

Notes de Soutenance - Jumeau Numérique

Slide 1 : Jumeau Numérique pour le Trafic Ouest-Africain

Monsieur le Président du Jury, Honorables membres, Chers Maîtres.

Nous avons l'honneur de vous présenter aujourd'hui les résultats d'études.

Il porte sur la conception d'un "Jumeau Numérique pour le Trafic" pour optimiser les feux de signalisation grâce à l'Intelligence A

Ce travail a été mené sous la direction du Dr. Abel KONNON et l'e Donald HONTINFINDE.

Slide 2 : Plan de la Présentation

Pour cette présentation, nous suivrons une démarche classique en cinq points.

D'abord le contexte, pour comprendre pourquoi les solutions actue

Ensuite, la méthodologie : comment nous avons construit ce simula

Puis les résultats, pour voir si l'IA apporte vraiment un gain.

Et enfin, les perspectives que ce travail ouvre pour nos villes.

Slide 3 : Le Défi du Trafic Ouest-Africain

Le point de départ, c'est un constat que nous vivons tous au quotidien. Le trafic à Cotonou ou Lagos n'a rien à voir avec celui de Paris ou de New York.

La différence majeure, c'est l'hétérogénéité. Les motos (les "zem flux. Elles se faufilent, changent de voie, créent une dynamique .

Nos infrastructures peinent à suivre, et cela crée la congestion avec son lot de pollution et de pertes économiques pour le pays.

Slide 4 : Pourquoi les Solutions Classiques Échouent

Le problème, c'est que nos outils de gestion actuels ne sont pas adaptés à cette réalité.

Les feux sont à temps fixe : ils sont "aveugles", ils ne voient p

Et les logiciels de simulation qu'on importe sont calibrés pour d savent pas simuler correctement le comportement d'une nuée de mot

Il y a donc un manque criant d'outils technologiques adaptés à *n

Slide 5 : Questions et Objectifs de Recherche

L'objectif de ce mémoire était donc de combler ce vide.

Nous nous sommes posé trois questions simples :

1. Peut-on modéliser mathématiquement ce trafic mixte ?
2. Peut-on le simuler de manière réaliste sans avoir des capteurs
3. Une IA peut-elle faire mieux qu'un feu classique dans ce contexte ?

Nos hypothèses sont que le modèle ARZ est la bonne clé théorique, et que l'IA est la bonne méthode de contrôle.

Slide 6 : Évolution des Modèles de Trafic

Théoriquement, nous ne partons pas de rien.

Les modèles de trafic ont évolué depuis 1955. On est passé de mod un tuyau) à des modèles plus complexes qui prennent en compte l'i (ARZ).

Récemment, des modèles multi-classes sont apparus.

Notre travail a consisté à étendre ces modèles pour capturer spé agressives de notre trafic ouest-africain.

Slide 7 : Gap Scientifique Identifié

C'est ici que se situe notre apport scientifique.

Les modèles classiques sont trop simples pour nous.

Les gros simulateurs commerciaux (comme SUMO) sont des boîtes noi
réalités.

Nous proposons une approche intermédiaire : un modèle mathématiqu
et conçu dès le départ pour être piloté par une IA.

Slide 8 : Architecture Globale du Système

Voici l'architecture du système que nous avons développé. C'est un triptyque :

1. Le Modèle Physique (ARZ) : les équations qui décrivent le mouvement des feux.
2. Le Solveur Numérique : le code qui calcule l'évolution du trafic.
3. L'Agent IA : le cerveau qui contrôle les feux.

C'est l'ensemble de ces trois blocs qui constitue notre "Jumeau Numérique".

Slide 9 : Modèle ARZ Multi-Classes

Rapidement sur la physique : nous utilisons le modèle ARZ multi-classes.

Il est constitué de deux équations pour chaque classe de véhicule

1. La conservation de la masse : les véhicules ne disparaissent pas.
2. L'équation de la dynamique : elle décrit comment la propriété d'anticipation (λ) est transportée par le flot.

Le terme de droite est crucial : c'est la relaxation. Il dit que leur vitesse vers une vitesse d'équilibre $\lambda(V_e)$ qui dépend de l'autre véhicules).

Slide 10 : Schéma Numérique

Pour résoudre ces équations, nous avons dû implémenter un schéma numérique avancé, le WENO5.

C'est technique, mais c'est nécessaire. Le trafic crée des ondes
Des schémas plus simples auraient créé des erreurs de calcul ou d

WENO5 garantit que la simulation reste stable et précise, ce qui apprenne correctement.

Slide 11 : Cas d'Étude : Corridor Victoria Island

Pour tester tout cela, nous avons modélisé un corridor réel de Victoria Island à Lagos.

C'est un cas d'école : 3 carrefours, beaucoup de trafic, et un mélange de voitures.

Si notre système fonctionne ici, dans ces conditions difficiles,

Slide 12 : Environnement RL - API Gymnasium

Pour l'IA, nous avons utilisé l'apprentissage par renforcement.

L'agent est comme un policier au carrefour. Il regarde l'état du .

Il prend une action : laisser vert ou passer au rouge.

Et il reçoit une récompense : plus le trafic coule, plus il gagne essai-erreur à maximiser la fluidité globale.

Slide 13 : Clarification : Vers un Jumeau Numérique

Alors, une précision importante sur le terme "Jumeau Numérique".

On pourrait penser que c'est un mot un peu à la mode, peut-être un choix délibéré.

Notre stratégie a été de construire d'abord le **cerveau** du système. Nous avons là n'est pas une simple animation ; c'est le moteur de décision physique de notre trafic si particulier.

Ce moteur est prêt. Demain, nous pouvons le brancher à des capteurs et ce n'est pas juste un simulateur pour un article. C'est la **premier vrai système de gestion intelligente du trafic pour nos villes.**

Slide 14 : Sans Titre

Voici une démonstration en temps réel de notre jumeau numérique.

Ce que vous voyez ici, c'est le modèle ARZ multi-classes en action Island :

- Les **traînées orange** représentent les motos (70% du flux).
- Les **traînées bleues** représentent les voitures.
- Les **colonnes 3D** aux intersections sont les feux de signalisation couleur.

Observez comment le trafic ralentit naturellement aux intersections et se propage vers l'amont (effet accordéon).

Cette visualisation tourne en temps réel dans votre navigateur. C'est notre agent RL apprend à optimiser.

Slide 15 : Validation H1 : Tests de Riemann

Passons aux résultats. D'abord, la validation mathématique.

Nous avons soumis le modèle à des tests standards (les problèmes

Comme vous le voyez, le modèle gère parfaitement les ondes de choc d'aberration numérique. Le moteur est fiable.

Slide 16 : Validation H2 : Dynamique du Réseau

Ensuite, la validation systémique du jumeau numérique.

Ces instantanés montrent l'évolution temporelle du trafic sur le
On observe clairement la propagation des ondes de choc (zones rouges et bleues) dans le courant.

Le modèle reproduit les trois régimes de trafic : fluide, congesté et saturé.
Cela confirme que notre jumeau numérique capture bien le phénomène.

Slide 17 : Courbe d'Apprentissage de l'Agent RL

Monsieur le Président, honorables membres du Jury, maintenant que nous avons validé l'outil de simulation, voyons ce que l'IA a réussi à faire.

Voici la courbe d'apprentissage de l'agent.

Au début, il tâtonne. Mais après environ 50 000 itérations, il co
Il a appris à gérer le carrefour.

Slide 18 : Résultats Comparatifs

Concrètement, qu'est-ce que ça donne ?

Nous avons comparé l'IA à un feu à temps fixe bien réglé (méthode

En moyenne, l'IA améliore le flux de 4.2%.

Mais surtout, en situation de saturation (quand c'est la crise),

Slide 19 : Analyse du Gain

Ce gain de 4.2% mérite une analyse. Il peut paraître modeste, mais il est en réalité très significatif.

D'abord, nous nous comparons à une baseline déjà optimisée, la référence. Nous ne trichons pas en nous comparant à un feu mal ré-

Ensuite, notre simulateur est exigeant : il modélise l'inertie, l obtenu dans des conditions réalistes, pas dans un monde idéal.

Ce chiffre est donc honnête et robuste. Il représente des minutes milliers de personnes, chaque jour.

Slide 20 : Synthèse des Résultats

En synthèse :

Nous avons validé le modèle mathématique (H1).

Nous avons validé le réalisme du trafic simulé (H2).

Et nous avons montré que l'IA apporte un gain opérationnel, même

Slide 21 : Contributions

Ce travail apporte trois contributions :

1. Un modèle mathématique adapté à notre contexte (motos/voitures)
2. Une implémentation numérique performante et stable.
3. Une plateforme prête à l'emploi pour entraîner d'autres IA sur

Slide 22 : Limites et Perspectives

Bien sûr, tout n'est pas parfait.

La limite principale reste le manque de données réelles pour calibrer les paramètres.

Mais les perspectives sont là : on peut tester d'autres algorithmes sur un quartier, et à terme, connecter de vrais capteurs.

Slide 23 : Merci

Pour conclure, ce mémoire est une première pierre.

Il démontre qu'il est possible de construire ici, en Afrique, des qui répondent précisément à nos propres défis, au lieu de simplem nous correspondent pas.

C'est la preuve qu'une ingénierie locale et ambitieuse est non se nécessaire.

Nous vous remercions de votre attention et sommes maintenant à vo questions.

