

# LE CAHIER DES PONTS

## LES MOBILITÉS

NUMÉRO 6 - AOÛT 2022



© Elenabsl (source : Adobe Stock)

### Carte blanche à Fabien Leurent

(Centre international de recherche sur l'environnement et le développement)

**Nicolas Coulombel** (LVMT)

**Danyang Sun** (LVMT)

**François-Laurent Touzain** (dpt VET)

**Ektoras Chandakas** (Hellenic Train)

**Émeric Fortin** (TraDD)

**Federico Antoniazzi** (MS<sup>®</sup> STFU)

**Jean-François Sempéré** (MPTAU)

**Véronique Haché** (MS<sup>®</sup> SM)

**Marie-Claude Dupuis** (RATP)

**Patrick Pélata** (Meta Consulting)



# SOMMAIRE

## 3 Édito

Sophie Mougard

## 4 Carte blanche à

Fabien Leurent

## 8 Sans mesure d'accompagnement, les bénéfices environnementaux du covoiturage urbain en Île-de-France resteront limités.

Nicolas Coulombel

## 10 L'intelligence artificielle pour l'analyse de la mobilité

Danyang Sun

## 12 Les enseignements transports et mobilités à l'École des Ponts ParisTech

François-Laurent Touzain

## 14 Jeune chercheur

Ektoras Chandakas

## 15 Les mobilités en chiffres

## 16 Le Master TraDD : appréhender les mobilités au prisme de la durabilité

Émeric Fortin

## 18 L'approche « système » dans les projets d'infrastructures de transport

Federico Antoniazzi

## 20 « Inflation urbaine » et transport capacitaire en Afrique

Jean-François Sempéré

## 24 Les architectes de solutions digitales pour les transports

Véronique Haché

## 26 Paroles d'entreprises

Marie-Claude Dupuis (RATP)

Patrick Pélata (Meta Consulting)

## 30 Les essentiels

## 31 Quiz



SOPHIE MOUGARD

Directrice de l'École des Ponts ParisTech

# ÉDITO

Les mobilités mettent en œuvre de nombreuses dimensions : opérationnelle et logistique, géographique et urbanistique, sociale, économique, politique, et maintenant, environnementale. Il s'agit, pour les acteurs du secteur, de répondre aux besoins de mobilité. Or, le numérique a fait émerger de nouvelles formes et a répondu à de nouveaux comportements, révélés, voire, exacerbés par la crise du Covid-19. Ceux-ci semblent s'orienter vers des modes plus actifs. Pour autant, la question de la mobilité de masse reste cruciale. Les acteurs historiques, notamment publics, doivent désormais composer avec de nouveaux opérateurs positionnés, entre autres, sur le segment du MaaS (*Mobility as a Service*) pour proposer une offre de moyens de transport (infrastructures et services) qui soit efficace en coût de revient tout en satisfaisant à l'impératif environnemental.

Dans ce champ redistribué de la mobilité, il convient aujourd'hui de s'employer à comprendre ces changements profonds et à repenser la mobilité pour l'inscrire dans une trajectoire plus durable.

De longue date, l'École s'est saisie de ces questions, à travers les activités de recherche, les formations d'ingénieur et doctorale et les Mastères Spécialisés® et Professionnels. Dans une approche holistique ouverte à 360 degrés, autrement dit systémique, elle investit notamment les champs de la modélisation technique et économique, et celui de la compréhension des jeux d'acteurs, avec, en toile de fond, la question des territoires, dont dépend la pertinence du choix d'une solution.

De ce point de vue, citons deux chaires de recherche qui traitent spécifiquement des mobilités urbaines par le prisme territorial.

La [chaire Réguler la ville de demain](#) résulte d'un accord-cadre signé en juillet 2020 avec la RATP,

sous l'impulsion de sa directrice de la Stratégie, de l'Innovation et du Développement, Marie-Claude Dupuis. Elle est portée par le laboratoire Ville Mobilités Transports (LVMT) et le laboratoire Techniques Territoires et Sociétés (LATTs), et coordonnée par Virginie Boutueil et François-Mathieu Poupeau. Elle vise à comprendre la diffusion du MaaS et les usages qu'en font les différents acteurs, *via* la création d'un observatoire mondial, des monographies de métropoles et l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation.

En partenariat avec IDFM, la [chaire Mobilité territoriale](#), anciennement chaire Île-de-France Mobilités, coordonnée par Fabien Leurent (CIRED), développe, depuis 2010, un programme de recherche sur la modélisation, la simulation, l'économétrie et la théorie économique de la mobilité.

Ce nouveau numéro du *Cahier des Ponts* livre quelques clés de compréhension de cette problématique complexe. Je vous en souhaite une bonne lecture, que je vous invite à compléter grâce à cette version électronique augmentée.

Pour voir ou revoir la [Matinale des Ponts](#) 



# CARTE BLANCHE À



Circulation dans la ville de Dresde, Allemagne  
© Ed Nurg, 2017. (source : Adobe Stock).

FABIEN  
LEURENT

Directeur de recherche  
au Centre international de  
recherche sur l'environnement  
et le développement (CIRED)

**Les mobilités urbaines se transforment à grande vitesse. Expert de la modélisation physique et économique des réseaux de transport et systèmes territoriaux, Fabien Leurent, directeur de recherche au CIRED et professeur à l'École des Ponts ParisTech, décrypte ces mutations et les défis posés aux villes.**

Urgence climatique, santé, qualité de vie, attractivité du territoire... La mobilité urbaine, élément central des politiques de la ville, revêt des enjeux cruciaux. Cette notion éminemment complexe au carrefour des transports et de l'aménagement du territoire, « qui nécessite une approche globale et systémique », est depuis 30 ans au cœur des travaux de Fabien Leurent, enseignant chercheur à l'École des Ponts ParisTech : « Nous disposons

d'outils de simulation et de modélisation, permettant de mesurer et de projeter la manière dont les mobilités peuvent être réalisées, organisées, rentabilisées. Nos études portent sur les questions de demande et d'usages, d'industrie et d'offre de services, mais aussi de véhicules, d'impacts environnementaux, sociaux et de régulation, à diverses échelles de temps. L'objectif est d'avoir une compréhension articulée et quantitative de l'ensemble

des interactions qui se jouent. Les outils développés et les esprits formés en cours peuvent contribuer à engager les villes dans leur transition vers des solutions soutenables et pérennes ». Référent sur le sujet, en France comme à l'international, Fabien Leurent a co-fondé en 2004 le laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT) où il a animé pendant dix ans une équipe Économie/Modélisation dédiée à la mobilité du quotidien. En 2021, il a rejoint le CIREN pour étudier la mobilité au prisme de l'économie et de la prospective orientée vers le développement et l'environnement : en particulier le grand enjeu collectif du zéro émission de carbone à horizon 2050. À l'origine d'une grande part des modules et enseignements dispensés à l'École des Ponts ParisTech sur le sujet, à l'image du Mastère Smart Mobility, Fabien Leurent collabore depuis plus de quinze ans avec des collectivités, des industriels et des opérateurs de transport dans le cadre de partenariats de recherche : notamment, la chaire avec Ile-de-France Mobilités (IDFM), renouvelée en 2020 sous le nom de Mobilité territoriale, qu'il dirige toujours ; la chaire en écoconception des ensembles bâtis et des infrastructures qui est devenue le lab recherche environnement VINCI-ParisTech ; une coopération suivie avec Renault au sein de l'Institut de la mobilité durable (sur la motorisation électrique, la connectivité, la mobilité partagée et la conduite autonome).

### Changement d'échelle, changement de rythme

Ces partenariats inscrits dans la durée aux côtés d'acteurs économiques sont cruciaux pour appréhender et décrypter les dynamiques à l'œuvre, car, après une période « tranquille » d'une trentaine d'années, la mobilité urbaine se transforme depuis 15 ans à un rythme sans précédent qui se traduit par une multiplication d'innovations et d'acteurs. Cette mutation accélérée résulte de deux principaux facteurs concomitants, analyse Fabien Leurent : d'une part, la mondialisation « qui s'est accompagnée d'une amplification considérable de la puissance industrielle, du développement d'une chaîne logistique ultra-performante, du déploiement d'une culture managériale et technique sur toute la planète, sans oublier les outils numériques qui ont facilité la conception des objets techniques (CAO) ». Le résultat ? Des économies d'échelle qui diminuent considérablement le coût de revient et rendent accessibles les produits à forte technicité, à l'image du smartphone ou des véhicules électriques. L'autre mutation a bien sûr trait à la révolution digitale, qui avec ses multiples données et cortèges de capteurs, bouleverse la

## BIOGRAPHIE

- Ingénieur de l'École polytechnique et de l'École nationale des ponts et chaussées
- Docteur de l'ENPC et titulaire d'une habilitation à diriger des recherches, spécialité : Recherche Opérationnelle (obtenue à l'université Paris-Dauphine en 2006)
- De 2008 à 2018, pilote de la chaire Paris-Tech-VINCI Écoconception des ensembles bâtis et des infrastructures, et encore contributeur au lab recherche environnement qui a pris la suite
- Depuis 2009, responsable de projets de recherche successifs en partenariat avec Renault-IMD sur la mobilité électrique, la mobilité partagée, la mobilité autonome
- Professeur à l'ENPC, co-fondateur et chercheur au laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), directeur de la chaire Mobilité territoriale en partenariat avec IDFM
- Depuis janvier 2021, directeur de recherche au CIREN sur l'économie de la mobilité, la modélisation des systèmes de mobilité, la demande territorialisée des ménages

mobilité dans toutes ses dimensions, de la production aux usages et à la relation client, en la rendant plus intelligente, plus flexible, plus multimodale : « Dit autrement, nous pouvons choisir par quel moyen nous déplacer, choisir notre itinéraire, ajuster le moment de notre trajet, *etc.* ! », commente Fabien Leurent.

### Des transformations d'ampleur

Ces transformations ont des répercussions très importantes, à tous les niveaux – technique, social et économique –, sur les différentes composantes du système de mobilité : que ce soit les infrastructures, les véhicules ou les services démultipliés pour assurer les mobilités du quotidien.

**Les infrastructures**, articulées autour de différents processus et fonctions (d'accès, de guidage, de stationnement, carburants *etc.*) vont devoir s'adapter et anticiper plusieurs enjeux : dévelop-

## DÉFINITIONS

### Autopartage

L'autopartage correspond à l'utilisation d'un véhicule partagé par plusieurs personnes. Le partage peut avoir lieu en temps réel (covoiturage) ou en temps différé (véhicules partagés).

### Autosolisme

Usage individuel de la voiture particulière en tant que mode de transport.

### Billettique

La billettique désigne l'ensemble des procédures et outils de gestion liés aux titres de transport. Grâce aux technologies modernes d'information et communication, et déployée sur des supports variés (cartes à puces, magnétiques, etc.), elle permet de gérer leur émission, délivrance et utilisation.

### Mobilité

Dans son acception récente, la mobilité d'une personne est sa présence physique dans l'espace au fil du temps. L'acception traditionnelle désigne le fait de se déplacer, en particulier la réalisation par une personne d'un certain nombre de déplacements en une journée (en moyenne 4 déplacements/jour/pers.).

La **mobilité partagée** désigne aussi bien des moyens de transports utilisés par plusieurs personnes en même temps (covoiturage, transports en commun), que des moyens de transports partagés de manière individuelle (Vélib).

La **mobilité douce** rassemble l'ensemble des moyens de transport non motorisés (marche à pied, vélo, trottinette ou tout autre transport émettant peu ou pas de gaz à effet de serre).

La **mobilité intelligente** est un rapprochement des secteurs du transport et du numérique. Grâce à des données collectées et transmises par des systèmes de transports intelligents, l'usager peut adapter son trajet.

### Mobility as a Service (Maas)

Lié à la mobilité intelligente, ce concept tend à rassembler tous les modes de transport disponibles, exclusion faite de la voiture individuelle, en une seule et même application d'aide à la mobilité, permettant l'information, la réservation, l'achat de titre, la facturation. En ce sens, il facilite l'accès à la multi- et intermodalité.

La **multimodalité** est la possibilité de recourir à différents modes de transport pour réaliser un déplacement.

...

per leur capacité à gérer et distribuer l'énergie tout au long du parcours, *via* des bornes de recharge ou d'autres dispositifs innovants – et demain héberger les systèmes d'alerte, avec des exigences de haute fréquence, destinés à accompagner la conduite autonome ; mais aussi intégrer des hubs facilitant les connexions intermodales, à l'image des parking relais et aires de covoiturage qui se généralisent près des échangeurs autoroutiers ; et bien sûr accueillir les nouveaux modes de transport comme le vélo, qui nécessite de repenser l'agencement en largeur des voiries, le paysage urbain et la régulation dans son ensemble.

**Les véhicules** : La technologie, avec les motorisations électriques, est à l'origine d'un virage très structurant : en trois ans, en France, la part des véhicules électriques achetés est passée de 3 à 20 %, les gammes se sont diversifiées et les coûts ont baissé. La disponibilité des motorisations électriques a aussi favorisé très fortement le développement des mobilités douces, notamment des deux roues (vélos et trottinettes) qui modifient les usages par leur accessibilité, leur flexibilité, leur simplicité d'utilisation, tout en présentant des alternatives environnementales intéressantes, avec des performances comparables à celles du train (en termes d'empreinte carbone par kilomètre parcouru). Les bus électriques profitent eux aussi de la baisse spectaculaire des coûts des batteries, divisés par 10 en 10 ans, offrant là encore des solutions durables et performantes.

**Les services** : L'émergence du digital et du smartphone (qui permettent la géolocalisation, le partage d'informations, la réservation, le suivi du trafic et le parcours jusqu'au dernier km) offre la possibilité d'avoir des déplacements de plus en plus flexibles, tandis que les services proposés par les plateformes renouvellent très fortement et complètent l'éventail des transports collectifs : autopartage de véhicules en libre-service – *free floating* de type autolib ou vélib, covoiturage avec des acteurs de poids comme BlaBlaCar, location de voiture avec chauffeur type VTC. Ces transformations renforcent la dimension marchande de la mobilité, creusant l'écart entre les services en plateforme et les politiques publiques sur les transports collectifs.

### Modélisation de scénarii, étude de la résilience des systèmes

Les méthodologies de simulation, de planification et d'évaluation utilisées permettent d'élaborer des scénarii d'optimisation des transports, de mesurer les conséquences des reports de la voiture

vers d'autres modes, les externalités positives (par exemple les décongestions) ou négatives (l'impact sur l'environnement) et mieux répondre aux enjeux de la ville de demain. « Par exemple, détaille Fabien Leurent, nous établissons des prévisions quantitatives issues de modèles de simulation, réalisons des évaluations socio-économiques avec des bilans coûts avantages, effectuons des analyses de cycle de vie que nous avons transposées du domaine du bâtiment – une réelle avancée qui permet d'inclure dans nos évaluations la consommation de matière et les productions de déchets. » Simulation des déplacements, recherches sur le stationnement, sur les modes de transport non motorisés, les nouveaux services de mobilité... les thèmes d'études sont variés, à la croisée de l'économie et de l'environnement. Parmi les sujets traités récemment : les conditions dans lesquelles les transports collectifs peuvent permettre de dégager des économies d'échelle dans la production de services de mobilité (dans certains contextes de densité favorable) ; le rôle des navettes « comme alternatives intéressantes, au plan de l'impact environnemental et de la rentabilité ». Ou encore, les options pour faire converger les trottinettes en libre-service vers le *low-cost*.

### Vers la smart city ?

Pour l'avenir, les défis aggravés par la crise sanitaire, comme les sujets de recherche restent nombreux. L'enjeu est de parvenir à concilier les différentes mobilités, ce qui pose le besoin d'un consensus large entre usagers et riverains, une régulation qui anticipe les évolutions et bien sûr des mobilités offrant une certaine qualité d'usage, faite de confort, de fiabilité, et aussi de suffisamment de rapidité car en logistique la vitesse demeure un facteur clé d'efficacité. « Cela passe par des infrastructures performantes, en capacité d'accueillir de plus en plus de modes de transport et de les faire cohabiter de manière apaisée ; des véhicules agréables et faciles à conduire (d'où l'enjeu de la conduite autonome) ; des services qui sauront penser et réussir l'intermodalité et l'interopérabilité – un parcours de bout en bout sans rupture », conclut Fabien Leurent. Encourager les modes de transport plus durables, mutualisés est une nécessité. C'est aux régulateurs d'arbitrer et de transformer progressivement nos systèmes, en agençant mieux les espaces, en repensant les flux. Afin d'éclairer leurs décisions, la recherche explore des pistes diversifiées de solutions.

RÉDACTRICE • LUCILE HEUZÉ

•••

L'**intermodalité** est une combinaison de plusieurs modes de transport par enchaînement afin d'effectuer un déplacement « de porte à porte ». Une politique de transport favorisant l'intermodalité mettra l'accent sur l'aménagement spécifique des interfaces entre différents réseaux.

La multimodalité et l'intermodalité favorisent le **report modal**, c'est-à-dire le fait de changer son mode de déplacement habituel pour un autre. Une solution importante pour décarboner la mobilité est de reporter des usages de la voiture individuelle à carburant thermique vers d'autres modes – voiture électrique, modes actifs, transports collectifs.

### Transport

Un moyen de transport est une technique pour réaliser un déplacement entre deux points dans l'espace géographique : en général c'est une combinaison entre un véhicule, une infrastructure support et des règles d'utilisation (ex. code de la route).

On qualifie de **transport structurant** un réseau de haute capacité en déplacements : réseau de voirie capacitaire, réseau de transports collectifs dont les services ont une fréquence importante. Un tel réseau structurant influence l'aménagement du territoire dans lequel il s'inscrit.

Le **transport public** désigne tout service de transport accessible au public. Cette désignation recouvre les transports collectifs, les taxis, VTC *etc.*

Le **transport informel**, particulièrement développé dans le pays du Sud, est un ensemble de solutions de mobilité partagées (dont taxis collectifs) offertes à défaut ou en complément d'un transport public réglementé.

# SANS MESURE D'ACCOMPAGNEMENT, LES BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX DU COVOITURAGE URBAIN EN ÎLE-DE-FRANCE RESTERONT LIMITÉS.



## NICOLAS COULOMBEL

Maître de conférences à l'École des Ponts ParisTech, chercheur au [laboratoire Ville Mobilité Transport \(LVMT\)](#), directeur scientifique du [lab recherche environnement VINCI-ParisTech](#)

### BIOGRAPHIE

Ingénieur en chef du corps des ponts, eaux et forêts et docteur en économie urbaine de l'École des Ponts ParisTech

Enseignant à l'École des Ponts ParisTech depuis 2008, plusieurs cours dans diverses formations : Transport et Aménagement en milieu urbain et régional (cycle Ingénieur 2A), Économie des transports (Masters TraDD et Transport et Mobilité), Transportation Economics (MSc Sustainable Impact Analysis)

Responsable scientifique du projet POLL-EXPO, mis en œuvre par l'École des Ponts ParisTech et financé par PRIMEQUAL

Maître de conférences à l'École des Ponts ParisTech, chercheur au laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), université Paris-Est

Directeur scientifique du lab recherche environnement VINCI-ParisTech

Face aux impératifs environnementaux, la congestion du trafic et la montée des prix de l'énergie, de nombreux projets et mesures sont mis en place en France et notamment en Île-de-France pour favoriser le développement du covoiturage. Les travaux menés par Nicolas Coulombel au sein du laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT) mettent en évidence les effets rebonds de cette pratique, qu'il est nécessaire d'encadrer par des mesures d'accompagnement.

En France, seuls 3 % des déplacements pendulaires en moyenne sont réalisés en covoiturage (ADEME, 2016) et cette pratique de mobilité a été en décroissance quasi-continue depuis les années 1970. Ce faible recours au covoiturage s'explique, en partie, par les lourdes contraintes d'organisation qu'il implique au quotidien et les détours, chronophages, mais nécessaires, pour récupérer les « coéquipiers ». Néanmoins, les impératifs environnementaux, parmi lesquels l'amélioration de la qualité de l'air ou la lutte contre le changement climatique, ainsi que la forte hausse récente des prix des énergies renouvelent l'intérêt porté à ce mode de déplacement. Parmi les nouvelles solutions de mobilité, le covoiturage a fait ainsi l'objet d'une attention particulière dans le cadre des débats sur la loi d'orientation des mobilités.

En atténuant la pratique de l'auto-solisme, le covoiturage devrait, en effet, réduire le nombre de véhicules en circulation et, par conséquent, contribuer à diminuer la congestion et la pollution. D'après AirParif, le trafic routier représente, à l'heure actuelle, 32 % des émissions de gaz à effet de serre en Île-de-France. Limiter le nombre de voitures en circulation les réduirait donc mécaniquement. Le covoiturage allégerait aussi le budget déplacement des ménages, *a fortiori*

dans un contexte de prix élevés de l'énergie. Il serait, enfin, une solution de transport supplémentaire pour les individus non motorisés. Le développement du covoiturage améliore donc les conditions de déplacement en voiture dans la mesure où il diminue le coût individuel du déplacement en voiture (*via* le partage des frais entre membres d'un même équipage) et contribue à réduire la congestion. Mais paradoxalement, il génère aussi divers « effets rebonds » qui atténuent fortement la baisse attendue de l'usage de la voiture.

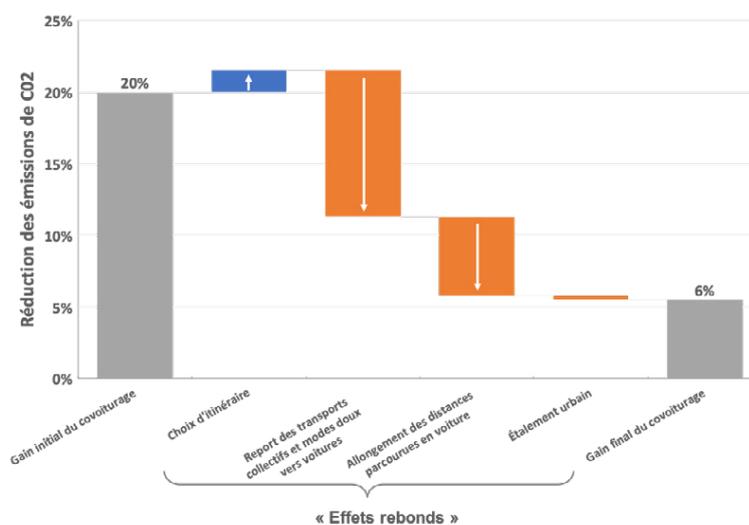
Le laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), en partenariat avec le Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED) mène actuellement des travaux de modélisation visant à mesurer ces effets rebonds. Ils sont basés sur le modèle MODUS, développé par la Direction régionale et interdépartementale de l'Aménagement et des Transports d'Île-de-France (DRIEAT-IF), adapté pour étudier les politiques de covoiturage. D'après la modélisation, le développement du covoiturage, en rendant l'usage de la voiture à la fois moins cher (partage des coûts) et plus rapide (baisse de la congestion routière), est susceptible d'entraîner un report modal des transports collectifs et modes doux vers celle-ci. Il pourrait également provoquer un allongement des distances

parcourues en voiture, ainsi qu'une relocalisation des ménages plus loin des centres d'emploi pour bénéficier de prix immobiliers plus faibles. Plus marquant encore, la modélisation met en évidence l'ampleur de ces effets rebonds, qui atténueraient de 50 à 75 % les bénéfices environnementaux en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> initialement attendus grâce au développement du covoiturage.

L'ampleur des effets rebonds incite à tester l'efficacité de diverses mesures d'accompagnement pour accroître l'efficacité des politiques de promotion du covoiturage en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La modélisation révèle qu'accompagner des politiques de covoiturage par une amélioration de l'offre de transports en commun s'avérerait contreproductif de ce point de vue, les deux mesures se concurrençant l'une l'autre pour attirer des usagers. À l'inverse, une réduction de la capacité routière présenterait des synergies fortes avec le covoiturage car elle limiterait les effets rebonds associés à la réduction de la congestion.

D'après ces résultats, le covoiturage urbain ne pourra entraîner une baisse significative des émissions de CO<sub>2</sub> qu'à condition que des mesures d'accompagnement soient adoptées pour en limiter les effets rebonds. À ce stade exploratoire de l'étude, il semble que celles relatives à la capacité routière soient les plus à même



Comment les effets rebonds modifient-ils l'impact du covoiturage sur les émissions de CO<sub>2</sub> ? © Vincent Vigié, Nicolas Coulombel. CC BY-NC-ND (source : Coulombel *et al.*, 2019).

de maximiser les gains environnementaux associés au covoiturage. Il s'agit, par exemple, de convertir des voies routières en voies dédiées aux transports en commun, au covoiturage, voire aux modes doux, à l'instar des "high-occupancy vehicle (HOV) lane" mises en place depuis de nombreuses années en Amérique du Nord. Ce concept commence à être transposé dans plusieurs villes en France, comme à Lyon ou à Paris.

Plus généralement, ces travaux illustrent de quelle façon des mesures visant à réduire l'impact environnemental de l'activité humaine peuvent avoir des effets complexes et inattendus. Pour maximiser les chances d'at-

teindre les objectifs fixés de réduction des émissions, il faut donc penser ces mesures de manière plus globale.

AUTEUR • NICOLAS COULOMBEL



## MODÉLISER L'EXPOSITION À LA POLLUTION DE L'AIR EN ÎLE-DE-FRANCE : ANALYSE DES INCERTITUDES AVEC UNE APPROCHE MULTI-AGENTS

Marjolaine Lannes, CEREA

L'exposition à la pollution atmosphérique, plus particulièrement en zone urbaine, contribue au développement de maladies chroniques cardiovasculaires et respiratoires, ainsi qu'à la mortalité. Cette thèse propose une modélisation de l'exposition à la pollution atmosphérique en Île-de-France et analyse les incertitudes associées. Il s'agit d'évaluer l'utilité de représenter les comportements de mobilité dans les calculs d'exposition et la

robustesse des résultats ainsi obtenus. Pour ce faire, on couple le modèle multi-agents de mobilité MATSim et le modèle de qualité de l'air Polyphemus. Puis, est analysée la propagation des incertitudes par la chaîne de modèles. Les résultats devraient permettre une meilleure modélisation et évaluation des politiques publiques environnementales, telles que les restrictions de circulation routière.

# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR L'ANALYSE DE LA MOBILITÉ



DANYANG SUN

Chercheur postdoctoral au laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), École des Ponts ParisTech

## BIOGRAPHIE

Diplômé en 2019 du Mastère Spécialisé® Smart Mobility délivré par l'École des Ponts ParisTech et Télécom ParisTech

Docteur en Transport de l'École des Ponts ParisTech, thèse soutenue en janvier 2022 : *Formes spatio-temporelles de la mobilité individuelle et configurations territoriales : caractérisation statistique à partir de données Floating Car Data*

Depuis 2022, chercheur postdoctoral au laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), sur le diagnostic de mobilité basé sur les traces numériques de mobilité

L'intelligence artificielle (IA) et le *Machine Learning* consistent à utiliser les capacités des ordinateurs à apprendre automatiquement des « connaissances » à partir des données. Permettant aux machines d'identifier les problèmes et de trouver des solutions, leur applicabilité fonctionnelle est de plus en plus large. Elle intègre désormais l'étude du territoire, en termes d'urbanisme, de systèmes de transport, d'utilisation des terres et de durabilité environnementale grâce aux concepts de "Smart City" et d'"Urban Computing" (Zheng, Capra, Wolfson et al., 2014). Cet article explique comment l'IA peut aider à mieux analyser la dynamique de la ville, notamment en ce qui concerne l'aspect mobilité.

La mobilité humaine est un aspect clé du développement d'une ville intelligente. Elle permet de comprendre les dynamiques urbaines et de caractériser le fonctionnement de la société. Grâce aux traces de mobilité produites par divers récepteurs GPS, l'IA dispose de plus en plus d'informations détaillées sur les déplacements personnels lui permettant d'acquérir des connaissances sur les formes, régularités et préférences de la mobilité humaine. Ce processus d'apprentissage peut être renforcé par une plus grande puissance de calcul, de diffusion des équipements de localisation et des données cartographiques plus riches. Le fort pouvoir d'identification et les capacités de découverte automatique de l'IA, ainsi que l'utilisation des mégadonnées peuvent contribuer à surmonter de nombreuses limites des analyses conventionnelles, ba-

sées sur les journaux de voyage et les enquêtes traditionnelles, notamment, en termes de traitement en temps réel et d'investigation à grande échelle. D'une manière générale, l'analyse de la mobilité peut être menée à deux niveaux : l'analyse du comportement individuel et l'analyse spatiale.

Au niveau individuel, les déplacements des individus entre des lieux sont fonction de leurs besoins sociaux. Les comportements et choix de mobilité individuels reposent sur certaines logiques liées au contexte socio-démographique. Dans la prévision de la mobilité, il est important de reconnaître ce qui génère la mobilité des différents groupes de personnes, puis d'étudier les raisonnements en fonction de leurs besoins et de leurs utilités. La collecte de traces de mobilité 24h/24 et 7j/7 (cf. figure 1) enrichit considérablement les infor-

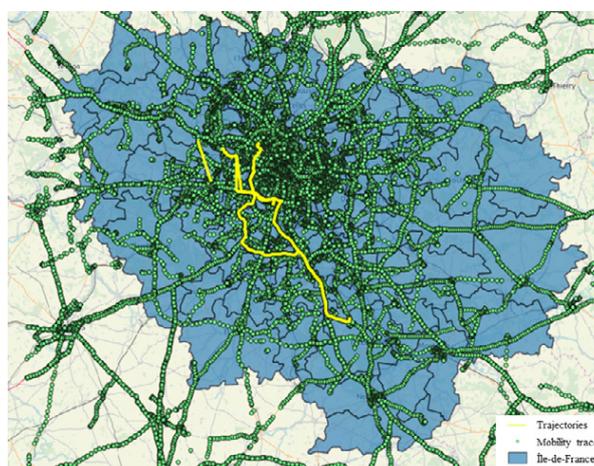


Figure 1. Identification de la mobilité à partir des traces GPS © Danyang Sun, 2022.

mations sur la façon dont les gens se déplacent. Le recueil de chemins complets de trajectoires de mobilité, avec une résolution de quelques secondes, produit des ensembles de données riches, mais massifs. Si les approches analytiques traditionnelles peinent à en tirer parti, l'IA avec apprentissage non supervisé (*clustering*) pourrait grandement aider à découvrir les formes de trajectoire, par exemple, des voyageurs similaires et des régularités dans les déplacements (Sun, Leurent, Xie, 2021a). De plus, en calculant la répétition de trajets entre certains lieux, l'IA détecte plus efficacement les lieux significatifs, ou lieux d'ancrage (Sun, Leurent, Xie, 2021b), tels que la maison, les lieux de travail, les endroits préférés, etc. et aide ainsi à analyser les problèmes de circulation importants comme les flux domicile-travail, les déplacements récréatifs, etc.

Au niveau spatial, les mouvements des individus s'agrègent en flux, qui interagissent avec la configuration

territoriale, contribuant à l'interaction entre l'utilisation du sol et les transports. Les espaces territoriaux relèvent de différentes fonctions : zones commerciales, zones résidentielles, autres zones d'intérêt, etc. La génération de mobilité étant fortement corrélée à la configuration spatiale, l'étude des caractéristiques des flux de mobilité peut aider à révéler ces fonctions spatiales, afin de suivre l'évolution des usages du sol. L'IA peut être utilisée ici pour caractériser les modèles de flux temporels de déplacements et de durée d'activité liés à l'espace. Par ailleurs, le flux de mobilité permet également d'analyser les relations spatiales entre les lieux et ainsi, comprendre les structures de la ville. Une approche typique consiste à identifier les formes centre-périphérie (Sun, Leurent, Xie, 2022). À partir des points d'ancrage individuels repérés, en analysant la quantité, leur distribution de densité peut être modélisée sur le territoire et les pôles d'emploi ou autres *hotspots* identifiés. Les flux de mobilité entre les lieux peuvent

ensuite être utilisés pour construire des graphes topologiques. En utilisant des approches d'exploration de graphes basées sur les volumes d'écoulement, les communautés spatiales peuvent être délimitées pour fournir des indications pour la planification et la coopération régionales (cf. figure 2).

Outre son utilisation dans l'analyse de la mobilité, l'IA sert également à résoudre de nombreux problèmes de trafic classiques, tels que la prévision des temps de trajet, la détection des incidents, la surveillance des performances du réseau, la génération de rapports de trafic, etc. Les données modernes, faciles à mettre à jour, offrent la possibilité de répondre rapidement aux changements de mobilité, bénéficiant de mises à niveau de transport adaptatives. Des services de mobilité plus efficaces, notamment, le *Mobility as a Service* (MaaS) ou le transport à la demande (TAD), bénéficient de diverses innovations intégrant la puissance de calcul. L'IA et son application avec le *big data* offrent des opportunités sans précédent pour redessiner le paysage de la mobilité. Utilisées de manière responsable, elles rendent possibles davantage de solutions pour concevoir un système de mobilité efficace, cohérent et résilient, contribuant au développement intelligent et durable de la ville.

AUTEUR • DANYANG SUN

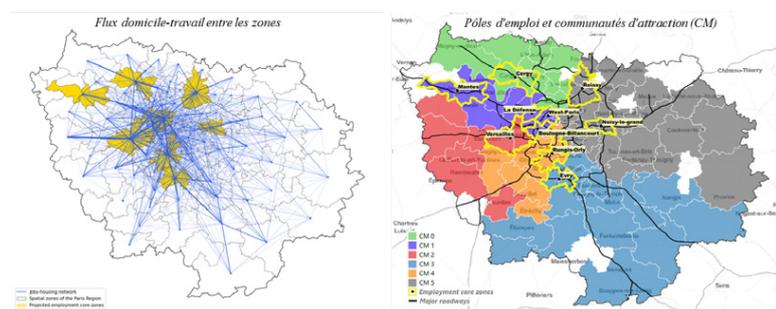
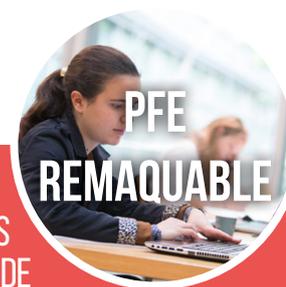


Figure 2. Identification des pôles d'emploi et des communautés d'attraction en fonction des flux domicile-travail © Danyang Sun, 2022.



## CONCEVOIR LES RÉSEAUX DE TRANSPORTS URBAINS : DES RECOMMANDATIONS DU NETWORK DESIGN AU PRINCIPE DE RÉALITÉ

Thomas Benichou, département SEGF

Réalisé chez Ingérop (service Études amont de transports urbains), ce PFE confronte l'approche économique du *Network Design* à une réalité pratique : la conception d'un réseau de transports en commun. Cette théorie vise la minimisation des coûts sociaux, à savoir ceux assumés par l'utilisateur et ceux incombant à l'exploitant. Elle démontre, par ailleurs, l'existence d'économies d'échelle lorsque les variables du réseau optimal (structure des lignes et fréquences) changent consécutivement à une augmentation de la demande

de transport (effet Mohring).

Ces constats se révèlent cruciaux dans le cadre de la conception concrète d'un réseau de transports en commun. Mais la multitude d'enjeu (dynamique urbaine, écologie, dimension sociale et équité de la desserte, insertion et environnement, etc.) qu'elle soulève en fait un sujet politique qui nécessite une approche multidisciplinaire dépassant, bien souvent, ce seul cadre économique théorique.

# LES ENSEIGNEMENTS TRANSPORTS ET MOBILITÉ À L'ÉCOLE DES PONTS PARISTECH



FRANÇOIS-LAURENT  
TOUZAIN

Président du [département Ville Environnement Transport \(VET\)](#), École des Ponts ParisTech

## BIOGRAPHIE

Diplômé de l'ESTP, option routes et ouvrages d'art en 1994, diplômé de HEC en 2010

Chargé de maîtrise d'ouvrage au Liban, pour le ministère des Affaires étrangères français, entre 1996 et 1998

Conseiller en gestion de projets urbains complexes chez CLC, puis Ingérop entre 2001 et 2016

Enseignant en gestion de projets urbains, notamment au sein du Mastère Spécialisé® (MS) Ingénierie et Management des Smart Cities (École des Ponts ParisTech) entre 2010 et 2021

Directeur associé de 360, atelier d'urbanisme pluridisciplinaire, depuis 2016

Directeur du MS® Ingénierie et Management des Smart Cities en 2020-2021

Président du département Ville Environnement Transport depuis 2021

Les questions liées aux mobilités sont au cœur de l'enseignement de l'École des Ponts ParisTech depuis son origine. Leur approche n'a cessé d'évoluer, accompagnant la modernisation de la société. François-Laurent Touzain, président du département Ville Environnement Transport, revient sur ces évolutions et détaille les modalités actuelles de ces enseignements.

[L'École des Ponts ParisTech, témoin et acteur des évolutions des transports et de la mobilité](#)

Dans les années 1830, les premiers volumes des [Annales des Ponts et Chaussées](#) consacraient une large part de leurs chapitres à des retours d'expérience, portant notamment sur l'entretien des routes, décrivant des procédés de pavage résistant aux intempéries, aux charges, demandant le moins d'entretien possible, dans un souci de qualité de service rendu et de moindre coût pour les gestionnaires de l'époque.

Depuis, la mobilité a connu plusieurs révolutions, intimement liées aux processus de modernisation et d'accélération de notre société avec laquelle elle forme système : par la motorisation de moyens de transport collectif puis individuel, par la route, le chemin de fer, les airs, la mer et les fleuves, aujourd'hui les pistes cyclables et les trottoirs...

L'École a été, durant ces deux siècles, témoin et acteur de ces changements, plaçant au cœur de ses enseignements la compréhension des phénomènes, la recherche de la sobriété des moyens et la pérennité des résultats. Il est à cet égard intéressant de remarquer à quel point les préoccupations de 1830 recourent celles de la transition écologique d'aujourd'hui.

[Une approche renouvelée au tournant du XXI<sup>e</sup> siècle, pour les décideurs d'aujourd'hui et de demain](#)

Plus récemment, l'enseignement de la mobilité et des transports

à l'École a été marqué par deux changements importants, qui la distinguent et contribuent à entretenir son rayonnement international. En 1997, une réforme de l'enseignement a créé le département Ville Environnement Transport (VET) à partir de la vision (pertinente à l'époque, nécessaire aujourd'hui) qu'il importait de ne pas dissocier la « machine à fabriquer des interactions » qu'est la ville, de ce qui permet ces interactions (les transports) et des ressources à préserver pour tout développement soutenable (l'environnement).

Cette approche systémique créait un terrain favorable à la bonne intégration – autour de 2010 – du second changement majeur qu'est la révolution numérique, qui allait ouvrir, par l'exploitation des traces mobiles individuelles, des manières radicalement nouvelles d'analyser, de planifier, de concevoir, de gérer, d'interopérer, les moyens de transport.

À ce jour, le département a formé plus de 500 ingénieurs, parmi lesquels plus d'un tiers ont fait le choix du parcours Transport, occupant des positions clés dans l'écosystème du transport en France et à l'international, dans des laboratoires de recherche, au sein d'ingénieries, d'entreprises de construction ou d'exploitation, d'autorités organisatrices, ou de l'administration centrale.

[Les enseignements actuels : maintien des fondamentaux, outils pour inventer et déployer les solutions de demain](#)

En 2022, l'offre du département poursuit son évolution pour ré-

pondre aux besoins de la société et des entreprises. Elle garantit la maîtrise des fondamentaux conceptuels et mathématiques pour comprendre et modéliser la mobilité (modèle à 4 étapes notamment), la replaçant dans le système territorial dans lequel elle s'insère. Elle forme aux outils numériques les plus récents qui permettent, d'une part, d'analyser et de prédire la demande et, d'autre part, de concevoir et gérer l'offre de transport en conséquence. Elle appréhende la diversité et l'interopérabilité des modes de transport, traditionnels, contemporains ou émergents, du point de vue technique, économique et environnemental – explorant les différents leviers de sobriété (cf. Émeric Fortin, pp. 16-17). Enfin, elle donne aux élèves les outils pour devenir les acteurs des changements stratégiques – en termes de transport et de mobilité – qu'appelle la transition écologique, à savoir, une lecture historique, des compétences en prospective, la connaissance des institutions et des entreprises.

Elle s'appuie pour cela sur une structure d'enseignement modulaire. À partir d'un socle acquis en deuxième année (proposant aussi des parcours croisés avec le département Génie civil et construction, etc.), elle permet de construire, une grande variété d'approfondissements, parmi lesquels les masters Transport et développement durable (TraDD) et Transport et Mobilité (TM), les Masters Spécialisés® Smart Mobility et Systèmes de transports ferroviaires

et urbains (STFU), ainsi que de nombreux partenariats avec des établissements étrangers. Le corps enseignant est composé d'experts de niveau international issus du monde académique, notamment, des laboratoires partenaires ou affiliés du Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED), du laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), du laboratoire Techniques Territoires et Sociétés (LATTS), mais aussi de l'entreprise, ou encore d'institutions publiques. Uniquement en deuxième année, ce sont 12 responsables de modules et 24 intervenants qui dispensent les cours relatifs au parcours Transport. À titre d'exemple, citons Fabien Leurent (chercheur au CIRED) et Zoi Christoforou (maître de conférences à l'université de Patras), ou encore Virginie Boutueil (chercheuse en socio-économie de la mobilité au laboratoire Ville Mobilité Transport), comme représentant.e.s de la sphère académique, Alain Sauvant (directeur de l'Autorité de la qualité de service dans les transports au ministère de la Transition écologique) et Felipe Garcia-Castello (RATP), comme représentants de la sphère institutionnelle et économique. Enfin, la formation permet aux élèves de prendre part aux décisions stratégiques, répondant, en cela, à l'urgence écologique *via*

- des projets issus de commandes réelles. Le séminaire du département de deuxième année leur permet de mettre en application leurs connaissances scientifiques et techniques, d'exercer leur créa-

tivité, d'éprouver leur leadership auprès d'institutions, *think tanks* ou entreprises, adressant des pans entiers de l'économie (contribution au Plan de transformation de l'économie française du ShiftProject, modélisation prospective du péage ferroviaire pour France Stratégie).

- de leurs stages ou missions professionnelles en entreprise ou laboratoire de recherche de référence, à l'instar de celle réalisée par Hugo Thomas (cf. *infra*), qui d'une manière rigoureuse, saisit la notion de mobilité durable, par une modélisation comparée des externalités du transport urbain en périphérie de Lima et de Bogotá.

AUTEUR • FRANÇOIS-LAURENT TOUZAIN



## LA MOBILITÉ URBAINE DURABLE EN AMÉRIQUE LATINE : ÉTUDE DE BOGOTÁ ET LIMA

Hugo Thomas, département VET

Si la mobilité durable est un paradigme omniprésent dans les discours politiques, sa définition et son évaluation relèvent toujours de nombreux enjeux méthodologiques. À partir d'une étude comparée de Bogotá et Lima, ce mémoire propose un diagnostic de la durabilité de la mobilité dans les villes d'Amérique latine. Les deux villes, comptant aujourd'hui 10 millions d'habitants chacune, ont suivi un mode de production urbaine largement informel au XX<sup>e</sup> siècle.

Pourtant, elles prennent, depuis quelques décennies, des trajectoires différentes. À Bogotá, des politiques publiques ambitieuses en faveur du transport public et du vélo ont été rendues possibles grâce une gouvernance plus solide qu'à Lima. Pour autant, la planification urbaine et la réforme du transport artisanal, lequel est largement prépondérant dans les périphéries populaires des deux villes, restent des défis majeurs.



## JEUNE CHERCHEUR

# RETOUR RÉFLEXIF SUR UN PARCOURS D'INGÉNIEUR-CHERCHEUR

Parmi la multitude de systèmes que nous appréhendons au quotidien, celui de la mobilité est d'autant plus important qu'il régit nos interactions sociales. C'est pourquoi, mon parcours – universitaire et professionnel – est orienté vers la compréhension de ce système et de ses composants afin d'en améliorer les performances.



EKTORAS  
CHANDAKAS

Assistant COO, Hellenic Train  
(Grèce, ex. Trainose)

C'est à l'École des Ponts ParisTech, où j'ai suivi la formation d'élève ingénieur en double diplôme avec l'École Polytechnique d'Athènes (NTUA), qu'ont émergé les interrogations sur la mobilité. La diversité des modules d'enseignement et l'approche système, un pilier de l'enseignement de l'École, contribuent à l'acquisition des outils nécessaires à leur décodage. De plus, l'ouverture de l'École à l'international offre la possibilité de se confronter rapidement à des systèmes opérationnels différents.

Dans le secteur des transports, créer des modèles signifie décrire de manière mathématique les choix économiques des voyageurs élémentaires, en y intégrant les impacts liés aux contraintes physiques des composantes du système de mobilité (infrastructure, véhicules, gares, etc.), ainsi que leur variabilité. Comme démontré dans mon travail de thèse, mené au laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT) sous la direction de Fabien Leurent et porté par la chaire Île-de-France Mobilités, l'approche système est essentielle à une bonne interprétation des transports et de la mobilité.

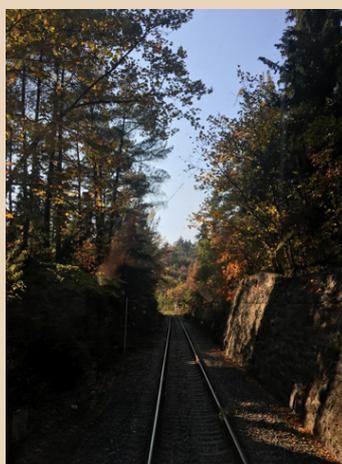
J'ai, par la suite, occupé des postes à responsabilité croissante chez Transamo, cabinet de conseils en ingénierie du groupe Transdev, avant d'intégrer Hellenic Train, exploitant ferroviaire historique en Grèce, aujourd'hui géré par Trenitalia. Pour autant, j'ai gardé une proximité avec l'École des Ponts ParisTech, où je suis enseignant-chercheur. Ce statut offre une double perspective précieuse. Suivre de près les tendances de la mobilité garantit, à travers la mise en place de méthodes novatrices d'analyse et d'intervention, l'accompagnement efficace des collectivités et des opérateurs de mobilité dans l'amélioration de la performance et du design des transports du quotidien et l'introduction de nouveaux modes de transport.

Le ferroviaire occupe une place de choix à l'École des Ponts ParisTech. En témoignage,

notamment, l'anthropogéographie des anciens. Mon expérience française, à l'École, chez SNCF Réseau Transilien et Transdev, ainsi que des missions de conseil pour la modernisation de l'exploitation ferroviaire et son adaptation à un marché ouvert auprès des régions, ont été marquantes. Ce double profil d'ingénieur-chercheur est primordial pour l'exercice de mes nouvelles fonctions chez Hellenic Train. Les challenges du poste sont nombreux. Il s'agit d'accompagner l'organisme dans la transformation profonde de ses outils de production et de sa culture, en vue d'améliorer la performance de l'exploitation par une meilleure utilisation des facteurs de production.

Dans les années à venir, le secteur des mobilités subira de profondes transformations. Du côté de la demande, des évolutions sociétales, comme le développement du télétravail par exemple, engendrent une réduction des déplacements contraints (domicile-travail), qui ont servi de base à l'aménagement urbain après-guerre, au bénéfice d'une mobilité de choix (loisir, achats, etc.). Du côté de l'offre, le secteur, contributeur à hauteur de 31 % aux émissions des gaz à effet de serre (GES) en France participe à atteindre les objectifs de transition écologique. Cela passe par le développement de sources alternatives d'énergie (électrification de la flotte, filaire hydrogène, etc.) et par le report modal vers un système de mobilité partagée universelle, initiée par les ruptures technologiques récentes (véhicules autonomes partagés, mobilité à la demande, *Mobility as a Service* – MaaS). Le degré de déploiement des services de transports autonomes, l'articulation des modes de transport de grande capacité avec des modes de petite capacité à la demande, la digitalisation des fonctions au sein du système de mobilité pour en améliorer la performance et la qualité du service sont des questions toujours ouvertes et nécessitent une collaboration étroite entre chercheurs, ingénieurs et autres acteurs du secteur.

AUTEUR • EKTORAS CHANDAKAS



Le train vers la nature. Florina, Grèce.  
© Ektoras Chandakas

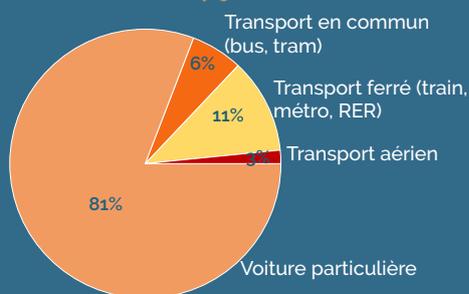
# LES MOBILITÉS EN CHIFFRES

1

## LA MOBILITÉ DES FRANÇAIS

Transport intérieur de voyageurs en France en 2019

(en % de voyageurs-kilomètres)



Source : SDES, 2021, *Chiffres clés du transport. Edition 2021* [en ligne], Data Lab Transport, La Défense ; Ministère de la Transition écologique, CGDD, SDES, p. 20.

## VERS UN CHANGEMENT DE PRATIQUES ?

**38 %** des automobilistes pensent réduire leur usage de la voiture

**50 %** envisage de passer à la voiture électrique

## DES FREINS QUI PERSISTENT

**55 %** des Français estiment ne pas avoir le choix de leur moyen de déplacement

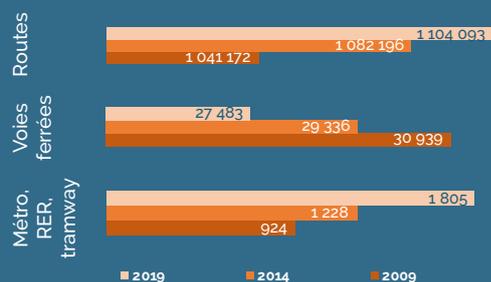
**85 %** des habitants de communes isolées déclarent ne pas avoir le choix de leur mode de transport

Source : WIMOOV et FONDATION POUR LA NATURE ET L'HOMME, 2020, Baromètre des mobilités du quotidien, 2e édition, Les français et leur mobilité [en ligne], *barometremobilités*.

2

## LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT EN FRANCE

Évolution des réseaux (en kilomètres)

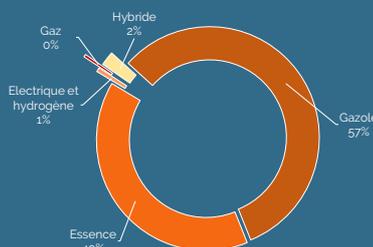


Source : SDES, 2021, *Chiffres clés du transport. Edition 2021* [en ligne], Data Lab Transport, La Défense ; Ministère de la Transition écologique, Commissariat général au développement durable, SDES, p. 6.

Le parc automobile français (en 2021, en nombre de véhicules en circulation)

**85 %** des ménages français possèdent au moins une voiture

**37 %** deux voitures ou plus



Source : MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021, Données sur le parc automobile français au 1er janvier 2021, *Statistiques.developpement-durable*.

## LE PROJET EUROVÉLO

**17** itinéraires cyclables européens

**42** pays

**91 500** km de pistes cyclables

**45 000** km déjà développés

**10** EuroVélo en France

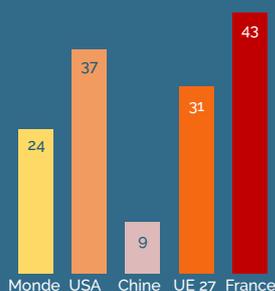
Voir : <https://pro.eurovelo.com/>

3

## L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TRANSPORTS

Part des transports dans les émissions de CO<sub>2</sub>

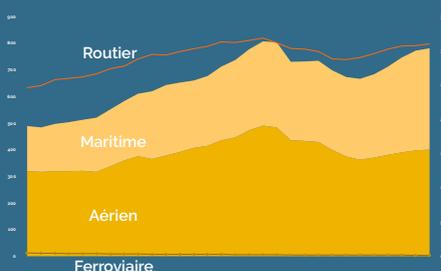
(en % des émissions totales)



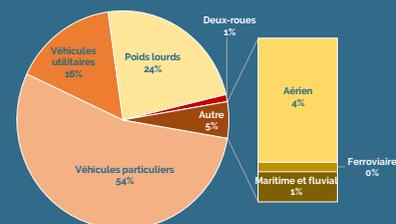
Source des trois graphiques : SDES, 2021, *Chiffres clés du climat. France, Europe et Monde. Edition 2022* [en ligne], Data Lab Climat, La Défense ; Ministère de la Transition écologique, Direction générale de l'énergie et du climat, SDES, Institute for Climate Economics, pp. 38, 48, 49.

Émissions de GES des transports dans l'UE à 27

(en Mt CO<sub>2</sub> éq.)



Répartition des émissions de GES des transports en France



# LE MASTER TRADD : APPRÉHENDER LES MOBILITÉS AU PRISME DE LA DURABILITÉ



## ÉMERIC FORTIN

Directeur du Master Transport et développement durable (TraDD), École des Ponts ParisTech

## BIOGRAPHIE

Docteur en sciences économiques, thèse sous la direction du professeur Gilles Rotillon, à l'université Paris-X Nanterre

Directeur du Master Transport et développement durable (TraDD), délivré par l'École des Ponts ParisTech et l'École polytechnique, formant des étudiants internationaux à l'élaboration de réponses multidimensionnelles aux enjeux de la mobilité durable

Responsable du pôle master et de trois masters pour l'École des Ponts ParisTech : Master Management et ingénierie des services à l'environnement, formant des responsables d'exploitation dans le domaine de l'eau et de la propreté ; Master Économie de l'environnement, de l'énergie et des transports ; Master Transport et mobilité

Depuis 2010, responsable de la formation au développement durable dans le cycle ingénieur de l'École des Ponts ParisTech

Créé en 2004, le Master Transport et développement durable (TraDD) est dispensé par l'École des Ponts ParisTech et l'École polytechnique. Ce titre ne rend pas compte du basculement rapidement opéré d'un centrage sur les transports, à une focalisation sur les mobilités. Cette évolution est cohérente avec l'approche en termes de durabilité qui implique d'identifier très précisément l'ensemble des besoins, afin d'y répondre de la manière la plus sobre possible.

La littérature scientifique retient parfois l'acronyme ACES (*Autonomous, Connected, Electric, Shared*) pour décrire le futur des mobilités. Si ces caractéristiques, incarnent indéniablement des tendances lourdes et désirables, du moins aux yeux de certains, elles ne constituent que des moyens et non des critères de performance, à l'aune desquels les systèmes peuvent être jugés. Pour définir ces critères, le Master propose d'appréhender les mobilités au prisme de la durabilité, c'est-à-dire, en termes d'accessibilité (physique et financière), de moindre impact environnemental<sup>1</sup>, de moindre prélèvement des ressources non renouvelables et d'efficacité économique et organisationnelle afin de grever au minimum les budgets privés comme publics.

La recherche de cette durabilité peut se construire autour de la démarche ASIF (*Avoid/Shift/Improve/Fuel*), utilisée par de nombreux acteurs du secteur pour identifier les leviers de la décarbonation des transports. Aurélien Bigo (2020)<sup>2</sup> propose la schématisation suivante :

Dans une acception élargie de cette démarche, le Master TraDD appréhende les mobilités autour des axes suivants :

- **Avoid** (éviter) : le déplacement le plus durable est celui que l'on n'a pas besoin de réaliser. Ainsi, une mobilité durable ne saurait être une mobilité contrainte par une organisation spatiale ne mixant pas suffisamment les usages (commerce, loisir, travail, habitat), ou par un étalement géographique de l'activité économique, surtout s'il résulte de l'insuffisance du signal-prix sur les véritables coûts sociaux et environnementaux des transports.
- **Shift** (reporter) : pour réduire les impacts des mobilités, il convient d'utiliser les modes (ou combinaison de modes) ayant la meilleure performance (au sens défini précédemment). De ce point de vue, aucune solution ne s'impose pour l'ensemble des usages ou sur l'ensemble des territoires. Un bus peu rempli n'est pas plus performant qu'une voiture utilisée en covoiturage, de même qu'un TER thermique peu fréquenté ne l'est



Source : Bigo, 2020.

<sup>1</sup> Au sens large, c'est-à-dire, en tenant compte, dans une logique de cycle de vie, de l'ensemble des limites planétaires et en intégrant les problèmes de santé publique (qualité de l'air, bruit, etc.)

<sup>2</sup> BIGO, Aurélien, 2020. *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement*. Thèse de doctorat : Économie, gestion, sciences sociales. Palaiseau : Institut polytechnique de Paris.

pas plus qu'un bus fonctionnant aux agrocarburants de deuxième génération.

- *Improve* (améliorer) : il s'agit, dans un premier temps, d'écoconcevoir chaque mode pour en améliorer la performance, c'est-à-dire, de rechercher, *via* une analyse fonctionnelle, une réponse servicielle, avant d'envisager la production d'un bien physique. À cela s'ajoute une ingénierie des vecteurs de mobilité à moindre impact qui se déploie selon trois axes : allègement, performance du groupe motopropulseur, réduction des frottements.
- *Fuel* (énergie) : il s'agit de mobiliser le(s) énergie(s) ayant la meilleure performance environnementale, la moindre consommation de ressources non renouvelables et d'espace et le moindre coût de production et distribution, dans une logique « du puits à la roue ».

Pour permettre l'émergence de ces systèmes de mobilité durable, le Master s'attache à fournir aux étudiants les outils nécessaires :

- défis et définitions des mobilités durables, diagnostic territorial et modélisation des mobilités ;
- analyse de cycle de vie, éco-conception, bilans du puits à la roue et ingénierie des véhicules à moindre impact environnemental ;

- économie de l'environnement et des transports ;
- management de l'innovation et des projets de mobilité.

À travers des ateliers, les étudiants sont amenés à articuler les dimensions techniques, organisationnelles, économiques et culturelles, et à définir les modalités de gouvernance permettant d'apporter des réponses appropriées aux demandes incompressibles de mobilité des personnes et des biens.

Ce cadre défini, le Master met au cœur de son enseignement les nouvelles formes de mobilité incarnées par l'acronyme ACES. Il présente les promesses de la mobilité autonome en termes de sécurité (près de 1,3 millions de personnes victimes de la route chaque année), de fluidité et d'efficacité des systèmes de transport, mais également les incertitudes techniques et l'imparfaite identification des coûts d'infrastructure associés. Il analyse les mobilités connectées rendues possibles par la révolution numérique et en synergie forte avec la question des mobilités partagées. Enfin, l'électrification des mobilités constitue un des axes majeurs de la neutralité carbone, bien que d'autres sources d'énergie aient aussi un rôle à jouer, notamment, sur la longue distance. Là encore, la question des infrastructures et, notamment, celle de la distribution d'énergie est au cœur de l'analyse

environnementale et économique proposée sur ces dimensions énergétiques par le Master.

Pour répondre aux enjeux de la durabilité des mobilités, le Master privilégie une approche systémique multidimensionnelle, permettant, entre autres, l'appréhension des effets réseaux. Les étudiants sont aussi amenés à développer une vision prospective pour tenir compte des articulations des différentes échelles de temps, particulièrement centrales dans ce secteur où les inerties sont grandes, les irréversibilités nombreuses et les perspectives technologiques diverses. Enfin, le Master promeut la co-construction *via* le dialogue interculturel au sein d'une promotion qui réunit une dizaine de nationalités, différents génies<sup>3</sup>, des géographes, des économistes, *etc.* et encourage les étudiants à déployer les démarches de transition pour une émergence effective et internationale des systèmes de mobilités durables.

AUTEUR • ÉMERIC FORTIN

Pour en savoir plus 

3 • Génie civil, génie environnemental et/ou des procédés, génie industriel, génie mécanique, *etc.*



## ÉVALUATION DE L'IMPACT DE L'INTRODUCTION DE VÉHICULES AUTONOMES SUR LA CONGESTION DU TRAFIC

Tiziri Aït Messaoud, Master TraDD, bureau d'études CDVIA

Dans les prochaines décennies, l'avènement des véhicules autonomes (VA) modifiera profondément le secteur des transports. Dès lors, quel sera leur impact sur l'état du trafic, notamment, du point de vue de la congestion ?

Ce projet de fin d'études cherche à estimer cet impact dans deux environnements différents : les réseaux autoroutier et urbain. Pour ce faire, des simulations dynamiques de l'introduction des VA

sont menées à un niveau microscopique et avec des taux de pénétration différents. Dans les deux cas, les résultats montrent que les VA permettent d'optimiser l'écoulement des véhicules, mais à des degrés différents. Les gains en termes de vitesse et de temps de parcours sont plus conséquents en environnement autoroutier, car, en milieu urbain, les interactions sont nombreuses : traversées piétonnes, pistes cyclables, carrefours à feux, *etc.*



# L'APPROCHE « SYSTÈME » DANS LES PROJETS D'INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT



## FEDERICO ANTONIAZZI

Directeur du [Mastère Spécialisé® Systèmes de transports ferroviaires et urbains \(STFU\)](#), École des Ponts ParisTech

### BIOGRAPHIE

Ingénieur Systèmes de transport (Sapienza Università di Roma) et diplômé du cycle international long de l'ENA en Administration publique

Docteur en économie des transports (Université Lumière Lyon 2/ Sapienza Università di Roma)

Chargé d'études économiques à la direction de la stratégie de Réseau Ferré de France

Ingénieur d'études sécurité et équipements ferroviaires chez Lisea, concessionnaire de la LGV Sud Europe Atlantique Tours-Bordeaux

Expert à la direction du transport ferroviaire au sein de l'Autorité de régulation des activités ferroviaires et routières (Arafer)

Spécialiste des transports au département Infrastructures en Afrique centrale et de l'Ouest de la Banque mondiale

Depuis 2021, directeur du Mastère Spécialisé® Systèmes de transports ferroviaires et urbains (STFU) à l'École des Ponts ParisTech

Les défis liés à la transition écologique et aux nouvelles formes de mobilité requièrent de nouvelles compétences de la part des ingénieurs et spécialistes en charge de la conception des modes de transport. Et c'est pour y répondre que le Mastère Spécialisé® (MS) Systèmes de transports ferroviaires et urbains (STFU) de l'École des Ponts ParisTech a proposé, dès sa création en 2008, une approche innovante de leur formation.

L'approche « système » : un changement de paradigme nécessaire

Traditionnellement, la conception des systèmes de transport relève plutôt de l'assemblage de différentes compétences (ou corps de métier), ce qui engendre une prise en compte souvent tardive, voire, limitée de l'approche « système ». Cela tient principalement à la structuration de ce secteur d'activité. Les milieux professionnels y sont imprégnés d'une vision technique et organisationnelle très encadrée, rendant difficile la conduite du changement. À cela s'ajoutent des difficultés d'ordre juridique et administratif, de type réglementaire, qui imposent souvent des contraintes en termes de conception, validation et homologation des produits. Tout cela tend à limiter fortement, voire, réduire l'innovation et le changement d'approche.

Mais aujourd'hui, les projets de transports urbains et ferroviaires doivent répondre à de nouveaux défis liés à la transition écologique et au déve-

loppement de nouvelles formes de mobilité – dû aux changements de comportement des usagers (télétravail, digitalisation, urbanisation, etc.). Ils doivent donc, dès lors conception, tenir compte de nouvelles contraintes et fonctionnalités. À titre d'exemple, des projets de transport comme le Grand Paris Express (GPE) ou ceux de RER métropolitains, en France comme à l'international, doivent intégrer le changement de comportement des usagers en associant différents modes de transport (vélos, trottinettes, autopartages, etc.) et en développant de nouvelles interfaces grâce aux opportunités offertes par les nouvelles technologies (billettiques, accessibilités, information aux voyageurs, etc.) ou organisations.

Le MS® STFU : une démarche de formation innovante

Le MS® STFU de l'École des Ponts ParisTech a été créé en 2008, en partenariat avec l'UTC Compiègne et l'INSA Valenciennes. Il vise à former, *via* une approche innovante, des ingénieurs et spécialistes des



Visite du chantier de la nouvelle gare de Noisy-Champs dans le cadre du projet du Grand Paris Express © Françoise Manderscheid.

transports ferroviaires et urbains, en France comme à l'étranger, aptes à relever ces défis. Le mastère intègre, certes, des compétences techniques spécifiques à chaque corps de métier, comme le génie civil, la conception du matériel roulant ou encore l'exploitation ferroviaire. Mais, à travers une approche système, il entend apporter aux étudiants et futurs concepteurs une analyse plus globale et multidisciplinaire de ces problématiques. Il s'agit de leur apprendre à traiter les interfaces et à gérer la conception d'un projet en équipe pluridisciplinaire.

C'est pourquoi, en plus des cours traditionnels, qui restent fondamentaux dans la conception d'un système de transport, viennent s'ajouter des enseignements sur l'économie des transports, l'organisation et le jeu des acteurs ou encore la gestion opérationnelle et de crise. Cette approche est aussi déclinée à travers les modalités d'enseignement et d'évaluation qui privilégient le travail en groupe.

#### Intégrer les réseaux professionnels, universitaires et internationaux

La dimension pratique et la confrontation des étudiants aux milieux professionnel et scientifique sont des aspects fondamentaux de la formation. Des présentations, visites techniques et voyages d'étude leur

permettent d'enrichir leurs connaissances par le retour d'expérience. Ils complètent leur cursus par la rédaction d'une thèse professionnelle. Le sujet est défini par l'élève, en lien avec les enseignements du mastère et en partenariat avec l'entreprise dans laquelle il travaille ou effectue un stage. À nouveau, l'approche système et pluridisciplinaire est encouragée. Plusieurs thèses professionnelles ont déjà fait l'objet de publication dans des revues spécialisées, comme la *Revue générale des chemins de fer*. Ces publications sont une contribution importante du mastère au débat scientifique sur ces thématiques.

Le mastère se veut aussi largement ouvert sur l'international. En effet, l'enseignement favorise la pratique des réseaux étrangers afin de s'inspirer des innovations et solutions proposées dans d'autres contextes, comme la conduite autonome, le développement de la propulsion à l'hydrogène ou électrique, mais aussi, l'ouverture à la concurrence et les changements d'organisations. Il s'agit de rester au cœur des débats sur la mobilité du futur. Cette volonté se décline par les enseignements, comme, par exemple le mini-mémoire, réalisé en partenariat avec l'Agence française de développement (AFD), sur la conception d'un système de transport dans les pays en développement. Mais aussi en formant, chaque année, des

élèves issus de l'étranger et des pays en développement, ainsi que des experts français dans le cadre de leur carrière à l'international.

De belles perspectives semblent ouvertes pour le MS@STFU, dont les enseignements continueront d'évoluer pour toujours mieux s'adapter aux changements majeurs qui caractérisent notre époque (crise sanitaire et écologique, nouvelles pratiques de la mobilité et urbanisation croissante spécialement dans les pays en développement). Pour assurer cette continuité et transmission, l'équipe pédagogique publie, depuis 2016, un *Yearbook* recensant les travaux de thèse du mastère et travaille actuellement à un ouvrage collectif qui recueillera l'intégralité des enseignements. L'association des anciens élèves (AEMF) contribue, elle aussi, par la mise en réseau des quelques 400 élèves formés jusqu'alors, au partage d'expérience.

AUTEUR • FEDERICO ANTONIAZZI

Pour en savoir plus 



## UN PROJET DE MÉTRO DANS UN PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT : LE CAS DU PROJET DU MÉTRO D'ABIDJAN

Mohamed Diallo, Bureau National d'Études Techniques et de Développement, Ministère des Transports, Côte d'Ivoire

Pôle économique d'Afrique de l'Ouest, la Côte d'Ivoire connaît une croissance importante et soutenue depuis plus de 10 ans. La capitale économique du pays, Abidjan, concentre 80 % de l'activité. Marquée par une forte expansion urbaine, la ville se retrouve confrontée à des défis majeurs dans le domaine des transports. Pour répondre aux enjeux de mobilité de la ville, l'État ambitionne de mettre en œuvre un métro

urbain sur l'axe Nord-Sud. L'objet de cette thèse professionnelle est de montrer dans quelle mesure le métro, véritable révolution technologique dans le secteur des transports abidjanais, pourrait s'intégrer au réseau de transports urbains de la ville, dominé par le secteur informel. La conduite du changement dans le cadre de la mise en place du projet s'avère être un élément clé de son succès.



# « INFLATION URBAINE » ET TRANSPORT CAPACITAIRE EN AFRIQUE



JEAN-FRANÇOIS  
SEMPÉRÉ

Directeur académique du Mastère  
Professionnel Transport et Aménagement  
Urbain (MP TAU)



CLAIRE LINDER

Coordinatrice de projets internationaux,  
École des Ponts ParisTech

À travers le Mastère Professionnel Transport et Aménagement Urbain, Jean-François Sempéré, avec les équipes de l'[Institut National Polytechnique – Houphouët-Boigny](#) et de l'École des Ponts ParisTech, contribue à former des cadres de haut niveau en Côte d'Ivoire sur les métiers de la mobilité. L'objectif général est autant de créer un « cursus de référence » permettant de valoriser ces métiers que d'accompagner la maîtrise d'ouvrage dans la conduite de grands projets d'infrastructure (systèmes de transport de masse) du Grand Abidjan.

Comme de nombreux paysages urbains africains, suspendus entre désordre et créativité, le Grand Abidjan connaît une congestion de plus en plus marquée du trafic, du fait, notamment, d'une croissance urbaine soutenue.

## État des lieux de la mobilité et des infrastructures de transport à Abidjan : un système de transport saturé

Le fonctionnement de l'espace urbain laisse une place prédominante aux flux motorisés. Le vélo est quasiment absent et peu d'aménagements sont dédiés aux piétons bien que la majorité des déplacements quotidiens se fasse à pied<sup>1</sup>. Les abords des voiries, toute échelle confondue (autoroute, rue ou échangeur), sont fréquemment occupés par des points de vente. Des gares spontanées se forment le long des grandes artères de circulation, le plus souvent sur des carrefours et à proximité d'établissements publics à forte attraction. Les espaces urbains, inséparables de la rue, sont tout aussi pluriels : places, marchés, gares routières, mais aussi immeubles ou jardins. Faits d'un mélange d'achevé et d'inachevé, ils rendent compte de l'affrontement entre le pauvre et le riche, le motorisé et le piéton, le citadin et le rural, aussi

bien que des fonctions urbaines et de leurs reconfigurations.

Au-delà des leviers d'amélioration existant dans le champ des transports urbains (aménagement des voiries, développement d'une offre en transports en commun – routier, ferroviaire, guidé, lagunaire, téléphérique –, plateforme et services



Figure 1. Embouteillage à Abidjan © Jean-François Sempéré, 2021.

<sup>1</sup> La fréquentation du transport public « formel » est relativement faible. Près de 80 % des Abidjanais utilisent le transport public « informel » pour se déplacer. La voiture particulière représente un très faible pourcentage de la part modale des déplacements. La marche à pied est le moyen de déplacement le plus utilisé (3 déplacements sur 4).

logistiques, réhabilitation de carrefours, autoroute urbaine, ponts, voies de contournement, etc.), la mobilité, composante essentielle d'une gestion durable d'un territoire, est un défi incontournable.

La promotion de la ville intelligente et intégrée est au cœur des enjeux contemporains africains. Elle doit articuler les attentes variées des urbains et l'organisation d'un système de transport efficient ». En effet, le système de transport classique n'est plus ni suffisant ni adapté. Ce n'est donc pas seulement le fossé de l'infrastructure urbaine qui empêche la ville africaine de bien fonctionner, mais aussi le manque de planification urbaine et les blocages réglementaires et institutionnels.

### Répondre à la demande par le développement du transport de masse : une solution nécessaire ?

Pour autant, des solutions existent. Elles reposent en grande partie sur l'utilisation de technologies nouvelles, de nouveaux autobus, la construction d'infrastructures plus intelligentes et l'exploitation du dynamisme du secteur informel.



Figure 2. Carte des projets d'infrastructure à Abidjan © MCC.

### Découvrez le projet du métro d'Abidjan

Axe stratégique majeur, le projet du métro d'Abidjan prévoit un tracé de 37 km, desservant 18 stations. D'un montant estimé à 1,36 milliard d'euros, il est porté par un consortium français (Bouygues Travaux Publics, Alstom, Colas rail et Keolis).



Bouygues Construction, 2019. Métro d'Abidjan : la mobilité pour tous. Youtube, 7 janvier 2019.

Le Grand Abidjan s'est engagé dans un vaste programme d'investissements et de modernisation des infrastructures. Un des objectifs prioritaires est de rééquilibrer l'offre et la demande dans le secteur des transports capacitaires : prendre en charge plus d'usagers, sur une distance plus longue, sans trop pénaliser les temps de déplacement et leur coût.

Les liaisons périurbaines vers le centre constituent un acte d'aménagement fort. Il s'agit d'accompagner une croissance urbaine plus subie que maîtrisée et de reprendre en main les secteurs hautement problématiques et pourtant stratégiques du transport et des mobilités.

Par exemple, l'implantation de lignes de *Bus rapid transit* (BRT) ou Bus à haut niveau de service (BHNS), banale aujourd'hui, relevait du pari, dans des villes où le transport public opérait, depuis la fin des années 1980, via des concessions octroyées par les autorités et le développement de modes de transports dits « artisanaux »<sup>2</sup>.

Le BRT, expérimenté avec une certaine efficacité dans des pays d'Amérique latine, en Asie et au Maghreb, est présenté comme le moyen potentiellement le plus efficace. En Afrique, de nouveaux projets émergent, bénéficiant du soutien d'organisations internationales (Ouagadougou, Conakry, Douala). D'autres se concrétisent (Dakar, Abidjan, Accra), ou se déploient depuis quelques années (Johannesburg, Le Cap, Lagos, Nairobi, Dar es Salaam et Addis Abeba).

Les expériences en Afrique montrent, cependant, qu'il y a peu de chances de remplacer le transport artisanal (à la demande) dans sa totalité par ces modes « lourds », pour des raisons autant de spécifications techniques déployées (BRT Light, train léger sur rail – TLR) que d'insuffisance des ressources fiscales nécessaires pour subventionner fortement ces systèmes de transport.

La transformation de ces villes passe aussi par l'affirmation du lien entre, d'une part, transport et mobilité et, d'autre part, urbanisme et planification

<sup>2</sup> Pour Abidjan : bus Sotra, transport lagunaire concédé STL ou non (pinasse), minibus « Gbakas », taxis « Woros-woros », taxis compteur, taxis intercommunaux, etc. (pour plus de détails, voir : <https://www.codatu.org/publications/quels-noms-pour-le-transport-artisanal-en-afrique>).

### Prenez les transports en commun à Abidjan !

Cette carte interactive vous permet de visiter la ville en suivant les tracés des différentes lignes de bus et train.



© Contributeurs d'OpenStreetMap.

### Pour aller plus loin, découvrez le **projet Feuille de route de la Mobilité durable**

Ce projet, placé sous la tutelle du ministère des Transports, est porté par Climate Chance et Paris Process on Mobility and Climate (PPMC). Il bénéficie du soutien de la Fondation Michelin, de l'Observatoire des Mobilités africaines et de l'ARDCI.



Movin'On LAB Africa OMA, 2021. Le projet « Feuille de route de la Mobilité durable » en Côte d'Ivoire (The Overview). *Youtube*, 18 janvier 2021.

urbaine, dont les pratiques gagneraient à saisir cette opportunité de se renouveler. Les couloirs de transport public réaménagés peuvent être des leviers importants pour mettre en œuvre une démarche raisonnée de renouvellement urbain, qui fait encore souvent défaut, mais aussi, pour investir dans le champ de la mobilité non motorisée.

### Le MP TAU : former des décideurs à une approche intégrée des questions de transport urbain

La formation des cadres compétents est fondamentale pour s'assurer de la mise en place de politiques globales et garantir une meilleure accessibilité des individus aux emplois, aux marchés et aux services essentiels.

Pour répondre à ces besoins de formation, l'École des Ponts Paris-Tech a été mandatée dans le cadre du projet d'intégration port-ville du Grand Abidjan (PACOGA), financé par la Banque mondiale, pour co-construire et mettre en œuvre un Mastère Professionnel dans le transport et l'aménagement urbain (TAU), en partenariat avec l'Institut National Polytechnique – Félix Houphouët-Boigny (INP-HB).

Ce projet de renforcement de capacités se décline en 4 axes :

- l'accompagnement de l'Institut dans l'ingénierie formation et pédagogique du programme ;
- le déploiement d'une maîtrise d'œuvre pédagogique et la mobilisation de responsables de modules et d'enseignants ;
- la participation aux instances de gouvernance du mastère et le développement de partenariats professionnels ;
- l'ancrage du programme dans l'offre de l'INP-HB par le parrainage de son [École Supérieure des Travaux Publics](#) pour une label-

lisation de la formation auprès de la Conférence des grandes écoles (CGE).

Cette dernière étape s'inscrit dans la mission de l'ENPC et vise à renforcer l'INP-HB dans sa capacité à déposer



en propre ses demandes de labellisation de programmes et d'obtenir ses labels d'excellence. À terme, il s'agit de consolider la soutenabilité du programme au-delà de la période de financement en améliorant sa visibilité, en valorisant la formation de spécialistes de haut niveau et, au-delà, en positionnant durablement l'INP-HB dans les métiers de la mobilité urbaine.

Le mastère a accueilli sa troisième promotion : 25 jeunes professionnels issus des différentes structures parties prenantes des travaux et réalisations du Grand Abidjan, publiques et privées : ministères (ministère du Transport, ministère de la Construction, du Logement et de l'Urbanisme, ministère de l'Équipement et de l'Entretien routier, ministère de l'Environnement et du Développement durable.), collectivités locales, bureaux d'études, exploitants, entreprises de travaux publics, syndicats professionnels et opérateurs de la mobilité.

AUTEURS • JEAN-FRANÇOIS SEMPÉRÉ, CLAIRE LINDER

## LE MP TAU EN DATES

Avril 2019 : signature de la convention relative au « projet d'intégration port-ville du Grand Abidjan (PACOGA) - Mastère Professionnel en Transport et Aménagement Urbain »

•  
Septembre 2019 : ateliers de lancement, consolidation de la maquette pédagogique

•  
Janvier 2020 : accueil de la première promotion (17 auditeurs)

•  
Janvier 2021 : accueil de la 2<sup>e</sup> promotion (26 auditeurs)

•  
Septembre 2021 : jurys de soutenance de la première promotion

•  
Janvier 2022 : accueil de la 3<sup>e</sup> promotion (25 auditeurs)

•  
Février 2022 : signature de la convention tripartite avec la Conférence des Grandes Écoles et l'INP-HB en vue de la labellisation du MP TAU au titre de Mastère Spécialisé®



## LES PARTENARIATS PUBLIC-PRIVÉ (PPP) DANS LA GOUVERNANCE DES TRANSPORTS URBAINS : ANALYSE DE LA MISE EN ŒUVRE DES CONVENTIONS DE CONCESSION DE TRANSPORT PUBLIC DANS LE GRAND ABIDJAN

Raïssa Sawane, National PPP Unit



Dès 1961 et la première convention de concession avec la SOTRA, les autorités ivoiriennes ont eu massivement recours au PPP dans le domaine du transport public urbain. Actuellement, l'ensemble de ces conventions sont en cours de révision ou de renouvellement. Cette étude interroge le rôle de ce mode de contractualisation et sa contribution à la bonne gouvernance des services de transport urbain avant de formuler plusieurs recommandations.

Pertinent, en théorie, le recours au PPP manque d'efficacité à Abidjan. Son ancrage institutionnel exclut les acteurs territoriaux et multiplie les échelons décisionnels au niveau central, d'où une

coordination intergouvernementale difficile et des zones grises autour des responsabilités de chacun. L'autorité publique peine à exercer son rôle de contrôle et de suivi des concessions, transférant, de façon déséquilibrée et peu justifiée les risques et responsabilités aux délégataires. L'étude formalise un cadre de concertation de l'ensemble des parties prenantes. Elle propose aussi un outil guide destiné à améliorer l'opérationnalisation d'une fonction de gestion des conventions de concession de service de transport urbain au sein de la nouvelle autorité organisatrice de la mobilité pour le Grand Abidjan.

# LES ARCHITECTES DE SOLUTIONS DIGITALES POUR LES TRANSPORTS



## VÉRONIQUE HACHÉ

Géographe, économiste des transports,  
Directrice de l'espace public et de la  
mobilité, Mairie de Marseille

Co-directrice du [Mastère Spécialisé® \(MS\)  
Smart Mobility](#) avec Gérard Cambillau,  
Télécom Paris

## BIOGRAPHIE

Géographe, diplômée en économie des transports de l'École nationale des ponts et chaussées, Véronique Haché commence sa carrière dans le secteur privé en Afrique

•  
Cheffe de projet du plan de déplacements urbains d'Île-de-France (PDUIF)

•  
Directrice de Cabinet de l'adjointe aux Transports à la mairie de Paris, puis, directrice générale du Syndicat Autolib et Vélib métropole

•  
De 2018 à 2020, cheffe de projet pour la mission interministérielle sur le contrôle sanction automatisé visant à contrôler par radars les véhicules polluants dans les futures zones à faibles émissions (ZFE) et les voies réservées au covoiturage et transports en commun au Cabinet de la DGITM

•  
Depuis 2020, co-directrice du MS® Smart Mobility, commun à l'École de Ponts ParisTech et Télécom Paris

•  
Cheffe du service Prospective et innovations à la Direction des routes de Méditerranée

•  
Depuis 2022, directrice de l'espace public et de la mobilité à la mairie de Marseille

Dans un contexte de transition numérique, les acteurs de la mobilité intelligente doivent s'adapter aux nouveaux usages, donnant ainsi naissance à de nouveaux systèmes de transport, plus efficaces, mais aussi, plus respectueux de l'environnement. Pour répondre aux attentes des professionnels de ce secteur et à ses enjeux, l'École des Ponts ParisTech et Télécom Paris ont lancé le MS® Smart Mobility, co-dirigé par Véronique Haché et Gérard Cambillau.

Depuis plusieurs années, un foisonnement d'innovations est venu modifier significativement le paysage de la mobilité, ainsi, le "bike sharing" (Vélib), l'autopartage (Getaround), les voitures de transport avec chauffeur (Uber et autres VTC), le covoiturage (Blablacar), les systèmes d'information trafic (Googlemap), collaboratifs (Waze), ou de réservation (Liligo), pour n'en citer que quelques-unes. De même, la transformation numérique des entreprises, qui porte notamment sur les processus, les *business models* et les talents, apparaît aujourd'hui comme incontournable pour assurer la performance et la pérennité des services ou prestations qu'elles commercialisent; « elle brouille la limite entre les produits et les services, ouvrant ainsi la voie à ce qu'on appelle désormais en anglais *servicification* »<sup>1</sup>.

D'autres sont à venir d'ici quelques années, comme les véhicules connectés, automatisés ou autonomes, les infrastructures intelligentes, ou encore, de nouvelles normes d'échanges de données. Elles promettent de transformer en profondeur, tant les transports de personnes, que les systèmes logistiques.

Ces transformations numériques de la mobilité naissent de l'intégration des technologies numériques (notamment, des objets connectés et mobiles et du *big data*) dans des systèmes et infrastructures de transport pour développer de nouveaux usages et solutions. Les projets de mobilité « intelligente » visent à être

plus efficaces, plus sûrs, plus économes et plus durables. Ils favorisent au quotidien la qualité de service et le confort pour l'utilisateur, la sûreté, la meilleure coordination de la gestion de la circulation, ainsi que la rationalisation de l'utilisation des réseaux multimodaux. Ils facilitent le report vers des modes de transport plus économes en temps, en coût ou en énergie.

Il est à noter que ces transformations ne sont pas seulement techniques. Elles peuvent aussi émaner de start-ups, porter sur les usages et le *business model* des entreprises (avec de potentielles ruptures sur leurs marchés – "disruptive innovation"), concerner l'offre et les jeux d'acteurs du secteur, et revêtir de forts aspects sociétaux, environnementaux, juridiques, d'acceptabilité, etc. Elles suscitent et accompagnent de nouveaux



<sup>1</sup> Source : <http://www.paristechreview.com/2015/11/30/industrie-4-0-industrie-4-1/>

modes d'échange entre citoyens, comme l'économie du partage, par exemple.

Leur dimension entrepreneuriale et de management de projets est complexe à aborder sous un angle « système », de bout en bout, tant pour le client — de la genèse de sa demande, jusqu'à sa satisfaction — que pour les offreurs de services — selon une approche transversale, étendue, multitechnologies et multi-métiers.

Face à cet état des lieux et ce bouleversement du secteur, Télécom Paris et l'École des Ponts ParisTech, sous l'impulsion du ministère en charge des transports et de sa mission « systèmes de transport intelligent », se sont associés en 2017 pour créer un enseignement spécialisé sur la mobilité intelligente. Les activités menées en collaboration par les Écoles co-accréditées concernent la direction scientifique et pédagogique du Mastère Spécialisé® (MS), la promotion de la formation, la sélection et l'évaluation des élèves, l'attribution du diplôme, la contribution aux

enseignements, l'organisation et le suivi du mastère, la recherche de financements et la gestion financière et comptable du MS®.

Cette formation répond aux besoins des entreprises privées comme publiques du secteur (Renault, Valeo, SNCF, RATP, etc.). Associées aux réflexions dans le cadre d'un comité d'orientation, elles contribuent à faire évoluer régulièrement la maquette pédagogique pour toujours mieux répondre aux enjeux du monde professionnel. De grandes institutions (la région Île-de-France, Renault, Setec, la SNCF) participent au financement de cette formation diplômante.

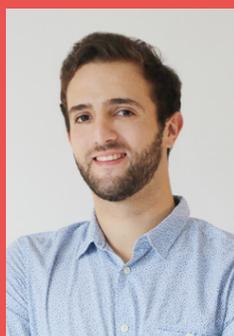
Visant les métiers de la mobilité au sens large, cette formation développe une vision services, numérique et transverse des disciplines. Dans le cadre d'ateliers, les élèves, placés en situation de mission professionnelle, abordent des cas d'usage et des projets de système ou de services. Par le travail en groupe, ils mobilisent des compétences complémentaires. Les sujets des ateliers sont issus de problématiques ou de projets apportés

par les entreprises partenaires du mastère, mais aussi, par des collectivités locales ou les autorités organisatrices représentant des métropoles, principaux donneurs d'ordre et financeurs de projets et des services de transport innovants.

Le mastère Smart Mobility, accrédité par la Conférence des grandes écoles, a vocation à accompagner l'écosystème des transports dans ses mutations et à répondre aux besoins de formation des cadres des entreprises qui souhaitent poursuivre la digitalisation de leurs services de transport.

AUTEUR • VÉRONIQUE HACHÉ

Pour en savoir plus 



## COLLECTE DE DONNÉES DE MOBILITÉ URBAINE PAR UN OPÉRATEUR DE MOBILITÉ : POSITIONNEMENT, MÉTHODOLOGIE, STRATÉGIE ET GOUVERNANCE

Thibaut Durand, Mastère Spécialisé® Smart Mobility

Thibaut Durand revient sur sa thèse professionnelle réalisée dans le cadre du Mastère Spécialisé® Smart Mobility.

« À l'aube de l'apparition du MaaS (*Mobility as a Service*), les données de mobilité sont convoitées par de nombreux acteurs privés (start-up, GAFAM, etc.) qui en contrôlent la création, le management et la chaîne de valorisation. Leur réticence à les partager,

autant que les contraintes juridiques, réglementaires et techniques complexifient la chaîne de traitement de la donnée pour les autorités publiques. Mon mémoire s'intéresse au positionnement stratégique des opérateurs de mobilité qui, par leur rôle historique en tant qu'acteurs privilégiés des villes, ont une fonction stratégique à remplir dans la chaîne de valorisation de la donnée de mobilité. »



# PAROLE D'ENTREPRISES



**MARIE-CLAUDE  
DUPUIS**

Directrice stratégie,  
innovation et  
développement du  
groupe RATP

## Innover au service de la mobilité durable

Troisième opérateur mondial des transports urbains, présent dans 14 pays, le groupe RATP exploite huit modes de transport (métro, tram, bus, trains régionaux, *sightseeing*, navette maritime, transport à la demande et câble). Grâce à des partenariats, il s'est désormais positionné sur la chaîne des nouvelles mobilités, de la navette autonome aux parkings intelligents et connectés.

Face à une offre de mobilité urbaine de plus en plus riche et complexe, le groupe doit aujourd'hui opérer une profonde transformation pour répondre à trois enjeux majeurs. Le premier porte sur l'ouverture à la concurrence, inscrite dans la loi LOM (loi d'orientation des mobilités) de décembre 2019, à laquelle il se prépare activement. Le deuxième a trait

aux mutations sociétales mises en exergue et amplifiées par la crise sanitaire. D'une part, la transition numérique a radicalement modifié les demandes et usages (passage de la propriété à l'usage, demande de personnalisation accrue, etc.). En démultipliant les acteurs proposant des mobilités innovantes (VTC, covoiturage, autopartage etc.), elle a aussi modifié les espaces de circulation, obligeant les villes et opérateurs à s'emparer de la question de la régulation. Pour Marie-Claude Dupuis, ce sont « des services que la RATP considère comme complémentaires des siens et qu'elle aide à organiser ». Par ailleurs, la transition écologique a fait émerger de fortes attentes en matière d'environnement, notamment, vis-à-vis du changement climatique. Il s'agit, selon Marie-Claude

Dupuis d'une « équation à concilier avec la multiplication des nouvelles mobilités et la croissance des besoins, dans un contexte de vieillissement de la population, mais aussi de nécessité de créer du lien entre les territoires et de baisse des finances publiques ». Enfin, en lien avec ce qui vient d'être mentionné, le troisième enjeu, tout aussi crucial, concerne la pérennité du modèle économique du transport public. Certes, la crise sanitaire lui a permis de démontrer son adaptabilité. Le groupe RATP a, par exemple, réussi à déployer en l'espace de deux semaines une application participative de *crowdsourcing* voyageurs, destinée à indiquer le niveau d'affluence sur les trajets. Mais elle a aussi révélé et accentué la fragilité du modèle, du fait de la baisse du nombre de voyageurs et du versement mobilité des entreprises. Cette perte de fréquentation semble en partie structurelle, renforcée par le développement du télétravail, des nouvelles mobilités (notamment le vélo) et, dans une moindre mesure, du e-commerce. À terme, elle devrait s'élever à 10 % du total voyageurs.

C'est dans ce contexte que l'Union des transports publics et ferroviaires (UTP) a publié, le 10 novembre 2021, un manifeste à l'attention des candidat.e.s à l'élection présidentielle. Il met l'accent sur « le rôle majeur [joué par le transport public] face à la crise climatique, aux questions de lutte contre la pollution ou de cohésion sociale ». « Il rappelle la nécessité d'investir, au-delà des infrastructures, dans le fonctionnement du quotidien. Et il pointe deux facteurs clés pour développer des transports durables : l'innovation d'une part, et la multimodalité, qui permet de combiner intelligemment, au service des villes, transport public et nouvelles mobilités, *via*, notamment, le développement de hubs urbains ou de parking relais », souligne Marie-Claude Dupuis.

Précurseur dans la transition énergétique, le groupe RATP n'a pas attendu pour innover et répondre aux nouveaux besoins des voyageurs et des villes. Il s'est d'abord engagé à réduire de 50 % ses émissions de gaz à effet de serre (GES) entre 2015 et 2025, en remplaçant, en accord avec Île-de-France Mobilités, 4 700 bus diesel par des bus électriques ou au gaz. Il investit également de nouveaux champs, en complément des réseaux structurants. Le premier concerne la mobilité autonome et partagée dont il est aujourd'hui leader. Il pilote le volet « Transport urbain » de

France Mobilités autonomes. Ce programme national d'innovation réunit des chercheurs, entreprises et services de l'État. Il vise à encourager le développement des technologies, à stimuler les usages et à appuyer le gouvernement dans la mise en place d'un cadre réglementaire. Dans ce contexte, le groupe expérimente, pour la première fois en France, un bus électrique 100 % autonome sur une ligne classique, c'est-à-dire, circulant parmi d'autres bus. Il déploie également à Pontoise, en collaboration avec ADP, un programme de taxis volants pour relier l'aéroport Charles-de-Gaulle au centre de Paris, dont un démonstrateur est prévu pour les Jeux Olympiques de 2024.

Le groupe explore aussi les questions de régulation de la ville et de l'espace public à travers des partenariats avec des établissements de recherche. Un programme mené en collaboration avec le Massachusetts Institute of Technology (MIT) étudie les zones tampons entre trottoirs et chaussées, des espaces multi-usages très convoités. Fin 2020, est lancée avec l'École des Ponts Paris-Tech la chaire Réguler la ville de demain, dont l'axe de recherche est le MaaS (*Mobility as a Service*). Un service novateur « tout-en-un » destiné à combiner l'offre de plusieurs modes de transport et à y associer des fonctionnalités de calcul d'itinéraire, d'estimation tarifaire et de paiement. « Cet outil numérique comporte beaucoup d'enjeux technologiques, de régulation et de financement pour optimiser la mobilité en ville, le partage des voiries et la lutte contre le changement climatique, en favorisant les transports partagés et propres. La chaire a mis en place un observatoire mondial des plateformes de MaaS, l'objectif étant de comprendre les usages que les acteurs impliqués dans la régulation des services de mobilité en font, au regard des dynamiques propres à chaque territoire, et d'en tirer une méthode d'évaluation », précise Marie-Claude Dupuis. Fort de l'acquisition de Mappy en 2020, un service de calcul d'itinéraire, le groupe vient de développer sa propre offre MaaS vertueuse, associant intérêt général et report modal. Ce projet s'inscrit pleinement dans sa raison d'être, pensée avec ses salariés, pour mieux relever les défis de demain : « S'engager chaque jour pour une meilleure qualité de ville. »

RÉDACTRICE • LUCILE HEUZÉ



## PATRICK PÉLATA

Dirigeant de Meta Consulting, cabinet de stratégie sur la transformation des mobilités, ancien directeur général délégué de Renault

### Transports : l'électrique, une solution pour décarboner rapidement ?

La transition écologique doit nécessairement passer par la décarbonation du secteur des transports, qui génère environ 30 % des émissions de gaz à effets de serre (GES) au niveau mondial et 28 % au niveau européen. Selon Patrick Pélata, ancien directeur général de Renault, la question est autant celle des moyens que celle de l'urgence de la transformation. « Si l'on veut limiter le réchauffement à 1,5° C à horizon 2050, le GIEC a démontré que nous disposons d'un crédit total de 500 gigatonnes de CO<sub>2</sub> à rejeter dans l'atmosphère. Or, nous en émettons 42 par an, ce qui signifie que ce seuil serait atteint d'ici 13 ans. » L'enjeu est donc une décroissance rapide et amorcée immédiatement. D'après les calculs du GIEC, la trajectoire de baisse doit être drastique, de l'ordre de 50 à 55 % d'ici 2030.

Concernant la mobilité automobile, responsable de 20 % des émissions de GES en Europe, et 29 % en France, beaucoup d'options sont envisageables, mais peu semblent durablement satisfaisantes, estime Patrick Pélata.

Ainsi, les biocarburants liquides, éthanol ou biodiesel ne peuvent être envisagés que comme une solution de transition. Le biodiesel n'a qu'un impact limité en termes d'économies en CO<sub>2</sub>, estimées à 40 % par le *Joint European Research Center* et l'éthanol entre en concurrence avec l'agriculture alimentaire.

Le biométhane permet d'économiser 80 % de CO<sub>2</sub>, mais même de très petites fuites éliminent tout bénéfice pour le climat<sup>1</sup>; il est par ailleurs indispensable pour d'autres usages (centrales à gaz pour passer les pointes d'hiver, chauffage des bâtiments, *process* industriels).

L'hydrogène vert, quant à lui, nécessite un processus d'électrolyse de l'eau très gourmand en électricité et affiche ainsi un rendement (énergie motrice sur énergie reçue), n'excédant pas 25 à 30 %.

À l'inverse, l'électromobilité permet, toutes pertes comprises (réseau, recharge, *etc.*) 85 à 90 % de rendement énergétique et une forte réduction des émissions de CO<sub>2</sub> en France. Son marché est donc en plein essor. En 2021,

la Chine a produit 3,52 millions de véhicules électriques, dont 80 % totalement électriques et 20 % hybrides rechargeables et en prévoit 6 millions en 2022 ; l'Europe en a produit 3,2 millions, la moitié en électrique, l'autre en hybride rechargeable.

Face à l'urgence d'agir, c'est bien l'électricité qui constitue l'alternative la plus durable, permettant l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050, comme l'a montré l'étude de Réseau de transport d'électricité (RTE)<sup>2</sup>. En France, l'énergie totale consommée s'élève à 1 600 TWh, dont environ 60 % est d'origine fossile (de l'ordre de 40 % pour les produits pétroliers, de 20 % pour le gaz naturel et moins de 1 % pour le charbon). En 2050, cette part devra être pratiquement ramenée à zéro. Dans cette perspective, les mobilités routières, qui consomment un peu moins de 500 TWh d'énergie d'origine fossile aujourd'hui, pourraient permettre un gain très significatif en consommant seulement de l'ordre de 170 TWh si, par hypothèse, elles passaient au tout électrique.

Ce scénario du passage au tout électrique exigerait une augmentation massive de la production d'électricité propre et c'est là un défi majeur de la décarbonation des économies. En France, RTE estime cette hausse, toutes utilisations confondues (automobile, mais aussi, chauffage, industrie, remplacement des centrales à gaz), à 200 TWh, soit 40 % de plus que la consommation actuelle. Dès lors, se pose la question des sources d'énergies à privilégier. Selon RTE, les énergies renouvelables ne sauraient suffire. En effet, elles nécessiteraient d'investir massivement dans la régulation du réseau de façon à stocker une quantité importante d'énergie, ce qui impacterait fortement le coût final assumé par le consommateur. Le mix énergétique, propre à la France, combinant nucléaire, énergies renouvelables, *etc.*, devrait permettre de résoudre l'équation. Concernant l'hydrogène vert, au vu de son coût en électricité élevé, Patrick Pélata considère qu'il sera réservé aux usages pour lesquels il est indispensable à la décarbonation : dans les aciéries pour réduire l'oxyde de fer, en chimie ou pétrochimie, dans le fret maritime (sous forme d'ammoniac), *etc.*

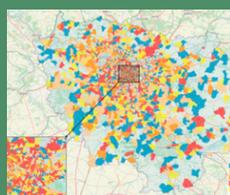
<sup>1</sup> • Le méthane ayant un « *Global Warming Power* à 25 ans » de 84 fois celui du CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> • RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ (RTE), 2021. *Futurs énergétiques 2050. Principaux résultats*. La Défense : RTE, 66 p.

À la question de la teneur en carbone de l'électricité utilisée, s'ajoute celle des batteries et de leur cycle de vie. Cette interrogation légitime est en passe d'être résolue. À l'heure actuelle, elles viennent majoritairement de Chine. Une production basée en France, régie par des procédés industriels plus vertueux et performants, et des cahiers des charges plus stricts, permettrait de diviser de trois à cinq leur l'empreinte environnementale. De même, le recyclage des batteries est, lui aussi, de plus en plus efficace. Les métaux qui les composent sont déjà techniquement et économiquement recyclables (à 99 % pour le nickel et le cobalt) par hydrométallurgie, donc sans carbone. *Idem* pour le lithium. En France, quatre acteurs sont déjà positionnés sur ce marché prometteur. Mais reste encore la question délicate de l'extraction des minerais. « C'est moins la disponibilité des ressources, exception faite du nickel qui pourrait faire défaut d'ici une quarantaine d'années, que leur exploitation qui est au cœur des enjeux », nuance Patrick Pélata. Là encore, diverses solutions sont envisagées pour aboutir à des procédés innovants et des réglementations qui se conforment aux normes internationales. Par exemple, en République démocratique du Congo, l'extraction du cobalt, qui employait des enfants dans des mines sauvages, est désormais réglementée par le biais de certificats. Autres exemples, la production de nickel teste des procédés sans rejet en mer ; le lithium, provenant pour l'essentiel de zones désertiques, pourra désormais être

exploité grâce à un procédé recyclant l'eau, comme c'est déjà le cas en Argentine. Afin de concrétiser ces potentialités, la Commission européenne travaille activement à l'élaboration d'un « passeport batterie » qui obligera les constructeurs à publier l'empreinte CO<sub>2</sub> de chaque batterie, le pourcentage de matériaux recyclés et, peut-être demain, la provenance de mines responsables avec, à terme, des valeurs limites obligatoires. Cette démarche pionnière devrait aboutir à la définition d'une norme, prérequis fondamental pour construire une filière durable, « du puits à la tombe ».

RÉDACTRICE • LUCILE HEUZÉ



Geo-locations of discovered zone cluster © Danyang Sun, Fabien Laurent, Xiaoyan Xie, CC0 (source : Sun *et al.*, 2021).

## LA CHAIRE MOBILITÉ TERRITORIALE

Fabien Laurent (CIRED, École des Ponts ParisTech)

Le domaine de la mobilité est entré dans une période de transformation, sous l'effet de plusieurs facteurs, parmi lesquels l'impératif environnemental, l'émergence de nouveaux véhicules (notamment des vélos et trottinettes électriques) et l'émergence des technologies d'information qui favorisent l'essor de services en plateforme (transport à la demande, covoiturage *etc.*).

Renouvelée pour une seconde phase (2020-2025), la chaire Mobilité territoriale, portée par le CIRED, en

partenariat avec Île-de-France Mobilités, s'intéresse au développement du transport public en tirant parti des nouvelles solutions modales. Elle prospecte des scénarii de développement, au moyen de modèles pour simuler l'usage de « l'offre de transport » par la « demande de mobilité ». Un tel modèle offre-demande permet d'évaluer les performances des projets et plans de transport : qualité de service, utilité pour les usagers, consommation d'énergie, émissions de polluants, coût de revient pour la collectivité *etc.*



# LES ESSENTIELS

## POUR S'INITIER



ARMOOGUM, Jimmy, 2015. *Mobilité en transitions : connaître, comprendre et représenter*. Lyon : Cerema. Collection «Rapports de recherche et rapports techniques», 327 p.  
COTE LA SOURCE : 388.4 MOB



COULOMBEL, Nicolas et DELAUNAY, Teddy, 2019. *À quelles conditions le covoiturage sera-t-il un mode de transport durable ?*. *The Conversation en ligne*, 23 octobre 2019.  
Disponible sur : <https://theconversation.com/a-quelles-conditions-le-covoiturage-sera-t-il-un-mode-de-transport-durable-124122>.



GAULTIER, Élise, 2014. *Du quartier au territoire. Agir ensemble pour des mobilités urbaines durables*. Paris : Victoires éditions, Comité français pour le développement durable, 28 p.  
Disponible sur : <http://www.comite21.org/docs/actualites-comite-21/2014/presentation-c21-mobilite-durable.pdf>.  
Cote La Source : 388.4 GAU



VREF, UITP, BRT et COE, 2019. *Transformer les villes avec les systèmes de bus rapid transit (BRT). Comment intégrer le BRT ?* [en ligne]. Bruxelles : UITP, 36 p.  
Disponible sur : [https://www.vref.se/download/18.45182a5f16a84e95facb979c/1562665172546/UITP%20-%20VREF%20-%20BRT%20Report\\_French\\_July%202019.pdf](https://www.vref.se/download/18.45182a5f16a84e95facb979c/1562665172546/UITP%20-%20VREF%20-%20BRT%20Report_French_July%202019.pdf).

## POUR APPROFONDIR

ABIDI, Abelhamid et FIALAIRE, Jacques, 2011. *Quelle gouvernance au service de la mobilité durable ?*. Paris : L'Harmattan, 218 p.  
COTE LA SOURCE : 307.76 QUE

AGUILERA, Anne et BOUTUEIL, Virginie, 2019. *Urban mobility and the smartphone: transportation, travel behavior and public policy*. Amsterdam : Elsevier, 222 p.  
COTE LA SOURCE : 307.76 AGU

AGUILERA, Anne, 2016. *Concevoir une offre de transport public*. Voiron : Territorial éditions.  
COTE LA SOURCE : 346.023 ZEM

BANQUE MONDIALE, 2019. *Que la route soit bonne. Améliorer la mobilité urbaine à Abidjan. Situation économique en Côte d'Ivoire* [en ligne], janv. 2019, n° 8, 64 p.  
Disponible sur : <https://documents1.worldbank.org/curated/en/624341549322162402/pdf/133722-FRENCH-WP-P168565-PUBLIC-4-2-2019-15-48-37-Ctedvoireeightheconomicupdateareport.pdf>.

COULOMBEL, Nicolas, BOUTUEIL, Virginie, LIU, Liu *et al.*, 2019. *Substantial rebound effects in urban ridesharing: Simulating travel decisions in Paris, France*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [en ligne], juin 2019, vol. 71, pp. 110-126.  
hal-01981292.

DUPUY, Gabriel (dir.), 2017. *Villes, réseaux et transport : le défi fractal*. Paris : Economica, 254 p.  
COTE LA SOURCE : 388.4 DUP

GRILLET-AUBERT, Anne (dir.), 2015. *La desserte ferroviaire des territoires périurbains. Construire la ville autour des gares. Bruxelles/Milan/Paris/Washington*. Paris : Éditions Recherches, 325 p.  
COTE LA SOURCE : 711.75 GRO

KAUFMANN, Vincent, 2011. *Rethinking the city: urban dynamics and motility*. Abingdon : Routledge Lausanne, 176 p.  
COTE LA SOURCE : 307.76 KAU

LESTEVEN, Gaele et BOUTUEIL, Virginie, 2018. *Is paratransit a key asset for a sustainable urban mobility system? Insights from three African cities* [en ligne].  
hal-01968873.

MASSOT, Marie-Hélène, 2010. *Mobilités et modes de vie métropolitains : les intelligences du quotidien*. Paris : Éditions L'Œil d'Or, 336 p.  
COTE LA SOURCE : 388.4 MAS

PALMA, André (de) et DANTAN, Sophie, 2017. *Big data et politiques publiques dans les transports*. Paris : Economica, 312 p.  
COTE LA SOURCE : 354.7 PAL

STUCKI, Martin, 2016. *Politiques de mobilité et d'accessibilité durables dans les villes africaines* [en ligne]. Document de travail n° 106. S. L. : SSATP, SECO, 147 p.  
Disponible sur : [https://www.codatu.org/wp-content/uploads/SSAT-PWP106-Urban-Mobility\\_FR.pdf](https://www.codatu.org/wp-content/uploads/SSAT-PWP106-Urban-Mobility_FR.pdf).

SUN, Danyang, LEURENT, Fabien et XIE, Xiaoyan, 2022. *Exploring jobs-housing spatial relations from vehicle trajectory data: A case study of the Paris Region*. *Transportation Research Procedia*, vol. 62, pp. 549-556.

SUN, Danyang, LEURENT, Fabien et XIE, Xiaoyan, 2021a. *Discovering vehicle usage patterns on the basis of daily mobility profiles derived from floating car data*. *Transportation Letters*, vol. 13, n° 3, pp. 163-171.

SUN, Danyang, LEURENT, Fabien et XIE, Xiaoyan, 2021b. *Mining Vehicle Trajectories to Discover Individual Significant Places: Case Study using Floating Car Data in the Paris Region*. *Transportation Research Record*, vol. 2675, n° 8, pp. 1-9.

ZHENG, Yu, CAPRA, Licia, WOLFSON, Ouri *et al.*, 2014. *Urban computing: concepts, methodologies, and applications*. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, septembre 2014, vol. 5, n° 3, pp. 1-55.

## QUIZ

Quelle est la part des transports dans l'émission de gaz à effet de serre au niveau mondial ?

- Moins de 10 %
- Entre 25 et 35 %
- Environ 50 %
- Plus de la moitié

**Réponse b** Les transports sont responsables de 24 % des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale. Ils représentent 35 % des émissions aux États-Unis, 28 % au niveau européen et 9 % en Chine. En France, ils génèrent 31 % des émissions.

Qui est leader du marché des véhicules électriques ?

- L'Union européenne
- Les États-Unis
- La Chine
- Le Japon

**Réponse c** Le marché de l'électrique est en plein essor. Il est largement dominé par la Chine, qui a produit 3,52 millions de véhicules électriques en 2021 et vise les 6 millions en 2022. Par ailleurs, le pays a un quasi-monopole sur la production de batteries pour les véhicules électriques. L'Europe est en seconde position, avec 3,2 millions de véhicules produits en 2021.

Quelle alternative à la mobilité carbonée offre les meilleures performances ?

- Le biométhane
- L'hydrogène vert
- Les biocarburants
- L'électrique

**Réponse d** Les transports électriques permettaient d'économiser 85 à 90 % de CO<sub>2</sub>. Pour autant, ils ne seront complètement verts qu'en provenant de sources d'énergie renouvelables. Si le biométhane offre aussi de belles performances en termes d'économie de CO<sub>2</sub> (environ 80%), son usage est plus efficace dans d'autres domaines tels que les centrales à gaz ou les pompes à chaleur, par exemple.

Qu'est-ce que l'écoconception d'un mode de transport ?

- Un mode de transport conçu à partir de matériaux recyclés
- Un processus de fabrication dont le bilan carbone est nul
- La conception du mode de transport intégrant le souci de l'environnement tant dans les conditions d'usage que dans la fabrication des moyens (véhicule, infrastructure)
- Une méthode visant à minimiser au maximum le coût de production

**Réponse c** Selon l'AFNOR (2004), « l'écoconception consiste à intégrer l'environnement dès la conception d'un produit ou service et lors de toutes les étapes de son cycle de vie ».

## LE PROCHAIN NUMÉRO

À paraître au dernier trimestre 2022.

Pour plus d'informations, suivez-nous sur nos réseaux sociaux :

Abonnez-vous pour recevoir les prochains numéros au moment de leur parution en suivant ce lien : [http://bit.ly/cahieresdesponts\\_abonnement\\_2](http://bit.ly/cahieresdesponts_abonnement_2)

### DIRECTRICE DE LA PUBLICATION

Sophie Mougard  
Directrice de l'École des Ponts ParisTech

### CONCEPTION ET RÉALISATION

Alexia Humbert, Isabelle Gautheron, direction de la Documentation  
École des Ponts ParisTech

### COMITÉ ÉDITORIAL

Marie-Christine Bert, directrice des Relations Internationales et des Partenariats Entreprises  
Laetitia Bigot, chargée de mission valorisation, direction de l'Enseignement  
Gustavo Boriolo, responsable Partenariats Entreprises et Entrepreneuriat  
Karin Danjaume, responsable de la communication digitale, direction de la Communication  
Chantal Dekeyser, coordinatrice administrative, direction de la Recherche  
Emmanuelle Delforge, directrice de la Communication  
Karen Peyronnin, responsable du service des MS\*  
Géraldine Trippitelli, responsable marketing et communication pour le pôle MS\*

### ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :

Tiziri Ait Messaoud, Federico Antoniazzi, Thomas Benichou, Ektoras Chandakas, Nicolas Coulombel, Mohamed Diallo, Marie-Claude Dupuis, Émeric Fortin, Véronique Haché, Lucile Heuzé, Marjolaine Lannes, Fabien Leurent, Claire Linder, Patrick Pékata, Raïssa Sawane, Jean-François Sempéré, Danyang Sun, Hugo Thomas, François-Laurent Touzain

### AVEC L'AIMABLE COLLABORATION DE :

Cécilia Cruz

### IMPRESSION

Service reprographie de l'École des Ponts ParisTech  
6-8 Avenue Blaise Pascal - Cité Descartes  
Champs-sur-Marne - F-77455 Marne-la-vallée cedex 2

### CRÉDITS ICONOGRAPHIQUES

Pages 1 et 2 (couverture et sommaire) : © Elenabsl (source : Adobe Stock).

Page 4 : © EdNurg, 2017 (source : Adobe Stock).

Pages 9, 11, 13, 17, 19, 23, 25 : photographie d'élèves au travail, pour l'encart © David Delaporte, 2018.

Page 29 : photographie pour l'encart « Recherche en cours » © École nationale des ponts et chaussées, « Poulie d'un pont-levis », s.d., DG 1303.

Page 32 : © Yann Piriou/École des Ponts ParisTech, 2017.

### CONTACT

Pour toute information, veuillez adresser vos demandes à : [cahieresdesponts@enpc.fr](mailto:cahieresdesponts@enpc.fr)

ISSN : 2650-958X

ISSN (EN LIGNE) : 2779-1971

