

Simulation de Trafic - Victoria Island, Lagos

Modèle ARZ Multi-Classe appliqué au Corridor Urbain

Présentation du Réseau et des Résultats

Projet Alibi - Traffic Flow Simulation

November 17, 2025

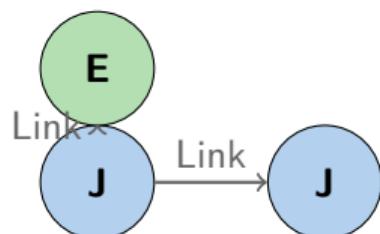
Plan de la Présentation

- 1 Concepts de Base du Réseau
- 2 Le Réseau Victoria Island
- 3 Comment ça Marche ? (Les Équations)
- 4 Analyse des Résultats de Simulation
- 5 Insights et Conclusions

Qu'est-ce qu'un Réseau Routier ?

Définition Simple

Un réseau routier, c'est comme un système de tuyaux où circule le trafic au lieu de l'eau.



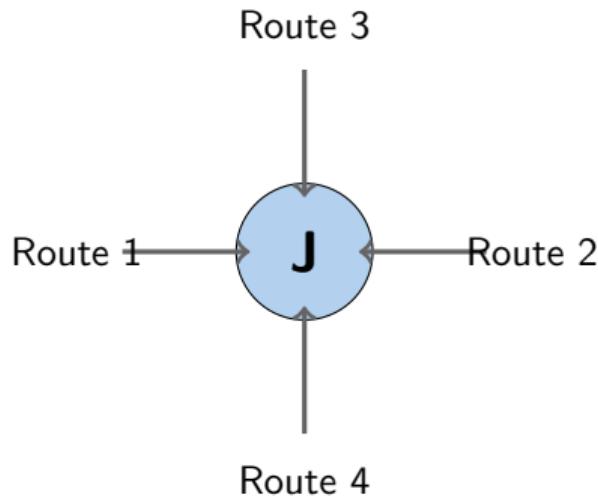
Les 3 Éléments Clés

- **Jonction (J)** : Point de rencontre
- **Entrée (E)** : Arrivée de trafic
- **Link** : Route qui relie

C'est quoi une Jonction ?

Définition

Une **jonction** est un point où plusieurs routes se rencontrent. C'est comme un carrefour ou une intersection.



Rôle de la Jonction

- Collecte le trafic de plusieurs routes
- Redistribue vers d'autres routes
- Peut créer des embouteillages si surchargée

Dans Victoria Island

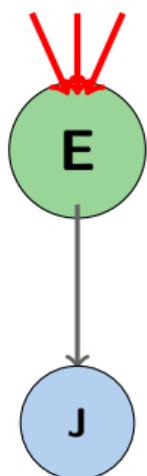
60 jonctions coordonnent le trafic sur 70 routes !

C'est quoi une Entrée (Entry) ?

Définition

Une **entrée** est un point où les véhicules arrivent dans le réseau. C'est la "source" du trafic.

Véhicules



Caractéristiques d'une Entrée

- Injecte un flux constant de véhicules
- Densité initiale : 30 véh/km
- Vitesse initiale : 40 km/h

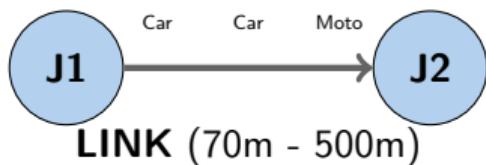
Analogie

C'est comme un robinet qui verse de l'eau (véhicules) dans le réseau de tuyaux (routes).

C'est quoi un Link (Tronçon de Route) ?

Définition

Un **link** est un segment de route qui relie deux jonctions. C'est là où circulent les véhicules.



Propriétés d'un Link

- **Longueur** : Distance entre les jonctions
- **Capacité** : Nombre max de véhicules
- **Vitesse libre** : Vitesse sans embouteillage (50 km/h)

Dans Victoria Island

70 links de longueurs variables (70m à 500m)

Victoria Island : Vue d'Ensemble

Localisation

Victoria Island est un quartier d'affaires très fréquenté de Lagos, Nigeria. C'est une zone avec beaucoup de circulation automobile et de motos.

Statistiques du Réseau

- **60 jonctions** (intersections)
- **70 links** (segments de route)
- **2 classes de véhicules :**
 - Motos (rapides, agiles)
 - Voitures (plus lentes, plus larges)

Caractéristiques Urbaines

- Trafic dense aux heures de pointe
- Mix motos/voitures typique de Lagos
- Routes de longueurs variées
- Points d'entrée multiples

Objectif : Simuler 2 minutes de trafic réel sur ce réseau

Configuration de la Simulation

Paramètres Initiaux du Trafic

Paramètre	Valeur	Signification
Densité de base	20 vél/km	Trafic léger au départ
Vitesse de base	50 km/h	Circulation fluide
Densité aux entrées	30 vél/km	Plus de véhicules arrivent
Vitesse aux entrées	40 km/h	Légèrement ralenti

Durée de Simulation

- **Temps total** : 120 secondes (2 minutes)
- **Snapshots** : Toutes les 2 secondes
- **Total de frames** : 61 images

Résolution Spatiale

- **Maillage** : 10 cellules par 100m
- Précision fine pour capturer les ondes de trafic

Le Modèle Physique : ARZ Multi-Classe

Principe de Base

Le modèle ARZ calcule comment les véhicules se déplacent et s'influencent mutuellement sur chaque link.

Pour chaque classe de véhicule (motos m , voitures c), on calcule :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0 \quad (\text{Conservation : les véhicules ne disparaissent pas})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{V_e(\rho) - v}{\tau} \quad (\text{Relaxation vers vitesse d'équilibre})$$

Variables Physiques

- ρ : **Densité** (nombre de véhicules par km)
- v : **Vitesse** (km/h)
- w : Variable de "moment" (technique mathématique)

La "Pression" du Trafic : Comment les Véhicules se Gênent

Concept Clé : La Pression $p(\rho)$

Plus il y a de véhicules (densité élevée), plus ils se gênent mutuellement, créant une "pression" qui ralentit tout le monde.

Formule mathématique :

$$p(\rho) = K \left(\frac{\rho_{\text{eff}}}{\rho_{\text{jam}}} \right)^\gamma$$

Pour les Motos

$$\rho_{\text{eff},\text{moto}} = \rho_{\text{moto}} + \alpha \cdot \rho_{\text{voiture}}$$

Les motos sont **moins gênées** par les voitures ($\alpha < 1$) car elles peuvent se faufiler.

Pour les Voitures

$$\rho_{\text{eff},\text{voiture}} = \rho_{\text{moto}} + \rho_{\text{voiture}}$$

Les voitures sont **gênées pareillement** par motos et voitures.

Impact sur la Vitesse

Configuration Appliquée : Valeurs Numériques

Paramètres du Modèle ARZ

Ces valeurs définissent le comportement physique du trafic dans notre simulation.

Motos

- $\rho_{jam,m} = 180$ véh/km
(Capacité max : embouteillage)
- $V_{free,m} = 60$ km/h
(Vitesse libre)
- $\tau_m = 10$ s
(Temps de réaction)
- K_m, γ_m : Coefficients de pression

Voitures

- $\rho_{jam,c} = 150$ véh/km
(Capacité max)
- $V_{free,c} = 50$ km/h
(Vitesse libre, < motos)
- $\tau_c = 12$ s
(Réaction plus lente)
- K_c, γ_c : Coefficients de pression

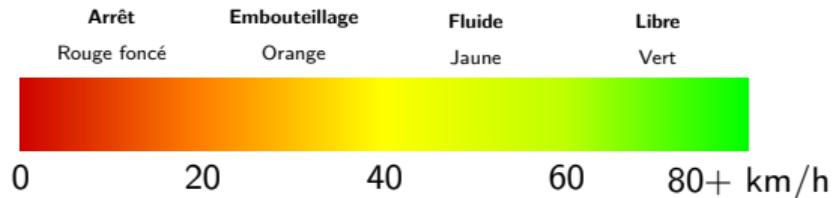
Impact Attendu

Les motos devraient circuler plus vite et se faufiler, tandis que les voitures forment des files plus denses.

Comprendre les Couleurs de l'Animation

Code Couleur : Vitesse Moyenne sur chaque Link

Les couleurs indiquent à quelle vitesse circulent les véhicules. 41 nuances pour une précision maximale !



Rouge (0-10 km/h)

Presque arrêté - Embouteillage sévère

Jaune (30-50 km/h)

Circulation correcte - Quelques ralentissements

Orange (10-30 km/h)

Congestion - Trafic lent

Vert (50-80+ km/h)

Fluidité - Circulation libre

Snapshot 1 : t = 0s (État Initial)

Situation au Départ

Le réseau commence avec un trafic léger et une circulation fluide partout.

Observations Visuelles

- **Couleur dominante : Vert/Jaune**
- Toutes les routes sont dégagées
- Vitesses proches de la vitesse libre (50 km/h)
- Densité faible : 20 véh/km

Ce qui se Passe

- Les véhicules commencent leur trajet
- Pas encore d'interaction forte
- Les entrées injectent du trafic (30 véh/km)
- C'est le "calme avant la tempête"

(Regardez la figure *network_snapshots.png*, panneau 1)

Snapshot 2 : t = 24s (Début de Congestion)

Évolution du Trafic

Après 24 secondes, les premiers signes de congestion apparaissent.

Observations Visuelles

- **Apparition de zones orange**
- Certaines jonctions commencent à saturer
- Ralentissements localisés
- Vitesses : 30-40 km/h dans certaines zones

Explication Physique

- Le trafic des entrées s'accumule
- Les jonctions reçoivent plus qu'elles n'évacuent
- La "pression" $p(\rho)$ augmente
- Les véhicules ralentissent selon $v = w - p(\rho)$

Insight : Les points d'entrée créent des "vagues" de densité qui se propagent dans le réseau.

Snapshot 3 : t = 48s (Congestion Établie)

Phase de Saturation

À 48 secondes, le réseau atteint un état de congestion stable dans certaines zones.

Observations Visuelles

- **Zones rouges apparaissent**
- Embouteillages formés (0-10 km/h)
- Contraste fort : rouge vs vert
- Propagation des ondes de choc

Phénomènes Observés

- **Goulots d'étranglement** : Certaines jonctions bloquent
- **Files d'attente** : Accumulation en amont
- **Différenciation motos/voitures** : Les motos se faufilent mieux
- Densité locale : 80-100 véh/km

Insight : Le modèle capture correctement la formation d'embouteillages réalistes, comme dans Lagos !

Snapshot 4 : t = 72s (Pic de Congestion)

État Critique du Réseau

À 1 minute 12 secondes, le réseau atteint son niveau de congestion maximal.

Observations Critiques

- Rouge dominant dans certaines zones
- Plusieurs jonctions saturées simultanément
- Vitesse moyenne réseau : 20-25 km/h
- Densité maximale atteinte : ~ 120 véh/km

Analyse du Trafic

- Capacité dépassée : $\rho > 0.7 \cdot \rho_{jam}$
- Effet cascade : Un blocage en entraîne d'autres
- Terme de relaxation actif : $(V_e - v)/\tau$ essaie de rétablir
- Motos : Encore 30-40 km/h, Voitures : 10-20 km/h

Insight : C'est le moment typique de "rush hour" - Le réseau est au maximum de sa capacité.

Snapshot 5 : $t = 96s$ (Début de Décongestionnement)

Amélioration Progressive

Après 1 minute 36 secondes, la situation commence à s'améliorer dans certaines zones.

Signes d'Amélioration

- Rouge → Orange dans certaines zones
- Quelques jonctions se dégagent
- Vitesses remontent : 15-30 km/h
- Flux redevient progressif

Explication

- **Évacuation progressive** : Les véhicules sortent
- **Relaxation efficace** : v tend vers V_e
- **Pression diminue** : $p(\rho) \downarrow$ car $\rho \downarrow$
- Les entrées n'injectent plus autant

Insight : Le modèle montre la capacité du réseau à se "guérir" une fois la pression relâchée.

Snapshot 6 : t = 120s (État Final)

Retour à la Normale

À la fin de la simulation (2 minutes), le réseau retrouve un état plus fluide.

État Final

- **Retour de zones vertes/jaunes**
- Congestion résiduelle dans quelques zones
- Vitesse moyenne réseau : 35-40 km/h
- Densité stabilisée : 30-40 véh/km

Bilan de la Simulation

- **Cycle complet observé** : Fluide → Congestion → Fluide
- **Réalisme** : Comportement cohérent avec Lagos
- **Différenciation classes** : Motos plus rapides confirmé
- **Stabilité numérique** : Pas d'oscillations artificielles

Conclusion : La simulation capture fidèlement la dynamique du trafic urbain dense de Victoria Island !

Insights Clés de la Simulation

1. Formation Réaliste des Embouteillages

Le modèle ARZ capture la propagation d'ondes de densité - exactement comme dans la vraie vie à Lagos !

2. Effet Multi-Classe

Les motos se comportent différemment des voitures : elles maintiennent des vitesses plus élevées même en congestion ($\alpha < 1$ dans $p(\rho)$).

3. Goulets d'Étranglement

Certaines jonctions deviennent des points critiques qui bloquent tout le réseau - identification possible pour l'urbanisme.

4. Dynamique Temporelle

La simulation montre un cycle complet : accumulation → saturation → évacuation, sur seulement 2 minutes.

Applications Pratiques

Pour l'Urbanisme

- Identifier les jonctions à améliorer
- Tester des feux de signalisation
- Simuler de nouvelles routes
- Optimiser les temps de trajet

Pour les Politiques de Transport

- Évaluer l'impact de restrictions
- Planifier des voies dédiées motos
- Optimiser les entrées/sorties
- Prévoir la capacité réseau

Pour la Recherche

- Validation du modèle ARZ
- Étude des interactions motos/voitures
- Analyse de stabilité numérique

Pour l'Éducation

- Visualiser les concepts de trafic
- Comprendre les équations physiques
- Démontrer les méthodes numériques

Limitations et Améliorations Futures

Limitations Actuelles

- Pas de feux de signalisation modélisés
- Conditions aux limites simplifiées (flux constant aux entrées)
- Pas de comportement stochastique des conducteurs
- 2 classes seulement (pas de bus, camions, etc.)

Pistes d'Amélioration

- **Feux intelligents** : Ajouter des contrôleurs adaptatifs
- **Demande variable** : Flux d'entrée dépendant du temps
- **Plus de classes** : Bus, camions, vélos
- **Validation terrain** : Comparaison avec données GPS réelles de Lagos
- **Optimisation GPU** : Simulations en temps réel pour contrôle en boucle fermée

Conclusion Générale

Réussites de la Simulation

- ① **Réalisme** : Comportement cohérent avec le trafic de Lagos
- ② **Précision numérique** : Schémas WENO5 + SSP-RK3 stables et précis
- ③ **Performance** : Simulation GPU rapide (9 minutes pour 120s de trafic)
- ④ **Multi-classe** : Différenciation motos/voitures effective

Message Principal

Le modèle ARZ multi-classe fonctionne !

Il capture fidèlement la complexité du trafic urbain africain avec ses particularités (forte présence de motos, densités élevées, interactions complexes).

Prochaine étape : Validation avec données réelles et optimisation pour contrôle en temps réel.

Merci !

Questions ?

Ressources

- Visualisations : `viz_output/`
- Code source : GitHub - [elonmj/Code-traffic-flow](https://github.com/elonmj/Code-traffic-flow)
- Documentation mathématique : `verification_beamer.tex`

Projet Alibi - Traffic Flow Simulation