

**Faits de malveillance : A la recherche de l'emplacement idéal des postes
de police à Nantes**

Table des matières

Introduction	3
Définition des termes et choix de modélisation	3
Problématisation	4
Hypothèse et méthodologie	4
Techniques et outils	5
Résultats	6
Conclusion et discussion	7
Bibliographie	8

Introduction

Si la ville de Nantes était autrefois reconnue pour son cadre de vie agréable, son image s'est récemment assombrie en raison d'événements violents survenus dans certains quartiers prioritaires (meurtres par arme à feu) et d'agressions sexuelles en centre-ville. Même si les statistiques confirment que la criminalité n'y est pas nécessairement plus élevée que dans des agglomérations comparables, l'opinion publique demeure sensible à ces faits divers, et les politiques de sécurité locales se sont durcies. Cette perception contrastée — entre réalité statistique et sentiment d'insécurité — a conduit à la publication de nombreuses données sur les actes de délinquance, offrant ainsi une base solide pour mener des analyses spatiales et des simulations.

Définition des termes et choix de modélisation

Pour notre étude, nous avons fait le choix de caractériser et spatialiser les événements malveillants à travers le concept de *hotpost*. Dans le champ de la criminologie, un *hotspot* est généralement défini comme une zone géographique au sein de laquelle la fréquence de délits est significativement plus élevée qu'ailleurs (Braga, 2005). Cette idée provient notamment de la théorie selon laquelle un faible nombre de lieux concentre un fort volume d'actes criminels (Sherman, Gartin & Buerger, 1989). Les recherches empiriques de Weisburd (2015) ont ainsi démontré qu'environ 50 % des appels liés aux crimes violents pouvaient se concentrer sur moins de 5 % de l'espace urbain.

Dans la logique de ces travaux, la police prédictive (Perry et al., 2013) repose en grande partie sur l'identification de *hotspots* pour orienter les patrouilles et intervenir de façon proactive. Au lieu de modéliser des agents « délinquants » et « victimes » qui interagiraient dans l'espace, le choix a été fait de simplifier la dynamique criminelle de manière à ce que : Chaque hotspot soit un nœud où se déclenchent des incidents selon une liste d'infractions prédéfinie (1), les patrouilles reçoivent une alerte et se déplacent pour y intervenir(2).

Cette approche présente plusieurs avantages pour une simulation orientée sur la couverture spatiale (LSCP) : Tout d'abord plus de simplicité dans sa mise en œuvre avec l'idée que la charge criminelle est directement localisée, sans recourir à des règles complexes de déplacement ou d'interaction entre « délinquants » et « victimes ».

De plus, cela permet de prendre en compte la concentration spatiale. En effet, selon les analyses de *Routine activity theory* qui observe que les crimes adviennent quand les conditions suivantes sont réunies : « (1) *a motivated offender*, (2) *a suitable target*, and (3) *the absence of a capable guardian* » (Cohen, Felson, 1979) et des *hotspots* (Sherman et al., 1989 ; Weisburd, 2015), la majorité des délits se produit dans un ensemble limité d'emplacements.

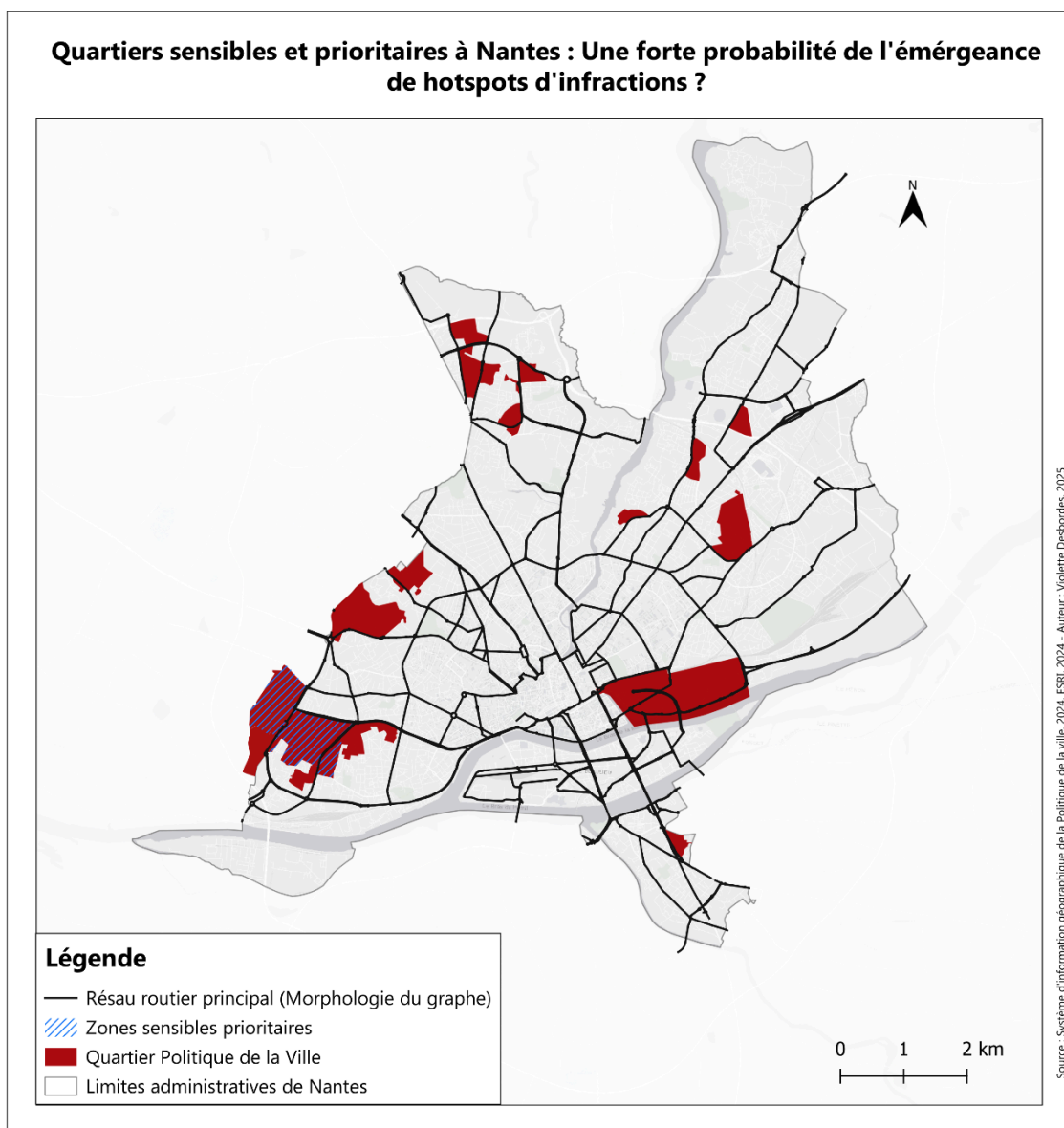
Enfin, l'approche par les *hotspots* donne la possibilité de se focaliser sur le temps de réponse : On mesure le délai nécessaire à une patrouille pour rejoindre un *hotspot*, plutôt que de s'intéresser aux motifs ou processus comportementaux qui précèdent l'incident.

Aussi, nous considérerons *les hotspots* comme des sources directes d'infractions, ce qui permet de se concentrer sur la logique territoriale du phénomène :

- Où et quand surviennent les faits ?
- Quelle distance sépare un hotspot d'un poste de police ?
- Le temps d'intervention varie-t-il en fonction de la configuration spatiale des postes ?

Ce choix de modélisation, privilégiant l'identification des hotspots à la simulation de comportements criminels individuels permet de maintenir un modèle plus épuré, centré sur l'efficacité du dispositif policier et sur l'analyse de la distribution spatiale des incidents dans la ville.

Spatialisation des hotspots : parti pris



Cette carte a pour objectif d'expliquer nos choix dans l'identification des emplacements où les hotspots d'infractions ont le plus de chances d'émerger dans la ville de Nantes. En croisant les données des Zones de Sécurité Prioritaires (ZSP) et des Quartiers Prioritaires de la Politique de la Ville (QPV), nous avons supposé que les faits de délinquance étaient plus susceptibles de se concentrer dans ces zones sensibles, souvent marquées par des conditions sociales plus précaires et une surreprésentation des actes de violence.

Bien que cette approche soit relativement déterministe et ne reflète pas pleinement la complexité de la réalité, elle offre un point de départ cohérent pour la création des hotspots. Ces zones, toutes connectées au réseau routier principal, permettent d'orienter notre modélisation vers des scénarios plus réalistes et opérationnels. En localisant précisément les secteurs prioritaires, cette étape renforce la pertinence de notre analyse et alimente directement les étapes suivantes de notre étude, comme l'optimisation des emplacements des postes de police.

Problématisation

Dans ce contexte, la question centrale de notre sujet est la suivante : Quels sont les **emplacements optimaux de n postes de police, qui permettent de réduire les temps d'intervention des forces de l'ordre face aux incidents.**

Deux grandes approches de la recherche opérationnelle peuvent être mobilisées :

1. Le problème des p -centres, qui consiste à localiser p installations (ici, des postes de police) de manière à minimiser la distance maximale séparant un hotspot criminel d'un poste.
2. Le LSCP (*Location Set Covering Problem*), qui fixe un rayon de couverture acceptable (distance maximale à ne pas dépasser) et cherche le nombre minimal de postes nécessaires pour couvrir chaque zone sensible.

Nous avons choisi de privilégier le LSCP (*Location Set Covering Problem*), car il donne une vision claire de la manière de garantir une intervention rapide partout (chaque point restant à une distance raisonnable). Toutefois, nous avons également exploré le problème des p -centres, qui est le plus pertinent dans un cadre réaliste où les contraintes économiques peuvent imposer un nombre donné d'infrastructures.

Cependant, en raison de la complexité algorithmique et du temps de calcul très long¹ des p -centres — chaque point client nécessitant un calcul exhaustif — nous avons opté pour une approche de clustering ([Clustering Algorithms](#): K-means) afin de réduire les temps de calcul. Pour cela, l'espace de Nantes a été divisé en 100 clusters, ce qui a permis de restreindre les calculs à des sous-ensembles plus petits et ainsi, améliorer la vitesse d'exécution. Néanmoins, cette approche introduit une perte de précision, car les clusters limitent la possibilité d'optimiser la localisation globale des infrastructures en considérant simultanément l'ensemble des points clients.

¹ Cela implique que pour chaque point client (hotspot), il faut évaluer toutes les distances possibles vers les centres candidats, ce qui peut être coûteux en termes de calcul, surtout lorsque le nombre de clients ou de centres potentiels est important.

Hypothèse et méthodologie

Notre hypothèse de recherche postule que : Réduire le rayon de couverture d au sein du modèle LSCP (Location Set Covering Problem) améliore significativement la réactivité des forces de l'ordre, en garantissant un temps de réponse plus court pour la majorité des incidents. Autrement dit, imposer une distance maximale plus restrictive – et donc potentiellement installer davantage de postes – devrait se traduire par un pourcentage plus élevé d'interventions réalisées dans le délai ciblé.

Pour valider ou infirmer cette hypothèse, notre méthode consiste à faire varier le paramètre d sur plusieurs scénarios de simulation, comme par exemple :

Scénario A : $d=30$ minutes, conduisant à un certain nombre de postes calculé via LSCP.

Scénario B : $d=15$ minutes, avec un nombre de postes sans doute plus important, mais une distance maximale autorisée plus faible.

Scénario C : $d=5$ minutes, renforçant encore la contrainte de couverture et augmentant possiblement le nombre de postes requis.

Dans chaque scénario, la configuration spatiale des postes obtenue par LSCP est intégrée à la modélisation multi-agents qui apporte une considération dynamique : Des incidents sont générés de manière aléatoire (les actes violents ont plus de chance de se produire dans les zones sensibles (40%)), et des patrouilles se déplacent depuis les postes les plus proches pour y intervenir. Les indicateurs clés (temps moyen d'intervention, pourcentage d'incidents traités sous un seuil temporel, etc.) seront ensuite comparés entre les trois scénarios.

Ainsi, si un scénario avec un rayon d plus réduit aboutit effectivement à un temps de réponse plus court et une couverture plus efficace (nombre d'incidents résolus dans le délai ciblé plus élevé), notre hypothèse sera confirmée. Dans le cas contraire, ou si l'apport de scénarios très contraints (faible d) reste marginal, l'hypothèse devra être nuancée ou révisée.

Techniques et outils

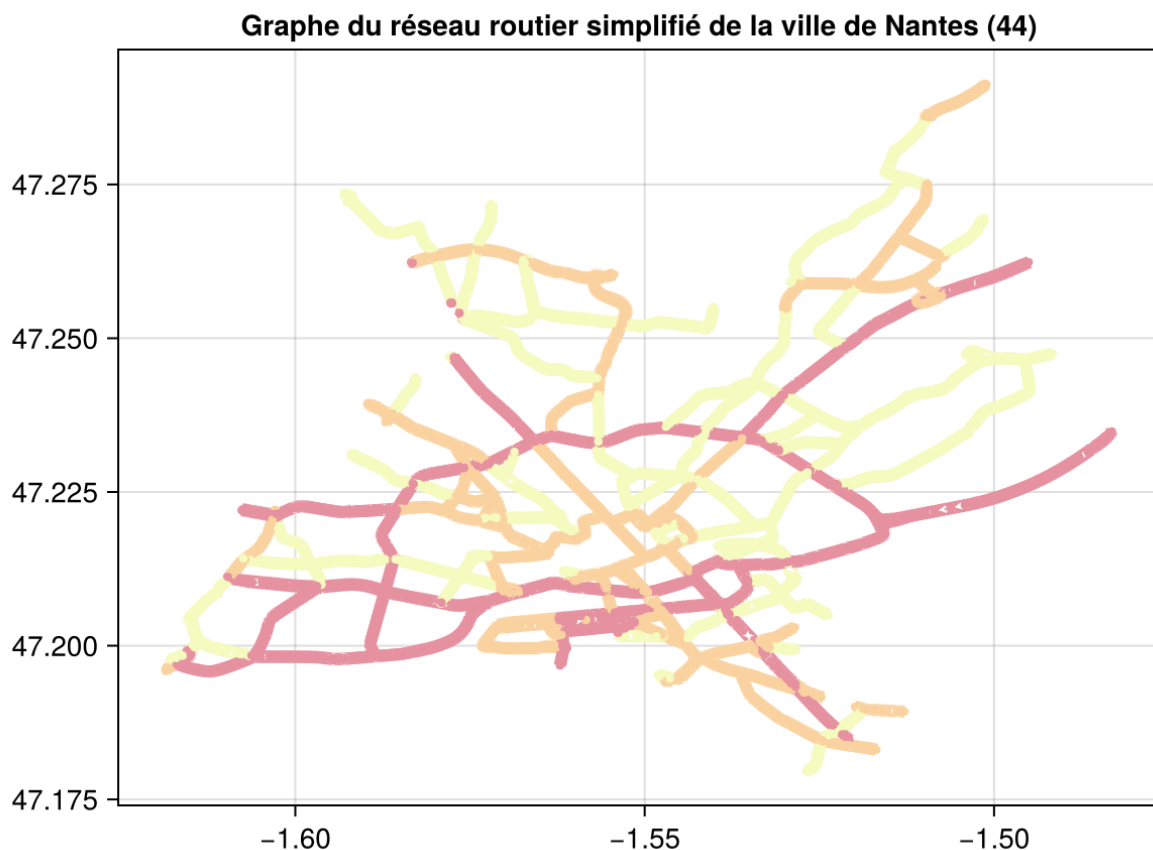
Choix du langage

Nous avons décidé de développer entièrement le projet en Julia, qui se distingue des autres langages (comme Python) par son haut niveau de performance et sa facilité d'écriture. Elle permet d'écrire du code concise, lisible, tout en bénéficiant d'exécutions rapides presque au niveau du C/C++. Dans un projet mêlant optimisation (LSCP) et simulation multi-agents (ABM), la vitesse de calcul est indispensable pour traiter des grandes quantités de données (Plusieurs milliers de). De plus, Julia dispose de bibliothèques spécialisées (JuMP pour l'optimisation, Agents.jl pour l'ABM) qui offrent un écosystème cohérent et performant, simplifiant la mise en place de scénarios complexes.

Création du graphe à partir du réseau routier d'OpenStreetMap

Pour construire la représentation spatiale du réseau urbain, notre choix s'est porté sur OpenStreetMap. En effet, OSM fournit un réseau routier orienté c'est-à-dire que les routes ne sont pas toujours bidirectionnelles (sens unique... => $(A \rightarrow B \neq B \rightarrow A)$). De plus, les tags de vitesse (maxspeed) associés aux tronçons de route permettent de pondérer chaque arête du graphe en fonction du temps de trajet plutôt que de la seule distance kilométrique linéaire). Cet aspect nous a paru indispensable pour modéliser le temps de réponse des patrouilles de police.

Aussi, cela permet de générer un graphe routier qui correspond davantage à la réalité quotidienne des déplacements : il ne s'agit pas simplement d'un réseau « idéal » où tous les arcs seraient bidirectionnels et de vitesse uniforme, mais d'un modèle un peu plus complexe qui intègre des restrictions directionnelles et des limites de vitesse. Cela donne une meilleure estimation du temps nécessaire pour qu'une patrouille rejoigne un hotspot criminel, et donc une analyse plus réaliste de la couverture spatiale assurée par les postes de police.



Afin d'éviter des temps de calcul interminables, nous avons simplifié le réseau routier aux trois grandes types de routes : Primary, Secondary et Tertiary (voir la figure ci-dessus).

Répartition des incidents

La population virtuelle repose sur les données statistiques locales, notamment la répartition des infractions observées à Nantes. Avec 65 % des incidents que nous considérons comme non violents et 35 % comme violents, nous avons généré une liste d'infractions correspondant à ces proportions. Ces données incluent des types spécifiques de crimes (vols, violences sexuelles, dégradations, etc.)².

Pourcentage des types de crime dans la ville de Nantes pour 2023

Type de crime	Sommes de faits	Pourcentage
Non violent	15122	65%
Violent	7997	35%
Total général	23119	100%

Source : Ministère de l'Intérieur, "Bases statistiques communale, départementale et régionale de la délinquance enregistrée par la police et la gendarmerie nationales"

Points clients et hotspots

Dans le cadre du modèle *p-centre*, les points clients, qui représentent des lieux où des incidents pourraient survenir, sont répartis initialement de manière équilibrée sur tout le territoire. Cette approche garantit une couverture spatiale homogène pour les premières simulations. Une fois que les incidents commencent à émerger, ils forment des hotspots. Ces derniers deviennent alors eux-mêmes des points clients pour les simulations suivantes. Cela permet une adaptation progressive des infrastructures policières à la dynamique spatiale des incidents.

En revanche, pour le modèle LSCP, il n'y a pas de notion de point client à proprement parler mais un calcul de matrice de distance-temps, calculée à partir du réseau routier. Ici, les hotspots n'interviennent pas directement, car l'objectif est de minimiser le temps maximal d'intervention à tout point du graphe en optimisant la répartition des infrastructures. Les patrouilles de police y sont déployées pour intervenir une durée déterminée acceptable autour des hotspots (la durée acceptable peut varier en fonction des objectifs).

Modélisation des patrouilles de police

Les patrouilles de police, quant à elles, permettent d'évaluer la capacité opérationnelle du dispositif. Chaque patrouille est initialement assignée à un poste de police et se déplace en

² Le pourcentage de type d'acte a été calculé par nos soins selon les données du Ministère de l'Intérieur, "Bases statistiques communale, départementale et régionale de la délinquance enregistrée par la police et la gendarmerie nationales"

fonction des incidents signalés dans les hotspots. Ces déplacements sont simulés à l'aide des données du réseau routier, pondérées par les limitations de vitesse et les contraintes du réseau (graphe orienté).

Dans le modèle *p-centre*, les patrouilles sont déployées pour minimiser la distance maximale entre les postes et les points clients. Concernant le LSCP, elles sont utilisées pour tester la capacité des postes à garantir une intervention dans une durée prédéterminée, souvent mesurée en minutes.

Tableau des méthodes et fonction utilisées

Package	Méthode/Fonction	Description
DrWatson	@quickactivate, datadir	Gère les projets scientifiques reproductibles et fournit des utilitaires pour travailler avec les fichiers et répertoires de projet.
Agents	@agent, StandardABM, add_agent!	Permet de créer et gérer des modèles basés sur des agents, notamment en définissant des types d'agents et en ajoutant des agents dans le modèle.
Graphs	floyd_warshall_shortest_paths	Fournit des outils pour analyser des graphes, ici pour calculer les plus courts chemins entre tous les nœuds d'un graphe.
LightOSM	graph_from_file, download_osm_network	Permet de manipuler et de télécharger des données OSM. graph_from_file charge un graphe OSM, et download_osm_network télécharge un réseau routier.
OSMMakie	osmplot	Visualise des données OSM en générant des tracés avec le backend graphique Makie.
GLMakie	display	Affiche des figures créées avec Makie.
Agents.DataFrames	DataFrame	Transforme la matrice des distances en un tableau pour une lecture plus facile.
Graphs	replace	Remplace les valeurs infinies (ou autres valeurs spécifiques) dans une matrice ou un tableau par une valeur explicite.

Résultats

1. Rappel des scénarios
2. Analyse statistique

Indicateur	Pourquoi ?	Analyse possible
Temps moyen d'intervention - Visualiser la distribution (histogramme)	Réflète la réactivité opérationnelle des postes de police.	- Comparer le temps moyen d'intervention entre scénarios.
Pourcentage d'incidents couverts - Créer des graphiques comparatifs.	Mesure l'efficacité des réponses rapides dans un délai cible.	- Calculer le pourcentage d'incidents couverts pour chaque scénario.
Couverture spatiale des hotspots - Visualiser les distances sur une carte ou en diagramme.	Vérifie si les zones éloignées sont négligées.	- Identifier les hotspots les plus mal couverts.
Nombre de postes nécessaires - Identifier les zones avec postes redondants ou insuffisants.	Montre la faisabilité des scénarios en termes de ressources.	- Comparer le nombre de postes entre scénarios.
Distribution des incidents par poste - Identifier les postes "sur-sollicités" et "sous-sollicités"	Evalue la surcharge ou l'inutilité de certains postes.	- Analyser la variance des incidents par poste.
Impact des zones sensibles - Comparer la couverture entre zones sensibles et normales.	Vérifie la couverture dans les zones prioritaires.	- Calculer la proportion d'incidents dans les zones sensibles.
Optimisation des ressources - Identifier le point de saturation des ressources.	Evalue l'efficacité des ajouts de postes.	- Graphe du rapport postes/temps moyen.
Distribution des distances poste-hotspot - Calculer moyenne - Calculer écart-type	Montre les variations des distances dans le réseau routier.	- Créer un histogramme ou boxplot des distances. percentiles.
Hotspots non couverts - Calculer leur distance par rapport au poste le plus proche.	Met en évidence les faiblesses du module.	- Identifier les hotspots non couverts sur une carte.
Comparaison des scénarios - Utiliser diagrammes radar ???	Aide à déterminer le scénario optimal. tableaux synthétiques	- Comparer les résultats des indicateurs entre scénarios.

3. Evaluation du modèle
 - Etude sur 1 semaine
 - Etude sur 6 mois pendant 5 ans

Conclusion et discussion

Pour rappel, notre problématique était la suivante : Quels sont les **emplacements optimaux de n postes de police, qui permettent de réduire les temps d'intervention des forces de l'ordre face aux incidents**. Pour y répondre, nous avons utilisé deux approches opérationnelles. D'une part la réponse au problème des P-Centre qui permet à partir d'une contrainte de n postes de police, de trouver leur emplacement idéaux pour minimiser le temps de réponse et d'autre part, la réponse au LSCP qui permet de trouver le nombre n idéal de postes de police et leur position pour couvrir l'espace en un seuil d de distance-temps. Ces deux axes permettent d'aborder la question sous un angle différent à savoir, la contrainte économique (construire un poste coûte cher, donc on minimise les coûts tout en assurant un service optimal) (1), la contrainte temporelle, qui induit une relation positive avec l'idée que plus la contrainte temporelle est forte, plus le nombre n de poste sera élevé.

Bibliographie

Braga, A. (2005). *Hot spots policing and crime prevention: A systematic review of randomized controlled trials*. Journal of Experimental Criminology, 1(3), 317–342.

Cohen, L. E., & Felson, M. (1979). *Social change and crime rate trends: A routine activity approach*. American Sociological Review, 44(4), 588–608.

Perry, W. L., McInis, B., Price, C. C., Smith, S. C., & Hollywood, J. S. (2013). *Predictive Policing: The Role of Crime Forecasting in Law Enforcement Operations*. RAND Corporation.

Sherman, L. W., Gartin, P. R., & Buerger, M. E. (1989). *Hot spots of predatory crime: Routine activities and the criminology of place*. Criminology, 27(1), 27–55.

Weisburd, D. (2015). *The law of crime concentration and the criminology of place*. Criminology, 53(2), 133–157.

Weisburd, D., & Eck, J. E. (2004). *What Can Police Do to Reduce Crime, Disorder, and Fear?* The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 593(1), 42–65.

Annexes

CODG EO	Année	classe	Unité compte	Faits	POP	Coef	Type d'acte
44109	23	Vols avec armes	infraction	90	323204	2	Violent
44109	23	Trafic de stupéfiants	Mis en cause	351	323204	1	Non violent

4410 9	23	Vols violents sans arme	infraction	599	323204	2	Violent
4410 9	23	Vols d'accessoires sur véhicules	véhicule	620	323204	1	Non violent
4410 9	23	Violences sexuelles	victime	687	323204	2	Violent
4410 9	23	Coups et blessures volontaires intrafamiliaux	victime	773	323204	2	Violent
4410 9	23	Autres coups et blessures volontaires	victime	1016	323204	2	Violent
4410 9	23	Usage de stupéfiants	Mis en cause	1288	323204	1	Non violent
4410 9	23	Vols de véhicules	véhicule	1517	323204	1	Non violent
4410 9	23	Cambriolages de logement	infraction	1556	323204	1	Non violent
4410 9	23	Coups et blessures volontaires	victime	1789	323204	2	Violent
4410 9	23	Destructions et dégradations volontaires	infraction	3043	323204	2	Violent
4410 9	23	Vols dans les véhicules	véhicule	3083	323204	1	Non violent
4410 9	23	Vols sans violence contre des personnes	victime entendue	6707	323204	1	Non violent

Source : Ministère de l'Intérieur, "Bases statistiques communale, départementale et régionale de la délinquance enregistrée par la police et la gendarmerie nationales", dernières mises à jour disponibles en juillet 2024, Licence Ouverte version 2.0