

Optimiser les transports, un enjeu du siècle

Le temps où les travaux de voirie constituaient l'essentiel des améliorations du réseau de transport est bien révolu. Ouvrir des routes, ériger des ponts et des viaducs restent des activités d'actualité, mais les défis des ingénieurs dans le domaine des transports se sont multipliés et diversifiés. Par Danielle Ouellet

« NOTRE MASSE CRITIQUE DE CHERCHEURS DE HAUT NIVEAU NOUS PERMET DE PARTICIPER À DES PROJETS MAJEURS EN MATIÈRE DE TRANSPORT. »

---Gilles Savard

« Notre masse critique de chercheurs de haut niveau nous permet de participer à des projets majeurs en matière de transport, tant localement qu'à l'international », souligne Gilles Savard, chercheur et directeur de la recherche et de l'innovation de l'École Polytechnique. Actuellement, pas moins d'une quinzaine de chercheurs de Polytechnique consacrent leurs travaux à diverses problématiques liées aux transports. Leurs approches se distinguent par leur originalité et leur performance, comme l'illustrent les quelques exemples de projets suivants.

Réduire la dépendance à l'automobile

L'intérêt de la P^{re} Catherine Morency pour le transport durable s'est éveillé tôt : « Ma famille habitait la banlieue et j'étais la plus jeune de quatre enfants. À une époque, le nombre de voitures devant ma maison me semblait exagéré.

J'ai toujours choisi le transport en commun. » Sa préférence pour les modes de transport alternatifs a évolué en une véritable passion. Elle est aujourd'hui titulaire de la nouvelle Chaire de recherche sur l'évaluation et la mise en œuvre de la durabilité en transport de l'École Polytechnique, plus simplement nommée Chaire Mobilité.

Le portrait qu'elle dresse des attentes récentes des citoyens quant à leurs déplacements illustre bien la diversité des besoins et la variété des avenues de recherche à explorer : « Dans la grande région de Montréal, les visions sont parfois opposées. Des modes de transport alternatifs, tels les vélos Bixie ou le système d'autopartage géré par Communauto, gagnent en popularité sur l'île, tandis que les gens des banlieues souhaitent plus de ponts et d'autoroutes. Il faut être inventif. L'utilisation d'un stationnement par une pharmacie le jour et par un bar la nuit, par exemple, compte parmi les nouveaux concepts à développer pour

« LES CARTES OPUS UTILISÉES PAR LES USAGERS DU MÉTRO ET DES AUTOBUS PERMETTRONT DE DÉTERMINER LES POINTS D'EMBARQUEMENT DES PASSAGERS ET D'ESTIMER DIFFÉRENTS INDICATEURS DE PERFORMANCE. »

---Catherine Morency



De g. à d. :
Les professeurs
Martin Trépanier,
Catherine Morency,
Gilles Savard,
André Langevin
et Robert Chapleau.

assurer une utilisation plus efficace des infrastructures disponibles. Nous devons aussi promouvoir le télé-travail auprès des patrons de grandes entreprises pour réduire les déplacements pendant les périodes de grand achalandage. La notion de covoiturage doit être repensée : lorsqu'un parent reconduit son enfant à l'école, on ne peut pas parler de développement durable comme lorsque deux collègues de travail voyagent dans la même automobile. »

La santé est aussi devenue une préoccupation incontournable liée au transport. En 2007, Catherine Morency a estimé, à Montréal et à Toronto, le nombre de pas en réserve : « Il s'agit du nombre de pas que les gens ne font pas, mais qu'ils pourraient faire quotidiennement s'ils acceptaient de troquer leur automobile pour la marche lors de leurs déplacements de courte distance. »

Bien au fait des intérêts de Catherine Morency, Claude Carrette, directeur par intérim - Direction des transports à la

Ville de Montréal, lui a proposé, en 2009, de créer et de financer une chaire de recherche : « À la suite d'une vaste consultation publique en 2008, la métropole se dotait de son premier plan de transport. Il y est question de mobilité durable, de respect de l'environnement, de sécurité, d'autobus performants et de transport actif tel que la marche, le vélo et le patin. L'implantation des Bixie ou l'ajout de 50 kilomètres de pistes cyclables semblent d'heureuses initiatives, mais nous souhaitons en savoir plus. Nous voulons nous associer à une université et travailler avec des chercheurs qui développeraient des indicateurs de performance, établiraient des modèles de déplacements et proposeraient des méthodologies d'enquêtes du transport de marchandises en milieu urbain. D'où l'idée d'une chaire. »

Trois autres partenaires se sont rapidement joints au projet : le ministère des Transports du Québec, l'Agence métropolitaine de transport et la Société

de transport de Montréal. Au cours de plusieurs séjours scientifiques à l'étranger, notamment à Zurich, à Lyon, en Californie et à Toronto, la P^{re} Morency a développé un solide réseau de collaborateurs : « Aujourd'hui, se réjouit-elle, plusieurs sont membres du comité scientifique de la Chaire Mobilité ».

Les travaux de Catherine Morency intègrent les nouvelles technologies et tentent de valoriser les données qui en sont issues : « Les cartes Opus utilisées par les usagers du métro et des autobus permettront de déterminer les points d'embarquement des passagers et d'estimer différents indicateurs de performance. Nous faisons par ailleurs des expérimentations en collaboration avec les partenaires afin de mesurer les conditions de circulation sur le réseau autoroutier, à l'aide, par exemple, de capteurs Bluetooth ou des traces obtenues des GPS des véhicules de Communauto, dans le plus strict respect de l'anonymat, assure la chercheuse. Ces données per-

« POLYTECHNIQUE A LARGEMENT CONTRIBUÉ
 À LA FORMATION DES SPÉCIALISTES QUI
 OCCUPENT LES POSTES CLÉS DU SECTEUR. »

---Robert Chapleau

mettront d'évaluer la fiabilité des temps de parcours et de faire des prévisions, une sorte de météo des transports ».

Une solide tradition

Routier aguerrri de la recherche en transport, Robert Chapleau a formé quelques-uns des jeunes chercheurs de l'École Polytechnique, et ses étudiants se retrouvent dans pratiquement tous les organismes publics en transport de la région de Montréal : « Polytechnique a largement contribué à la formation des spécialistes qui occupent les postes clés du secteur. Ils proviennent d'une même culture, ce qui a facilité la professionnalisation du milieu. L'unification des transports en commun s'en trouve facilitée, une chance pour le Québec, où la compétence de nos chercheurs est très respectée ».

Robert Chapleau a aujourd'hui le plaisir de voir son logiciel MADITUC utilisé par toutes les sociétés de transports collectif du grand Montréal. Ingénieur civil diplômé de Poly en 1968, il a connu l'époque des grands travaux publics de voirie au Québec. Mais la crise du pétrole en 1974 a radicalement changé la donne : « Du jour au lendemain, rappelle-t-il, le transport en commun est devenu une préoccupation majeure pour les citoyens ». Dans sa thèse de doctorat, le P^r Chapleau a développé Transcom, un modèle de simulation du réseau de transport en commun. Le logiciel a immédiatement été utilisé pour la restructuration du réseau de transport de Montréal lors des Jeux olympiques et le prolongement du métro de la station Frontenac à Honoré-Beaugrand : « Cet outil de planification est toujours employé aujourd'hui dans chaque nouveau projet, comme le prolongement de la ligne bleue du métro. En s'appuyant sur de vastes enquêtes, baptisées Origine-Destination, auprès d'utilisateurs de transport en

commun, Transcom permet d'évaluer des temps et des distances de trajets de manière très détaillée. Il tient compte des modifications des comportements de voyages, et permet d'apprécier les effets du vieillissement de la population et de l'étalement urbain. »

Le logiciel MADITUC¹, élaboré dans les années 1980 et constamment amélioré, raffine le modèle initial : « Avec l'ancien modèle, par exemple, à l'époque d'un territoire du Grand Montréal déjà découpé en 1500 zones, il aurait fallu encore découper le territoire de Rivières-Prairies et de Pointe-aux-Trembles alors en plein développement domiciliaire. Nous cherchions cependant un plus haut niveau de précision. » La localisation des personnes interrogées à l'aide du code postal apporte la solution : « Grâce aux coordonnées géographiques, nous pouvons étudier les déplacements individuels. Cette méthode, dite de désagrégation spatiale et individuelle, permet de conserver et de croiser quantités de données comme l'âge, le sexe, les motifs de déplacements, les heures de départ ou le mode de transport emprunté. L'Agence métropolitaine de transport se sert de ces informations pour redistribuer l'argent payé pour les titres de transports aux localités selon le nombre de passagers transitant sur leur territoire. »

Des prévisions à moyen terme de la demande de transport, entre autres par les personnes à mobilité réduite, les effets de l'étalement urbain sur la mobilité, le calcul des trajets pour les transports en commun ne sont que quelques-unes des applications de MADITUC. Les cartes Opus, qui laissent une trace du lieu d'embarquement du passager, permettent de peaufiner le modèle : « Nous adaptons sans cesse à l'évolution technologique, souligne Robert Chapleau, c'est primordial. »

Martin Noël est ingénieur au Ser-

vice de la modélisation des services de transports du ministère des Transports du Québec : « Nous collaborons avec les organismes de transport de Montréal et aussi avec ceux de Québec, qui utilisent MADITUC pour simuler les impacts de différents projets d'infrastructures, tel le système léger sur rails (SLR) sur la Rive-Sud de Montréal. En ayant une idée de la demande de transport, nous pouvons simuler les différents moyens de transports, métro, autobus, train, que les utilisateurs emprunteront pour compléter leur parcours. Il s'agit d'un outil très performant utilisé, entre autres, pour le projet du prolongement du métro à Laval et pour la navette ferroviaire étudiée entre le centre-ville de Montréal et l'aéroport Montréal-Trudeau. »

Cartes à puces et planification

« Couplée à un GPS installé dans les autobus, la carte à puce que chaque usager passe devant un lecteur en montant dans l'autobus fournit des informations spatio-temporelles très riches. Si les données sont correctement traitées, dans la plus grande confidentialité, bien sûr, elle deviennent un instrument extrêmement puissant de planification des transports en commun », explique le P^r Martin Trépanier, expert en la logistique opérationnelle.

Pionnière de l'utilisation des cartes à puces dès 2001, la Société de transport de l'Outaouais collabore étroitement, depuis sept ans, avec Martin Trépanier : « Comme dans la plupart des pays, les passagers s'identifient uniquement lors de l'embarquement. Pour retracer les trajets, nous devons estimer la fin de leurs parcours à l'aide de différents recoupements d'informations. L'algorithme mathématique que nous avons développé indique un taux de réussite de 92 %. » Les habitudes de déplacements des passagers, lève-tôt, utilisateurs réguliers ou



Jacques Leblanc



Martin Noël



Serge Hamel

occasionnels, le temps qu'ils prennent pour s'habituer à un nouvel arrêt, l'évaluation de la ponctualité du service sur une ligne d'autobus ou encore la loyauté d'un usager au réseau ne sont que quelques exemples du type d'informations qu'il devient possible de colliger.

Le nombre de données factuelles recueillies est effarant : « Plutôt que de laisser dormir les millions d'observations, indique Martin Trépanier, nous les avons diffusées au personnel de la Société de transport. Pour chacun des arrêts, les contremaîtres peuvent ainsi identifier le titre de transport utilisé ou déterminer le nombre de correspondances. Ils sont alors en mesure de confronter la réalité aux données statistiques recueillies et ainsi de détecter des erreurs dans leur système. » Les perspectives de recherches liées à l'utilisation des cartes à puces sont très larges : « Elles pourront être enrichies de données sociodémographiques, prévoit le chercheur. De plus, l'évaluation de l'achalandage saisonnier et de l'effet des conditions météorologiques, par exemple, permettront de mieux ajuster le service. »

Martin Trépanier s'est par ailleurs intéressé à la logistique du transport des matières dangereuses : « En général, constate-t-il, les entreprises ne mesurent pas les risques liés à ces activités. Seuls les coûts entrent en ligne de compte. Mais force est de constater que la présence au sein de l'entreprise d'un

comité de santé et sécurité au travail assure de meilleurs bilans ! » Le chercheur se penche maintenant sur les comportements des fervents de l'autopartage, tout en poursuivant sa collaboration avec son collègue André Langevin en vue de régler des problèmes... de déneigement !

Déneigement, déglacage et épandage

Déverser dans le fleuve Saint-Laurent la neige recueillie dans les rues de Montréal, comme cela se faisait encore dans les années 1990, n'est désormais plus une option. Cette situation a augmenté la complexité des opérations liées à l'enlèvement de la neige lors de tempêtes. Il existe de plus différents niveaux de planification des opérations de déneigement, selon que celles-ci auront des effets à long, à moyen ou à court terme, ou encore en temps réel, comme la modification des tournées de véhicules fondée sur une information routière ponctuelle. Le P^r André Langevin scrute la question de près : « Qu'il s'agisse de charger la neige dans des camions, de la déblayer ou de déglacer par l'épandage d'abrasifs, la stratégie vise toujours à minimiser les coûts tout en offrant les meilleurs services possibles. »

Les garages pour les déneigeuses et les entrepôts de sel doivent être accessibles et ne pas nuire aux citoyens. Les camions d'épandage doivent circuler partout, et rapidement, en commençant par

les routes principales. Des milliers de variables interviennent dans l'organisation des opérations : itinéraires des souffeuses, horaires du personnel, clauses des conventions collectives, respect des sens uniques et autres signalisations, ou encore déneigement d'une autoroute sur plusieurs voies à la fois.

Serge Hamel, cadre-conseil au ministère des Transports du Québec, a testé le premier logiciel mis au point par le P^r Langevin et son équipe : « Nous voulions minimiser les déplacements des véhicules de surveillance de l'état des quelque 2 000 kilomètres de routes en Estrie. Nous avons expérimenté le prototype d'établissement d'itinéraires. L'outil est pertinent, et il fonctionne bien. » Par ailleurs, lorsqu'il a ajouté un véhicule à sa flotte de chasse-neiges, Jacques LeBlanc, directeur du Service des travaux publics et ingénierie à la Ville de Dieppe, au Nouveau-Brunswick, a fait appel à l'équipe de Polytechnique pour réorganiser les tournées de ses déneigeuses : « C'était la première fois que nous abordions la définition des trajets des déneigeuses de manière analytique. En bout de ligne, nous n'avons pas pu appliquer le logiciel en raison du développement trop rapide de notre ville et de l'apparition incessante de nouvelles rues. L'expérience a toutefois été très intéressante. Elle nous a ouvert les yeux sur les apports de la recherche universitaire. »



François Soumis

André Langevin s'emploie actuellement à perfectionner ces logiciels : « Les modèles doivent tenir compte des contraintes physiques, mais aussi des politiques des villes souvent très difficiles à traduire en langage mathématique. Pour constamment ajuster le tir, nous comptons, entre autres, sur l'intégration croissante des systèmes d'information tels les systèmes de météo routière, les capteurs de température de la chaussée, les systèmes d'information géographiques (SIG) et les systèmes de positionnement global (GPS). Nous voulons ultimement accroître la sécurité et l'efficacité des transports, réduire la congestion des routes et atténuer les effets négatifs des transports sur l'environnement. Le réchauffement global qu'ils engendrent occasionne déjà une augmentation marquée des pluies verglacées et donc des problèmes d'épandage de sels. Nous avons beaucoup de pain sur la planche. »

Des horaires de vols qui rapportent gros

Confectionner des horaires de travail pour des milliers d'employés d'une grande société de transport terrestre, ferroviaire ou aérienne, constitue un casse-tête extrêmement complexe. Il faut tenir compte des horaires des voyages, de l'affectation des itinéraires des véhicules, des horaires journaliers, hebdomadaires et mensuels des équipages, des changements qui surviennent pendant les déplacements et même des clauses

des conventions collectives.

Reconnu comme l'un des meilleurs chercheurs dans son domaine au Canada, François Soumis s'est attaqué au problème et a trouvé des solutions : « Les employés ont désormais accès à des horaires sur mesure. Leurs préférences sont prises en considération : voler le matin ou le soir, vers des destinations locales ou internationales, avec des vacances l'été, l'hiver ou à l'occasion de l'anniversaire de leur conjoint. Une meilleure qualité de vie est assurée pour tous. »

Pour les entreprises, les retombées économiques sont impressionnantes : « Une grande société de transport peut souvent épargner jusqu'à plus de 10 % de son chiffre d'affaires, soit plusieurs milliards de dollars. » En 1993, les dirigeants du métro de Tokyo ont pu réduire de 15 % les coûts de personnel : « Heureusement, rappelle le chercheur, les Japonais ont fait preuve de sagesse en s'assurant d'introduire les changements graduellement. » La réaction a été différente chez l'américaine FedEx, qui a misé sur des gains rapides avec la perspective de 15 % d'économie sur la masse salariale, et suscité du coup la crainte de pertes d'emplois chez leurs pilotes d'avion, qui ont déclenché la grève. Le lendemain, le *Wall Street Journal* annonçait en première page que les optimiseurs d'AD OPT, l'entreprise de commercialisation fondée par le P^r Soumis, changeait le rapport de force dans l'industrie aérienne. « Depuis, les syndicats

ont leur mot à dire dans l'achat de notre logiciel », lance François Soumis. Air Canada, Air France, Air Transat, SWISS et UPS comptent aujourd'hui parmi la trentaine de clients d'AD OPT, qui emploie quelque 150 personnes.

François Soumis est titulaire de la Chaire de recherche du Canada en optimisation des grands réseaux de transport. La recherche opérationnelle, « heureux mariage entre les mathématiques et l'informatique », est son domaine de prédilection. Il est reconnu dans le monde des mathématiques théoriques pour avoir développé plusieurs méthodes, dites de décomposition mathématique, la plus célèbre étant appelée de « génération de colonnes ». Proposée dans les années 1960, celle-ci avait été délaissée en raison de sa trop lente convergence vers une solution. François Soumis et son équipe ont proposé plusieurs ajouts pour la rendre performante, au point qu'elle est parmi les plus utilisées aujourd'hui dans les grands problèmes d'optimisation.

Cette méthode a aussi fait ses preuves dans les transports terrestres. La réussite commerciale de l'entreprise GIRO en témoigne, avec plus de deux cent cinquante villes clientes dans le monde : « Le logiciel développé pour optimiser les horaires des conducteurs d'autobus et de métro a été un moteur important de développement de GIRO », affirme le vice-président de l'entreprise Pierre Trudeau.

Un florilège de projets

Ces premiers résultats en optimisation des transports ne représentent que la pointe de l'iceberg de la variété des applications à venir. François Soumis applique maintenant ses découvertes en mathématiques fondamentales à l'élaboration d'un système de détection de la somnolence des conducteurs. L'application sera commercialisée par Biocognisafe, une jeune entreprise dont il est l'un des partenaires principaux.

Pierre Trudeau n'hésite pas à situer les chercheurs montréalais en optimisation parmi les meilleurs du monde: « Le lien entre la réussite d'entreprises comme GIRO et AD OPT et leurs travaux est très direct. Nous avons des dizaines d'experts, et Montréal occupe le haut de la liste en matière de volume et de qualité des recherches, devant de gros joueurs comme le Massachussets

Institute of Technology (MIT) à Boston et le Zuse Institute de Berlin. De plus, la plupart des projets sont inspirés par l'industrie, et la création d'entreprises issues de nos travaux nous permet de conserver notre avance. Celles-ci financent ensuite les recherches, ce qui stimule la production des connaissances et assure la formation d'étudiants qui, à leur tour, se retrouveront dans ces entreprises. Un tel modèle d'affaires, peu pratiqué ailleurs dans le monde, nous donne un net avantage compétitif. Pour l'instant, notre avance se concrétise surtout dans le domaine des transports, mais des défis majeurs pointent à l'horizon, notamment en santé, où il est devenu impératif d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles. »

Gilles Savard entrevoit une explosion des domaines d'applications des modèles d'optimisation développés à

Polytechnique: « La globalisation des marchés a entraîné une augmentation significative des besoins en transports de marchandises et de passagers. Les transporteurs sont par ailleurs confrontés à deux enjeux: le maintien de leur avantage compétitif, notamment par une tarification avantageuse, et la nécessité de réduire leur impact environnemental. Ce contexte favorise l'émergence de nombreuses voies de recherche, comme la gestion des revenus, avec des systèmes de tarification adaptées, ou la transformation des chaînes d'approvisionnement dans une perspective durable. » /

1. MADITUC: Modèle d'analyse désagrégée des itinéraires de transport urbain collectif.



Services de gestion de carrière gratuits
Offres d'emploi pour diplômés
Outils de gestion de carrière en ligne

ADPCarrieres.com

Membre fondateur du **RÉSEAU GÉNIE**
Carrières



Fière partenaire de l'ADP

