L’IA dans les transports



Cathy Wu
Professeure associée | MIT LIDS, CEE et IDSS

Lectures préalables

- Panorama du secteur des transports face au changement climatique
  - Jaramillo, Paulina, et al. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of *Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Chapter 10: Transport). IPCC, 2023. (IPCC Executive Summary)*
- L'IA pour les transports
  - Transportation Research Board Executive Committee, Transforming Transportation: *Leveraging the Power of Artificial Intelligence, Digitalization, and Automation . Washington, D.C.: National Academies Press, 2026. doi: 10.17226/29350. (PDF)*
- L'IA pour le climat (volet transports)
  - Sandalow, David B. et al., Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Chapter 6: Road Transport), 2nd Ed. Academic Commons, 2024. (PDF)
    - D. Rolnick et al., "Tackling climate change with machine learning" (Section 2: Transportation), Jun. 2019. Available: http://arxiv.org/abs/1906.05433v2

Objectifs d’apprentissage

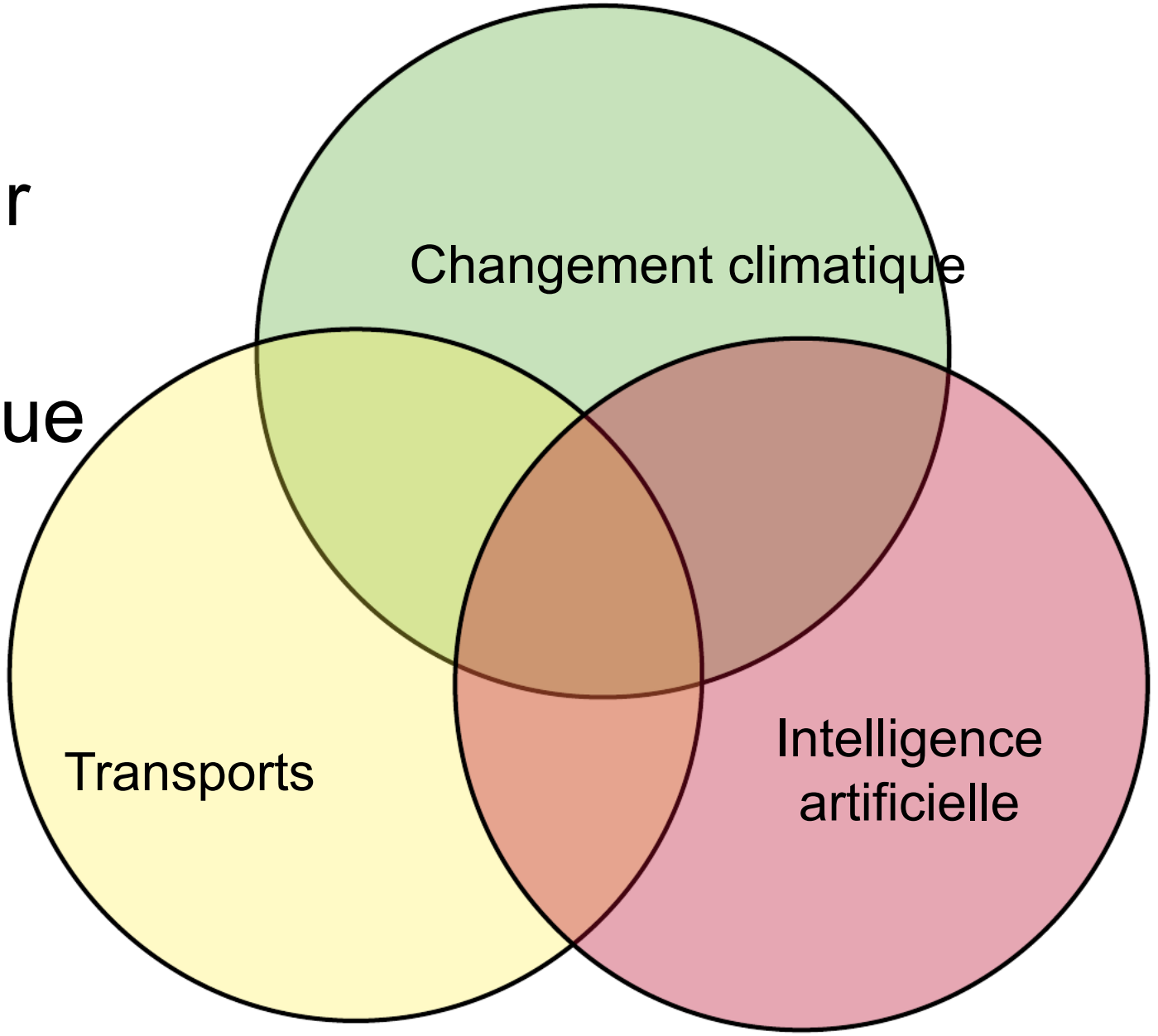
Ce cours vise à éclairer les questions suivantes :

- Pourquoi les transports sont-ils difficiles à décarboner ?
- Quelles interventions comptent pour l’atténuation ?
- Où l’IA aide-t-elle vraiment, et où est-elle une distraction ?
- Quels sont les risques éthiques et d’équité des stratégies d’atténuation ?

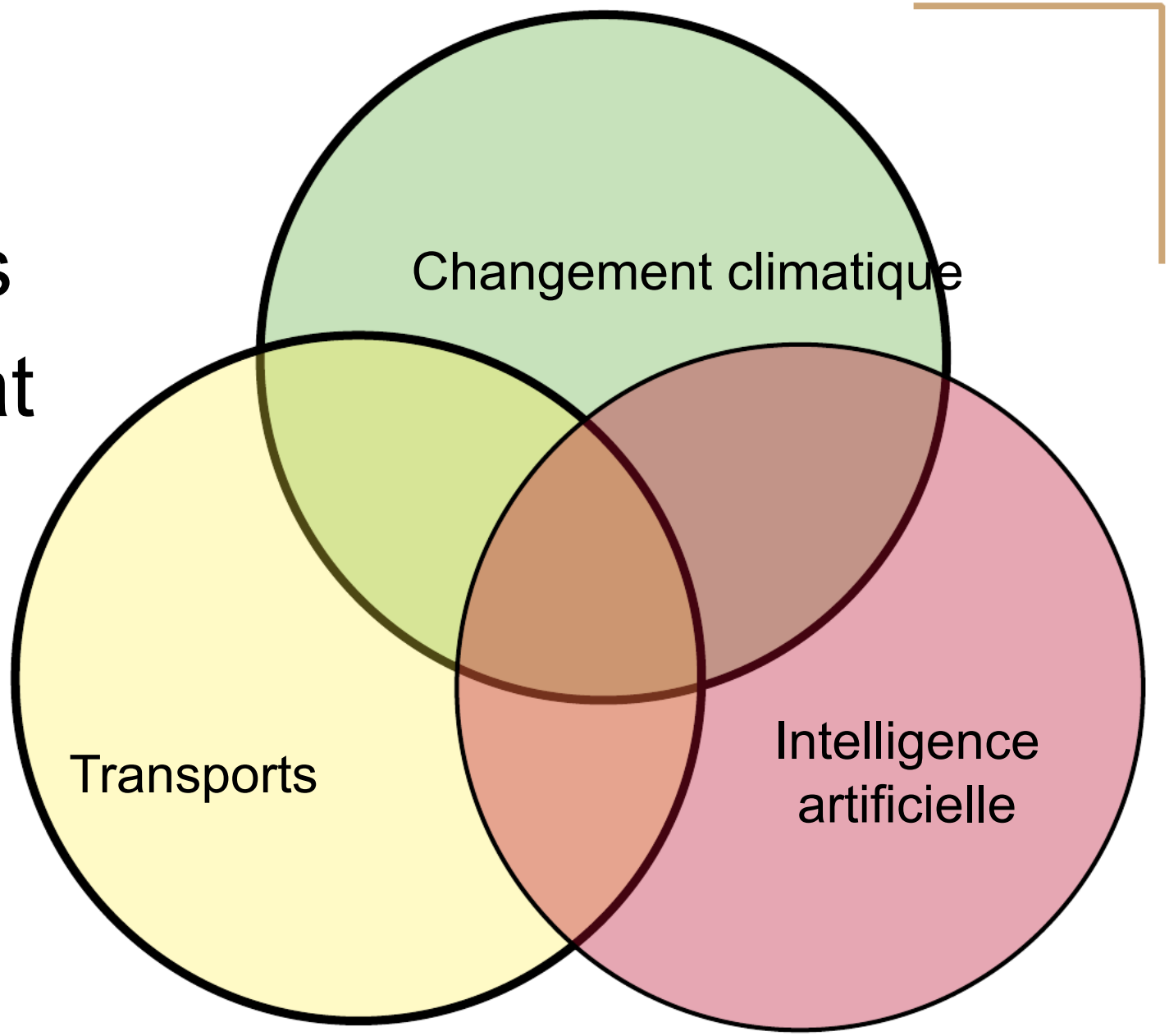
Plan

- Panorama du secteur
  - Émissions des transports : état des lieux et objectifs
  - Pourquoi les transports sont difficiles à décarboner
  - Cadre de décarbonation
  - Panorama de l'IA dans les transports
  - L'IA pour l'atténuation du changement climatique dans les transports
- Approfondissement
  - Améliorer : l'IA pour l'électrification
  - Transférer : l'IA pour le report modal
  - Améliorer : l'IA pour l'efficacité des transports
- Conclusion
  - Synthèse, points d'entrée et prochaines étapes

Panorama du secteur Transports, changement climatique et IA



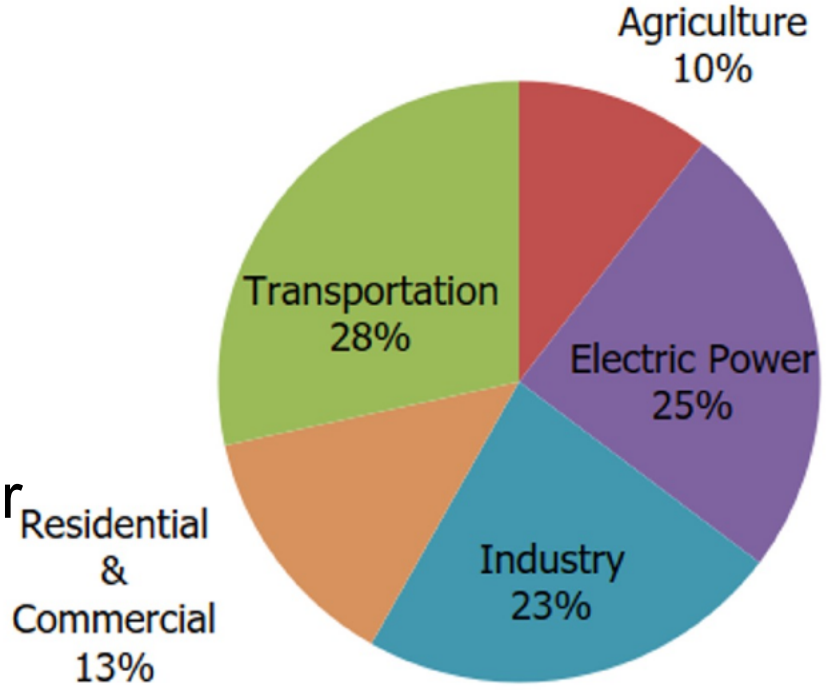
Émissions des transports : état des lieux et objectifs



États-Unis : état des lieux et objectifs en matière de GES

- Objectifs de l'Accord de Paris [1]
  - Réduction de 45 % par rapport à 2010 d'ici 2030
  - Zéro net d'ici 2050
- États-Unis [2]
  - Pic national des GES en 2005
  - Objectif : –50 à 52 % par rapport à 2005 d'ici 2030
  - 2025 : GES 18 % sous le niveau de 2005.
- Les transports sont le premier secteur émetteur de GES aux États-Unis [3]

Émissions totales de GES des États-Unis par secteur économique en 2022



Source : Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, US EPA, 2026.

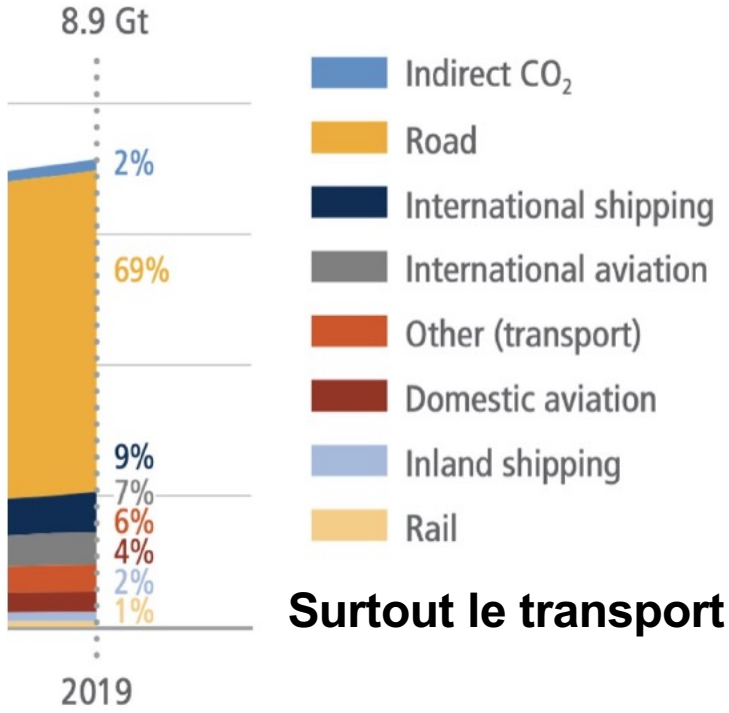
[1] Rogelj, J., D. et al, 2018: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 93-174, doi:10.1017/9781009157940.004.
[2] U.S. Department of State. (2021). The United States of America's Nationally Determined Contribution: Reducing Greenhouse Gases in the United States: A 2030 Emissions Target. Submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 2021.
[3] "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks." US EPA, 10 June 2026, url .

Contribution du secteur des transports au changement climatique



Objectif

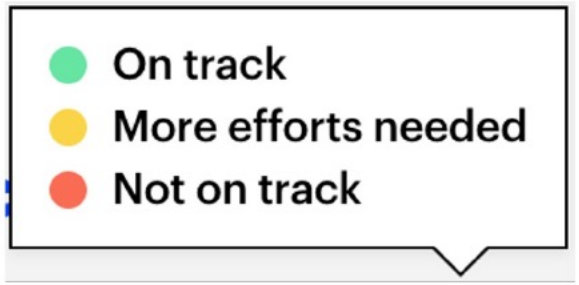
23 % des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie, en hausse



Surtout le transport routier

Jaramillo, P., et al., 2022: Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926.012

Où en sommes-nous ?



Tracking Transport

Not on track

In 2022, the rebound in passenger and cargo transport activity following the coronavirus (Covid-19) pandemic led to a 3% increase in transport CO_2 emissions compared to the previous year. Transport emissions grew at an annual average rate of 1.7% from 1990 to 2022, faster than any other end-use sector except for industry (which also grew at around 1.7%). To get on track with the Net Zero Emissions (NZE) by 2050 Scenario, CO_2 emissions from the transport sector must fall by more than 3% per year to 2030. Strong regulations and fiscal incentives, as well as considerable investment in infrastructure to enable low- and zero-emission vehicle operations, will be needed to achieve these emissions reductions.

- **Transport**
- **Cars and Vans**
- **Trucks and Buses**
- **Rail**
- **Aviation**
- **International Shipping**
- **Electric Vehicles**

Voir : rapport 2026

Tracking Transport. International Energy Agency (IEA), 2023

Émissions connexes aux transports (les définitions comptent)

- « Secteur des transports » = émissions d'exploitation
  - Émissions de GES à l'échappement
- Exclues : émissions connexes aux transports, y compris le secteur industriel (émissions intrinsèques)
  - Approvisionnement en carburant et électricité : extraction/raffinage du pétrole, production d'hydrogène, production d'électricité.
  - Cycle de vie des véhicules : fabrication, batteries, entretien, mise au rebut/recyclage.
  - Cycle de vie des infrastructures : routes, ponts, rail, aéroports, ports, béton, asphalte, acier.
  - Effets d'usage des sols : étalement, stationnement, trafic induit, trajets plus longs.
  - Effets du numérique/de l'automatisation : calcul, capteurs, centres de données, repositionnement à vide, trafic induit.

Pourquoi les transports sont difficiles à décarboner

De nombreux mécanismes d'inertie et de résistance :

- **La demande croît avec les revenus, l'urbanisation et le commerce en ligne ;**
- **Les déplacements sont contraints par l'usage des sols, le logement, l'emploi et la logistique**
- **Les actifs se renouvellent lentement (décennies) : véhicules, routes, dépôts, ports, bornes, réseaux**
- **Les décisions sont fragmentées entre ménages, entreprises, villes, fournisseurs d'énergie et États**
- **Bénéfices et préjudices sont inégalement répartis**
- **Les gains d'efficacité peuvent induire plus de déplacements, de kilomètres ou de trajets longs (paradoxe de Jevons)**

Les différents systèmes de transport ont des structures de décision différentes :

Facteur	**Transport de voyageurs**	**Fret / transport lourd**
Principal goulet	Usage des sols + offre de mobilité → coût/commodité → comportements	Densité énergétique + logistique → coût d'exploitation
Structure de décision	Des milliards de ménages et de voyageurs	Moins d'entreprises, flottes, chargeurs, transporteurs, ports
Voie d'électrification	Plus facile pour les trajets légers	Plus difficile pour le lourd et le long-courrier
Risque de demande induite	Déplacements moins chers/plus faciles → plus de km parcourus	Logistique/biens moins chers → plus de fret

La décarbonation n’est pas le seul objectif (multi-objectif)

Réfléchissez : ces objectifs sont-ils concurrents ou complémentaires ? Dans quelle mesure peuvent-ils converger ?

Objectifs des transports, sans ordre particulier :

- Décarbonation
- Accès
- Coût abordable
- Mobilité
- Sécurité
- Efficacité / coût
- Santé publique
- Confort / qualité de vie
- Qualité de l’air
- Sûreté
- Vie privée
- Résilience
- Sécurité énergétique
- Économie locale

Cadres de décarbonation

Grille 1 : cadre Éviter-Transférer-Améliorer (ASI)

Éviter : réduire les km parcourus

- urbanisme compact,
- télétravail,
- chaînage des trajets,
- réforme du stationnement,
- péage urbain,
- mutualisation du fret.

Transférer : reporter les trajets des modes les plus émetteurs vers les moins émetteurs

- planification multimodale et navigation (marche, vélo, rail, transports publics),
- conception de voirie partagée,
- fret intermodal,
- priorité aux véhicules à fort taux d'occupation,
- mobilité servicielle (MaaS).

Améliorer : réduire les émissions par kilomètre

- électrification,
- véhicules efficaces,
- écoconduite et anti-ralenti,
- gestion du trafic,
- programmes de mise au rebut des véhicules polluants,
- carburants moins carbonés et plus propres.

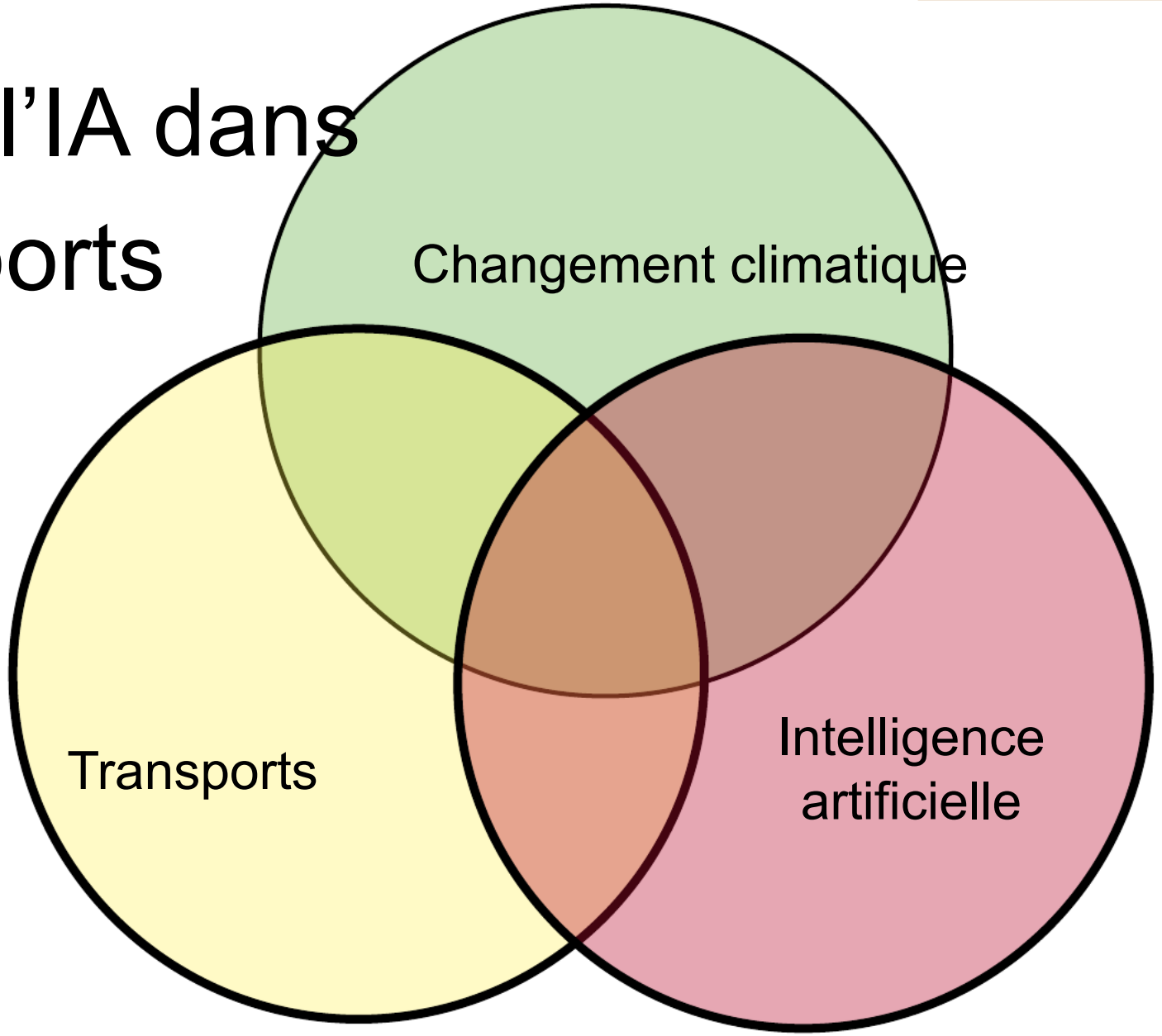
[1] P. Jaramillo and et al., "Transport," in Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2024. doi: 10.1017/9781009157926.012.

Grille 2 : une transition rapide, juste et équitable

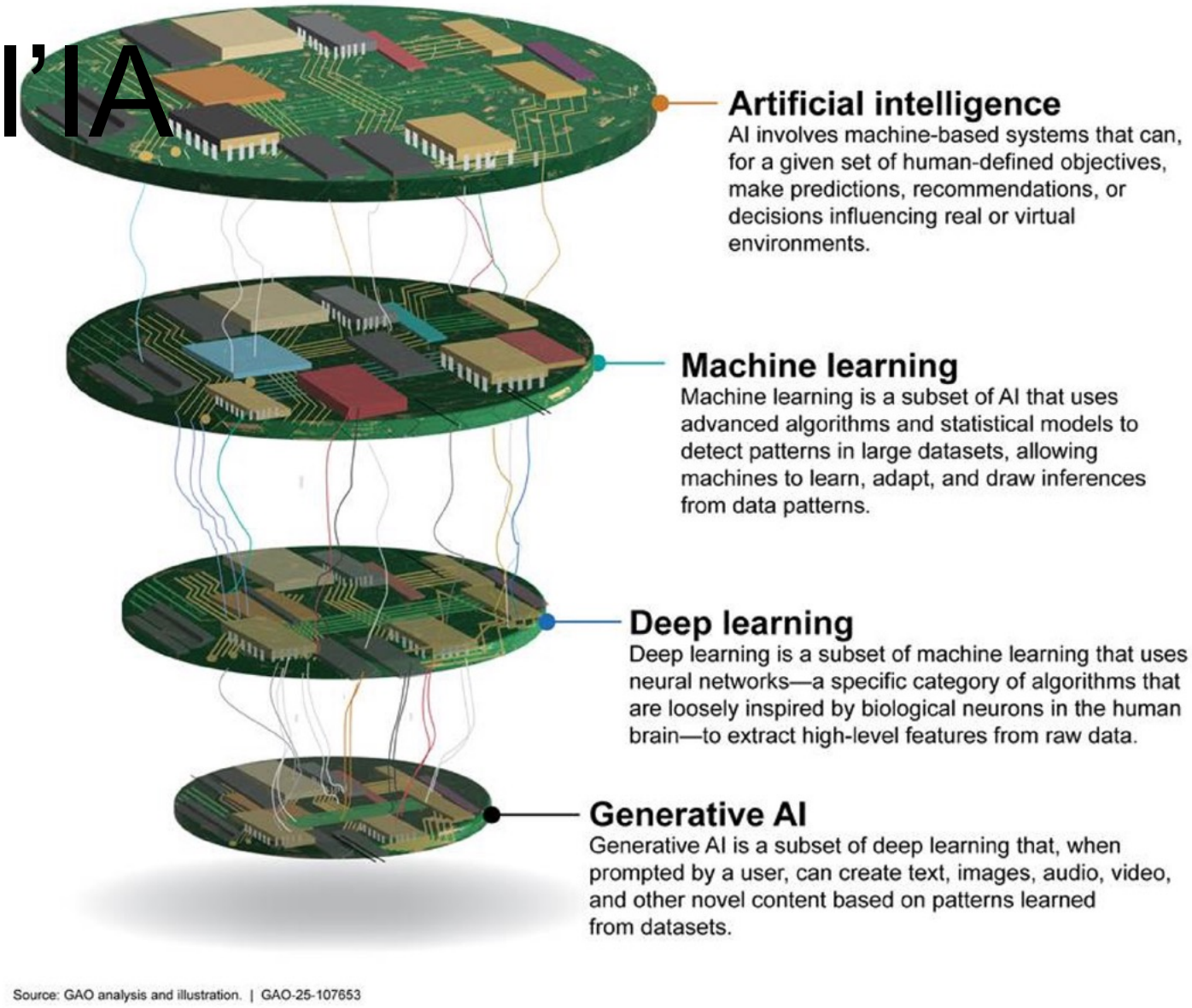


United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), "About Just Transition," 2025, unece.org/sustainable-energy/just-transition/about-just-transition.

Panorama de l’IA dans les transports



Définition de l'IA



[1] C. Wright and K. Walsh, "Artificial intelligence: Generative AI use and management at federal agencies," United States Government Accountability Office, Report to Congressional Requesters GAO-25-107653, 2025. [Online]. Available: https://files.gao.gov/reports/GAO-25-107653/index.html

Applications courantes de l'IA dans les transports



Fig. 1. Key applications of AI, ML, and DL in advanced transportation systems.

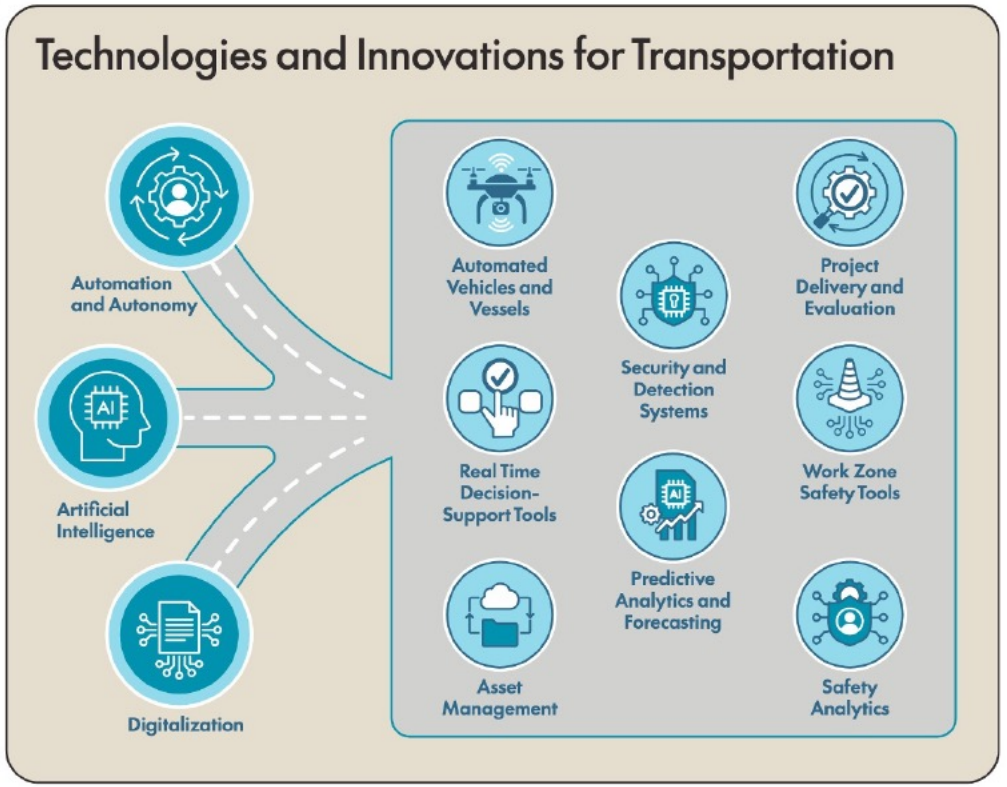


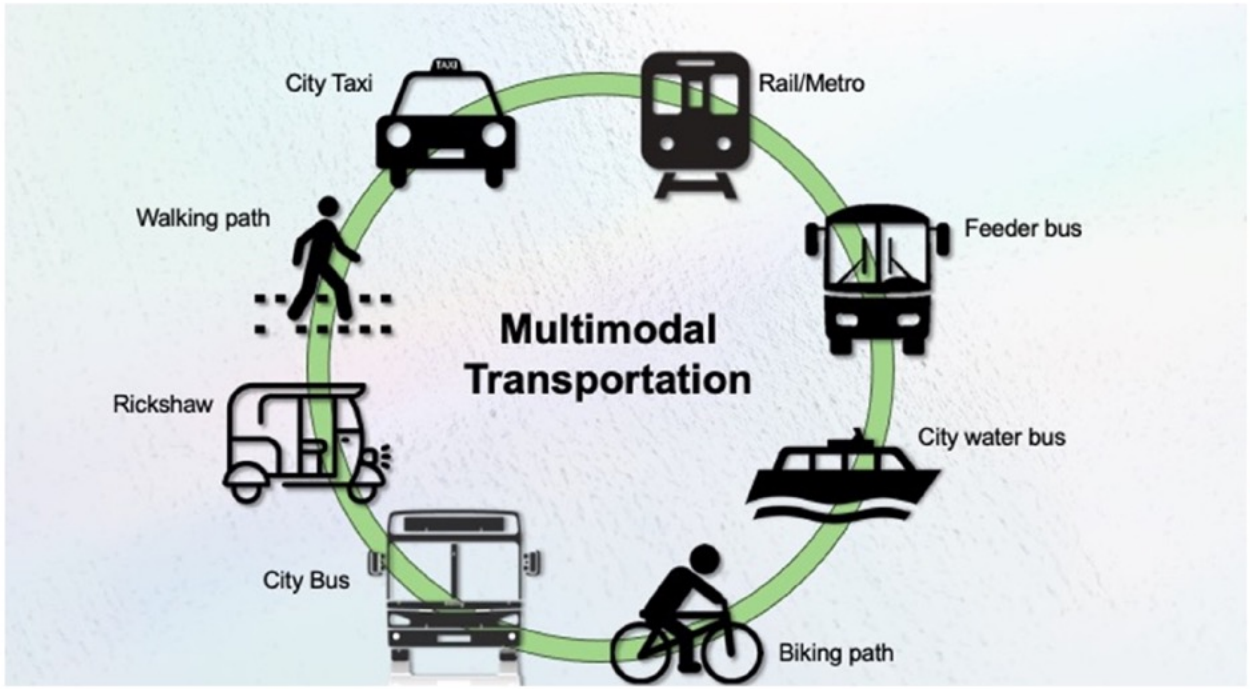
FIGURE 1. Artificial intelligence, advanced automation and autonomy, and digitalization are separately and jointly producing innovations in transportation.

[1] S. Saki and M. Soori, "Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced transportation systems, a review," Multimodal Transportation, vol. 5, no. 1, p. 100242, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.multra.2025.100242.
[2] Transportation Research Board Executive Committee, Transportation Research Board, and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transforming Transportation: Leveraging the Power of Artificial Intelligence, Digitalization, and Automation. Washington, D.C.: National Academies Press, 2026, p. 29350. doi: 10.17226/29350.

Modes de transport

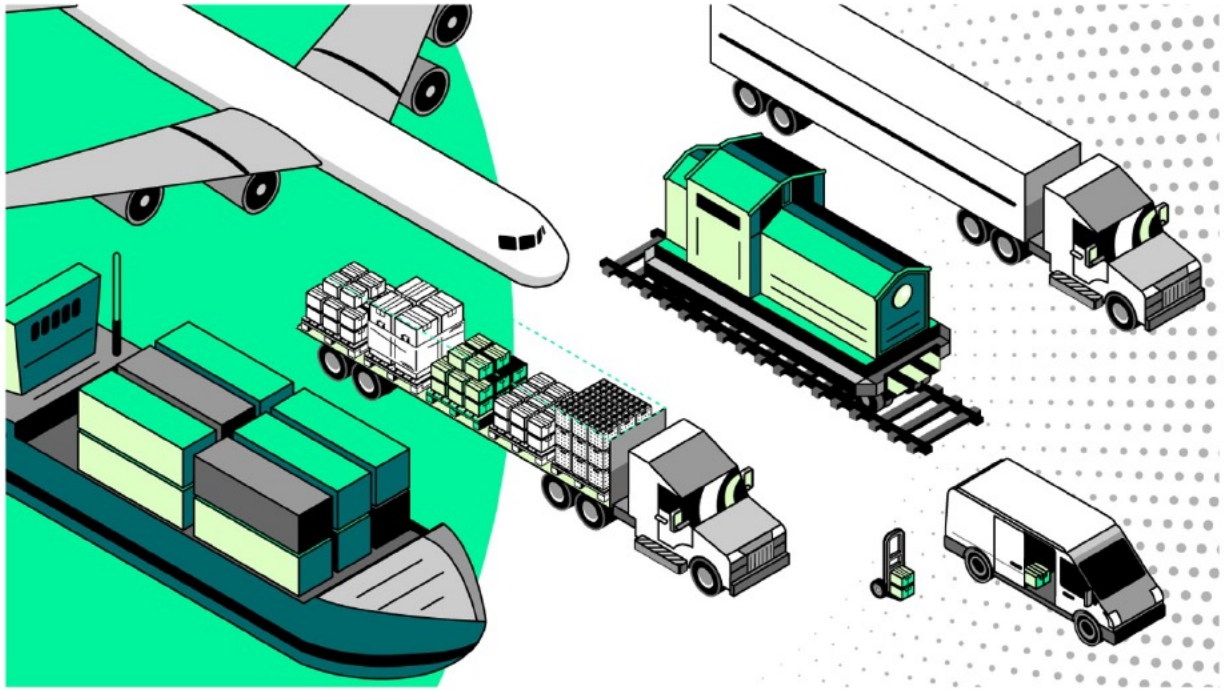
Camions et bus : 8 % des véhicules, mais 35 % de l’énergie du transport routier (AIE, 2026)

Transport de personnes



Source : Audirac, Ivonne, et al. "Transportation and Mobility Modes." 2024.

Transport de marchandises

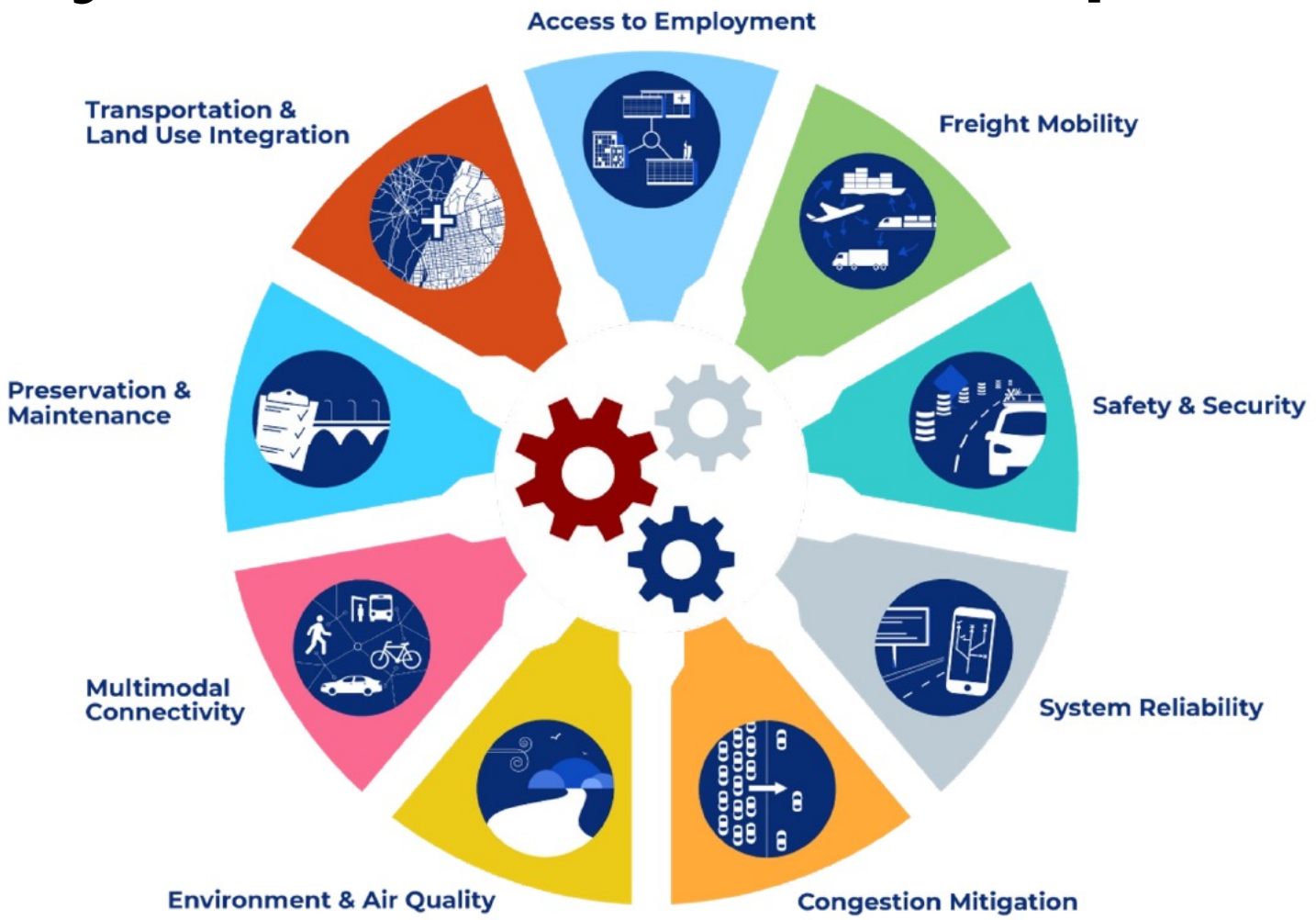


Source : RXO, 2026.

L’IA peut s’appliquer à différents modes de transport

Objectifs des systèmes de transport

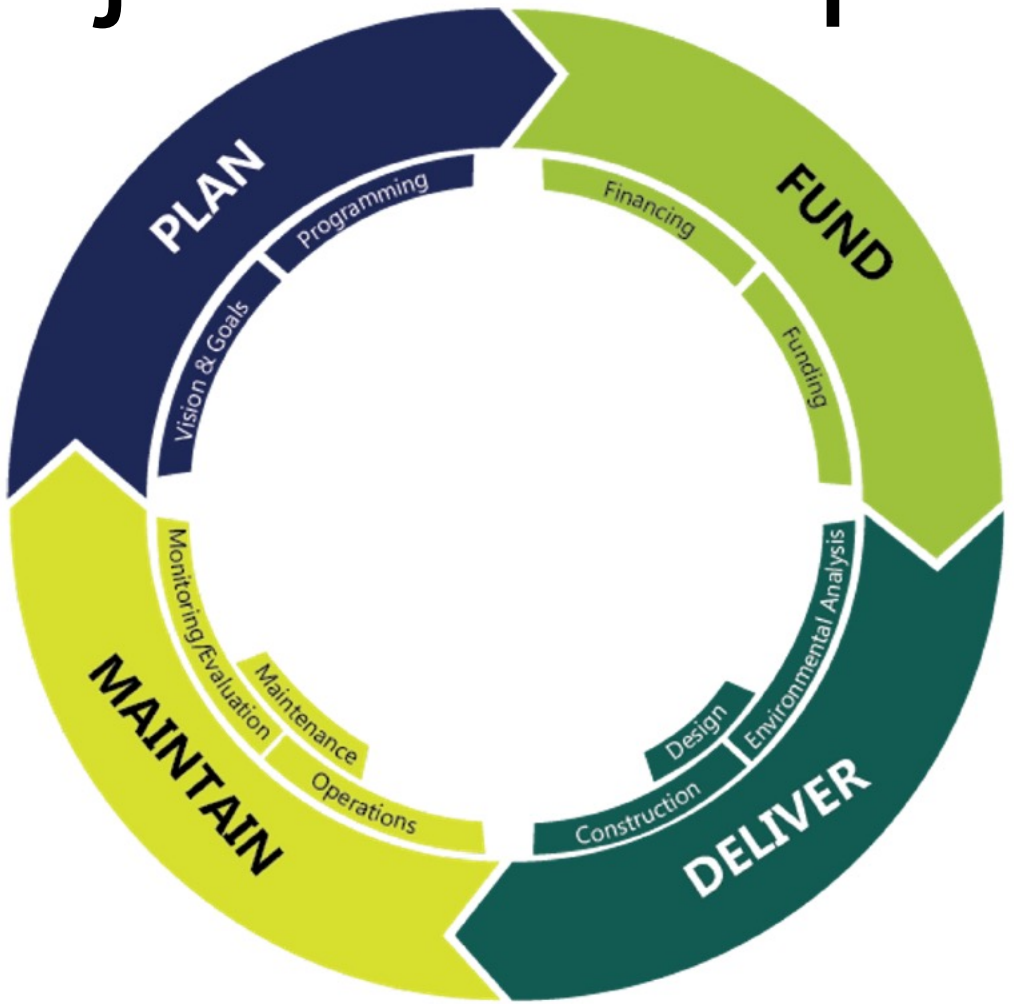
L’IA peut servir différents objectifs de transport



Source : Plan RVA. "What is Transportation Planning?", 2019.

Cycle de vie d’un projet de transport

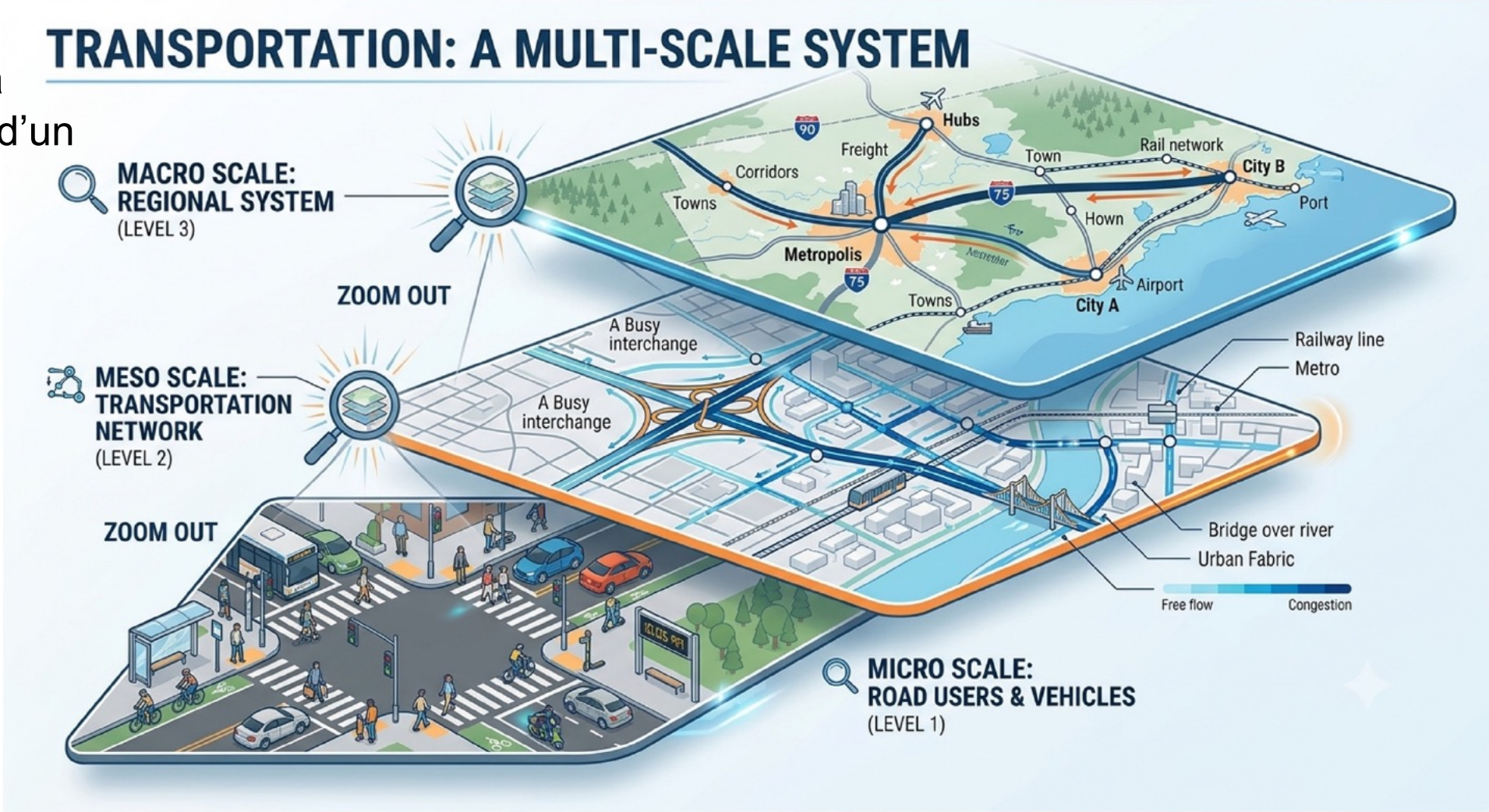
L’IA peut intervenir à différentes étapes du cycle de vie d’un projet de transport



Source : US DOT. "Transportation Planning and Project Delivery." 2023.

Les transports, un système multi-échelle

L'IA peut intervenir à différentes échelles d'un système de transport



Source : généré par Gemini 3 (Nano Banana), 13/07/2026.

IA et niveaux de maturité technologique (TRL)

- Compare la maturité des technologies
- Mis au point par la NASA dans les années 1970 pour les technologies d'exploration spatiale

Catégories de cas d'usage :

- Évaluer la maturité des technologies d'IA (LLM, RL profond, etc.)
- Utiliser l'IA pour évaluer la maturité d'autres technologies (VA, VE, etc.)



Source : TWI Global.

US DOT Federal Highway Administration, What Is A Trl? - Technology Readiness Level Guidebook , 2017, www.fhwa.dot.gov/publications/research/ear/17047/001.cfm.

Visibilité et décisions fragmentées

Défi : l'IA doit être appliquée du point de vue d'un groupe d'acteurs

Adapté de S. S. R. Bonthu, et al., 2022.

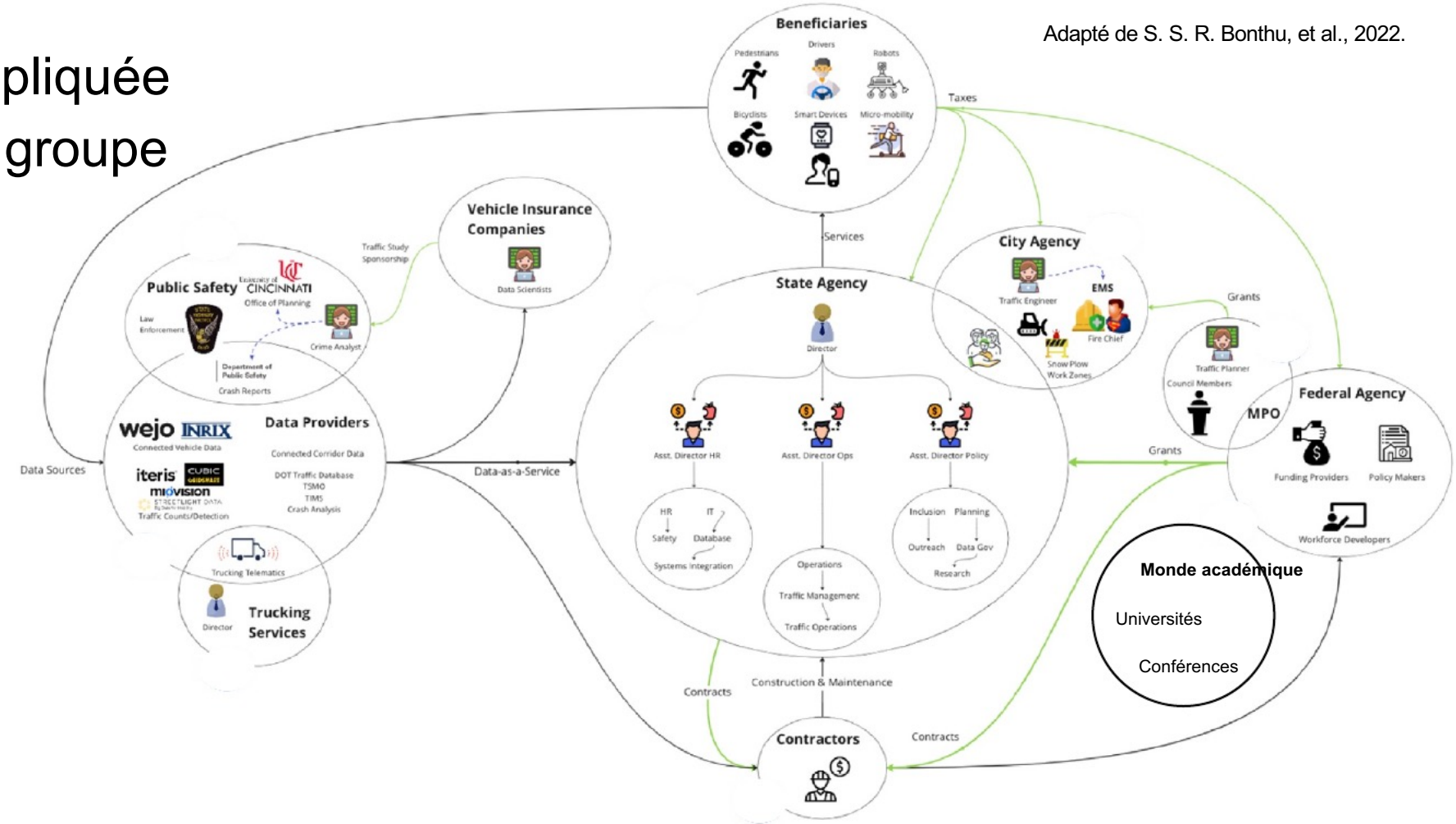


Figure 2. Complex transportation ecosystem with interview count highlighted across government agencies, data providers, and contractors.

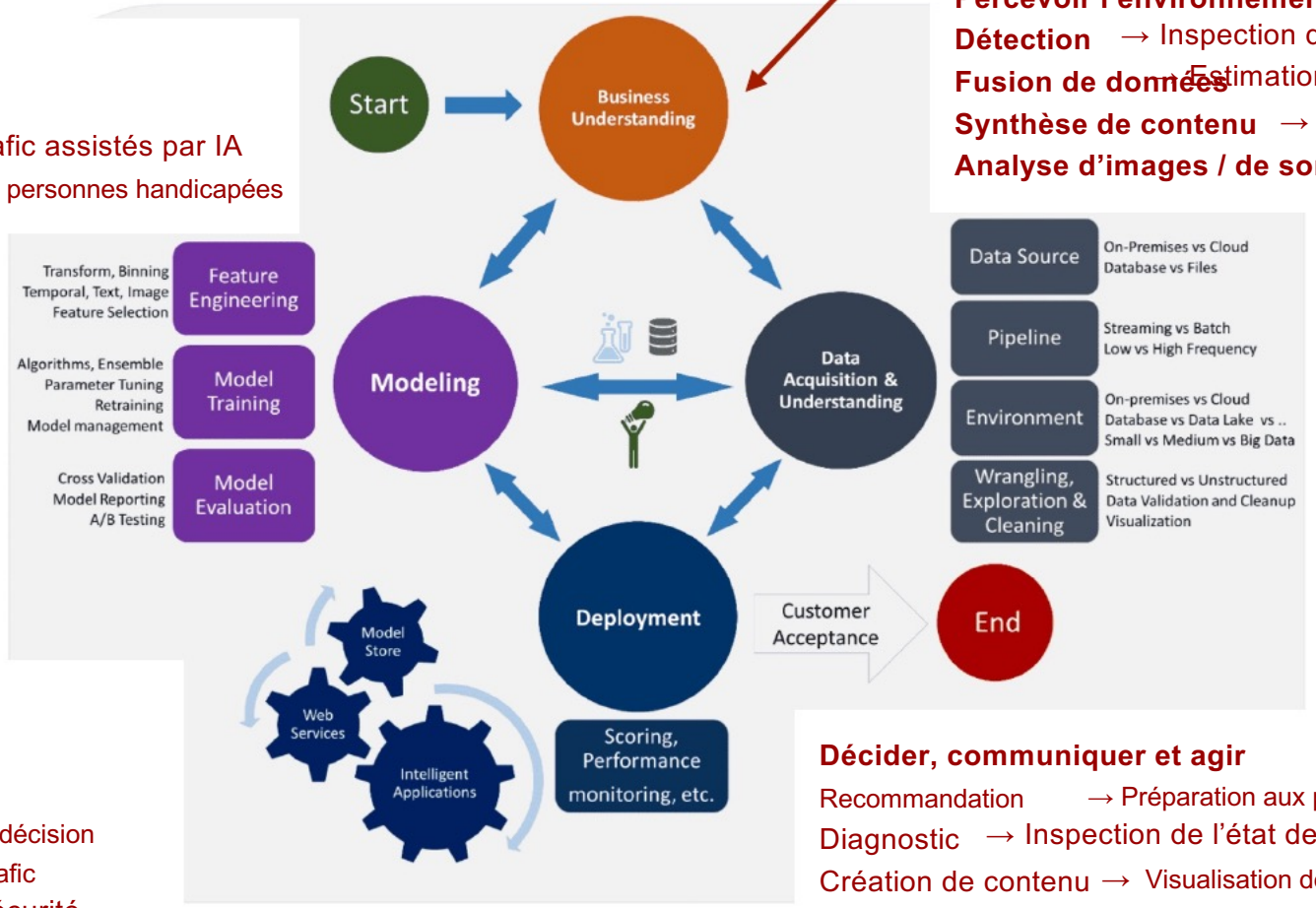
Science des données dans les transports

Choisissez un mode, une étape du cycle de vie, un indicateur de performance, une échelle, un TRL, un groupe d'acteurs, etc.

Raisonner et analyser l'information
Prédiction → Prévisions de déplacements
Simulation → Jumeaux numériques du trafic assistés par IA
Personnalisation → Planification de trajets pour les personnes handicapées

Percevoir l'environnement
Détection → Inspection de l'état des infrastructures
Fusion de données → Estimation de l'état du trafic
Synthèse de contenu → Analyse des avis du public
Analyse d'images / de sons → Analyse de sécurité

L'IA à différentes étapes d'une chaîne de science des données dans un cas d'usage transport



Source : Eric Mihail. "What is the Data Science Life Cycle?" 2026.

Apprendre de l'expérience
Optimisation → Itinéraires pour les secours
Découverte → Matériaux innovants
Recherche d'information → Outils d'aide à la décision
Amélioration des performances → Gestion du trafic
Surveillance → Caméras ou capteurs de sécurité

Décider, communiquer et agir
Recommandation → Préparation aux phénomènes météo extrêmes
Diagnostic → Inspection de l'état des infrastructures
Création de contenu → Visualisation des données de déplacement
Assistance numérique → Service client

[1] Transportation Research Board Executive Committee, Transportation Research Board, and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transforming Transportation: Leveraging the Power of Artificial Intelligence, Digitalization, and Automation. Washington, D.C.: National Academies Press, 2026, p. 29350. doi: 10.17226/29350.
[2] M. Vasudevan et al., "Identifying Real-World Transportation Applications Using Artificial Intelligence (AI)- Real-World AI Scenarios in Transportation for Possible Deployment," FHWA-JPO-20-810, Jul. 2020. Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/50752.

L’automatisation dans les transports :

- Automatisation des véhicules → voiture ou bus SAE de niveau 4
- Automatisation robotique → activités de maintenance
- Automatisation des processus → déclaration des accidents sur le terrain



Les transports publics se tournent vers la robotique | Source : Sandalow, David B. et al., 2024.



Robot mobile de nettoyage et de désinfection | Source : Fraunhofer IFAM, 2022.

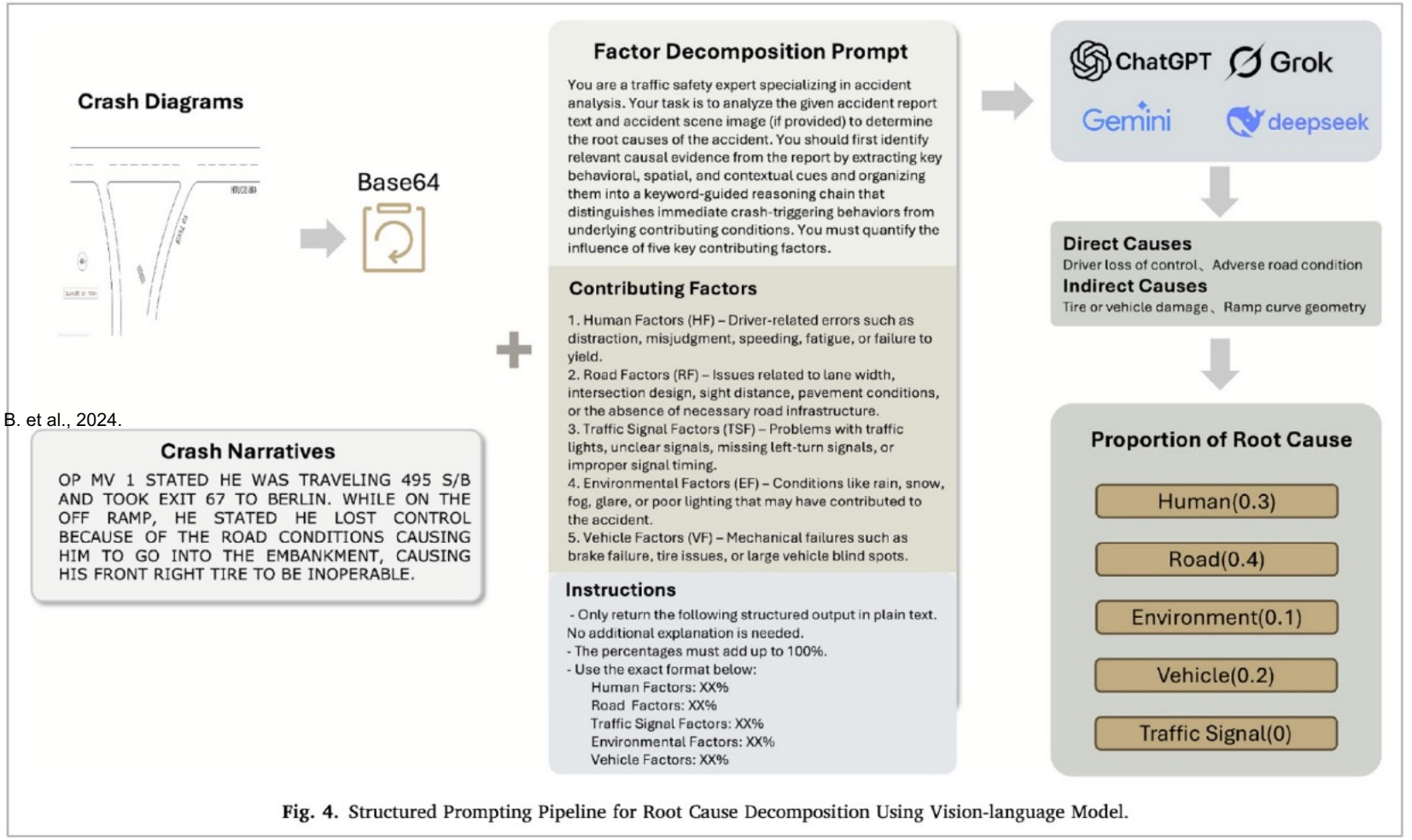
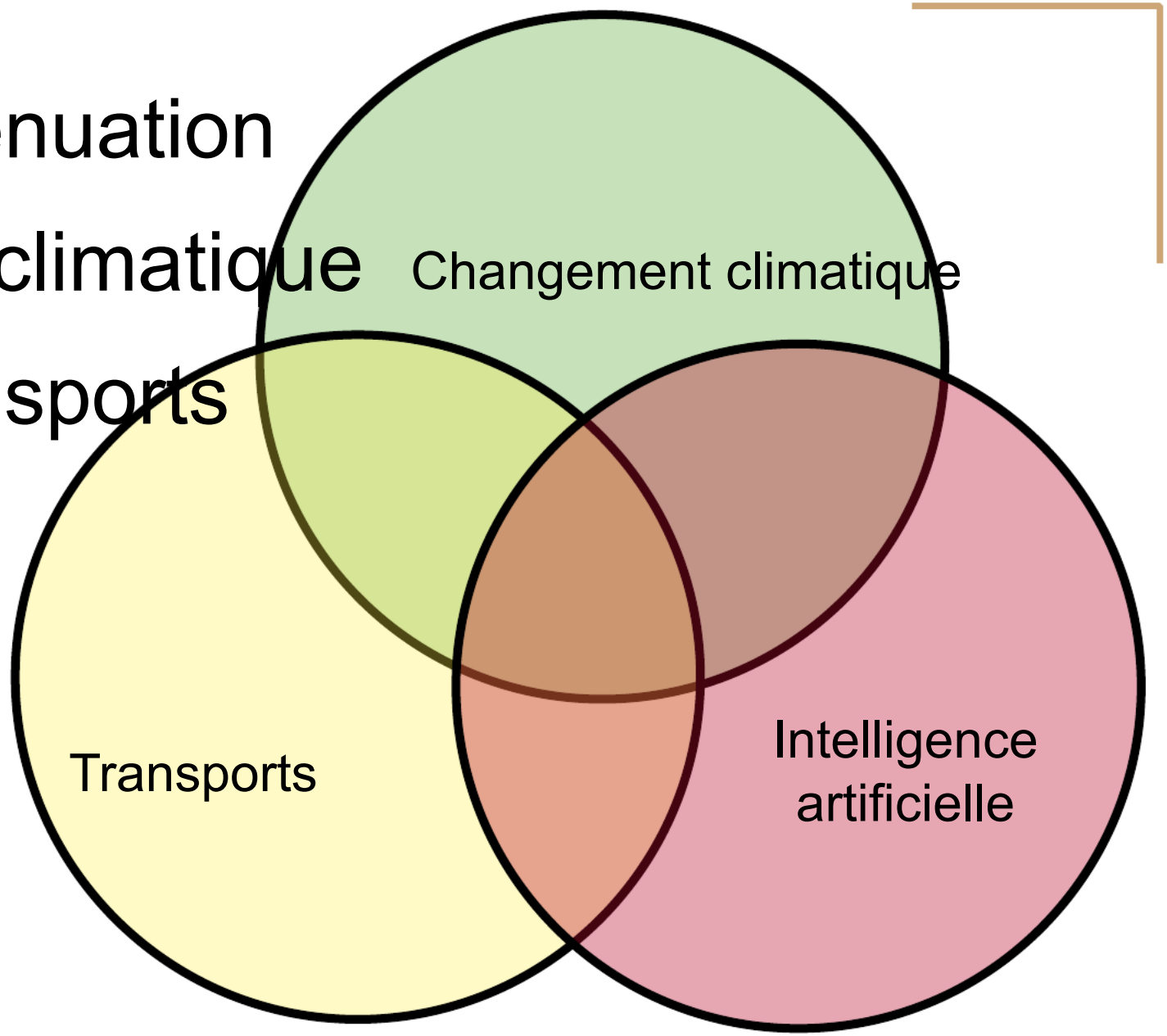


Fig. 4. Structured Prompting Pipeline for Root Cause Decomposition Using Vision-language Model.

Source : Wu, G., et al., “From crash reports to safer roads: a multimodal framework integrating vision-language models and streetview analysis,” 2026.

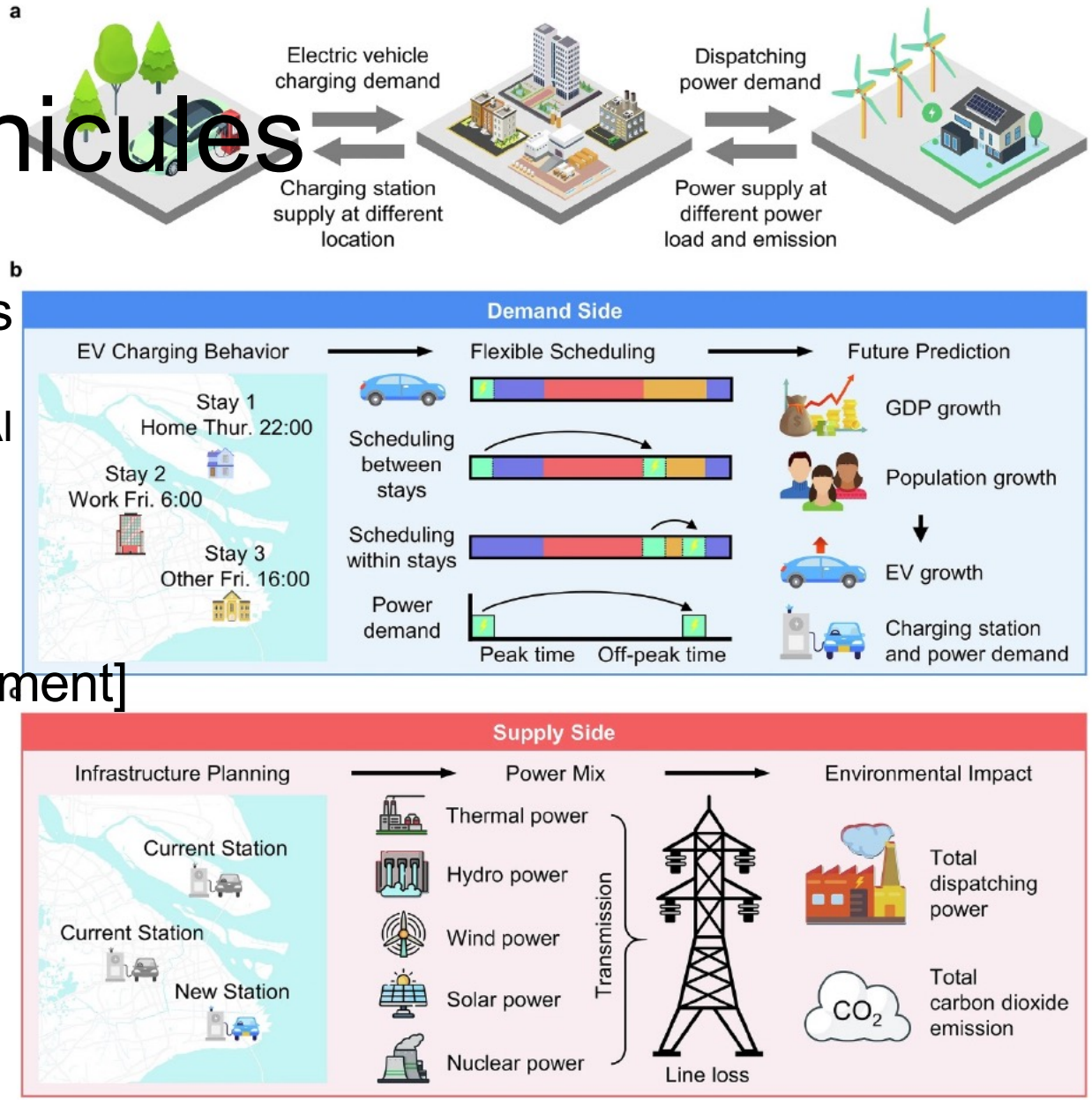
[1] Transportation Research Board Executive Committee, Transportation Research Board, and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transforming Transportation: Leveraging the Power of Artificial Intelligence, Digitalization, and Automation. Washington, D.C.: National Academies Press, 2026, p. 29350. doi: 10.17226/29350.

L’IA pour l’atténuation du changement climatique dans les transports



Électrification des véhicules

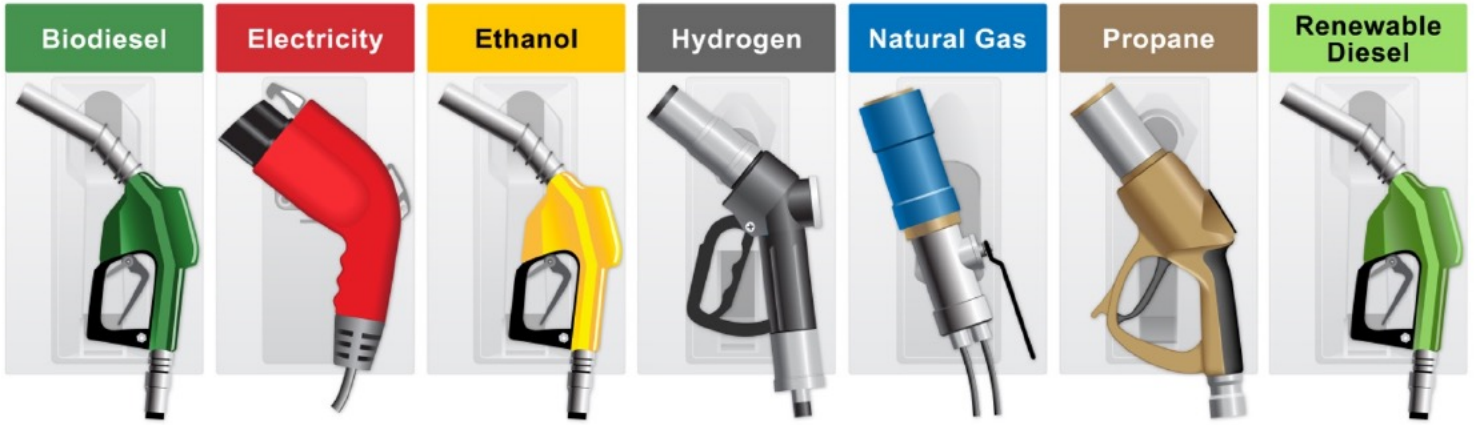
- Découverte de matériaux pour batteries et moteurs
  - Voir le cours de l'École d'été virtuelle CCAI « AI for Accelerated Materials Science » de Francisco Martin-Martinez, jeu. 13 août, 14 h–16 h UTC
- Charge/décharge assistée par IA pour la gestion de l'énergie [approfondissement]
  - Véhicule (gestion de la batterie)
  - Réseau (charge bidirectionnelle, V2G/V2H/V2B)
- Prévision/jumeaux numériques pour la santé, le recyclage et la réutilisation des batteries



[1] Sandalow, David B. et al., "Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition)," Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61.
[2] Liao, Chenlei, et al. "Optimizing electric vehicle charging patterns and infrastructure for grid decarbonization." Commun. Sustain., 2026, doi:10.1038/s44458-026-00037-7.

Carburants alternatifs

- Usages adaptés : poids lourds, longue distance, cas proches de l'aérien/maritime
- Carburants : biocarburants, carburants de synthèse, hydrogène, gaz naturel comprimé/liquéfié (GNC/GNL)
- Rôle de l'IA : optimiser la production de carburant, les catalyseurs, l'électrolyse, les piles à combustible, la combustion, la logistique et la planification des infrastructures
- Mise en garde : les biocarburants peuvent avoir des impacts via le changement d'usage des sols ; le gaz naturel est transitoire, pas zéro carbone



Source : US Department of Energy. "Federal Fleet Alternative Fuel Resources." Energy, 2026.

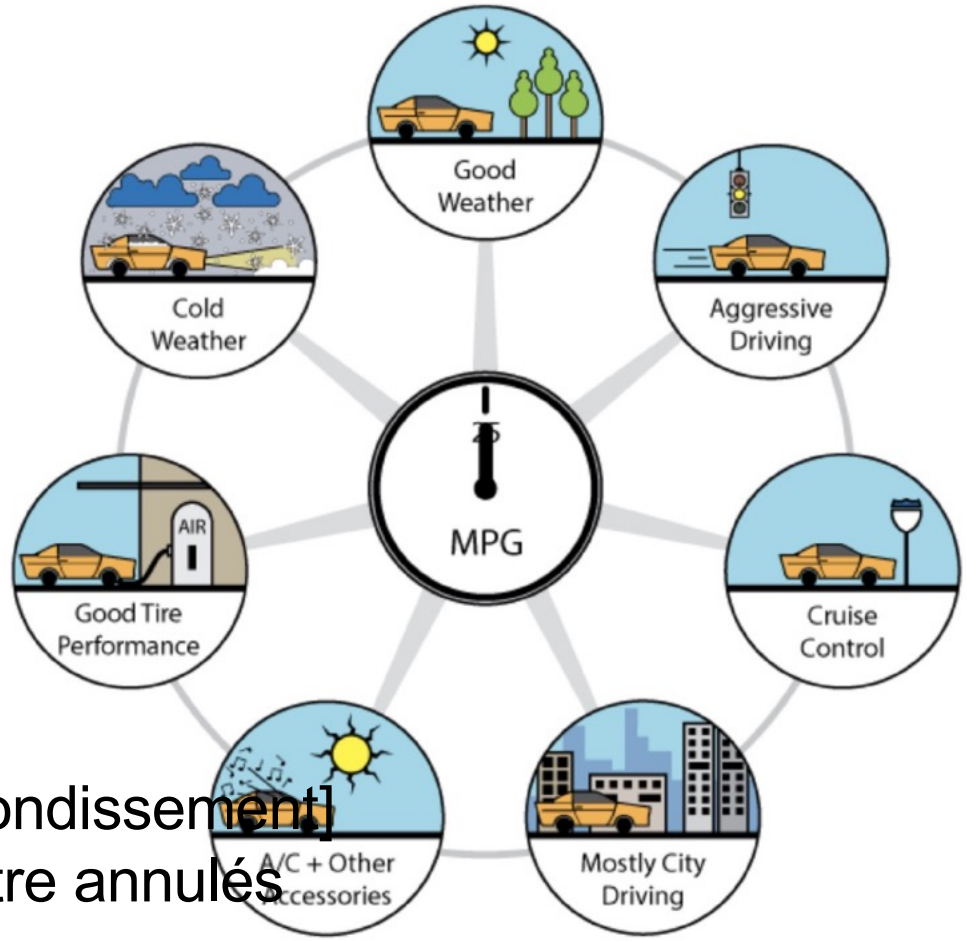
[1] Sandalow, David B. et al., "Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition)," Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61.

Efficacité des véhicules

L'IA pour la conception et l'exploitation

- En conception, l'IA peut aider :
  - moteurs à combustion
  - réduction du poids ou de la résistance au roulement
  - stratégies de gestion de l'énergie hybride
  - aérodynamique : modélisation de substitution et chargement inefficace des trains de fret
  - fabrication assistée par IA
- En exploitation, l'IA peut soutenir l'éco-conduite, un trafic plus fluide, la circulation en peloton et un contrôle énergétique [approfondissement]
- Mise en garde : les gains d'efficacité peuvent être annulés par le trafic induit, surtout avec les VA

Facteurs qui influent sur la consommation



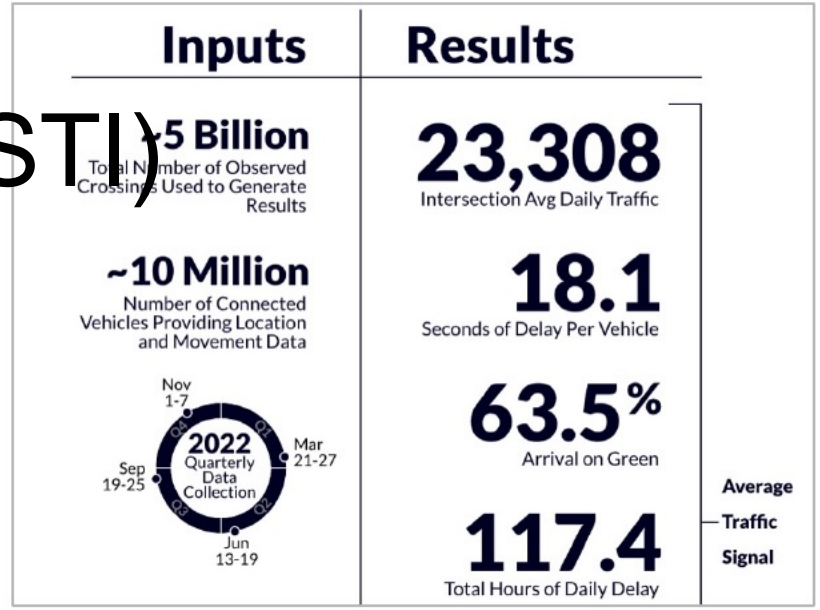
Source : US EPA, "Your Mileage May Vary," 2026.

[1] D. Rolnick et al., "Tackling climate change with machine learning," Jun. 2019, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1906.05433v2

Systèmes de transport intelligents (STI)

L'IA pour les infrastructures et l'exploitation

- Prévoir la congestion et les anomalies à partir de capteurs, GPS, caméras et données de trafic.
- Optimiser feux, itinéraires, gestion des incidents, horaires des transports publics et maintenance pour réduire retards, congestion, carburant et émissions.
- La simulation par IA peut évaluer l'implantation des bornes, les pistes cyclables, la politique de trafic et la demande d'énergie.
- Défis : infrastructures de données (capteurs, V2V/V2I, analyse en périphérie, intégration cloud)
- Mise en garde : capteurs et calcul ont des coûts en vie privée, biais et émissions.



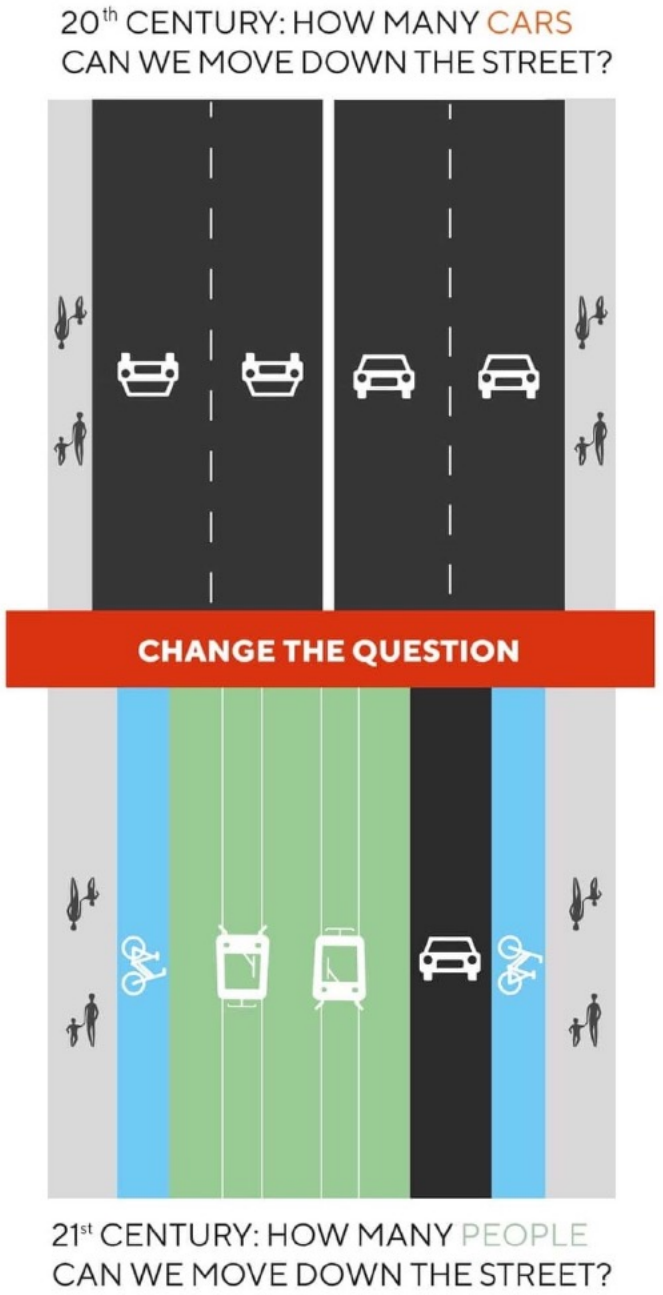


[1] Sandalow, David B. et al., "Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition)," Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61.
[2] INRIX U.S. Signals Scorecard: 2022 Annual Summary. INRIX. https://inrix.com/signals-scorecard/.

Report modal

L’IA peut faciliter le choix des modes bas carbone

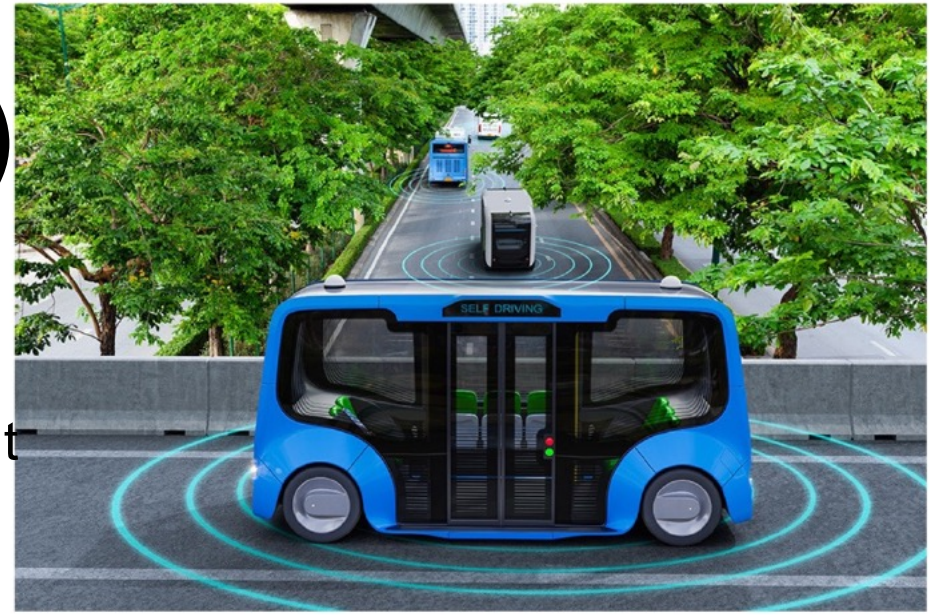
- Planification des services et du système
  - a. Planification du transport public : prédire la demande
  - b. Planification multimodale : intégrer marche, vélo, transports publics, rail, mobilité partagée, transports publics autonomes et micromobilité [approfondissement]
- Exploitation et maintenance
  - **a. Maintenance prédictive et prédiction des heures d’arrivée pour** améliorer la fiabilité
  - b. Itinéraires, tarification et recommandations pour reporter les trajets.



Source : Copenhagenize Design Company/Mikael Colville-Andersen, 2018.

[1] Sandalow, David B. et al., “Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition),” Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61.

Véhicules autonomes (VA)



Promesse climatique ou risque de rebond ?

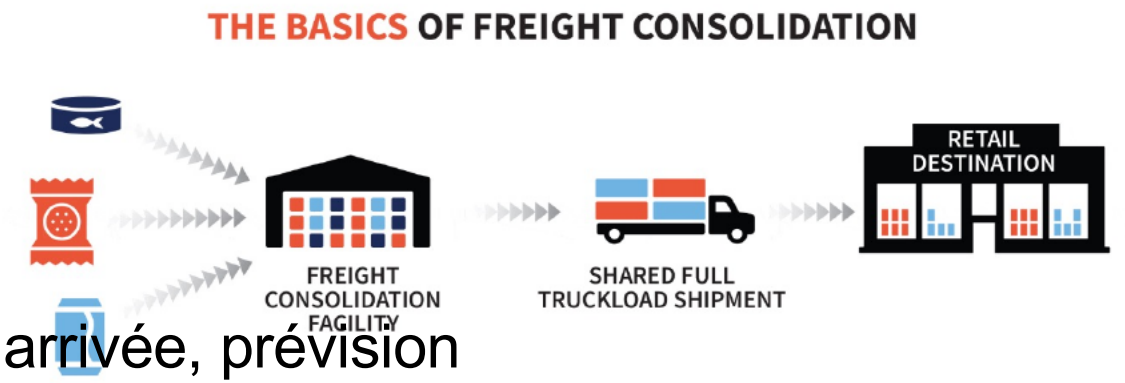
- Atouts : écoconduite, circulation en peloton, stationnement intelligent, trafic plus fluide, flottes électriques partagées, desserte du premier/dernier kilomètre.
- Risque : des déplacements moins chers/plus faciles augmentent les km.
- Risque : les VA remplacent la marche, le vélo et les transports publics.
- Meilleur scénario climatique : électriques + partagés + **complémentaires des transports publics + encadrés.**
  - Jusqu'ici, les usagers ne choisissent pas le partage
- En résumé : les VA ne sont pas intrinsèquement bons pour le climat.

[1] Sandalow, David B. et al., "Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition)," Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61.

Optimisation des itinéraires et mutualisation du fret

Un cas d'usage IA + RO à fort levier→ moins de km à vide, véhicules mieux remplis

- La mutualisation regroupe des envois partiels → moins de trajets
- De meilleurs itinéraires réduisent les retours à vide, détours, ralentis et pertes de temps d'arrêt [approfondissement]
- Cas d'usage de l'IA : prédiction des heures d'arrivée, prévision de la demande, prédiction des perturbations, regroupement des fournisseurs, éco-itinéraires, itinéraires dynamiques, accélération de l'optimisation et appui aux enchères de fret



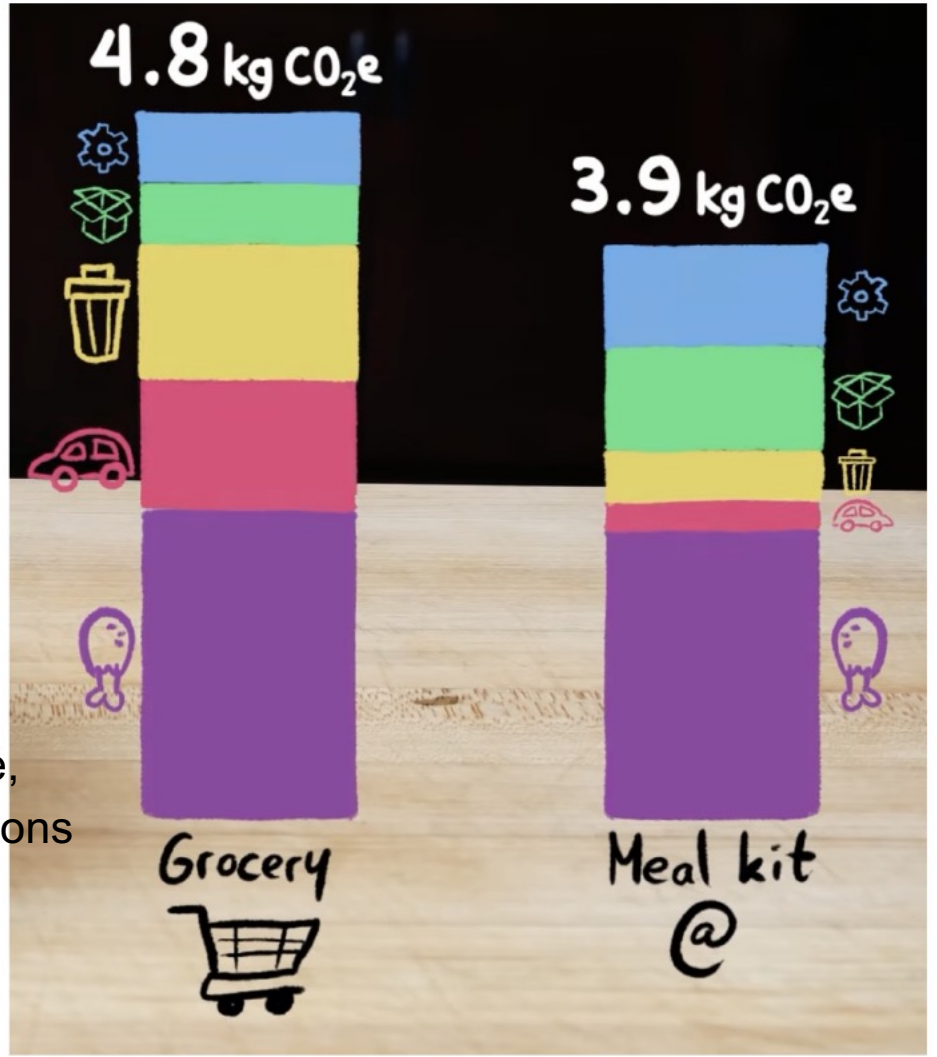
Source : Zipline Logistics, 2019.

[1] D. Rolnick et al., "Tackling climate change with machine learning," Jun. 2019, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1906.05433v2
[2] World Economic Forum, "Intelligent Transport, Greener Future: AI as a Catalyst to Decarbonize Global Logistics." Jan. 2025.

Solutions d’immobilité

L’IA pour les stratégies « Éviter » : réduire le besoin de se déplacer

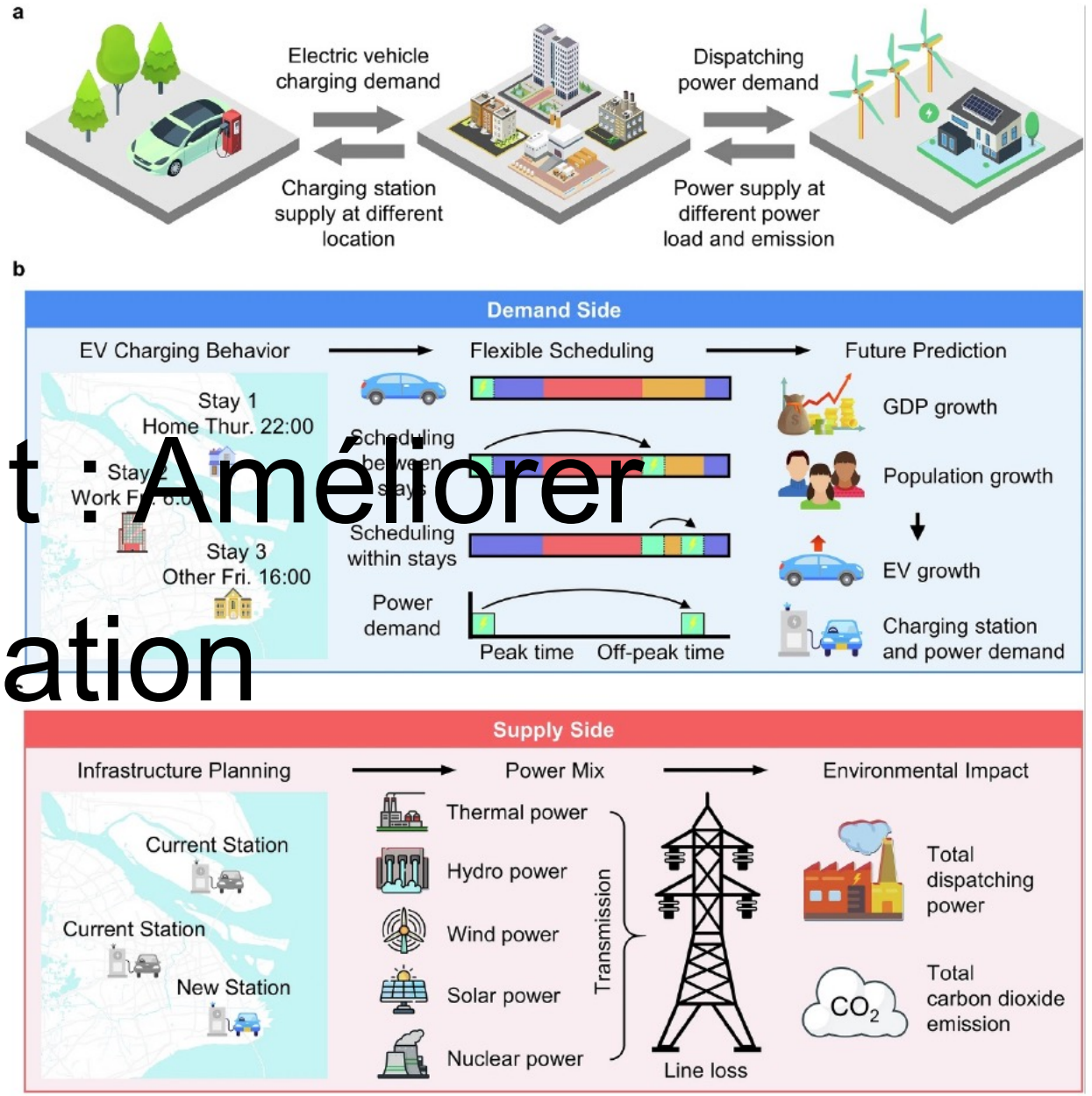
- La téléprésence peut remplacer certains trajets domicile-travail et déplacements professionnels
- Les modèles d’accessibilité repèrent où les besoins quotidiens sont accessibles sans voiture
- Les plateformes de livraison peuvent mutualiser les trajets
- Rôle de l’IA : prédiction de la demande, cartographie de l’accessibilité, regroupement, itinéraires et planification tenant compte des émissions
- Mise en garde : le temps gagné et la commodité peuvent entraîner plus de trajets, de livraisons ou des trajets plus longs



Les kits repas peuvent réduire les émissions quand la livraison remplace les trajets d’achat individuels. Source : MinuteFood, 2023.

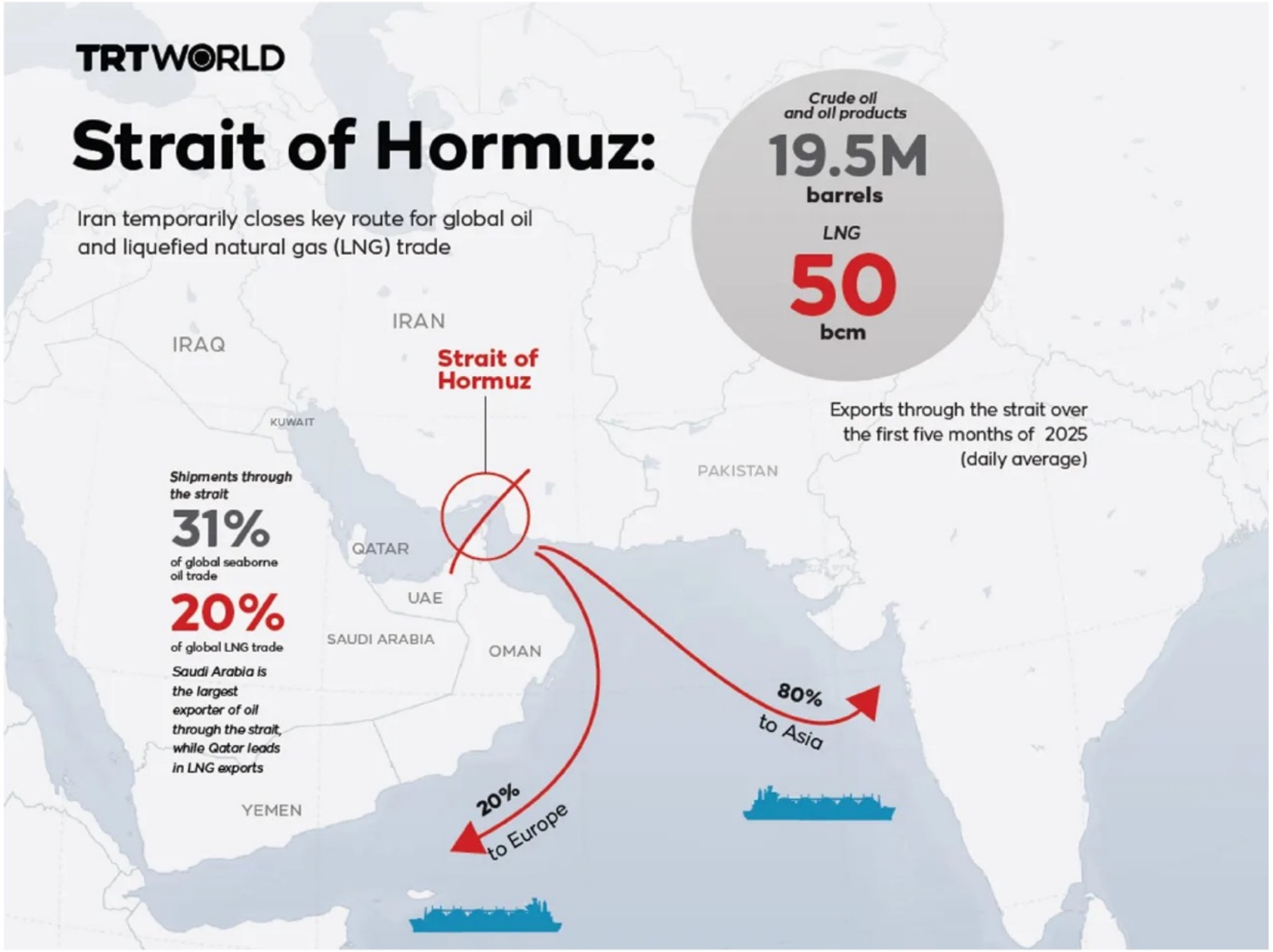
[1] P. Jaramillo and et al., “Transport,” in Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2024. doi: 10.1017/9781009157926.012.
[2] A. Nikolaeva, Y.-T. Lin, S. Nello-Deakin, O. Rubin, and K. C. von Schönfeld, “Living without commuting: experiences of a less mobile life under COVID-19,” Mobilities, vol. 18, no. 1, pp. 1–20, Jan. 2023, doi: 10.1080/17450101.2022.2072231.

Approfondissement : Améliorer L'IA pour l'électrification



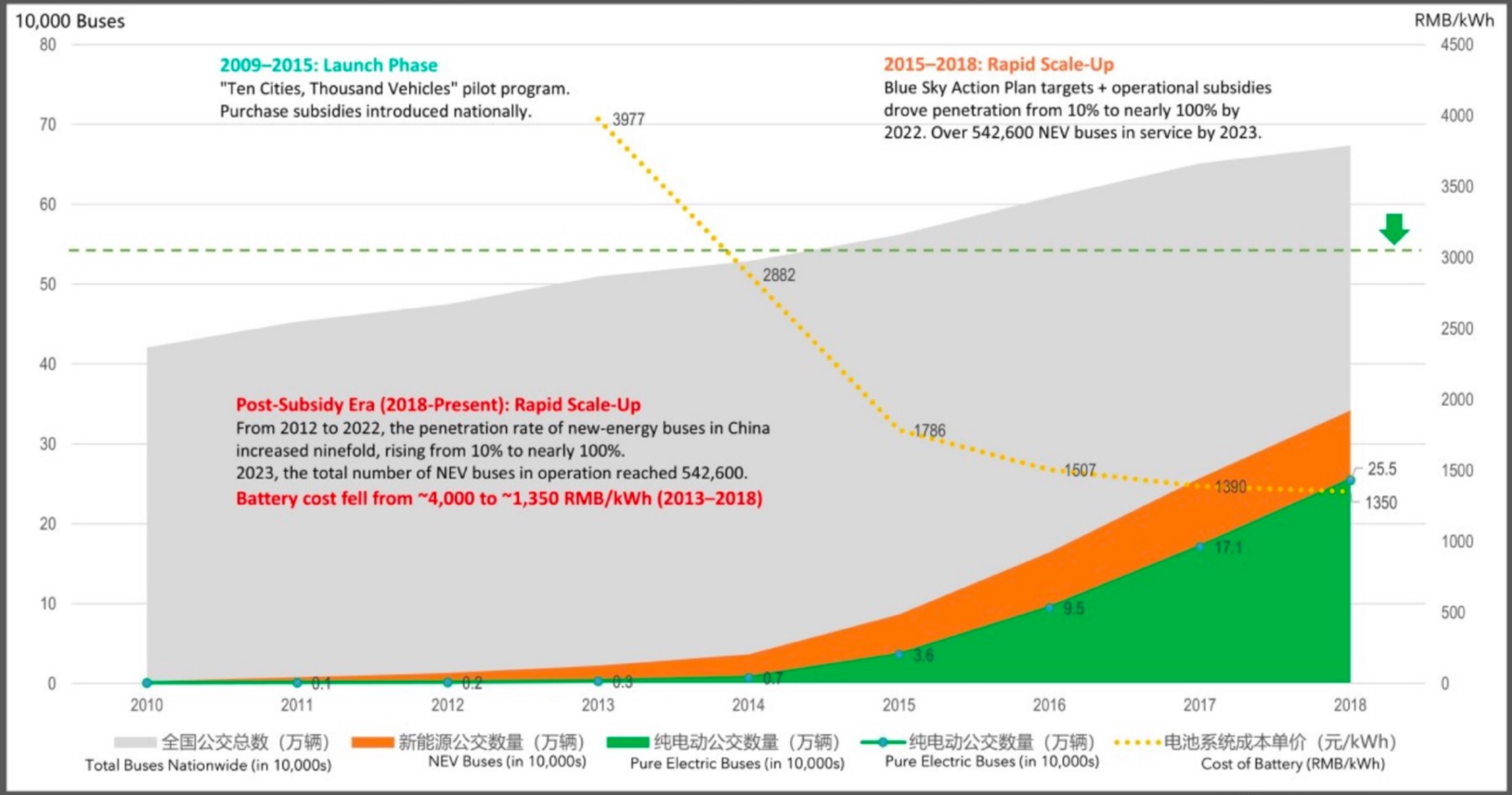
Pourquoi électrifier ?

1. Sécurité énergétique



Source : TRT World, March 2, 2026

Electric Buses: Catalyzing China's Booming New Energy Vehicle Industry

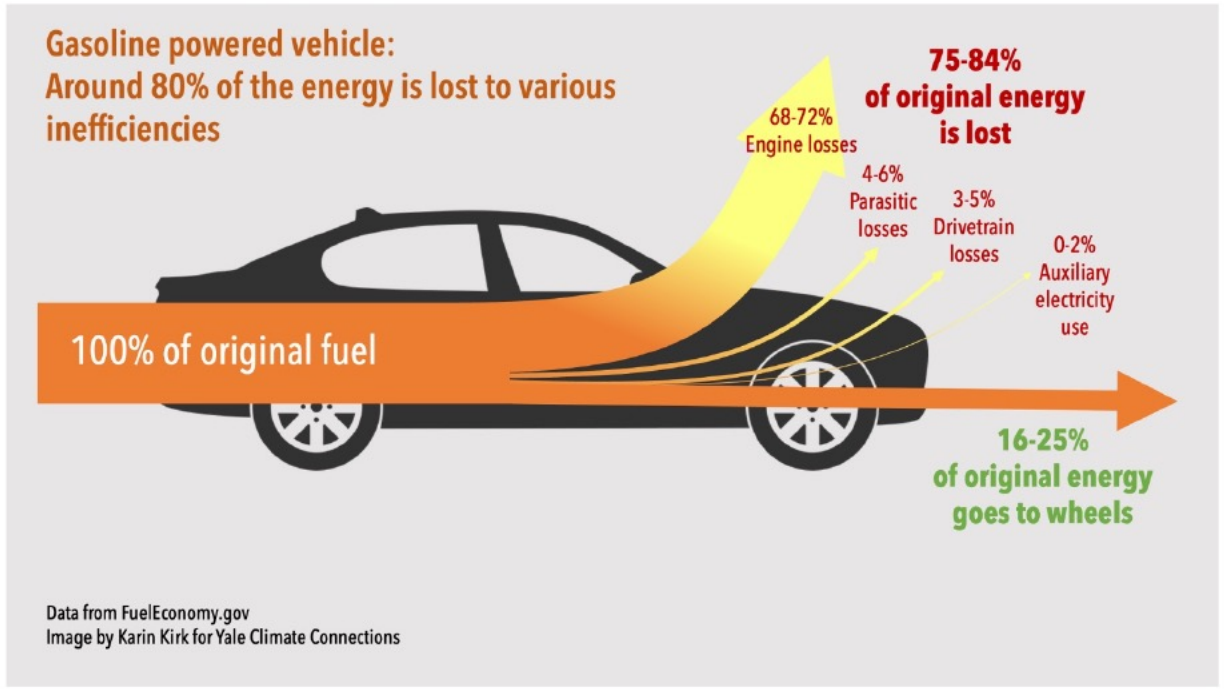


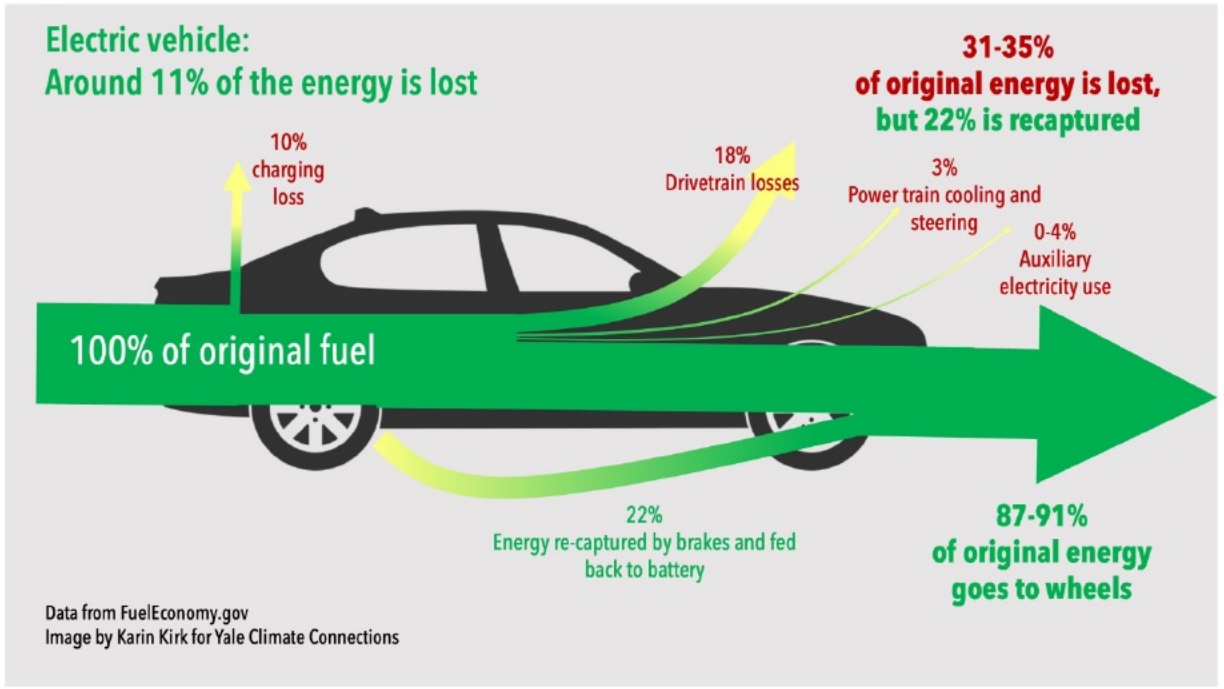
Crédit : Daizong Liu, ITDP

ITDP Institute for Transportation & Development Policy

Pourquoi électrifier ?

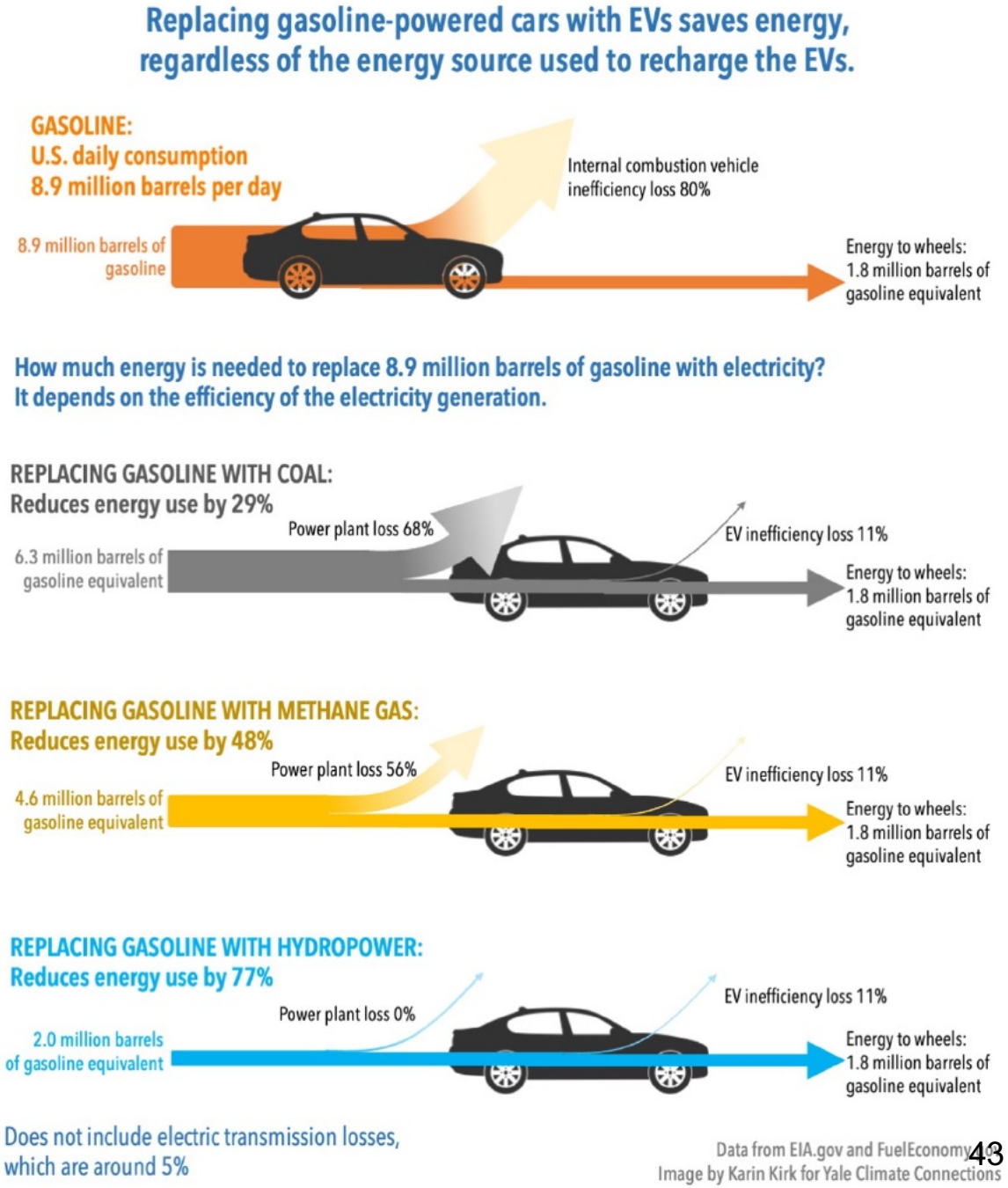
2. Réduire la consommation d'énergie





Pourquoi électrifier ?

3. Tirer parti des renouvelables



Limites de l’électrification

- Jusqu’à 92 % d’émissions en moins sur le cycle de vie par rapport aux véhicules thermiques [1]
  - S’ils sont fabriqués et alimentés avec de l’électricité propre, puis recyclés
- Émissions d’exploitation
  - Le réseau électrique n’est pas encore décarboné
  - La hausse prévue de la demande de transport peut annuler les réductions
  - Congestion persistante, forte consommation d’espace pour routes et stationnement
- Émissions intrinsèques et impacts
  - Le parc mondial se renouvelle sur 15 à 20 ans
  - Le carbone intrinsèque des VE et des bornes de recharge déplace le problème vers un autre secteur : l’industrie
  - Il faut beaucoup d’innovation et d’efforts pour une fabrication propre
  - Forte demande en minerais critiques (avec ses propres enjeux de durabilité)

[1] "Lifecycle Emissions Study: EVs vs. Conventional Vehicles." Great Plains Institute, 1 July 2025, betterenergy.org/electric-vehicle-lifecycle-analysis.

Scenario projections

Current Policies Scenario | Stated Policies Scenario

EV market | EV charging | EV energy impact

Cars | 2 and 3 wheelers | Vans | Buses | Trucks

EV sales projections

EV sales, cars

2025
21
million sales

2035
49
million sales

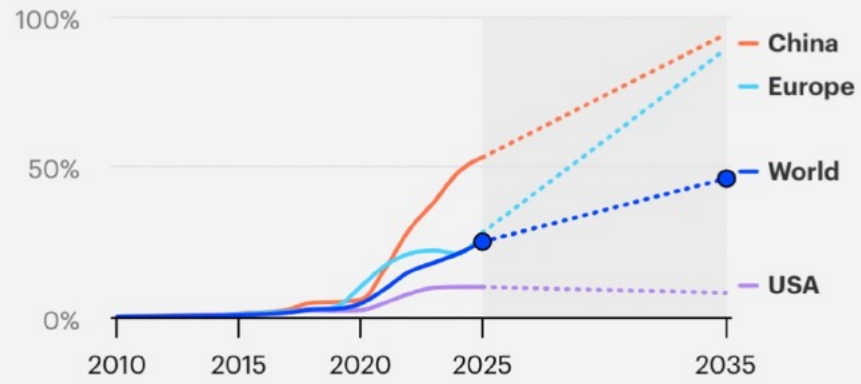
EV fleet projections

EV stock, cars

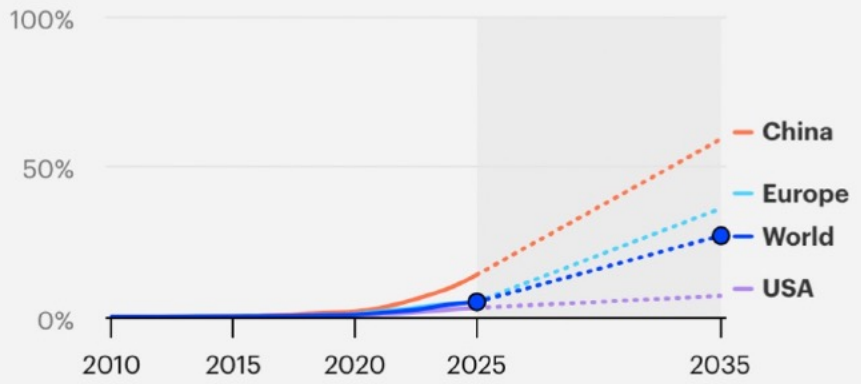
2025
75
million vehicles

2035
450
million vehicles

EV sales share, cars

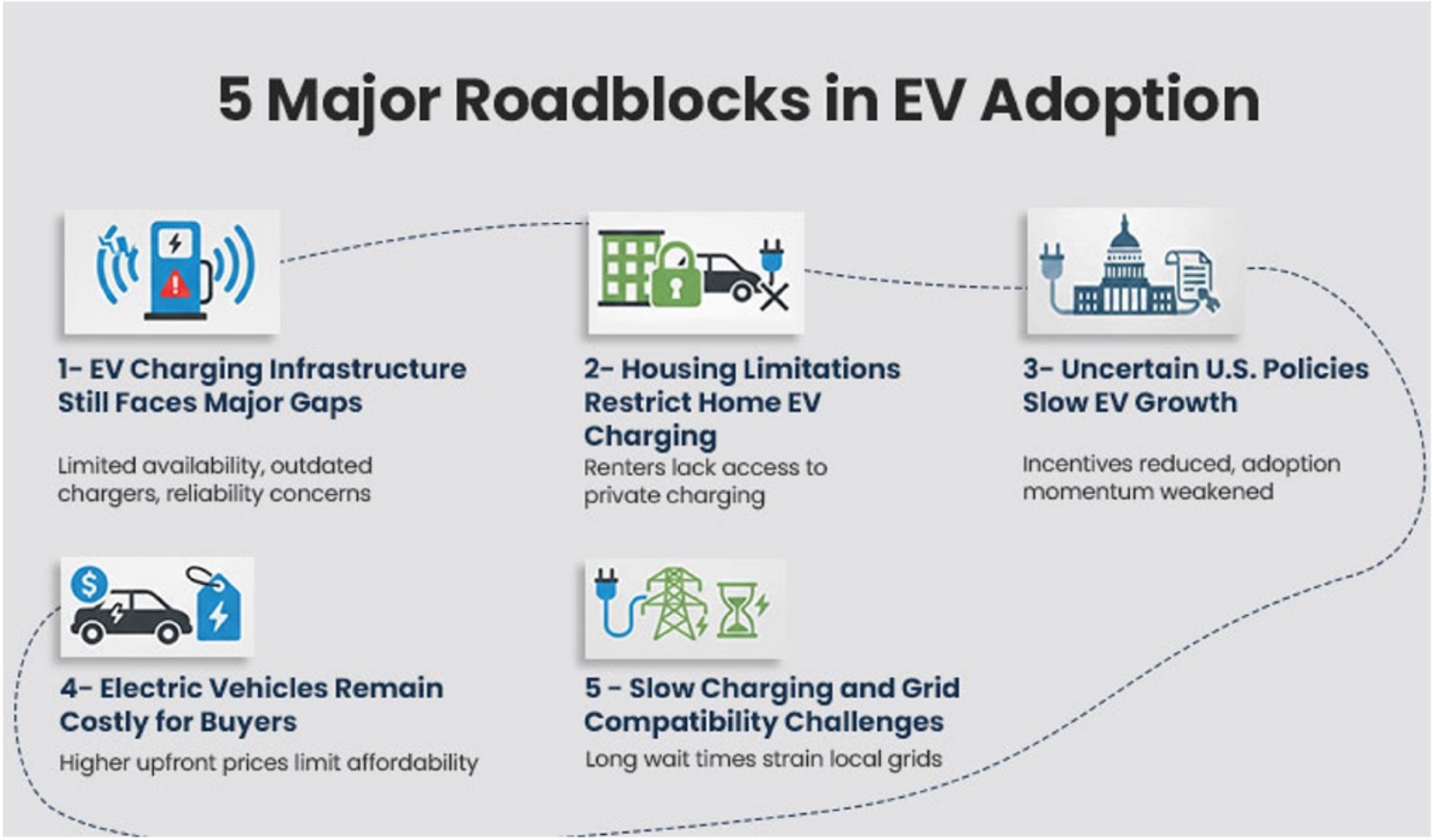


EV stock share, cars



"Global EV Data Explorer – Data Tools - IEA." IEA, May 2026, www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer.

Les défis de l’électrification des véhicules aux États-Unis

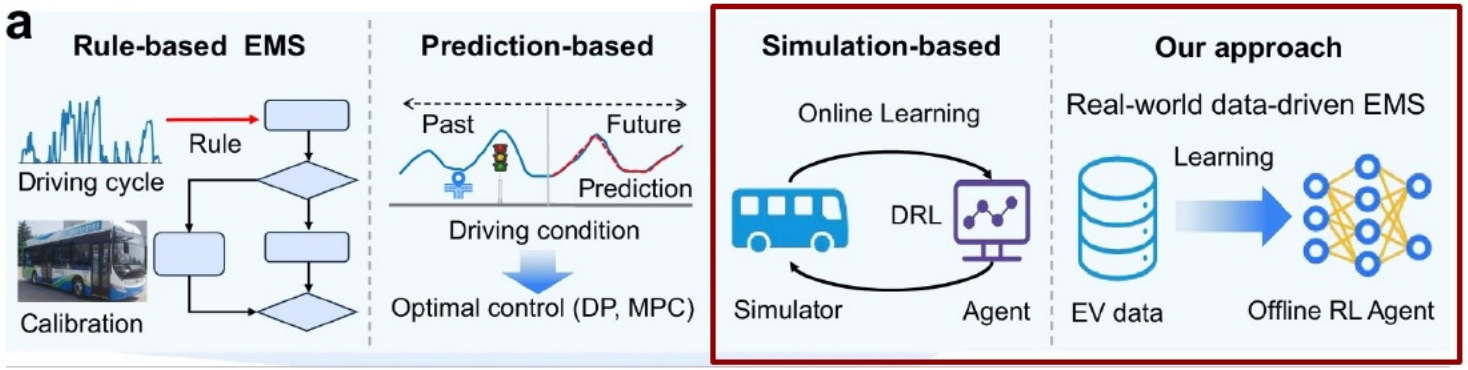


Source : SolarSME, 2026

[1] M. Liu et al., “Tariffs on electric vehicles deepen woes of U.S. electrification stagnation,” npj Clim. Action, 2026, doi: 10.1038/s44168-025-00330-6.

Efficacité et durée de vie des batteries

- Accroître l'autonomie et la durée de vie des batteries en répartissant l'énergie par apprentissage par renforcement (RL)
- Cette approche pourrait tirer parti de la plateforme chinoise de suivi des VE, qui collecte en temps réel les données d'exploitation de plus de 20 millions de VE



Pourquoi le problème se prête au RL profond

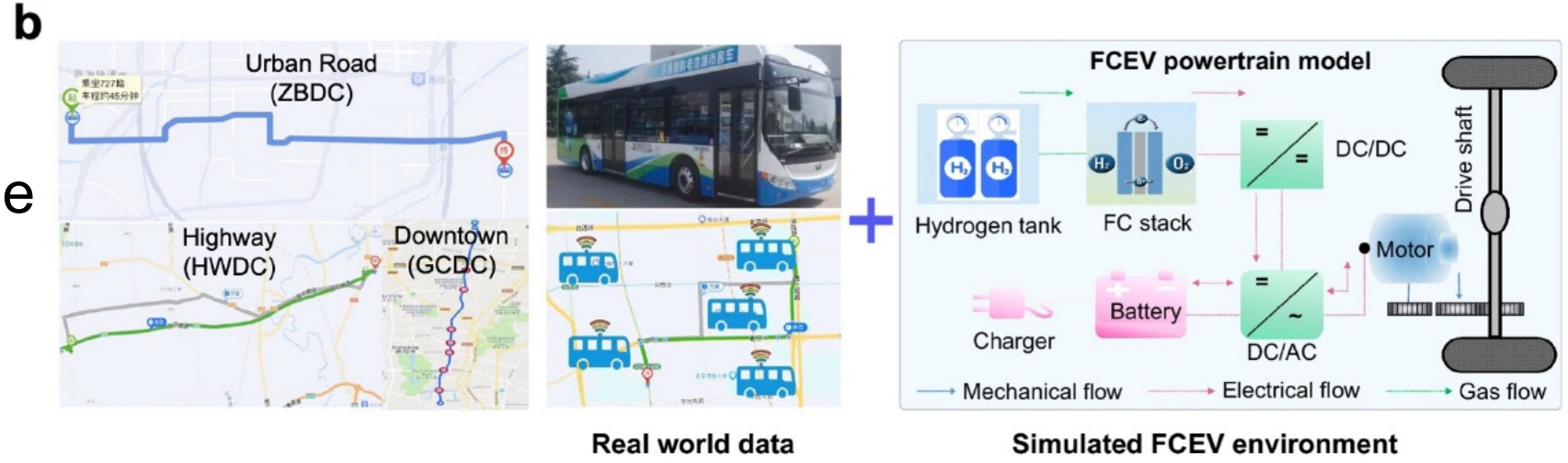
- Conditions de trafic dynamiques → décisions séquentielles
- Groupes motopropulseurs hybrides complexes (batterie, pile, thermique) → apprendre des données
- Application en temps réel → inférence rapide des modèles d'AA

[1] X. Hu et al. Reinforcement Learning for Hybrid and Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Management: Recent Advances and Prospects. IEEE Industrial Electronics Magazine 13, 16-25 (2019). https://doi.org/10.1109/MIE.2019.2913015 .

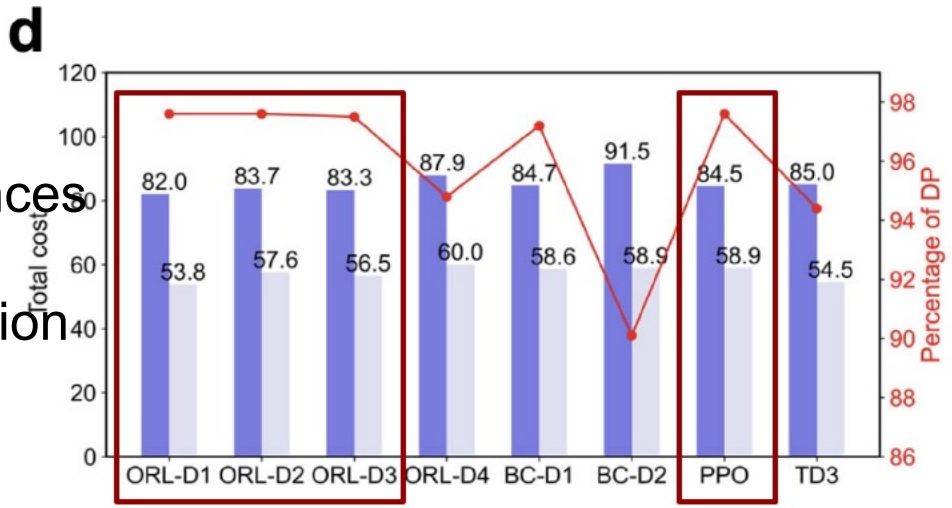
[2] Y. Wang, J. Wu, H. He, Z. Wei, and F. Sun, "Data-driven energy management for electric vehicles using offline reinforcement learning," Nat Commun, vol. 16, no. 1, p. 2835, Mar. 2025, doi: 10.1038/s41467-025-58192-9.

Efficacité et durée de vie des batteries

Simulation enrichie par les données



Le RL atteint des performances quasi optimales (calculées par programmation dynamique)

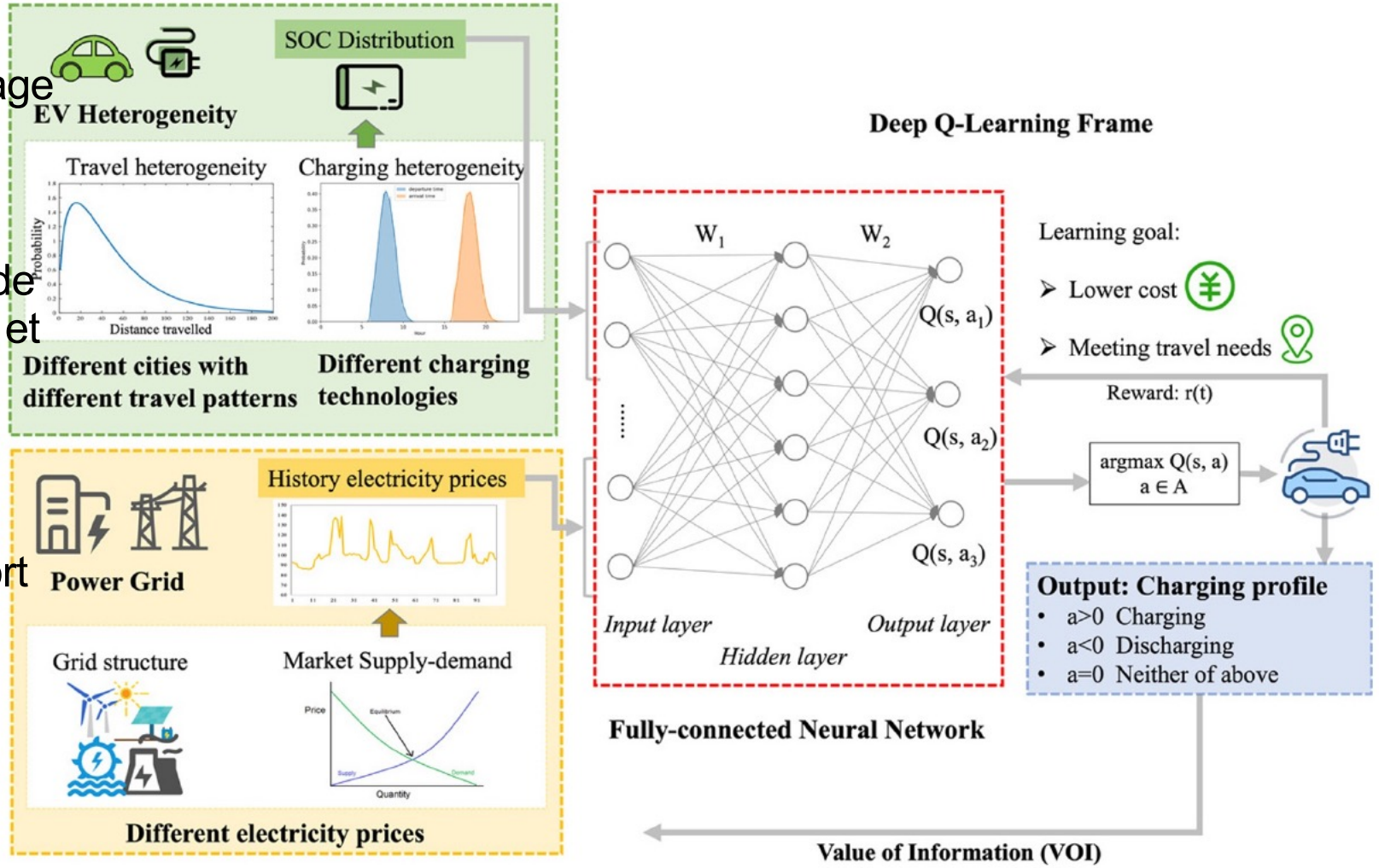


Résultat : le RL réduit le coût total de 13 % par rapport au contrôleur d'origine
Limite : la méthode d'origine ne tient pas compte de la durée de vie, contrairement au RL (pénalise la pente de puissance)

[1] Y. Wang, J. Wu, H. He, Z. Wei, and F. Sun, "Data-driven energy management for electric vehicles using offline reinforcement learning," Nat Commun, 2025.

Recharge intelligente / bidirectionnelle (V2G)

- Les VE peuvent servir de stockage distribué pour le lissage de la charge urbaine
- Q-learning profond (DQN) pour apprendre des politiques de charge/décharge selon les prix et les contraintes de mobilité
- 1 million de km de données de conduite de VE chinois
- La politique DQN réduit de 98 % le coût de l'électricité par rapport à une recharge au plus tôt (référence faible)



Hao, Xu, et al. "A V2G-oriented reinforcement learning framework and empirical study for heterogeneous electric vehicle charging management." Sustainable Cities and Society, vol. 89, 1 Feb. 2023, p. 104345, doi:10.1016/j.scs.2022.104345.

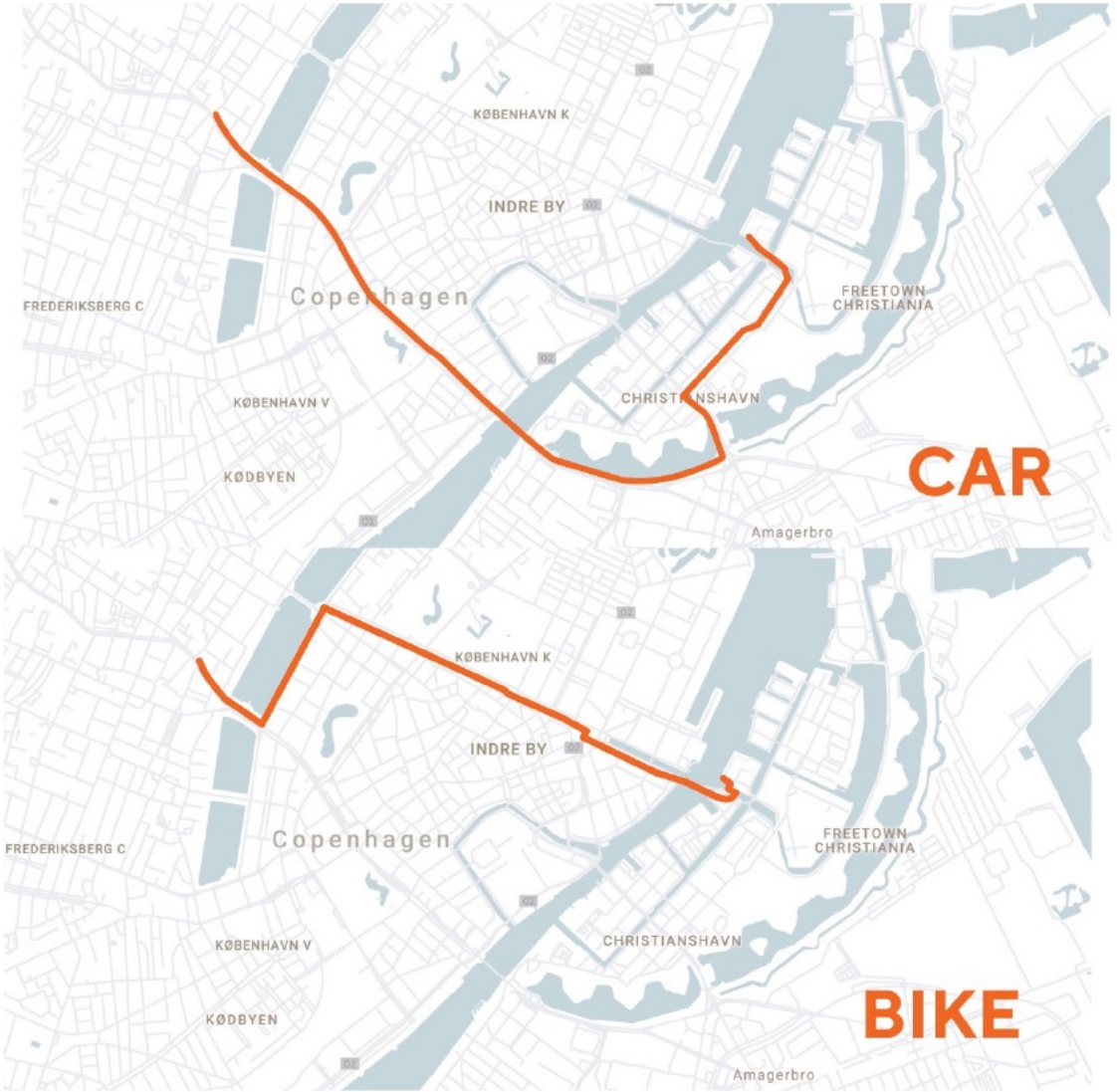
Approfondissement : Transférer

L'IA pour le report modal



Source : Copenhagenize Design Company/Mikael Colville-Andersen, 2018.

Pourquoi le vélo ? (Copenhague, Danemark)





Source : Copenhagenize Design Company/Mikael Colville-Andersen, 2018.

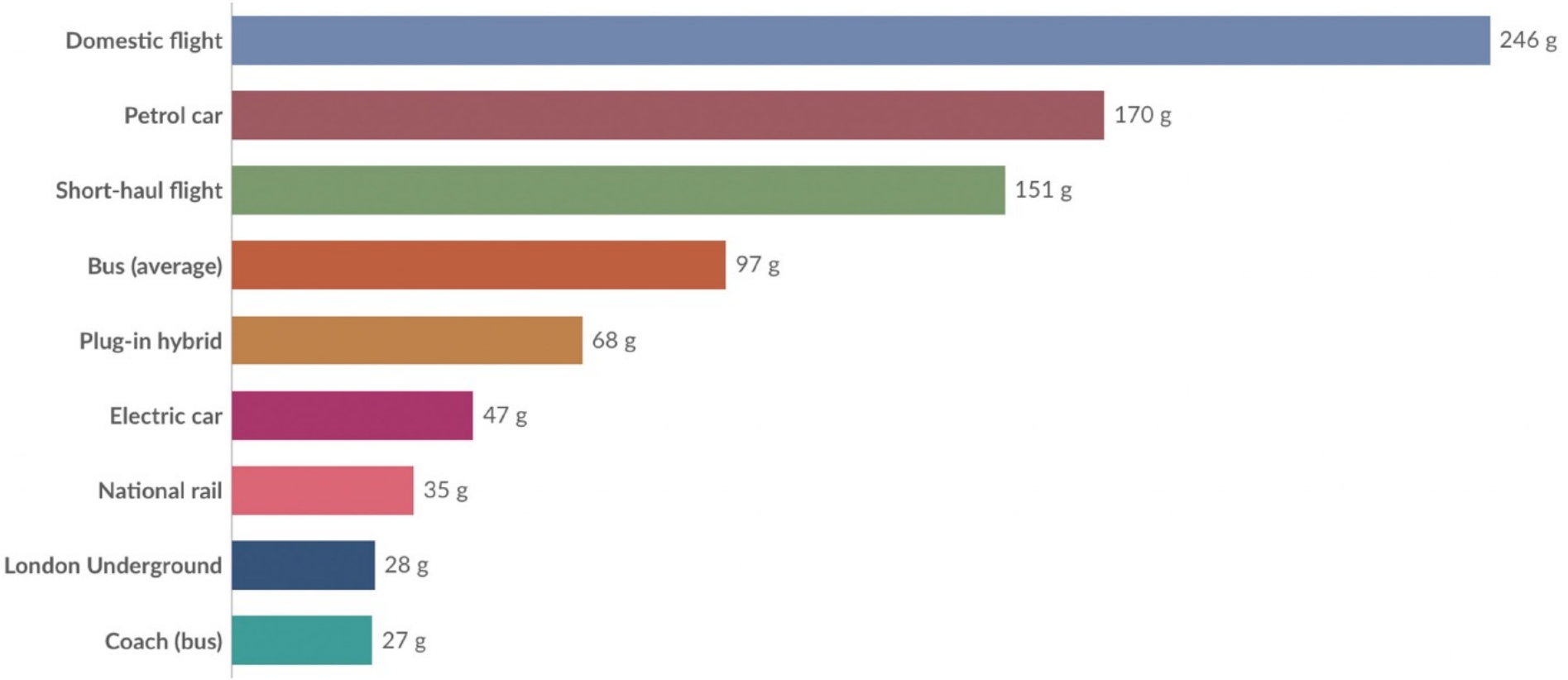
Carbon footprint of travel per kilometer, 2022

The carbon footprint of travel is measured in grams of carbon dioxide-equivalents per passenger kilometer. This includes the impact of increased warming from aviation emissions at altitude.

Our World in Data

Table | Bar

Edit countries and regions



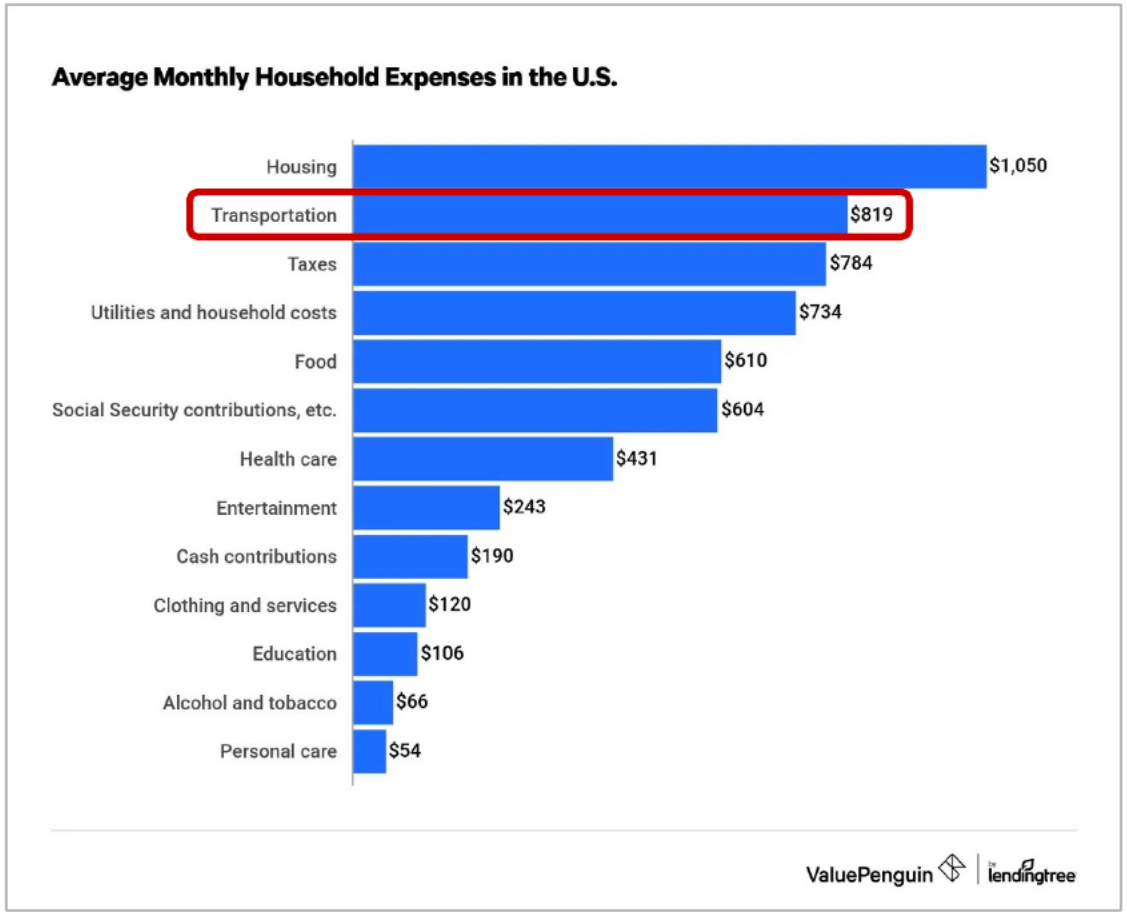
Data source: UK Government, Department for Energy Security and Net Zero (2022) – Learn more about this data

Note: Official conversion factors used in UK reporting. These factors will vary across countries depending on energy mix, transport technologies, and occupancy of public transport. Data for aviation is based on economy class.

OurWorldinData.org/transport | CC BY

Accessibilité financière et accès

En 2024, 45,5 % des ménages américains ne gagnaient pas assez pour joindre les deux bouts.



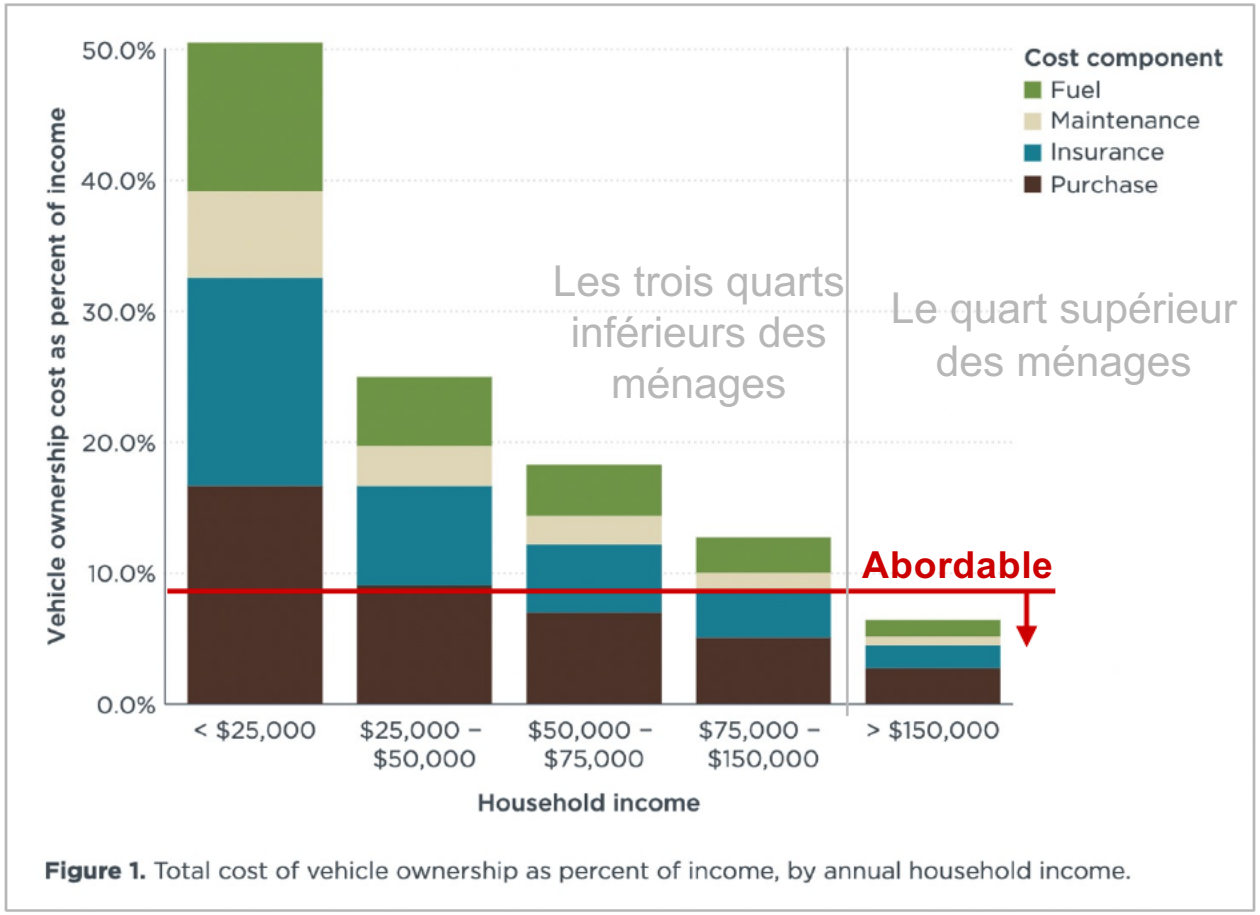


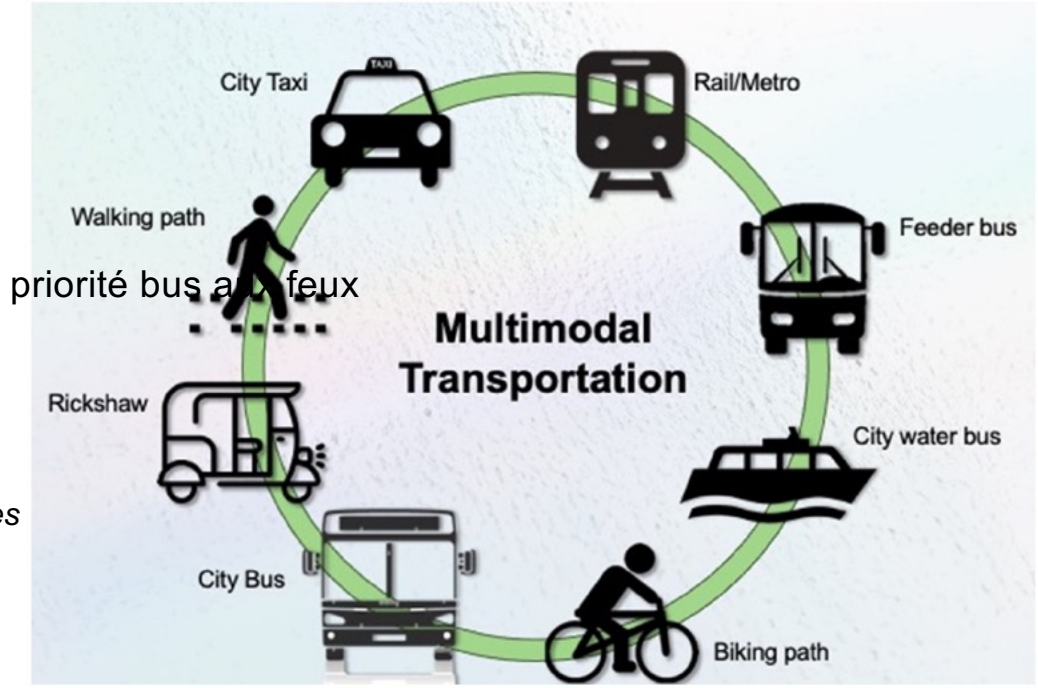
Figure 1. Total cost of vehicle ownership as percent of income, by annual household income.

[1] "States of Affordability: A series on where and why US households struggle to make ends meet | Brookings." Brookings, 24 June 2026, www.brookings.edu/articles/states-of-affordability-a-series-on-where-and-why-us-households-struggle-to-make-ends-meet .

[2] Bauer, Gordon, Chih-Wei Hsu, and Nic Lutsey. "When might lower-income drivers benefit from electric vehicles? Quantifying the economic equity implications of electric vehicle adoption." International Council on Clean Transportation. Working Paper 6 (2021).

Mobilité urbaine multimodale

- Définition : une approche du transport qui prend en charge tous les modes de déplacement (véhicules privés, marche, vélo, transports publics, mobilité partagée, combinaisons de modes, etc.).
- Stratégies
  - Transports publics
  - Aménagement de la voirie : pistes cyclables, réduction des voies, priorité bus aux feux
  - Péage urbain (Bloomberg sur le péage urbain de New York)
  - Planification et guidage des trajets en temps réel
  - Mobilité servicielle (MaaS), y compris le paiement intégré
- Pourquoi c'est difficile
  - *Intégration physique : les correspondances doivent être rapides, sûres, pratiques*
  - *Coordination institutionnelle : de nombreux organismes publics et opérateurs privés*
  - *Interopérabilité des données : horaires, tarifs, itinéraires et mises à jour en temps réel doivent être connectés*
  - *Modèle économique : qui paie, qui en profite, qui partage les données ?*
  - *Équité et vie privée : un service fluide ne doit pas exclure les usagers à faible revenu ou peu connectés*



Source : Audirac, Ivonne, et al. "Transportation and Mobility Modes." 2024.

[1] StreetLight, "Multimodal Transportation: What Is It, and How Does It Benefit Everyone?", 2024, www.streetlightdata.com/what-is-multimodal-transportation.

L’IA pour la simulation multi-agents des transports

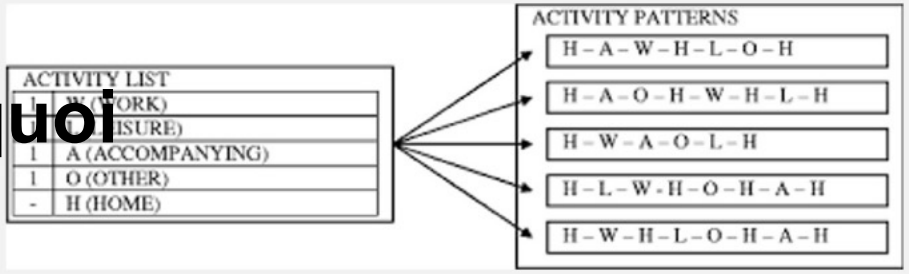
Prévision de la demande de déplacements

La prévision de la demande de déplacements est essentielle pour évaluer et planifier les systèmes de transport

- Pourquoi, quand et comment les gens se déplacent-ils ?

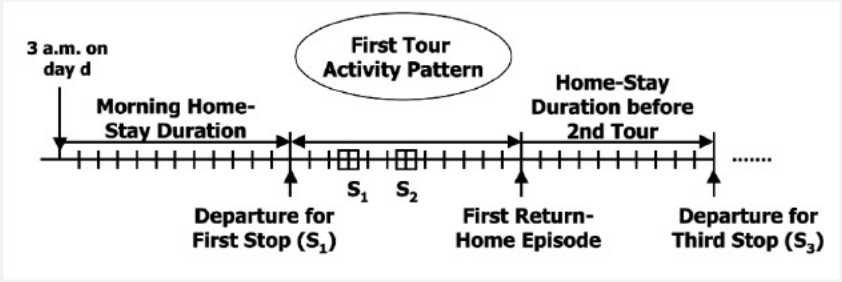
Pourquoi

Image : Bifulco et al.



Quand

Image : Pinjari et Bhat

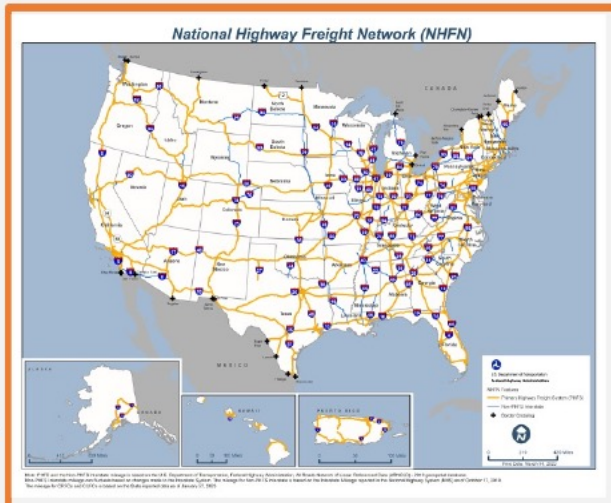


Comment

Image : Train

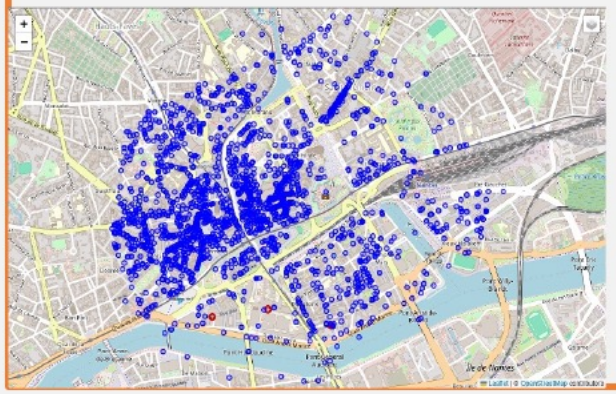
$$U_c = \alpha T_c + \beta M_c + \varepsilon_c$$
$$U_b = \alpha T_b + \beta M_b + \theta_b Y + k_b + \varepsilon_b$$

sert à



Modélisation du système

Image : FHWA



Dynamique Simulation

Image : Matsim

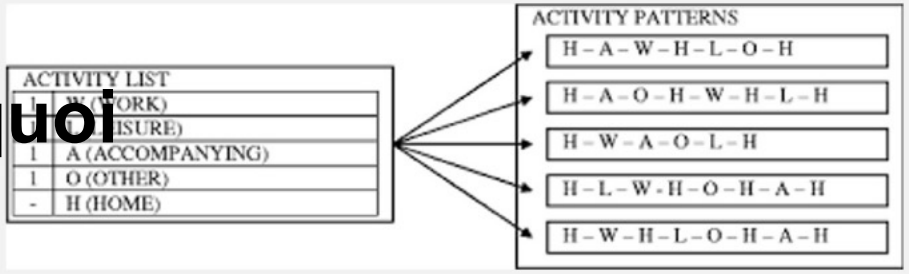
Diapositives adaptées de Tianming Liu (tianmliu@umich.edu)

Impact de la prévision de la demande de déplacements

La prévision de la demande oriente les grandes décisions de planification et d'investissement des organismes publics, du niveau fédéral au niveau local.

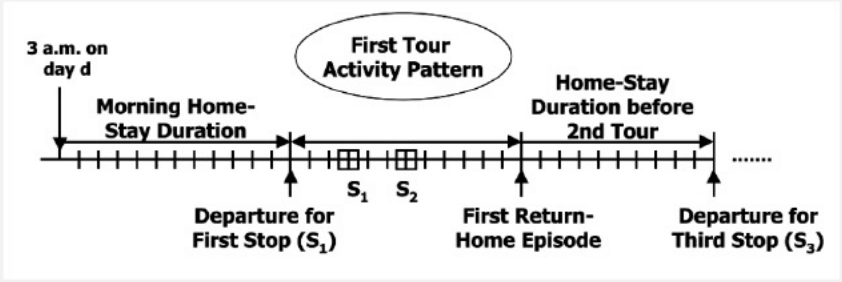
Pourquoi

Image : Bifulco et al.



Quand

Image : Pinjari et Bhat



Comment

Image : Train

$$U_c = \alpha T_c + \beta M_c + \varepsilon_c$$
$$U_b = \alpha T_b + \beta M_b + \theta_b Y + k_b + \varepsilon_b$$

Oriente

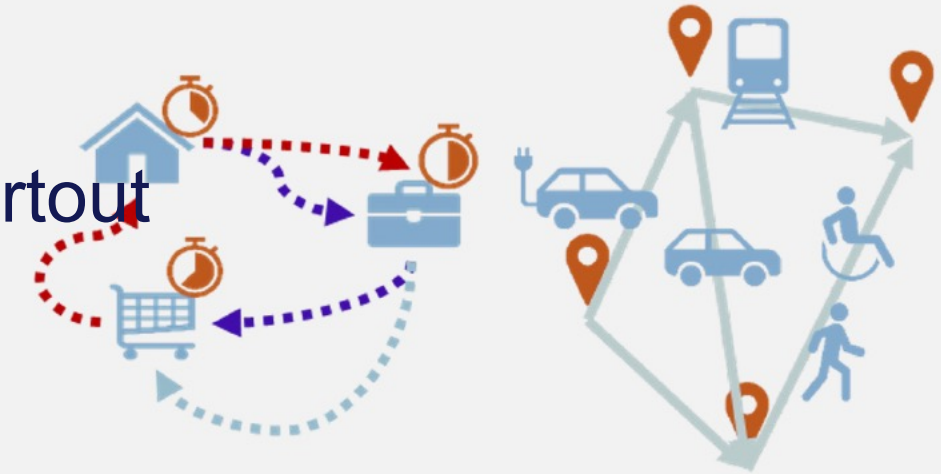


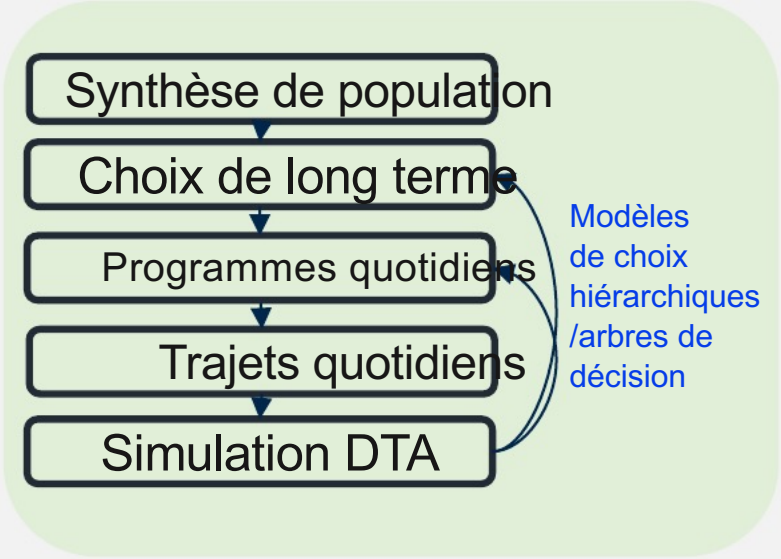


Diapositives adaptées de Tianming Liu (tianmliu@umich.edu)

Modélisation de la demande fondée sur les activités

- Le paradigme de pointe de la modélisation de la demande
- Les travaux récents s'appuient surtout sur la simulation multi-agents





Les agents suivent des règles condition-action codées en dur pour planifier leurs activités et déplacements. Ils peuvent apprendre, s'adapter et améliorer leurs interactions avec les autres agents et leur environnement dynamique.

Limites des approches existantes

- Les limites tiennent surtout aux hypothèses et à la **complexité de mise en place d'un bon modèle**

Hypothèses de modèle nécessaires

Exemple : modèle MNL

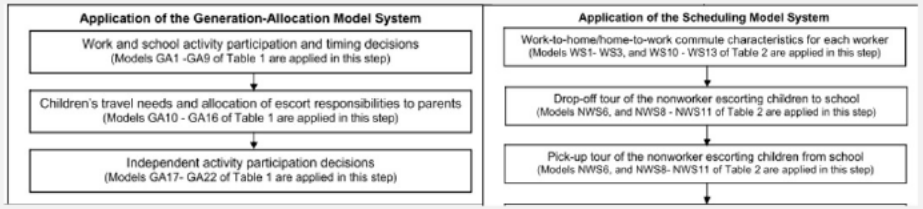
Assumption 1:
- We assume that the error terms each follow the Type-2 extreme value distribution (Gumbel distribution):
  - $\epsilon_{1n} \sim Gumbel(\eta, \mu)$
  - $\epsilon_{2n} \sim Gumbel(\eta, \mu)$

Assumption 2:
- We assume that ϵ_{1n} and ϵ_{2n} are independent and identically distributed (i.i.d.) across individuals, and independent of the attributes x_n.

Les modèles exigent des hypothèses a priori pour fonctionner

Calibrage complexe

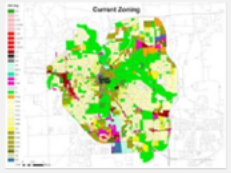
Exemple : un ABM type



Au total, 49 modèles doivent être calibrés pour modéliser les comportements de mobilité

Besoins en données complexes











Il faut beaucoup de données pour construire le modèle (sinon on emprunte des paramètres)

Les agents LLM et leurs applications en simulation

Simulacres de comportement humain

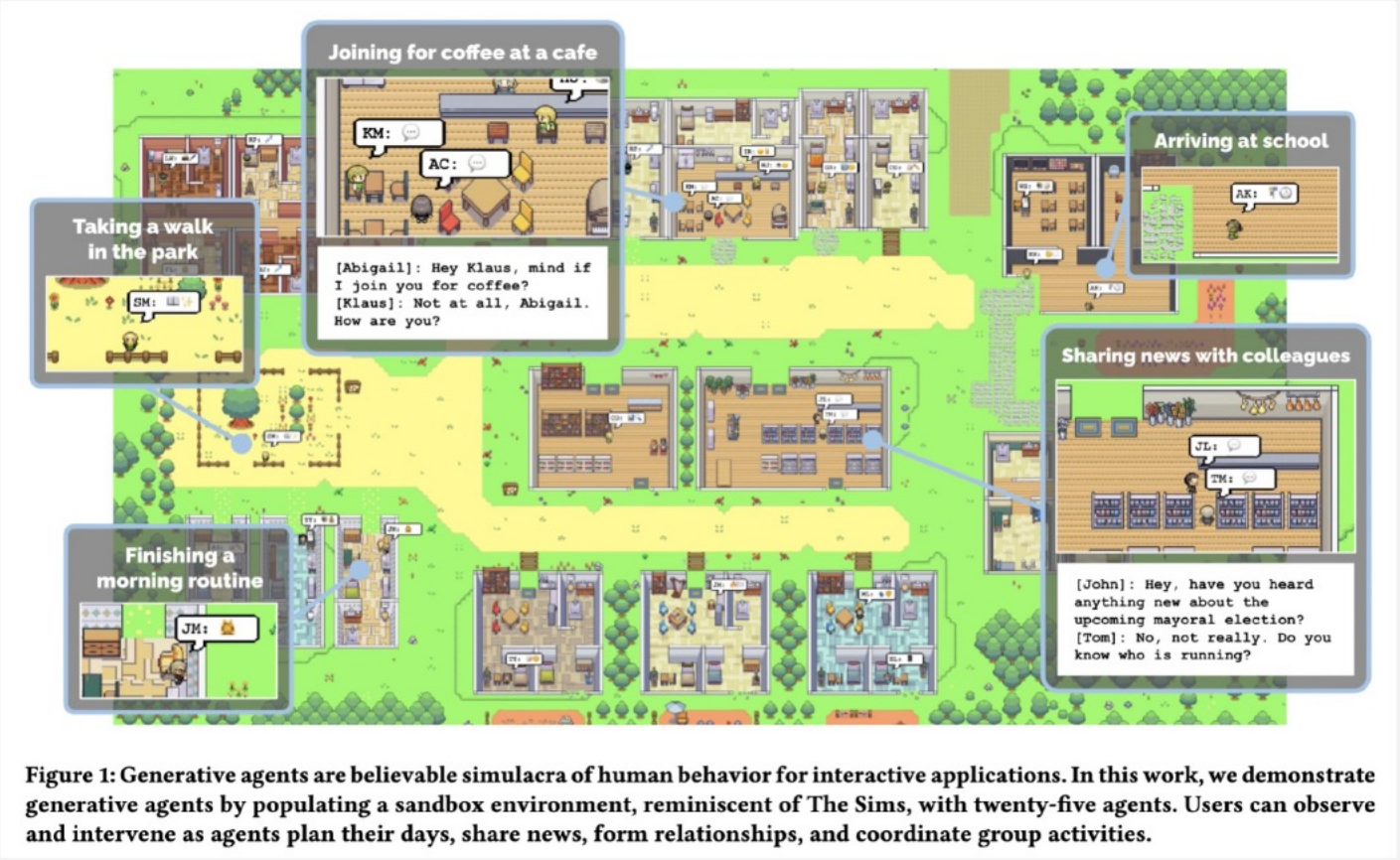


Figure 1: Generative agents are believable simulacra of human behavior for interactive applications. In this work, we demonstrate generative agents by populating a sandbox environment, reminiscent of The Sims, with twenty-five agents. Users can observe and intervene as agents plan their days, share news, form relationships, and coordinate group activities.

Gemini

Qwen3

jeu de rôle



J. S. Park, et al., "Generative agents: Interactive simulacra of human behavior," in Proceedings of the 36th annual acm symposium on user interface software and technology, 2023.
Grossmann, et al., AI and the transformation of social science research, Science, 2023, 380 (6650).

Le LLM comme substitut du comportement humain

- Hypothèse clé : les LLM pourraient servir d'« échantillons de silicium »
- La raison principale : les LLM ont trois propriétés clés :

Imitation dans l'apprentissage



Interaction de type humain



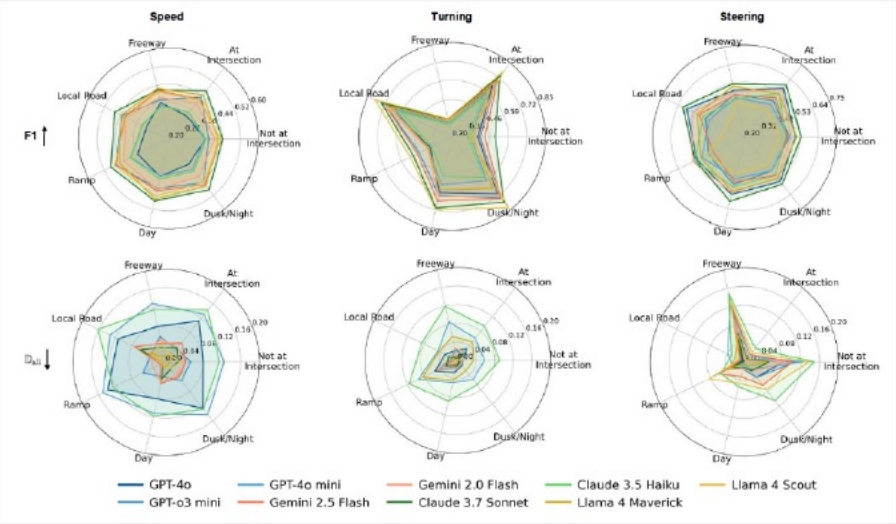
Suivi d'instructions et jeu de rôle



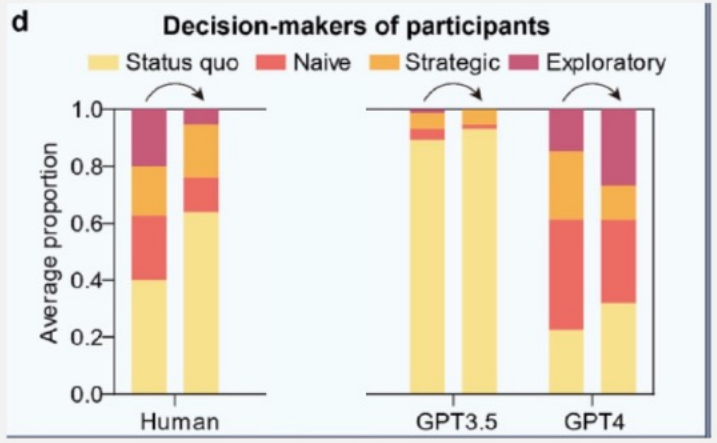
Question critique : dans quelle mesure s'alignent-ils sur les comportements de déplacement humains ?

* Grossmann, et al., AI and the transformation of social science research, Science, 2023, 380 (6650).
** Hutson, M., Can AI chatbots replace human subjects in behavioral experiments. Science, 2023, 381(6654).

Les LLM semblent humains sans être authentiquement humains



Conduite autonome : plus proche des conducteurs agressifs



Jeux de congestion : apprendre l'adaptation du choix d'itinéraire

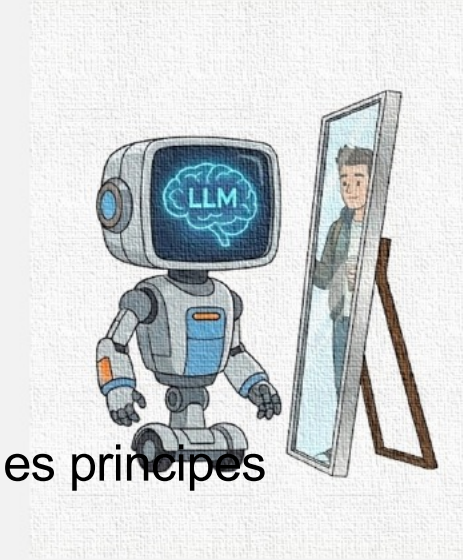
Purpose	Income Elasticity			
	USDOT	Binsuwadan et al. (2023)*	Shires and de Jong (2009)**	GPT-4o
Commute	1	0.37	0.67	0.24
Business	1	0.53	0.47	0.21
Leisure	1	0.53	0.52	0.22
Personal	1	0.53	0.52	0.22

Valeur du temps : élasticités plus faibles



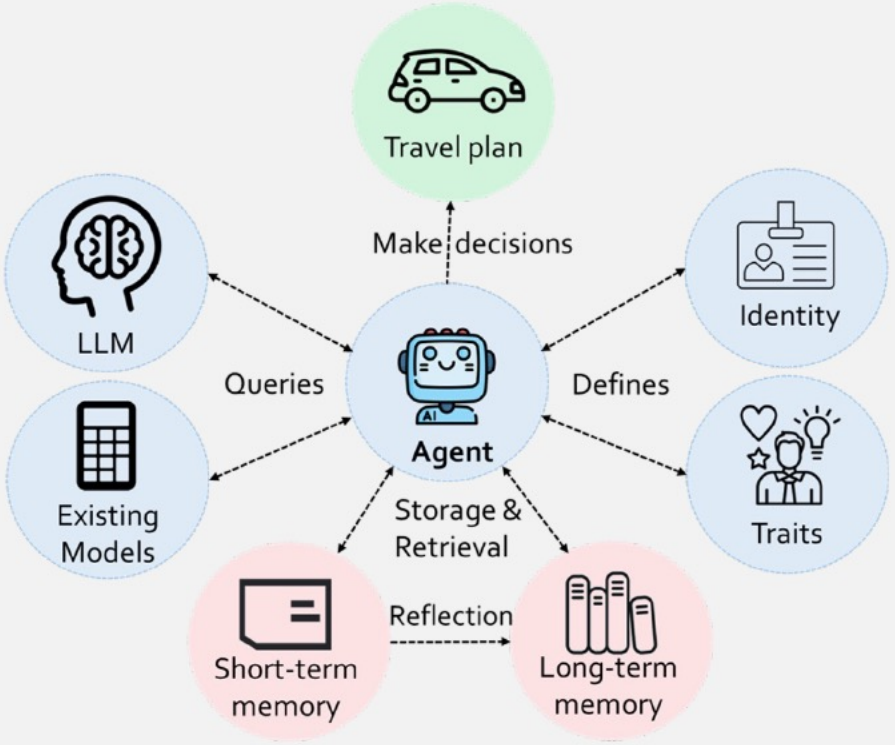
Éthique de conduite : biais dans les principes

Un alignement est nécessaire

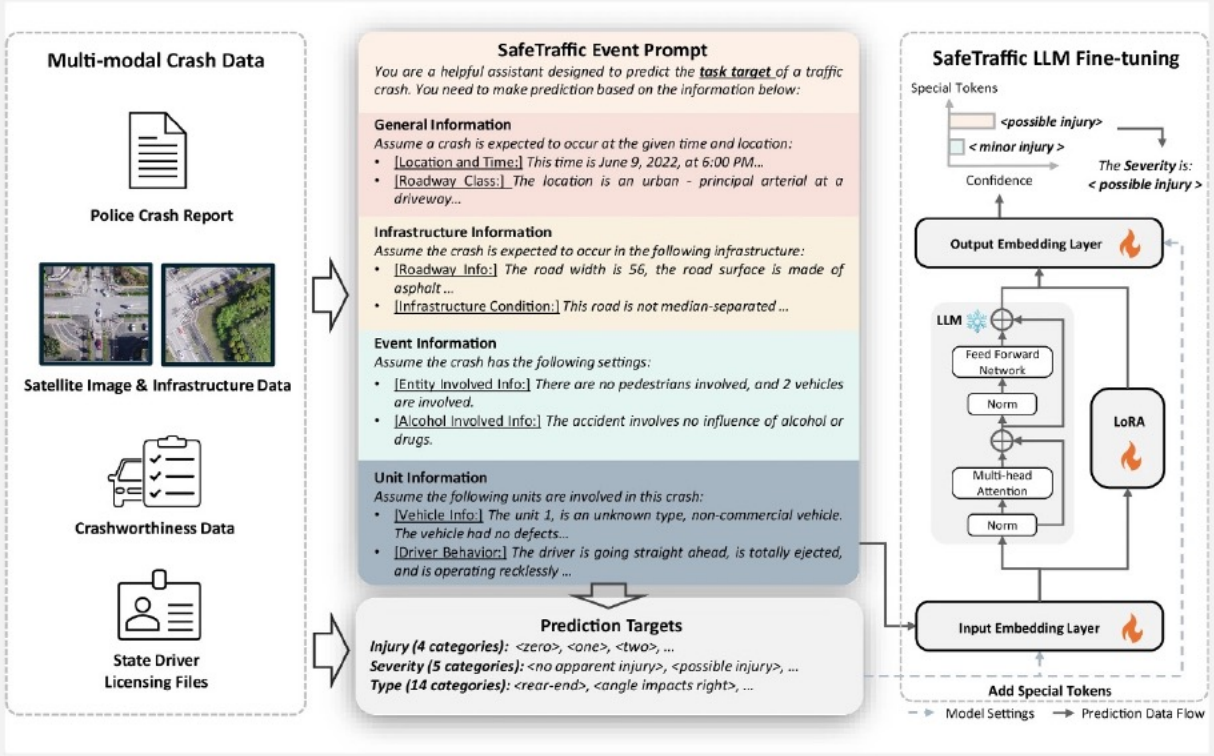


Wang, P., et al. "LLM agents can partially mimic human driving behaviors…." Transportation Research Part C: Emerging Technologies 186 (2026): 105606.
Xu, Z. et al.. (2025). Where is morality on wheels? …. Travel Behaviour and Society, 40, 101039.
Wang, L. et al. (2025). Comparing AI and human decision-making mechanisms in daily collaborative experiments. Iscience, 28(6).
Yan, Y. et al. (2026). Valuing time in silicon: Can large language models replicate human value of travel time. Travel Behaviour and Society, 44, 101245.

Développer des LLM et des agents plus humains



Agents et optimisation des prompts pour imiter la prise de décision humaine



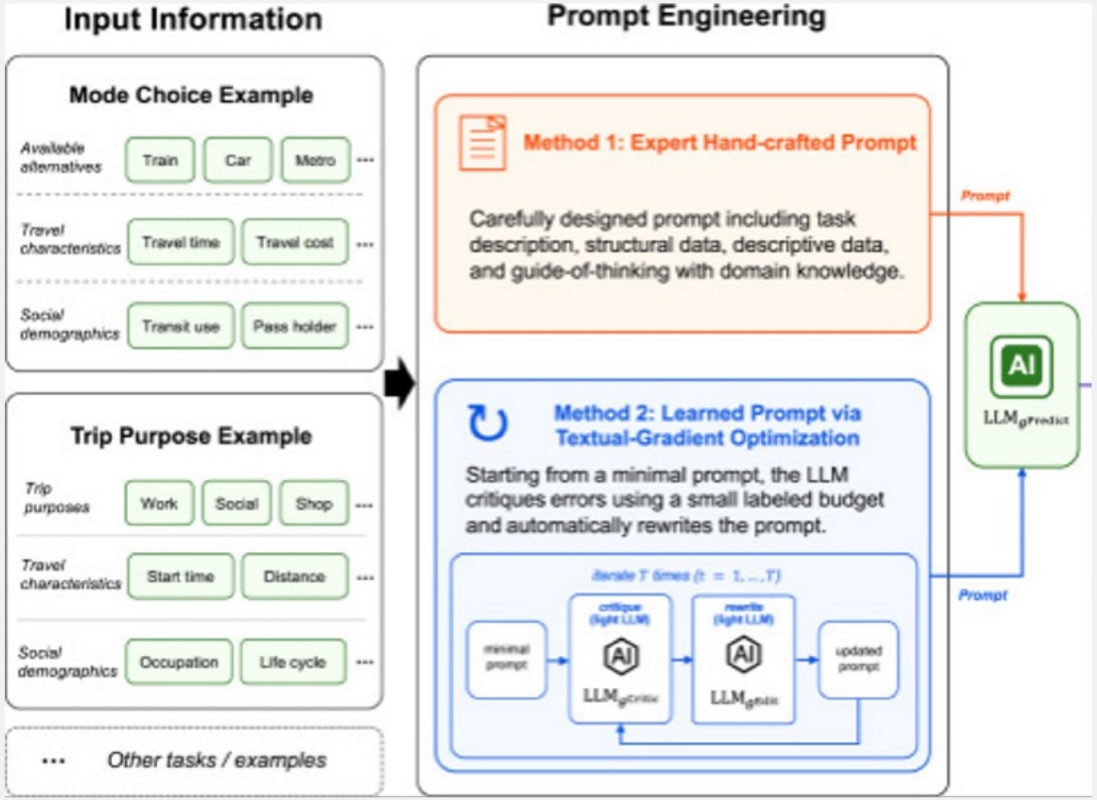
Post-entraînement pour que les LLM imitent les réponses humaines

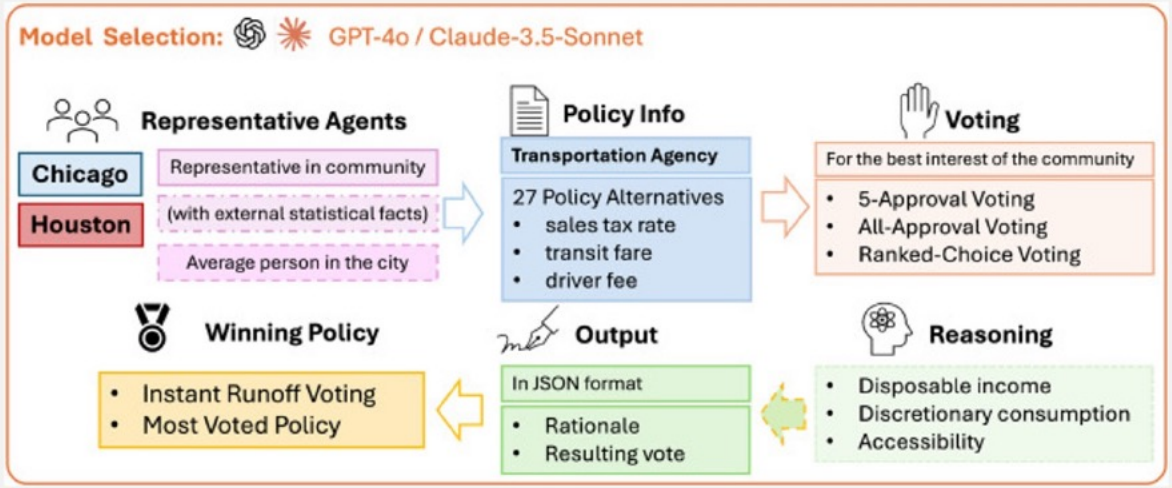
Liu, T. et. al. (2025). Toward LLM-agent-based modeling of transportation systems: A conceptual framework. Artificial Intelligence for Transportation, 1, 100001.

Zhao, Y, et al. (2025). SafeTraffic Copilot: adapting large language models for trustworthy traffic safety assessments and decision interventions. Nature Communications, 16(1), 8846.

Observations de la communauté à ce jour

Les connaissances internes et le jeu de rôle des LLM peuvent faciliter la prévision des comportements de déplacement et la planification des transports





Les agents LLM peuvent servir d'agents représentatifs en planification des transports pour réduire le biais de participation

Les LLM peuvent mobiliser leurs connaissances pour simuler les comportements de déplacement

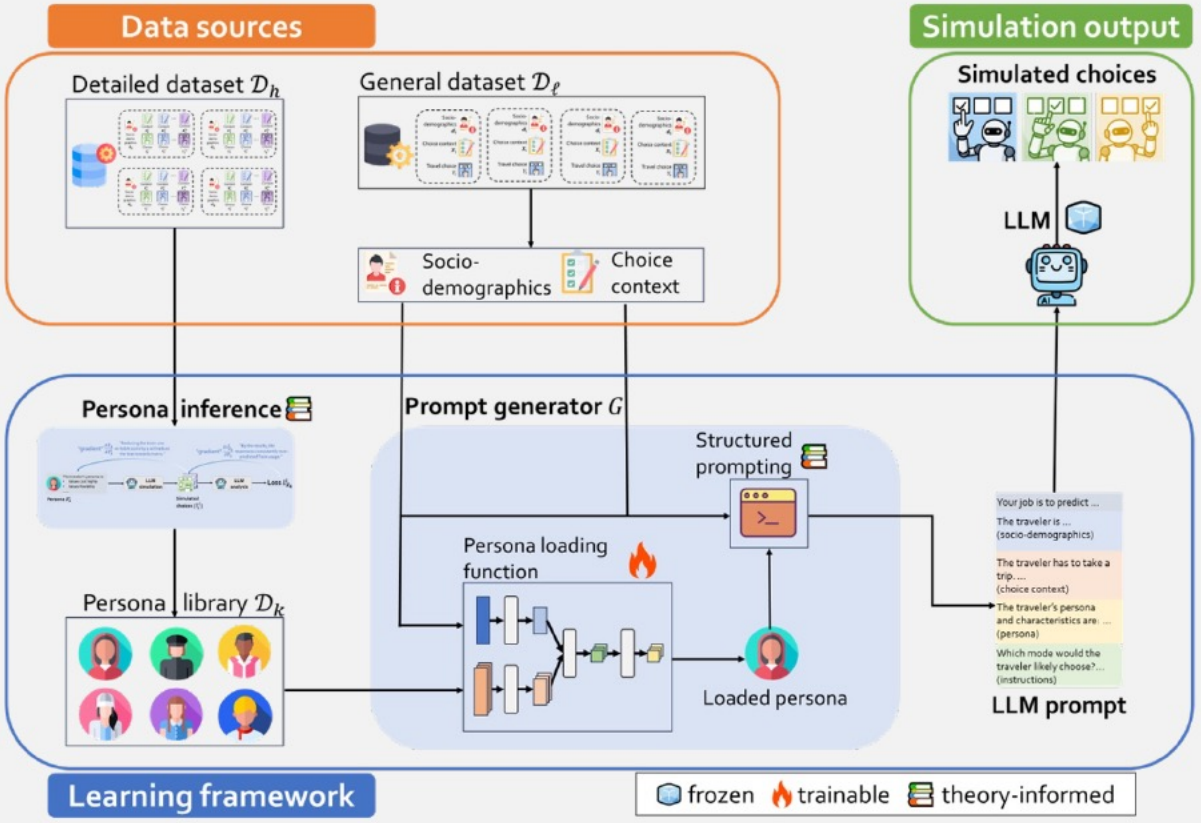
Mo.B. et al. (2026) Large language models for travel behavior prediction. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 38, 102124.

Yan, X., Dai, T., & Nie, Y. M. (2026). Addressing the alignment problem in transportation policy making: an LLM approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 188, 1

Cho, J. H., & Wu, C . (2026). AGORA: Can Deliberation and Governance Gates Absorb Participation Bias in Transit Planning?. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.

Observations de la communauté à ce jour

Entraînés avec peu de données humaines, les agents LLM peuvent produire de meilleures prévisions de la demande que les modèles existants.



- Les agents LLM n'ont besoin que de peu de données humaines pour bien simuler les choix
- En relâchant les hypothèses de comportement, les agents LLM s'adaptent à des voyageurs aux comportements variés
- Avec mémoire, archétypes comportementaux et post-entraînement sur données humaines, les agents LLM diagnostiquent motifs et intentions dans les traces de mobilité et prévoient bien les trajectoires

Liu, T. et. al. (2026). Aligning LLM with Humans for Travel Choices: A Persona-Based Embedding Learning Approach. TransportationScience, Articles in Advance.
Liu, T. et al. (2026). Aligning LLM agents with human learning and adjustment behavior: a dual agent approach. TransportationResearch Part C: Emerging Technologies, 191, 105818.
Qin, Z. et.la. (2026). A foundational individual mobility prediction model based on open-source LLMs. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 185, 105562.
Wang, J. et al.. (2024). Large language models as urban residents: An llm agent framework for personal mobility generation. Advances in Neural Information Processing Systems, 37, 124547-124574.

Défis

Fondements et cas d’usage

- Trouver le meilleur cas d’usage et les compromis des LLM : où ils apportent le plus, et quand les appliquer
- Développer des approches et procédures unifiées pour appliquer les LLM selon les contextes

Validation

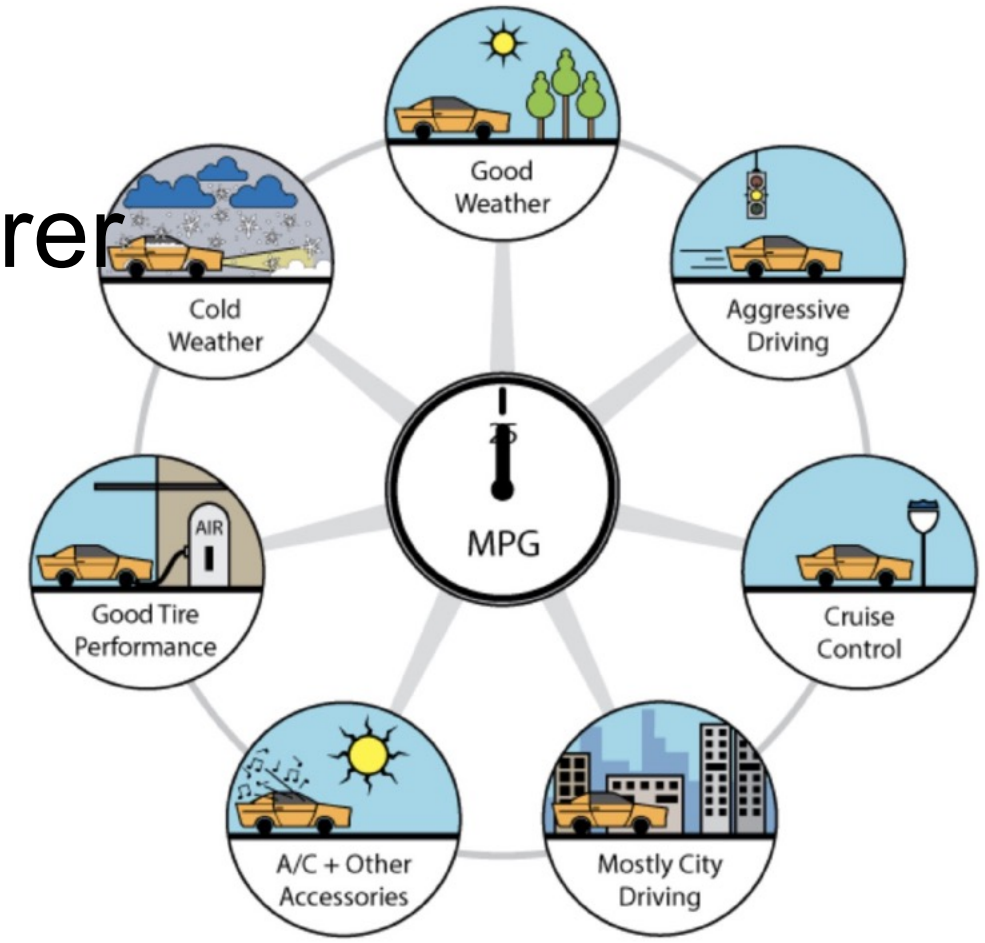
- Évaluation systématique des capacités et performances des LLM
- Aller au-delà du comportement observé vers l’alignement des valeurs

Passage à l’échelle

- Réduire le coût de calcul, l’énergie et la latence pour les applications à grande échelle

Approfondissement : Améliorer L’IA pour l’efficacité des transports

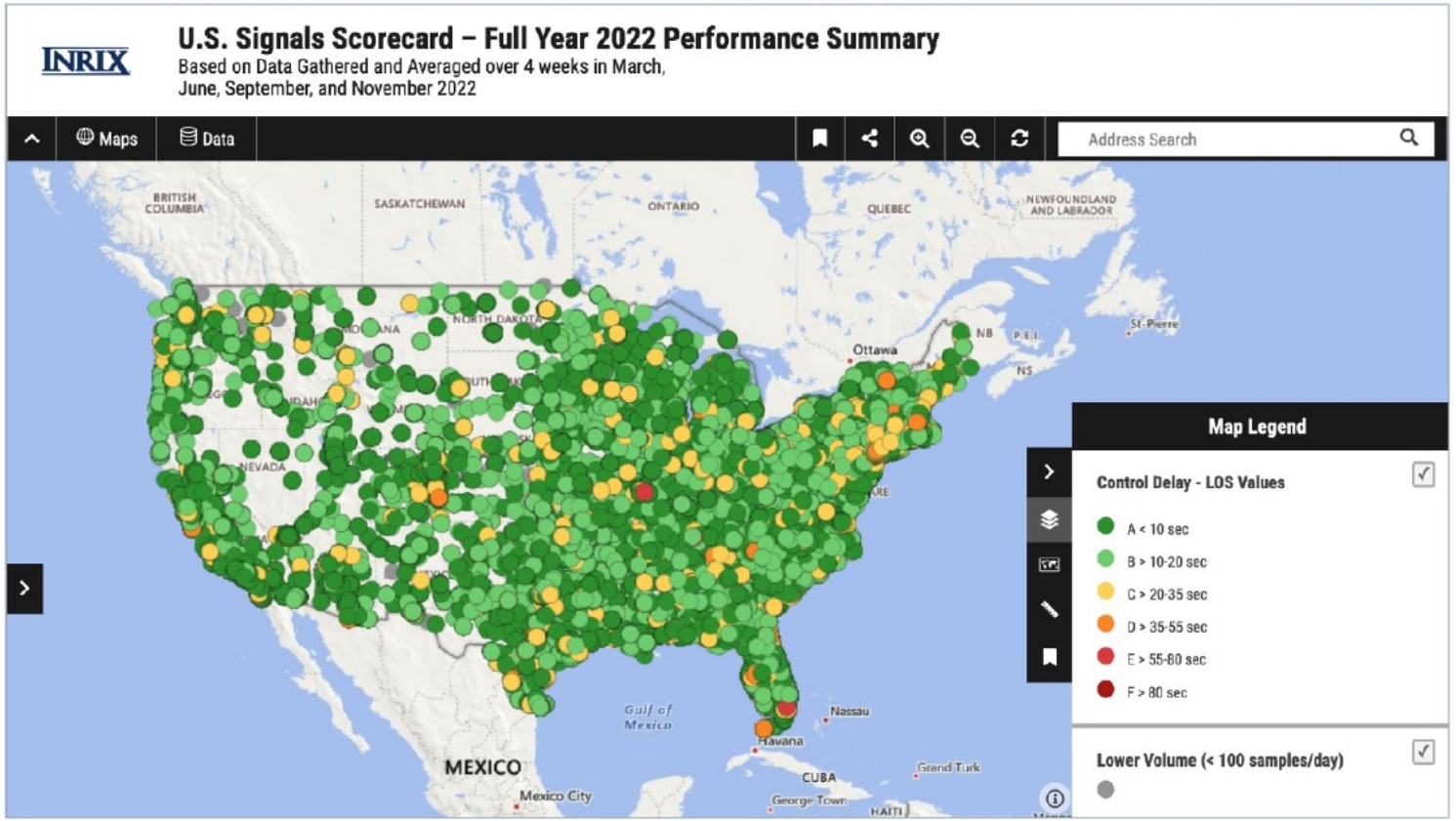
Facteurs qui influent sur la consommation



Source : US EPA, “Your Mileage May Vary,” 2026.

INRIX U.S. Signals Scorecard

2022 Annual Summary



Inputs

~5 Billion
Total Number of Observed Crossings Used to Generate Results

~10 Million
Number of Connected Vehicles Providing Location and Movement Data



242,757
Signalized Intersections Analyzed

All 50 States
(Plus District of Columbia)

400+ Regions

1,150+ Counties

Results

23,308
Intersection Avg Daily Traffic

18.1
Seconds of Delay Per Vehicle

63.5%
Arrival on Green

117.4
Total Hours of Daily Delay

2.53 Days
Days to Generate 1 Metric Tonne of Carbon Emissions From Delay

0.97 Days
Days to Consume 1 Barrel of Oil From Delay

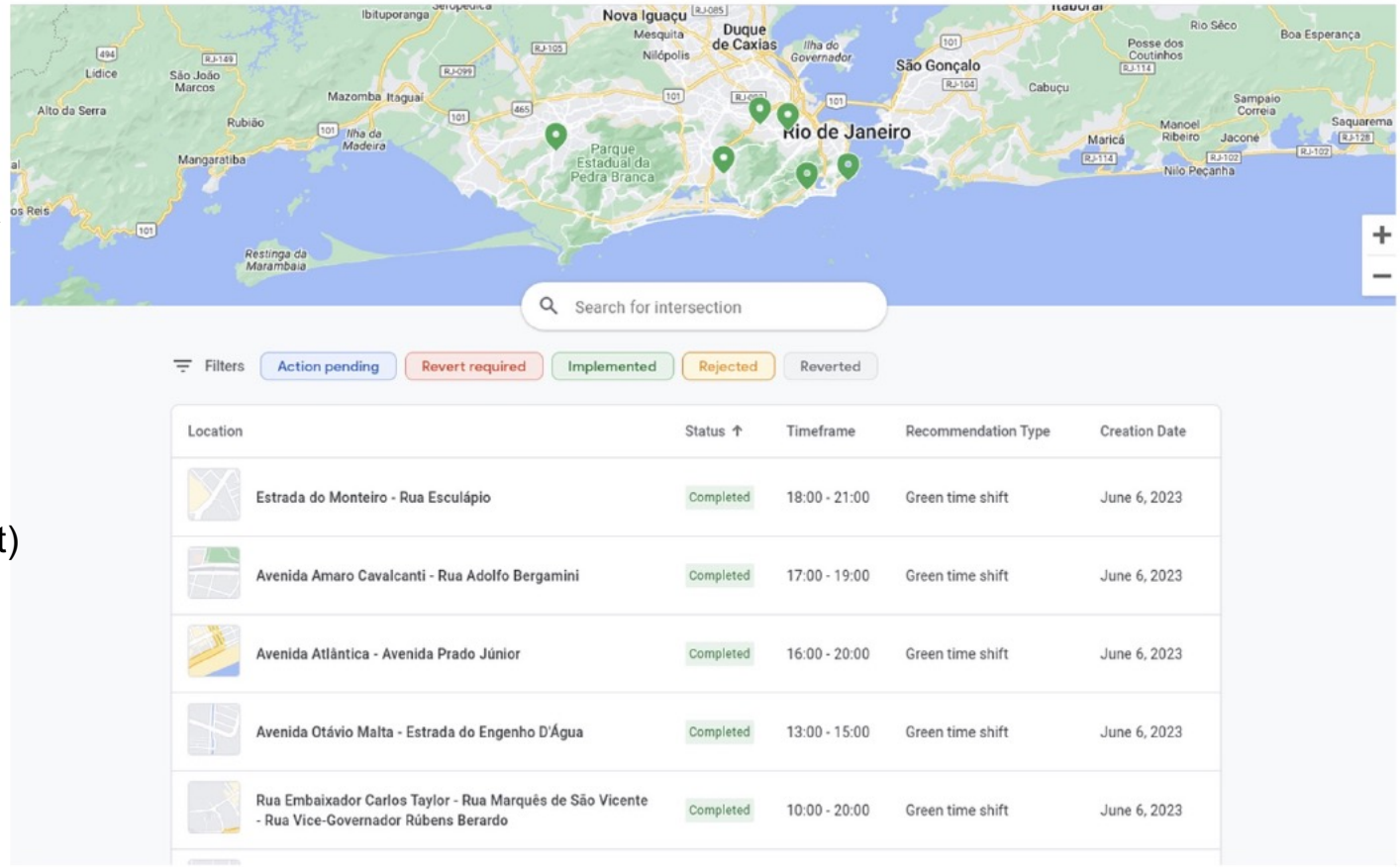
Average Traffic Signal

INRIX U.S. Signals Scorecard: 2022 Annual Summary. INRIX. https://inrix.com/signals-scorecard/.

Project Green Light (Google AI)

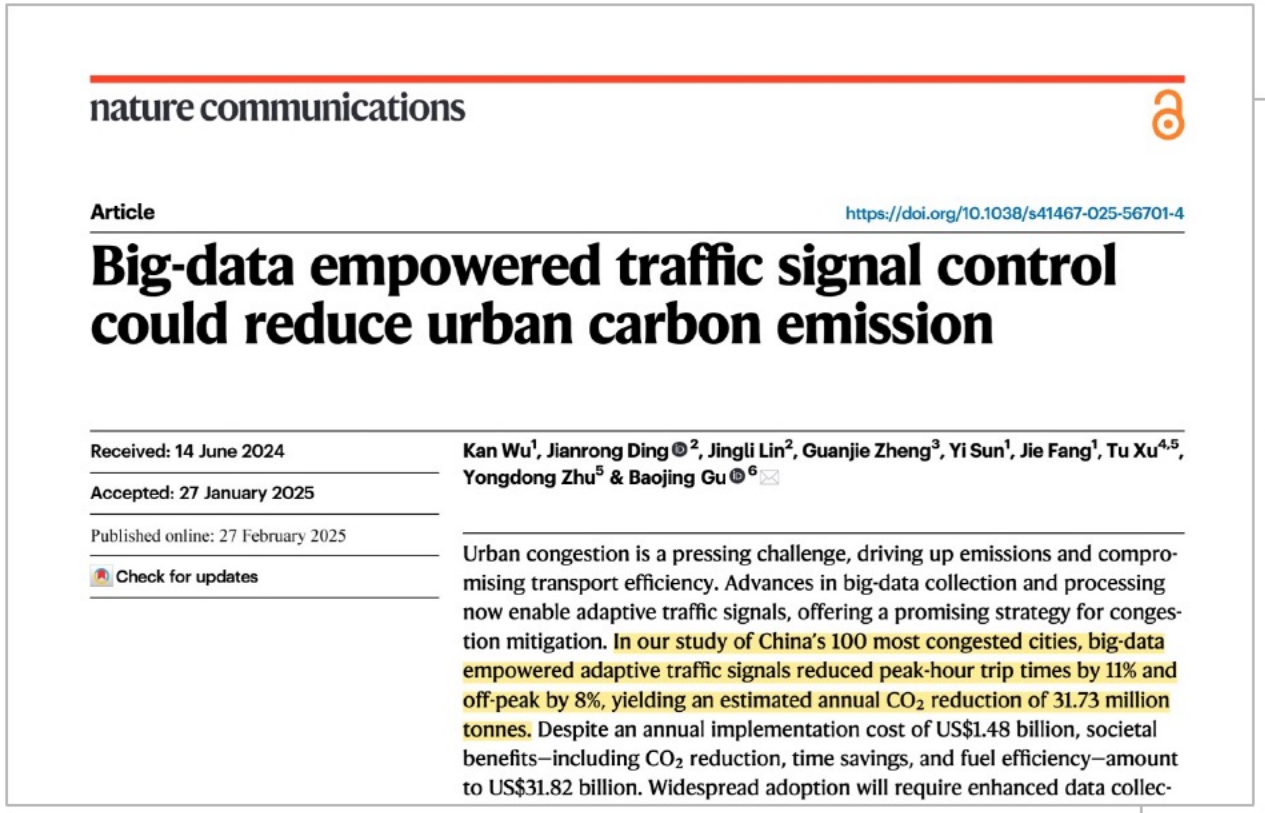
- Mégadonnées pour le réglage des feux
  - Lancé en 2023 ; actif dans 20 villes
  - Jusqu'à 30 % d'arrêts en moins et 10 % d'émissions de GES en moins*
- L'IA déduit les paramètres actuels des feux à temps fixe
  - Durée du cycle
  - Temps de transition
  - Répartition du vert (durée et ordre de priorité)
  - Coordination
  - Fonctionnement des capteurs (actionnement)
- Recommande aux ingénieurs trafic des villes des ajustements des paramètres des feux

* Aucun audit indépendant disponible



Google AI's Green Light. sites.research.google/gr/greenlight.

L’IA pour l’optimisation des feux de circulation



nature communications

Article

https://doi.org/10.1038/s41467-025-56701-4

Big-data empowered traffic signal control could reduce urban carbon emission

Received: 14 June 2024

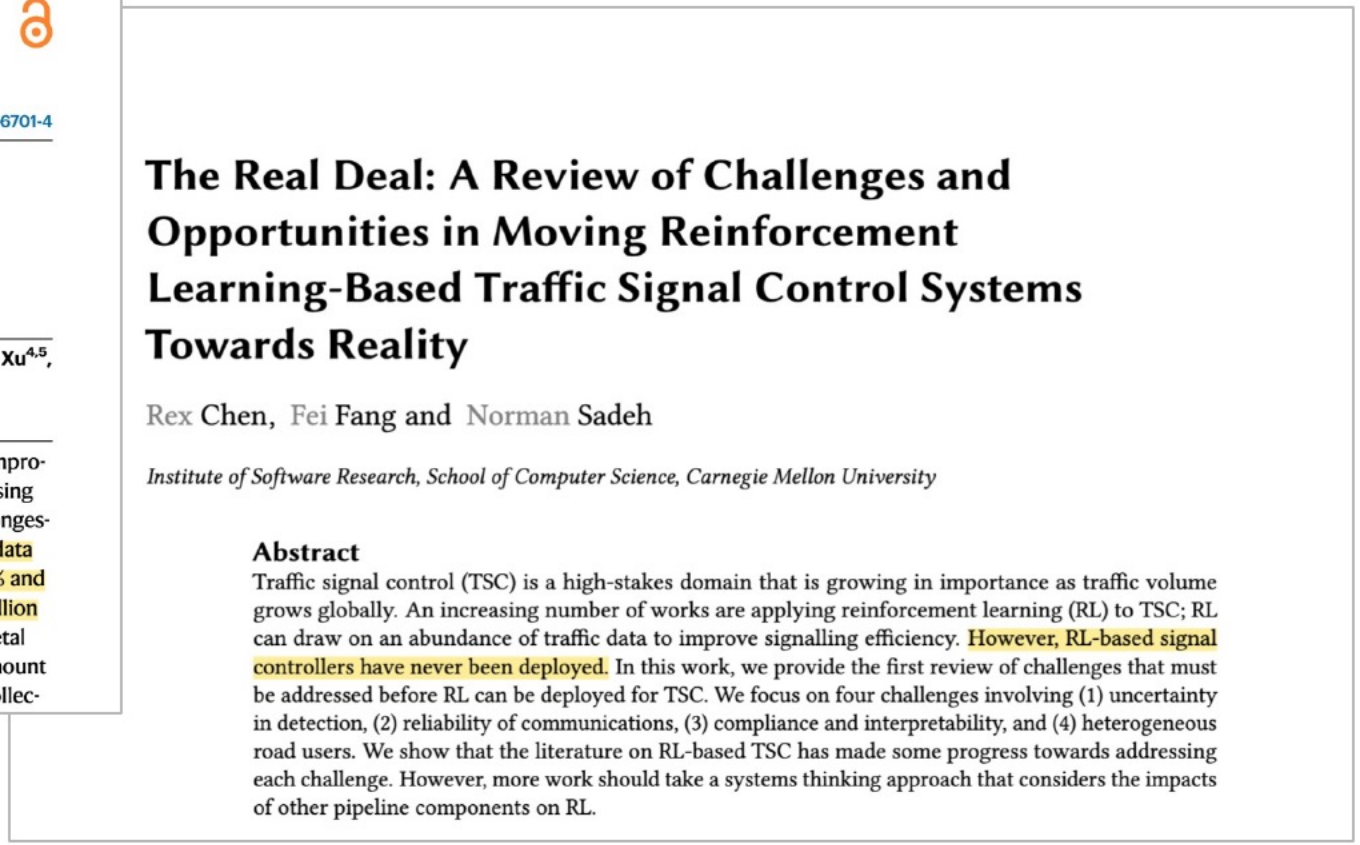
Accepted: 27 January 2025

Published online: 27 February 2025

Check for updates

Kan Wu[1], Jianrong Ding[2], Jingli Lin[2], Guanjie Zheng[3], Yi Sun[1], Jie Fang[1], Tu Xu[4,5], Yongdong Zhu[5] & Baojing Gu[6]

Urban congestion is a pressing challenge, driving up emissions and compromising transport efficiency. Advances in big-data collection and processing now enable adaptive traffic signals, offering a promising strategy for congestion mitigation. In our study of China’s 100 most congested cities, big-data empowered adaptive traffic signals reduced peak-hour trip times by 11% and off-peak by 8%, yielding an estimated annual CO_2 reduction of 31.73 million tonnes. Despite an annual implementation cost of US$1.48 billion, societal benefits—including CO_2 reduction, time savings, and fuel efficiency—amount to US$31.82 billion. Widespread adoption will require enhanced data collec-



The Real Deal: A Review of Challenges and Opportunities in Moving Reinforcement Learning-Based Traffic Signal Control Systems Towards Reality

Rex Chen, Fei Fang and Norman Sadeh

Institute of Software Research, School of Computer Science, Carnegie Mellon University

Abstract

Traffic signal control (TSC) is a high-stakes domain that is growing in importance as traffic volume grows globally. An increasing number of works are applying reinforcement learning (RL) to TSC; RL can draw on an abundance of traffic data to improve signalling efficiency. However, RL-based signal controllers have never been deployed. In this work, we provide the first review of challenges that must be addressed before RL can be deployed for TSC. We focus on four challenges involving (1) uncertainty in detection, (2) reliability of communications, (3) compliance and interpretability, and (4) heterogeneous road users. We show that the literature on RL-based TSC has made some progress towards addressing each challenge. However, more work should take a systems thinking approach that considers the impacts of other pipeline components on RL.

[1] K. Wu et al., “Big-data empowered traffic signal control could reduce urban carbon emission,” Nat Commun, 2025, doi: 10.1038/s41467-025-56701-4.
[2] R. Chen, F. Fang, and N. Sadeh, “The real deal: A review of challenges and opportunities in moving reinforcement learning-based traffic signal control systems towards reality,” arXiv preprint arXiv:2206.11996, 2022.

Energy Policy 38 (2010) 762–769

Contents lists available at ScienceDirect

Energy Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enpol

Eco-driving: An overlooked climate change initiative

Jack N. Barkenbus

Climate Change Research Network, Vanderbilt University, 131 21st Avenue South, Nashville, TN 37203, United States

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 June 2009
Accepted 2 October 2009
Available online 28 October 2009

Keywords:
Climate change
Transportation
Mitigation

ABSTRACT

The actions individuals can take to mitigate climate change are, in the aggregate, significant. Mobilizing individuals to respond personally to climate change, therefore, must be a complementary approach to a nation's climate change strategy. One action item overlooked in the United States has been changing driver behavior or style such that eco-driving becomes the norm rather than the exception. Evidence to date indicates that eco-driving can reduce fuel consumption by 10%, on average and over time, thereby reducing CO_2 emissions from driving by an equivalent percentage. A sophisticated, multi-dimensional campaign, going well beyond what has been attempted thus far, will be required to achieve such savings on a large scale, however, involving education (especially involving the use of feedback devices), regulation, fiscal incentives, and social norm reinforcement.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

[1] J. N. Barkenbus, "Eco-driving: An overlooked climate change initiative," Energy Policy, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2009.10.021.

L’écoconduite pour la planète (grâce à l’IA)

Mitigating Metropolitan Carbon Emissions with Dynamic Eco-driving at Scale

Transportation Research Part C: Emerging Technologies 2025


Vindula Jayawardana


Baptiste Freydt


Ao Qu


Cameron Hickert


Edgar Sanchez


Catherine Tang


Mark Taylor


Blaine Leonard


Cathy Wu

Implications politiques des véhicules connectés et automatisés ?

Potentiel des VCA : écoconduite aux carrefours à feux

Vidéo : Audi



De « comment écoconduire » (1 000+ articles)
à « faut-il écoconduire » (≈ 0 article) ?

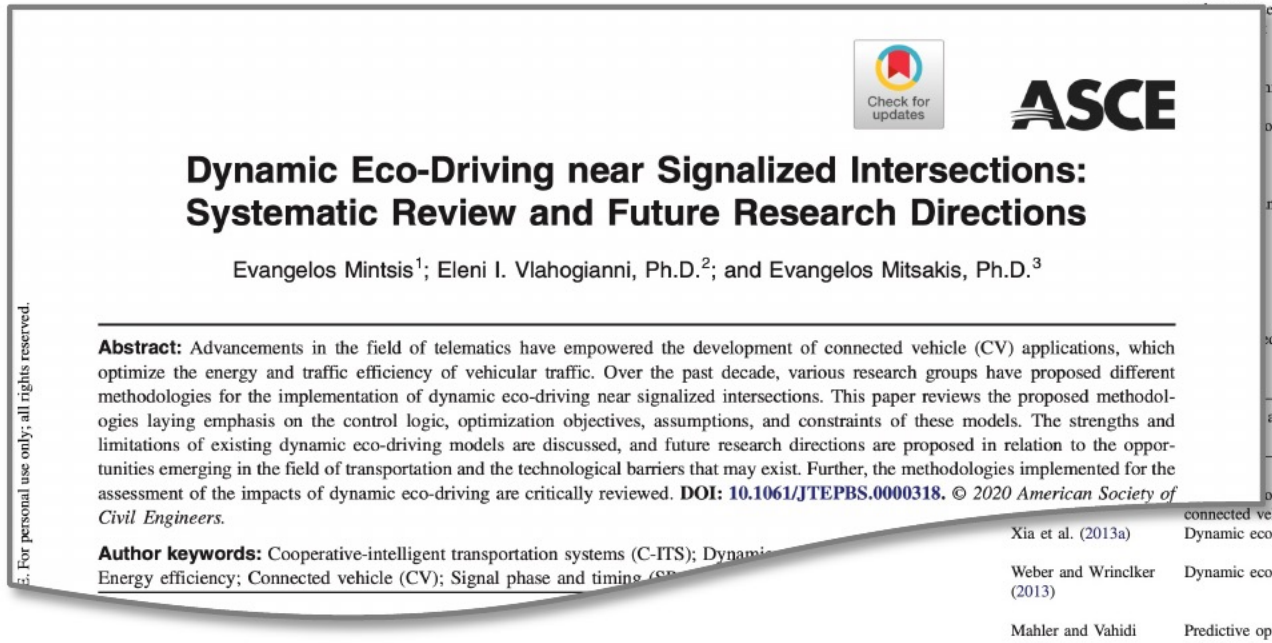
Question de recherche : un contrôle intelligent des véhicules pour réduire le CO aux carrefours, à l'échelle de la ville, ferait-il avancer les objectifs d'atténuation ?

* Estimated using Google Scholar

[1] Mintsis et al. Dynamic eco-driving near signalized intersections: Systematic review and future research directions . Journal of Transportation Engineering, Part

Gains de l'écoconduite

Économies d'énergie / d'émissions



Check for updates

ASCE

Dynamic Eco-Driving near Signalized Intersections: Systematic Review and Future Research Directions

Evangelos Mintsis[1]; Eleni I. Vlahogianni, Ph.D.[2]; and Evangelos Mitsakis, Ph.D.[3]

Abstract: Advancements in the field of telematics have empowered the development of connected vehicle (CV) applications, which optimize the energy and traffic efficiency of vehicular traffic. Over the past decade, various research groups have proposed different methodologies for the implementation of dynamic eco-driving near signalized intersections. This paper reviews the proposed methodologies laying emphasis on the control logic, optimization objectives, assumptions, and constraints of these models. The strengths and limitations of existing dynamic eco-driving models are discussed, and future research directions are proposed in relation to the opportunities emerging in the field of transportation and the technological barriers that may exist. Further, the methodologies implemented for the assessment of the impacts of dynamic eco-driving are critically reviewed. **DOI: 10.1061/JTEPBS.0000318.** © *2020 American Society of Civil Engineers.*

Author keywords: Cooperative-intelligent transportation systems (C-ITS); Dynami… Energy efficiency; Connected vehicle (CV); Signal phase and timing (SP…

…. For personal use only; all rights reserved.

Table 3. Evaluation methodologies of existing dynamic eco-driving models and corresponding impacts

Author(s)	Speed advisory model name	Evaluation methodology	Test network configuration	Vehicle type	Energy savings (%)	Emissions savings (%)	Travel time savings (%)	Real-time ready
Ha et al. (2018)	EAD	Field experiment (real-world traffic)	El Camino Real test site	Single-vehicle (2.5L 4-cylinder)	2 (all trips)	7 (CO) 18 (HC) 13 (NO_x)	—	—
Jiang et al. (2017)	Dynamic eco-driving under partially connected …ed vehicles	Simulation (Excel VBA, MATLAB, and VISSIM)	Hypothetical intersection	—	2.02	1.97	10.80	Yes
		Field experiment (real-world traffic)	DRIVE C2X test site (Gothenburg, Sweden)	10 retrofitted prototype vehicles	—	—	—	Yes
	…mmendation	Field experiment	Virginia Smart Road Test facility	2014 Cadillac SRX	19	—	10	Yes
	…o-driving	Field experiment (real-world traffic)	Signalized arterial corridor (Thessaloniki, Greece)	340 taxis	—	9 (compliant versus noncompliant)	—	Yes
		MATLAB	—	30 top sold vehicles in the US	—	—	—	Yes
	…nce model	Simulation (EstiNet)	3.7 km urban arterial road in Beijing	—	—	2.13	8.15	—
		Numerical evaluation	Hypothetical intersection	—	3–12	5–20 (CO) 3–14 (HC) 6–21 (NO_x)	—	Yes
		Controlled experiment	Palmyrita Avenue, Riverside, California	2008 Nissan Altima	5–27	—	—	Yes
	…d dynamic	Simulation (INTEGRATION)	Cross intersection (Blacksburg, Virginia)	—	13	13 (CO, HC, CO_2, and NO_x)	38	—
	—	Simulation MATLAB (GPOPS)	—	—	—	—	—	—
	…assistant	Field experiment (real-world traffic)	Urban network	5 different vehicles (series-production)	29 4.9	—	–9 —	Yes Yes
	—	MATLAB (sensitivity analysis)	—	—	—	50 (NO_x)	14	—
	…o-driving for connected vehicles	Simulation (PARAMICS)	Hypothetical intersection	Single and multivehicle	31	—	—	Yes
Xia et al. (2013a)	Dynamic eco-driving	Simulation (PARAMICS)	11-signalized arterial corridor	Single and multivehicle	12.5	13 (CO_2)	0.7	Yes
Weber and Wrinclker (2013)	Dynamic eco-driving	Field experiment	Richmond Field Station test track El Camino Real test site	BMW mid-sized sedan	14	—	—	Yes
Mahler and Vahidi (2012)	Predictive optimal velocity planning algorithm	MATLAB Field experiment	— (Greenville, South Carolina)	— —	— —	— —	— —	Yes
Rakha et al. (2012)	—	MATLAB	—	—	30	—	—	—
Schuricht et al. (2011)	Predictive driver assistance	Simulation (IDM)	—	—	8.7	—	—	—
Raubitschek et al. (2011)	Predictive driving strategy	MATLAB Field experiment	— BMW test track (Aschheim, Munich, Germany)	—	10	—	—	Yes
Barth et al. (2011)	Dynamic eco-driving	Simulation (PARAMICS)	Hypothetical 10-signalized arterial	Mid-sized Sedan	12	12 (CO_2)	2	Yes
Asadi and Vahidi (2011)	PCC	SIMULINK (MATLAB)	Urban road Suburban road	—	47	56 (CO_2)	—	—
Tielert et al. (2010)	Speed adaptation model	Simulation (VISSIM)	Single-lane road segment Karlsruhe's inner city, Germany	EURO4 Otto and diesel engines	22 8	80 (CO); 35 (NO_x); 18 (PM) —	—	—
Vreeswijk et al. (2010)	—	Simulation (VISSIM)	Four-leg intersection (Rotterdam, Netherlands)	—	—	5 (CO_2 and NO_x)	—	Yes
Saust et al. (2010)	—	Field experiment	Ring road of Braunschweig, Germany (two-lane arterial road)	—	35	—	—	Yes
Mandava et al. (2009)	Arterial velocity planning algorithm	Stochastic simulation	Hypothetical 10-signalized arterial	LDV24 and LDV17	12–14	12–14 (CO_2)	—	—
Li et al. (2009)	ADAS	Parametric analysis Simulation	—	—	14 8	—	—	—

§ Économies d'énergie / d'émissions estimées entre 2 et 56 % (25 études)

Mintsis et al. Dynamic eco-driving near signalized intersections: Systematic review and future research directions . Journal of Transportation Engineering, Part A, 2020

Wu

Calcul d'impact (ordre de grandeur*)

Impact sur la conduite

51.9%
x [6, 28]%
[3.1, 14.5]%

Kilomètres parcourus (VMT) près des carrefours à feux [1]

Émissions évitables par écoconduite (± 1 écart-type d'après [2])

des émissions de CO_2 de la conduite sont simplement « gaspillées » aux carrefours

Impact national

x 29%
x 81%
[0.7, 3.41]%

GES du secteur des transports [3]

↳ GES des véhicules routiers [4]

des émissions de CO_2 des États-Unis sont simplement « gaspillées » aux carrefours

Gold standard:
–1% global GHG
Breakthrough Energy Ventures
Led by Bill Gates

[1] U.S. Federal Highway Administration (FHWA). Highway Statistics 2021. 2023.
[2] Mintsis et al. Dynamic eco-driving near signalized intersections: Systematic review and future research directions . Journal of Transportation Engineering, Part A, 2020.
[3] U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks . 2023.
[4] U.S. Environmental Protection Agency, Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions . 2023.

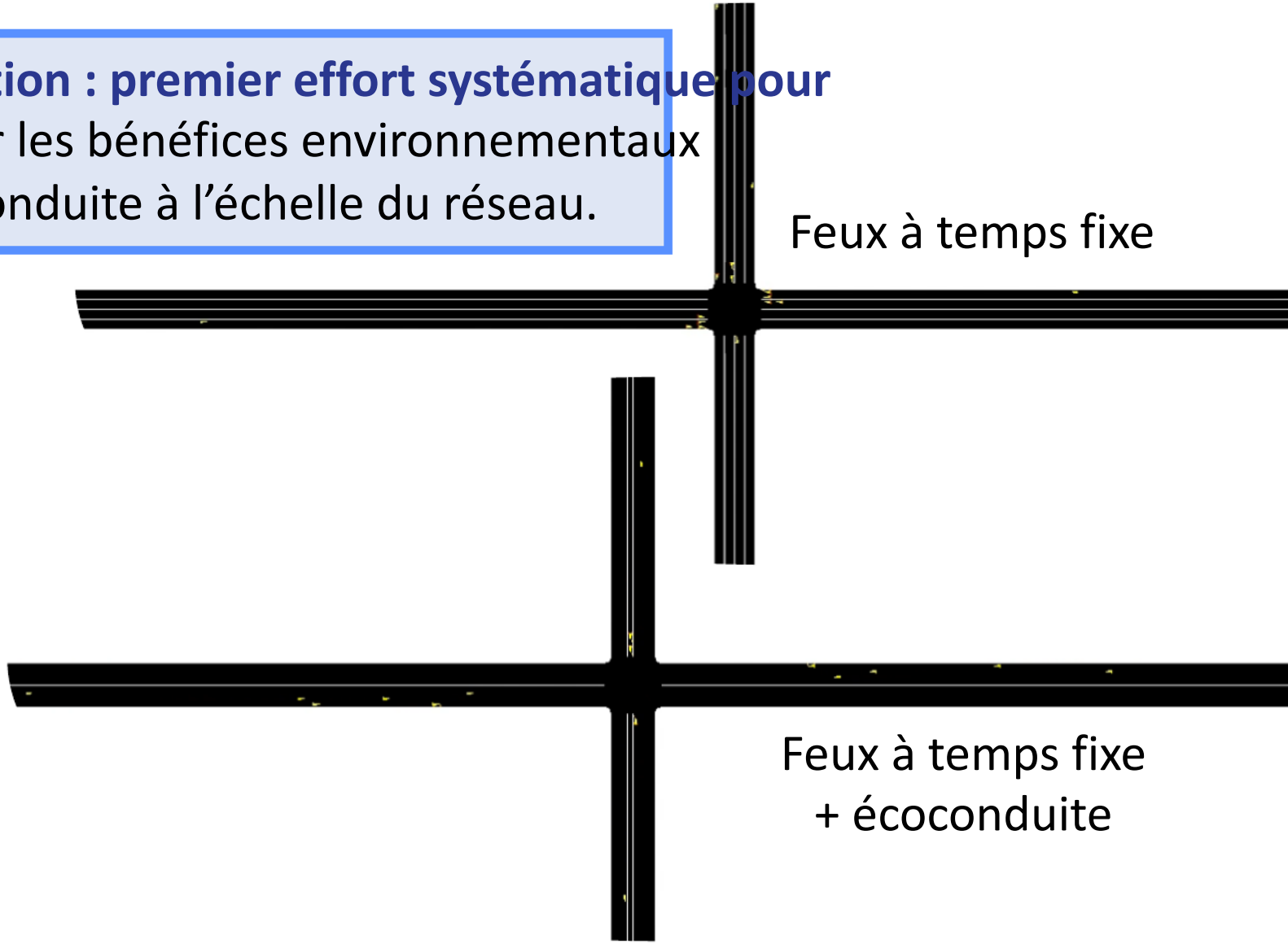
* Calculs fondés sur des statistiques américaines.

Écoconduite à l'échelle régionale



San Francisco

Contribution : premier effort systématique pour quantifier les bénéfices environnementaux de l'écoconduite à l'échelle du réseau.



Objectif : réduction attendue des émissions du parc sans impact notable sur le temps de trajet ni le débit des carrefours

Sous contraintes : exigences de sécurité, limites des actionneurs et code de la route

Tous les scénarios sont modélisés dans des simulateurs de niveau industriel

6 011 carrefours fondés sur des données réelles, modélisés dans le simulateur microscopique SUMO de niveau industriel

Plus d'1 million de scénarios de trafic



San Francisco | Los Angeles | Atlanta



Carrefour réel vs simulation

Qu, Valiveru, Tang, Jayawardana, Freydt, Wu, What is a typical signalized intersection in a city? A pipeline for intersection data imputation from OpenStreetMap , Transportation Research Board, 2023.
Jayawardana et al. IntersectionZoo: Eco-driving for benchmarking contextual reinforcement learning . International Conference on Learning Representations (ICLR), 2025.

Tous les scénarios sont modélisés avec des données et outils ouverts

OpenStreetMap

NOAA

PRECISION TRAFFIC & SAFETY SYSTEMS

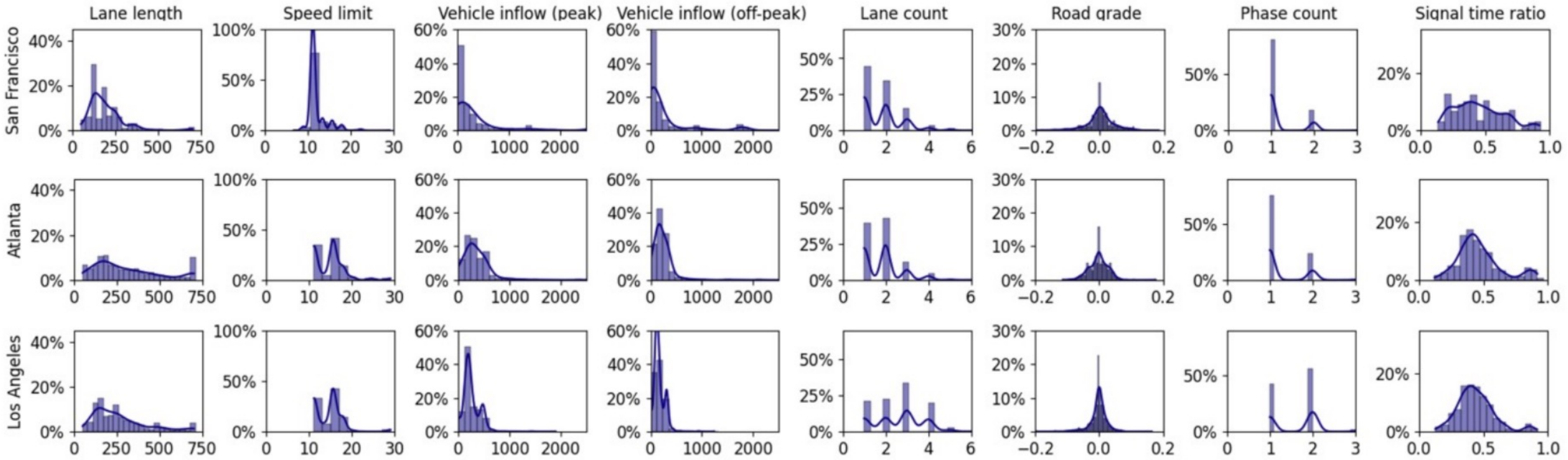
SFMTA

GDOT Georgia Department of Transportation

CA.GOV CALIFORNIA OPEN DATA PORTAL

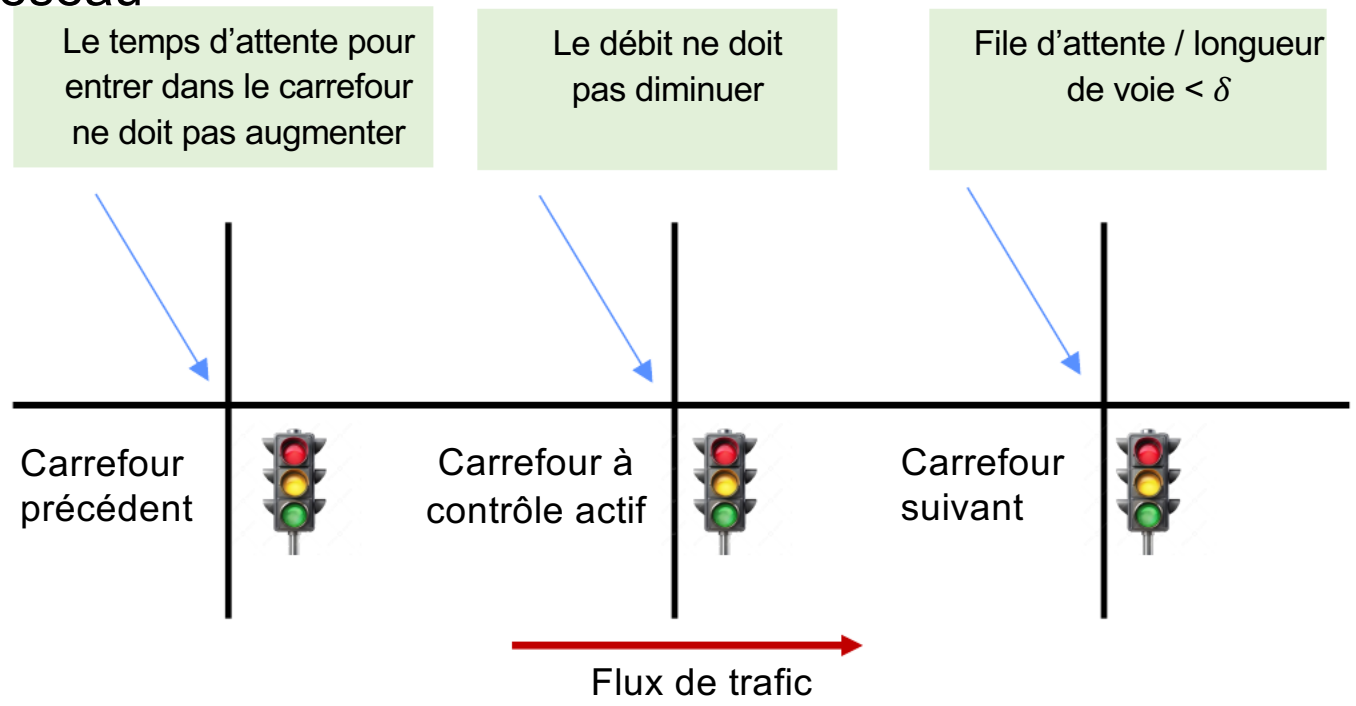
Institut d'études géologiques des États-Unis (US

MOVES Motor Vehicle Emission Simulator



Décomposition du réseau

Conditions de la décomposition du réseau



Si l'écoconduite viole l'une de ces conditions, les bénéfices sont fixés à zéro

Les bénéfices obtenus sont donc une borne inférieure des bénéfices possibles

Modéliser l'écoconduite comme un PDM

§ Protocole d'entraînement : RL multi-agents à paramètres partagés, selon un entraînement centralisé et une exécution décentralisée.

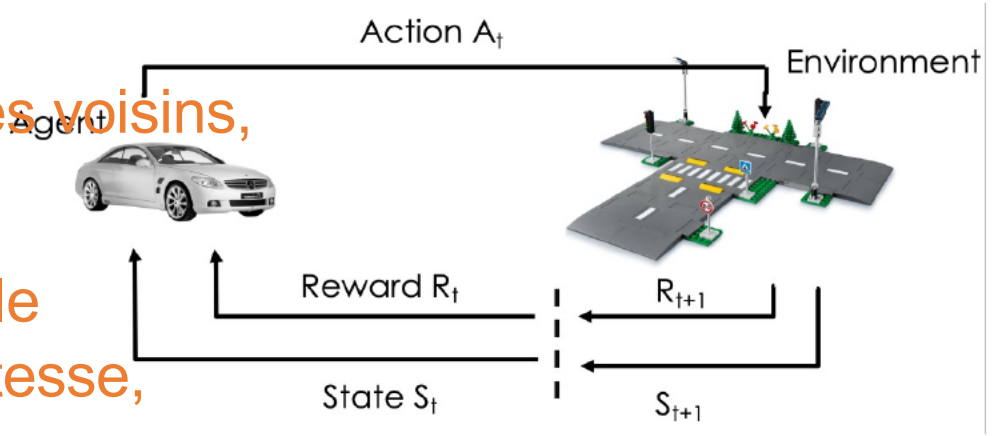
- Processus de décision markovien décentralisé partiellement observé (Dec-POMDP)

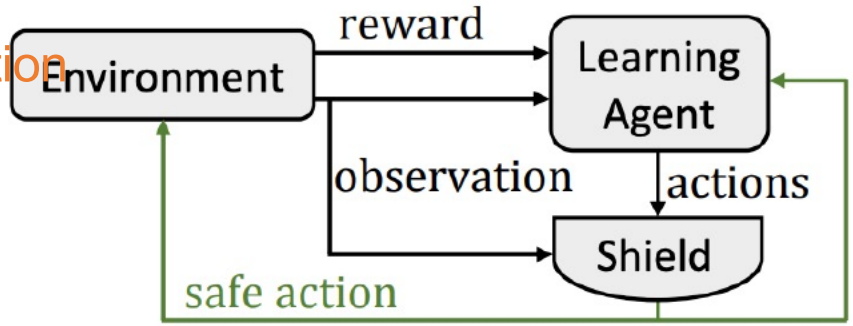
§ Pour chaque véhicule en écoconduite :

- Observation : capteurs du véhicule, véhicules voisins, informations sur les feux et contexte du carrefour
- Action : accélération longitudinale du véhicule
- Récompense : combinaison linéaire de la vitesse, des émissions et du ralenti
- Fonction de transition :
  - § Comportement des autres usagers, feux de circulation
  - § Contraintes strictes assurées par post-shielding
- Horizon : 12,5 min (1 500 pas de 0,5 s)

avec un facteur d'actualisation $\gamma = 0.99$

§ Un cycle de feu dure en général 1 à 3 min





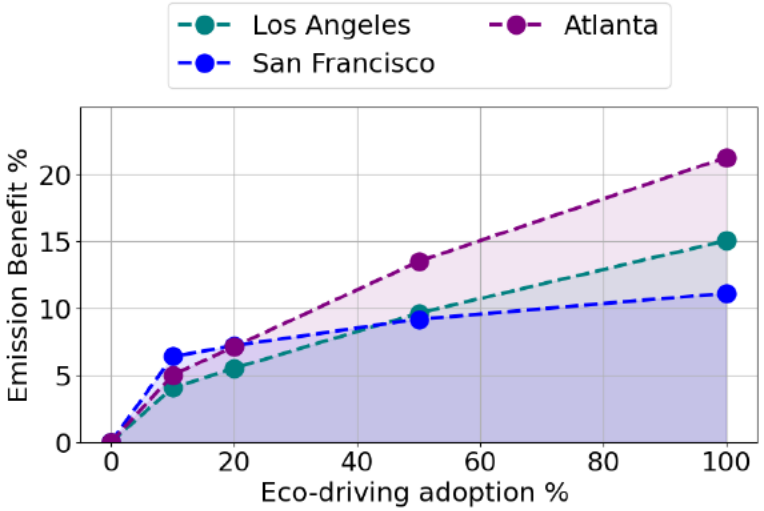
Wu

Résultats : efficacité globale

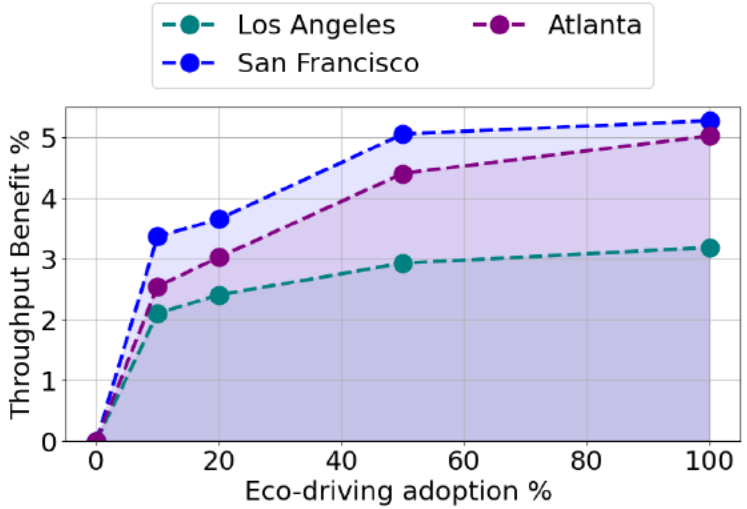
Gold standard:
–1% global GHG
Breakthrough Energy
Led by Bill Gates

L'écoconduite pourrait réduire de 11 à 21 % les émissions de CO_2 aux carrefours d'une ville.
Cela représente 1,34 à 2,68 % des émissions de CO_2 des États-Unis.

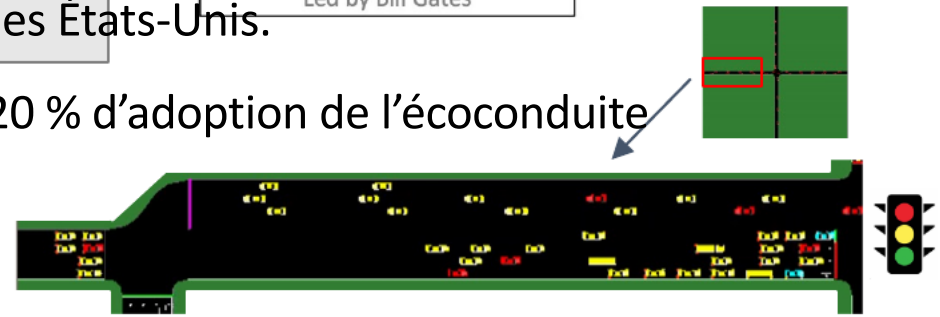
Réduction des émissions



Hausse du débit

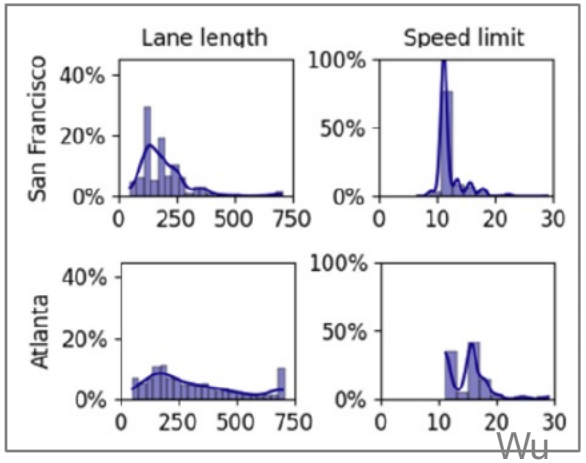


20 % d'adoption de l'écoconduite



100 % d'adoption de l'écoconduite





§ Effet non linéaire : 25 à 50 % des bénéfices dès 10 % d'adoption

Wu

Pourquoi Atlanta profite-t-elle plus de l'écoconduite que San Francisco ?

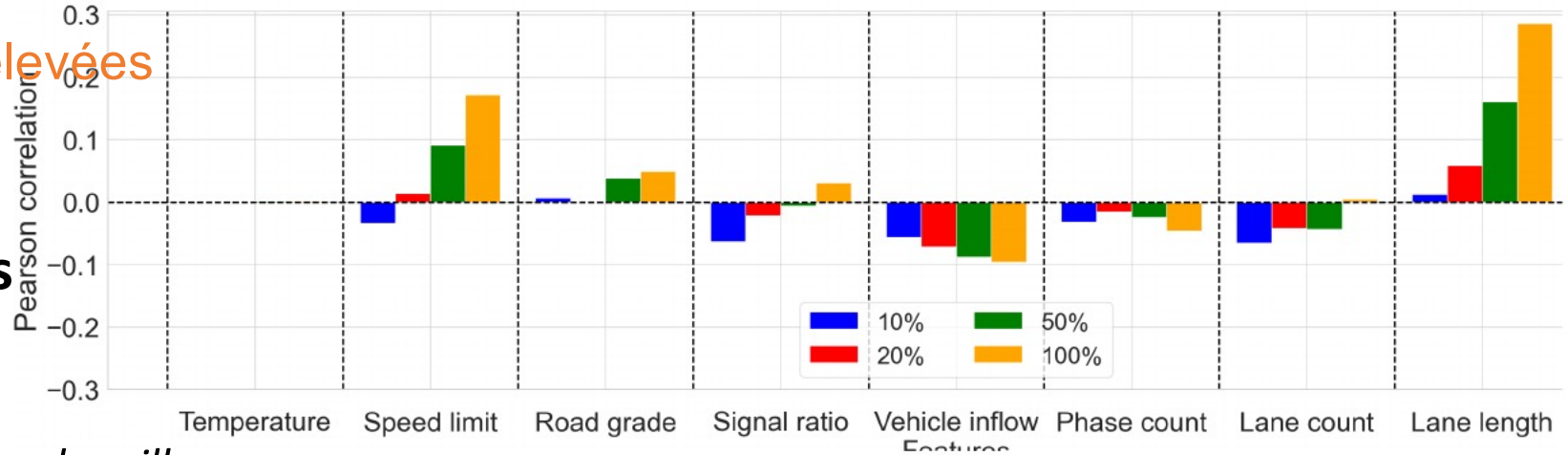
Atlanta vs San Francisco

§ Voies plus longues

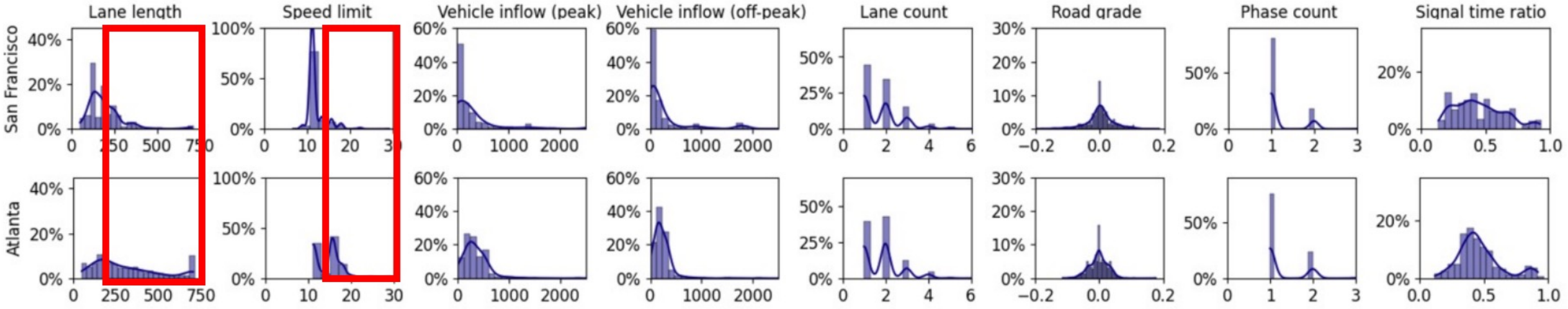
§ Limites de vitesse plus élevées

Ce sont les deux **facteurs les plus corrélés** aux bénéfices de **l'écoconduite**

Corrélation de Pearson entre bénéfices de l'écoconduite et facteurs



Distribution des caractéristiques des villes



V. Jayawardana, et al., C. Wu , "Mitigating Metropolitan Carbon Emissions with Dynamic Eco-driving at Scale," Transportation Research Part C: Emerging Technologies , 2025.

Calcul global de l'impact de l'écoconduite

Site web

Impact sur la conduite

51.9%
x [11, 22]%
[5.7, 11.4]%

Kilomètres parcourus (VMT) près des carrefours à feux [1]

Émissions évitables par écoconduite

des émissions de CO_2 de la conduite sont simplement « gaspillées » aux carrefours

Impact national

x 29%
x 81%
[1.3-2.7]%

GES du secteur des transports [3]

↳ GES des véhicules routiers [4]

des émissions de CO_2 des États-Unis sont simplement « gaspillées » aux carrefours

Gold standard:
–1% global GHG
Breakthrough Energy Ventures
Led by Bill Gates

[1] U.S. Federal Highway Administration (FHWA). Highway Statistics 2021. 2023.
[2] Mintsis et al. Dynamic eco-driving near signalized intersections: Systematic review and future research directions . Journal of Transportation Engineering, Part A, 2020.
[3] U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks . 2023.
[4] U.S. Environmental Protection Agency, Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions . 2023.

* Calculs fondés sur des statistiques américaines.

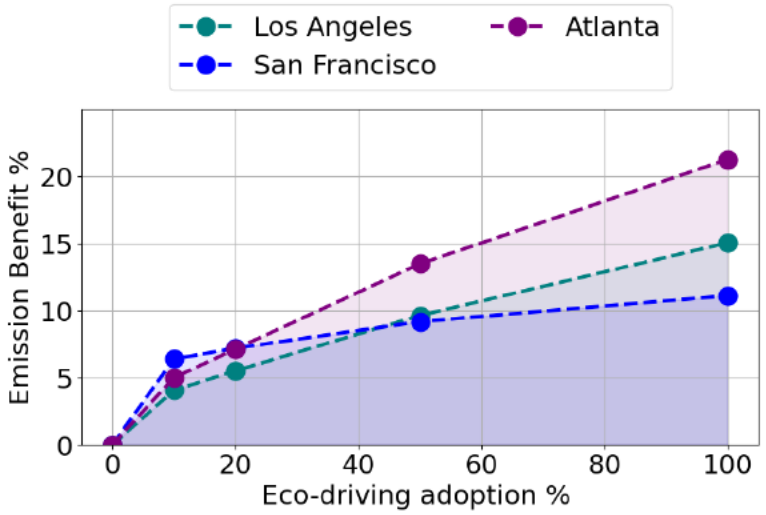
Résultats et implications politiques

Impact sur les émissions :
11 à 22 % des émissions de CO_2 aux carrefours

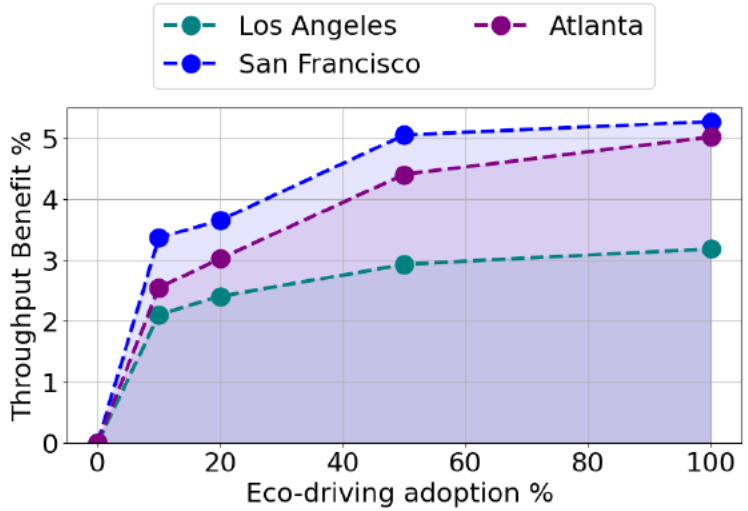
Potentiel à court terme : l'essentiel de l'impact vient d'une minorité de conducteurs et de carrefours

Pertinence à long terme : impact robuste jusqu'en 2050 grâce aux effets de parc et à la demande de déplacements

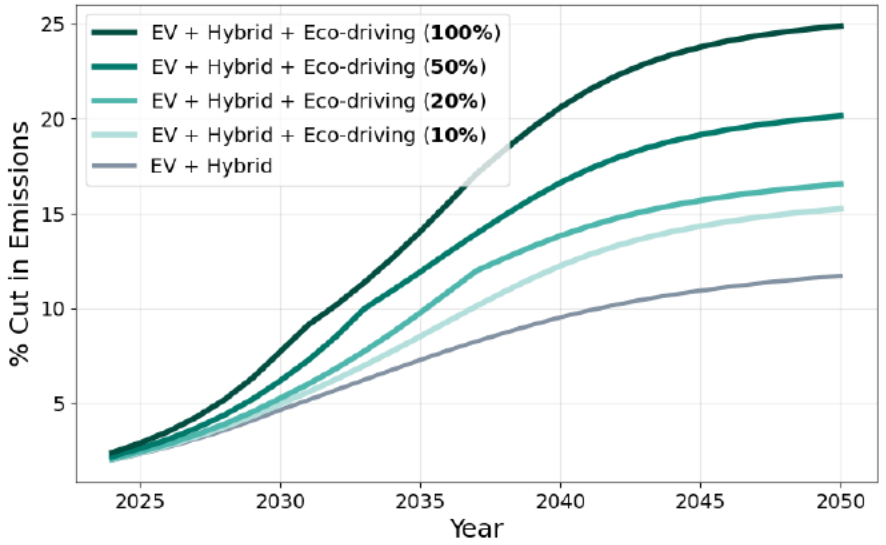
Réduction des émissions



Hausse du débit



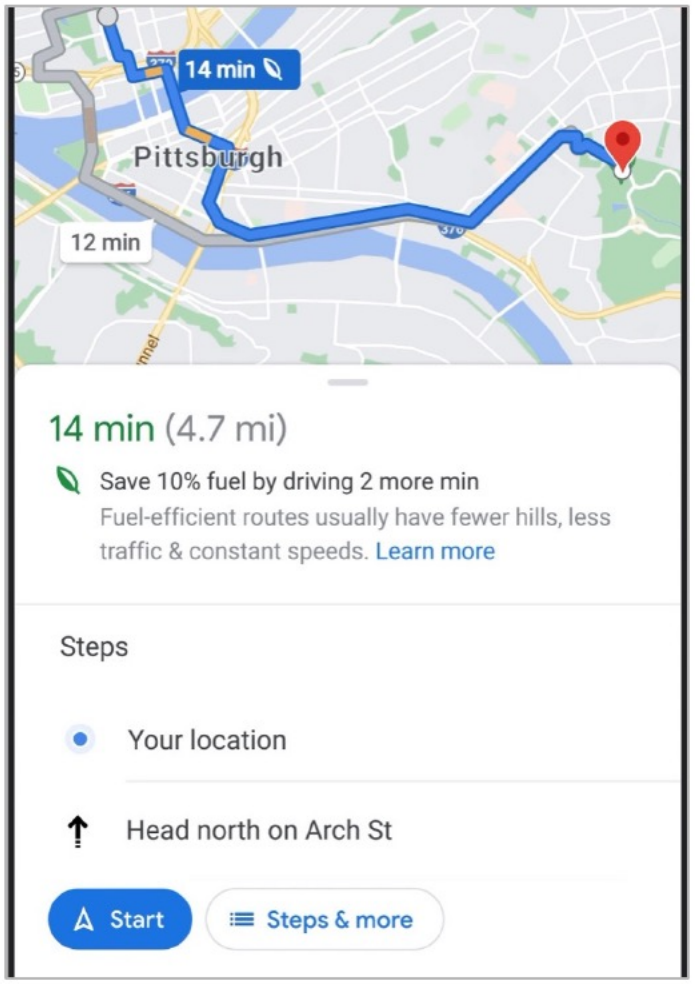
Projection jusqu'en 2050 (LA)



Fort impact, coût relativement faible, et complète les mesures climatiques existantes

V. Jayawardana et al. , "Mitigating Metropolitan Carbon Emissions with Dynamic Eco-driving at Scale," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Apr. 2025.

Itinéraires écologiques de Google Maps



Step 1

Simulate vehicle fuel efficiency across vehicle powertrains

NREL's **FASTSim** technology simulates fuel efficiency across various vehicle types and powertrains, incorporating second-by-second real-world driving data to calculate real-world fuel consumption over different road types and conditions with high accuracy.

Step 2

Predict fuel consumption across unique routes

NREL's **RouteE** is then trained by the FASTSim-calculated fuel consumption over different driving conditions to predict expected fuel consumption differences among a set of defined routes.

Step 3

Integrate Google's ML Routing Algorithm

Google integrates the insights and modeling from FASTSim and RouteE across all of Google Maps, incorporating Google's predicted traffic speeds with NREL's fuel consumption modeling to predict fuel consumption for all routes in the U.S., enabling a highly accurate model to maximize fuel efficiency.

Step 4

Set parameters to optimize journey time

Finally, we developed a set of parameters and time caps to determine the optimal time vs. fuel usage trade-off within Google Maps to avoid increasing travel time for negligible fuel savings. In this way, the vast majority of our recommended routes continue to be as fast as before.

[1] Google Research, "Google Maps Eco Friendly Routing," 2021.

ORION d’UPS : optimisation et navigation intégrées sur route

- Lancé en 2013
- Choisit des itinéraires efficaces selon les informations en temps réel (trafic, météo, heures d’enlèvement)
- Réduction estimée de la consommation de carburant de 10 millions de gallons par an, et de la production de CO_2 de 100 000 tonnes (Informs)
- Usage de l’IA
  - Prédire la performance des itinéraires
  - Recommander des itinéraires précis aux chauffeurs
- L’IA est prometteuse pour l’efficacité du fret lorsqu’elle améliore des *décisions opérationnelles répétées : itinéraires, mutualisation, appariement des charges, réduction des km à vide, planification de flotte et réponse aux perturbations*

L’IA pour traiter la longue traîne de l’optimisation des transports

Exemple : les problèmes de tournées de véhicules (VRP)

L'un des problèmes les plus étudiés en optimisation combinatoire :

- ≈10 000 travaux publiés rien qu'en 2025 (Google Scholar), surtout des heuristiques
- Application directe dans les systèmes réels qui distribuent des biens et fournissent des services
- Livraison du dernier kilomètre, collecte des déchets, interventions, covoiturage, transport à la demande



~10 000

articles en 2025

11 000 Md$+

coûts logistiques mondiaux, 2023

65 M+

colis livrés / jour aux États-Unis

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. "The Truck Dispatching Problem." Management Science, 1959.
Statistiques : Statista/Research & Markets (2024) ; rapport ShipMatrix sur les colis aux États-Unis (2024).

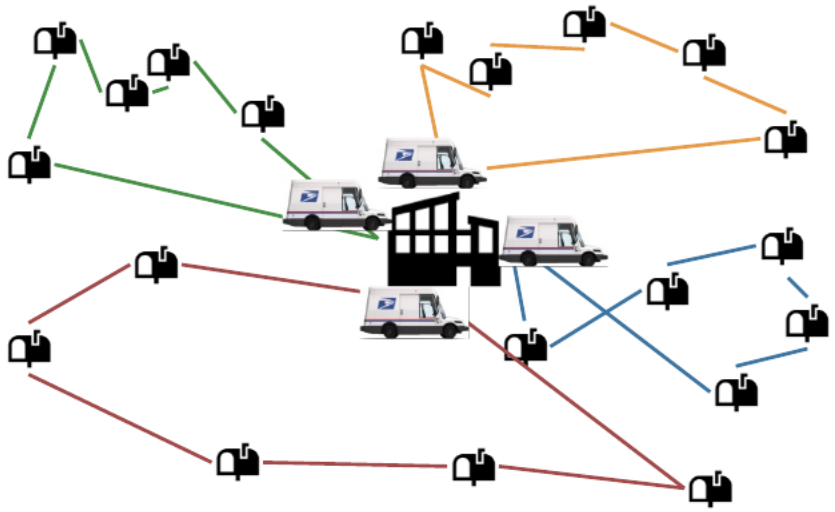
La longue traîne des problèmes d'optimisation des transports

Définition : problèmes de tournées de véhicules (VRP)

Données

- Dépôt
- N clients (lieu, demande)
- Flotte de véhicules (capacité)
- … Autres contraintes …

Trouver l'ensemble de tournées le moins coûteux qui satisfait tous les clients



Dimensions classiques

- Capacités des véhicules
- Fenêtres horaires
- Flottes hétérogènes
- Dépôts multiples
- Enlèvement et livraison, fret retour
- Livraison fractionnée
- Tournées sur arcs (p. ex. collecte des déchets)

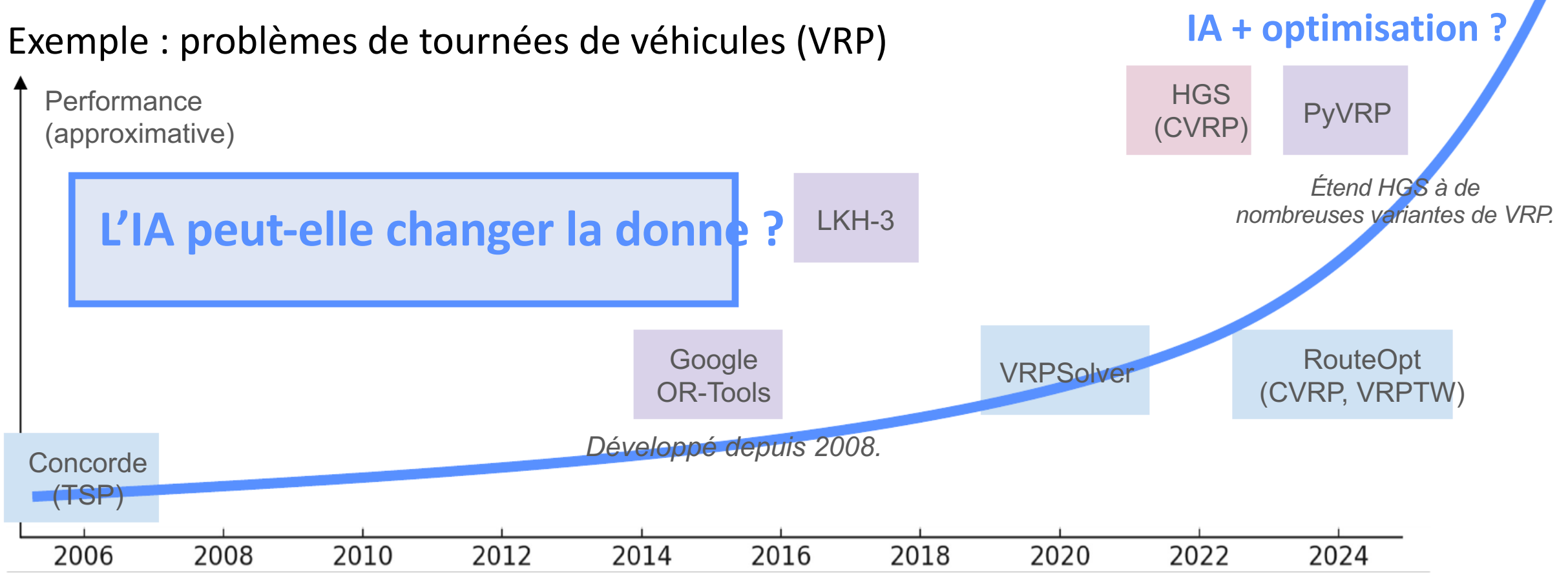
Variantes émergentes

- Tournées de véhicules électriques (décisions de recharge)
- Tournées de drones (3D, limites d'autonomie)
- Tournées en entrepôt (préparateurs, tri)
- Logistique multimodale (camion + drone, rail + camion)

Laporte, G. "Fifty Years of Vehicle Routing." Transportation Science, 2009.
Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. "The Truck Dispatching Problem." Management Science, 1959.

Résoudre la longue traîne est lent et laborieux

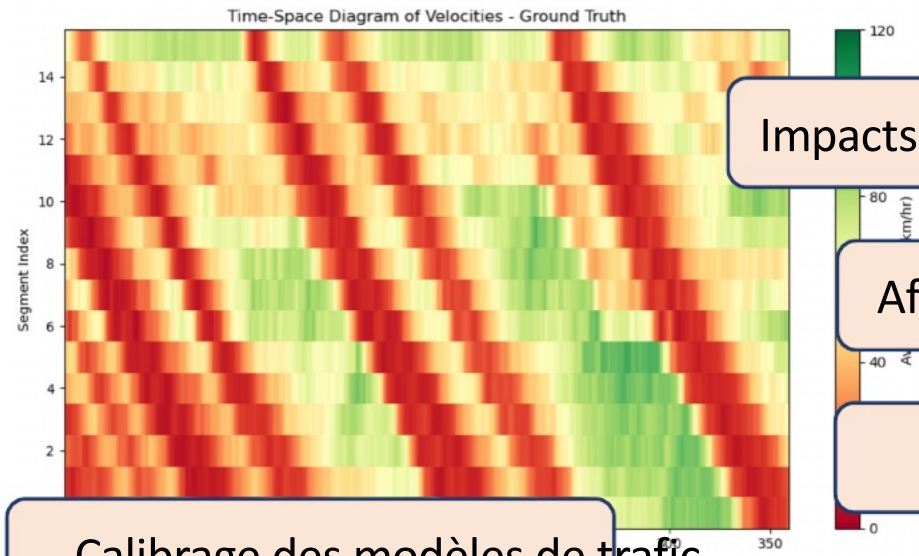
Exemple : problèmes de tournées de véhicules (VRP)



*En gros, l'axe des ordonnées correspond à la performance du solveur (p. ex. HGS > LKH-3 > OR-Tools).

Laporte, G. "Fifty Years of Vehicle Routing." Transportation Science, 2009.
Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. "The Truck Dispatching Problem." Management Science, 1959.

La longue traîne de l'optimisation est transversale

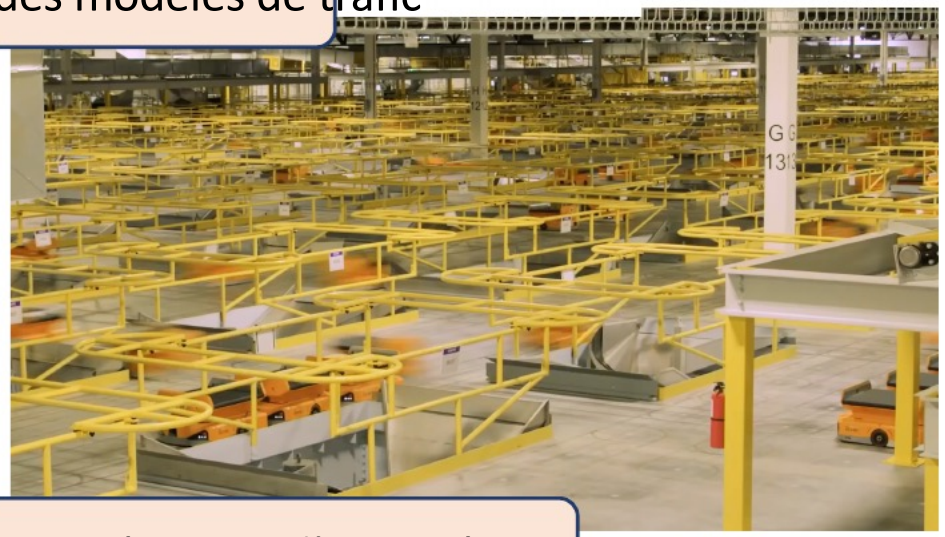


Calibrage des modèles de trafic

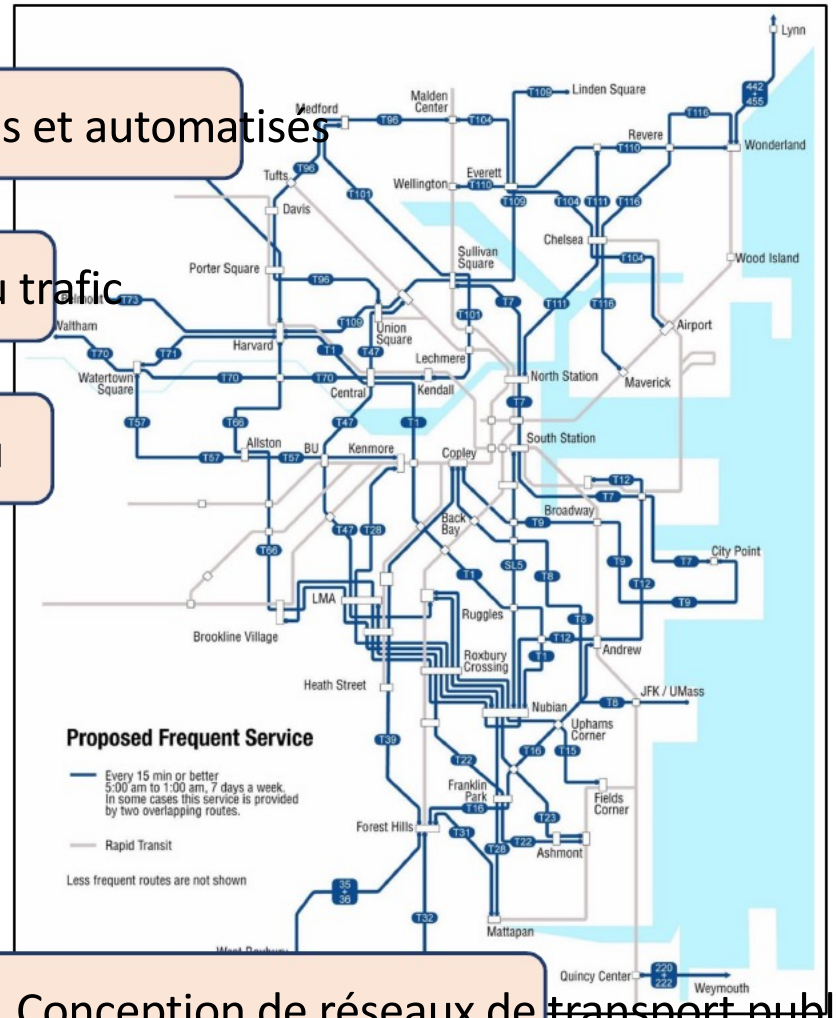
Impacts des véhicules connectés et automatisés

Affectation dynamique du trafic

Optimisation de réseau



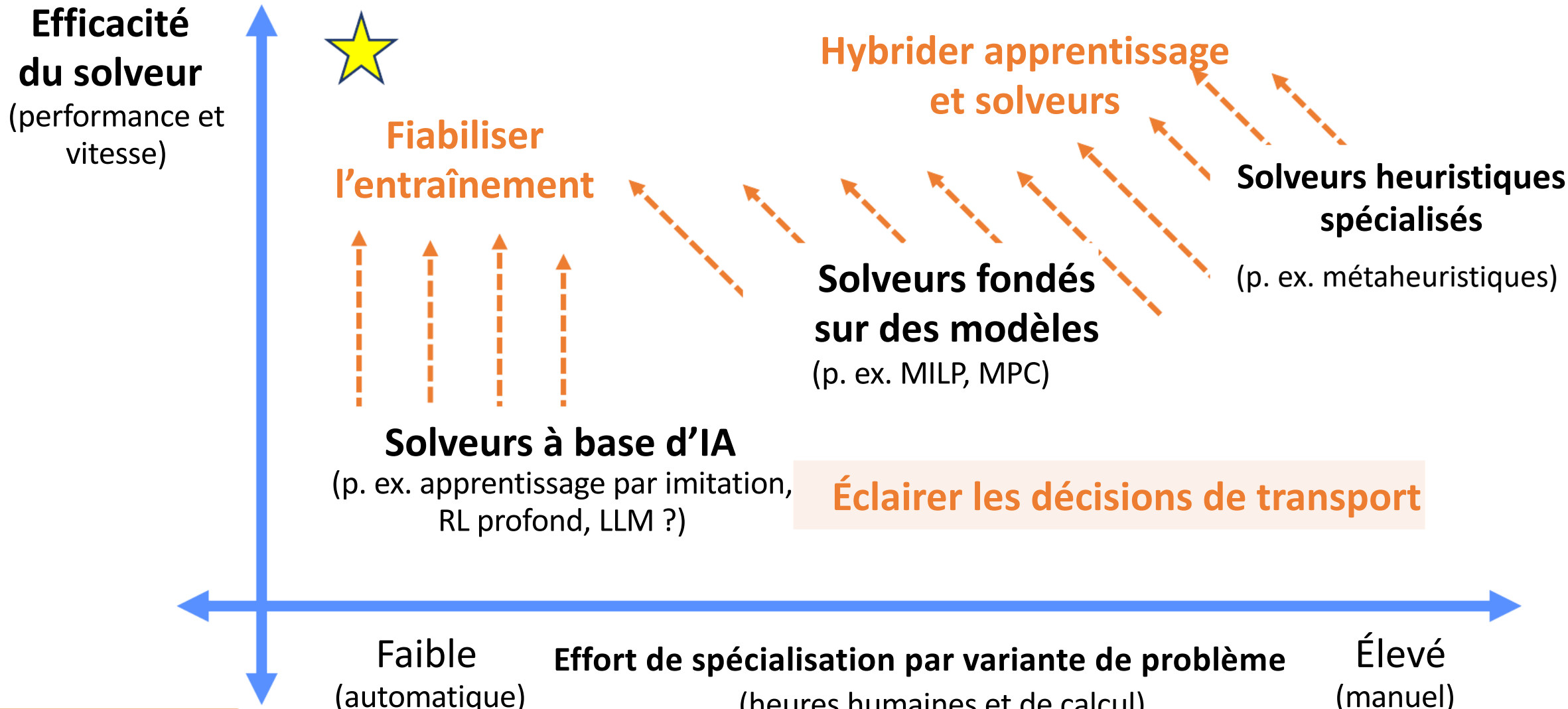
Opérations d'entrepôt



Conception de réseaux de ~~transport public~~

Wu

Panorama des solveurs d'optimisation

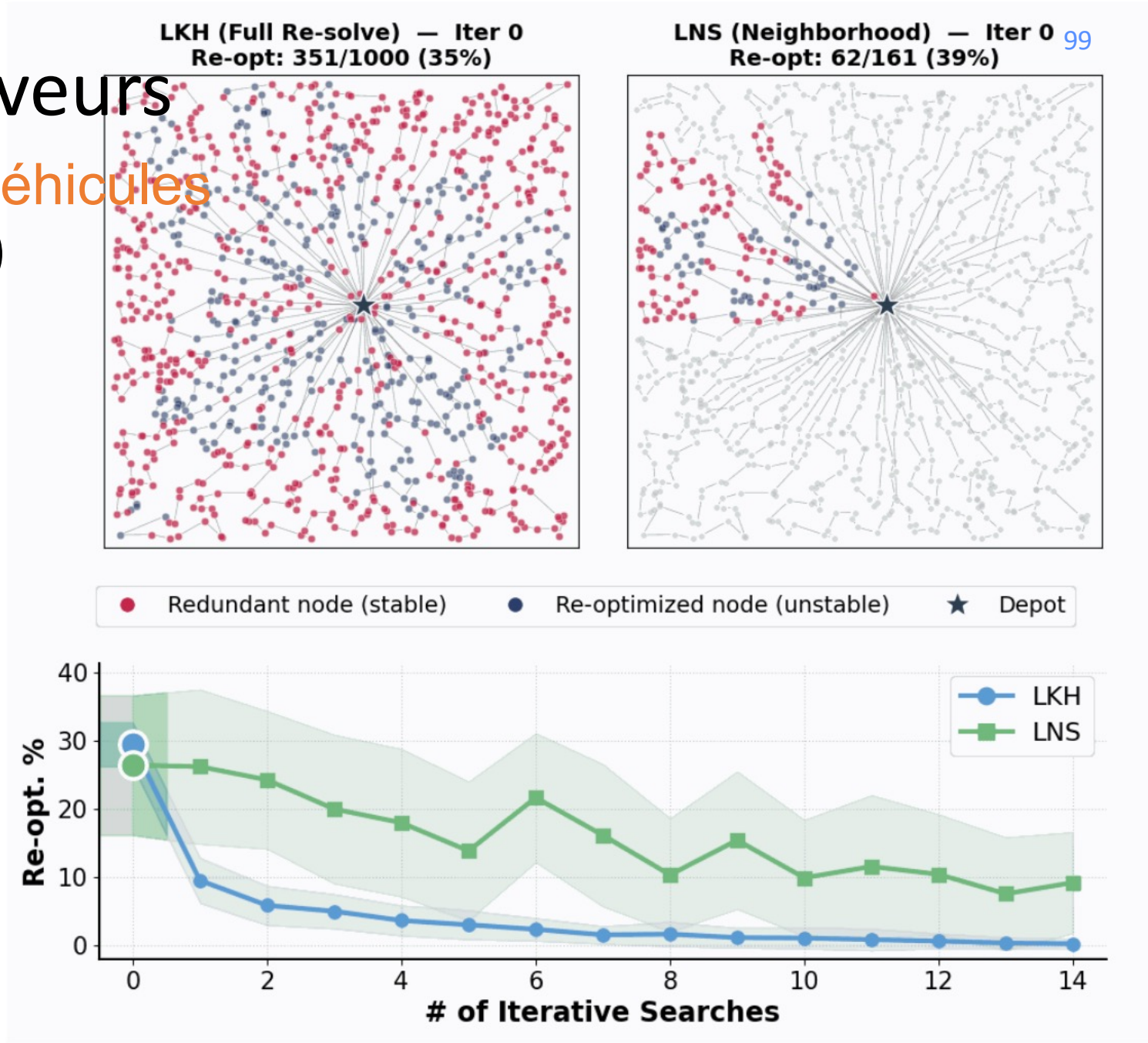


Mon laboratoire

Redondance des solveurs

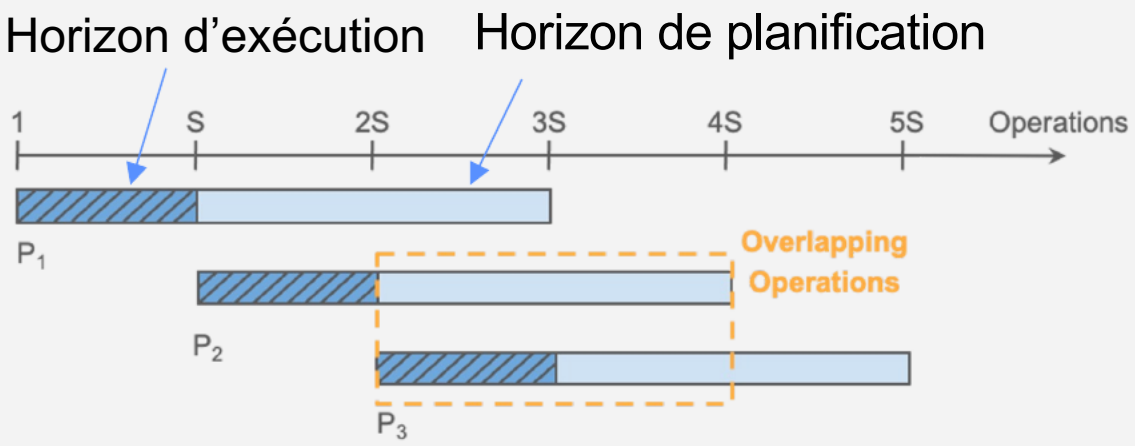
§ Exemple : tournées de véhicules

(solveurs : LKH, LNS + LKH)

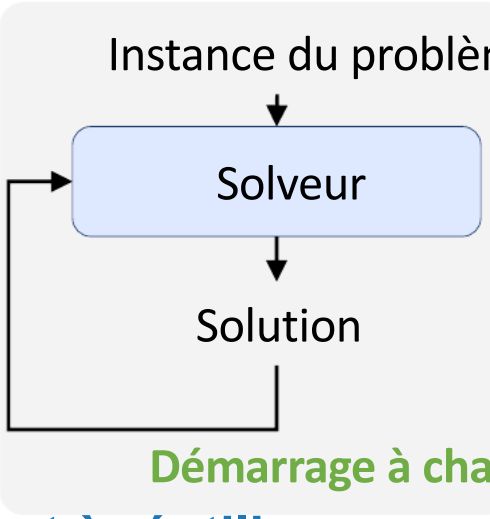


Apprendre à réutiliser : éviter les calculs redondants

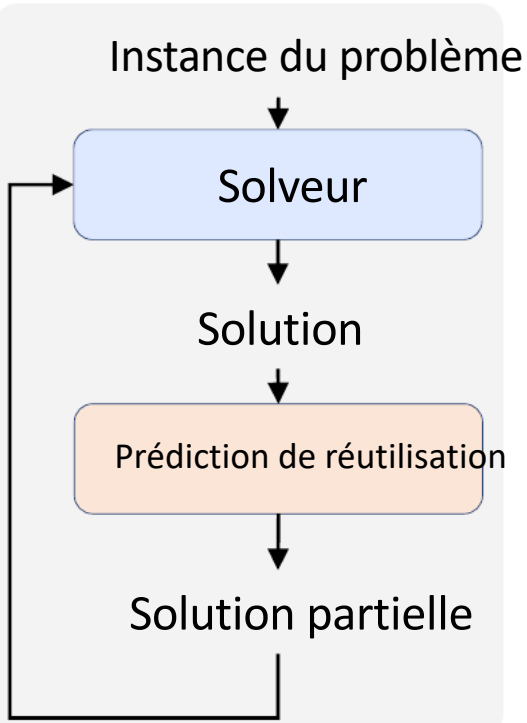
Cadre : optimisation à horizon glissant (RHO)



RHO avec démarrage à chaud



L-RHO (le nôtre)



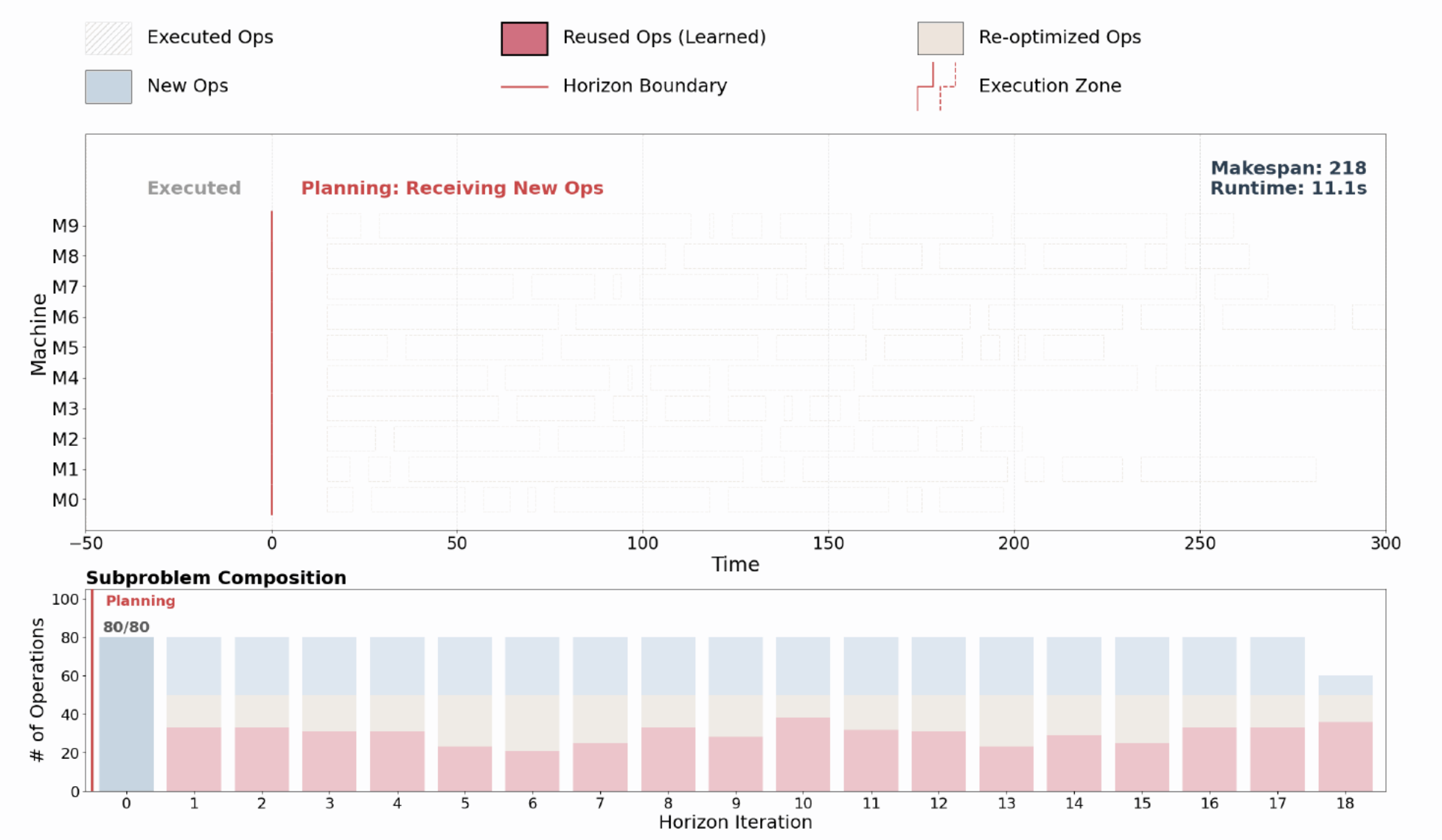
L-RHO : jusqu'à 50 % plus rapide en apprenant à réutiliser les solutions des sous-problèmes RHO successifs [1]

§ Méthode : entraîner un réseau de neurones profond à prédire si une variable de solution changera d'un sous-problème à l'autre

§ Étiquettes d'entraînement : oracle à anticipation

S. Li, W. Ouyang, Y. Ma, and C. Wu , "Learning-Guided Rolling Horizon Optimization for Long-Horizon Flexible Job Shop Scheduling," in ICLR, 2025.

L-RHO pour l'ordonnancement flexible d'ateliers (job shop)

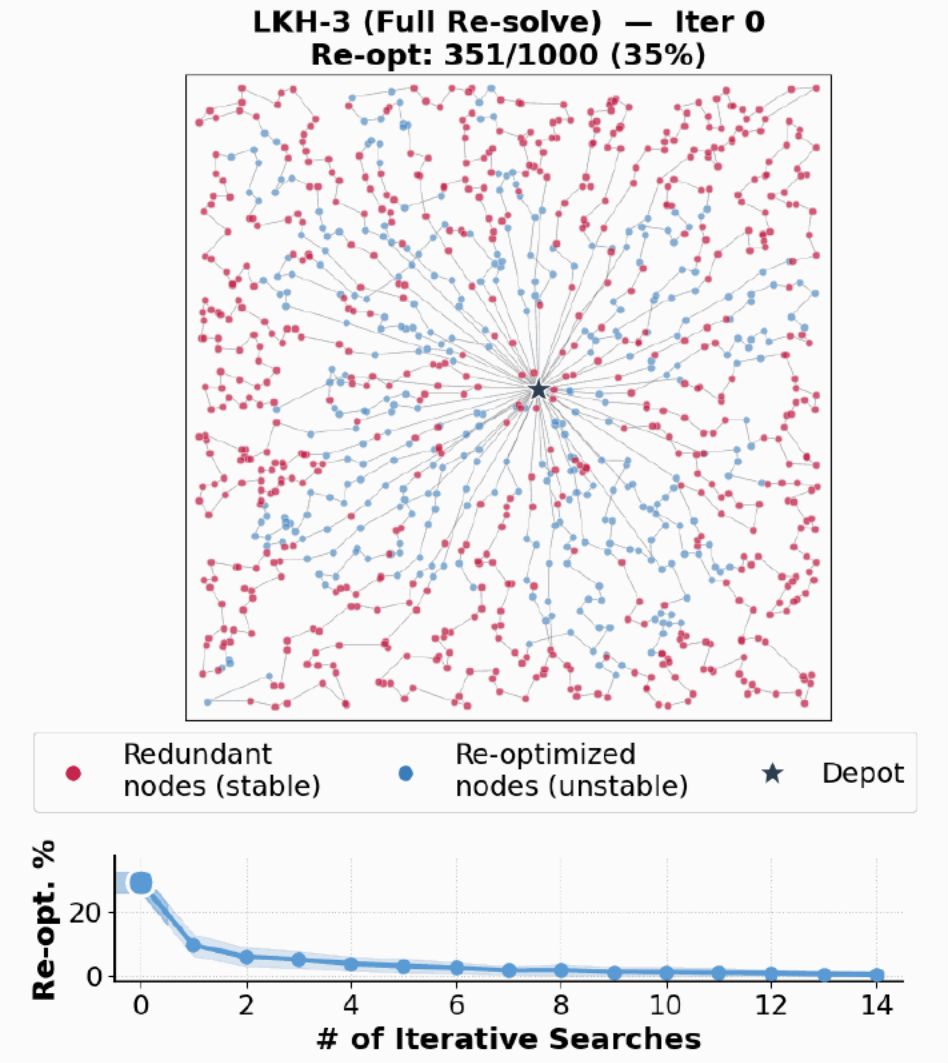


S. Li, W. Ouyang, Y. Ma, and C. Wu , "Learning-Guided Rolling Horizon Optimization for Long-Horizon Flexible Job Shop Scheduling," in ICLR, 2025.

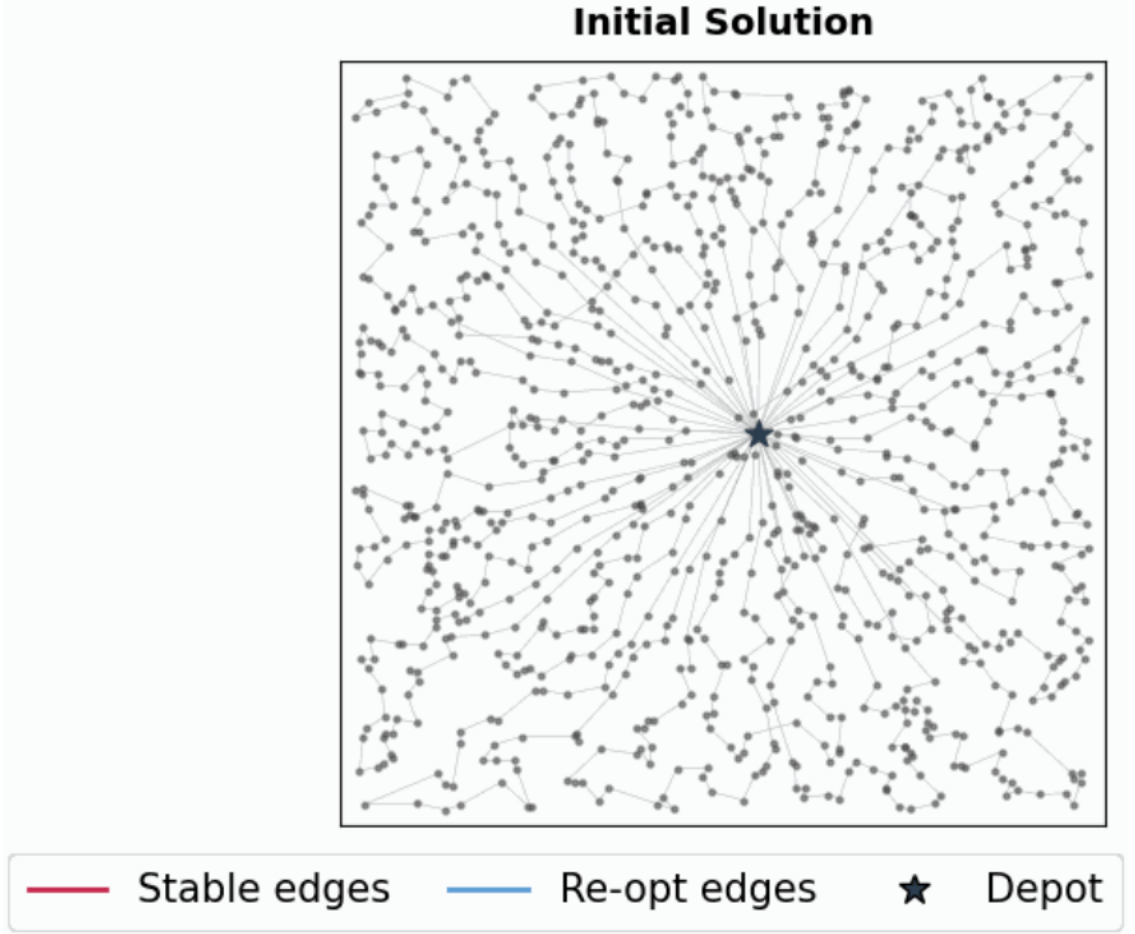
Wu

Apprendre à réutiliser pour les grands problèmes de tournées

Solveur de pointe LKH (métaheuristique)



Learning-to-Segment (le nôtre) : prédiction par Transformer des arêtes stables



Résultats : 7 fois plus rapide sur un CVRP à 2 000 clients

W. Ouyang, S. Li, Y. Ma, and C. Wu , “Learning to Segment for Vehicle Routing Problems,” International Conference on Learning Representations (ICLR), 2026. Oral

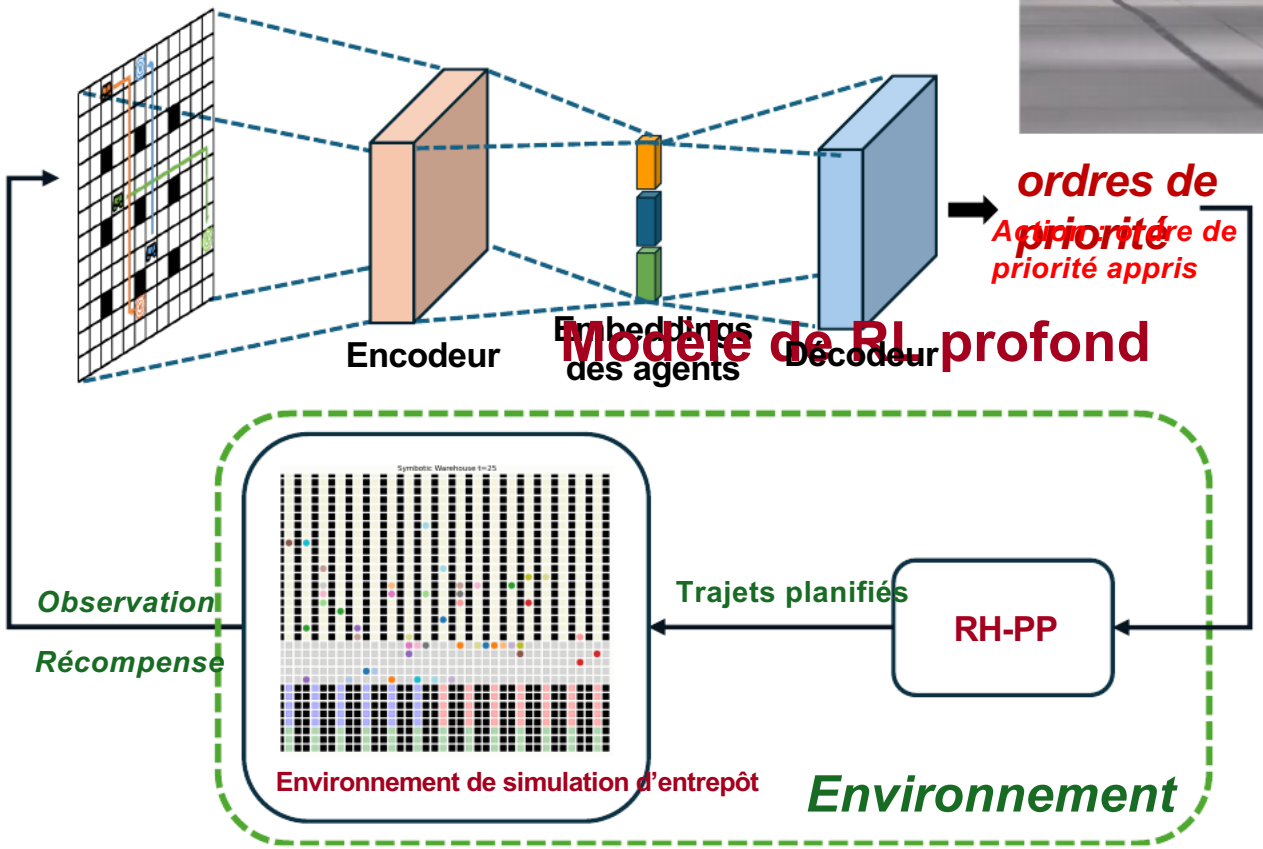
Réduire la congestion dans les entrepôts automatisés

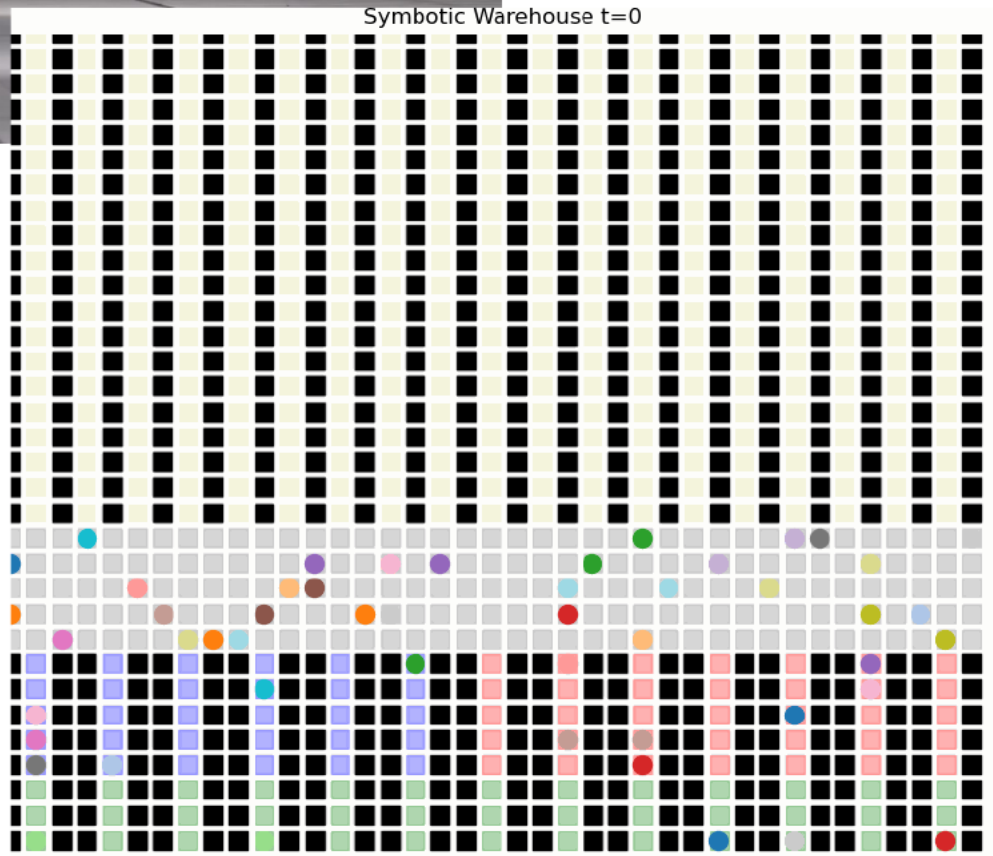
§ Apprendre l'ordre de priorité des agents

§ Méthode : planification priorisée guidée par RL profond

§ Résultats : +20 % de débit dans **des entrepôts de type Symbotic**





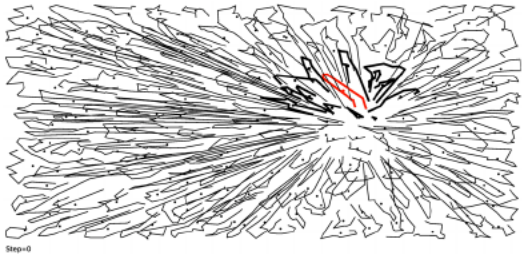


H. Zheng, Y. Ma, B. Araki, J. Chen, and C. Wu , "Learning-guided Prioritized Planning for Lifelong Multi-Agent Path Finding in Warehouse Automation," Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR) , 2026.

Optimisation combinatoire guidée par l'apprentissage

Contribution : l'apprentissage profond peut accélérer les solveurs d'optimisation combinatoire de 2 à 10 fois.

Apprendre à cibler et prioriser la recherche

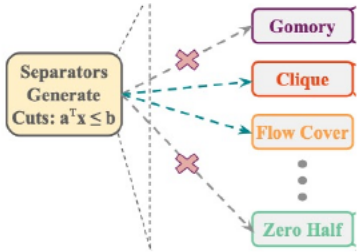


NeurIPS21 Spotlight (<3%)

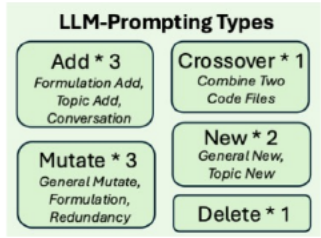


ICLR24 JAIR26

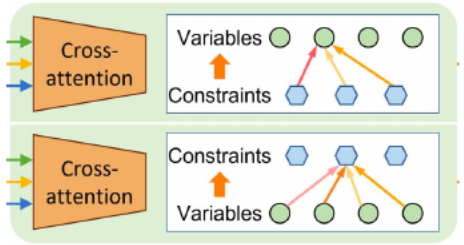
Apprentissage pour la programmation linéaire en nombres entiers mixtes



NeurIPS23

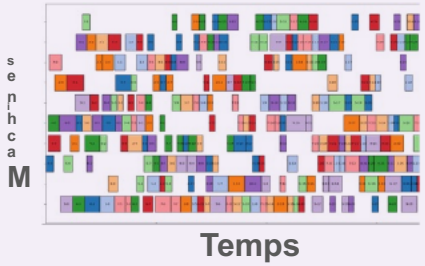


ICLR25

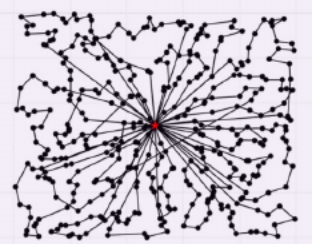


ICML26

Apprendre à réutiliser d'une itération à l'autre

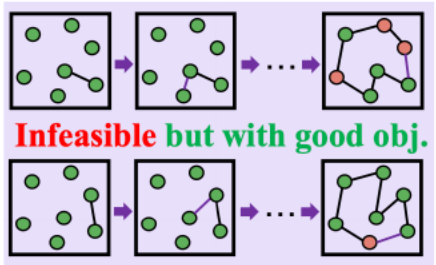


ICLR25



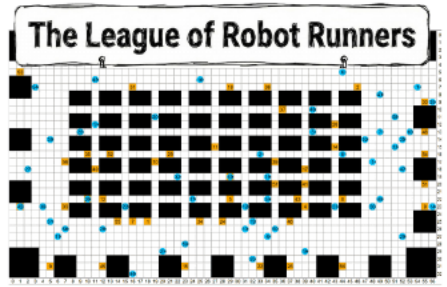
ICLR26 Oral (1%)

Apprendre à réparer les solutions

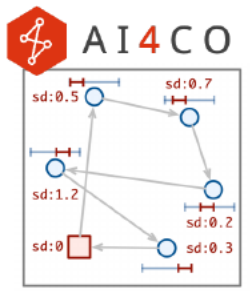


ICLR26

Benchmarks et compétitions



ICAPS24



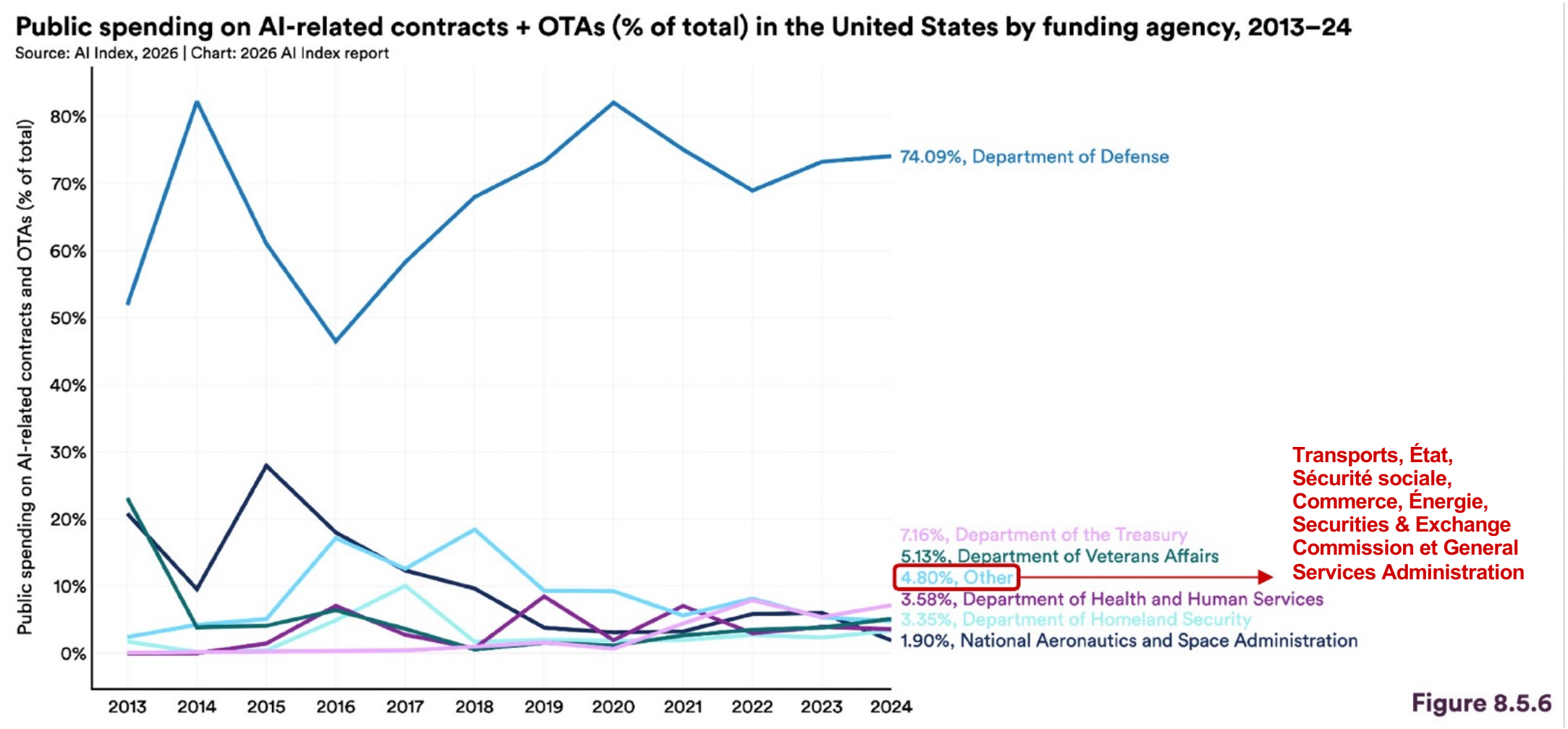
KDD25 Oral (9%)

Données et calcul modestes (1 000 instances, 1 jour sur V100) ; assez généralisable.

Wu

Conclusion

L’IA dans les transports n’en est qu’à ses débuts



[1] S. Sha et al., “The AI index 2026 annual report,” in The AI index 2026 annual report, 2026. [Online]. Available: https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report

Synthèse des points clés

- Théorie du changement pour décarboner les transports
  - La décarbonation des transports n'a pas de champion économique central pour la porter
  - Le succès exige une large coalition d'acteurs aux priorités alignées sur le climat
    - Chine → politique industrielle → sécurité énergétique → électrification
    - Classes populaires et moyennes → votes → coût et commodité → report modal
    - Entreprises → exploitation → coût → gains d'efficacité
  - Réfléchissez : quelles actions climatiques rejoignent les nombreuses priorités des transports ?
    - Exemple personnel : l'Utah → réglementer la conduite → qualité de l'air → écoconduite
- Quand l'IA est-elle utile ?
  - L'IA peut 1) construire des modèles des processus de transport fondés sur les données, 2) optimiser ces modèles pour trouver de bonnes solutions, 3) automatiser des flux numériques, 4) permettre l'automatisation robotique
    - Le plus difficile est souvent de déterminer quand l'un de ces points est un goulet clé et comment il

s'intègre au reste de la solution/du système

Points d’entrée et prochaines étapes

S’impliquer : transport durable

- Bridging Transportation Researchers (BTR)
  - Conférence de recherche en transport zéro carbone, zéro coût (virtuelle, 12-13 août !)
- National Association of City Transportation Officials (NACTO)
  - Association de villes et d’organismes de transport nord-américains, pour la sécurité, la durabilité, l’accès et l’équité dans les villes
  - Conférence Designing Cities (prochaine édition : Nashville, mai 2027)
- Transportation Research Part D: Transport and Environment
  - Revue de référence sur les impacts environnementaux des transports, les réponses politiques et leurs implications pour la conception, la planification et la gestion des systèmes de transport
- Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting
  - Le TRB fait partie des National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine
  - Écosystème professionnel central en Amérique du Nord (Washington DC, chaque janvier)
  - Standing Committee on Transportation Energy Data and Analysis (AED18) (réunion précédente)
    - Thème : recherche et innovation sur les données et méthodes d’analyse pour mesurer la consommation d’énergie, de carburant et l’efficacité des systèmes de transport.



S’impliquer : IA + transports

- Transportation Research Part C: Emerging Technologies
  - Revue de référence sur le développement, les applications et les implications dans le domaine des systèmes de transport et des technologies émergentes
- IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
  - Revue de référence couvrant la recherche fondamentale et appliquée sur tous les aspects scientifiques et techniques des systèmes de transport modernes
- Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting
  - Écosystème professionnel central en Amérique du Nord (Washington DC, chaque janvier)
- IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (prochaine édition : Naples, Italie, 15-18 sept.)
  - La principale conférence IA/STI du domaine





Awesome RERITE: Une liste choisie de jeux de données et benchmarks ouverts pour la recherche en transport

https://www.rerite.org/awesome-rerite

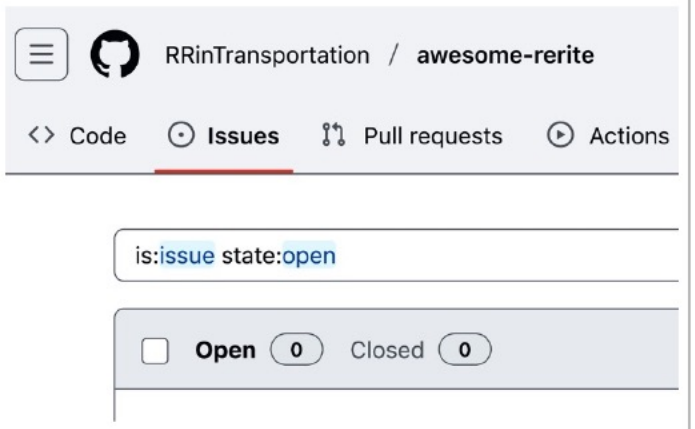
Tooling & Workflows

- **Global Urban Street Networks** — updated and published repository containing street network models for all 10,351 urban areas worldwide (GraphML, GeoPackages, and node/edge lists), plus indicators and metadata. Journal article: https://doi.org/10.1177/23998083261446991. Source code: https://github.com/gboeing/street-network-models.
- **OSMnx** — award-winning toolkit by Geoff Boeing for downloading, modeling, and analyzing street networks.
- **osm2gmns** — converts OpenStreetMap data into GMNS format; developed by Jiawei Lu and Xuesong (Simon) Zhou.
- **DTALite** — ASU Transportation AI Lab's macroscopic/mesoscopic AMS library that natively reads GMNS.
- **DTA** — Dr. Ke Han's open-source dynamic user equilibrium solver (see Networks and Spatial Economics, 2019).
- **OSRM** — C++14 routing engine providing lightning-fast shortest path queries.

Vous avez d'autres ressources ? C'est facile !

Nous voulons promouvoir et partager davantage avec la communauté !

Ouvrez une issue sur la page GitHub ou écrivez-nous !



Explorateur de science ouverte pour la recherche en transport



Appel à manifestation d'intérêt : numéro spécial sur les évaluations et jeux de données en transport (TR Part C et T-ITS)

Call for Interest: Transportation Evaluations & Datasets

RERITE is excited to announce a new initiative: In preparation for a Special Issue on "**Evaluations & Datasets for Transportation Research**", please let us know your evaluations & datasets **needs and wish list**. The special issue will be published with Transportation Research: Part C (TRC) and/or IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (T-ITS).

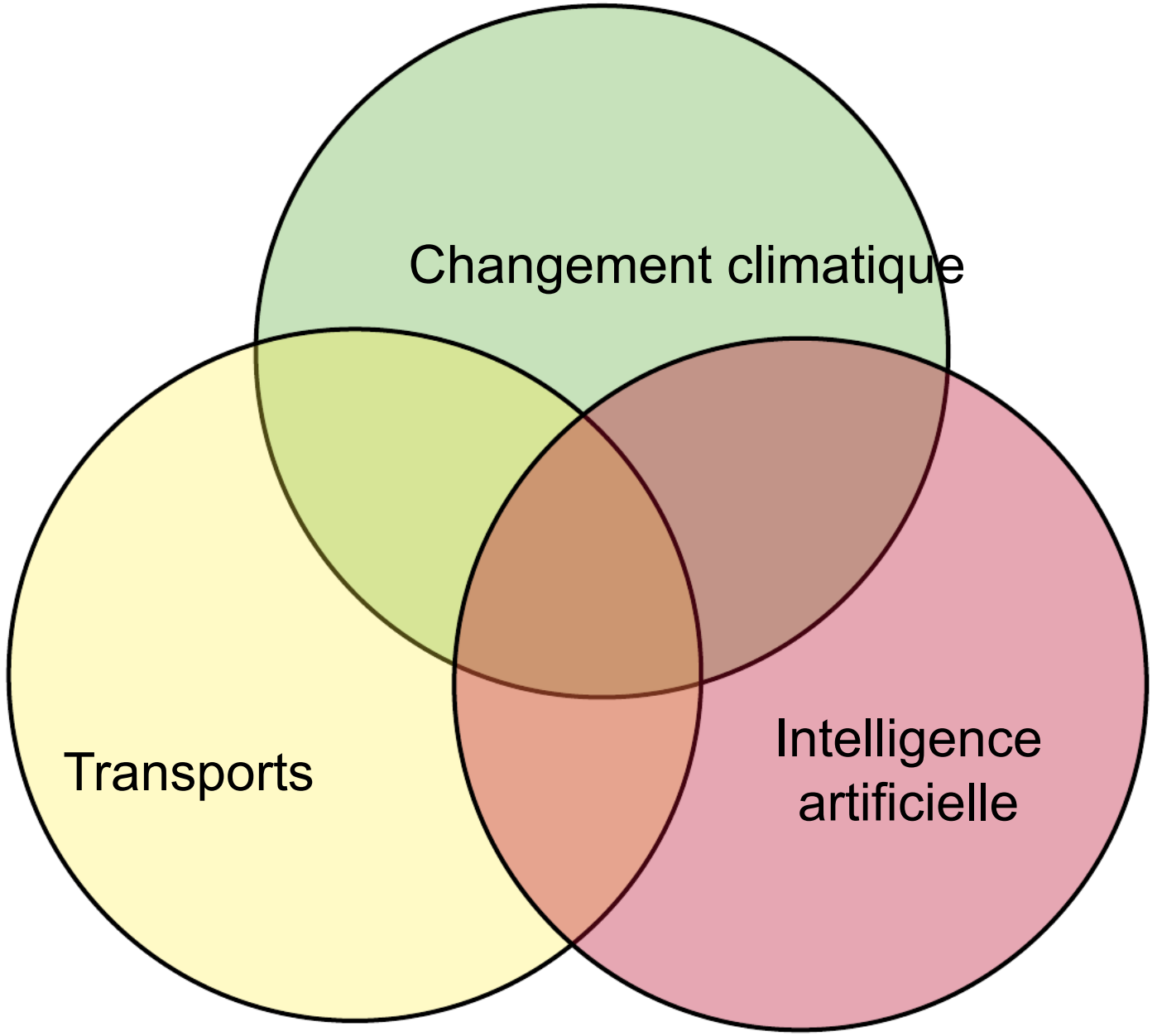
You are welcome to fill out the form as many times as you have wishes. Please include as much context as you can; the more context you provide, the more effectively we will be able to scope and target the special issue.

Do not worry about whether someone else will submit the same topic. The more a topic is expressed as a need, the more we can understand the needs of the community!

This initiative is modeled after the NeurIPS 2026 Evaluations & Datasets Track Call for Papers.

RERITE

rerite.org


Changement climatique
Transports
Intelligence artificielle

Annexe

Thèmes complémentaires

- L'IA pour l'atténuation dans l'aviation commerciale
  - Sandalow, David B. et al., "Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation Roadmap (Second Edition)," (Chapter 7: Commercial Aviation), Nov. 2024, doi: 10.7916/2J4P-NW61 .
- L'IA pour l'atténuation dans le transport maritime
  - World Economic Forum, "Intelligent Transport, Greener Future: AI as a Catalyst to Decarbonize Global Logistics." Jan. 2025. https://seminarleadership.ibo.pe/case-02/ .
- L'IA pour l'adaptation et la résilience des transports
  - Costa, Miguel, et al. "Artificial Intelligence for Climate Adaptation: Reinforcement Learning for Climate Change-Resilient Transport." arXiv, 2026. https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.06278 .