

Transport et mobilité

L'importance de la recherche

Michel Bierlaire

8 février 2024



Michel Bierlaire

Directeur, Laboratoire Transport et Mobilité, EPFL.

- 1996 PhD en mathématiques, Université de Namur, Belgique.
- 1996 - 1998 Postdoc, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA.
- 1998 - 2006 Maître d'Enseignement et de Recherche, EPFL.
- 2006 - 2012 Professeur associé, EPFL.
- 2012 - today Professeur ordinaire, EPFL.

Langues

- ▶ Français, anglais, mathématiques.
- ▶ Entschuldigung, ich verstehe kein Deutsch.

Pourquoi avons-nous besoin de systèmes de transport ?



Pourquoi avons-nous besoin de systèmes de transport ?

Objectifs principaux

- ▶ Mobilité : économiser le temps de déplacement comme une ressource.
- ▶ Accessibilité : induire plus de déplacements.

Motivation

Génère une croissance sociale et économique.

Coûts

- ▶ Financiers.
- ▶ Environnementaux.
- ▶ Espace.
- ▶ etc...

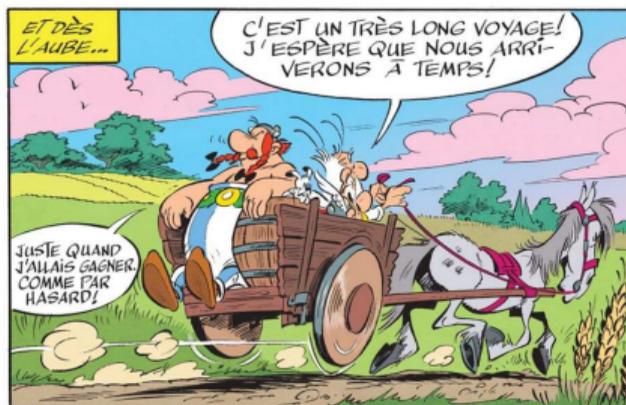
Environnement bâti pour le transport

Consommation d'espace

- ▶ Infrastructure de transport suisse : 800 km².
- ▶ 2% du territoire suisse.
- ▶ 1/3 de la surface pour l'habitat et l'infrastructure.
- ▶ Routes : 84000 km.
- ▶ Rails : 5200 km.



Histoire



- 4000 av. J.-C. Chevaux
- 3500 av. J.-C. Roue, bateaux fluviaux
- 2000 av. J.-C. Chariots
- 312 av. J.-C. Route pavée (Romains)
- 1662 Bus public tiré par des chevaux
- 1783 Montgolfière
- 1801 Locomotive routière à vapeur
- 1814 Train ferroviaire à vapeur
- 1816 Bicyclette
- 1900 Dirigeable (Zeppelin)
- 1904 Avion
- 1908 Voiture Ford

Source : www.twinkl.ae/teaching-wiki/transportation

Histoire

Observations

- ▶ 1904 : avion.
- ▶ Depuis lors, les développements technologiques ont été incrémentaux.
- ▶ Aucun mode de transport fondamentalement nouveau.
- ▶ Récemment, tendance à promouvoir des modes lents (marche, etc.)

Pourquoi les avancées technologiques dans l'ingénierie des transports ne sont-elles pas similaires à celles des ordinateurs et des télécommunications ?

Pourquoi aucune percée récente dans la technologie des transports ?

Exemple: train en lévitation magnétique à Shanghai

- ▶ Train Maglev (aéroport de Shanghai → gare de Longyang Road). Début en 2004. Vitesse : 430km/h. 7.2km/min. 30km. Temps de trajet : 8 min. Ça devrait être 4 minutes, non ?

Pourquoi aucune percée récente dans la technologie des transports ?

Exemple: train en lévitation magnétique à Shanghai

- ▶ Train Maglev (aéroport de Shanghai → gare de Longyang Road). Début en 2004. Vitesse : 430km/h. 7.2km/min. 30km. Temps de trajet : 8 min. Ça devrait être 4 minutes, non ?
- ▶ Vitesse moyenne : 225km/h à cause de l'accélération et de la décélération.

Pourquoi aucune percée récente dans la technologie des transports ?

Exemple: train en lévitation magnétique à Shanghai

- ▶ Train Maglev (aéroport de Shanghai → gare de Longyang Road). Début en 2004. Vitesse : 430km/h. 7.2km/min. 30km. Temps de trajet : 8 min. Ça devrait être 4 minutes, non ?
- ▶ Vitesse moyenne : 225km/h à cause de l'accélération et de la décélération.
- ▶ Intervalle : 15 minutes. En moyenne, temps de trajet total : $8 + 7.5 = 15.5$ min.

Pourquoi aucune percée récente dans la technologie des transports ?

Exemple: train en lévitation magnétique à Shanghai

- ▶ Train Maglev (aéroport de Shanghai → gare de Longyang Road). Début en 2004. Vitesse : 430km/h. 7.2km/min. 30km. Temps de trajet : 8 min. Ça devrait être 4 minutes, non ?
- ▶ Vitesse moyenne : 225km/h à cause de l'accélération et de la décélération.
- ▶ Intervalle : 15 minutes. En moyenne, temps de trajet total : $8 + 7.5 = 15.5$ min.
- ▶ Devrait être utilisé sur de longues distances. Mais, coût de construction = 40K millions de dollars par km.

Pourquoi aucune percée récente dans la technologie des transports ?

Demande

- ▶ Quelle est la demande ?
- ▶ La plupart des gens ne vont pas à la gare de Longyang Road.
- ▶ Shanghai : taxi ou métro : environ 30 minutes. Mais plus de flexibilité.

Quel est le taux d'occupation des chemins de fer suisses ?



Chemins de fer

Taux d'occupation

- ▶ 2019 : 28,9%
- ▶ 2020 : 17,9%
- ▶ 2021 : 18%
- ▶ 2022 : 23,9%

Source : CFF



Easyjet

Taux d'occupation

- ▶ 2019 : 91,5%
- ▶ 2020 : 87,2%
- ▶ 2021 : 72,5%
- ▶ 2022 : 85,5%

Source : Easyjet

- ▶ De 3 à 5 fois plus de CO2 que le train.
- ▶ De 3 à 5 fois plus efficace que le train.



Mobilité : service public ou produit commercial ?

Service public

- ▶ Accessibilité pour tous.
- ▶ Équité.
- ▶ Intégration dans l'urbanisme.

Produit commercial

- ▶ Coûts.
- ▶ Taux de remplissage.
- ▶ Innovation.

Demande

- ▶ Quelle sont les besoins des gens, des entreprises ?
- ▶ A quelle mobilité ont droit les citoyens ?

Le transport devrait-il être gratuit ?



Le transport devrait-il être gratuit ?



Tarifcation de la congestion

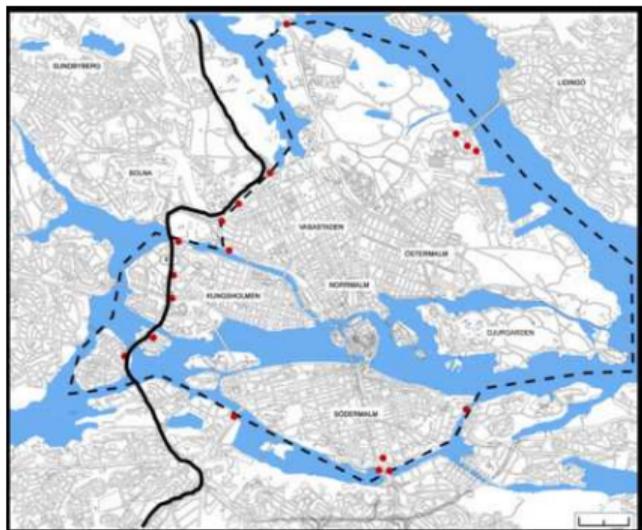


Mises en œuvre

- ▶ 1975 : Singapour
- ▶ 2001 : Rome
- ▶ 2003 : Londres
- ▶ 2006 : Stockholm
- ▶ 2008 : Milan
- ▶ 2013 : Göteborg
- ▶ et d'autres...

Photo : Wikipedia, CC BY-SA 3.0

Exemple de Stockholm

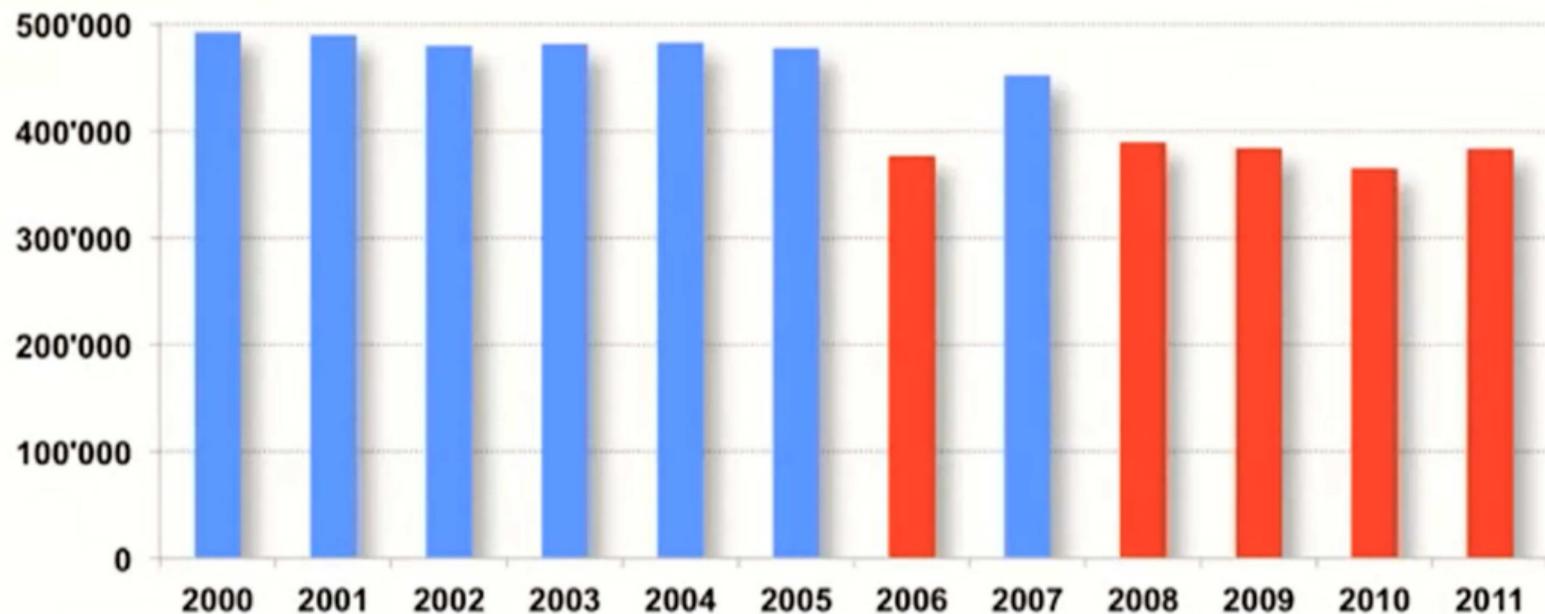


Format

- ▶ Péage autour du centre-ville.
- ▶ Heures de pointe (7h30–8h30, 16h00–17h30) : 2 €
- ▶ 30 minutes avant/après les heures de pointe : 1.5 €
- ▶ Reste de la journée : 1 €
- ▶ De 18h30 à 6h30 : gratuit.
- ▶ Charge maximale par jour : 6 €.
- ▶ Jusqu'à fin 2008, exemption pour les voitures à carburant alternatif.

Exemple de Stockholm

Impact immédiat : 20% moins de voitures J. Eliasson, TED Talk, 2012



Modification de la demande

Demande

- ▶ Comment changer les comportements ?
- ▶ Tenir comptes des besoins, des contraintes, des préférences.

Défis de recherche

Technologie

- ▶ La technologie seule ne suffit pas.
- ▶ Comprendre les besoins des voyageurs est crucial.
- ▶ Sujet de recherche : représentation de la complexité de la demande en transport.



Défis de recherche

Sous-utilisation du système

- ▶ Le transport en tant que service public est sous-utilisé.
- ▶ Comprendre les besoins des voyageurs est crucial.
- ▶ Sujet de recherche : conception centrée sur le comportement humain.



Défis de recherche

Qui devrait payer ?

- ▶ Les systèmes de transport génèrent des externalités négatives (pollution, etc.)
- ▶ Qui devrait payer pour cela ?
- ▶ Sujet de recherche : implications comportementales de la tarification, équité, justice.



Expertise du laboratoire

Demande

- ▶ Modèles de comportement.
- ▶ Théorie et algorithmes.

Offre

- ▶ Optimisation.
- ▶ Algorithmes.

Interactions

- ▶ Flots de piétons.
- ▶ Interactions avec l'aménagement du territoire.

Modélisation mathématique du comportement



Modélisation mathématique du comportement



Modélisation mathématique du comportement



$$P_n(i|C_n) = \int_{\varepsilon=-\infty}^{+\infty} \frac{\partial F_{\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{Jn}}(\dots, V_{in} - V_{(i-1)n} + \varepsilon, \varepsilon, V_{in} - V_{(i+1)n} + \varepsilon, \dots)}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon.$$

Exemples de projets de recherche

Modèles d'activités

- ▶ En collaboration avec SBB/CFF/FFS.
- ▶ Objectif : prédire l'organisation de toute la journée des voyageurs.



Exemples de projets de recherche

Population synthétique

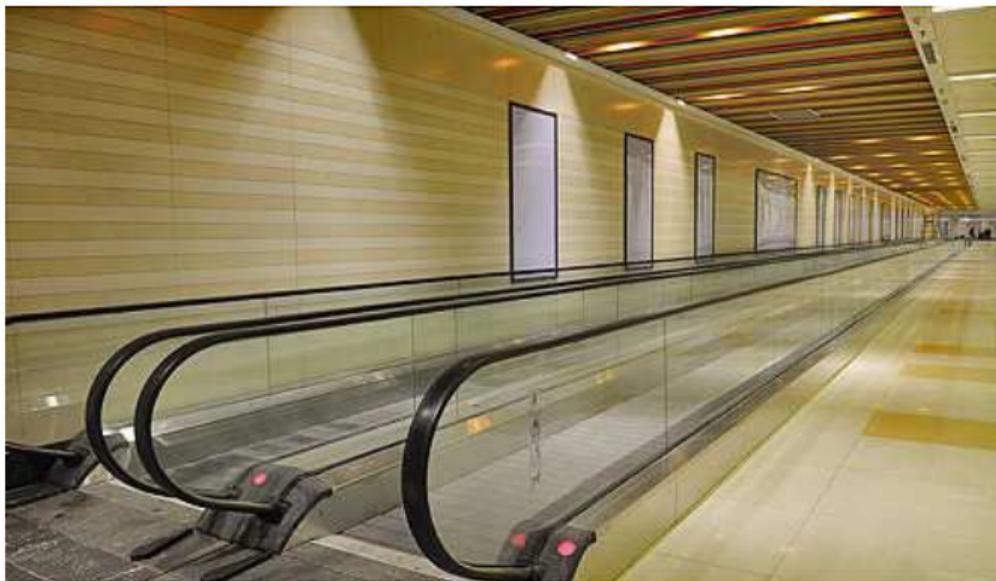
- ▶ En collaboration avec ARE (Off. féd. dév. territorial).
- ▶ Objectif : algorithmes pour générer une population synthétique.



Exemples de projets de recherche

Tapis roulants accélérés

- ▶ Post-car world: villes sans voitures.
- ▶ Promotion de la marche: $12 \text{ km/h} + 3.7 \text{ km/h} = 15.7 \text{ km/h}$.



Exemples de projets de recherche

Bus électrique

- ▶ TOSA: bus électrique sans caténaire.
- ▶ Recharge rapide aux arrêts.
- ▶ Quels arrêts doivent être équipés ?



Exemples de projets de recherche

Tournées de véhicules

- ▶ Bus scolaires.
- ▶ Livraison de colis.
- ▶ Collection des déchets recyclables.



Exemples de projets de recherche

Horaires de trains

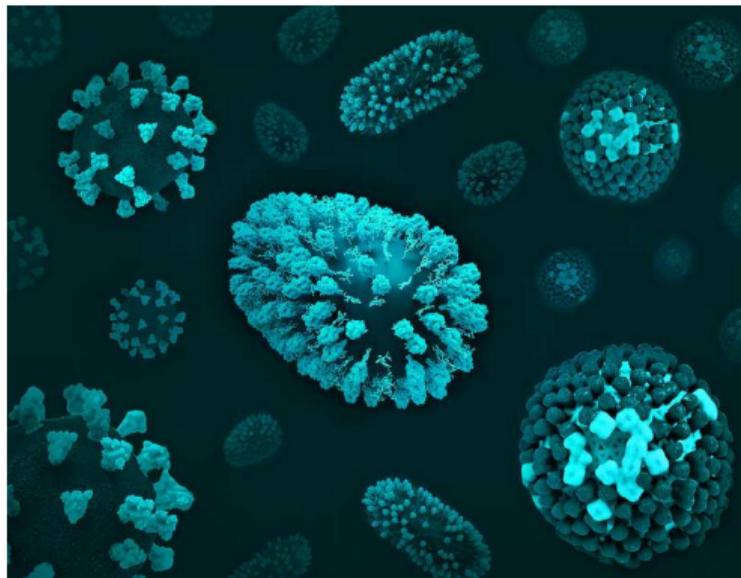
- ▶ Horaires temporaires en cas de perturbations.

	18.00	Wankdorf	Lyss			BIEL / BIEL
	18.02	Zürich HB	Zürich Flughafen →	Winterthur		ROMANSHOF
S	18.02	Felsens Tiefens	Worbblaufen			UNTERZOL
S	18.02	Ausserholligen	Kehrsatz			BELP
	18.04	Thun	Spiez	Interlaken West		INTERLAK
	18.04	Olten				BASEL SB
	18.04	Fribourg	Romont	Lussigny Gessiv		GENEVE - A
ieExpress	18.05	Jegenstorf	Bätterkinden	Biberist		SOLOTHUR
S	18.06	Ausserholligen	Köniz			SCHWARZE
	18.07	Thun	Spiez	Visp		BRIG
	18.07	Burgdorf	Herzogenbuchsee	Langenthal		OLTEN
S	18.08	Worbblaufen				BOLLIGEN
S	18.08	Bümpliz Nord	Brünen Westside	Edimmesse Kerzers		NEUCHAT
sExpress	18.12	Mäschelbuchsee	Lyss			BIEL / BI
S	18.12	Wankdorf	Gümligen	Konolfingen		LANGNAU

Exemples de projets de recherche

Epidémiologie et mobilité

- ▶ Prédiction de la propagation du COVID-19.
- ▶ Analyse de l'impact de politiques de confinement.



Plus d'informations

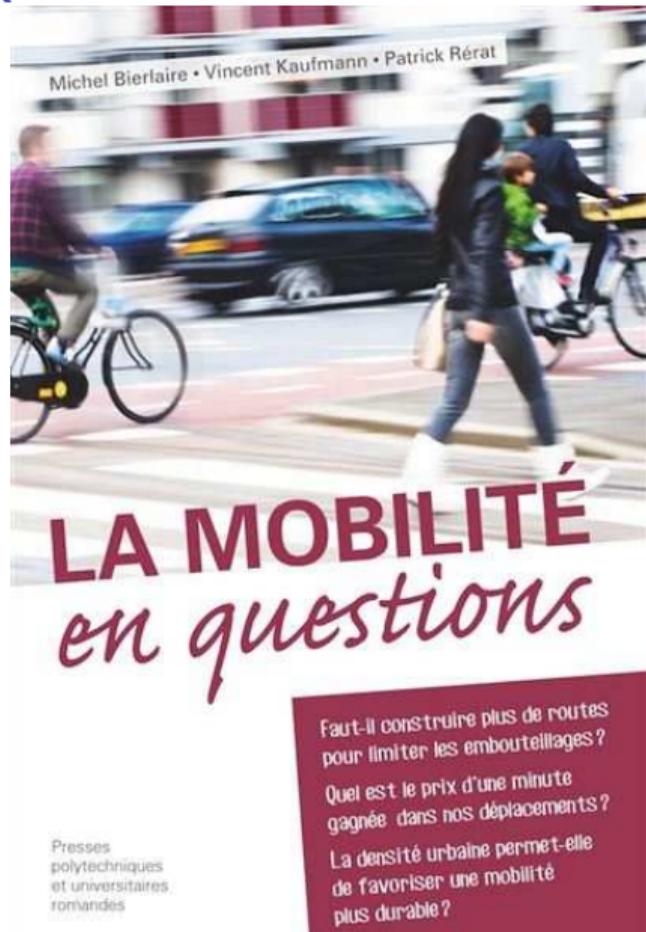
- ▶ [Transport and Mobility Laboratory, EPFL. \[Click\]](#)
- ▶ [Michel Bierlaire. \[Click\]](#)
- ▶ [Publications. \[Click\]](#)
- ▶ [Maglev Shanghai. \[Click\]](#)
- ▶ [SBB statistics. \[Click\]](#)
- ▶ [Easyjet. \[Click\]](#)
- ▶ [Congestion pricing Stockholm. \[Click\]](#)

Publications (an anglais)

Click on the year

- ▶ Modèles d'activités. 2022, 2023
- ▶ Population synthétique. 2023, 2013
- ▶ Tapis roulants. 2017, 2017
- ▶ Bus électrique. 2019
- ▶ Tournées véhicules. 2016, 2005
- ▶ Horaires. 2017
- ▶ Epidémiologie. 2022

Questions ?



- ▶ Merci beaucoup.
- ▶ Vielen Dank.
- ▶ Grazie mille.
- ▶ Ingraziel fetg.