



Technologies de capteurs pour la mesure des modes actifs

Valérie LERAY Chargée études Ingénierie de trafic et ITS Cerema IF - Cristina BURAGA Responsable de Projets Capteurs et ITS Cerema Med

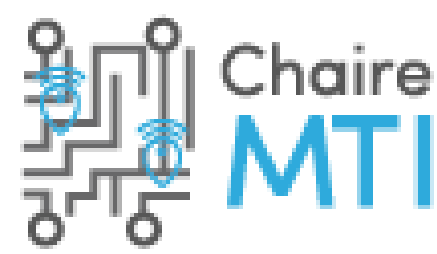
| | | | |
|-------------------------|---|--|---|
| | <h2>Boucles EM</h2> | <p>Lors du passage des roues d'un vélo ou EDP, les boucles détectent les variations du champ EM induites par les composantes de celles-ci. Elles peuvent être intrusives dans sciage du revêtement de chaussée (installation permanente ou comptage tournant) ou collées en surface (installation temporaire ou ponctuelle).</p> <p>Il existe 2 géométries de boucles : Losanges (Brevetées ZELT) ou rectangulaires. La boucle ZELT analyse la signature magnétique de chaque roue, en se basant sur 13 critères de différenciation et détecte ainsi différents types de vélos, même avec cadre carbone ou aluminium (non vérifié).</p> | <p>Débit, classe d'usager, classe de vitesse Données individuelles et agrégées Autonomie 1 à 2 ans (suivant fréquentation) Paramétrage complet possible par l'utilisateur Capteurs intrusif en installation permanente</p> |
| | <h2> Tubes</h2> | <p>Lors du passage des roues d'un vélo ou EDP, les tubes sont soumis à un écrasement ponctuel générant, à l'intérieur, une variation de pression. Celle-ci se propage jusqu'aux extrémités et en particulier à celle où est fixé un détecteur. La pression, via le détecteur, actionne alors un contact électrique. Un algorithme identifie le type d'usager entre autre par la distance inter-essieu.</p> | <p>Capteurs non intrusif Pose sur chaussée Débit, classe d'usager Données individuelles et agrégées Plusieurs semaines d'autonomie (suivant fréquentation) Paramétrage complet possible par l'utilisateur Durée de vie des tubes 1 à 2 semaines avec trafic motorisé, 1 à 2 mois avec uniquement des modes actifs</p> |
| | <h2>Câble piézoélectrique</h2> | <p>Lors du passage des roues d'un vélo ou EDP, les capteurs piézos sont soumis à une charge ponctuelle générant une impulsion électrique. Celle-ci est envoyée au détecteur situé dans le coffret du dispositif de mesure. Un algorithme identifie le type d'usager entre autre par la distance inter-essieu.</p> | <p>Débit, classe d'usager Données individuelles et agrégées Plusieurs semaines/mois d'autonomie (suivant fréquentation) Paramétrage complet possible par l'utilisateur Capteurs intrusif demande 2 saignées Durée de vie des tubes 1 à 2 semaines avec trafic motorisé, 1 à 2 mois avec uniquement des modes actifs</p> |
| <p>Tous les usagers</p> | <h2>Infra-Rouge (IR)</h2> | <p>Ce type de capteur détecte les variations de chaleur. Ainsi il détecte tous les usagers traversant son faisceau : Piéton, vélo, EDP... Il n'identifie pas les usagers par classe. Ainsi il est utilisé en complément des capteurs Boucles EM, câble piézoélectrique ou tubes, afin de fournir la donnée piéton : Tous les usagers détectés moins les classes vélos et EDP détectées par les autres technologies.</p> | <p>Capteurs non intrusif Pose hors chaussée, sur poteau ou candélabre Débit tous usagers confondus Données individuelles et agrégées Autonomie jusqu'à 10 ans (suivant fréquentation) Paramétrage complet possible par l'utilisateur Sensibles aux masquages</p> |
| | <h2>Radar</h2> | <p>Le principe du radar (RAdio Detection And Ranging), repose sur la détection et l'estimation de la distance par ondes radio. Un émetteur envoie des ondes radio, Après réflexion de l'onde émise sur les objets en mouvement circulant dans sa zone d'action, l'onde rétrodiffusée revient sur la même antenne avec un décalage en fréquence en plus ou en moins suivant le sens de déplacement et proportionnel à la vitesse du mobile. La fréquence du signal DOPPLER résultant de ce mélange de deux fréquences est ainsi proportionnelle à la vitesse du véhicule. Discrimination (vélo/piéton) par la vitesse (suivant industriel).</p> | <p>Capteurs non intrusif Pose hors chaussée, sur poteau ou candélabre Réglage angle de visée nécessaire Débit, (vitesses), classe d'usager Données individuelles et agrégées Plusieurs jours / semaines d'autonomie (suivant industriel) Installation permanente possible via panneaux solaires ou POE Paramétrage complet possible par l'utilisateur Joggeurs classifiés en vélos (suivant industriel) Sensibles aux masquages</p> |
| | <h2>Stéroscopie thermique et numérique</h2> | <p>Utilisation de détecteurs thermiques numériques placés dans le plan focal d'une lentille de Fresnel. Lorsque des usagers passent devant le faisceau du capteur, ceux-ci concentrent un rayonnement thermique infrarouge. Un algorithme stéréoscopique breveté permet ensuite de les compter dans les 2 sens.</p> | <p>Capteurs non intrusif Pose hors chaussée, sur poteau ou candélabre Débit classe d'usager (vélos/piétons) Données agrégées 15 minutes uniquement Autonomie jusqu'à 2 ans Paramétrage complet possible par l'utilisateur Largeur maximale de voie mesurée : 4 à 6 m Joggeurs classifiés en vélos Se prémunir des masquages potentiels</p> |
| | <h2>Scanner laser</h2> | <p>Ce capteur utilise des impulsions lumineuses pour détecter les objets environnants. La distance est détectée en mesurant le temps écoulé entre l'émission et la détection d'une impulsion lumineuse. Un détecteur rotatif d'impulsions lumineuses mesure les distances. Cela permet de créer un "rideau" d'impulsions lumineuses, qui représentent le profil des objets détectés devant le capteur et ainsi les identifie.</p> | <p>Capteurs non intrusif Pose hors chaussée, sur poteau ou candélabre (2 à 5m de haut) Débit par classe d'usager Données individuelles et agrégées Paramétrage complexe à faire par industriel Energie permanente nécessaire Sensibles aux surfaces en verre et en acier inoxydable Sensibles aux éléments susceptibles de bouger devant le capteur</p> |

Vidéo IA

| | | |
|--|---|---|
| <p>1 - Intelligence embarquée (recueil de datas pas de vidéo) Caméras « intelligentes » ou « augmentées » avec l'intelligence IA embarquée dans la caméra Pas de procédure RGPD, les données recueillies sont cryptées et directement exploitables. Les images ne sont pas transmises, uniquement les données. Ce type de caméra est assez onéreux, en revanche le coût des transmissions est vraiment faible Il n'y a pas besoin de logiciel IA pour faire les traitements. Toutefois l'utilisateur n'a aucun moyen de vérifier la qualité dans le temps des mesures fournies, hormis un dépouillement manuel en live.</p> | <p>2 – Caméra à floutage intégré Procédure RGPD nécessaire car floutages non exhaustifs, Les flux vidéo floutés sont transmis, pour analyse délocalisée en post-traitement. Post-traitement réalisé dans un autre coffret sur place, sur serveur client ou cloud fournisseur Si post-traitement local, les transmissions sont peu onéreuses (mais même inconvénient que IA embarquée pas de vérification possible de la qualité des données transmises) Ce type de caméra est moins onéreux que le précédent Les floutages automatiques créent une augmentation des erreurs d'analyse du logiciel IA (en post-traitement) Nécessité de tester ces dispositifs avant tout achat ainsi que le logiciel IA utilisé.</p> | <p>3 – Caméra ordinaire de vidéosurveillance Procédure RGPD nécessaire Les flux vidéo sont transmis, pour analyse délocalisée en post-traitement. Post-traitement réalisé dans un autre coffret sur place, sur serveur client ou cloud fournisseur Si post-traitement local, pas de RGPD et les transmissions sont peu onéreuses (mais même inconvénient que IA embarquée pas de vérification possible de la qualité des données transmises) Ce type de caméra est peu onéreux, bon marché Nécessité de tester le logiciel IA utilisé en post-traitement.</p> |
|--|---|---|

PARTENAIRES

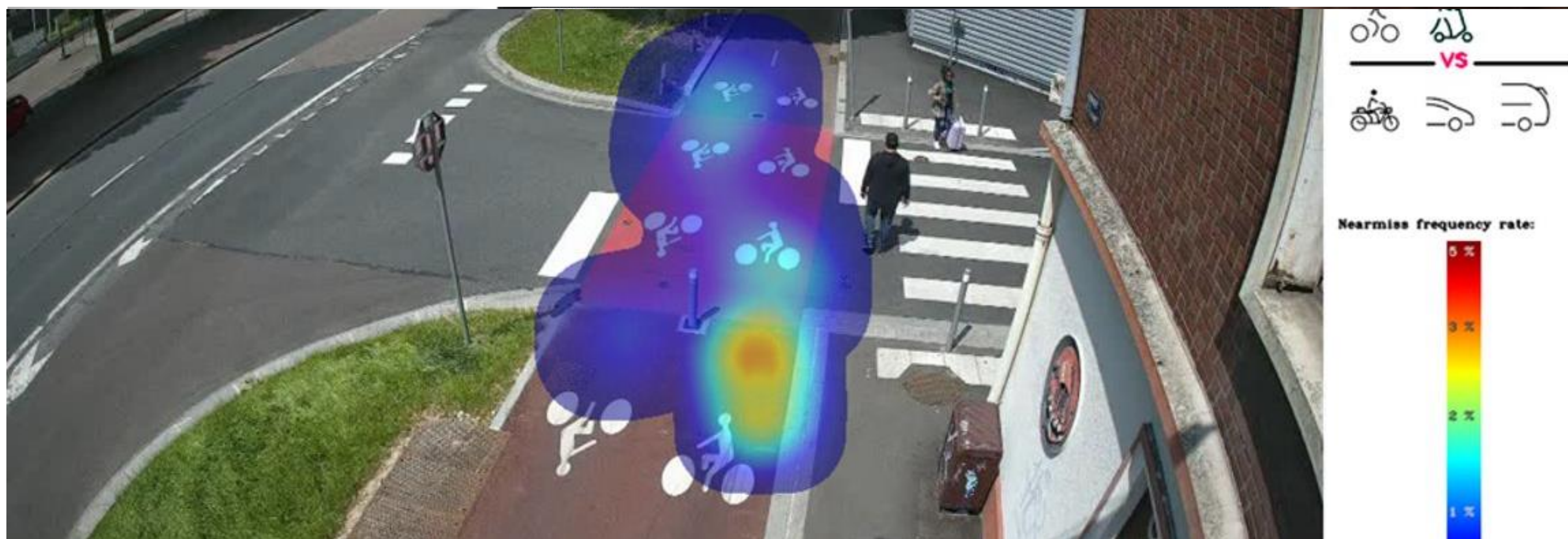
PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ
NUMÉRIQUE RESPONSABLE #ENTER



université
de BORDEAUX



Capteurs non intrusif
Pose hors chaussée, sur poteau ou candélabre (3 à 8m de haut)
Débit par classe d'usager, trajectoires, TO
Données individuelles et agrégées
Analyse par IA embarquée, en local ou sur cloud
Energie permanente nécessaire
Adapter la hauteur d'installation et le champs de vision au site
Eviter orientation Est/Ouest
Certains dispositifs Vidéo IA nécessitent un bon éclairage public la nuit



AMÉLIORER LA SÉCURITÉ DES CYCLISTES

en combinant données quantitatives, qualitatives et IA

Eco-Compteur a mené, pour les Métropoles de Rennes et Rouen, des études détaillées sur la sécurité de certains carrefours, spécifiquement pour les vélos.

La méthodologie a été d'utiliser une caméra 2D intégrant de l'intelligence artificielle : CITIX-AI Evo. Les données collectées ont permis d'identifier quatre niveaux de presque-accidents (de la simple gêne à la situation dangereuse), et de générer des cartes de chaleur pour chaque pratique.

A Rennes, les résultats ont permis de pérenniser un aménagement temporaire, l'étude ayant montré une absence de situations accidentogènes.

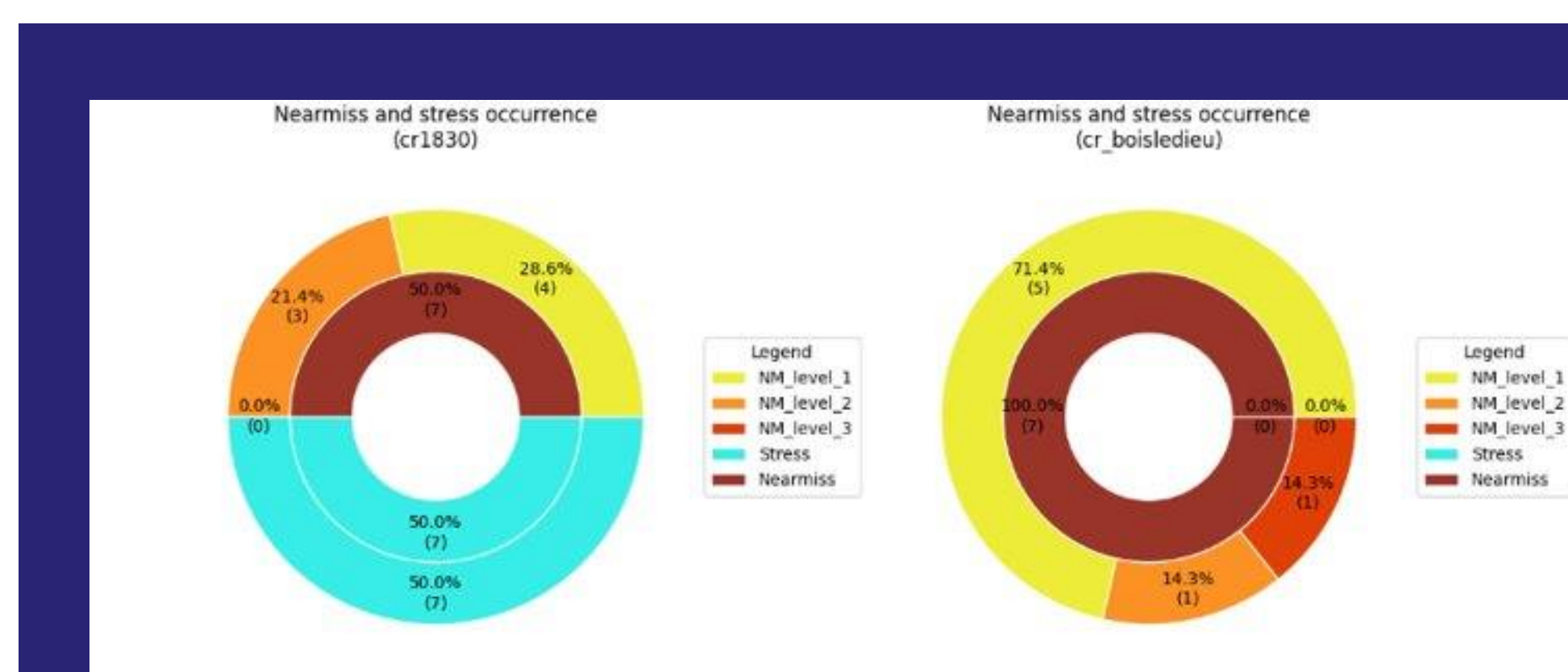
A Rouen, quatre sites ont été étudiés pour alimenter les réflexions sur des évolutions futures d'aménagement.

Rennes Métropole

- Sur 4 925 comptages enregistrés, seulement **14 situations de presque-accidents** ont été relevées entre modes motorisés et modes actifs.

Rouen Métropole

- A Rouen, sur les quatre sites étudiés, **deux ont un taux de conflit (trafic/presque-accidents) inférieur à 0,1%** du trafic. Les deux autres connaissent un **taux de conflit de 0,2%** environ.



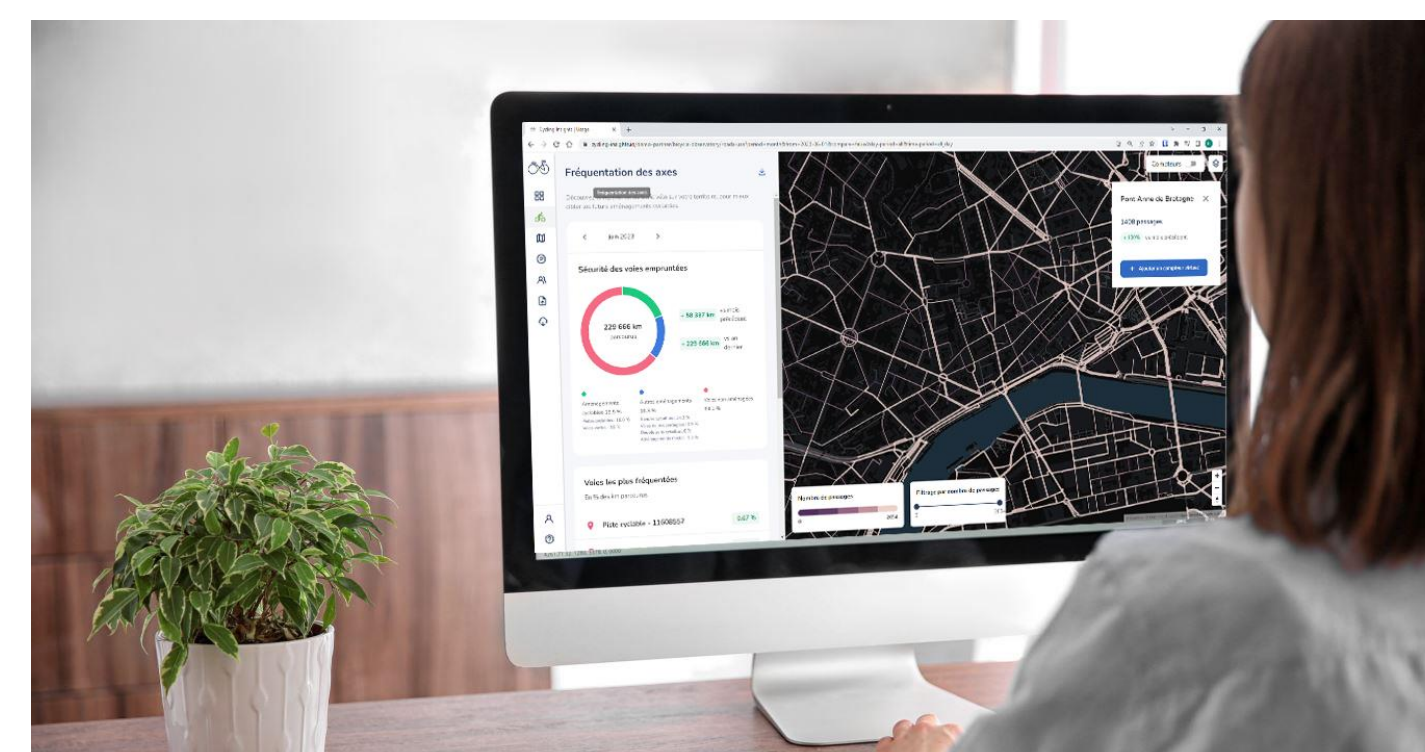
Comparaison d'analyse de presque-accidents en fonction de la gravité de l'événement relevé (« stress », niveau 1, niveau 2, niveau 3)

Pour identifier facilement les carrefours les plus accidentogènes, une autre solution consiste à combiner données de comptage et traces GPS fournies par **Geovelo** pour obtenir une vue complète de son réseau avec la solution **Cycling Insights**.

Ce croisement des données avec les données d'accidentologie permet ensuite d'identifier facilement les endroits où les accidents sont nombreux, en proportion du trafic vélo mesuré sur site.

Une étude menée à Vancouver sur le sujet a permis ainsi d'identifier les carrefours les plus accidentogènes, tous situés en périphérie de la ville (et non au centre comme les chiffres bruts d'accidents le laissait penser initialement).

PARTENAIRES



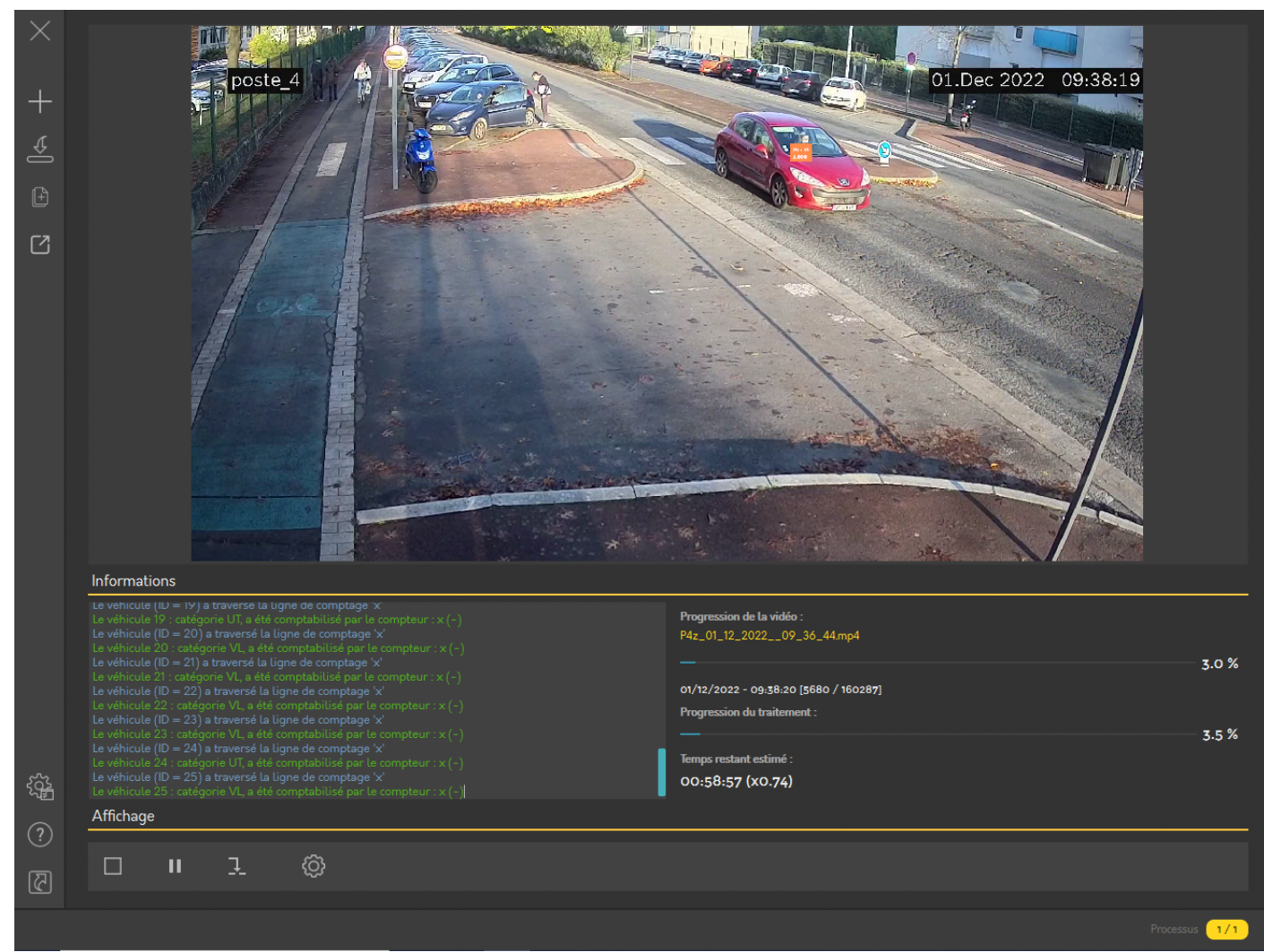


SMART CAMPUS

Enquête de recueil de données

En 2022, le groupe MIM a installé un ensemble de capteurs sur le campus de Bordeaux. Ces capteurs ont permis de quantifier le trafic de véhicules et de cyclistes.

Le projet DATACAMPUS vise à améliorer la gestion de la mobilité et des déplacements sur le campus.



Tubes pneumatiques pour déterminer le trafic 2 roues.

Caméras associées à un logiciel de détection IA

Enquête 2024 :

Une nouvelle campagne de comptage va être déployée entre fin novembre 2024 et le printemps 2025.



Bosch NBE – 6502 – AL : caméra IP éclairage infrarouge. Stockage interne avec carte SD 512 Go.



Survision MICROPAK : caméra/capteur vidéo permettant d'enregistrer le passage d'un véhicule à l'aide de sa plaque d'immatriculation.

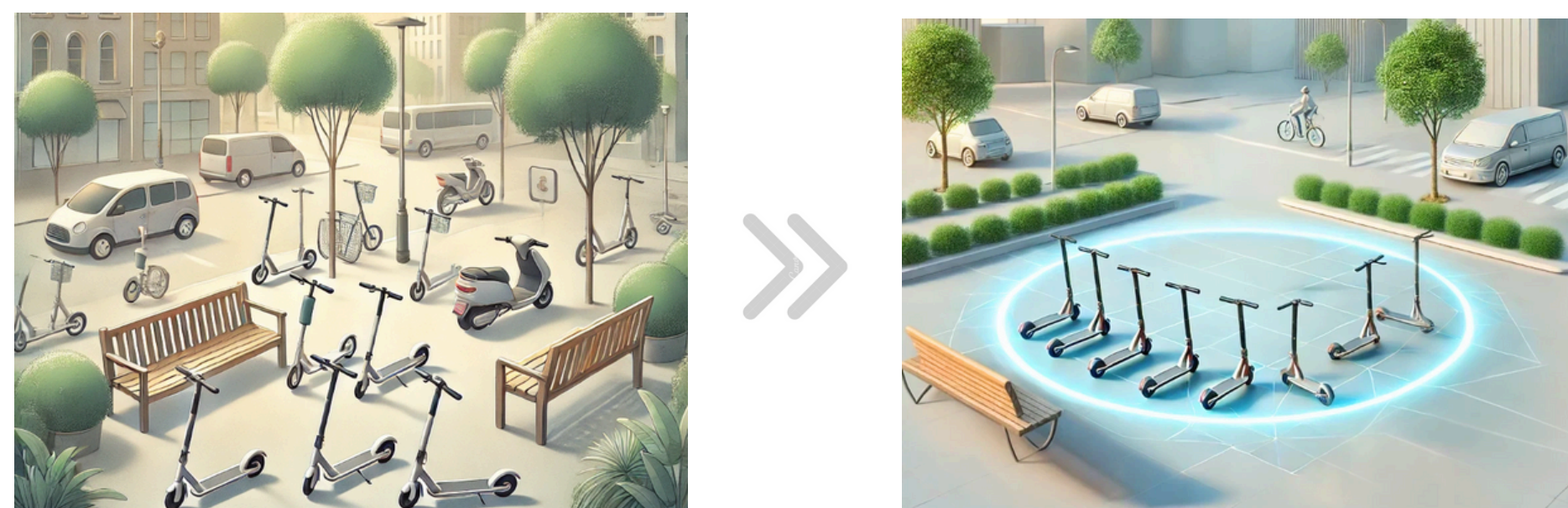
Volumétrie de données faible par capture : données brutes + une photo d'une résolution minimale (moins de 100 Ko)



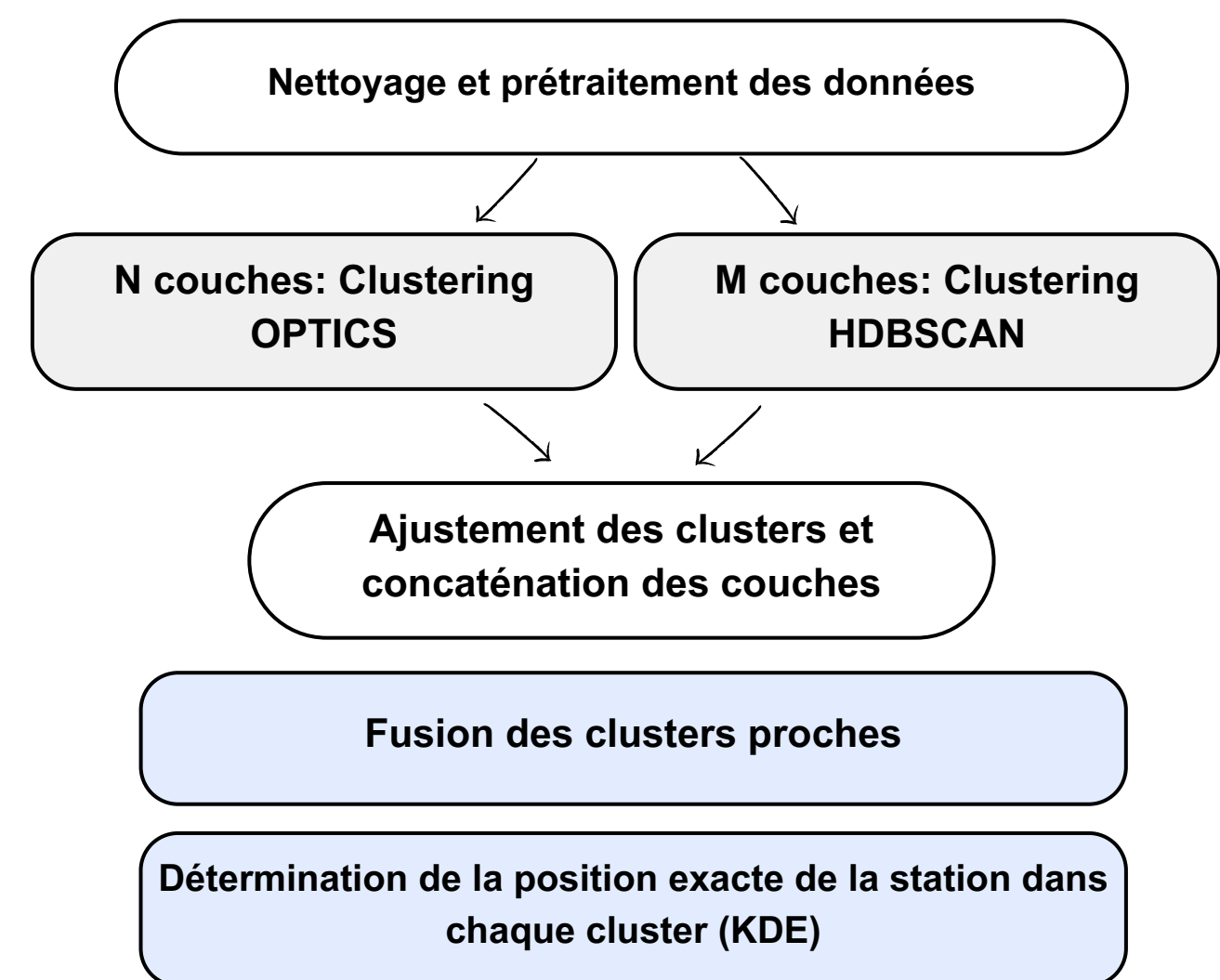
Systemes de Micro-Mobilité du Futur

Prédictions et Stations Virtuelles pour une Gestion Efficace

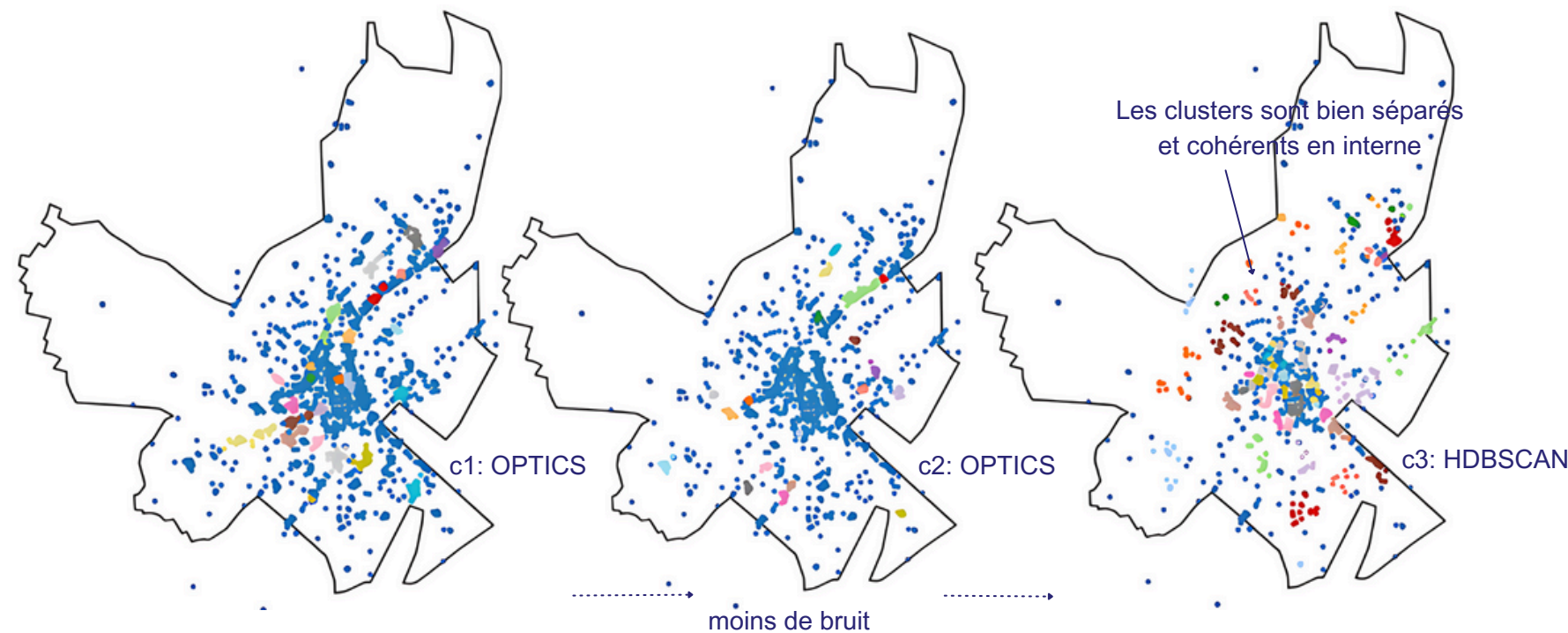
Optimiser les services de micro-mobilité par la transformation des systèmes en libre-service en systèmes de stations virtuelles, plus écologiques et structurés, réduisant ainsi la congestion tout en équilibrant le système grâce à des prédictions précises.



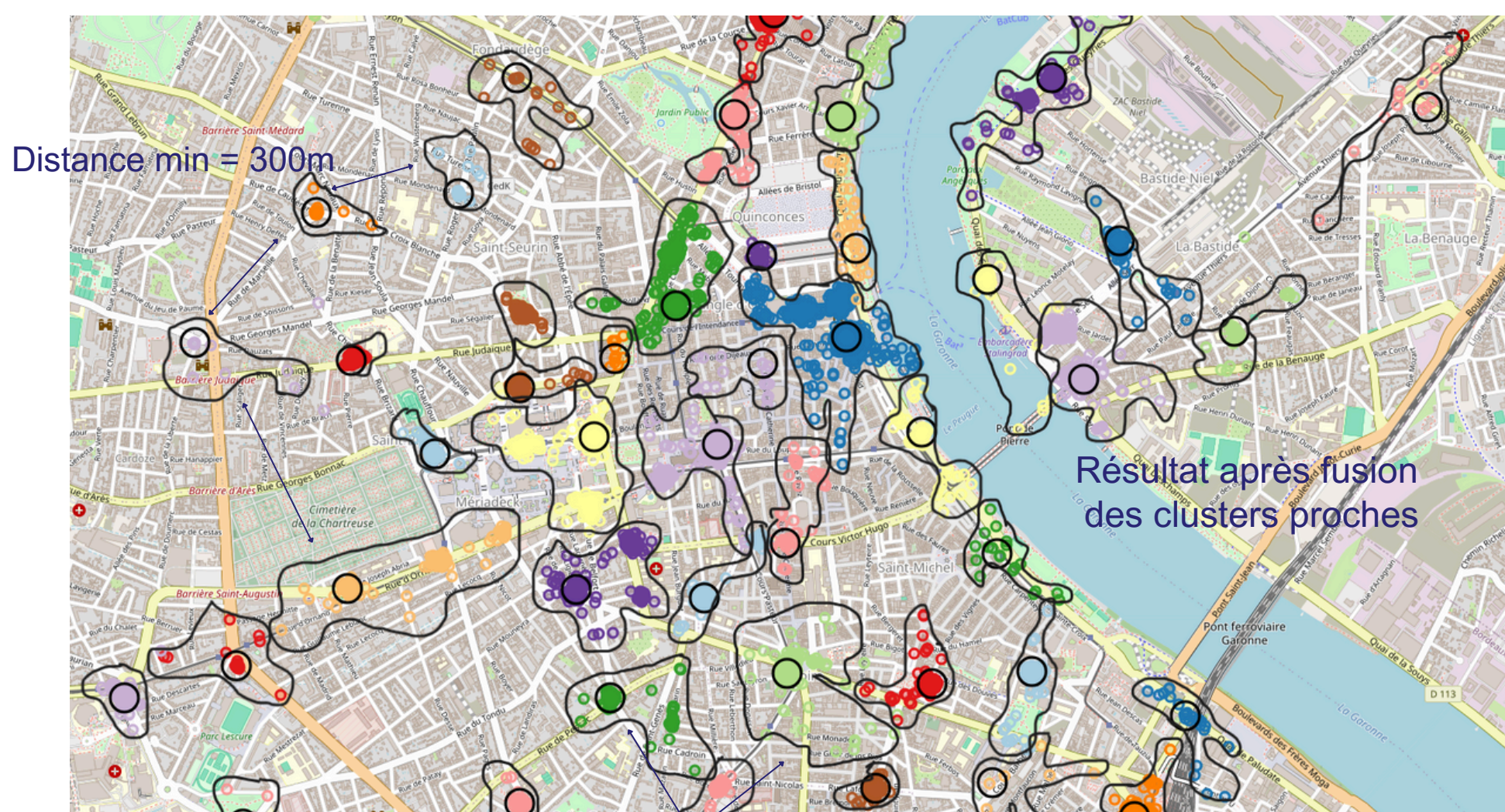
Implémentation de techniques avancées de machine learning et de clustering multicouches pour détecter les zones à haute demande, combinée à l'utilisation de la méthode KDE pour le positionnement optimal des stations. Des modèles de régression multi-output assurent des prévisions horaires de la demande utilisateur, permettant un ajustement dynamique et efficace pour maintenir l'équilibre du système.



Une étude de cas réelle basée sur des données de trajets pour la micro-mobilité partagée à Bordeaux, collectées sur une période de 15 mois (2021 et 2022)



Optimiser la gestion des variations de densité et du bruit en combinant l'utilisation d'OPTICS pour une exploration précise de la densité avec HDBSCAN pour la formation de clusters stables et fiables.



Positionnement des stations dans la partie la plus denses de chaque cluster (KDE)

Équilibrage du système

Identifier la demande future des utilisateurs par heure dans toutes les stations virtuelles créées, en tenant compte des conditions météorologiques et temporelles.



Le Transformer surpasse le LSTM dans l'analyse des dépendances temporelles.

| Métrique | LSTM | Transformer-encoder |
|----------|-------|---------------------|
| MSE | 3.067 | 0.259 |

Des prévisions réussies avec un taux d'erreur proche de zéro.

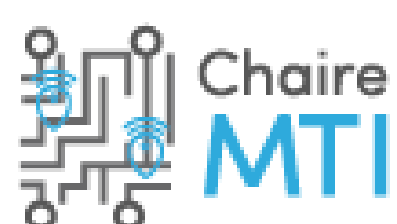
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^q (y_{pred_{i,j}} - y_{true_{i,j}})^2}{q}$$

Technique de régression multi-output : prédire simultanément la demande dans chaque station.

Technique de séries temporelles : détecter des tendances à partir de données historiques.

PARTENAIRES

PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ
NUMÉRIQUE RESPONSABLE #ENTER



université
de BORDEAUX

LaBRI

La prédiction précise de la demande donne aux opérateurs une vision claire des besoins des utilisateurs, leur permettant de redistribuer les micro-véhicules de manière efficace et dynamique afin d'équilibrer le système en fonction des besoins.



GROUPE MIM

Mobilité Intelligente & Modélisation

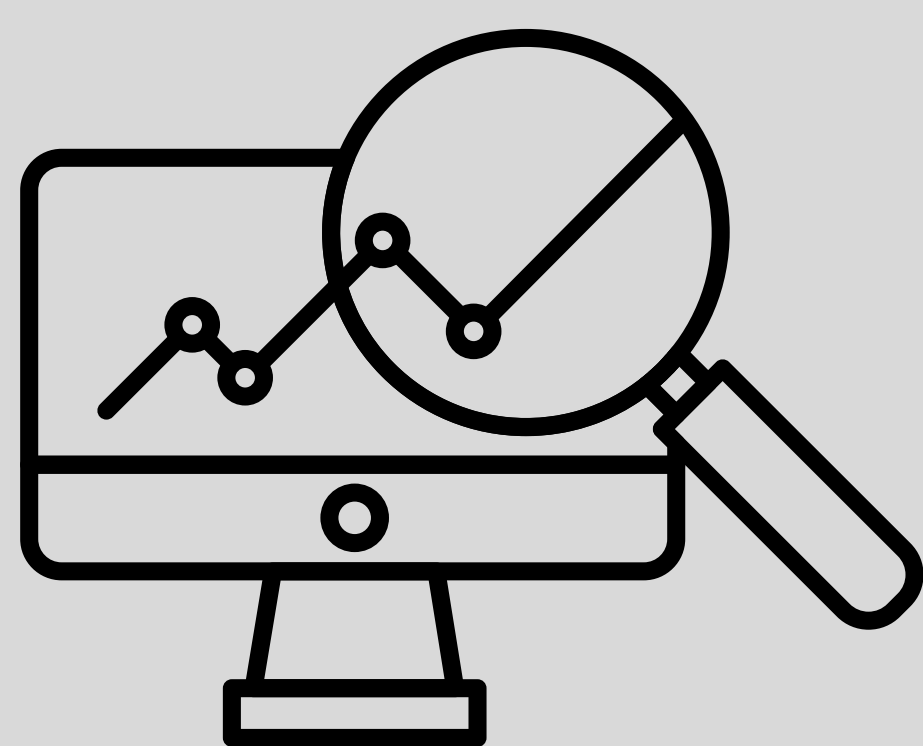
Comptage avec capteurs routiers :

Le groupe MIM installe des radars et des caméras pour mesurer le trafic routier et des drones seront utilisés à partir de 2025. Ces capteurs fournissent des données sur les flux de véhicules et des modes actifs, essentiels pour une meilleure gestion de la mobilité et des déplacements.



Gestion informatique des données :

Les données collectées sur le terrain sont rapatriées vers une plateforme numérique sécurisée. Cette infrastructure centralise les informations dans des bases de données robustes, avec des procédures garantissant leur protection en appliquant les quatre principes essentiels de la cybersécurité : disponibilité, intégrité, confidentialité et traçabilité



Datavisualisation et chaîne de traitement des données mobilité :

Le groupe MIM se consacre également à la création d'outils de visualisation des données collectées pour consolider les prises de décision. Basées sur des procédures d'analyse et de traitement permettant de valider la qualité des données et produire des indicateurs pertinents, les visualisations permettent de représenter les caractéristiques du trafic et facilite ainsi la compréhension des dynamiques de mobilité sur un territoire.

Modélisation du trafic :

Le groupe MIM développe des modèles statiques et dynamiques basés sur les données terrain pour simuler des projets de régulation et prédire les mobilités futures. Ces modèles permettent d'optimiser la gestion du trafic et d'anticiper les évolutions.

*Conception nov 2024 : Cerema Sud-Ouest
Département Mobilité - groupe MIM
Agents.MIM.DM.DTerSO.CEREMA@cerema.fr*





Amélioration de la modélisation de la demande de déplacement à vélo par fusion de données à Paris

Les interactions entre les comportements de mobilité et les systèmes de transport sont complexes et évoluent constamment en réponse aux tendances urbaines et technologiques actuelles. L'adoption croissante du télétravail et de l'usage du vélo modifie significativement les comportements de déplacement. L'approche conventionnelle de génération de la demande de déplacement, basée sur des enquêtes périodiques (mises à jour tous les dix ans et, plus récemment, annuellement pour les données de population), ne permet pas de « capter » l'évolution très dynamique dans les comportements de mobilité et des offres associées. Par conséquent, une modélisation dynamique de la demande de déplacement est cruciale pour une planification et une gestion efficace de la mobilité. Cette étude se concentre sur la modélisation de la demande de déplacement par la fusion de données hétérogènes, avec un cas d'usage centré sur les déplacements à vélo à Paris.

Demande initiale

- Estimation d'une matrice de flux origine-destination (OD) à partir des données d'enquête, permettant une représentation détaillée de la population

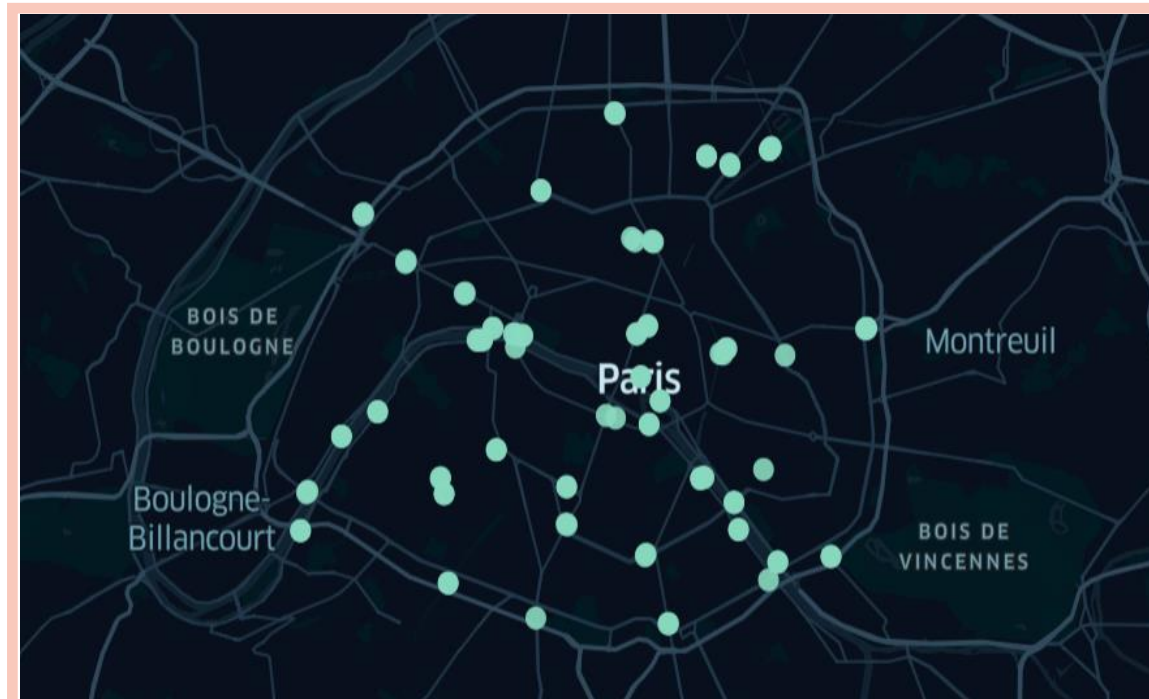


Recensement de la population
Données de revenu
Enquête ménage-déplacement
Recensement des entreprises
Base de données d'adresses



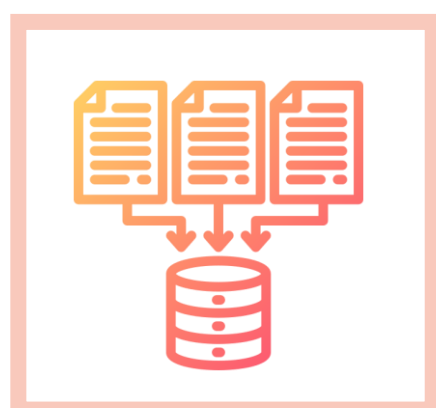
Comptage de flux

- Surveillance des tendances et des volumes du trafic cycliste sur des axes structurants pour mieux comprendre les mouvements



Préférences d'itinéraires

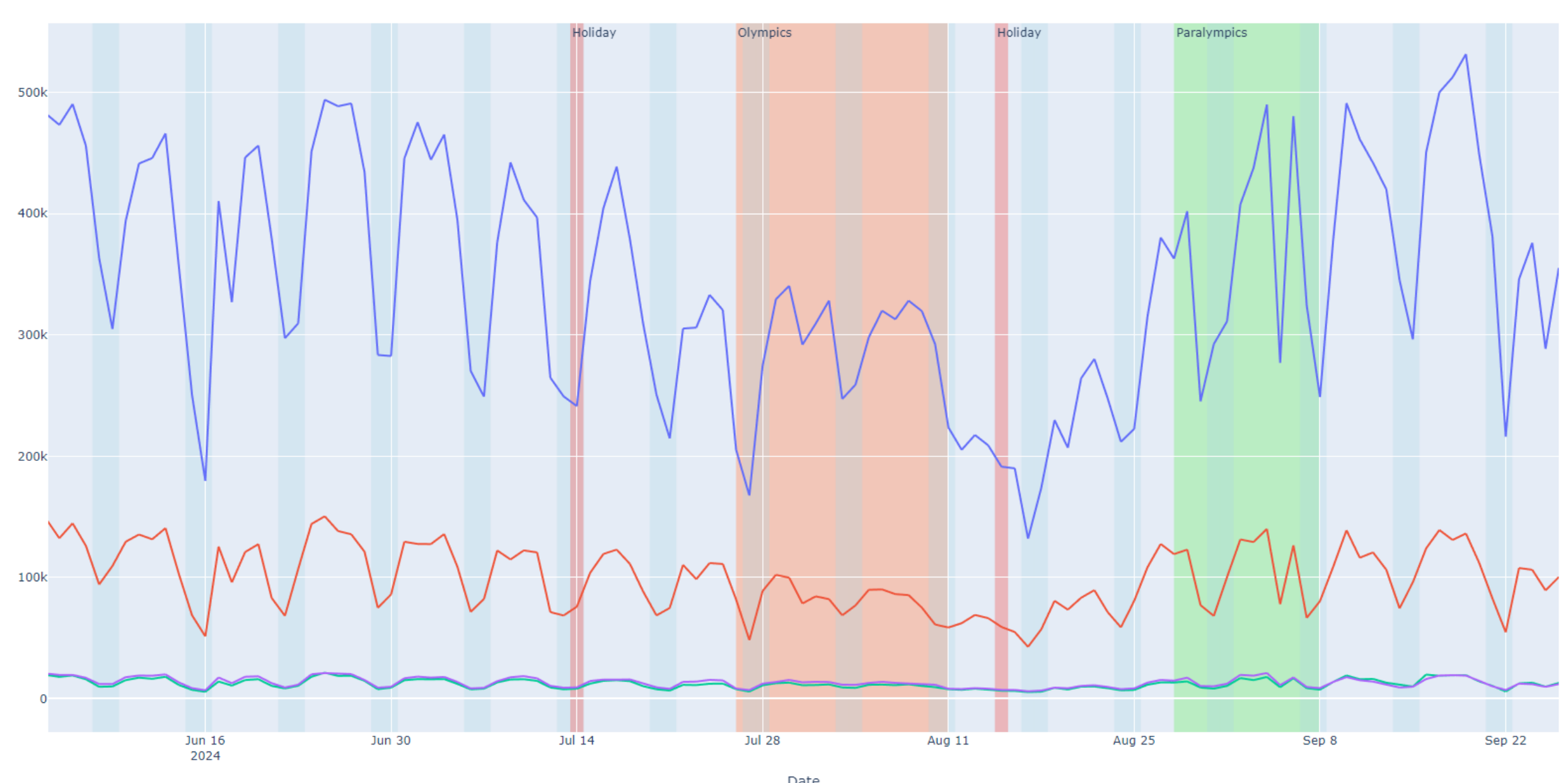
- Pattern des itinéraires cyclistes reliant statistiquement entre une OD



La matrice origine-destination initiale est ensuite ajustée à l'aide des données de comptage et des préférences d'itinéraires, incorporant un vecteur de correction pour une intégration précise des différentes sources d'information.

Cette méthodologie a pour objectif de fournir une estimation de la demande de déplacements à vélo la plus réaliste possible, afin de mieux comprendre l'évolution de l'usage du vélo et d'anticiper les besoins futurs en matière d'infrastructures et de services. Par ailleurs, cette estimation de la demande en mobilité cyclable offre des éléments pertinents pour une simulation plus précise des comportements des cyclistes. Des travaux futurs pourraient étendre cette approche à d'autres modes de transport, permettant ainsi une analyse plus complète de la demande de mobilité urbaine.

Nombre de déplacements à vélo à Paris et au département 92

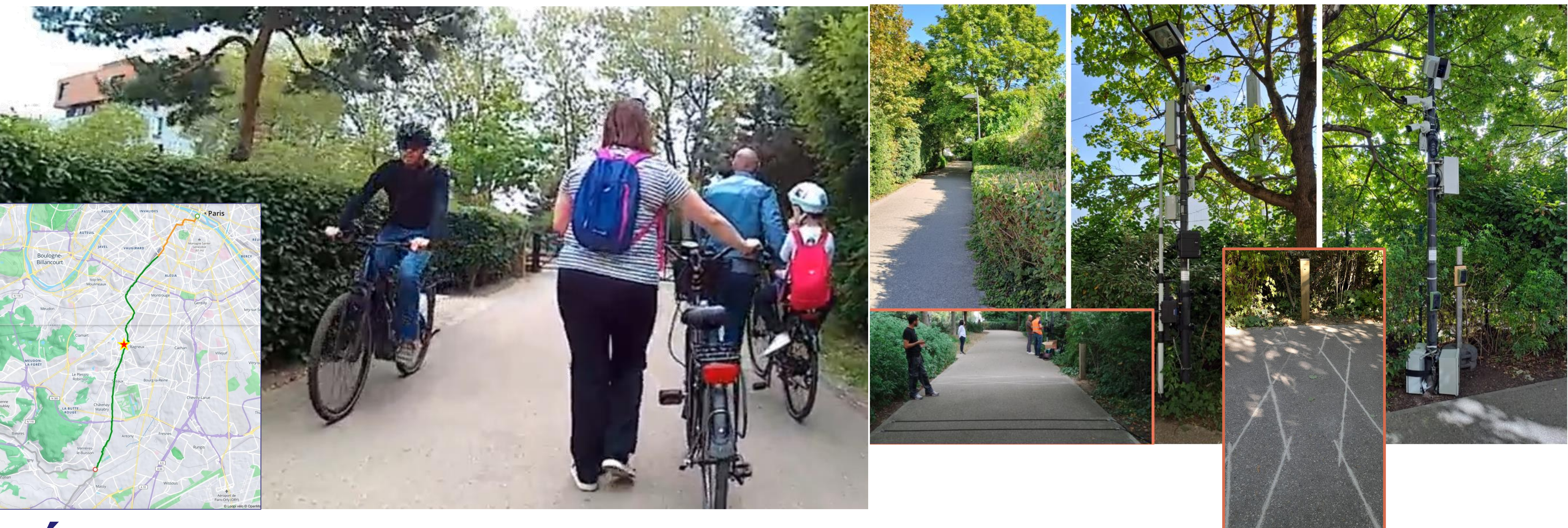


PARTENAIRES



Origine-Destination des flux

- Paris --> Paris
- Hauts-de-Seine --> Hauts-de-Seine
- Paris --> Hauts-de-Seine
- Hauts-de-Seine --> Paris



Évaluation de dispositifs de mesures des modes actifs

Valérie LERAY Chargée études Ingénierie de trafic et ITS Cerema IdF

L'expérimentation en quelques mots

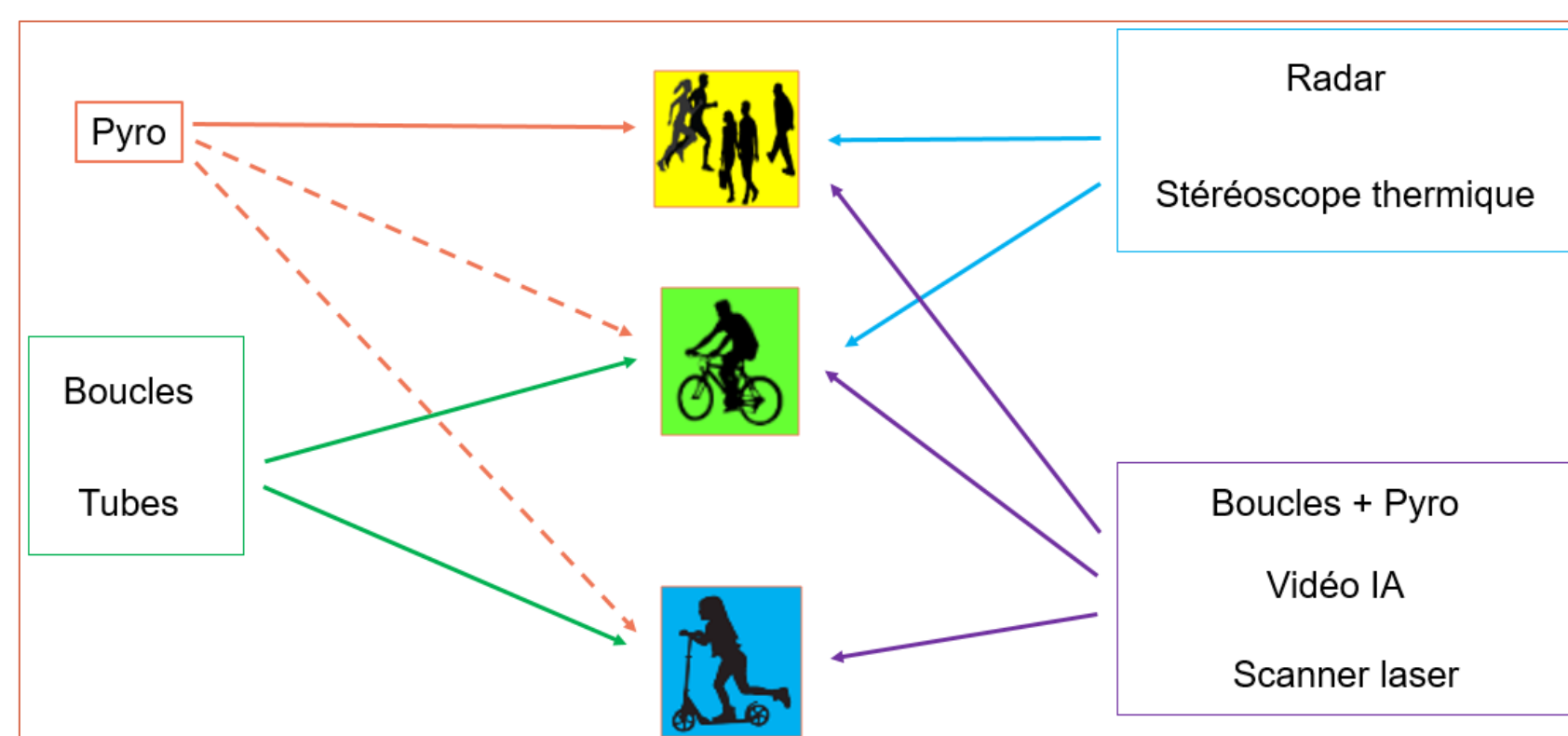
Site expérimental de la Coulée Verte du Sud Parisien
 Département des Hauts-de-Seine
 2 700 usagers quotidiens en moyenne
 Projet étendu sur 1 an et demi (2023/2024)
 Tous les dispositifs installés et paramétrés par les industriels
 Evaluation fonctionnelle et métrologique (NF P99-300 et 330)
 Référence microscopique sur 11 jours de 6h à 20h

7 dispositifs évalués (6 technologies différentes)

- Radar
- Vidéo IA
- Boucles Zelt* + capteur pyroélectrique
- Scanner laser
- Tubes pneumatiques
- Stéréoscope thermique et numérique

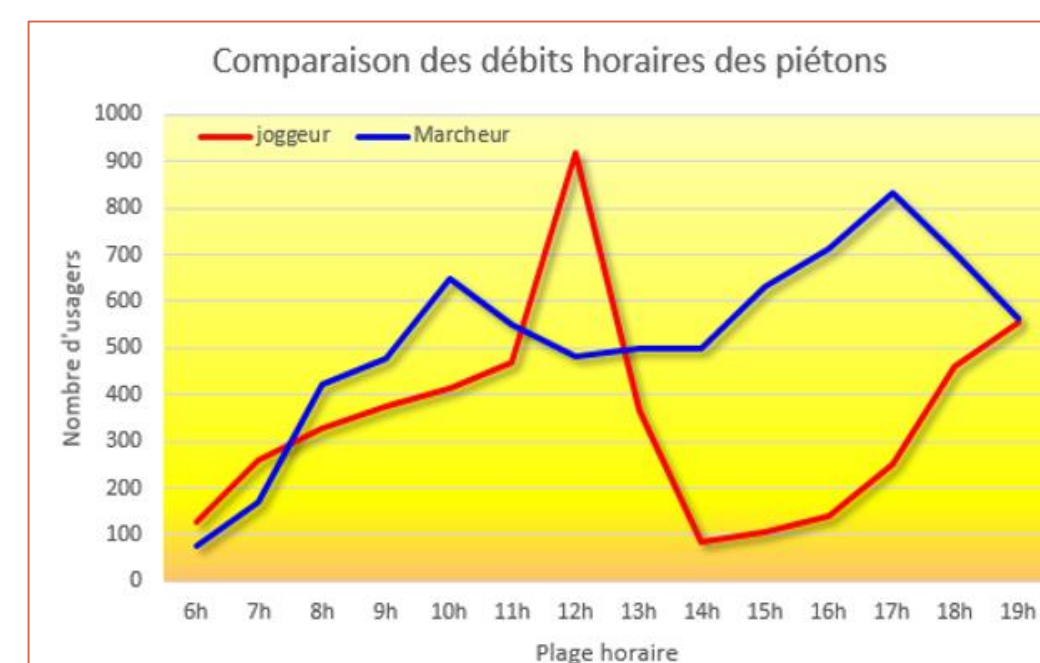
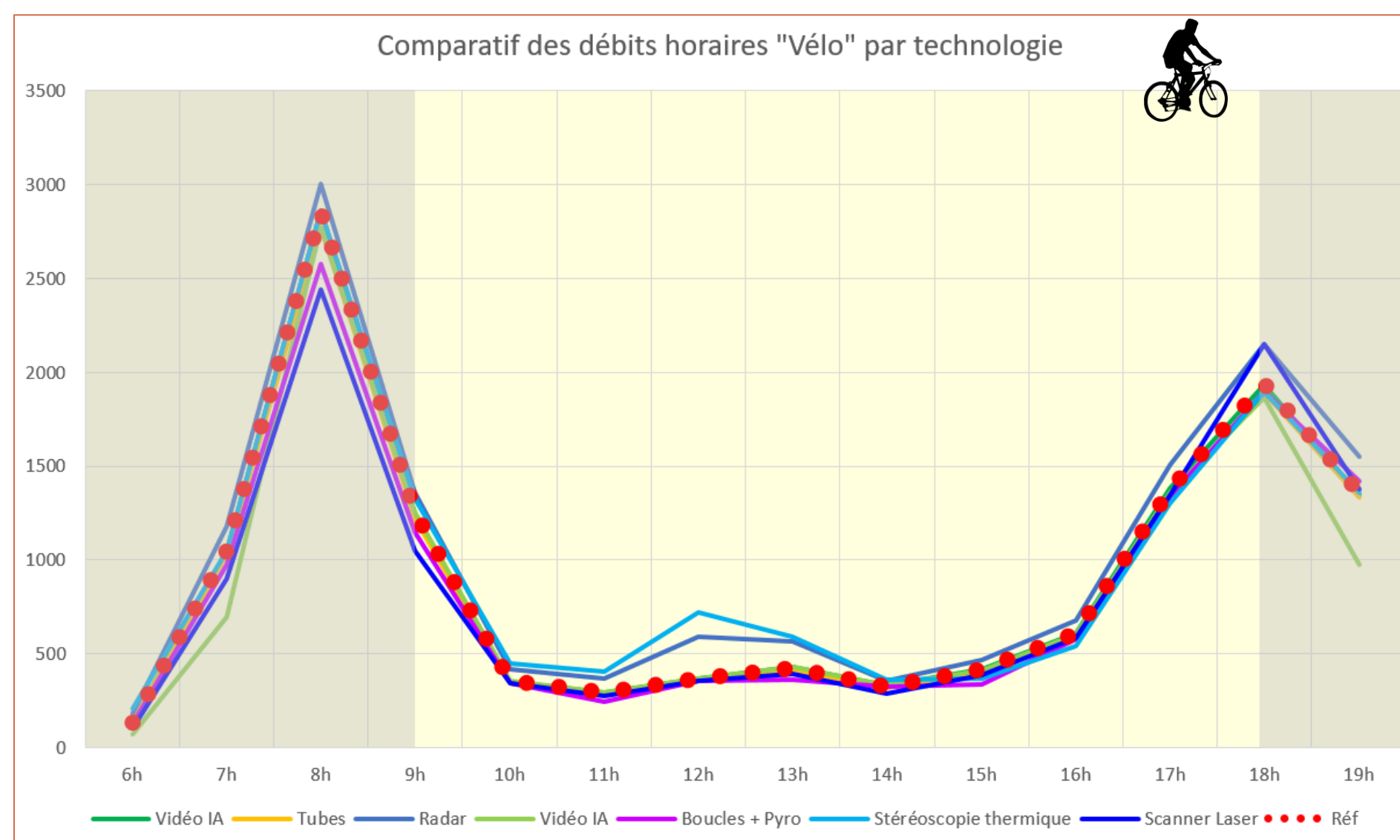
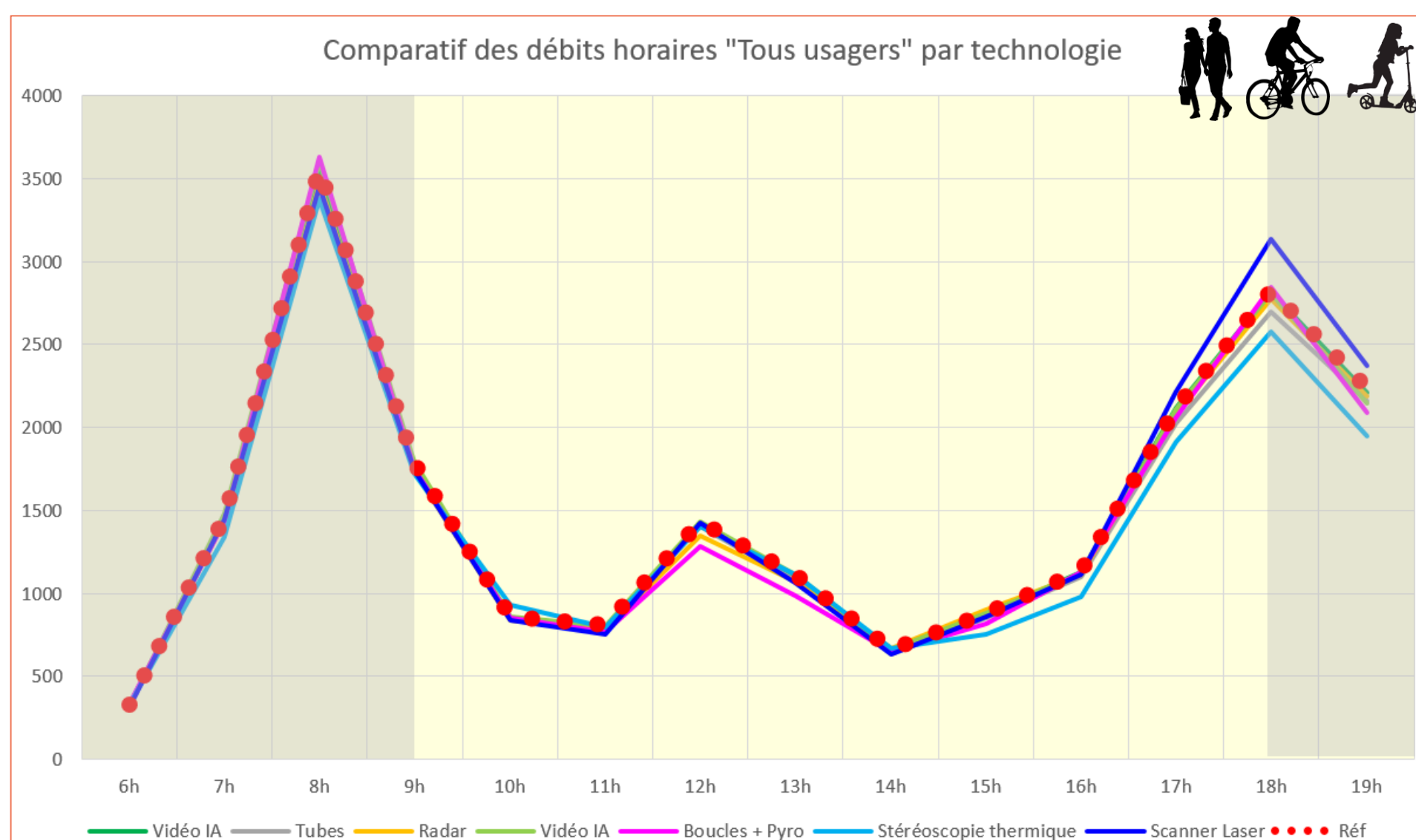
| | A | B | C | D |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Détection (Xi) | ≤ 5% | ≤ 10% | ≤ 20% | > 20% |
| Classification (Ki) | ≤ 5% | ≤ 10% | ≤ 20% | > 20% |
| Tous Débits total (QTH;QTJ) | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 30% | > 30% |
| Vélo Débit par classe (KC) | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 30% | > 30% |
| Piéton Débit par classe (KC) | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 30% | > 30% |
| Trot. Débit par classe (KC) | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 30% | > 30% |

Définition des classes d'exactitude suivant norme NF P99-300



Résultats obtenus sur une voie verte

Tous les dispositifs évalués répondent aux besoins de mesures « Tous usagers » Classe A à C suivant la technologie utilisée. Certains dispositifs utilisant la vitesse comme discriminant pour la classification, classifient des joggeurs en « vélo ».



PARTENAIRES

PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ NUMÉRIQUE RESPONSABLE #ENTER



université de BORDEAUX

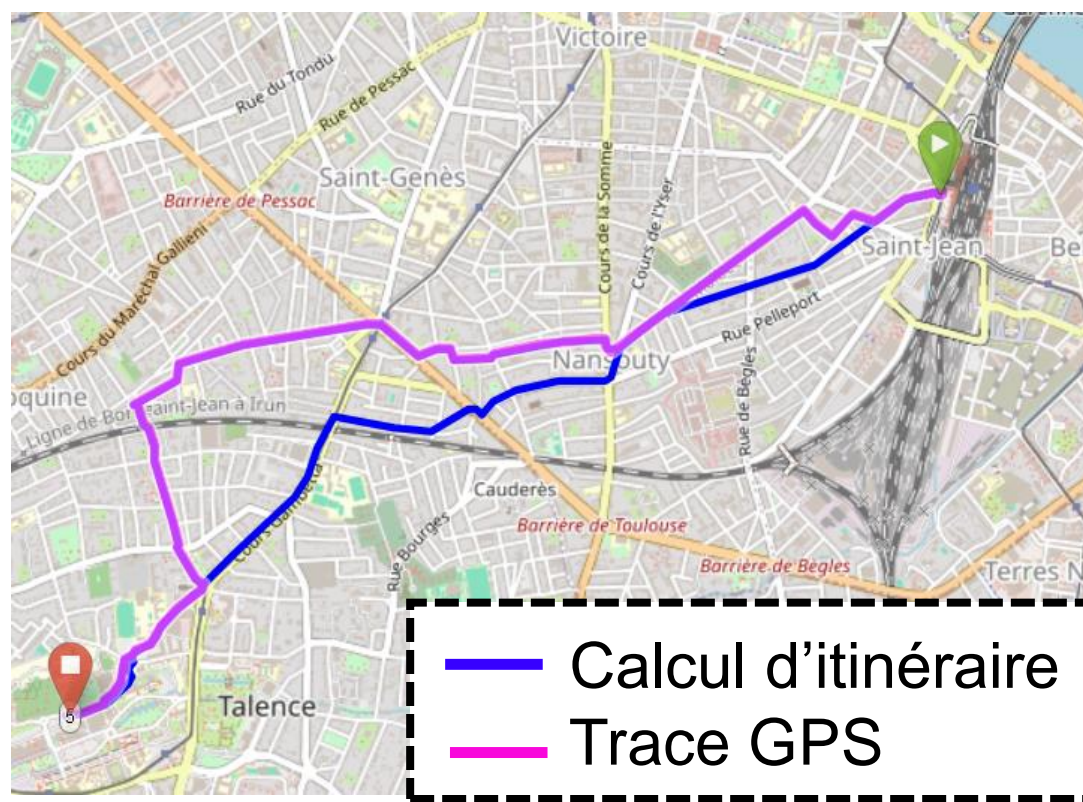
LaBRI



Calibration automatique d'un algorithme de calcul d'itinéraire cyclable à partir de données GPS

Motivation

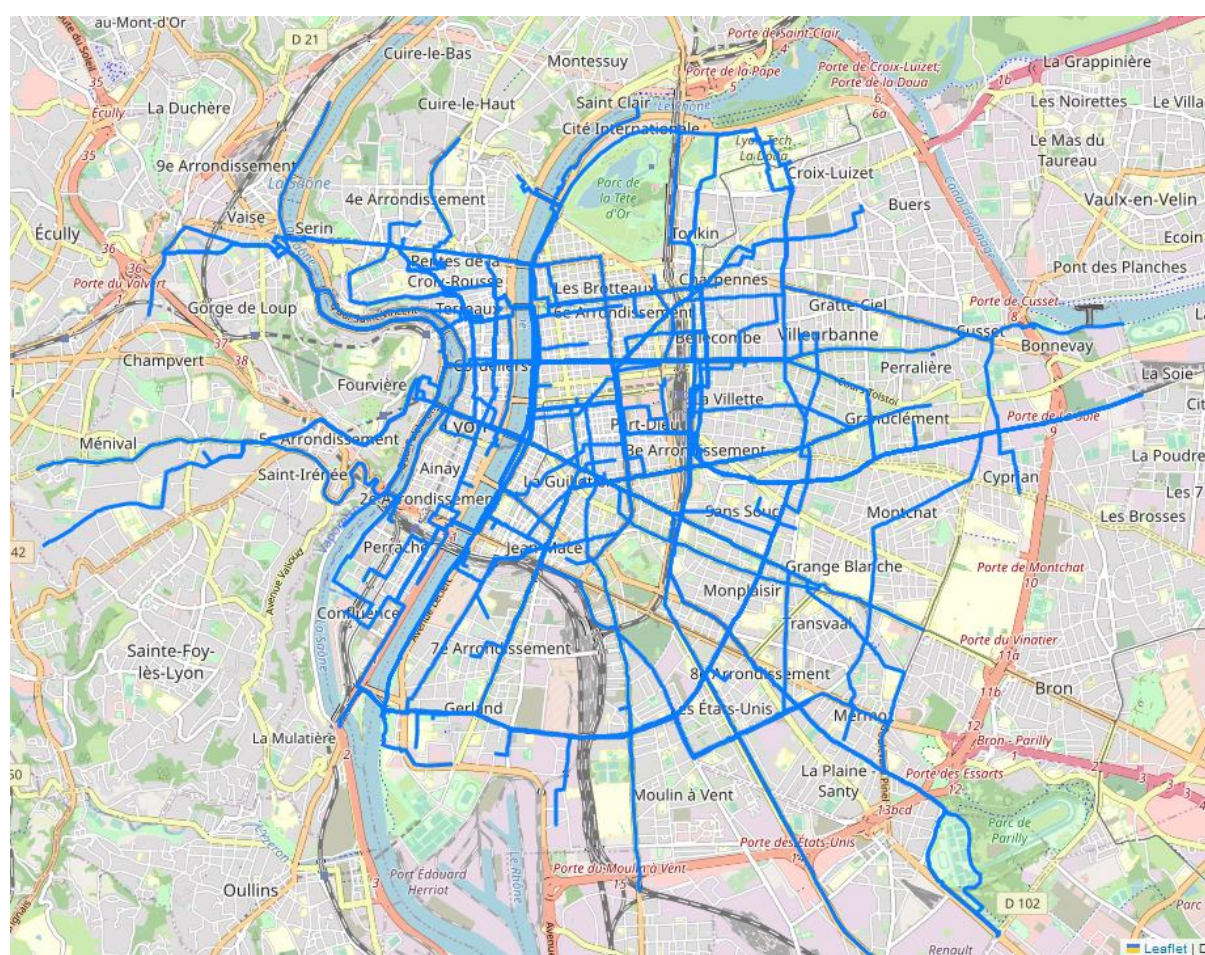
L'objectif est de reproduire le plus fidèlement possible les trajets réels effectués par les cyclistes à partir d'un point de départ et d'arrivée.



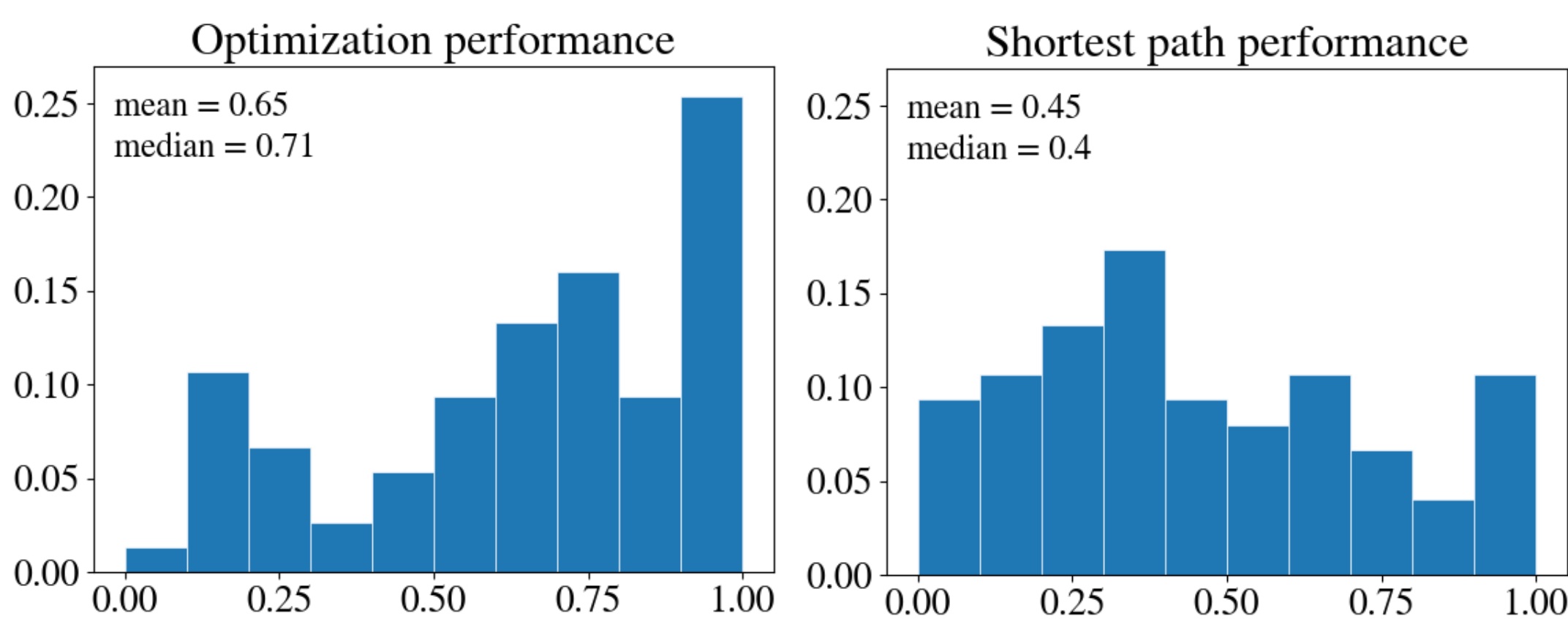
On cherche à calibrer la fonction « Calcul d'itinéraire » pour ressembler au mieux à la trace GPS

Création de la base de données

- 1) Filtrage basique pour enlever les données aberrantes.
- 2) Clustering des trajets pour un utilisateur et sélection du trajet le plus fréquent.
- 3) Répéter 2) pour tous les utilisateurs



Résultats



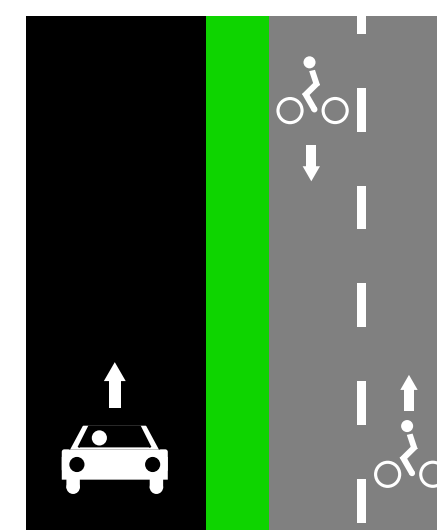
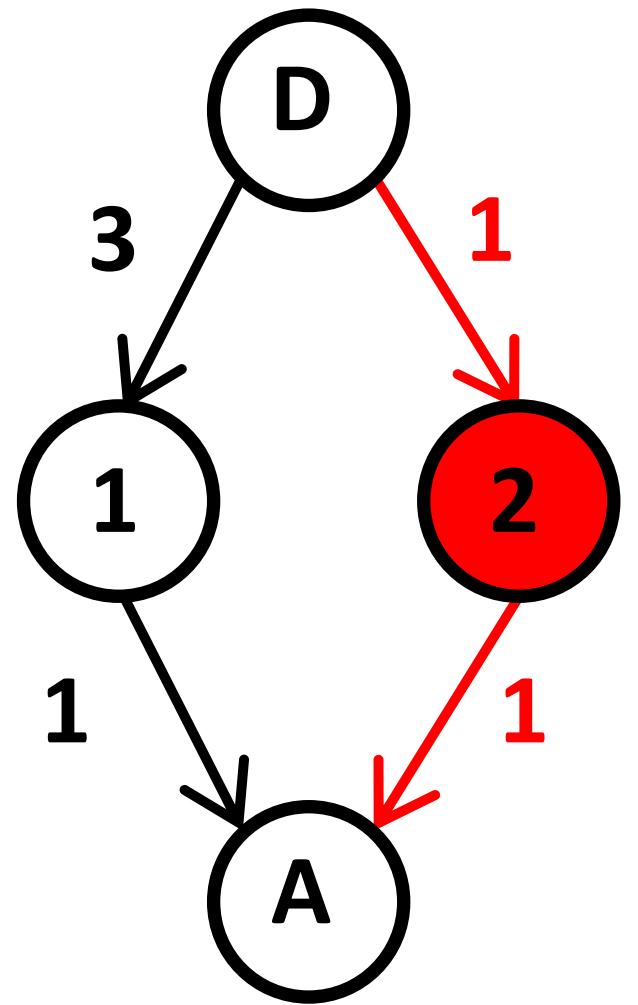
Calcul d'itinéraire

L'algorithme de Dijkstra est utilisé pour calculer le plus court chemin entre le point de départ et le point d'arrivée.

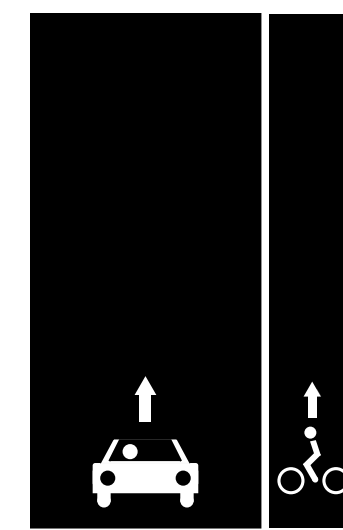
La distance entre deux points dépend du type d'infrastructure.

$$poids = L \times \alpha_i$$

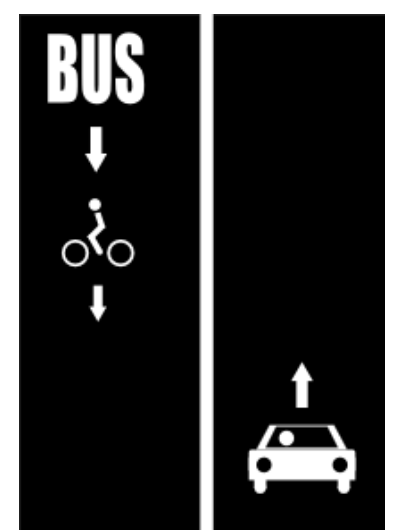
Il y a autant de α_i que de types d'infrastructure.



Piste cyclable



Bande cyclable



Voie de bus partagée

Estimer tous les α_i qui maximisent la similarité entre les traces GPS et les itinéraires calculés.

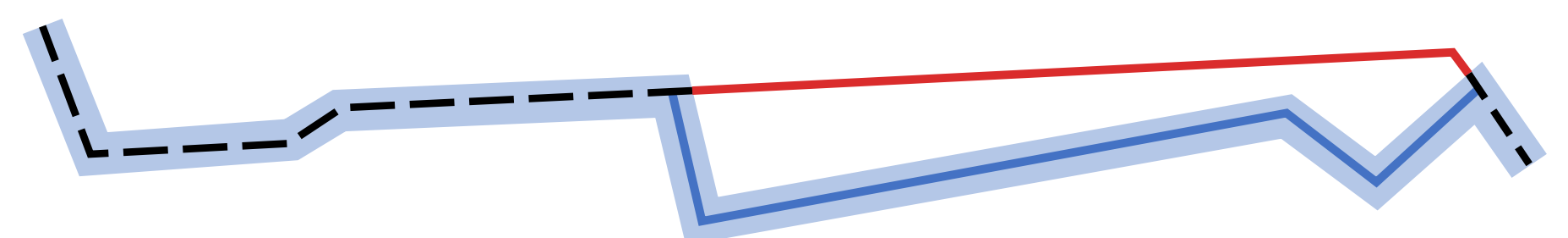
$$\max_{\alpha_i} \sum \text{Similarité}(\text{obs vs est})$$

Pour résoudre ce problème : Algorithme à évolution différentielle

Mesure de la Similarité

Calculer la longueur de l'intersection avec le polygone obtenu par expansion de la ligne

Similarité = longueur de l'intersection / longueur totale
Similarité $\in [0; 1]$

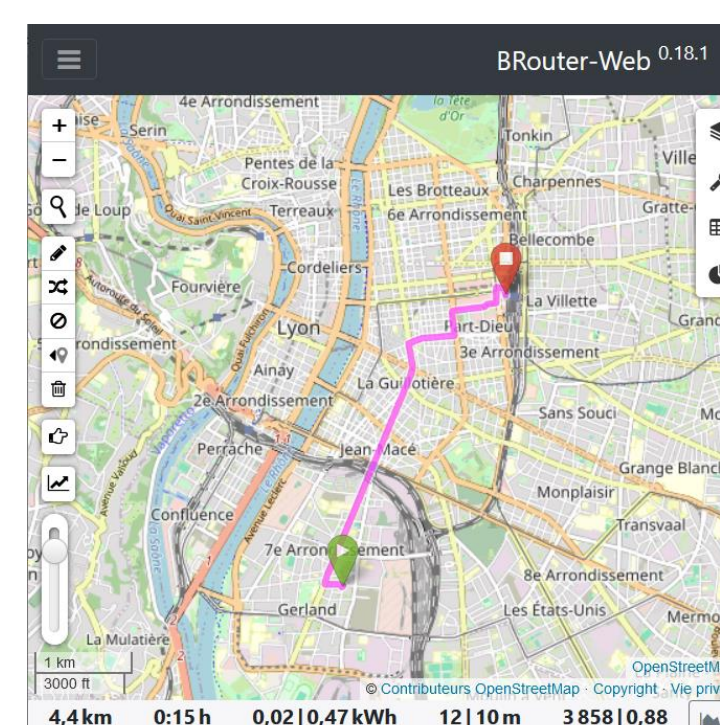


Routes to compare

Similar road sections

Déploiement de la solution

<http://brouter.mobcloud.fr:443>





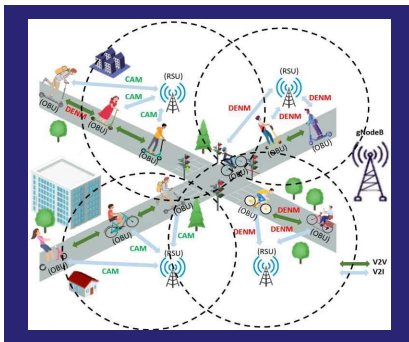
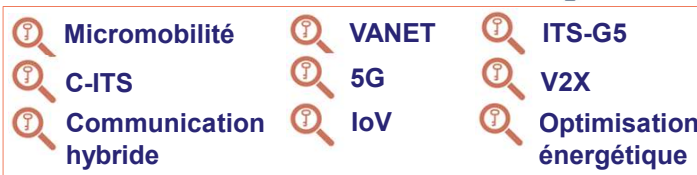
Intégration de la micromobilité dans les systèmes de transport intelligents coopératifs (C-ITS)

La micromobilité englobe l'utilisation de modes de transport individuels légers et compacts, tels que les vélos, les trottinettes et autres petits véhicules, idéalement adaptés aux trajets urbains de courte distance tout en garantissant la sécurité routière.

- ✓ Économique
- ✓ Durable
- ✓ Efficace
- ✓ Écologique
- ✓ Accessible
- ✓ Flexible



Il est crucial de l'intégrer efficacement dans les Systèmes de Transport Intelligents coopératifs (C-ITS)



- ❖ Identification des paramètres influençant la performance des systèmes de micromobilité.
- ❖ Proposition d'une architecture optimale avec communications hybrides pour améliorer les performances.
- ❖ Intégration de mécanismes d'économie d'énergie.



Contrôle de la vitesse

25
km/h

Contrôle de position

Optimisation Énergétique

Prédiction de la vitesse



Utilisation des algorithmes IA pour ajuster dynamiquement l'environnement hybride en fonction de paramètres tels que la latence, le taux de livraison des paquets (PDR), la congestion du réseau, etc..

Publications

Efficient IoV-Based Geofencing Model for V2X Communication Using Energy Saving Approach, IWCMC Conference 2024

PARTENAIRES

PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ
NUMÉRIQUE RESPONSABLE #ENTER



université
de BORDEAUX

