

Projet Recherche Innovation 2024-2025

Les facteurs influençant la végétalisation des ronds-points urbains



@T CURVERS

Sous la direction de Francesca Di Pietro

Theo Curvers

Les facteurs influençant la végétalisation des ronds-points urbains

Directrice de recherche
Francesca Di Pietro

Auteur
Theo CURVERS

Année
2025

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet recherche innovation en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet recherche innovation (PRI) situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Francesca DI PIETRO pour son soutien inestimable tout au long de la réalisation de ce projet. Grâce à son encadrement attentif et ses conseils avisés, j'ai pu redéfinir et approfondir mon sujet de recherche, développer des hypothèses pertinentes et apprendre à les traiter de manière rigoureuse. Sa disponibilité, son expertise et sa capacité à m'accorder une grande liberté tout en me guidant efficacement ont joué un rôle essentiel dans l'accomplissement de ce travail. Son engagement et sa bienveillance ont grandement enrichi mon parcours académique.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers Dorian RUMEAU et Louison BIENVENUE pour m'avoir transmis les connaissances nécessaires en statistiques, indispensables à la réalisation de mes analyses. Leur aide précieuse et leurs explications claires ont été d'une grande valeur pour mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier Yuze VEYSSIERE et Thanh Huy TRAN pour leur précieuse aide lors du travail de terrain, en particulier pour la prise de notes détaillées sur chacun des ronds-points étudiés. Leur soutien, leurs intuitions et leurs réflexions ont grandement contribué à développer des hypothèses pertinentes et des justifications solides concernant la végétalisation des ronds-points, enrichissant ainsi ce projet de manière significative.

Table des matières

I.	Introduction	8
II.	Matériels et méthodes	9
	1. Présentation et caractérisation des sites d'étude.....	9
	2. Collecte et traitement des données	11
	3. Analyses statistiques	12
III.	Résultat.....	12
	1. Analyse préliminaire	12
	2. HYPOTHESE 1	14
	3. HYPOTHESE 2	18
IV.	Discussion	23
	1. Hypothèse 1 : Influence de la visibilité sur la végétalisation des ronds-points.....	23
	2. Hypothèse 2 : Influence de la gestion communale sur la végétalisation	24
	3. Critique de la méthodologie	24
V.	Conclusion.....	25
VI.	Bibliographie	26
Annexes		27
	Annexe 1 : Tableau de données (coupé en 2 parties)	27
	Annexe 2 : Package utiliser sur R.....	29
	Annexe 3 : Test exact de Fisher entre type et commune	30
	Annexe 4 : Test de Kruskal-Wallis entre les variables et type, puis entre les variables et commune	30
	Annexe 5 : Création des boxplots.....	30
	Annexe 6 : NMDS colorée par les types.....	31
	Annexe 7 : NMDS colorée par les communes	31
	Annexe 8 : ACP par rapport aux types	32
	Annexe 9 : ACP par rapport aux communes.....	33

I. Introduction

Dans un contexte marqué par une urbanisation rapide et des crises écologiques mondiales, la biodiversité urbaine émerge comme un enjeu central. Autrefois considérées comme des "déserts biologiques", les villes se révèlent aujourd'hui être des acteurs essentiels dans la préservation des espèces et la régulation des écosystèmes. Les infrastructures urbaines, souvent sous-estimées, apparaissent désormais comme des leviers clefs pour répondre à ces défis environnementaux. L'urbanisation rapide fragmente les habitats naturels, réduisant la connectivité écologique et augmentant la vulnérabilité des espèces face à la perte d'habitats (Riley et al., 2014 ; Hobbs & Saunders, 1991). Ce phénomène, intensifié par le changement climatique, affecte gravement la biodiversité urbaine, avec des conséquences alarmantes comme la disparition de 76 % des insectes volants et de 30 % des oiseaux en France depuis 1989 (Francis Isselin, 2024).

Face à ces défis, les infrastructures urbaines jouent un rôle croissant dans la conservation de la biodiversité. Les ronds-points, en particulier, grâce à leur emplacement stratégique et leur structure unique, apparaissent comme des solutions écologiques prometteuses. En effet, en favorisant leur végétalisation, ces espaces peuvent contribuer à la conservation de la biodiversité locale en créant des refuges pour la faune et la flore urbaines (CNRS, 2021 ; IUCN, 2023). De plus, ils jouent un rôle clef dans la régulation des eaux pluviales par leur désimperméabilisation (réduction des coefficients de ruissellement de 20-30 %, comparé aux 40-90 % des sols imperméables) et dans l'amélioration de la qualité de l'air grâce au stockage de carbone (Francis Isselin, 2024 ; O2D Environnement, 2021). Ces bénéfices écologiques soulignent le potentiel des ronds-points pour favoriser la résilience urbaine et renforcer la connectivité écologique en milieu fragmenté.

Cependant, la végétalisation des ronds-points n'est pas exempte de défis. Leur gestion doit équilibrer les besoins écologiques et les impératifs de sécurité routière, notamment en garantissant une visibilité adéquate. De plus, une sélection inadaptée de végétaux peut entraîner des coûts d'entretien élevés et limiter l'efficacité écologique de ces espaces (Nguyen et al., 2020 ; Certu, 2010). Ces caractéristiques et enjeux font des ronds-points un objet d'étude essentiel pour explorer les synergies possibles entre aménagement urbain et conservation écologique.

Ainsi, les ronds-points apparaissent comme des outils polyvalents, capables de concilier aménagement urbain et conservation écologique. Leur double rôle, à la fois infrastructure routière et espace écologique, les positionne comme des solutions prometteuses face aux enjeux actuels, ce qui justifie pleinement leur étude approfondie dans le cadre de cette recherche. Cependant, malgré leur potentiel écologique, les ronds-points restent des espaces largement sous-utilisés pour répondre aux enjeux de biodiversité urbaine. En effet, beaucoup de ronds-points restent imperméabilisés ou peu végétalisés. Ces observations nous mènent à la question suivante : quels facteurs influencent la végétalisation des ronds-points ?

À partir de nos premières analyses, deux pistes majeures ont émergé. D'une part, il nous semblait évident que la visibilité d'un rond-point, étroitement liée à sa localisation, pourrait être un facteur déterminant pour sa végétalisation. En effet, des ronds-points plus visibles pourraient bénéficier d'une attention accrue en termes d'aménagement paysager, car ils auraient un enjeu symbolique. D'autre part, les observations menées sur les ronds-points de la métropole de Tours suggèrent que la gestion communale joue également un rôle clef.

Ces constats nous conduisent à formuler les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : La visibilité d'un rond-point favorise sa végétalisation.
- Hypothèse 2 : La gestion communale influe sur sa végétalisation .

II. Matériels et méthodes

1. Présentation et caractérisation des sites d'étude

La première étape de cette étude a consisté à collecter des données géographiques sur les ronds-points de la métropole de Tours. Cette collecte a été réalisée à partir des bases de données SIG accessibles sur le site officiel de la métropole (Opendatasoft, 2025). Au total, cette extraction a permis d'identifier 1 354 ronds-points dans l'ensemble de la zone étudiée.

Pour répondre aux objectifs de l'étude, plusieurs critères ont été appliqués afin de sélectionner une cinquantaine de ronds-points urbains représentatifs. Le premier critère concernait leur taille. Seuls les ronds-points ayant un rayon compris entre 12 et 25 mètres ont été retenus. Cette fourchette a été choisie pour cibler des ronds-points de taille moyenne, typiques des zones urbaines, et éviter les très grands ronds-points, souvent associés à des infrastructures routières majeures, ou les très petits, qui sont généralement peu végétalisés ou intégralement imperméabilisés. Ce critère visait également à limiter les écarts de taille entre les ronds-points, car des dimensions trop hétérogènes pourraient influencer leur végétalisation de manière indépendante des autres paramètres étudiés, ce qui risquerait de fausser les résultats. Cependant, une erreur initiale dans les données SIG a conduit à utiliser la longueur au lieu du rayon, ce qui a engendré une disparité plus importante que prévue dans les dimensions des ronds-points finalement sélectionnés.

Le deuxième critère reposait sur la localisation et la visibilité des ronds-points, avec une catégorisation en quatre groupes distincts. Les ronds-points situés en centre-ville qui sont caractérisés par leur présence dans des zones denses où le trafic piétonnier et routier est important. Les ronds-points positionnés sur de grands axes routiers, quant à eux, sont principalement perçus par des automobilistes circulant à grande vitesse, où la végétalisation pourrait servir à attirer le regard pour un regain d'attention sur la route. Ceux localisés dans des zones résidentielles, en revanche, sont davantage visibles pour les habitants locaux et présentent souvent des caractéristiques paysagères distinctes, leur végétalisation pouvant contribuer à améliorer l'esthétique du quartier, ce qui peut influencer la perception de la qualité de vie et, indirectement, le prix de l'immobilier. Enfin, une catégorie témoin regroupe les ronds-points situés dans des zones moins stratégiques ou à faible visibilité, servant de référence pour les comparaisons.

Un effort particulier a été fait pour inclure une diversité géographique dans la sélection des ronds-points étudiés. Les 52 ronds-points retenus sont répartis sur six communes de la métropole : Tours, Saint-Cyr-sur-Loire, Saint-Pierre-des-Corps, Saint-Avertin, Chambray-lès-Tours et Joué-lès-Tours (voir figure 1). Cependant, cette répartition n'est pas parfaitement équilibrée, certaines communes n'accueillant qu'un nombre limité de ronds-points. Cette disparité reflète les différences dans la densité et la disponibilité des ronds-points au sein des différentes zones de la métropole. Le choix de limiter la sélection aux ronds-points provenant de ces six communes repose sur des considérations pratiques. Étendre l'étude aux 22 communes de la métropole aurait posé un problème en termes de rapport entre le nombre de communes et de ronds-points étudiés, rendant les analyses moins représentatives. De plus, cela aurait considérablement compliqué et allongé les déplacements sur le terrain, rendant les observations logistiques beaucoup moins pratiques à réaliser.

Enfin, pour éviter toute redondance dans l'analyse, les ronds-points situés à proximité immédiate les uns des autres ont été exclus. Cela permet de minimiser les biais éventuels liés à des conditions environnementales similaires ou à des pratiques de gestion communales homogènes. Après application de ces critères, 52 ronds-points ont été sélectionnés. Ces ronds-points ont été répartis de manière équitable entre les quatre catégories de visibilité, tout en respectant la diversité

des localisations géographiques. La répartition dans ces catégories a été réalisée en s'appuyant sur le zonage du Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la métropole de Tours. Les zones Ua, correspondant aux centres urbains denses ou historiques, ont été utilisées pour déterminer les ronds-points situés en centre-ville. Les zones Ubb, définies comme des zones principalement résidentielles avec une faible densité et des activités limitées, ont servi à identifier les ronds-points des quartiers résidentiels. Quant aux ronds-points situés sur les grands axes routiers, leur sélection s'est appuyée sur les principaux axes reliant les différentes communes de la métropole entre elles, ou connectant une commune à une nationale ou à une autoroute.

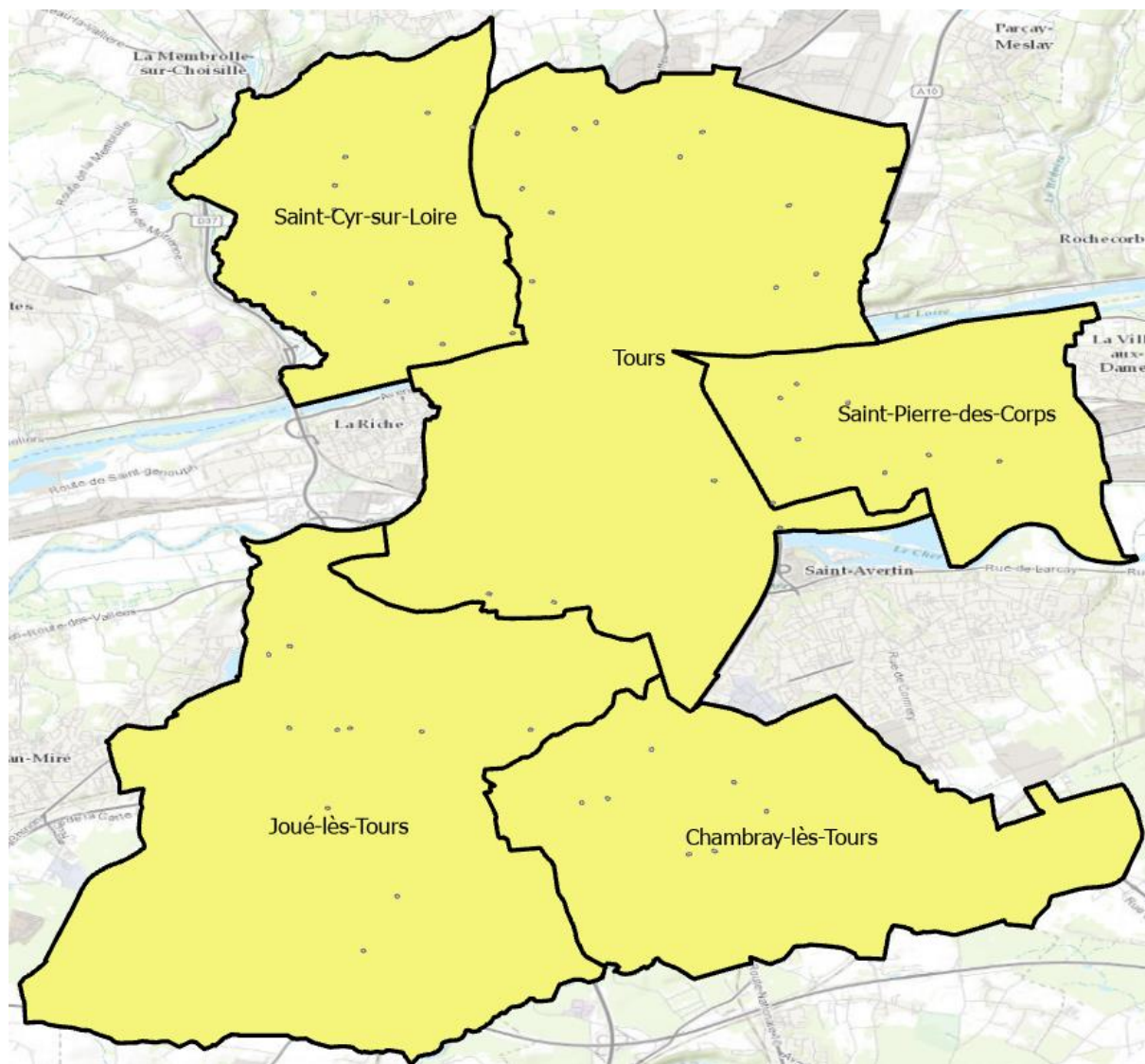


Figure 1 - Carte des ronds-points étudiés

Chaque rond-point a été caractérisé selon plusieurs paramètres clefs, en lien avec la végétalisation et l'aménagement urbain. La taille a été mesurée précisément, en prenant en compte à la fois les rayons et l'emprise totale au sol, afin de garantir une représentation fidèle des dimensions de chaque rond-point. Pour chaque rond-point, deux rayons ont été mesurés, correspondant aux axes majeur et mineur, car leur forme a été assimilée à des ellipses pour le calcul de leur surface. Cette approche permet de mieux refléter la géométrie réelle des ronds-points, qui ne sont pas toujours parfaitement circulaires. La végétation a également été un critère central, avec une évaluation de la proportion de recouvrement végétal et de la diversité des strates présentes, incluant les strates muscinales, herbacées, arbustives et arborées. Par ailleurs, le niveau d'imperméabilisation a été estimé en calculant le pourcentage de surface recouverte de matériaux

non poreux tels que le béton, l'asphalte ou d'autres revêtements similaires. Enfin, la présence de ligneux, incluant le nombre d'arbres et d'arbustes, ainsi que leur répartition, a été prise en compte pour compléter l'analyse. De plus, une distinction a été faite entre les conifères et les feuillus afin de mieux caractériser la composition végétale. Cette catégorisation visait initialement à évaluer l'entretien des ronds-points, dans le but de déterminer si un certain niveau de végétalisation influençait les pratiques de gestion ou conduisait à un manque d'entretien. Cependant, cette analyse n'a pas pu être réalisée en raison d'un manque de données disponibles sur l'entretien spécifique des ronds-points étudiés. Ces critères permettent de dresser un portrait détaillé des caractéristiques physiques et écologiques de chaque rond-point.

2. Collecte et traitement des données

L'analyse SIG (Système d'Information Géographique) a joué un rôle central dans cette étude, permettant de caractériser avec précision et objectivité les ronds-points sélectionnés. Cette analyse avait pour premier objectif de déterminer la taille et les emprises au sol des ronds-points. Les dimensions ont été calculées en tenant compte de leurs surfaces, modélisées sous forme d'ellipses afin de refléter au mieux leur géométrie réelle. Enfin, l'analyse SIG a également permis d'identifier la présence et le nombre de ligneux sur les ronds-points. Une estimation initiale du nombre d'arbres et d'arbustes a ainsi été réalisée. Ces données ont ensuite été complétées par les observations effectuées sur le terrain, afin d'assurer une description plus détaillée et précise de la composition végétale des ronds-points. Pour mener à bien cette analyse, plusieurs outils et sources de données ont été mobilisés. Les données principales provenaient du PLU de la métropole de Tours, qui fournit des informations géoréférencées sur les emprises au sol et les zones d'aménagement. Les logiciels SIG, notamment ArcGIS Pro, ont été utilisés pour effectuer les mesures et les calculs nécessaires.

Les observations sur le terrain ont servi à compléter les données issues de l'analyse SIG. En fournissant des informations qui ne pouvaient pas être capturées par l'analyse SIG. Cependant, en raison de contraintes de sécurité et d'accessibilité, l'observation directe sur les ronds-points n'était pas possible. Il a donc été décidé dans un premier temps de collecter les données depuis une voiture en mouvement, puis de s'arrêter à proximité des ronds-points pour des observations plus détaillées, mais effectuées à distance. Les observations lors des tours successifs autour des ronds-points ont permis de collecter des données plus globales sur leur composition végétale et leur structure ; tandis que les données collectées à l'arrêt ont permis d'approfondir ces observations et notamment d'estimer précisément les proportions de végétation et d'imperméabilisation.

Ces observations ont permis d'obtenir plusieurs informations clefs pour nos analyses comme la composition végétale avec l'identification des strates présentes, que cela soit la strate muscinale, herbacée, arbustive ou arborée. Ensuite, un comptage précis des ligneux, incluant les arbres et arbustes, a été réalisé, avec une distinction entre les conifères et les feuillus. Lorsque des individus n'étaient pas dénombrables, un second comptage a été effectué sur SIG sur ces individus. De plus, les proportions du recouvrement végétal et d'imperméabilisation ont été estimées visuellement afin de confirmer ou d'ajuster les données issues de l'analyse SIG. Enfin, des caractéristiques supplémentaires non identifiables par le SIG ont été notées, telles que l'état d'entretien des ronds-points, la présence de cavité de dépression ou les types d'aménagements présent (panneau publicitaire, des pots, répartition en étage et autres).

Les données collectées ont été organisées et traitées à l'aide de fichiers Excel, permettant une structuration claire et homogène des informations. Les dimensions, les proportions

d'imperméabilisation et de recouvrement végétal, ainsi que les données relatives aux ligneux, ont été regroupées sous forme de variables adaptées à une analyse statistique. Les proportions de recouvrement végétal et d'imperméabilisation ont été conservées en pourcentage. En ce qui concerne les ligneux, leur nombre a été converti en une densité, facilitant ainsi la comparaison entre ronds-points indépendamment de leurs dimensions. Pour les quatre types de strates végétales, une variable binaire a été attribuée à chaque strate (1 en cas de présence et 0 en cas d'absence). Comme aucune strate n'a été considérée comme supérieure à une autre, la somme des variables binaires a été utilisée pour quantifier le nombre total de strates présentes sur chaque rond-point. Cette transformation a permis de standardiser les données et de les rendre exploitables pour les analyses ultérieures.

3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R, version 2024.09.0-375 (R CORE Team, 2024), en utilisant divers packages spécialisés (vegan, FactoMineR, ggplot2, et d'autres, voir la liste des bibliothèques utilisées en Annexe 2). Plusieurs approches statistiques ont été appliquées pour répondre aux objectifs de l'étude et tester les hypothèses formulées.

Pour les analyses univariées, le test du χ^2 , initialement prévu pour analyser les relations entre variables qualitatives, a été remplacé par le test exact de Fisher, les conditions nécessaires à l'application du χ^2 n'étant pas réunies, à savoir sa matrice de corrélation contenant trop de valeurs trop faibles ou de 0. Par ailleurs, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé afin de comparer des groupes dans des conditions non paramétriques, notamment pour évaluer les différences de végétation entre les catégories de ronds-points, puis entre les différentes communes. Ce test a été choisi en raison de l'absence de normalité et de l'homogénéité des variances, rendant l'utilisation d'une ANOVA classique inappropriée.

Des analyses multivariées ont également été effectuées pour explorer la structure globale des données et les relations entre les variables. Une Analyse en Composantes Principales (ACP), réalisée à l'aide du package FactoMineR, a permis de réduire la dimensionnalité des données et de mettre en évidence les principaux axes de variation. De plus, une Analyse Multidimensionnelle Non-Métrique (NMDS), conduite avec le package vegan, a été utilisée pour représenter graphiquement les similarités entre les ronds-points en fonction de leurs caractéristiques écologiques et physiques. Cette combinaison d'analyses univariées et multivariées a permis d'examiner les données sous différents angles, en offrant à la fois une vision détaillée des relations spécifiques et une compréhension globale des facteurs influençant les caractéristiques des ronds-points.

III. Résultat

1. Analyse préliminaire

Les résultats du test exact de Fisher ont montré qu'il n'existe pas de relation significative entre les variables explicatives Type et Commune (figure 2). Cela indique que le type de rond-point (centre-ville, grands axes, résidentiels, témoins) et la commune dans laquelle il est situé sont statistiquement indépendants. Par conséquent, les hypothèses 1 et 2 doivent être examinées de manière distincte. L'hypothèse 1, qui porte sur l'influence de la visibilité (Type) sur la végétalisation, et l'hypothèse 2, qui explore l'impact de la gestion communale (Commune) sur les caractéristiques écologiques des ronds-points, nécessitent des analyses séparées afin de mieux évaluer leurs impacts respectifs sur la végétalisation des ronds-points. Cette absence de corrélation préalable justifie une approche méthodologique indépendante pour chacune des hypothèses.

```
> print(fisher_type_commune)

Fisher's Exact Test for Count Data with simulated p-value (based on
2000 replicates)

data:  type_commune_matrix
p-value = 0.8926
alternative hypothesis: two.sided
```

Figure 2 - Résultat du test exact de Fisher

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'identifier les variables clés expliquant la variance dans le jeu de données. Les deux premiers axes expliquent ensemble 90 % de la variance totale, avec 68,5 % pour Dim1 et 21,5 % pour Dim2 (cf. Figure 3). Dim1 est principalement influencé par trois variables : la stratification, le recouvrement végétal, et l'imperméabilité, qui sont fortement corrélées entre elles. Ce premier axe reflète un gradient entre des zones imperméables à faible végétalisation et des zones densément végétalisées et stratifiées. Dim2 est dominé par le nombre de ligneux par m², une variable indépendante des trois précédentes, indiquant qu'elle apporte une dimension distincte à la différenciation des ronds-points.

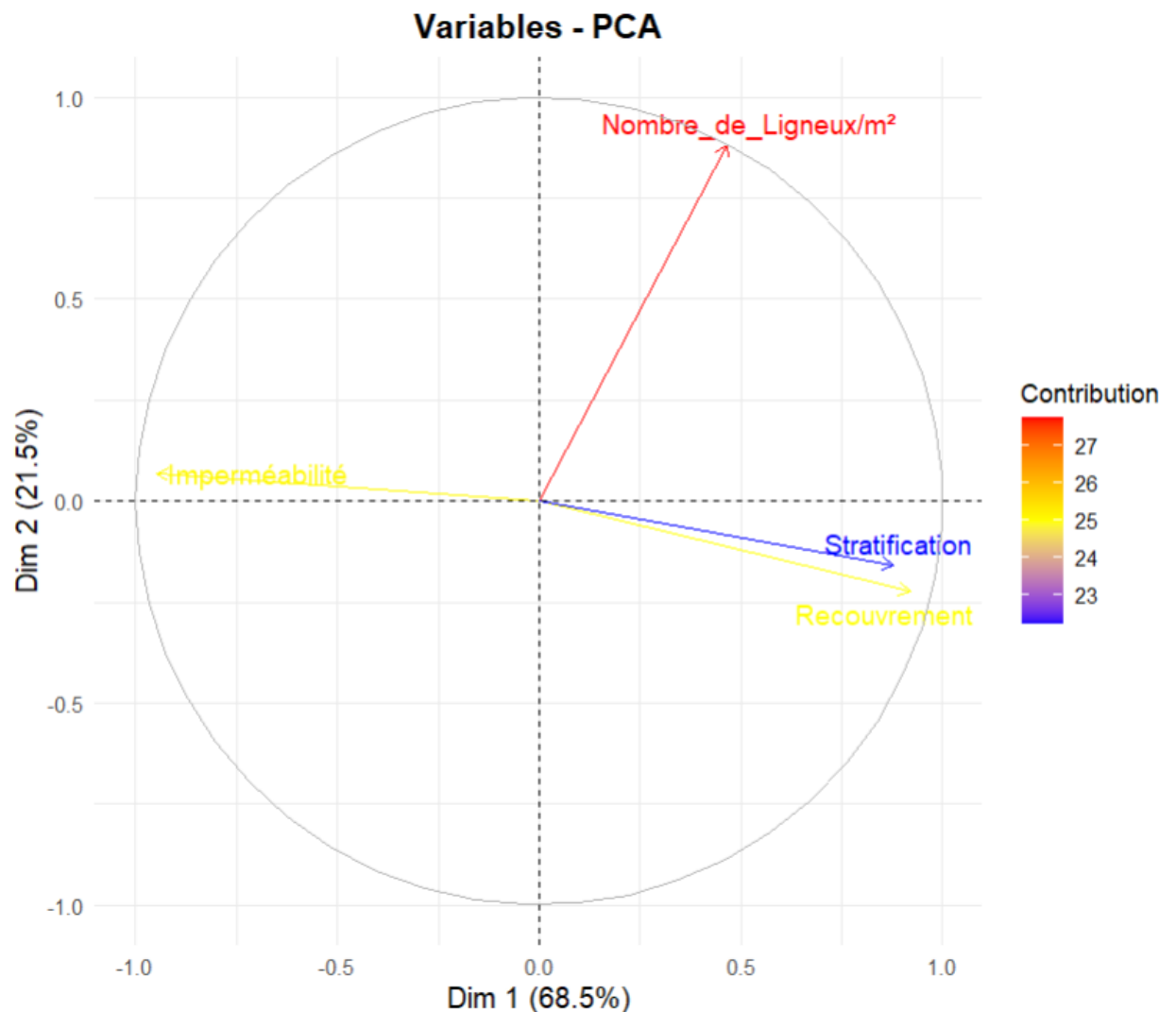


Figure 3 - Cercle des variables

Cette analyse préliminaire montre que les variables environnementales clefs (stratification, recouvrement, imperméabilité, et densité de ligneux) contribuent différemment aux hypothèses 1 et 2, justifiant une exploration séparée de leurs effets.

2. HYPOTHESE 1

La projection des individus sur les axes de l'ACP montre des regroupements nets selon le type de rond-point. Les ronds-points résidentiels et des grands axes, situés sur des valeurs positives de Dim1, sont associés à une végétalisation dense avec une stratification et un recouvrement végétal élevés, tandis que les ronds-points du centre-ville, positionnés sur des valeurs négatives, présentent une imperméabilité accrue et une stratification limitée (cf. Figure 4). Les ronds-points ayant une densité élevée de ligneux sont les témoins et ceux du centre malgré leur faible végétalisation.

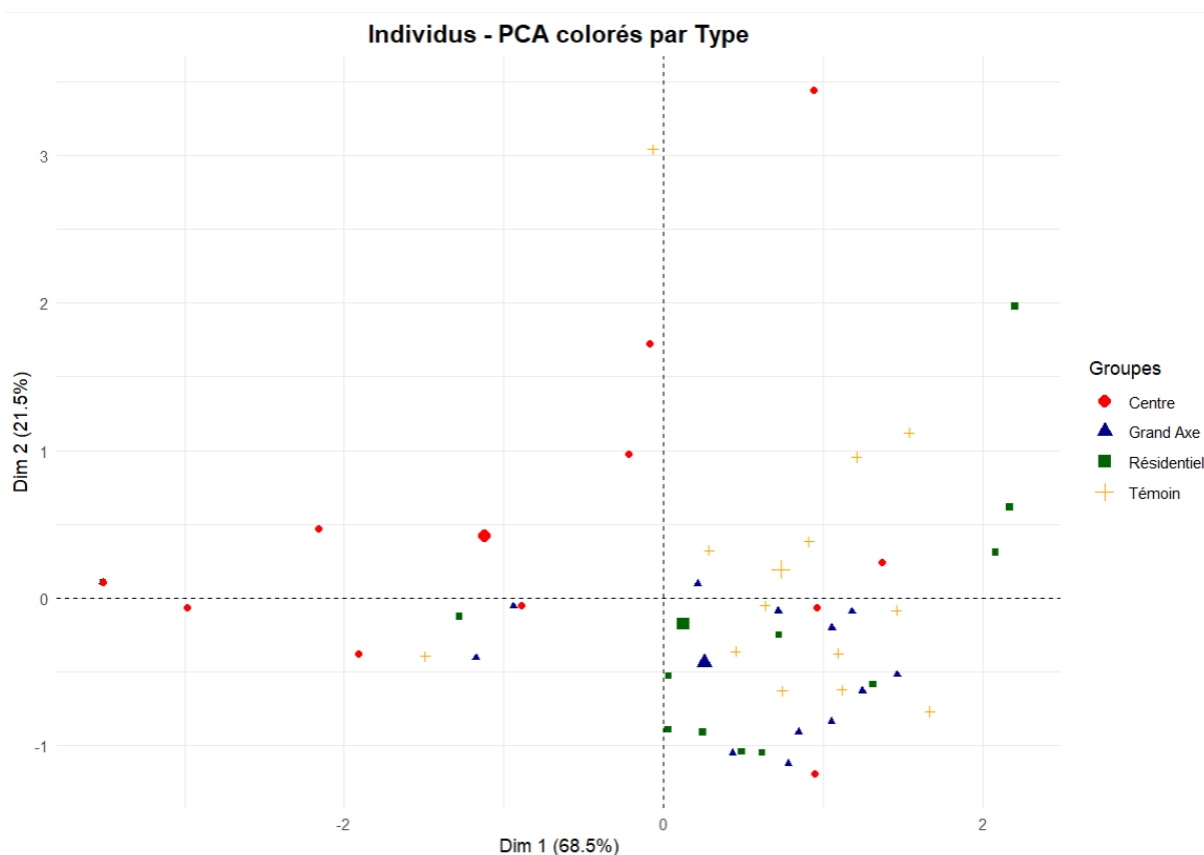


Figure 4 - Regroupement des individus colorés par type sur l'ACP

L'analyse NMDS complète ces résultats en illustrant les distances écologiques entre les types de ronds-points et met en évidence des regroupements distincts. Les ronds-points des grands axes forment un groupe marqué par une homogénéité écologique, comme en témoigne la petite taille de leur ellipse, reflétant une gestion relativement uniforme et des caractéristiques similaires, avec une imperméabilité élevée et une végétalisation réduite. En revanche, les ronds-points résidentiels présentent une grande ellipse, traduisant une variabilité interne importante. Cette dispersion reflète une gestion plus hétérogène ou des contextes variés, allant de ronds-points densément végétalisés (forte stratification et recouvrement) à des configurations plus intermédiaires.

Les ronds-points du centre-ville quant à eux montrent également une ellipse étendue, indiquant une diversité d'aménagements, mais globalement marquée par une imperméabilité accrue et une végétalisation limitée. Enfin, les ronds-points témoins se distinguent par une ellipse allongée,

associée à une densité élevée de ligneux tout en reflétant une diversité dans les autres caractéristiques écologiques. Ces chevauchements et tailles d'ellipses mettent en évidence des similitudes fonctionnelles entre certains groupes tout en soulignant des spécificités propres à chaque catégorie (cf. Figure 5).

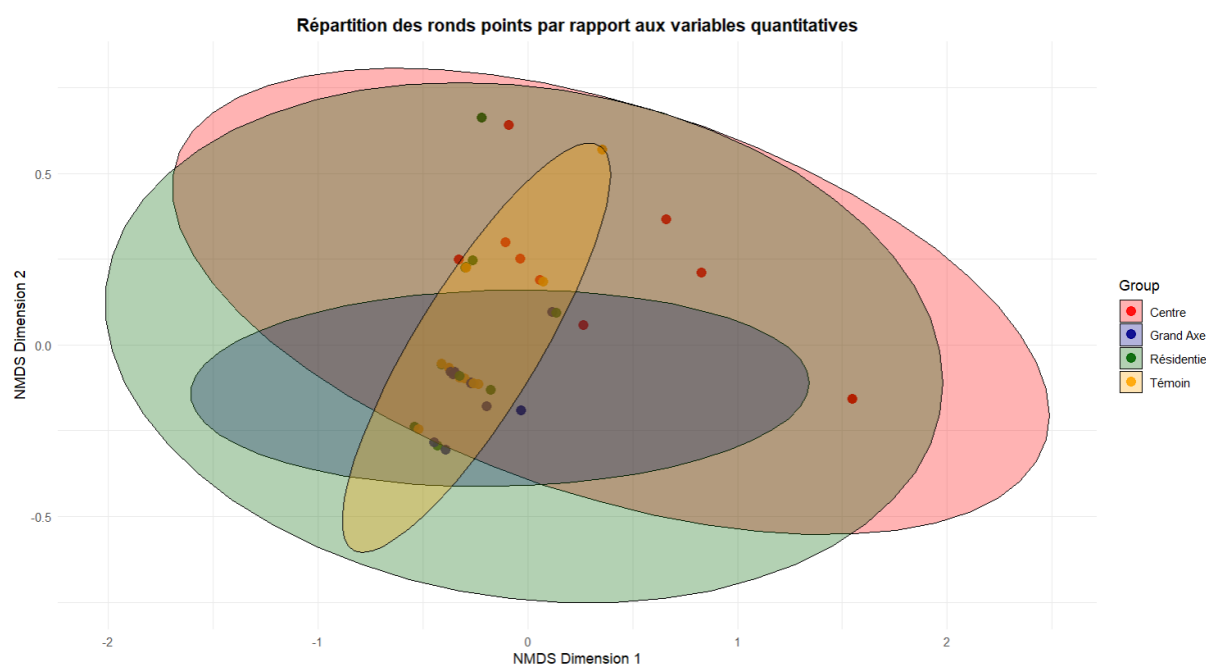


Figure 5 - Regroupement des individus colorés par type sur la NMDS

Pour confirmer les observations générales issues de l'ACP et du NMDS, des tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés pour chaque variable. Ces analyses univariées ont révélé que la stratification est significativement influencée par le type de rond-point ($p = 0,005$; cf. Tableau 1), avec des ronds-points résidentiels présentant une stratification nettement plus élevée que les autres types (cf. Figure X). En revanche, aucune différence significative n'a été détectée pour l'imperméabilité ($p = 0,199$), le recouvrement végétal ($p = 0,114$), ou le nombre de ligneux par m^2 ($p = 0,167$), bien que des tendances similaires à celles observées dans l'ACP soient visibles dans les box plots correspondants (cf. Figure 6).

Tableau 1 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis

Variable	pvalue	Interprétation
Imperméabilité	0.199	Pas de différence significative entre les groupes définis par Type
Recouvrement	0.114	Pas de différence significative entre les groupes définis par Type
Stratification	0.005	Différence significative entre les groupes définis par Type
Nombre de ligneux/ m^2	0.167	Pas de différence significative entre les groupes définis par Type

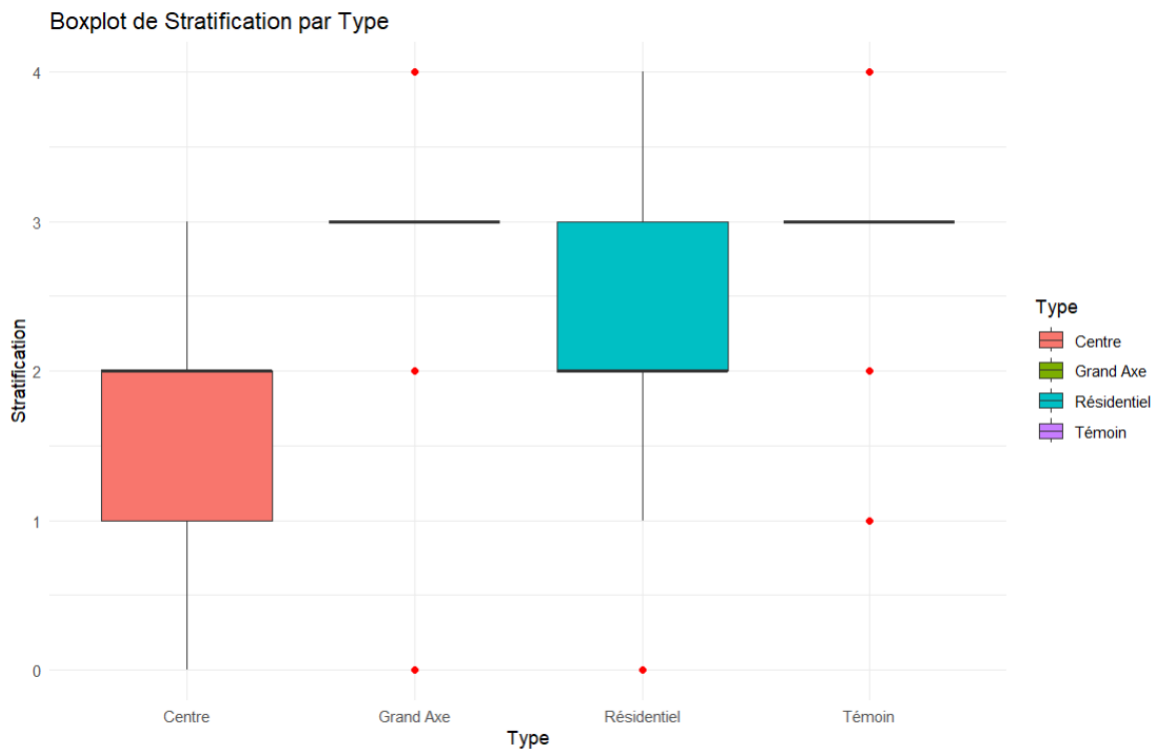


Figure 6 - Boxplot de la Stratification par Type

Bien que les résultats des tests de Kruskal-Wallis pour l'imperméabilité, le recouvrement végétal, et le nombre de ligneux par m² n'aient pas révélé de différences significatives entre les types de ronds-points, cela ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe aucune relation entre ces variables et les groupes. La taille relativement modeste de l'échantillon pourrait en effet limiter la puissance statistique des tests et être une des causes de cette absence de significativité. Une analyse descriptive des boxplots associés permet néanmoins d'identifier des tendances intéressantes qui mériteraient d'être approfondies avec un échantillon plus large.

Le boxplot de l'imperméabilité montre une nette distinction entre les ronds-points urbains (Centre) et les autres types. Les ronds-points centraux présentent une imperméabilité médiane très élevée, proche de 1, reflétant une forte couverture en bitume ou béton. En revanche, les autres types de ronds-points (Grand Axe, Résidentiel, et Témoin) affichent des niveaux d'imperméabilité plus faibles et relativement homogènes, avec des médianes autour de 0,25 à 0,5. Ces observations suggèrent une relation potentielle entre le type de rond-point et l'imperméabilité, bien qu'elle ne soit pas significative dans cette étude.

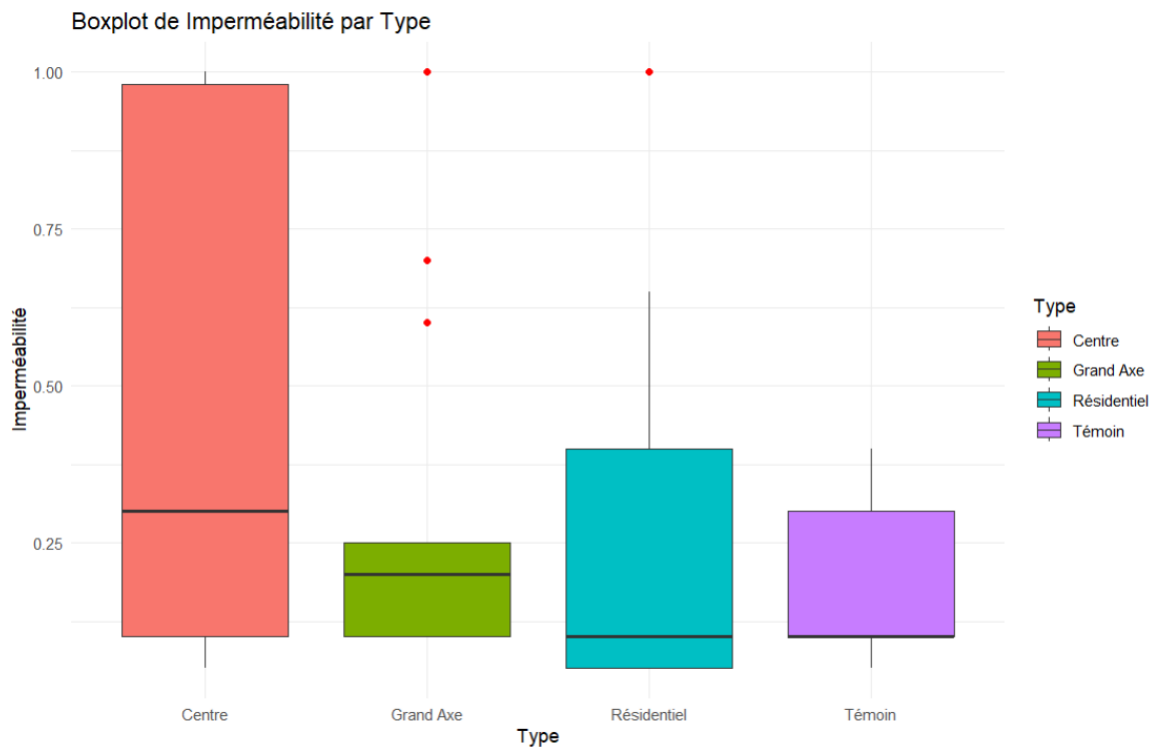


Figure 7 - Boxplot de l'Imperméabilité par Type

Le recouvrement végétal semble également varier selon les types de ronds-points. Les ronds-points Résidentiels et Témoins présentent les plus hauts niveaux de recouvrement, avec des médianes proches de 0,75, tandis que les ronds-points centraux montrent une végétalisation nettement réduite, leur médiane étant à 0,25. Les ronds-points situés sur les grands axes se situent dans une position intermédiaire, avec une distribution plus homogène. Tout comme le boxplot précédent, bien que le test de Kruskal-Wallis n'est pas démontré de différence significative, ce graphique suggère une tendance des ronds-points du centre à être bien moins végétalisé que les autres types.

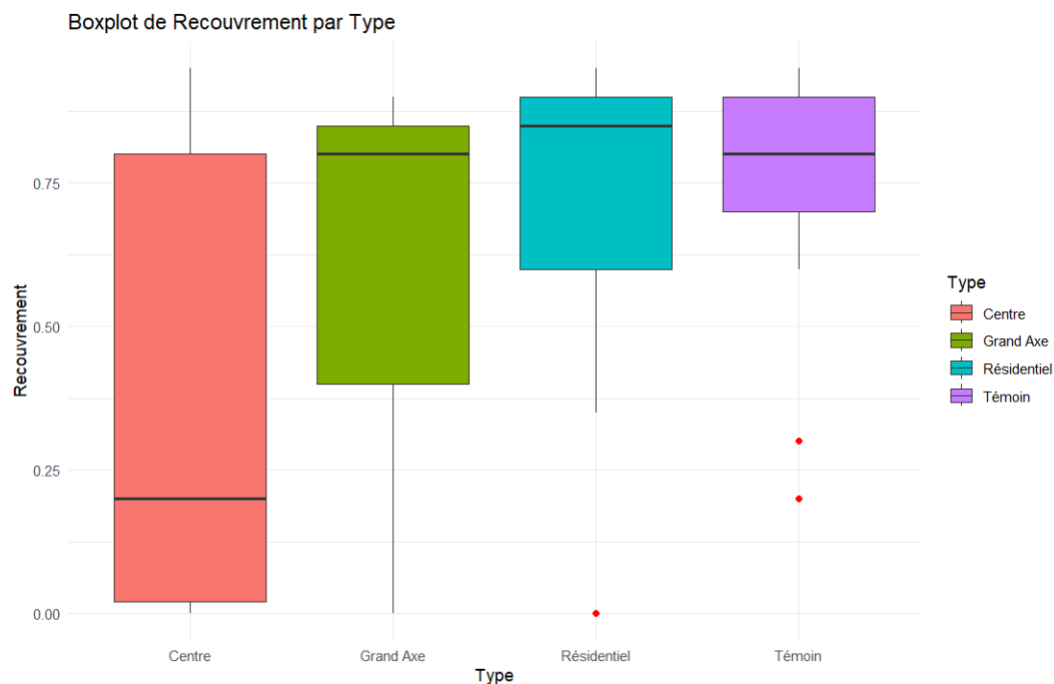


Figure 8 - Boxplot du Recouvrement par Type

Pour le nombre de ligneux par m², les boxplots révèlent des médianes similaires pour tous les groupes, se situant entre 0,01 et 0,02 ligneux/m², ce qui reflète une densité de ligneux relativement homogène. Cependant, les ronds-points centraux montrent une plus grande variabilité, comme en témoignent les moustaches étendues et la présence de valeurs aberrantes. Bien que les résultats ne soient pas significatifs, ces tendances suggèrent que certains types de ronds-points, notamment résidentiels ou témoins, pourraient favoriser une densité de ligneux plus stable et uniforme.

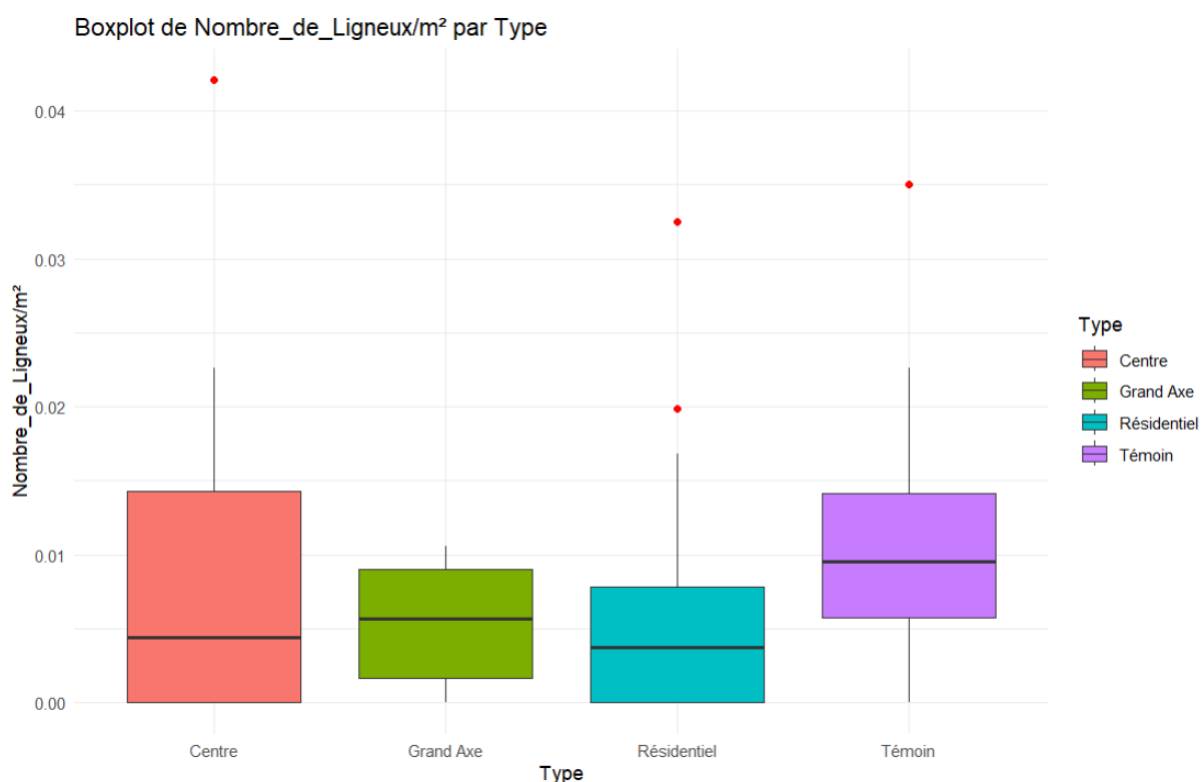


Figure 9 - Boxplot de la Densité de ligneux par Type

3. HYPOTHESE 2

La projection des individus sur l'ACP révèle des regroupements nets entre les communes. Par exemple, les ronds-points de Joué-lès-Tours et de Tours sont situés sur des valeurs positives de Dim1, indiquant un recouvrement végétal et une stratification élevée. En revanche, des communes comme Chambray-lès-Tours montrent une dispersion plus importante, traduisant une hétérogénéité dans les caractéristiques des ronds-points (cf. Figure 10).

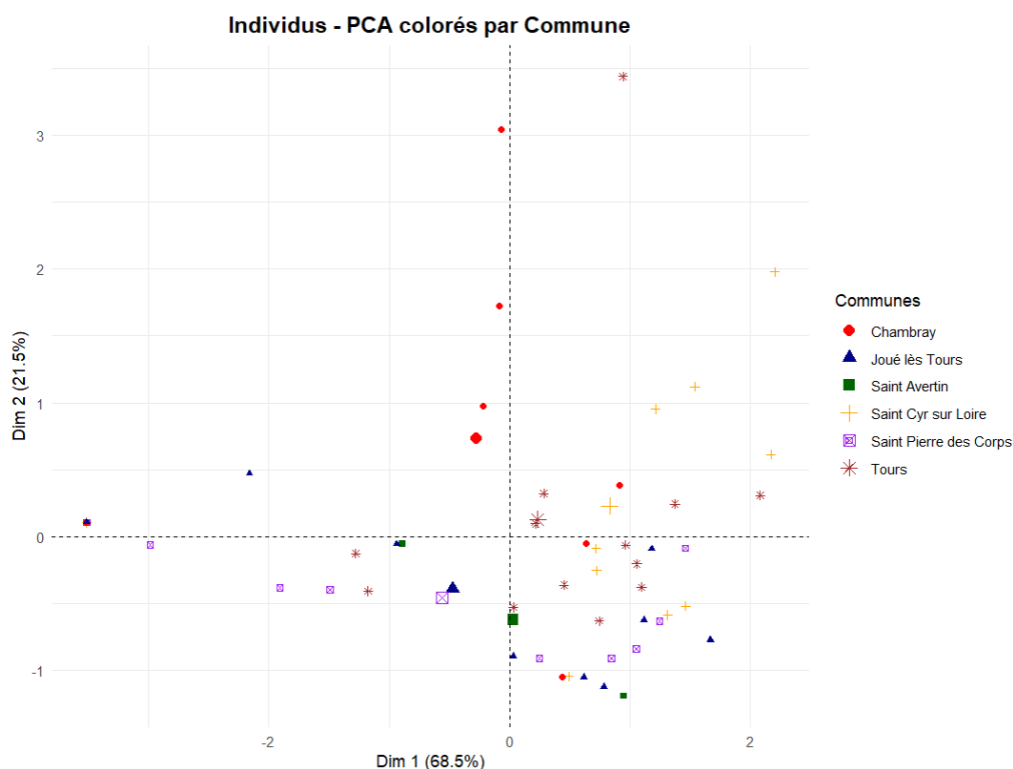


Figure 10 - Regroupement des individus colorés par commune sur l'ACP

L'analyse NMDS confirme ces observations (cf. Figure X). Les ronds-points de Joué-lès-Tours forment un groupe distinct, marqué par une végétalisation dense et homogène. A l'inverse, les ronds-points de Tours montrent une dispersion importante, reflétant une composition végétale variable. Bien que cette NMDS ne comporte pas d'ellipses visibles en raison de la proximité relative des points, les nombreuses superpositions reflètent des similarités entre les différentes communes.

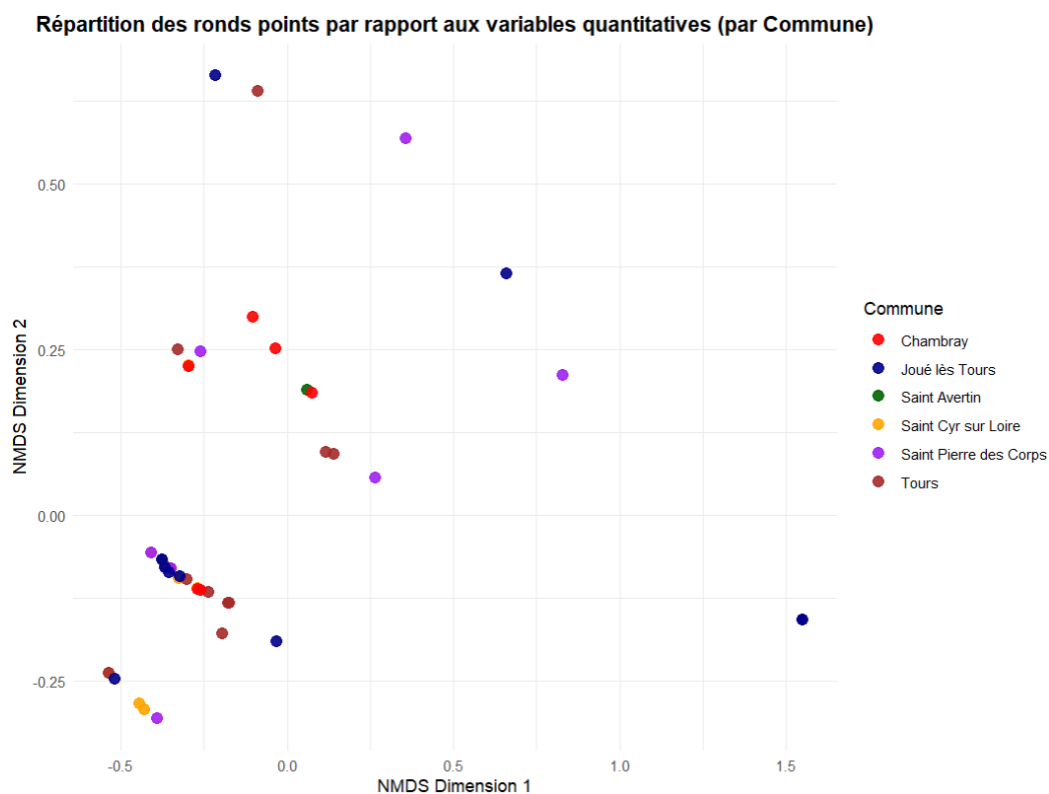


Figure 11 - Regroupement des individus colorés par commune sur la NMDS

Afin de valider ces observations globales, des tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés pour chaque variable selon les communes. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative pour l'imperméabilité ($p = 0,668$), le recouvrement végétal ($p = 0,428$), ou la stratification ($p = 0,578$). Cependant, une différence significative a été détectée pour le nombre de ligneux par m^2 ($p = 0,017$), indiquant que certaines communes favorisent davantage la plantation de ligneux (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis

Variable	pvalue	Interprétation
Imperméabilité	0.668	Pas de différence significative entre les groupes définis par Commune
Recouvrement	0.428	Pas de différence significative entre les groupes définis par Commune
Stratification	0.578	Pas de différence significative entre les groupes définis par Commune
Nombre de ligneux/ m^2	0.017	Différence significative entre les groupes définis par Commune

De la même manière que pour les types de ronds-points des boxplots ont été réalisés pour constater s'il existait ou non une tendance entre la composition végétale et les communes. L'imperméabilité varie considérablement entre les communes. Les ronds-points de Saint-Pierre-des-Corps présentent les niveaux d'imperméabilité les plus élevés, avec une médiane proche de 0,20 et une distribution étendue, reflétant une grande hétérogénéité. En revanche, les ronds-points de Saint-Cyr-sur-Loire montrent des niveaux d'imperméabilité nettement inférieurs, avec une médiane proche de 0,10 et une distribution très restreinte. Les autres communes, comme Chambray et Joué-lès-Tours, présentent des médianes intermédiaires, mais des distributions différentes : Joué-lès-Tours montre une forte dispersion, tandis que Chambray présente une distribution plus homogène. Quant aux ronds-points de Tours, ils affichent une médiane autour de 0,20, avec une certaine variabilité. Bien que le test de Kruskal-Wallis n'ait pas révélé de différence significative, ce graphique met en lumière une tendance intéressante avec des différences marquées entre certaines communes.

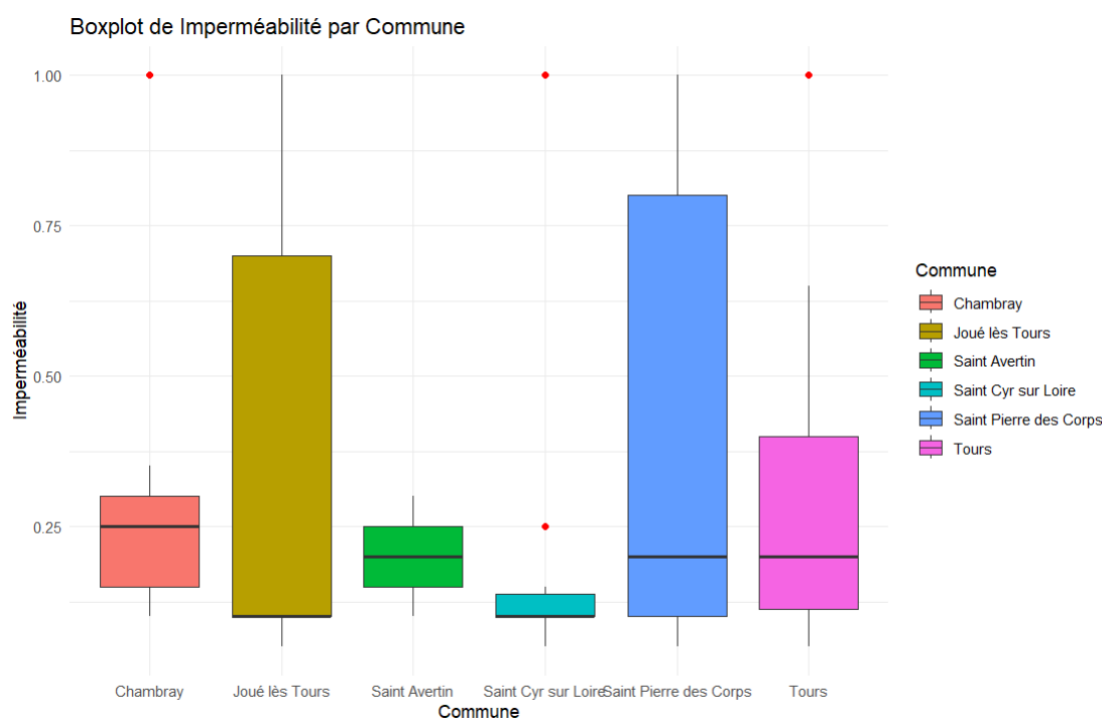


Figure 12 - Boxplot de l'Imperméabilité par Commune

Le recouvrement végétal semble également varier entre les communes. Les ronds-points de Saint-Cyr-sur-Loire présentent les plus hauts niveaux de recouvrement, avec une médiane de 0,85, suivis de près par ceux de Joué-lès-Tours et de Tours, qui affichent des médianes de 0,75, suggérant une végétalisation dense et étendue. En revanche, les ronds-points de Chambray montrent la médiane la plus faible (0,25), reflétant une végétalisation plus limitée. Les communes comme Saint-Avertin (0,55) et Saint-Pierre-des-Corps (0,70) se situent dans des positions intermédiaires, avec des niveaux de recouvrement relativement élevés mais moins homogènes. Ces résultats mettent en lumière une tendance où certaines communes, notamment Saint-Cyr-sur-Loire et Joué-lès-Tours, investissent davantage dans la végétalisation des ronds-points par rapport à d'autres, comme Chambray.

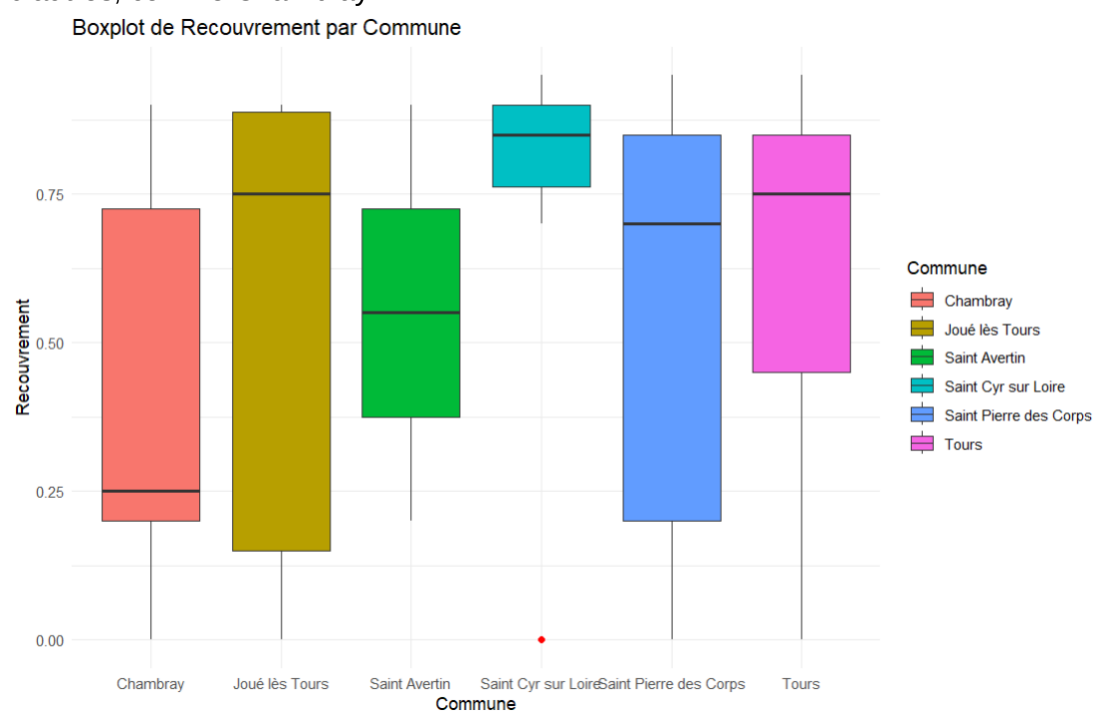


Figure 13 - Boxplot du Recouvrement par Commune

La stratification, qui reflète la diversité des strates végétales, varie de manière notable selon les communes. Les ronds-points de Joué-lès-Tours, Saint-Cyr-sur-Loire, et Tours présentent des niveaux de stratification élevés, avec des médianes égales à 3, suggérant une gestion qui favorise une végétalisation diversifiée et équilibrée. En revanche, les ronds-points de Chambray et Saint-Pierre-des-Corps affichent des médianes plus faibles, autour de 2, traduisant une diversité végétale plus limitée. Les ronds-points de Saint-Avertin, avec une médiane intermédiaire de 2,5, se situent dans une position de transition. Ce graphique illustre clairement que la commune peut influencer directement la diversité des strates végétales des ronds-points, reflétant des priorités de gestion spécifiques à chaque territoire.

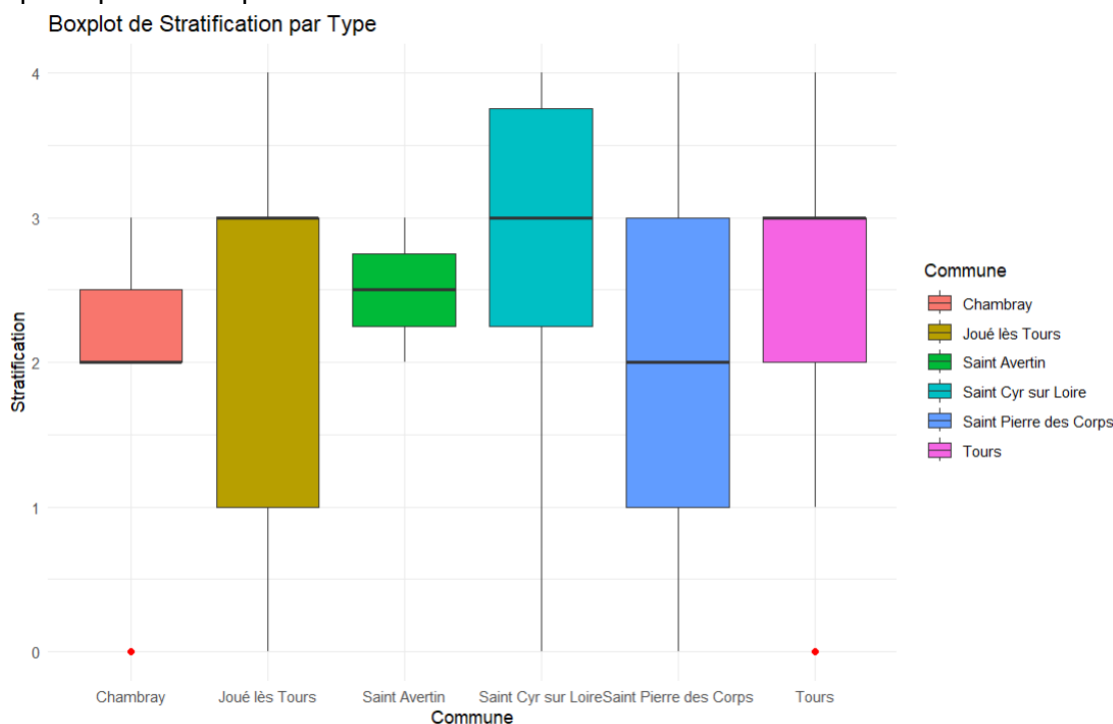


Figure 14 - Boxplot de la Stratification par Commune

Le nombre de ligneux par m² est une variable qui met en évidence des différences marquées entre les communes. Chambray se distingue avec la densité de ligneux la plus élevée, affichant une médiane de 0,014. En revanche, des communes comme Joué-lès-Tours et Saint-Avertin montrent des densités nettement plus faibles, avec des médianes respectives de 0,0028 et 0,0022. Saint-Cyr-sur-Loire et Tours présentent des densités intermédiaires, autour de 0,008, avec une certaine variabilité visible dans leurs distributions. Les ronds-points de Saint-Pierre-des-Corps, quant à eux, affichent une densité nulle, indiquant une absence de ligneux dans les sites observés. Bien que le test statistique ait révélé une différence significative pour cette variable, ce graphique met en lumière des tendances marquées, suggérant que certaines communes, comme Chambray, privilégient davantage la plantation de ligneux par rapport à d'autres.

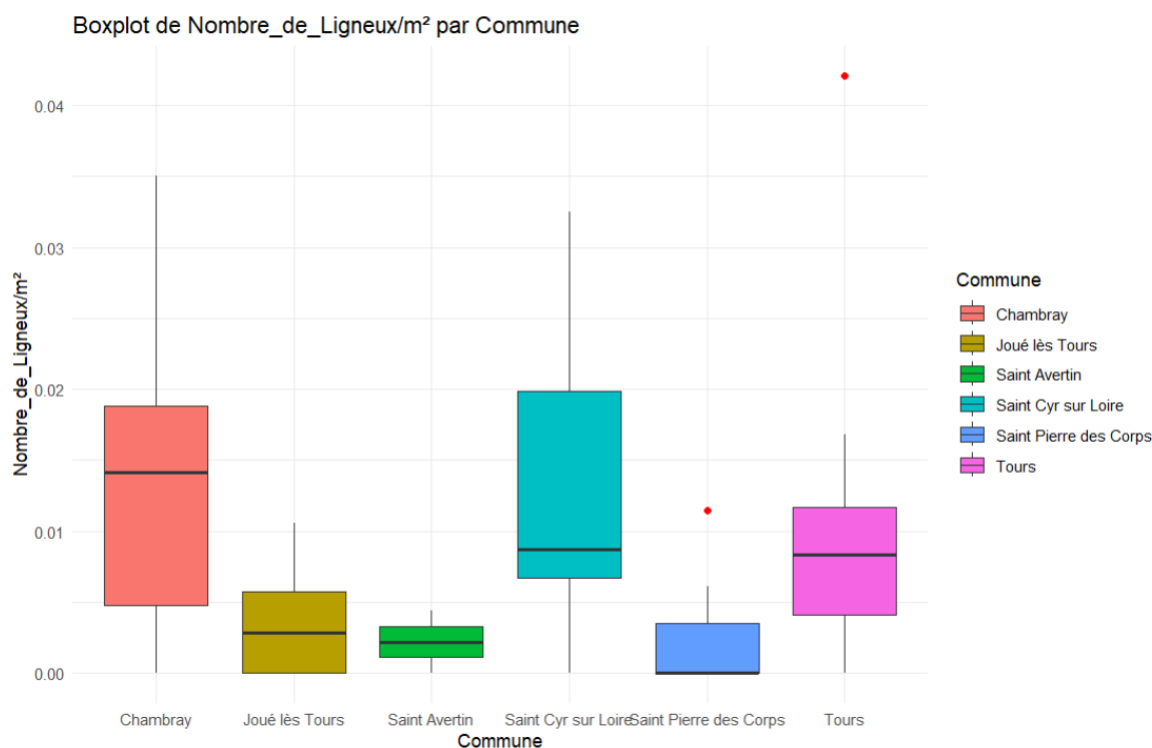


Figure 15 - Boxplot de la Densité de ligneux par Commune

IV. Discussion

1. Hypothèse 1 : Influence de la visibilité sur la végétalisation des ronds-points

Les résultats montrent que les ronds-points résidentiels se distinguent par une végétalisation dense, avec une stratification et un recouvrement élevé, tandis que ceux des centres-villes présentent une imperméabilité accrue et une végétalisation réduite. Cette observation suggère une gestion différenciée basée sur la localisation et la visibilité des ronds-points. Les ronds-points résidentiels, souvent intégrés dans des quartiers à faible trafic, peuvent bénéficier d'une gestion plus écologique visant à maximiser leur rôle en tant qu'espaces verts urbains. Cela inclut des strates végétales diversifiées, contribuant à la connectivité écologique et à l'amélioration de la biodiversité en milieu urbain.

En revanche, les ronds-points situés sur des grands axes sont caractérisés par une homogénéité écologique (ellipse réduite dans la NMDS) et une végétation relativement importante, mais principalement dépourvus de ligneux. Cette absence d'arbres ou d'arbustes pourrait s'expliquer par des contraintes d'entretien liées à leur emplacement stratégique, avec un accès limité en raison d'un trafic routier dense. De plus, les impératifs de sécurité routière et de visibilité peuvent également limiter l'inclusion de ligneux, considérés comme moins compatibles avec les besoins de ces zones. Ces ronds-points représentent toutefois un potentiel en termes de végétalisation, à condition que des solutions de gestion innovantes soient adoptées.

Bien que leur végétalisation soit limitée, cela pourrait s'expliquer, pour certains, par la végétation environnante. En effet, pour des raisons de sécurité, la commune pourrait viser à éviter que le rond-point se fonde dans le décor, en privilégiant des aménagements qui le différencient visuellement de son environnement. Leur diversité de gestion (ellipse étendue dans la NMDS) pourrait refléter une adaptabilité locale, influencée par des facteurs qui pourraient être explorés dans le cadre d'un futur projet de recherche.

2. Hypothèse 2 : Influence de la gestion communale sur la végétalisation

Les différences de végétalisation entre les communes mettent en lumière l'impact de la gestion communale sur les caractéristiques écologiques des ronds-points. Les ronds-points de Saint-Cyr-sur-Loire, Joué-lès-Tours, et Tours montrent un recouvrement et une stratification élevés, suggérant une politique de gestion axée sur la végétalisation. Ces choix peuvent refléter des priorités locales, telles que l'esthétique, la promotion de la biodiversité, ou encore être due aux moyens financiers des communes.

À l'inverse, des communes comme Chambray et Saint-Pierre-des-Corps présentent des niveaux de stratification et de recouvrement plus faibles, ainsi qu'une densité réduite de ligneux pour Saint-Pierre-des-Corps. Ces observations pourraient être dues à des contraintes budgétaires, des choix de gestion moins orientés vers l'écologie, ou à des contextes géographiques spécifiques rendant la végétalisation plus complexe.

Le cas des densités de ligneux (statistiquement significatif) est particulièrement intéressant. La commune de Chambray, avec une densité de ligneux notablement élevée, semble avoir mis l'accent sur l'arborisation. En revanche, l'absence de ligneux à Saint-Pierre-des-Corps pourrait être liée à des priorités différentes ou à des espaces contraints. Le nombre de ronds-points par commune pourrait être un facteur influençant la densité de ligneux. En effet, un grand nombre de ronds-points à entretenir pourrait être un frein pour l'implantation de ligneux.

3. Critique de la méthodologie

Plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées pour renforcer les résultats obtenus. Tout d'abord, la taille de l'échantillon pourrait être augmentée afin d'améliorer la fiabilité des résultats obtenus des tests statistiques, en particulier pour les variables où aucune différence significative n'a été détectée malgré une tendance visible par les boxplot ou les corrélations entre les variables visibles sur l'ACP. De la même manière, inclure davantage de communes offrirait une meilleure représentation des variations géographiques et des pratiques de gestion locales, qui peuvent expliquer certaines divergences dans les données actuelles.

Ensuite, la précision des critères pourrait être améliorée, notamment pour les critères de végétalisation. En identifiant les végétaux jusqu'au genre ou au moins jusqu'à la famille, il serait possible de mieux caractériser la végétalisation des ronds-points. Ce manque de précision pourrait expliquer l'homogénéité de certains groupes dans nos analyses.

Enfin, certains facteurs environnementaux, tels que le type de sol ou les conditions climatiques propres à chaque rond-point, n'ont pas été pris en compte dans cette étude, mais ils pourraient influencer de manière significative la végétation observée. Ce manque pourrait expliquer certaines variations inexpliquées entre les groupes. Une hypothèse supplémentaire pourrait également être explorée : la végétation environnante influence-t-elle la composition et la densité végétale des ronds-points ? Cette hypothèse pourrait expliquer les valeurs aberrantes obtenues pour plusieurs variables lors de cette étude.

V. Conclusion

La visibilité et la gestion communale sont des facteurs clefs de la végétalisation des ronds-points urbains. Nos résultats ont mis en évidence que les ronds-points résidentiels se démarquaient par un fort recouvrement végétal et une forte stratification. Tandis qu'à l'inverse, les ronds-points de centre-ville sont caractérisés par une forte imperméabilité et un recouvrement très changeant d'un rond-point à l'autre. Cela pourrait être dû aux conditions particulières de cet environnement. Ces observations démontrent que la localisation du rond-point influence sa végétalisation, et notamment au niveau de la stratification. Cependant, bien que des corrélations aient été trouvées entre la stratification et les autres variables, nous n'avons pu obtenir que des tendances pour ces variables et non une preuve significative d'une corrélation entre ces variables et la localisation du rond-point. Pour la gestion communale, nos résultats ont démontré qu'elle influençait principalement la densité de ligneux. Certaines communes comme Saint-Cyr-sur-Loire ou Chambray privilégient une forte densité de ligneux tandis que d'autres optent pour des aménagements moins ligneux, probablement en raison de contraintes budgétaires, d'entretien ou de considérations esthétiques.

Toutefois, des limitations méthodologiques, comme la taille de l'échantillon, la précision des critères de végétalisation ou l'absence de données environnementales détaillées, ont pu influencer les résultats et réduisent la portée des conclusions. Ces aspects offrent des opportunités d'amélioration pour des recherches futures. Par exemple, inclure des variables environnementales telles que le type de sol ou la végétation environnante pourrait enrichir la compréhension des dynamiques écologiques.

VI. Bibliographie

Comprendre les îlots de chaleur urbains. (CNRS). CNRS le Journal.

<https://lejournel.cnrs.fr/articles/comprendre-les-ilots-de-chaleur-urbains>

Embracing biodiversity : Paving the way for nature-inclusive cities. (2023, 22 mai). IUCN.

<https://www.iucn.org/story/202305/embracing-biodiversity-paving-way-nature-inclusive-cities>

INDICATEURS UTILES POUR L'EAU ET LA NATURE AU SEIN DES PROJETS. (O2D Environnement). <https://www.o2d-environnement.com>

Isselin, Francis. (2024). Ecologie urbaine [Cours magistral]. Polytech Tours

Les carrefours giratoires urbains. (2010, août 24). *Certu*. <https://www.creuse.gouv.fr>

Nguyen, T. T., Barber, P., Harper, R., Linh, T. V. K., & Dell, B. (2020). Vegetation trends associated with urban development : The role of golf courses. *PloS One*, 15(2), e0228090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228090>

Riley, S. P. D., Brown, J. L., Sikich, J. A., Schoonmaker, C. M., & Boydston, E. E. (2014). Wildlife Friendly Roads : The Impacts of Roads on Wildlife in Urban Areas and Potential Remedies. Dans *Springer eBooks* (p. 323-360). https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7500-3_15

Voiries - Tours Métropole Val de Loire. (s. d.).

<https://data.opendatasoft.com/explore/dataset/voiries%40toursmetropole/table/?disjunctive.commune>

Annexes

Annexe 1 : Tableau de données (coupé en 2 parties)

Partie 1 :

Id	Type	Commune	Surface (m²)	Imperméabilité	Recouvrement
1	Centre	Tours	1963,50	0,1	0,9
2	Grand Axe	Tours	4071,50	1	0
3	Témoin	Saint Cyr sur Loire	530,93	0,1	0,85
4	Centre	Saint Cyr sur Loire	530,93	1	0
5	Résidentiel	Saint Cyr sur Loire	615,75	0,05	0,95
6	Résidentiel	Saint Cyr sur Loire	804,25	0,05	0,95
7	Résidentiel	Saint Cyr sur Loire	1017,88	0,1	0,9
8	Résidentiel	Saint Cyr sur Loire	615,75	0,15	0,85
9	Résidentiel	Saint Cyr sur Loire	452,39	0,1	0,9
10	Grand Axe	Saint Cyr sur Loire	5026,55	0,25	0,75
11	Témoin	Saint Cyr sur Loire	1809,56	0,1	0,7
12	Grand Axe	Saint Cyr sur Loire	4300,84	0,1	0,8
13	Témoin	Tours	4300,84	0,2	0,8
14	Grand Axe	Tours	3421,19	0,15	0,85
15	Témoin	Tours	1963,50	0,4	0,6
16	Grand Axe	Tours	9852,03	0,6	0,4
17	Grand Axe	Tours	7542,96	0,2	0,4
18	Témoin	Tours	7238,23	0,1	0,85
19	Témoin	Tours	5026,55	0,3	0,7
20	Centre	Tours	380,13	0,2	0,8
21	Centre	Tours	1963,50	0,05	0,95
22	Centre	Saint Pierre des Corps	615,75	0,8	0,2
23	Résidentiel	Saint Pierre des Corps	201,06	1	0
24	Centre	Saint Pierre des Corps	530,93	0,98	0,02
25	Résidentiel	Saint Pierre des Corps	1017,88	0,05	0,7
26	Témoin	Saint Pierre des Corps	4536,46	0,05	0,95
27	Témoin	Saint Pierre des Corps	314,16	0,4	0,3
28	Grand Axe	Saint Pierre des Corps	1963,50	0,2	0,8
29	Grand Axe	Saint Pierre des Corps	4536,46	0,1	0,9
30	Grand Axe	Saint Pierre des Corps	3421,19	0,15	0,85
31	Résidentiel	Tours	1017,88	0,65	0,35
32	Centre	Saint Avertin	907,92	0,3	0,2
33	Centre	Saint Avertin	380,13	0,1	0,9
34	Résidentiel	Tours	1661,90	0,05	0,95

35	Résidentiel	Tours	2123,72	0,4	0,6
36	Témoin	Chambray	1256,64	0,35	0,2
37	Centre	Chambray	706,86	0,2	0,25
38	Centre	Chambray	530,93	0,1	0,2
39	Grand Axe	Chambray	11309,73	0,25	0,75
40	Témoin	Chambray	2827,43	0,1	0,9
41	Témoin	Chambray	5026,55	0,25	0,7
42	Résidentiel	Chambray	452,39	1	0
43	Témoin	Joué lès Tours	706,86	0,1	0,9
44	Centre	Joué lès Tours	380,13	1	0
45	Résidentiel	Joué lès Tours	2827,43	0,1	0,9
46	Grand Axe	Joué lès Tours	2827,43	0,1	0,8
47	Témoin	Joué lès Tours	1385,44	0,05	0,9
48	Centre	Joué lès Tours	615,75	0,7	0,1
49	Centre	Joué lès Tours	201,06	1	0
50	Grand Axe	Joué lès Tours	2123,72	0,7	0,3
51	Grand Axe	Joué lès Tours	4536,46	0,1	0,85
52	Résidentiel	Joué lès Tours	4778,36	0,1	0,7

Partie 2 :

Nombre de Ligneux		Stratification			
Conifères	Feuillus	Arborée	Arbustive	Herbacée	Muscinale
2	5	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	3	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0
4	0	1	1	1	1
0	2	1	0	1	0
3	2	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1
0	12	1	1	1	0
6	3	1	1	1	0
0	8	1	1	1	1
0	5	1	0	1	1
0	8	1	1	1	0
0	6	1	1	1	0
0	4	0	1	1	0
4	13	1	1	1	0
9	5	1	1	1	0
5	3	1	1	1	0
0	4	1	0	0	0
0	5	1	0	1	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0

3	10	1	1	1	0
0	0	0	0	1	0
0	3	1	1	1	1
0	4	1	1	1	0
2	0	1	1	1	0
1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0
0	0	0	1	1	1
0	7	1	1	1	1
0	2	1	0	1	1
8	3	1	1	0	0
4	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	1
0	10	0	1	1	0
4	8	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	1
0	2	1	1	1	1
0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0
3	9	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1

Annexe 2 : Package utiliser sur R

```
library(vegan)
library(readxl)
library(dunn.test)
library(ggplot2)
library(dplyr)
library(lmtest)
library(tidyverse)
library(ggpubr)
library(stats)
library(rstatix)
library(FSA)
library(FactoMineR)
library(factoextra)
library(dendextend)
library(ggrepel)
library(patchwork)
```

Annexe 3 : Test exact de Fisher entre type et commune

Test exact de Fisher

```
fisher_type_commune <- fisher.test(type_commune_matrix, simulate.p.value = TRUE)
```

Annexe 4 : Test de Kruskal-Wallis entre les variables et type, puis entre les variables et commune

Test de Kruskal-Wallis

```
kruskal_results_type <- list()
```

```
kruskal_results_commune <- list()
```

```
for (var in quantitative_vars) {  
  if (var %in% colnames(data)) {  
    # Kruskal-Wallis pour Type  
    test_type <- kruskal.test(data[[var]] ~ data$Type)  
    kruskal_results_type[[var]] <- test_type  
  
    # Kruskal-Wallis pour Commune  
    test_commune <- kruskal.test(data[[var]] ~ data$Commune)  
    kruskal_results_commune[[var]] <- test_commune  
  }  
}
```

Annexe 5 : Création des boxplots

ggplot par Type

```
ggplot(data, aes(x = Type, y = Imperméabilité, fill = Type)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Imperméabilité par Type", x = "Type", y = "Imperméabilité") +  
  theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Type, y = Recouvrement, fill = Type)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Recouvrement par Type", x = "Type", y = "Recouvrement") +  
  theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Type, y = Stratification, fill = Type)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Stratification par Type", x = "Type", y = "Stratification") +  
  theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Type, y = `Nombre_de_Ligneux/m²`, fill = Type)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = 'Boxplot de Nombre_de_Ligneux/m² par Type', x = "Type", y =  
"Nombre_de_Ligneux/m²") +  
  theme_minimal()
```

ggplot par Commune

```
ggplot(data, aes(x = Commune, y = Imperméabilité, fill = Commune)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Imperméabilité par Commune", x = "Commune", y = "Imperméabilité") +
```

```
theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Commune, y = Recouvrement, fill = Commune)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Recouvrement par Commune", x = "Commune", y = "Recouvrement") +  
  theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Commune, y = Stratification, fill = Commune)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = "Boxplot de Stratification par Type", x = "Commune", y = "Stratification") +  
  theme_minimal()
```

```
ggplot(data, aes(x = Commune, y = `Nombre_de_Ligneux/m²`, fill = Commune)) +  
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +  
  labs(title = 'Boxplot de Nombre_de_Ligneux/m² par Commune', x = "Commune", y =  
"Nombre_de_Ligneux/m²") +  
  theme_minimal()
```

Annexe 6 : NMDS colorée par les types

```
MDS <- metaMDS(quantitative_data, distance = "bray")  
nmDS_points <- as.data.frame(MDS$points)  
nmDS_points$Group <- data$Type
```

```
custom_colors <- c("red", "darkblue", "darkgreen", "orange")  
p3 <- ggplot(nmDS_points, aes(x = MDS1, y = MDS2, color = Group, fill = Group)) +  
  geom_point(size = 3, alpha = 0.9) + # Points plus grands et plus visibles  
  stat_ellipse(aes(group = Group), type = "norm", geom = "polygon", alpha = 0.3, color = "black") +  
  # Contours noirs pour les ellipses  
  scale_color_manual(values = custom_colors) + # Couleurs des points  
  scale_fill_manual(values = custom_colors) + # Couleurs des ellipses  
  theme_minimal() +  
  labs(  
    title = "Répartition des ronds points par rapport aux variables quantitatives",  
    x = "NMDS Dimension 1",  
    y = "NMDS Dimension 2"  
  ) +  
  theme(  
    legend.position = "right",  
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")  
  )
```

Annexe 7 : NMDS colorée par les communes

```
MDS <- metaMDS(quantitative_data, distance = "bray")  
nmDS_points <- as.data.frame(MDS$points)  
nmDS_points$Commune <- data$Commune # Coloration par les communes
```

```
custom_colors <- c("red", "darkblue", "darkgreen", "orange", "purple", "brown") # Ajustez selon le  
nombre de communes  
p5 <- ggplot(nmDS_points, aes(x = MDS1, y = MDS2, color = Commune, fill = Commune)) +
```



```

geom_point(size = 3, alpha = 0.9) + # Points plus grands et plus visibles

scale_color_manual(values = custom_colors) + # Couleurs des points
scale_fill_manual(values = custom_colors) + # Couleurs des ellipses
theme_minimal() +
labs(
  title = "Répartition des ronds points par rapport aux variables quantitatives (par Commune)",
  x = "NMDS Dimension 1",
  y = "NMDS Dimension 2"
) +
theme(
  legend.position = "right",
  plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")
)

```

Annexe 8 : ACP par rapport aux types

```

quantitative_data <- data %>%
  dplyr::select(Imperméabilité, Recouvrement, Stratification, `Nombre_de_Ligneux/m²`) %>%
  na.omit()

```

```

acp <- PCA(quantitative_data, scale.unit = TRUE, graph = FALSE)
p1 <- fviz_pca_var(acp, col.var = "contrib", repel = TRUE) +
  scale_color_gradientn(
    colours = c("blue", "yellow", "red"), # Palette distinctive pour les contributions
    name = "Contribution"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.title = element_text(size = 14, face = "bold", hjust = 0.5),
    axis.title = element_text(size = 12),
    legend.position = "right"
  ) +
  labs(
    title = "Variables - PCA",
    x = paste0("Dim 1 (", round(acp$eig[1, 2], 1), "%)"),
    y = paste0("Dim 2 (", round(acp$eig[2, 2], 1), "%)")
  )

```

```

groupes <- data$Type

```

```

p2 <- fviz_pca_ind(acp,
  geom.ind = "point",      # Affiche les individus comme points
  col.ind = groupes,      # Coloration par groupe
  palette = custom_colors, # Palette des couleurs personnalisée
  legend.title = "Groupes") + # Titre de la légende
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Individus - PCA colorés par Type",
    x = paste0("Dim 1 (", round(acp$eig[1, 2], 1), "%)"),

```

```

    y = paste0("Dim 2 (", round(acp$eig[2, 2], 1), "%)")
  ) +
  theme(
    plot.title = element_text(size = 14, face = "bold", hjust = 0.5),
    legend.position = "right"
  )

```

```

fviz_pca_var(acp, col.var = "contrib") #Graph DIM1 + DIM2 par rapport aux variables
print(acp$var$contrib) #Contribution des variables

```

```

combined_plot <- p1 + p3 + plot_layout(guides = "collect") # Collecte les légendes ensemble
print(combined_plot)

```

Annexe 9 : ACP par rapport aux communes

```

acp <- PCA(quantitative_data, scale.unit = TRUE, graph = FALSE)

```

```

p1 <- fviz_pca_var(acp, col.var = "contrib", repel = TRUE) +
  scale_color_gradientn(
    colours = c("blue", "yellow", "red"), # Palette distinctive pour les contributions
    name = "Contribution"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.title = element_text(size = 14, face = "bold", hjust = 0.5),
    axis.title = element_text(size = 12),
    legend.position = "right"
  ) +
  labs(
    title = "Variables - PCA",
    x = paste0("Dim 1 (", round(acp$eig[1, 2], 1), "%)"),
    y = paste0("Dim 2 (", round(acp$eig[2, 2], 1), "%)")
  )

```

```

groupes_communes <- data$Commune # Groupes définis par les communes

```

```

p4 <- fviz_pca_ind(acp,
  geom.ind = "point", # Affiche les individus comme points
  col.ind = groupes_communes, # Coloration par commune
  palette = custom_colors, # Palette des couleurs personnalisée
  legend.title = "Communes") + # Titre de la légende
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Individus - PCA colorés par Commune",
    x = paste0("Dim 1 (", round(acp$eig[1, 2], 1), "%)"),
    y = paste0("Dim 2 (", round(acp$eig[2, 2], 1), "%)")
  ) +
  theme(
    plot.title = element_text(size = 14, face = "bold", hjust = 0.5),
    legend.position = "right"
  )

```

```

fviz_pca_var(acp, col.var = "contrib") # Graphique DIM1 + DIM2 par rapport aux variables
print(acp$var$contrib) # Contribution des variables

```

```
combined_plot <- p1 + p5 + plot_layout(guides = "collect") # Collecte les légendes ensemble  
print(combined_plot)
```

(4 ème de Couverture)

*Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés*



Directrice de recherche :

Francesca Di Pietro

Theo CURVERS
PRI/DAE5
DAE-ADAGE
2024-2025

Les facteurs influençant la végétalisation des ronds-points urbains

Résumé :

L'objectif de ce Projet de Recherche et d'Innovation est d'analyser les facteurs influençant la végétalisation des ronds-points urbains dans la métropole de Tours. Les ronds-points, souvent sous-estimés, jouent un rôle clef dans la conservation de la biodiversité urbaine, la régulation des eaux pluviales et l'amélioration de la qualité de l'air. Deux hypothèses principales ont été formulées : la visibilité d'un rond-point favorise sa végétalisation, et la gestion communale influence significativement ses caractéristiques écologiques.

Pour répondre à ces hypothèses, une méthodologie combinant analyses SIG et observations de terrain a permis de caractériser 52 ronds-points sélectionnés sur la base de leur taille, localisation, visibilité et végétalisation. Les données ont été traitées statistiquement avec le logiciel R, utilisant des analyses univariées et multivariées telles que l'ACP et le NMDS.

Les résultats montrent que la localisation joue un rôle déterminant : les ronds-points résidentiels se distinguent par une végétation dense et diversifiée, tandis que ceux des centres-villes présentent une imperméabilité accrue et une végétation limitée. La gestion communale influence principalement la densité de ligneux, certaines communes favorisant davantage l'arborisation. Toutefois, des contraintes méthodologiques, comme la taille de l'échantillon et l'absence de données environnementales détaillées, limitent la portée des conclusions.

Mots Clés : Végétalisation, Ronds-points urbains, Gestion communale, SIG, Analyses statistiques, Aménagement urbain.