy, 4. Fleury-les-Aubrais, 5. Saran). J. Roussel et V. Imbault (2013)



Annexe 2 : Zone d'étude avec en rouge les zones d'ombres (zones non inventoriées) et en vert les AHF hôtes de la PP inventoriés.

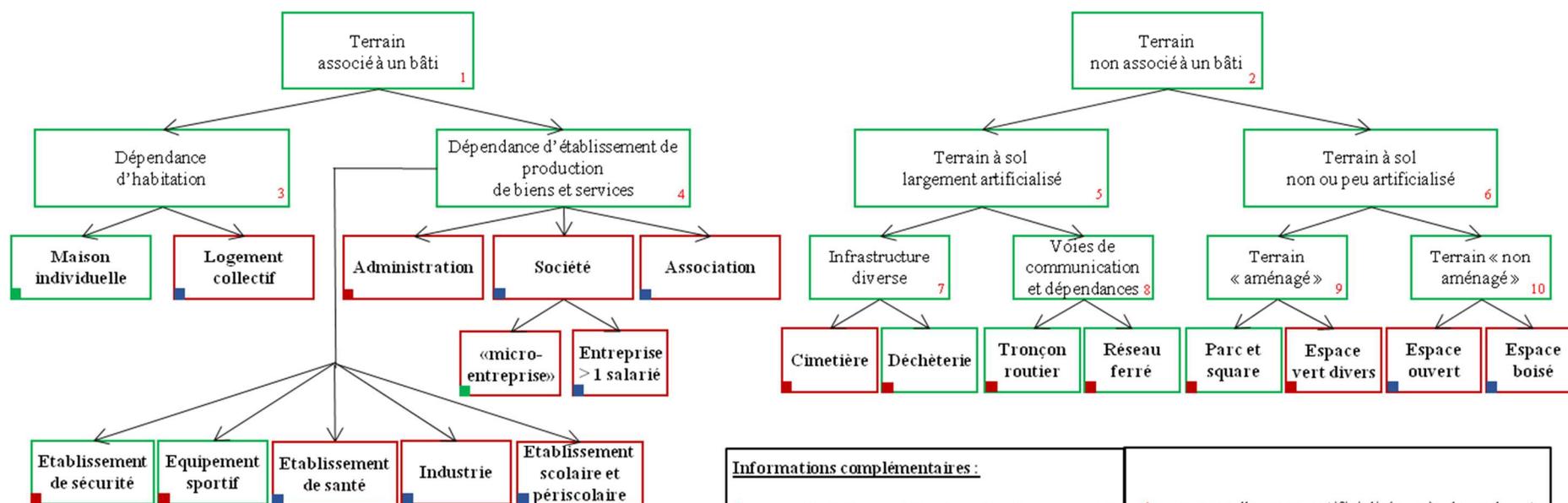
Annexe 3 :

Clés visuelles de détermination et descriptions du régime foncier :

- **Réseau routier :** Espace vert sans équipement aux abords des routes.
- **Maison individuelle :** Parcelle sur laquelle il n'y a qu'un seul logement et disposant d'une entrée particulière. On a pu également observer dans le terrain des effets personnels (jouets, linge).
- **Équipement sportif :** Ensemble des aménagements ou constructions liés à la pratique du sport. L'ensemble est clôturé, à l'entrée de ces équipements figure le nom du stade, du complexe. On peut également directement observer des équipements sportifs dans l'enceinte.
- **Logement collectif :** Représente les immeubles et espaces verts associés. Les bâtiments font plusieurs étages, il y a généralement un parking. On peut observer des biens personnels sur les balcons.
- **Équipement scolaire ou périscolaire :** Établissement accueillant des enfants ou étudiants. L'ensemble est clôturé, à l'entrée est indiqué le nom de l'établissement. On pouvait observer des espaces de jeux dans les cours, voir même directement des élèves.

- **Service public :** Ensemble des établissements administratifs. Comprend les préfectures, mairies, cités administratives, états civils, inspection académique. Systématiquement le nom de ces services était indiqués sur la façade des bâtiments.
- **Société :** N'est autre qu'une entreprise. Le nom de la société figure à l'entrée, souvent associée à un parking. Nous avons fait la distinction entre les sociétés de plus d'un salarié (personne morale) et les sociétés d'un seul employé (personne physique) <http://www.societe.com/>. Dans notre typologie nous avons associé cette catégorie aux industries et associations de façon à réduire le nombre de catégories pour que les ACP (cf 2.3) soient lisibles. Nous avons estimé que du point de vue de l'arbre, ces catégories pourraient avoir des comportements similaires.
- **Santé :** Établissement accueillant et soignant des patients. Le nom de l'établissement est visible à l'entrée.
- **Équipement public :** Ensemble d'équipements de statut public. Dans cette catégorie nous avons pu différencier, les déchèteries, et cimetières. Pour les mêmes raisons que les sociétés, cette catégorie regroupe les établissements de sécurité pour notre typologie détaillée.
- **Espace boisé :** Espace où l'arbre est prédominant.
- **Espace ouvert :** Zone végétalisée non occupée par des bâtiments, non accessible au public, non aménagée.
- **Espace vert :** Regroupe pour notre typologie les espaces vert divers (espaces verts qui n'appartiennent pas aux parcs et squares, ni aux espaces boisés), et parcs et squares (espace très végétalisé, souvent clôturé, disposant d'aires de jeux, de promenade).

Annexe 4 : Méthodologie suivie lors de la collecte de données



Légendes :

- → Statut foncier privé ou public selon les cas
- → Statut foncier public
- → Statut foncier privé

Détermination visuelle dans GSV

Recherche internet / cadastre / couches SIG

Informations complémentaires :

<p>1 : parcelle bâtie ou faisant partie d'un ensemble clôturé</p> <p>2 : parcelle non ou très peu bâtie</p> <p>3 : parcelle contenant une habitation (maison ou immeuble) ou attenante à l'habitat (jardin ou espace vert)</p> <p>4 : parcelle arborant le nom d'une personne morale ou hébergeant une infrastructure identifiant son activité</p> <p>5 : parcelle largement artificialisée où le sol est peu végétalisé</p>	<p>6 : parcelle peu artificialisée où le sol est majoritairement végétalisé</p> <p>7 : parcelle artificialisée n'appartenant pas aux voies de communication</p> <p>8 : parcelle attenante à un tronçon routier ou au réseau ferré</p> <p>9 : présence d'un équipement (banc, poubelle, sentier entretenu, ...)</p> <p>10 : aucun équipement</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Description des sous-catégories :

- **Etablissement de sécurité** : comprend les casernes de pompiers, casernes de gendarmeries, locaux de police, les prisons, et les zones militaires.
- **Equipement sportif** : comprend les complexes sportifs, les équipements sportifs extérieurs (stade) et les équipements sportifs couverts (gymnase).
- **Etablissement de Santé** : comprends les hôpitaux, cliniques, instituts médicaux (centre de rééducation), et maisons de retraite.
- **Etablissement scolaire et périscolaire** : comprends les écoles maternelles, primaires, collèges, lycées, écoles supérieurs, crèches, garderies et centres de loisir.

Typologie détaillée :

- Réseau routier (Tronçon routier)
- Maison individuelle
- Equipement sportif
- Logement collectif
- Equipement scolaire et périscolaire
- Service public (Administration)
- Société (comprend en plus : Industrie, Association)
- Santé (Etablissement de santé)
- Equipement public (regroupe les établissements de sécurité, cimetières et déchèterie)
- Espace boisé
- Espace ouvert
- Espace vert (regroupe les espaces verts divers et les parcs et squares)

Typologie simplifiée :

- Physique Privé
- Morale Privé
- Morale Public
- Indéterminée Privé

Personne physique : les propriétaires de maisons individuelles et les « micro-entreprises »

Personne indéterminée : comprend les espaces boisés et ouverts. Ces espaces peuvent être la propriété d'une entreprise (personne morale) ou d'un particulier (personne physique). Hors seul l'information privé a été conservée dans les cadastres.

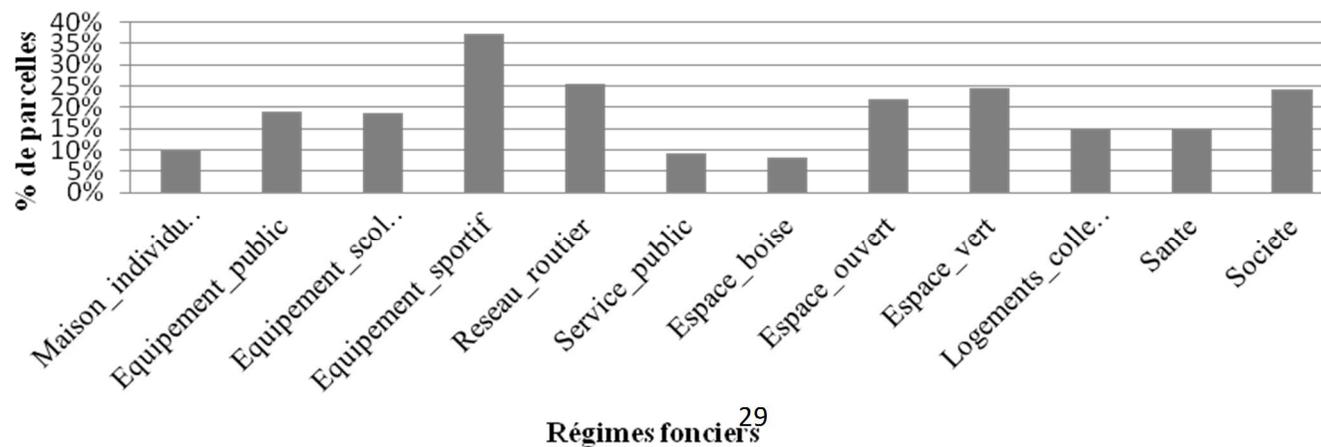
Personne morale : Comprend toutes les autres catégories

Annexe 5 : Typologie détaillée avec l'ensemble des régimes fonciers qu'elle contient et typologie simplifiée avec l'explication des catégories

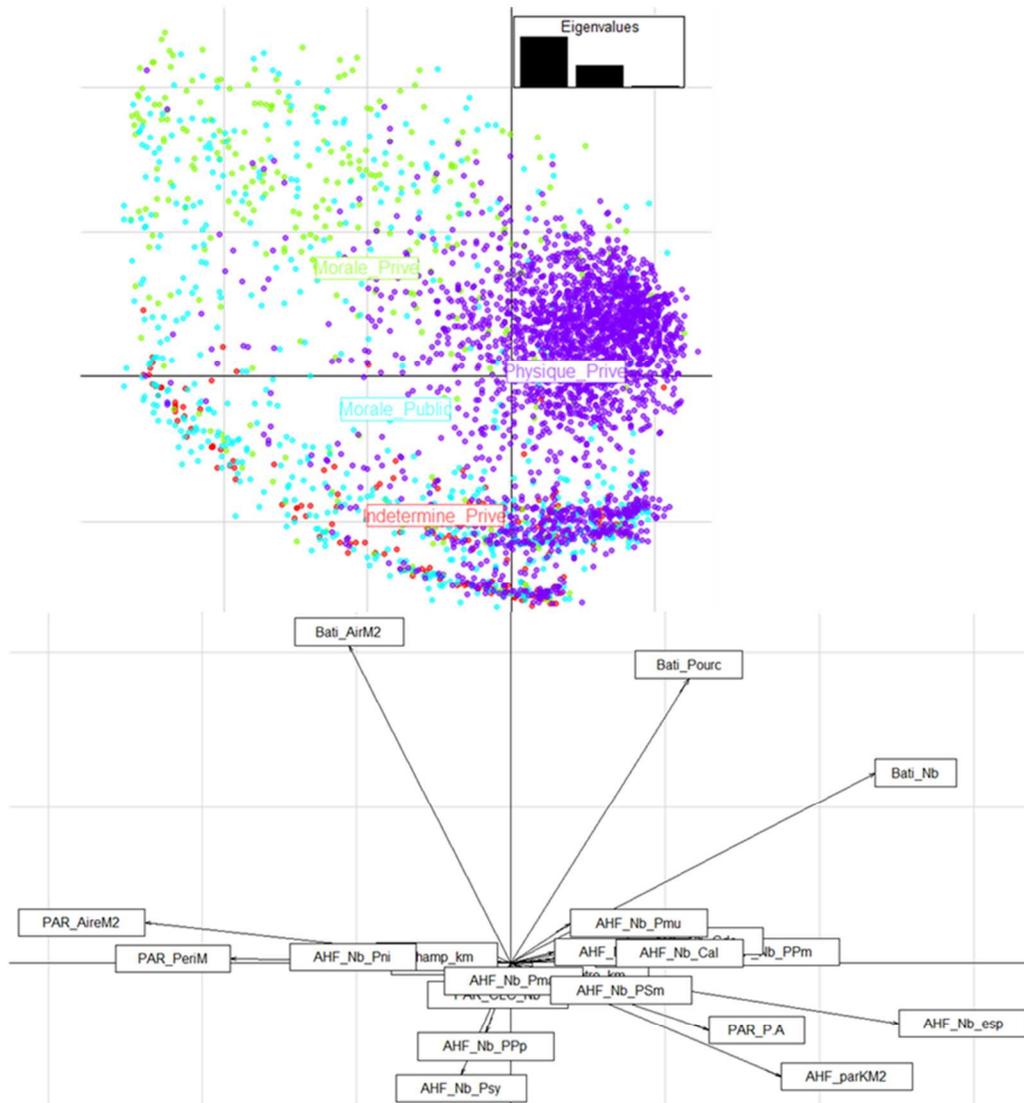
Annexe 6 : détail des fonctions utilisées sous Qgis

- **Jointure vectorielle** : permet de joindre en totalité ou en partie deux tables attributaires dès lors que les couches correspondantes partagent une relation spatiale.
- **Jointure vectorielle** : dite aussi vectorielle, permet de joindre deux tables attributaires dès lors qu'elles partagent un champ commun (Identifiant unique de parcelle).
- **Tampon** : permet à partir d'une couche polygone (couche des routes) de créer des polygones. La largeur du tampon peut être définie. Dans notre cas elle était égale à quatre fois la largeur de la route (de 12 mètre à 40 mètres).
- **Points dans un polygone** : Dénombre les entités ponctuelles (arbres) présentes au sein de chaque entité surfacique (parcelles).

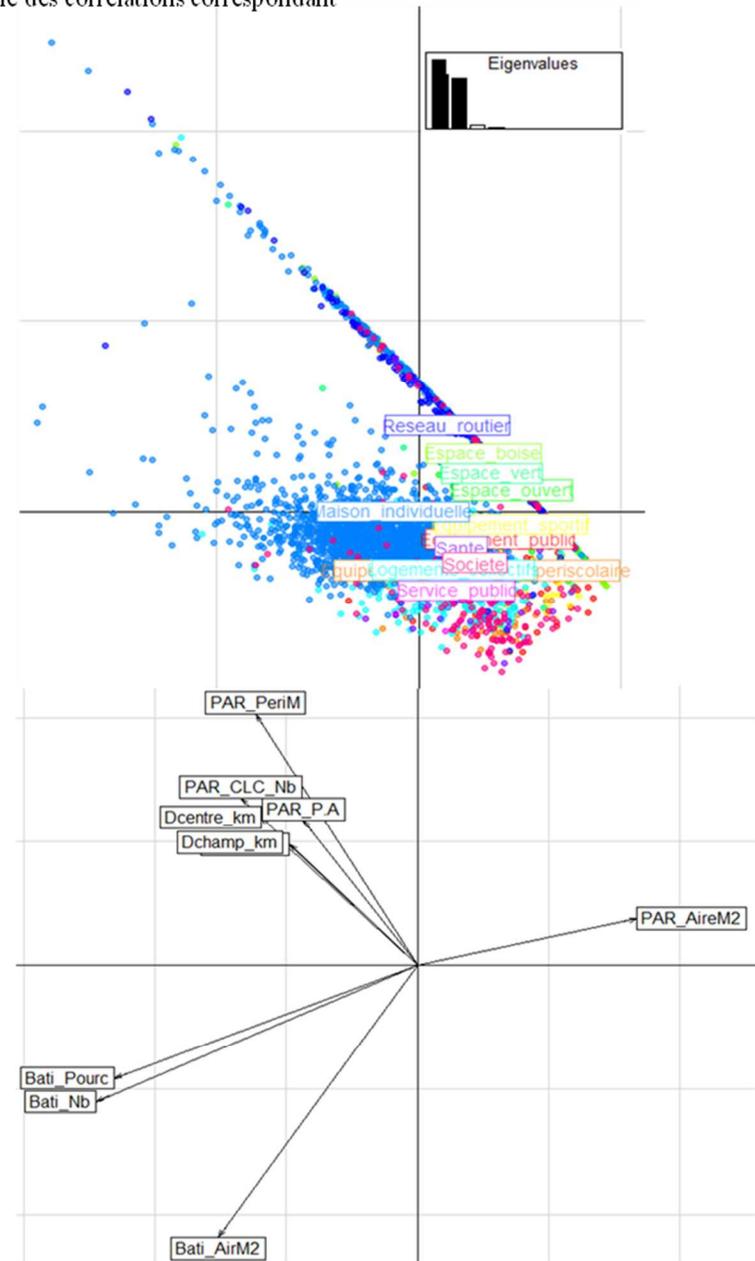
Annexe 7 : Pourcentage de parcelles atteintes selon les régimes fonciers

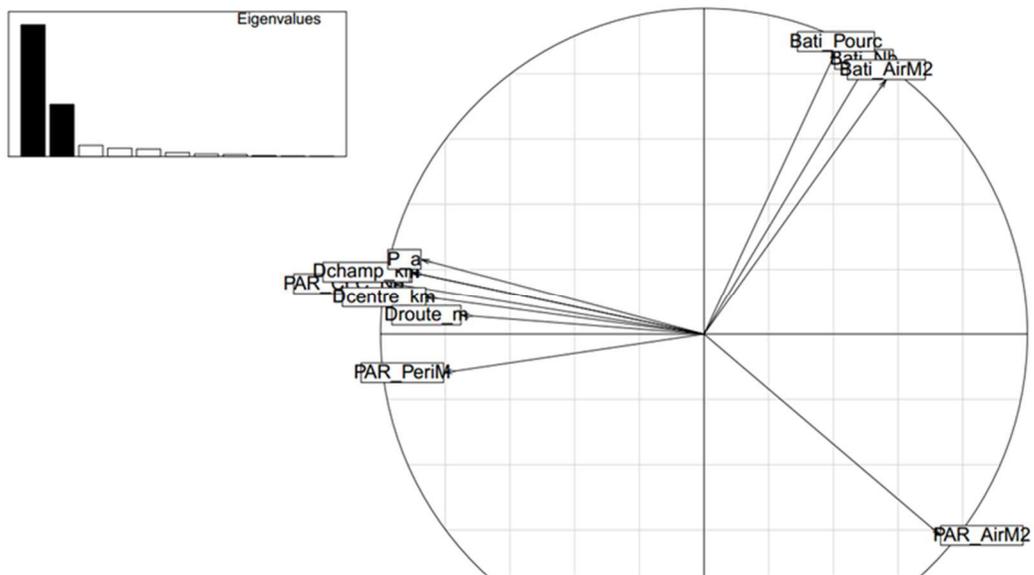


Annexe 8 : ACP Interclasse selon la typologie simplifiée et le cercle des corrélations correspondant

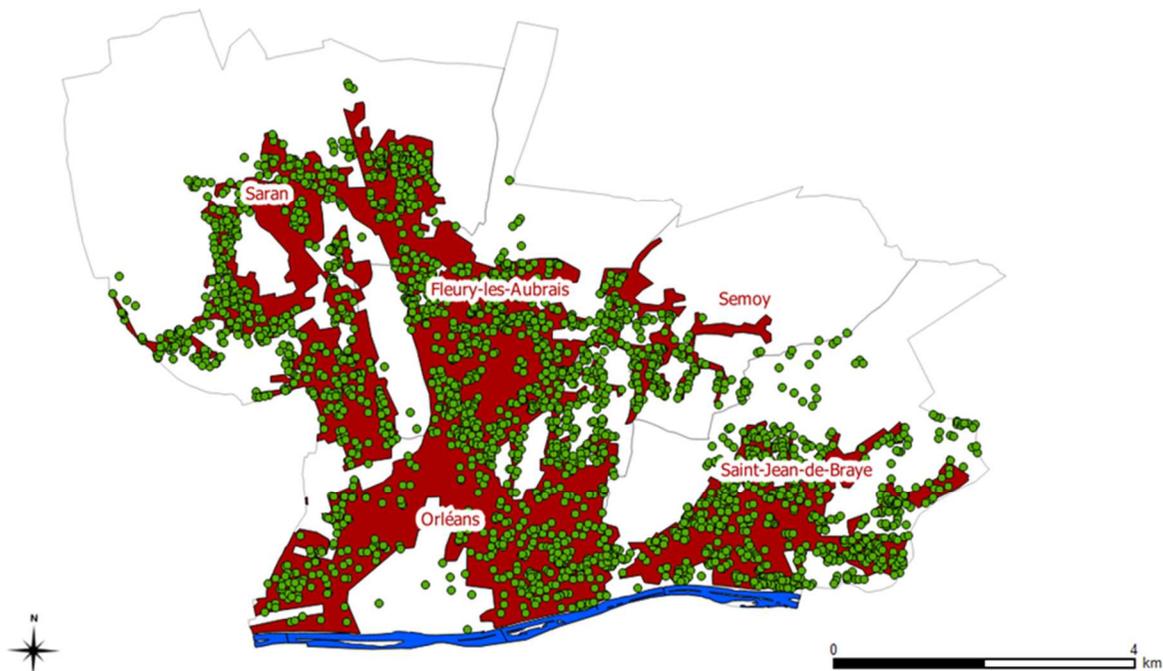


Annexe 9 : ACP Interclasse sans les variables AHF selon la typologie détaillée et le cercle des corrélations correspondant





Annexe 10 : Cercle des corrélations de l'ACP faites sur l'ensemble des parcelles de la zone d'étude (avec et sans AHF)



Annexe 11: Carte de la zone d'étude avec en rouge la couche CLC tissu urbain discontinu (CLC 112), en vert les centroïdes des parcelles "Maisons individuelles" et en bleu la Loire

