



4 & 5 OCTOBRE 2021 - RENNES



INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ

www.congres-idrrim.com

Citoyens, Professionnels, Décideurs :
face aux transitions, quel engagement collectif
pour les infrastructures de mobilité ?



L'intelligence artificielle dans la gestion de patrimoine des infrastructures de mobilité

Christophe Biernacki

directeur adjoint à la science d'Inria

en collaboration avec **Nathalie Mitton**

pilote du DEFI Cerema/Inria « ROAD-AI »





Inria

Institut national de recherche en
sciences et technologies du numérique

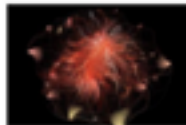
Excellence scientifique

- Recherche de rang mondial, souvent interdisciplinaire

ALGORITHMES &
PROGRAMMATION



SCIENCE DES DONNÉES
& INGÉNIERIE DE LA
CONNAISSANCE



MODÉLISATION
& SIMULATION



OPTIMISATION &
CONTRÔLE



ARCHITECTURES,
SYSTÈMES & RÉSEAUX



SÉCURITÉ &
CONFIDENTIALITÉ



INTERACTION &
MULTIMÉDIA



INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE &
SYSTÈMES AUTONOMES

- ~200 équipes-projets (10-30 pers.)
 - avec une feuille de route scientifique précise et une autonomie scientifique / financière
 - pour la plupart communes avec les grandes universités de recherche
 - réparties dans 8 centres de recherche
- 3 500 chercheurs et ingénieurs

Impacts sociaux-économiques

- Priorisation de la recherche au regard de son impact potentiel



SANTÉ



ÉNERGIE



SÉCURITÉ &
RÉSILIENCE



ENVIRONNEMENT



CLIMAT



TRANSPORT



CULTURE &
DIVERTISSEMENT



ÉCONOMIE



FINANCE



ALIMENTATION &
AGRICULTURE

- Diversité des voies de l'innovation : de l'édition open source de logiciels à la création de startups technologiques (Deeptech)
- Collaboration avec des partenaires industriels pour répondre à des défis ambitieux
 - Contrats de recherche, thèses, post-docs
 - DEFIS, équipes-projets communes avec un industriel

DEFIS : cibler des problèmes majeurs

- Projets de recherche ambitieux (disruptifs, nouveaux, originaux)
- Projet inter-équipes, puisque souvent interdisciplinarité
- Durée d'une période de quatre ans
- Coordonné par un.e responsable scientifique
- Structuré : sujet, programme, objectifs clairement définis
- Lancé en petit nombre, avec des ressources substantielles allouées (plusieurs doctorants, post-docs, ingénieurs)
- Etapes : lancement, mi-étape, fin du projet
- <https://www.inria.fr/en/list-of-inria-challenges>

16 Défi(s)





ROAD-AI

Routes et Ouvrages d'Art
Diversiformes, Augmentés & Intégrés

Contexte

- Un DEFI commun entre Inria et le Cerema
- Réunit des équipes projets Inria et différentes équipes du Cerema autour d'un projet commun :

Vers une meilleure gestion des routes et ouvrages d'art,
plus efficace, moins coûteuse et
plus respectueuse de l'environnement

- A partir de données et d'une meilleure compréhension des différents phénomènes

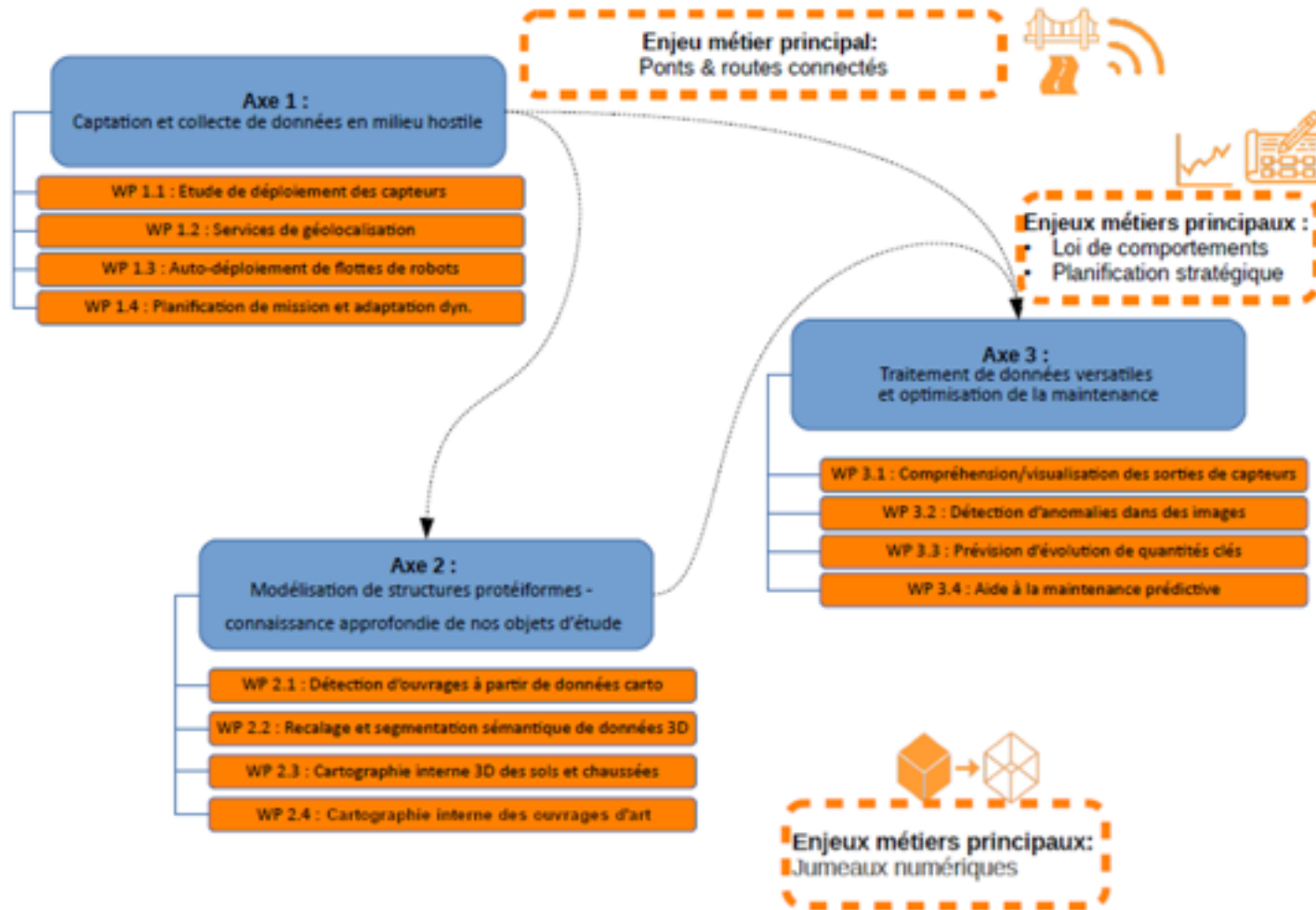
Enjeux

- Une meilleure gestion intégrée du patrimoine d'infrastructure
- Concilier les enjeux de long terme avec les contraintes de court terme et les logiques opérationnelles
- Disposer d'infrastructures de transport plus durables, plus sûres et plus résilientes

Objectifs

- Bâtir un « jumeau numérique » de la route et de son environnement à l'échelle d'un réseau complet
- Définir des « lois » de comportements de la chaussée
- Instrumenter les ponts et tunnels à l'échelle système et exploiter en temps réel les données
- Définir des méthodes de planification stratégique des investissements et de maintenance

Organisation



Axe 1 : Captation et collecte de données en milieu hostile

Objectif : collecter des données hétérogènes (taille, type et fréquences d'acquisition) depuis des capteurs de natures différentes (encombrements, type de communication, sensibilité, etc.) depuis des milieux hostiles ou contraignants

- **Étude de déploiement des capteurs** : recommandations sur le déploiement des capteurs et les méthodes pour collecter au mieux une donnée (type de communication, potentiellement multi-sauts et l'intervention potentielle de drones ou robots)
- **Services de géolocalisation** : techniques de géolocalisation adaptées à chaque cas d'usage combinant potentiellement plusieurs méthodes (GPS, SLAM, UWB, etc.)
- **Auto-déploiement de flotte de robots** : protocoles distribués de déploiement de flotte de robots/drones avec communications et aide au pilotage
- **Planification de mission et adaptation dynamique** : algorithmes permettant d'adapter dynamiquement la planification des tournées des véhicules en tenant compte des erreurs détectées sur les mesures et des variations environnementales

Axe 2 : Modélisation de structures protéiformes

Objectif : modéliser et raisonner avec des volumes 3D pour comprendre l'évolution des structures et de l'environnement comme les mouvements de terrain

- **Détection d'ouvrages à partir de données cartographiques :** méthode automatique générant en sortie une carte dense de probabilité de présence d'un ouvrage, assortie d'indices de fiabilité pour chaque ouvrage
- **Recalage et segmentation sémantique de données 3D :** définition d'un cadre méthodologique générique pour la segmentation sémantique en utilisant les mesures disponibles, le recalage et la mise en correspondance de nuages de points sans pré-alignement
- **Cartographie interne 3D des sols et chaussées :** méthodes pour l'analyse, la segmentation et discrétisation automatique des volumes 3D en maillages tétraédriques isotropes pour l'automatisation de la détection de défauts internes
- **Cartographie interne 3D des ouvrages d'art :** *idem* mais pour les ouvrage d'art

Axe 3 : Traitement de données versatiles

Objectif : traiter des ensembles de données versatiles, avec des données manquantes ou de précisions diverses, dépendant de l'évolution technologique des capteurs utilisés et des campagnes d'instrumentation du moment

- **Compréhension/visualisation des sorties de capteurs :** méthodes pour l'analyse en routine des données temporelles issues de capteurs corrélés
- **Détection d'anomalie dans les images :** méthodes de détection de défauts nécessitant le moins de supervision possible, malgré la versatilité des données
- **Prévision d'évolution de quantités clés :** association indice de valeur extrême à chaque point de mesure pour la quantification de la gravité d'un défaut et la caractérisation de son évolution future
- **Aide à la maintenance prédictive :** outils utilisant « l'intelligence artificielle » permettant de construire des lois de dégradations et des règles optimales de maintenance



Zoom sur les travaux de thèse dans l'axe 1

Cerema ENDSUM
Inria ACENTAURI - Inria FUN

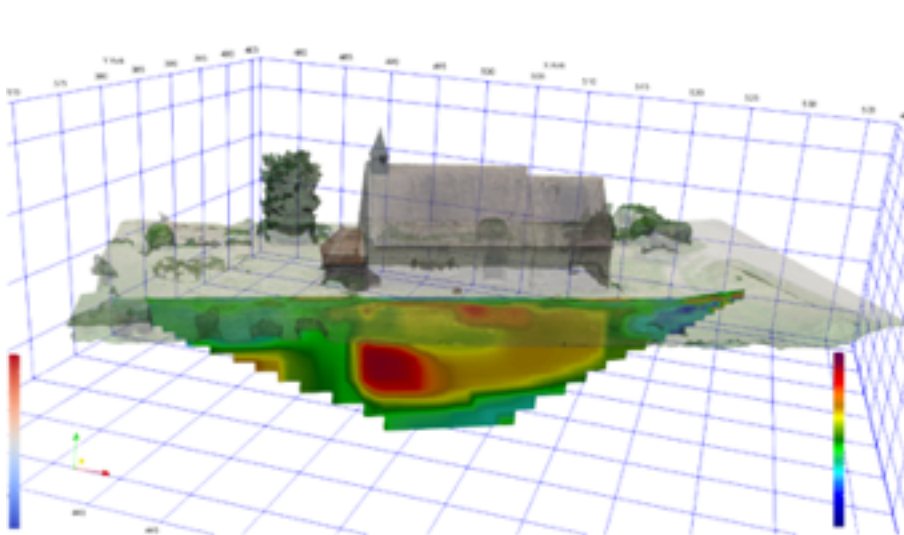
Sujet : inspection automatique d'infrastructure sur le long terme



Exemple : étude archéologique des alentours de l'église de Notre Dame du Val, Sotteville-sur-Mer (76)

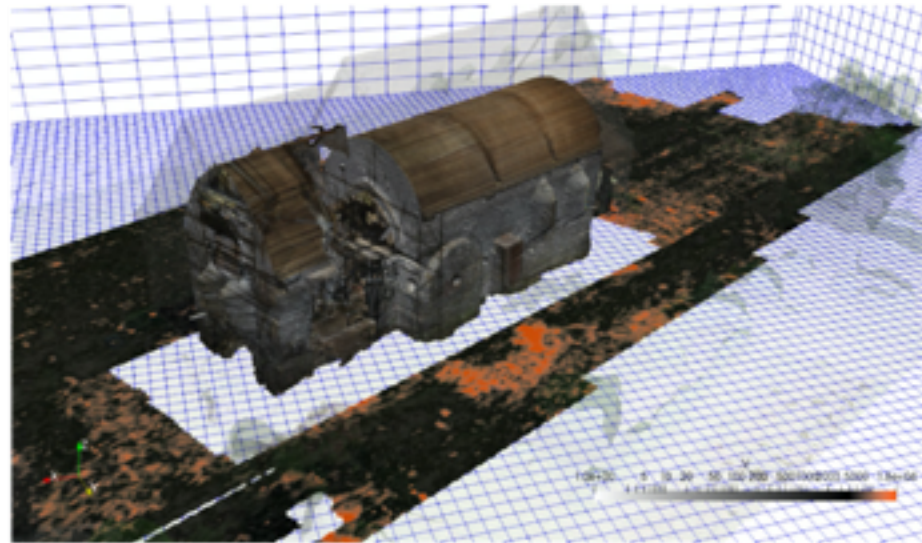
Objectif : alignement précis des modèles 3D sur des données capteurs acquises par un système autonome multi-robots

Modèle 3D aligné par imagerie à résistivité électrique



Géologie locale

Modèle 3D aligné avec des radar à pénétration de sol (GPR)



Fondations de l'ancienne abside

Verrous scientifiques

- Obtenir une localisation précise des robots entre eux et dans leur environnement malgré des pertes potentielles du signal GPS
- Contrôle du système multi-robots basé sur les capteurs pour l'obtention de mesures optimales de façon autonome



Directions de recherche

- **Localisation précise :**
 - fusion de capteurs multiples (camera, lidar, IMU,...)
 - combinaison de techniques : UWB, GPS, *etc.*
- **Contrôle basé sur les capteurs :**
 - contrôle stochastique pour gérer les incertitudes
 - apprentissage par renforcement pour palier la différence entre les modèles et les systèmes réels



Zoom sur les travaux de thèse dans l'axe 2

Cerema ENDSUM
Inria STATIFY - Inria TITANE

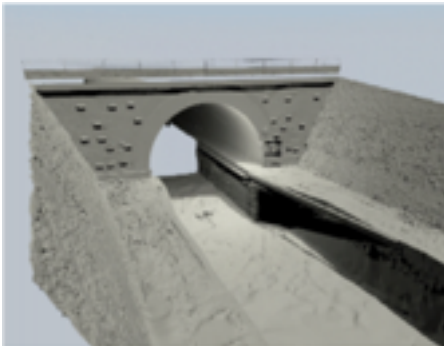
Sujet : fusion de nuages de points 3D avec tomographies radar

- **Objectif**

- Faciliter le diagnostic pour l'inspection des ouvrages d'arts
- Diagnostic = détection d'anomalies ou de désordres visibles ou internes (en subsurface)

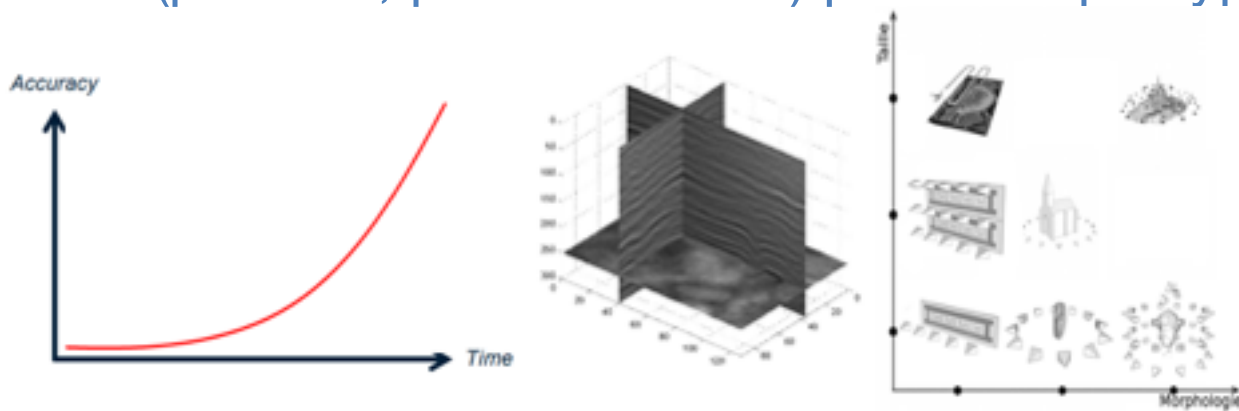
- **Méthode**

- Acquisition des données des surfaces par vol de drones
 - Photogrammétrie dense -> nuages de points 3D
 - Tomographie radar -> volume interne de l'objet
- Fusion et reconstruction à partir de données



Défis scientifiques

- **Modélisation 3D précise et en ligne (pendant l'acquisition)**
 - Reconstruction des volumes à partir du signal radar et des données photogrammétriques (problème inverse)
 - Discrétisation du domaine (maillages)
 - Optimisation du compromis précision / temps
- **Optimiser trajectoires et paramètres d'acquisition du drone**
 - Choix optimal des longueurs d'ondes du signal radar
 - Apprentissage de la séquence optimale de sondages (position, pose du drone) pour chaque typologie d'ouvrage





Zoom sur les travaux de thèse dans l'axe 3

Cerema DTEC ITM - Cerema DTerSO
Inria MODAL - Inria STATIFY

Sujet : aide à l'analyse des sorties de capteurs

- **Objectifs**

- Comprendre l'état d'une chaussée ou d'un OA
- Prédire l'état d'une chaussée ou d'un OA
- En déduire une politique de maintenance optimisée

- **Verrous scientifiques**

- Données trop complexes pour une analyse « standard »
- Technologie des capteurs très évolutive

- **Voie de recherche** : méthodes probabilistes permettant à la fois des garanties théoriques et des estimation du risque

Exemple de données disponibles



CereMap3D

- Relevé de la chaussée et de son environnement
- Nuages de points et images acquis en continu



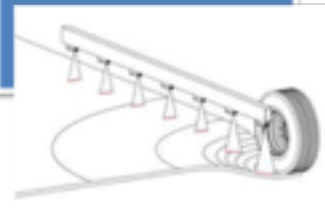
Aigle 3D

- Relevé altimétrique fin de la surface de la chaussée
- Relevé de l'état de déformation de la chaussée ainsi que de son état de dégradation
- Etat « au repos »
- Image de l'état de la chaussée
- Nuages de points acquis en continu



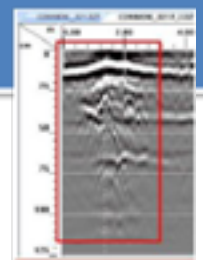
Déflectographe

- Etat structurel de la chaussée caractérisé par sa réponse à une sollicitation (déformation) connue
- « Réponse « impulsionnelle »
- Image de l'état de la chaussée
- Bassin de déflexion acquis au pas de 10 m

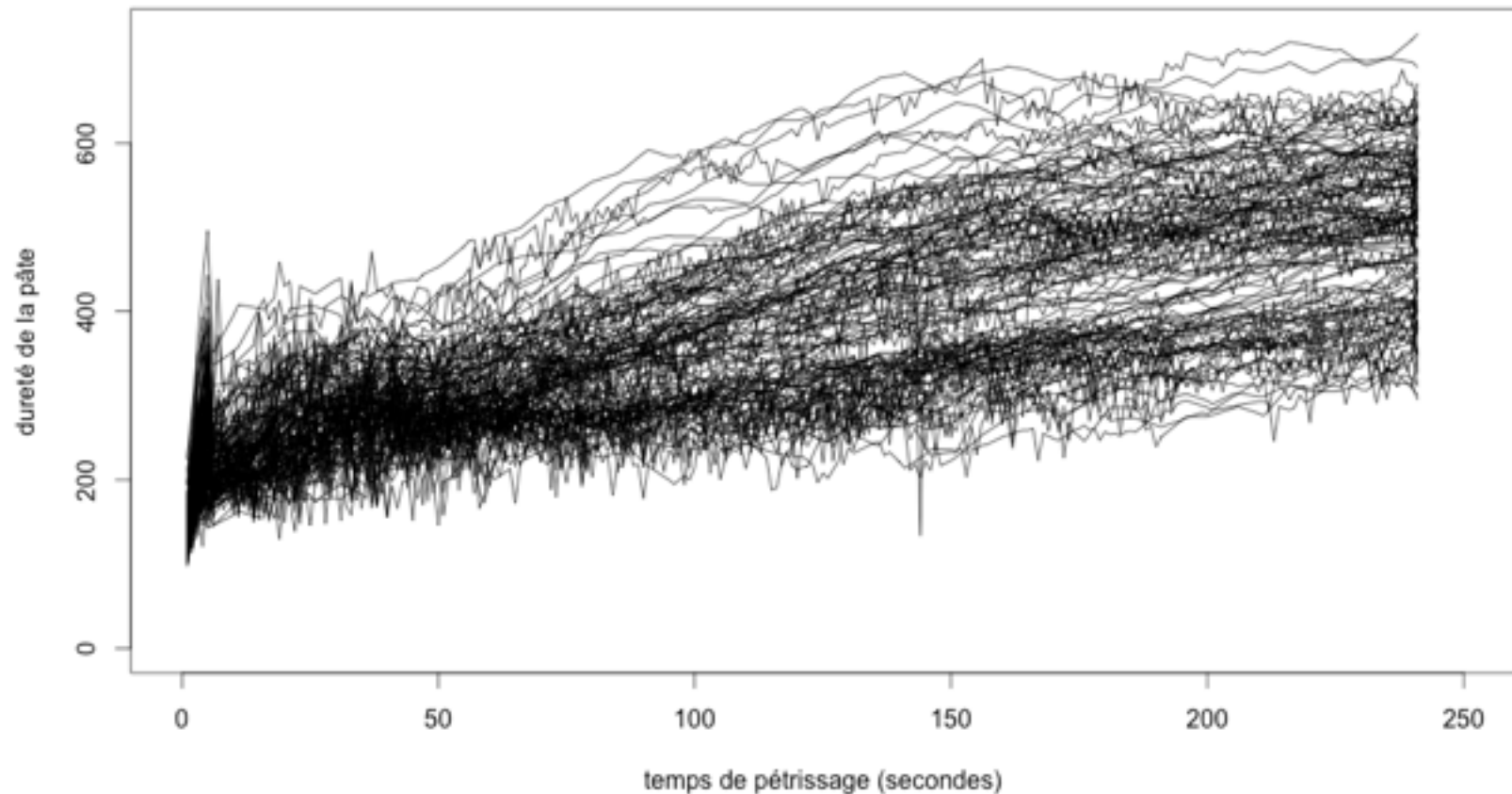


Radar

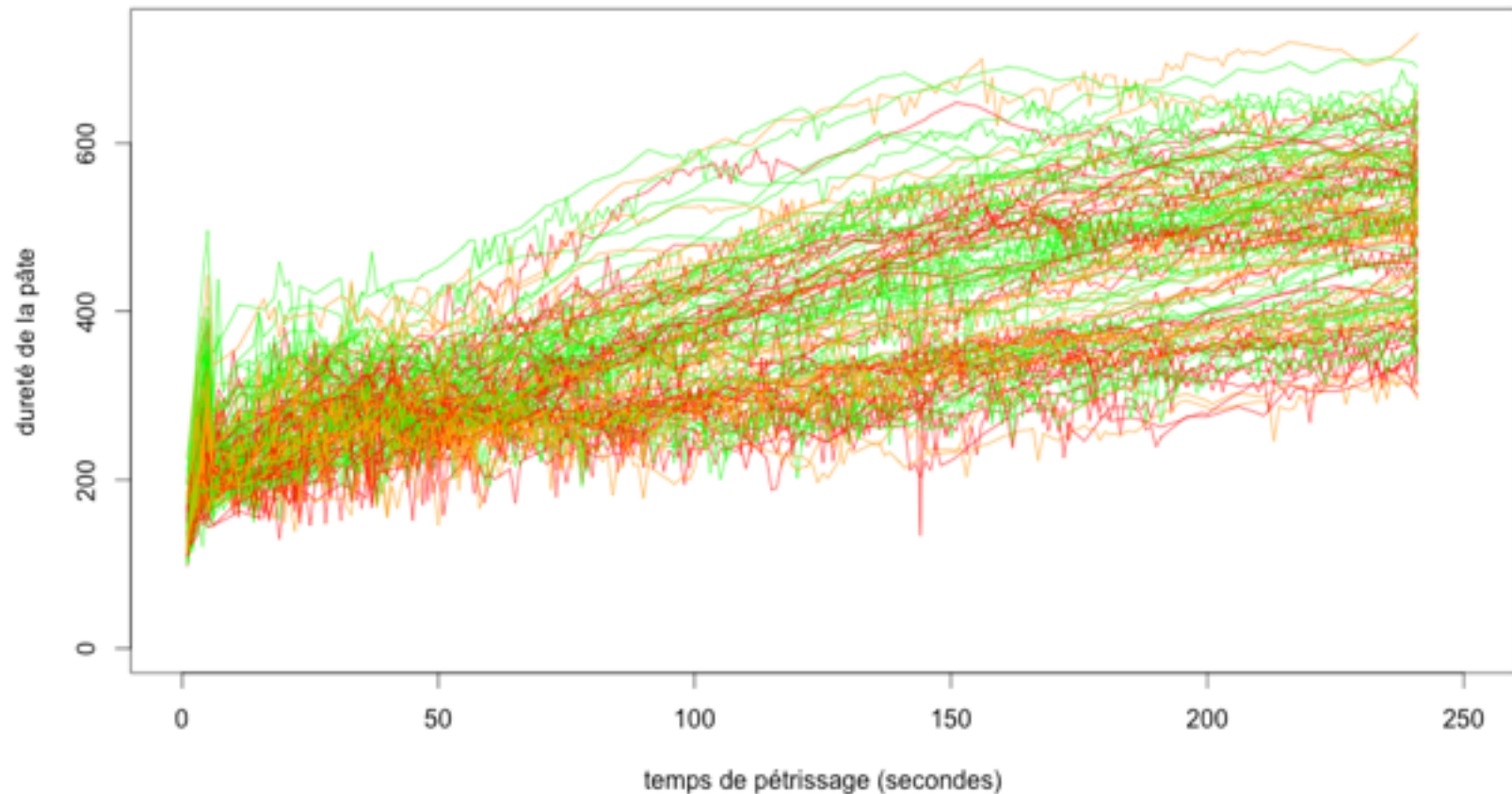
- Détection d'interfaces dans la chaussée (délimitations des différentes couches de matériau)
- Epaisseurs acquises en continu
- Image des constituants de la chaussée
- Pointés des profondeurs d'interface



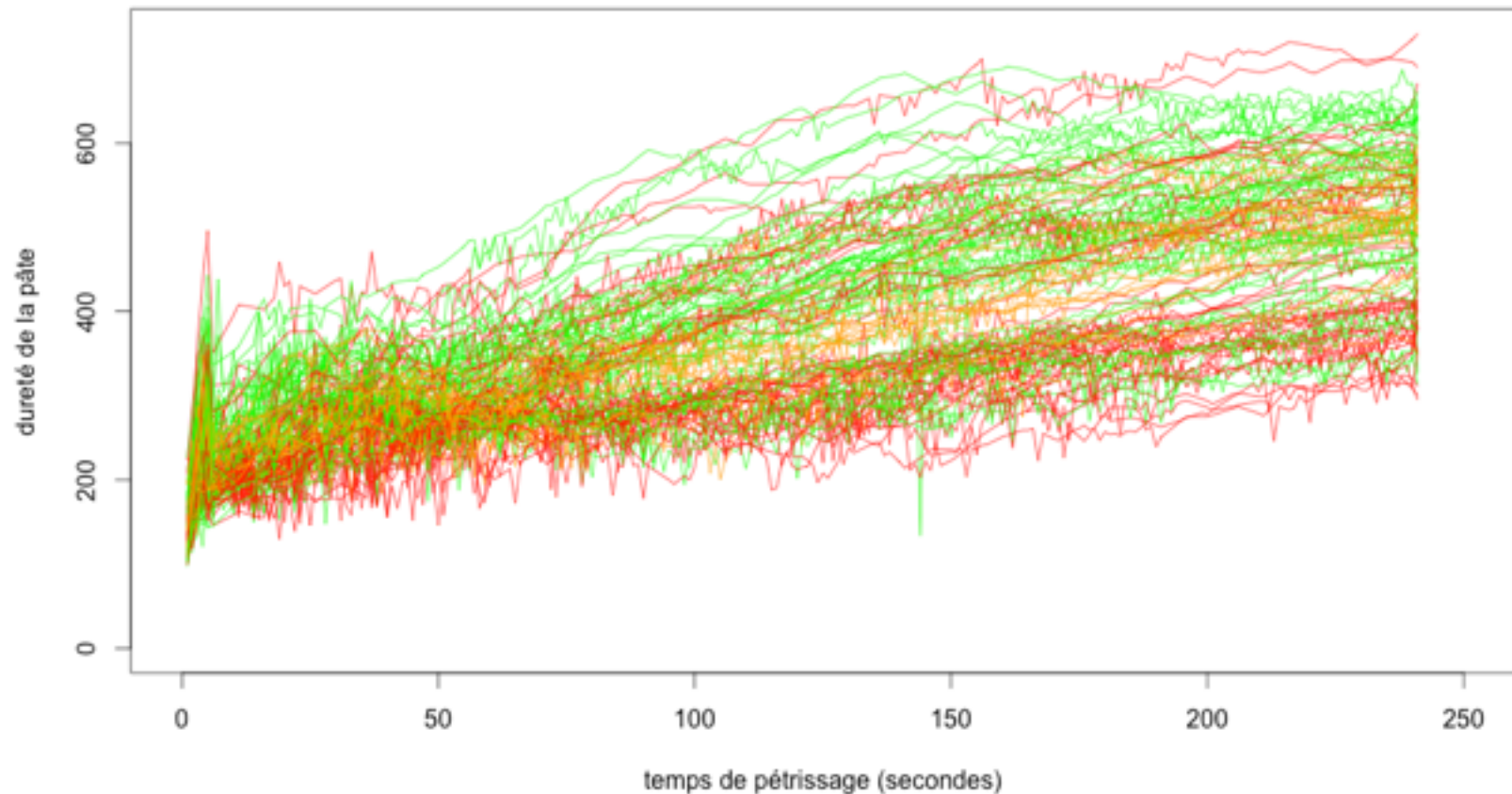
Exple d'analyse de données temporelles



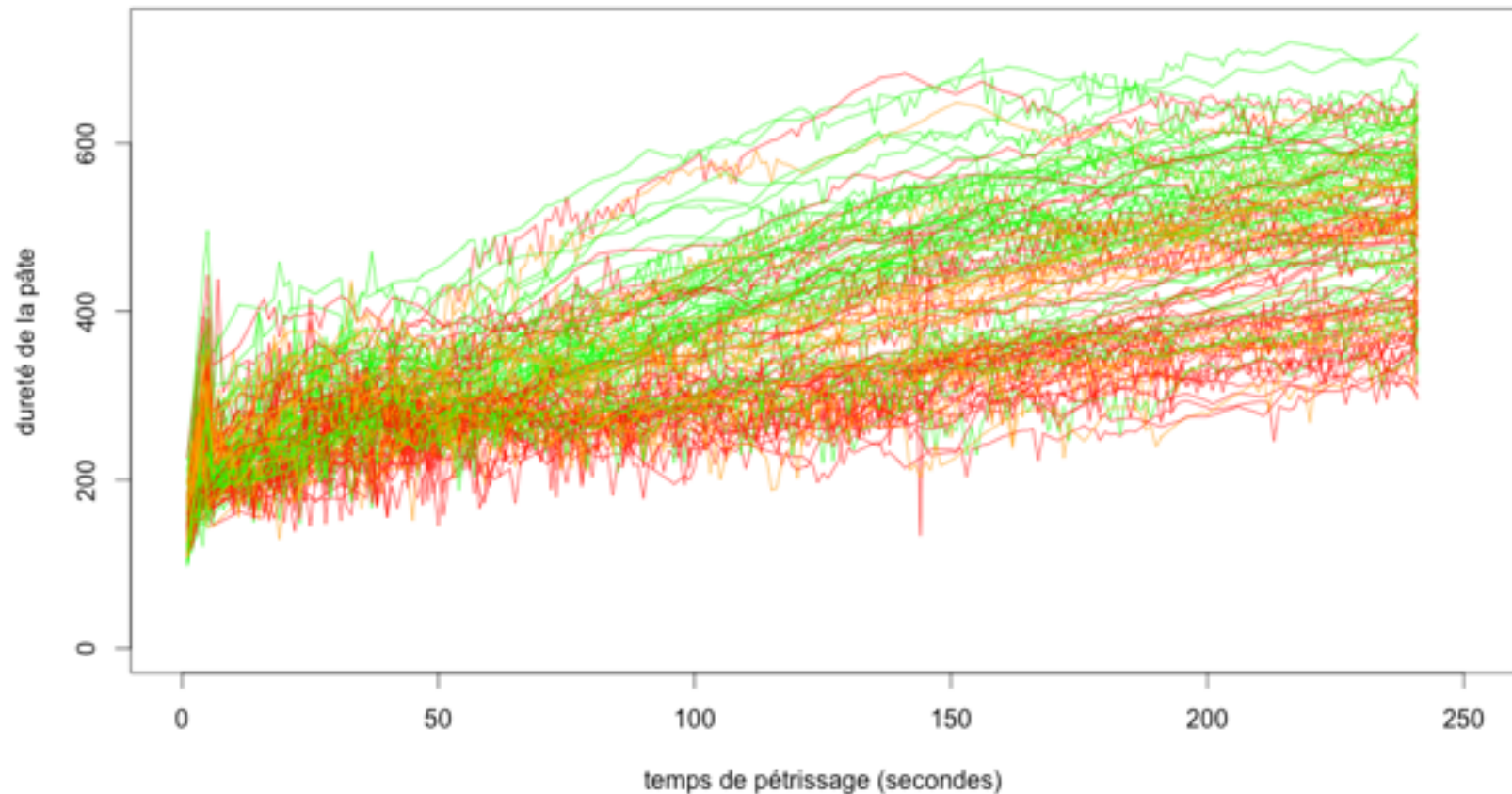
Exple d'analyse de données temporelles



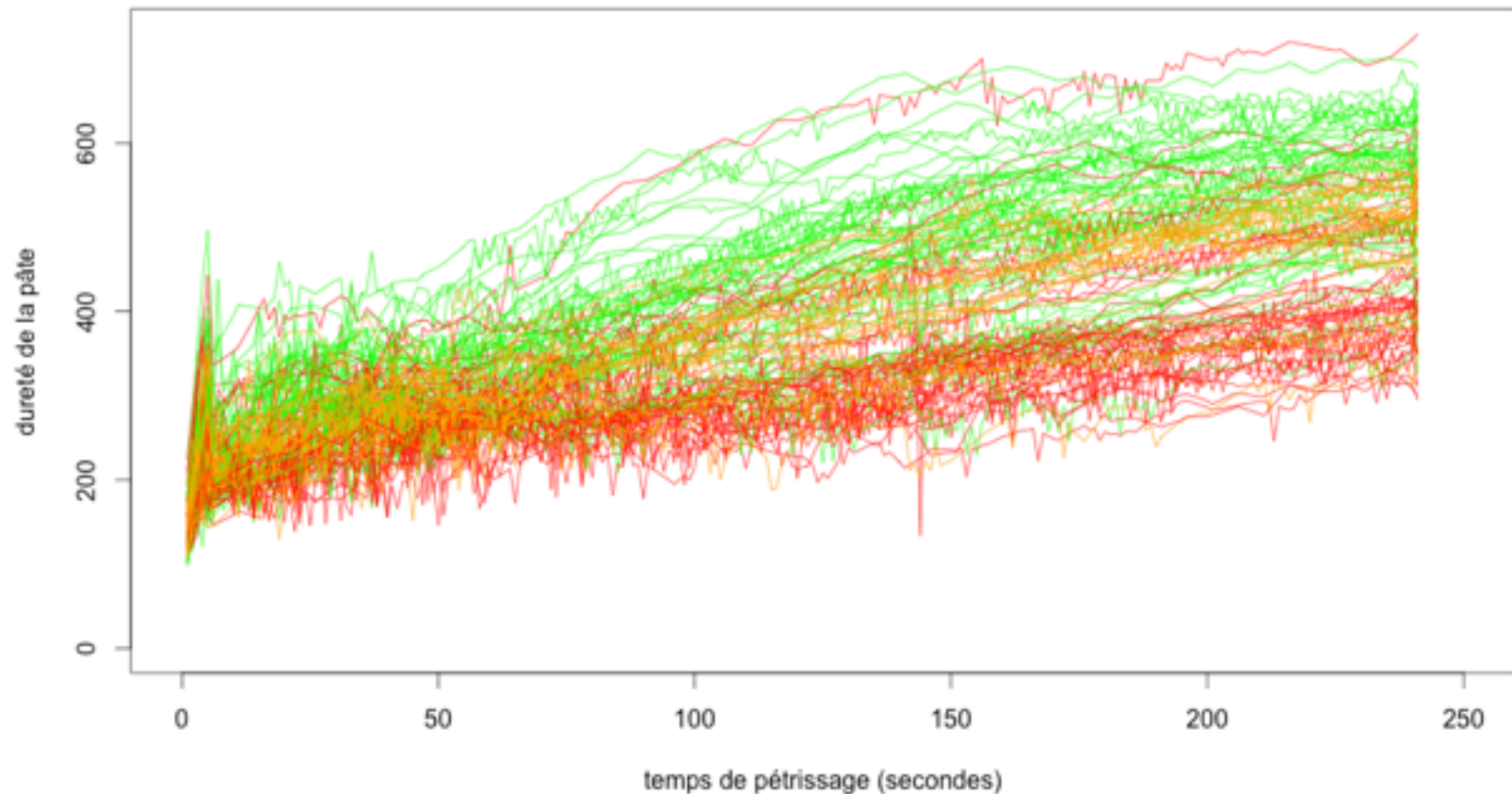
Exple d'analyse de données temporelles



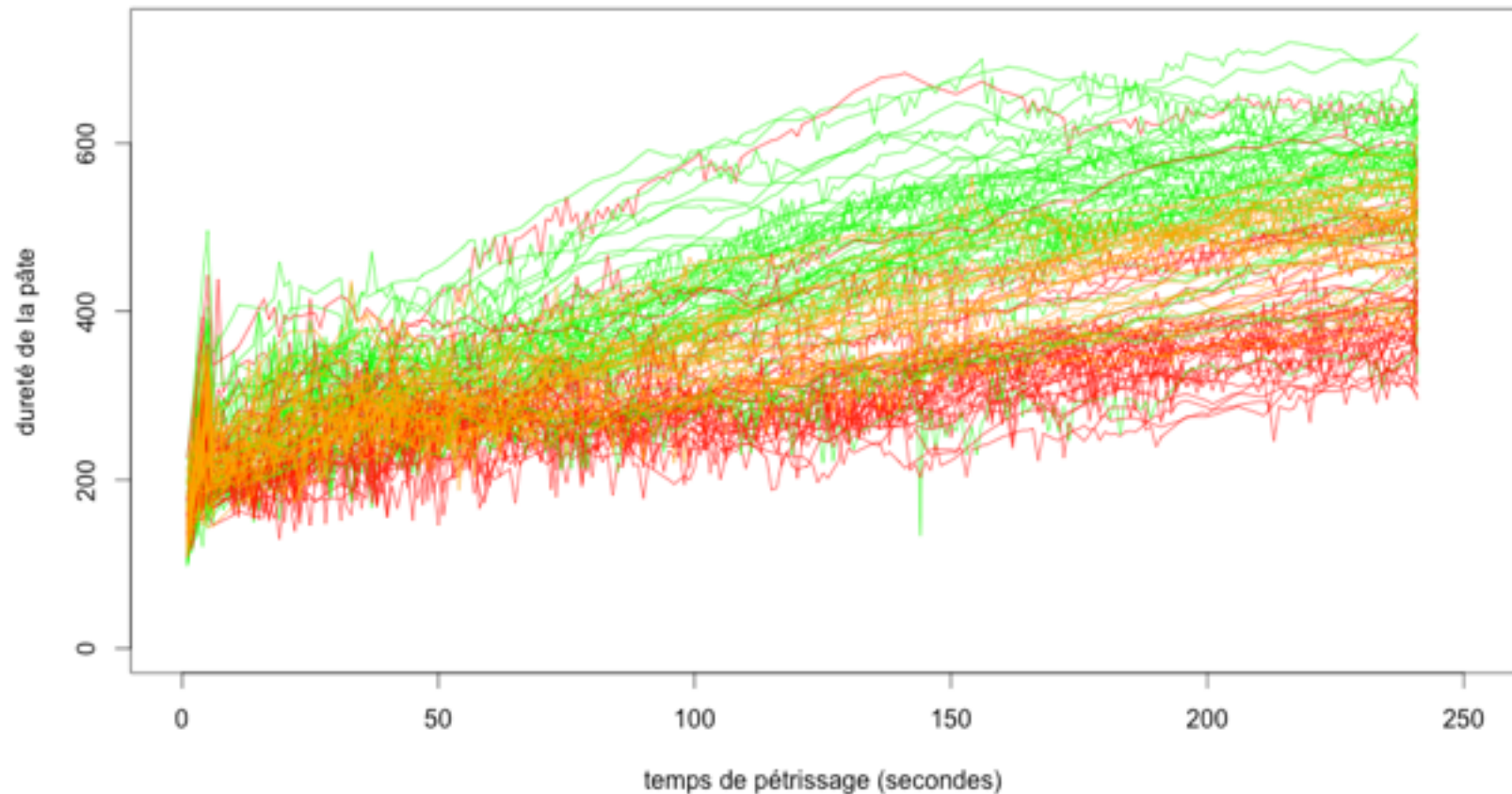
Exple d'analyse de données temporelles



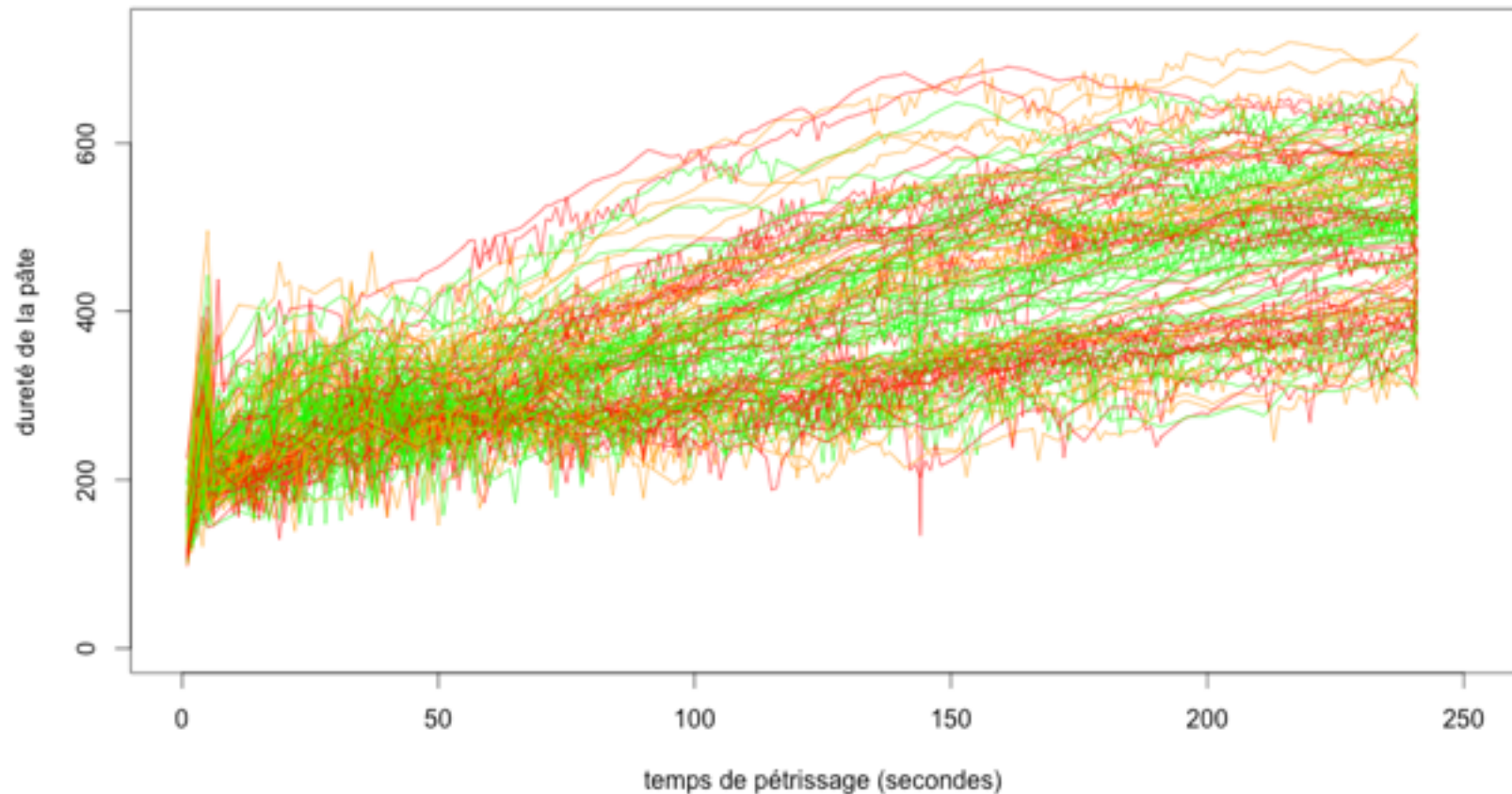
Exple d'analyse de données temporelles



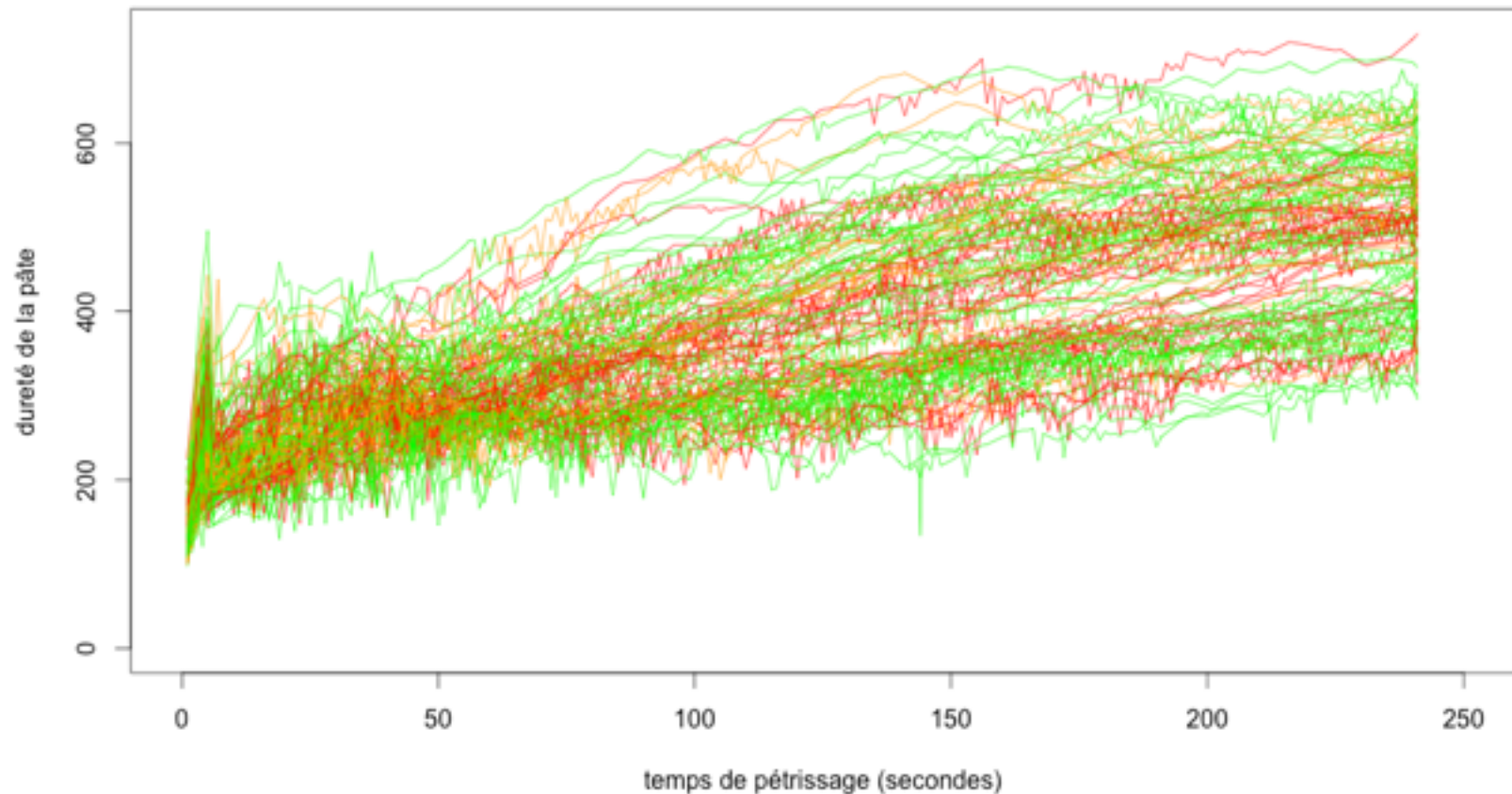
Exple d'analyse de données temporelles



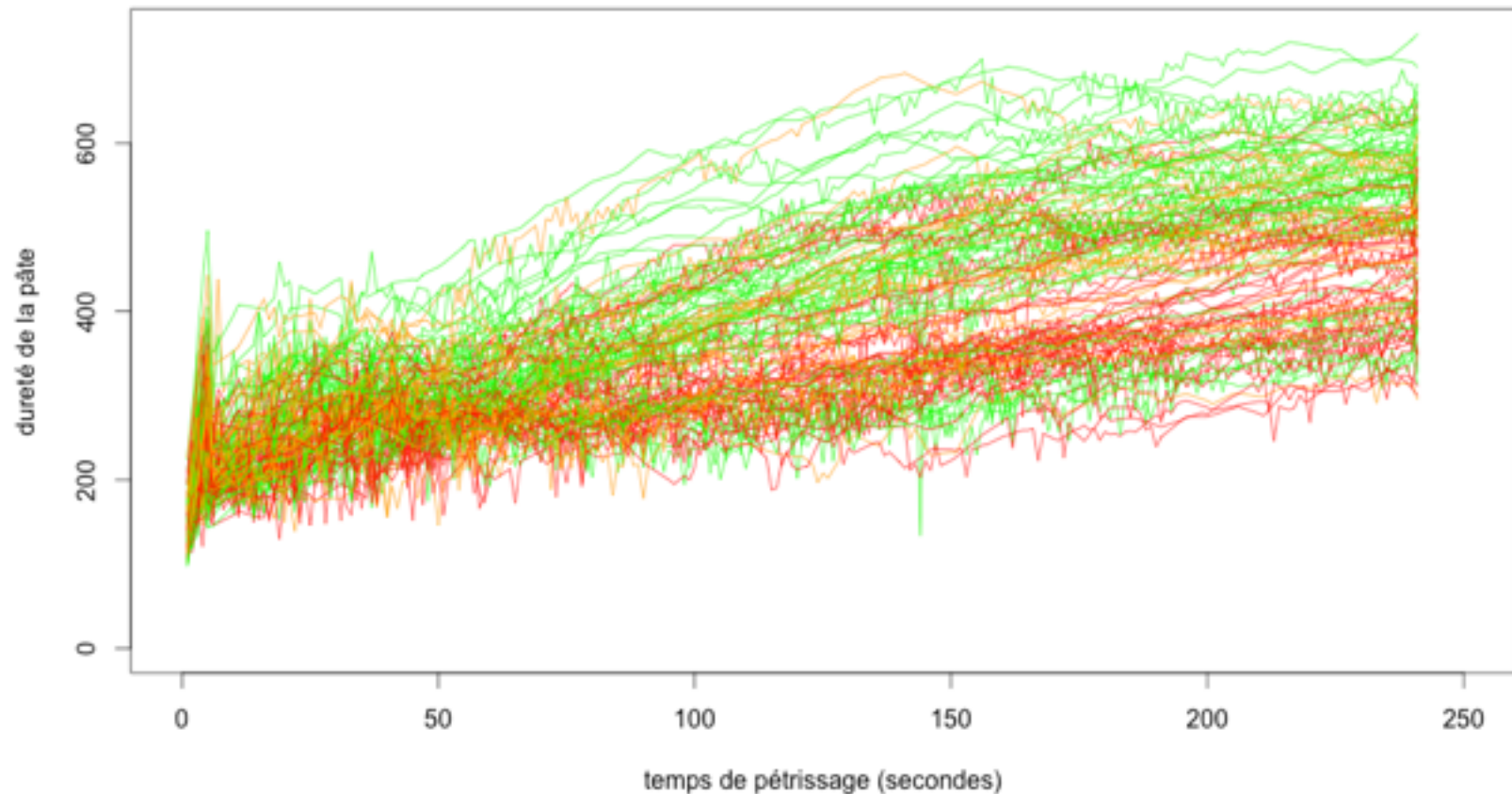
Exple d'analyse de données temporelles



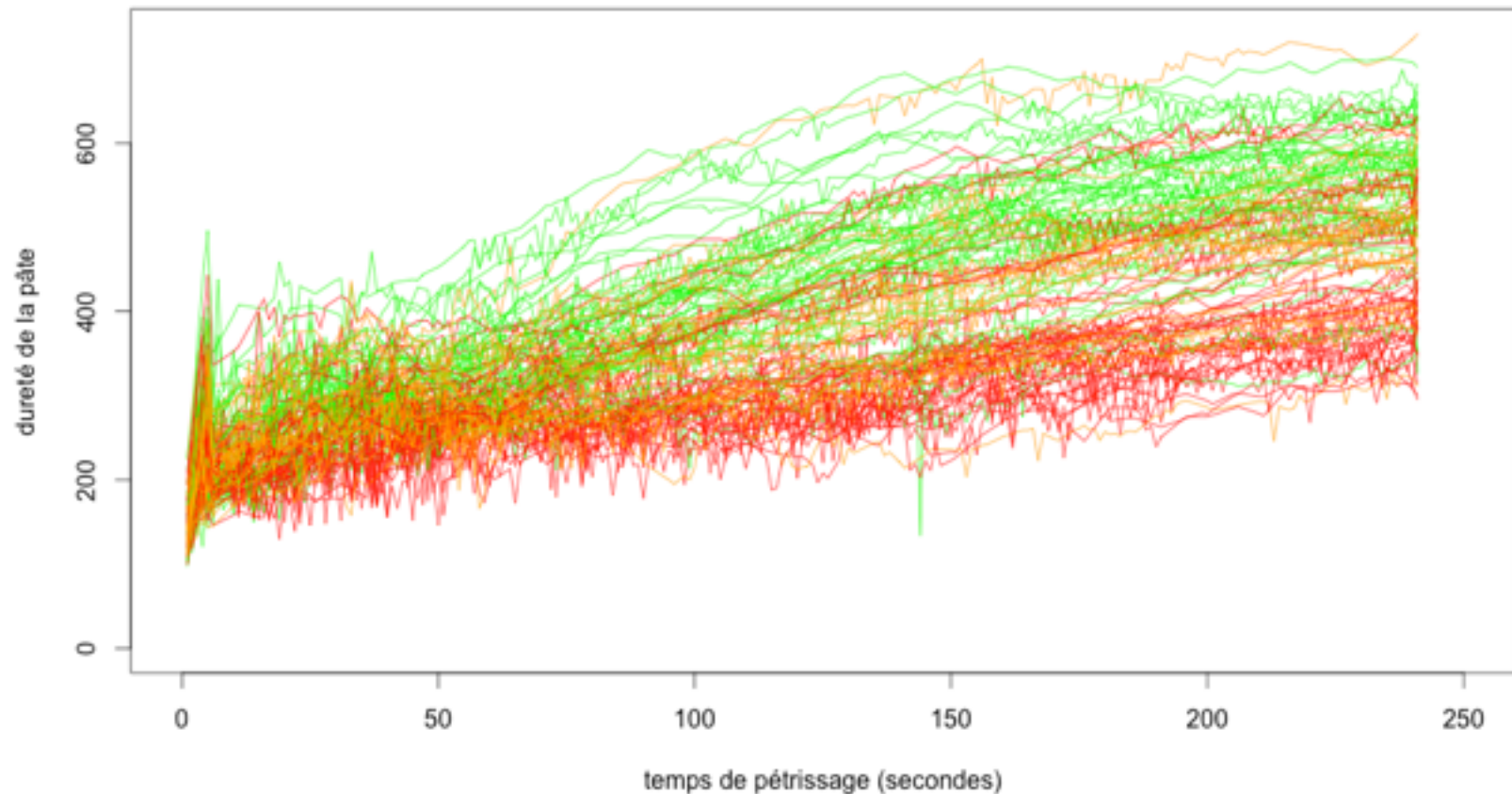
Exple d'analyse de données temporelles



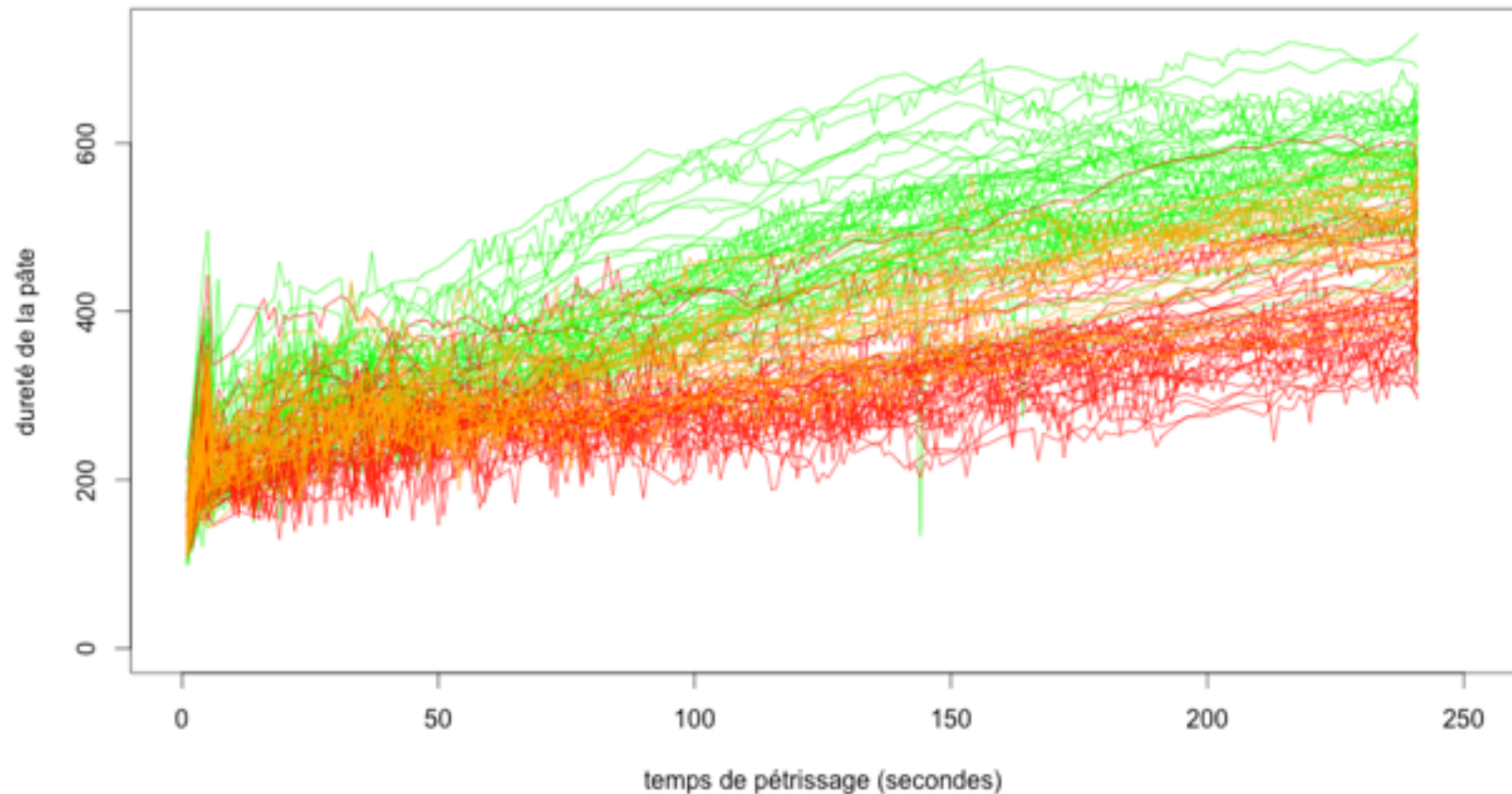
Exple d'analyse de données temporelles



Exple d'analyse de données temporelles



Exple d'analyse de données temporelles





Conclusion

DEFI ROAD-AI : vient juste de démarrer (juillet 2021)

- **Equilibre des moyens engagés Inria / Cerema**
- **Autres recrutements prévus**
 - Thèse sur le positionnement centimétrique, le contrôle et déploiement de flotte de drones
 - Post-doc sur le déploiement dynamique de flottes de drones et aide au pilotage
 - Post-doc sur le recalage et la segmentation sémantique dense de données de mesure 3D
 - Ingénieur pour la programmation des drones et la réalisation des expériences validant leur déploiement et la collecte de données
 - Ingénieur pour le traitement et la restitution de données

Inria est ouvert à d'autres DEFIS !

- Une problématique appliquée d'envergure / stratégique
- Des verrous recherche sous-jacents
- Un partenariat équilibré en terme de moyens dédiés

MERCI pour votre attention

Citoyens, Professionnels, Décideurs :
face aux transitions, quel engagement collectif
pour les infrastructures de mobilité ?

