

Utilisation des images satellites pour améliorer le repérage des logements à Mayotte

Maëlys Bernard
Insee
maelys.bernard@insee.fr

Raya Berova
Insee
raya.berova@insee.fr

Thomas Faria
Insee
thomas.faria@insee.fr

2025-07-15

Abstract Malgré leur disponibilité de plus en plus accrue, les images satellites très haute résolution sont jusqu'ici très peu utilisées au sein de la statistique publique. La manipulation de ces données non conventionnelles n'appartient pas encore aux pratiques usuelles des statisticiens publics, bien qu'elles offrent des opportunités significatives pour améliorer ou créer de nouveaux indicateurs statistiques. Cet article vise justement à démontrer qu'il est possible d'intégrer ces données satellitaires dans les processus statistiques afin d'assurer leur qualité. Mayotte constitue un cas emblématique où les difficultés d'accès au terrain et la forte dynamique de développement urbain complexifient l'organisation des enquêtes cartographiques qui permettent de repérer les logements en amont du recensement. Afin d'orienter les travaux de contrôle de la qualité de ces enquêtes, nous avons exploré l'utilisation des images satellitaires très haute résolution Pléiades (0,5 m de résolution spatiale), en combinaison avec des méthodes d'apprentissage profond, spécifiquement via des modèles de segmentation sémantique. La méthodologie développée consiste en l'entraînement d'un modèle SegFormer, fondé sur une architecture de type Transformer, largement reconnue dans la littérature puisqu'elle est à la base des modèles GPT. Le modèle a été entraîné grâce aux annotations issues du projet CoSIA de l'IGN, qui fournit une référence précise de la couverture du sol. À partir des prédictions du modèle, il est possible de produire des estimations précises des surfaces bâties sur un territoire donné, permettant ainsi d'analyser efficacement leur évolution dans le temps. Les résultats obtenus démontrent une performance élevée dans la détection automatisée des évolutions urbaines dans les DROM. Ces résultats sont disponibles sous la forme d'un tableau de bord interactif permettant aux équipes opérationnelles de cibler efficacement les zones prioritaires pour la réalisation d'enquêtes cartographiques de contrôle sur le terrain.

Après avoir décrit la méthode de prédiction de surface du bâti sur les images satellites, cet article présentera un cas pratique d'utilisation de ces prédictions à travers le contrôle

qualité des enquêtes cartographiques de la population à Mayotte. Depuis 2021, le recensement à Mayotte fonctionne sur un cycle quinquennal comme en métropole et dans les autres DOM. En amont de la collecte auprès des habitants, une enquête cartographique permet de repérer les logements. Le résultat de l'enquête cartographique détermine la base d'immeubles au sein de laquelle est sélectionné l'échantillon¹ de l'enquête annuelle de recensement. Ainsi, si l'enquête cartographique ne couvre pas bien l'intégralité du bâti du territoire à enquêter, les populations et nombre de logements déduits de l'enquête annuelle de recensement seront sous-estimés du fait de ce défaut de couverture. Les données satellites permettent de contrôler la qualité des enquêtes cartographiques en comparant l'évolution de la couverture de bâti avec celle du nombre de logements observé suite aux enquêtes cartographiques au sein de chaque îlot² à enquêter une année donnée. Les îlots sont répartis en cinq groupes de rotation correspondant à l'année à laquelle a lieu l'enquête annuelle de recensement. Afin d'assurer la qualité des enquêtes cartographiques, un deuxième passage sur le terrain a été planifié dans les grandes communes mahoraises pour certains îlots identifiés comme les plus prioritaires. Cet ordre de priorité a été défini par une méthode mobilisant les images satellites pour repérer les plus susceptibles d'être concernés par des manques potentiels dans les enquêtes cartographiques. L'enquête cartographique corrective ciblant ces îlots a permis d'assurer une meilleure couverture de ces enquêtes et d'éviter un risque de sous-estimation des logements.

Table des matières

Introduction	3
1 Contexte	3
2 Méthodologie	4
2.1 Segmentation sémantique	4
2.2 Données	4
2.2.a Images satellites	4
2.2.b Annotations	6
2.3 Evaluation	6
3 Résultats et inférence	7
3.1 Métriques et images	7
3.2 Diffusion	7
3.2.a Application web	7
3.2.b Fichiers parquet	7
4 Cas d'usage	8
5 Pistes et évolutions	9
Bibliographie	9

Introduction

blabla

1 Contexte

blabla

2 Méthodologie

2.1 Segmentation sémantique

def, méthode choisie (CV pour seg sem auto), historique IA (ancien to new model SAM)

2.2 Données

2.2.a Images satellites

Une image satellite est une matrice à trois dimensions. Chaque élément de cette image est un **pixel**, qui correspond à une surface au sol (par exemple 10m*10m). Le pixel contient plusieurs valeurs numériques. Ces valeurs expriment l'intensité du rayonnement solaire reflété dans chaque **bande spectrale** pour ce pixel. Une bande spectrale correspond à une portion du spectre électromagnétique, qui peut être par exemple le bleu, le rouge, le vert, le proche infrarouge. Donc, pour une image satellite de 200*200 pixels avec les trois bandes du visible (rouge, vert, bleu), chaque pixel aura trois valeurs différentes représentant l'intensité dans chacune des bandes du visible. Ainsi, un pixel qui représente 10m*10m au sol donnera une couleur : du violet sur l'exemple de la Figure 1.

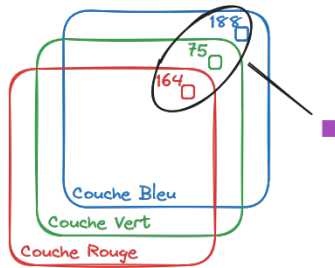


Figure 1. – Exemple d'un pixel d'une image satellite

Il existe de nombreux produits satellitaires disponibles. Nous nous sommes surtout concentrés sur deux d'entre eux : **Pléiades** et **Sentinel2**.



Figure 2. – Mamoudzou, Mayotte (2024)

Les images satellites **Pléiades** constituent une ressource précieuse dans notre cas d’usage. Ce sont des images à très haute résolution, spécifiquement conçues pour l’observation fine des territoires. Elles offrent trois bandes spectrales dans le visible (**rouge, vert, bleu**) auxquelles s’ajoute une quatrième bande dans le proche infrarouge (NIR), bien que cette dernière ne soit pas disponible dans nos données actuelles. Leur résolution spatiale remarquable de **0,5m** par pixel permet une détection très précise des objets au sol, ce qui est essentiel pour nos traitements d’analyse fine.

Ces images peuvent être obtenues soit via les **archives gratuites** (sous conditions d’accord), soit par acquisition à la demande, un service payant encadré par une licence Airbus©, avec des délais d’environ 6 à 8 mois par département.

Dans le cadre du cyclone Chido qui a frappé Mayotte en décembre 2024, un plan d’urgence a permis l’accès gratuit à une mosaïque d’images Pléiades post-cyclone couvrant l’île. Une **mosaïque** est une image composite constituée d’assemblages de prises de vues réalisées à différentes dates. Elle permet d’obtenir une couverture complète, avec un minimum de zones nuageuses et une meilleure homogénéité visuelle. Ce travail de reconstitution, mené par **l’Institut National de l’information géographique et forestière (IGN)**, est crucial pour garantir des données exploitables, notamment dans le cadre de l’entraînement de modèles d’analyse automatique.

Mais Pléiades n’est pas notre seule source d’imagerie satellite. Les satellites **Sentinel-2**, développés par l’Agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre du programme Copernicus, offrent une alternative open source, particulièrement intéressante pour les analyses à large échelle ou à forte fréquence temporelle. Contrairement à Pléiades, Sentinel-2 capte **treize bandes spectrales**, réparties entre le visible, le proche infrarouge (NIR) et l’infrarouge à ondes courtes (SWIR), ce qui

ouvre la voie à une multitude d'indices et d'analyses thématiques (comme la détection de la végétation, de l'humidité, ou des matériaux).

En revanche, la résolution spatiale de Sentinel-2 est moindre : selon les bandes, elle varie entre **10 m**, 20 m et 60 m, ce qui rend l'observation de petits objets ou de détails fins plus difficile. Néanmoins, ces images ont l'avantage d'être acquises automatiquement **tous les cinq jours**, garantissant une fréquence de revisite élevée et une mise à disposition régulière des données, y compris en période de crise.

Ainsi, les images Pléiades semblent être les plus adaptés pour de la détection de bâtiment dans les DROM.

2.2.b Annotations

nerf de la guerre : on a fait tout automatique, dire ce que ça coûte pour belles annot. RIL (Insee), BDTOP (better), finally

2.3 Evaluation

IOU, Loss, zone de test manuel (calculer la taille des zones de test)

inférence (parler moyenne mobile) -> mise à dispo d'une API

3 Résultats et inférence

3.1 Metriques et images

3.2 Diffusion

3.2.a Application web

Webapp : pour enquêteurs

3.2.b Fichiers parquet

Fichiers parquet : pour statisticiens

4 Cas d'usage

DMTR

5 Pistes et évolutions

blabla

Bibliographie