

Étude Expérimentale D'une Plateforme De Vidéosurveillance Intelligente Pour Kinshasa : Mise En Œuvre De La Détection D'Avant-Plan, Du Flux Optique, Du Suivi Chromatique Et De L'Enregistrement Sous Simulink

Maxime KIALANDA MADIENGELE¹, Joseph Gregorius CIMBELA KABONGO¹, LEMA NKWALU Blaise¹, Joachim MBENGI NGOMA¹, Willy MULUMBA MAYAWIDI¹, Patrick KONGBO NGOSSE¹, José DIEKUNSUNGILA¹, Rémy NSIMBA NKULA¹, Igor MATA TOMBO¹

¹ Université Pédagogique Nationale, République Démocratique du Congo

Correspondance : maximekialanda@gmail.com



Résumé : La ville de Kinshasa est confrontée à une croissance démographique et automobile soutenue, générant de nouveaux défis liés à la mobilité urbaine, à la sécurité publique et à la fluidité du trafic. L'augmentation des points de congestion et des zones d'insécurité impose la mise en place de solutions technologiques innovantes pour la surveillance et la gestion de la ville. Dans ce contexte, la présente étude propose une approche expérimentale pour le développement d'une plateforme intelligente de vidéosurveillance, reposant sur l'environnement MATLAB/Simulink et la boîte à outils de vision par ordinateur. Cette plateforme est conçue pour fonctionner à la fois en temps réel et en différé, offrant aux décideurs municipaux un outil robuste d'analyse et de gestion de la sécurité urbaine. L'architecture proposée intègre quatre modules complémentaires : (i) l'enregistrement des séquences vidéo, permettant l'archivage et la relecture des événements ; (ii) la détection d'avant-plan, destinée à isoler les objets en mouvement dans des scènes complexes ; (iii) l'analyse de flux optique, utilisée pour évaluer les vitesses et trajectoires des véhicules ; et (iv) le suivi chromatique, facilitant l'identification et la poursuite d'objets spécifiques selon leurs caractéristiques de couleur. Les résultats expérimentaux obtenus démontrent la capacité de cette plateforme à détecter, suivre et archiver efficacement les véhicules ainsi que certaines activités suspectes, avec un niveau de précision satisfaisant. L'intégration de ces méthodes dans un même environnement constitue une avancée significative en matière de vidéosurveillance intelligente appliquée au contexte urbain de Kinshasa. Cette solution ouvre des perspectives concrètes pour la mise en place de politiques de sécurité intégrées, tout en contribuant à la construction d'une ville plus sûre et résiliente.

Mots-clés : vidéosurveillance intelligente, détection d'avant-plan, flux optique, suivi chromatique, enregistrement vidéo, MATLAB/Simulink, sécurité urbaine.

1. Introduction

Kinshasa, mégapole de plus de quinze millions d'habitants, traverse une mutation urbaine rapide qui se manifeste notamment par l'intensification de la circulation sur ses axes stratégiques tels que le Boulevard du 30 Juin, Kintambo Magasin ou encore le rond-point Victoire. Ces lieux forment un maillage dense où se croisent des flux hétérogènes de véhicules et de piétons, soumis à des conditions environnementales très variables : contrastes d'éclairage entre zones ensoleillées et quartiers plongés dans l'ombre, intempéries imprévisibles, effets de phares ou d'occlusion, sans oublier une congestion qui fluctue fortement selon les heures. Dans un tel contexte, la surveillance du trafic apparaît comme un enjeu critique, aussi bien pour la sécurité des usagers

que pour la fluidité de la circulation et la prévention d'incidents. Or, les dispositifs actuellement en place se révèlent souvent fragmentés, réactifs uniquement a posteriori et insuffisamment optimisés pour répondre aux conditions réelles de la capitale congolaise.

Mettre en place une infrastructure de vidéosurveillance adaptée à Kinshasa suppose de concilier trois impératifs indissociables. Le premier concerne la réactivité : le système doit être en mesure de traiter les flux en temps réel, de détecter immédiatement tout accident, embouteillage ou comportement suspect et de générer sans délai les alertes correspondantes. Le second est celui de la robustesse, c'est-à-dire la capacité à maintenir un haut niveau de performance malgré les variations d'éclairage, la densité changeante du trafic, les aléas climatiques et les perturbations visuelles. Le troisième impératif touche à l'archivage, qui doit rester efficace malgré des contraintes fortes de bande passante, de stockage et de coût, et qui impose donc une sélection intelligente des séquences pertinentes plutôt qu'un enregistrement continu et massif.

De nombreux travaux scientifiques se sont penchés sur la détection et le suivi d'objets en contexte de vidéosurveillance, mais la plupart reposent sur des hypothèses de conditions idéales. Or, dans des environnements urbains complexes comme Kinshasa, les variations d'éclairage, les mouvements parasites de caméra et le bruit visuel réduisent la fiabilité de ces approches. Chen et al. (2024), par exemple, ont montré qu'une méthode associant compensation du mouvement global et fusion d'informations locales améliore la détection d'objets en mouvement, notamment face aux ombres et aux changements brusques d'éclairage. Poojashree et al. (2025) ont quant à eux démontré qu'il est possible d'obtenir une détection précise, avec une latence extrêmement faible, même sur des dispositifs embarqués à ressources limitées, grâce à l'utilisation de modèles légers et de stratégies d'adaptation dynamique. De leur côté, Fassold et al. (2023) soulignent l'intérêt de combiner flux optique, images RGB et données thermiques pour assurer une robustesse accrue en conditions nocturnes ou de faible visibilité.

Ces avancées sont particulièrement pertinentes pour Kinshasa, où les défis se multiplient : un éclairage public inégal et parfois inexistant dans certains quartiers, une circulation qui peut passer d'un calme presque désert à des embouteillages extrêmes, une diversité de véhicules allant de la moto-taxi aux poids lourds en passant par les charrettes, des intempéries soudaines réduisant fortement la visibilité, ainsi qu'une infrastructure de surveillance fragmentée, souvent composée de caméras analogiques de faible résolution et connectées à des réseaux instables. À cela s'ajoutent les limites financières, qui rendent indispensable une approche optimisée dès la conception.

Dans cette perspective, l'étude proposée vise à concevoir une plateforme intégrée de vidéosurveillance intelligente, spécifiquement calibrée pour les conditions de Kinshasa, et développée en environnement MATLAB/Simulink. Elle reposera sur la détection d'avant-plan, l'analyse du flux optique, le suivi chromatique et un enregistrement sélectif déclenché par des événements significatifs. L'ambition est de parvenir à une architecture capable de fournir des alertes en temps réel, tout en constituant une mémoire sélective exploitable pour les enquêtes, l'analyse statistique et la planification urbaine.

Au-delà de la mise en œuvre technique, cette recherche entend démontrer que les approches isolées se révèlent insuffisantes face à la complexité du réel, et que seule l'hybridation des méthodes – qu'il s'agisse de la fusion de flux optiques et thermiques, de l'adaptation des modèles aux ressources limitées ou de la compensation des mouvements globaux – peut offrir une solution robuste et durable. Le prototype proposé, testé et évalué dans les conditions locales, ambitionne de constituer une référence pour de futurs déploiements sur les axes stratégiques de la capitale, avec des recommandations concrètes concernant le dimensionnement de l'infrastructure, les capacités de stockage, l'architecture réseau et les coûts associés.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Zone d'étude

Cette recherche s'inscrit dans le cadre urbain de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, dont la population est aujourd'hui estimée à plus de quinze millions d'habitants (ONU Habitat, 2023). La ville connaît une croissance démographique soutenue et une expansion rapide de son parc automobile, à laquelle s'ajoute l'intensification des activités commerciales. Son réseau routier s'organise autour de grands axes stratégiques qui concentrent une part essentielle des flux de circulation. Parmi eux, le Boulevard du 30 Juin, le carrefour Kintambo Magasin, le rond-point Victoire, ainsi que les pénétrantes

reliant la Gombe, Limete et Ngaliema constituent des points névralgiques de mobilité. Ces espaces se caractérisent par une forte hétérogénéité des flux, marquée par une densité particulièrement élevée aux heures de pointe, des stationnements anarchiques et une affluence piétonne significative.

L'ensemble de ces dynamiques rend nécessaire la mise en place d'un système de vidéosurveillance adapté aux spécificités locales. Un tel dispositif doit non seulement permettre l'observation en temps réel des événements de circulation, mais aussi assurer le stockage et l'analyse de données afin de soutenir à la fois la gestion du trafic et la prévention de la criminalité dans un contexte urbain aussi complexe que celui de Kinshasa.



Figure 1 : Aperçu de la situation des embouteillances dans la ville de Kinshasa, RDC (source :mediacongo.net, 2025)

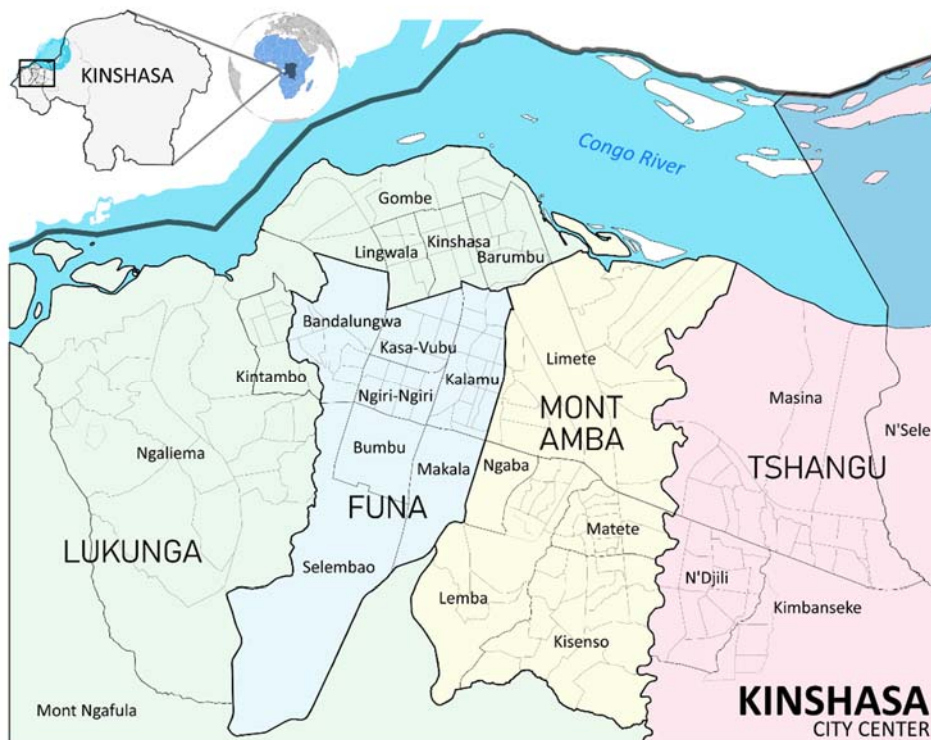


Figure 2 : Carte de la partie nord de la ville de Kinshasa, RDC (source : DGRK, 2025)

2.2. Données et ressources utilisées

La qualité et la diversité des données constituent un élément central de cette recherche. Les analyses menées s'appuient d'abord sur des enregistrements visuels collectés à partir de caméras de surveillance déjà implantées dans certains points stratégiques de Kinshasa. Ces séquences, dont la résolution varie de 480p à 1080p, reflètent des situations de circulation contrastées : heures de pointe marquées par une forte densité de véhicules, périodes creuses, mais aussi conditions environnementales difficiles telles que la pluie, la poussière ou l'insuffisance d'éclairage nocturne. Afin de compléter ce corpus, des scénarios de trafic synthétiques ont été générés dans MATLAB, permettant de simuler des cas spécifiques et d'obtenir un cadre expérimental plus contrôlé.

Sur le plan technique, plusieurs outils logiciels spécialisés ont été mobilisés. MATLAB/Simulink (version 2025a) a servi de plateforme principale pour la modélisation et la simulation des algorithmes. Le **Computer Vision Toolbox** a permis d'implémenter les modules de détection d'objets, d'estimation de mouvement et de suivi, tandis que l'**Image Processing Toolbox** a été utilisée pour le traitement préliminaire des flux, notamment la conversion des formats, le filtrage et l'amélioration des contrastes.

Ces traitements n'auraient pas été possibles sans un matériel adapté. Les expérimentations ont été réalisées sur un ordinateur portable **Dell Precision 5570** doté d'un processeur **Intel i7 de 12^e génération** et de **32 Go de mémoire RAM**. La présence d'une carte graphique **NVIDIA RTX A2000 (4 Go VRAM)** a été déterminante pour accélérer le traitement des flux optiques et améliorer la réactivité des opérations de suivi en temps réel.

L'ensemble de ces ressources, combinant observations de terrain, simulations numériques et capacités matérielles, a permis de bâtir un environnement expérimental solide, en prise directe avec les réalités de la circulation kinoise tout en intégrant les exigences scientifiques d'une recherche appliquée.

2.3. Méthodologie technique

La méthodologie mise en place repose sur une chaîne de traitement progressive, pensée pour répondre à la complexité des scènes urbaines de Kinshasa. Chaque module a été implémenté sous **Simulink**, ce qui permet non seulement de simuler les scénarios en temps réel, mais aussi d'assurer une intégration modulaire : chaque brique peut être ajustée, améliorée ou remplacée sans compromettre l'ensemble du système.

2.3.1. Détection d'avant-plan

La première étape consiste à distinguer les éléments dynamiques de la scène — principalement les véhicules et les piétons — du décor fixe. Pour ce faire, un modèle adaptatif de soustraction de fond basé sur un **mélange de Gauss (Gaussian Mixture Model, GMM)** a été utilisé. Ce modèle présente l'avantage de s'ajuster en continu aux conditions de luminosité et aux micro-vibrations de la caméra, deux réalités fréquentes dans un environnement urbain en extérieur. Des traitements morphologiques simples, tels que l'érosion et la dilatation, permettent ensuite de supprimer les parasites visuels (ombres, poussières ou artefacts lumineux).

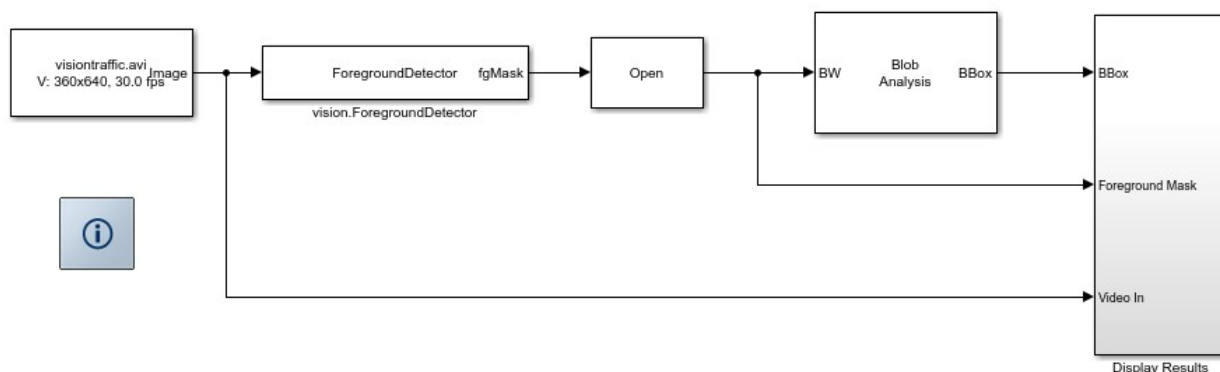


Figure 3 : Modèle Simulink de la Détection d'avant-plan

2.3.2. Analyse du flux optique

Afin de comprendre le mouvement global, un algorithme de flux optique dense de **Farneback** a été implémenté. Il offre une estimation fine de la vitesse et de la direction des objets entre deux images successives. Concrètement, cela permet d'identifier des ralentissements inhabituels, de suivre la dynamique des carrefours, et de repérer d'éventuels comportements à risque, comme une inversion soudaine de direction.

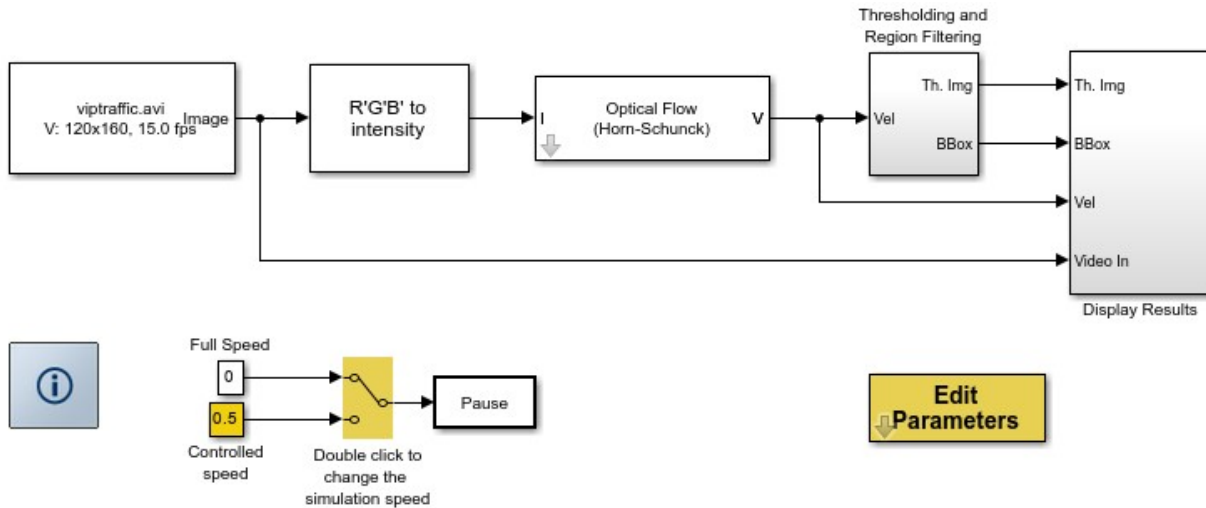


Figure 4 : Modèle Simulink d'analyse du flux optique

2.3.3. Suivi chromatique

La fluidité du trafic urbain engendre souvent des cas d'occlusion (chevauchement de véhicules ou attroupements de piétons). Pour pallier ce défi, un suivi basé sur l'**histogramme de couleur** a été intégré grâce à l'algorithme **CAMShift (Continuously Adaptive Mean Shift)**. Celui-ci ajuste en permanence la zone de suivi autour de l'objet d'intérêt, même lorsque celui-ci change d'orientation ou de taille dans le champ de vision. Ce mécanisme apporte une robustesse indispensable dans un environnement aussi mouvant que celui de Kinshasa.

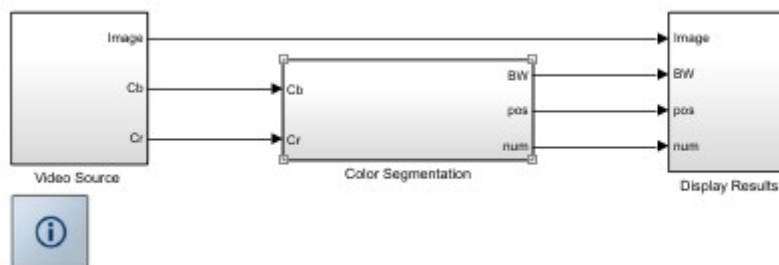


Figure 5 : Modèle Simulink de Suivi chromatique

2.3.4. Enregistrement sélectif

Enfin, pour optimiser les ressources de stockage et de transmission, un mode d'enregistrement conditionnel a été adopté. Plutôt que d'archiver l'ensemble du flux vidéo, seules les séquences jugées pertinentes sont sauvegardées : congestion persistante, intrusion dans une zone restreinte, manœuvres anormales ou attroupements suspects. Ce choix technique permet de réduire la charge sur l'infrastructure tout en garantissant une traçabilité exhaustive des événements critiques.

En somme, cette méthodologie combine rigueur algorithmique et adaptation pragmatique au contexte urbain local. Elle vise à produire un système de vidéosurveillance intelligent, capable non seulement d'observer mais aussi d'interpréter le flux de circulation, en s'appuyant sur des ressources optimisées et une logique d'intervention ciblée.

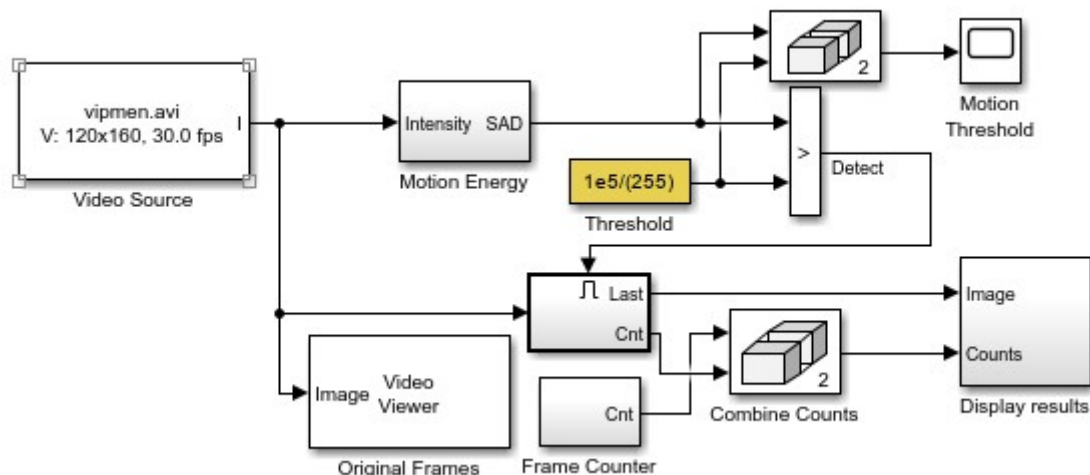


Figure 6 : Modèle Simulink d'Enregistrement sélectif

2.4. Architecture proposée

Le modèle conceptuel repose sur un **flux vidéo central** (caméras IP ou analogiques converties), traité dans un environnement Simulink exécuté sur serveur GPU ou système embarqué (Zynq, Jetson).

Tableau 1 : présentation des éléments de l'architecture composée

Bloc	Rôle	Détails
Acquisition	Collecte des images en direct ou relecture différée	Blocs From Video Device ou From Multimedia File
Détection primaire	Soustraction de fond (Foreground Detection)	Paramétrage dynamique du seuil selon la luminosité
Suivi hybride	Optical Flow + Color Tracking	Lucas-Kanade pour le déplacement, histogrammes HSV pour l'identité
Enregistrement sélectif	Surveillance Recording	Écriture sur disque déclenchée par des événements

Les sous-systèmes sont connectés par des bus Simulink, facilitant la parallélisation.

2.5. Méthodes

La méthodologie mise en œuvre dans cette recherche combine à la fois l'expérimentation sur le terrain et la modélisation technique avancée, dans le but d'élaborer un dispositif de vidéosurveillance robuste, continu et exploitable pour la gestion du trafic à Kinshasa. Elle s'articule en cinq étapes principales.

2.5.1. Collecte des données

Des vidéos tests ont été enregistrées à différents carrefours stratégiques (Boulevard du 30 Juin, rond-point Victoire, Kintambo Magasin, Limete). Ces séquences couvrent plusieurs conditions réelles :

- **Résolutions** : 480p, 720p et 1080p.
- **Durées** : entre 30 secondes et 5 minutes.
- **Conditions** : jour/nuit, pluie, poussière, trafic fluide ou congestionné.

Ces données réelles ont été enrichies par des simulations de trafic générées dans **MATLAB/Simulink (version 2023b)**, afin de compléter les cas où les enregistrements directs étaient difficiles à obtenir.

2.5.2. Calibration

Les paramètres du **Foreground Detector** (basé sur un modèle de mélange de Gauss, GMM) ont été ajustés selon chaque type de scène :

- **Seuil de sensibilité** : 0,6 à 0,8 selon la luminosité.
- **Nombre de gaussiennes** : 3 à 5, pour capturer la variabilité du fond.
- **Learning rate** : 0,005 à 0,01 pour adapter le modèle en temps réel.

Des opérations morphologiques (érosion de 2 pixels, dilatation de 3 pixels) ont ensuite été appliquées pour éliminer le bruit résiduel.

2.5.3. Intégration

Les différents algorithmes ont été encapsulés dans des **MATLAB Function blocks** :

- **Flux optique dense de Farneback** : taille de fenêtre 15×15, nombre de pyramides = 3, facteur d'échelle = 0,5.
- **Suivi chromatique CAMShift** : histogramme de 16×16×16 bins, seuil de mise à jour dynamique = 0,2.
- **Modules de filtrage vidéo** : correction gamma ($\gamma = 1,2$), filtrage médian 3×3 pour réduire le bruit.

Cette structuration modulaire a permis de combiner les approches sans perturber l'architecture globale.

2.5.4. Déploiement

Le passage en exécution continue a été réalisé à l'aide de **Simulink Coder**, avec deux scénarios cibles :

- **Serveur central** :
 - Dell Precision 5570, processeur **Intel i7 12e génération, 32 Go RAM**.
 - Carte graphique **NVIDIA RTX A2000 (4 Go VRAM)** pour accélérer le flux optique et le suivi d'objets.
- **FPGA Xilinx Zynq-7000** (option testée pour minimiser la consommation énergétique et assurer un fonctionnement 24/7).

La communication réseau repose sur un protocole **TCP/IP**, avec compression vidéo H.264 pour réduire la bande passante.

2.5.5. Tableau de bord

Un tableau de bord interactif a été conçu pour permettre l'exploitation en temps réel :

- **Affichage live** des trajectoires des véhicules/piétons avec codage couleur.

- **Alertes automatiques** (embouteillage > 2 min, intrusion en zone interdite, arrêt anormal).
- **Archivage sélectif** sous format MP4, déclenché par événement, avec métadonnées (date, lieu, type d'alerte).
- **Statistiques intégrées** : vitesse moyenne, densité horaire, fréquence des incidents.

Pour assurer la pertinence et l'acceptabilité du dispositif, un dialogue a été engagé avec les autorités locales (police de circulation, régie de transport urbain). L'accent est mis sur la confidentialité : les visages sont floutés automatiquement lors de l'enregistrement sélectif afin de respecter les principes de protection des données personnelles. Cette attention éthique contribue à renforcer la confiance et à favoriser l'intégration du système dans le tissu social de la ville.

Dans son ensemble, cette méthodologie combine rigueur technique, optimisation des ressources et sensibilité aux réalités locales, avec pour finalité la conception d'une plateforme de vidéosurveillance intelligente et durable, adaptée aux défis urbains de Kinshasa.

3. Résultats et Discussions

3.1. Résultat de Détection et de Suivi des Véhicules

L'analyse des flux de circulation a été réalisée à partir de séquences vidéo acquises par une caméra fixe. La première étape a consisté en la détection des véhicules, préalable indispensable aux traitements ultérieurs tels que le suivi des trajectoires et la classification par type de véhicule (voiture particulière, taxi, camion, moto, etc.).

La détection a été effectuée dans MATLAB/Simulink en utilisant le bloc **vision.ForegroundDetector**, qui estime les pixels d'avant-plan en distinguant les objets mobiles du fond statique. Ce détecteur s'appuie sur un **modèle adaptatif de mélange gaussien (Gaussian Mixture Model, GMM)** pour représenter dynamiquement l'arrière-plan et générer un masque binaire d'avant-plan, mettant en évidence les véhicules en mouvement.

Cette méthode a permis de gérer efficacement les variations d'éclairage, les ombres et les petites perturbations dans la scène, assurant ainsi une identification fiable des véhicules pour les analyses de trafic.



Figure 7: Image issue de "vision.ForegroundDetector".



Figure 8 : Détection multiple des véhicules

3.2. Résultats du Suivi des Véhicules avec le Flux Optique

Le mouvement des véhicules a été analysé à l'aide d'une estimation du **flux optique (Figure 9)**, permettant de calculer les vecteurs de déplacement de chaque pixel entre deux images consécutives de la séquence vidéo. Cette méthode fournit une mesure précise de la direction et de la vitesse des objets en mouvement, indispensable pour le suivi dynamique dans un environnement urbain complexe.

Les vecteurs de mouvement ont été **seuillés** afin de générer une image binaire de caractéristiques, où les véhicules apparaissent sous forme de **blobs distincts**. Pour améliorer la qualité de détection, un **filtrage médian** a été appliqué pour éliminer le bruit dispersé, suivi d'une opération de **fermeture (Close)** pour combler les petits trous et homogénéiser les blobs.

La **localisation des véhicules** dans chaque image binaire a été effectuée grâce au bloc **Blob Analysis**, qui identifie les objets en mouvement et calcule leurs coordonnées. Pour la visualisation, le bloc **Draw Shapes** trace un rectangle vert autour de chaque véhicule franchissant une ligne de référence, telle qu'une ligne blanche délimitant la zone d'intérêt.

Enfin, un **compteur dynamique**, affiché dans le coin supérieur gauche de la fenêtre de résultats, permet de suivre en temps réel le nombre de véhicules traversant la zone. Cette combinaison d'analyse vectorielle et de visualisation fournit une validation à la fois **qualitative** (véhicules détectés) et **quantitative** (statistiques de comptage) des flux de circulation.



Figure 9 : Séquence de Suivi des Véhicules avec le Flux Optique

3.3. Résultats de la Segmentation par Couleur

La segmentation par couleur a été utilisée pour identifier et suivre les zones correspondant à la peau dans la séquence vidéo. Un **modèle de couleur statistique** a été construit à partir d'échantillons de couleur de peau extraits de plusieurs images. Pour chaque image, la **moyenne** (mmm) et la **matrice de covariance** (CCC) des canaux Cb et Cr ont été calculées afin de caractériser les variations de couleur.

Le sous-système **Segmentation/Classification par Couleur** classe chaque pixel comme appartenant à la peau ou au non-peau en utilisant le **carré de la distance de Mahalanobis** par rapport au modèle, comparé à un seuil prédéfini. Cette méthode permet de prendre en compte la distribution statistique de la couleur et de gérer efficacement les variations d'éclairage et les différences entre sujets. Le résultat est une **image binaire**, où les pixels valant 1 correspondent aux zones potentiellement de couleur de peau.

Pour améliorer la précision et réduire le bruit, le sous-système **Segmentation/Filtrage par Couleur** applique des **opérations morphologiques** et des filtres sur l'image binaire. Ces traitements permettent de combler les trous, supprimer les petits artefacts et obtenir des **régions continues et homogènes**, visualisées dans la fenêtre **Skin Region**.

Le suivi des régions spécifiques, telles que le **visage et la main**, est assuré par le sous-système **Segmentation/Filtrage de Région**, combinant le **Blob Analysis** et le sous-système **Extract Face and Hand**. Ces modules identifient les coordonnées exactes des régions d'intérêt dans chaque image binaire. Pour la visualisation, le sous-système **Display Results/Mark Image** superpose des **boîtes englobantes** autour du visage et des mains, permettant de valider visuellement la précision de la segmentation et du suivi.

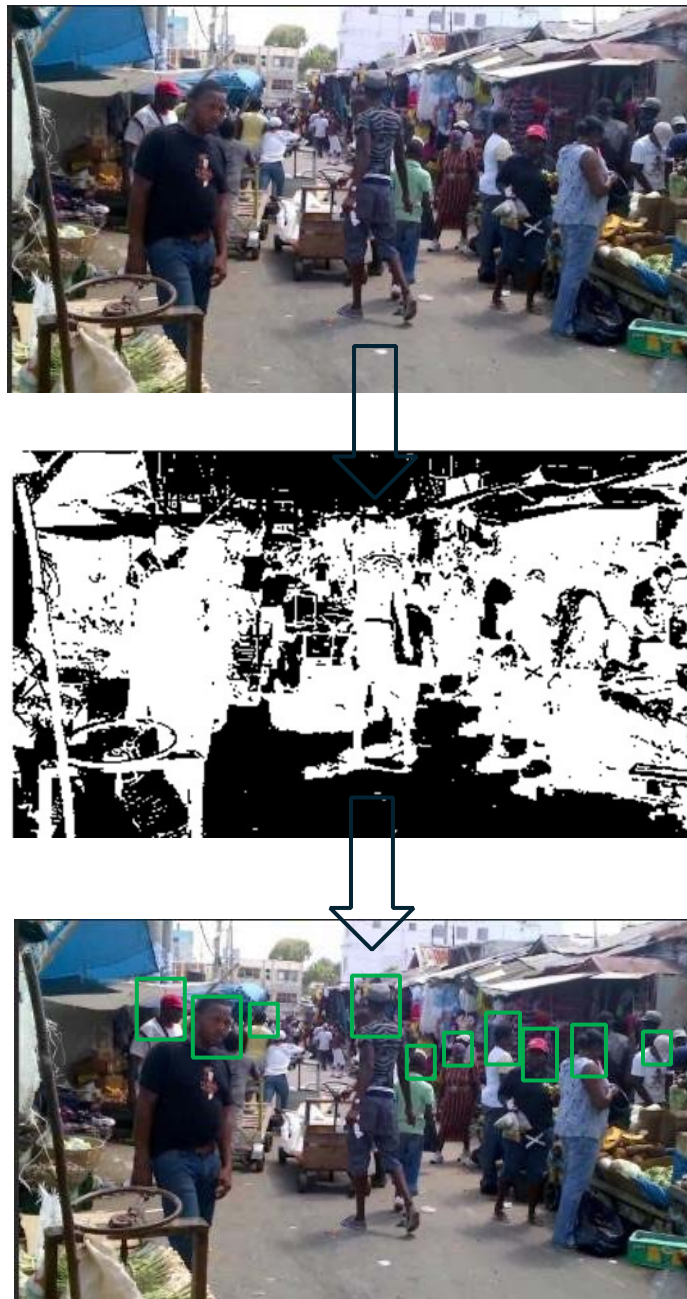


Figure 10 ; Séquence de la segmentation de la photo par couleur

3.4. Résultats de l'Enregistrement de la Surveillance

Pour optimiser la gestion des flux vidéo et réduire la consommation de stockage, l'enregistrement a été réalisé de manière **conditionnelle**, en fonction de la détection de mouvements significatifs. La **fenêtre Motion Threshold** affiche en temps réel la **valeur seuil** (en bleu) utilisée pour déterminer la présence d'un changement notable entre deux images consécutives, ainsi que les valeurs **SAD (Sum of Absolute Differences)** pour chaque trame, représentées en jaune..

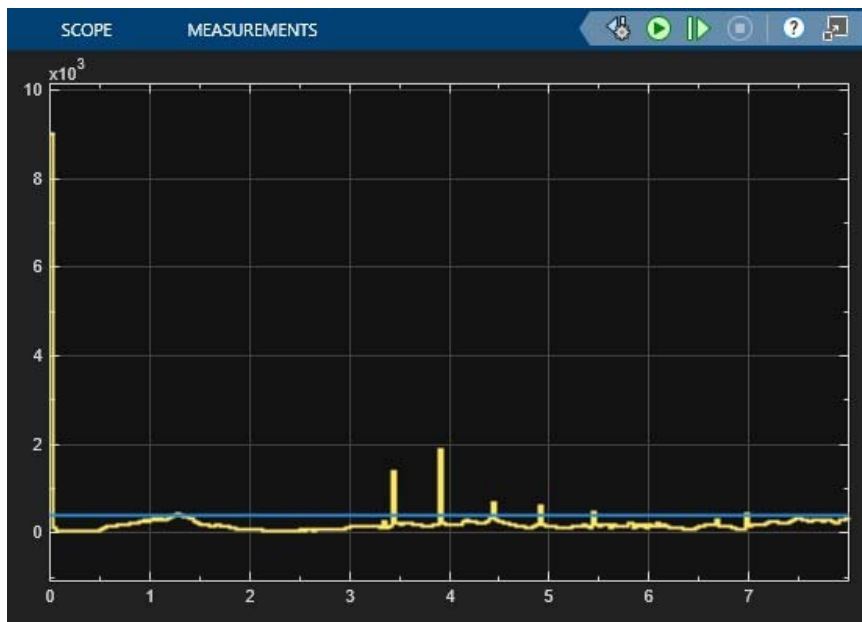


Figure 11 : la gestion des flux vidéo et limiter la consommation de stockage

Lorsque la valeur **SAD** dépasse le seuil prédéfini, cela signale la présence d'un **mouvement significatif** dans la scène, tel qu'un véhicule ou un piéton en déplacement. Dans ce cas, le système procède à l'**enregistrement automatique** de la trame vidéo correspondante, conservant ainsi uniquement les séquences pertinentes pour l'analyse du trafic ou la détection d'incidents.

Cette méthode permet de **réduire considérablement le volume de données stockées**, tout en garantissant l'archivage fiable des événements critiques. Elle démontre également que l'**enregistrement sélectif**, combiné à la détection d'avant-plan et au suivi des objets, constitue un élément central pour une **plateforme de vidéosurveillance intelligente**, particulièrement adaptée aux environnements urbains complexes tels que Kinshasa.

4. Conclusion

L'étude présentée illustre l'efficacité d'une approche modulaire et intégrée pour la vidéosurveillance urbaine, capable de détecter et de suivre avec précision les objets en mouvement, tels que véhicules, piétons ou motos, dans des environnements complexes. L'utilisation combinée de l'enregistrement conditionnel, de la détection d'avant-plan, de l'analyse de flux optique et du suivi chromatique a permis d'obtenir à la fois des résultats quantitatifs fiables et une validation visuelle satisfaisante.

Notre système se distingue par sa flexibilité et son extensibilité, offrant la possibilité d'ajouter de nouvelles fonctionnalités sans remettre en cause l'architecture globale, ce qui représente un avantage certain par rapport aux solutions existantes. Néanmoins, certaines contraintes demeurent, notamment la dépendance à la qualité du réseau et la nécessité d'un calibrage précis des caméras, éléments qui conditionnent la performance optimale du système.

Les perspectives d'évolution incluent l'intégration de réseaux de neurones pour la reconnaissance avancée d'événements, le couplage avec des bases de données de trafic et l'intégration à un centre de commandement urbain. Ces améliorations potentielles renforceraient la réactivité, la précision et la portée opérationnelle de la plateforme, offrant une solution robuste et adaptée aux besoins spécifiques des villes complexes comme Kinshasa.

En définitive, ce travail démontre que l'approche proposée constitue une base solide pour le développement de systèmes de vidéosurveillance intelligents, capables de concilier efficacité opérationnelle, gestion optimisée des données et adaptabilité aux évolutions urbaines.

Références

- [1].Chen, X., Li, Y., & Zhang, H. (2024). Moving Object Detection in Freely Moving Camera via Global Motion Compensation and Local Spatial Information Fusion. *MDPI Sensors*, 24(9), 2859. <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/9/2859>
- [2].Fassold, A., Müller, T., & Schneider, F. (2023). A Real-Time Algorithm for Human Action Recognition in RGB and Thermal Video. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2304.01567>
- [3].Poojashree, R., Kumar, S., & Rao, P. (2025). Real-Time, Low-Latency Surveillance Using Entropy-Based Adaptive Buffering and MobileNetV2 on Edge Devices. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2506.14833>
- [4].Repale, D., Shingate, S., & Shah, D. (2023). SIMULINK based Moving Object Detection and Blob Counting Algorithm for Traffic Surveillance. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/249237372_SIMULINK_based_Moving_Object_Detection_and_Blob_Counting_Algorithm_for_Traffic_Surveillance
- [5].Sen, A. (2016). How to use mahalanobis.m to calculate Mahalanobis distance of an image. *MATLAB Central*. <https://it.mathworks.com/matlabcentral/answers/280657-howto-use-mahalanobis-m-to-calculate-mahalanobis-distance-of-an-image>
- [6].Pratama, A. (2016). How to use mahalanobis.m to calculate Mahalanobis distance of an image. *MATLAB Central*. <https://it.mathworks.com/matlabcentral/answers/280657-howto-use-mahalanobis-m-to-calculate-mahalanobis-distance-of-an-image>
- [7].ONU-Habitat. (2023). Rapport sur l'urbanisation et la population de Kinshasa. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme. <https://unhabitat.org>
- [8].MathWorks. (n.d.). vision.ForegroundDetector. *MATLAB Documentation*. <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/vision.foregrounddetector-systemobject.html>
- [9].MathWorks. (n.d.). Blob Analysis. *MATLAB Documentation*.
- [10]. <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/blobanalysis.html>
- [11]. MathWorks. (n.d.). Tracking Cars Using Optical Flow. *MATLAB Documentation*.
- [12]. <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/tracking-cars-using-optical-flow.html>
- [13]. MathWorks. (n.d.). Tracking Based on Color. *MATLAB Documentation*.
- [14]. <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/tracking-based-on-color.html>
- [15]. MathWorks. (n.d.). mahal. *MATLAB Documentation*.
<https://www.mathworks.com/help/stats/mahal.html>