



**CIRRELT**

La science des réseaux  
The Science of Networks

# Comment ne pas modérer ses transports!

Bernard Gendron  
Professeur titulaire, DIRO  
Directeur, CIRRELT  
Octobre 2013



# De quoi parle-t-on?

- De **systèmes informatisés** d'aide à la décision en transport
- Le Québec est à l'avant-garde mondiale dans ce domaine et le **DIRO** y est pour quelque chose!
- **CIRRELT** : centre de réputation internationale dans le domaine des réseaux logistiques et de transport
- Une **industrie québécoise** qui compte des leaders mondiaux
- Fondement : optimisation de réseaux



# Graphes et réseaux

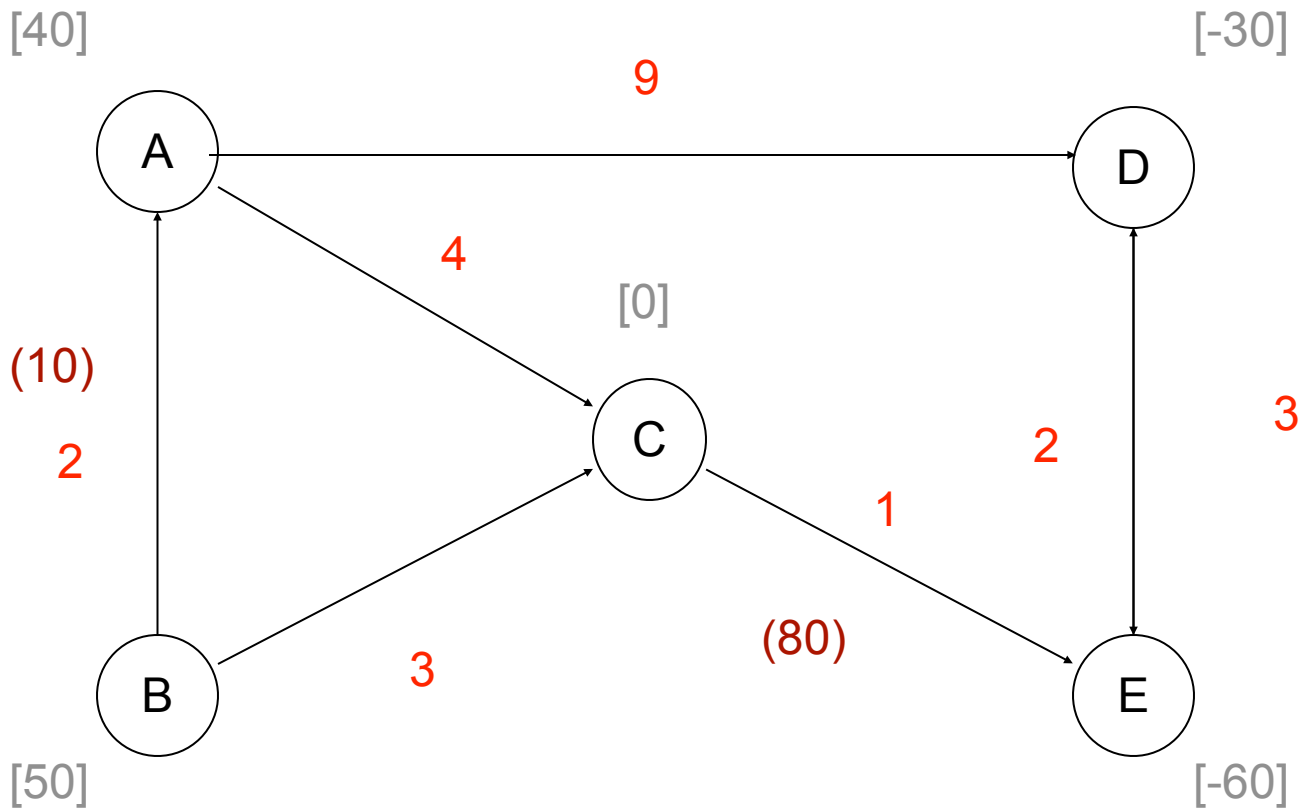
- Graphe :
  - Sommets (intersections de rues)
  - Arcs (rues avec leur orientation)
- Chemins et circuits
- Réseau : graphe avec des quantités aux sommets et aux arcs (temps de parcours, coûts, capacités, offres/demandes, ...)
- Flots : partition des sommets en origines, destinations et sommets de transfert + équations de conservation
- Flots multi-produits multi-modes



# Un petit réseau...

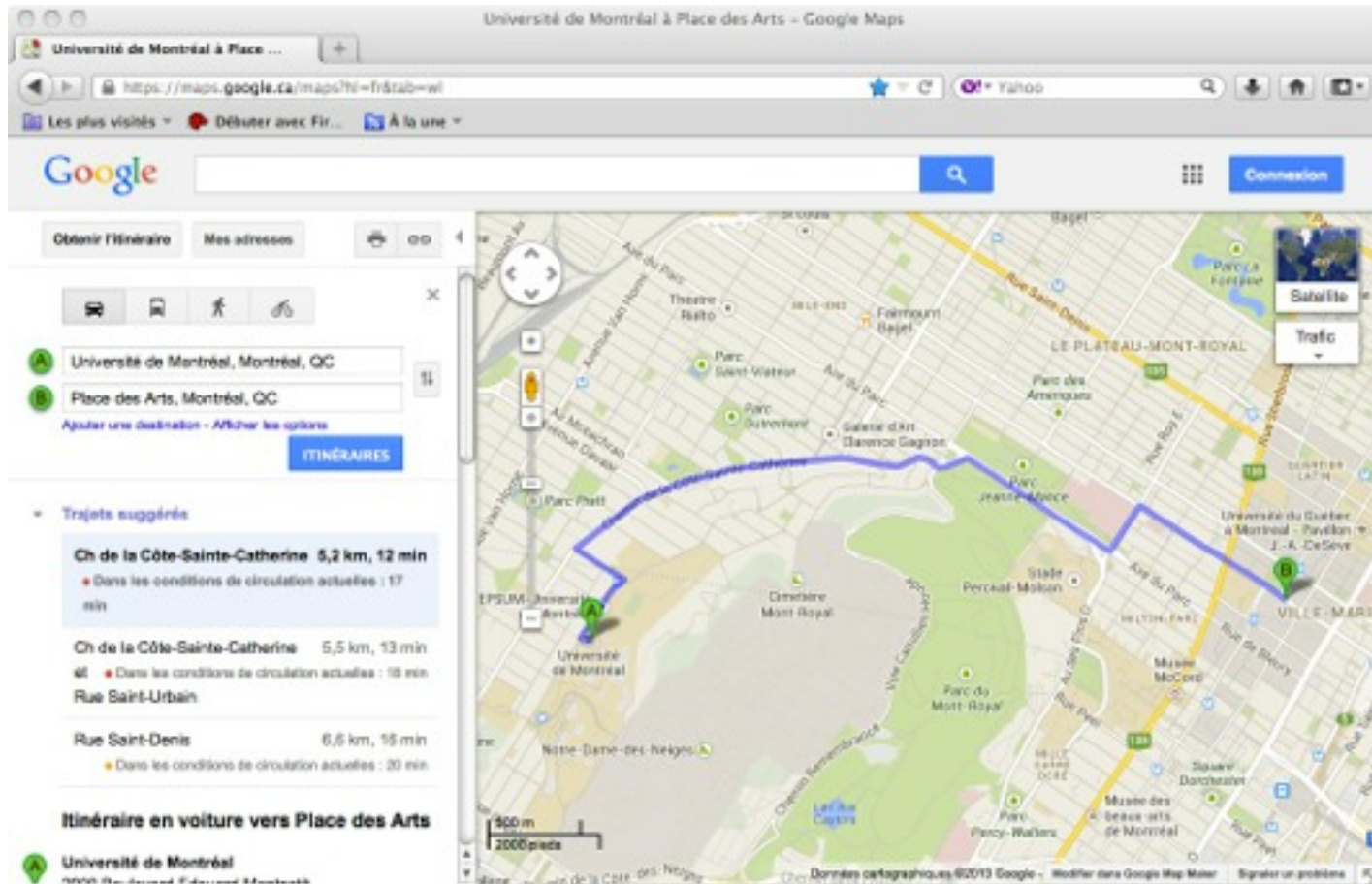


# Un petit réseau...



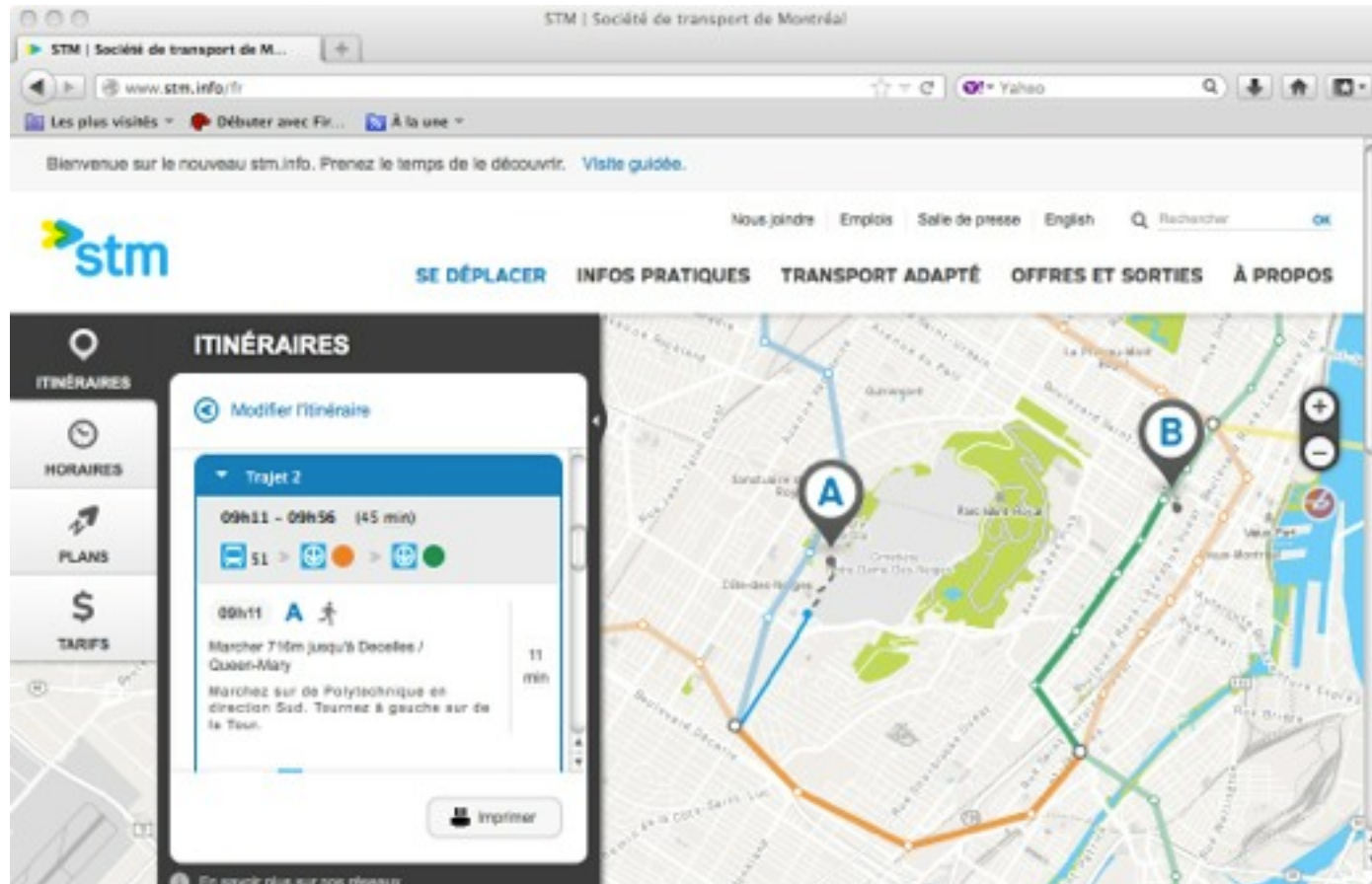
Comment ne pas modérer ses transports!

# Plus courts chemins



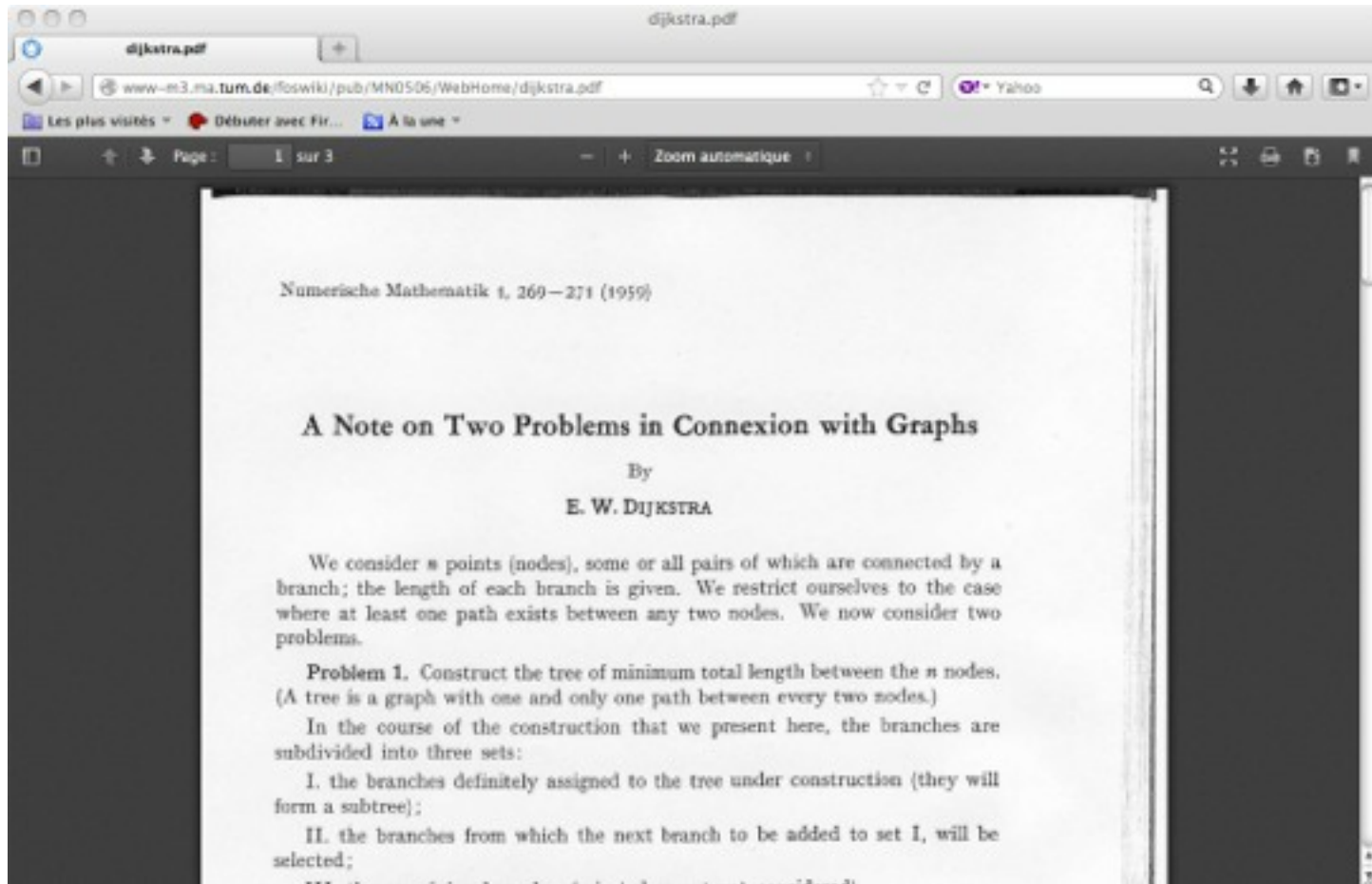
Comment ne pas modérer ses transports!

# Plus courts chemins



Comment ne pas modérer ses transports!

# Algorithme de Dijkstra



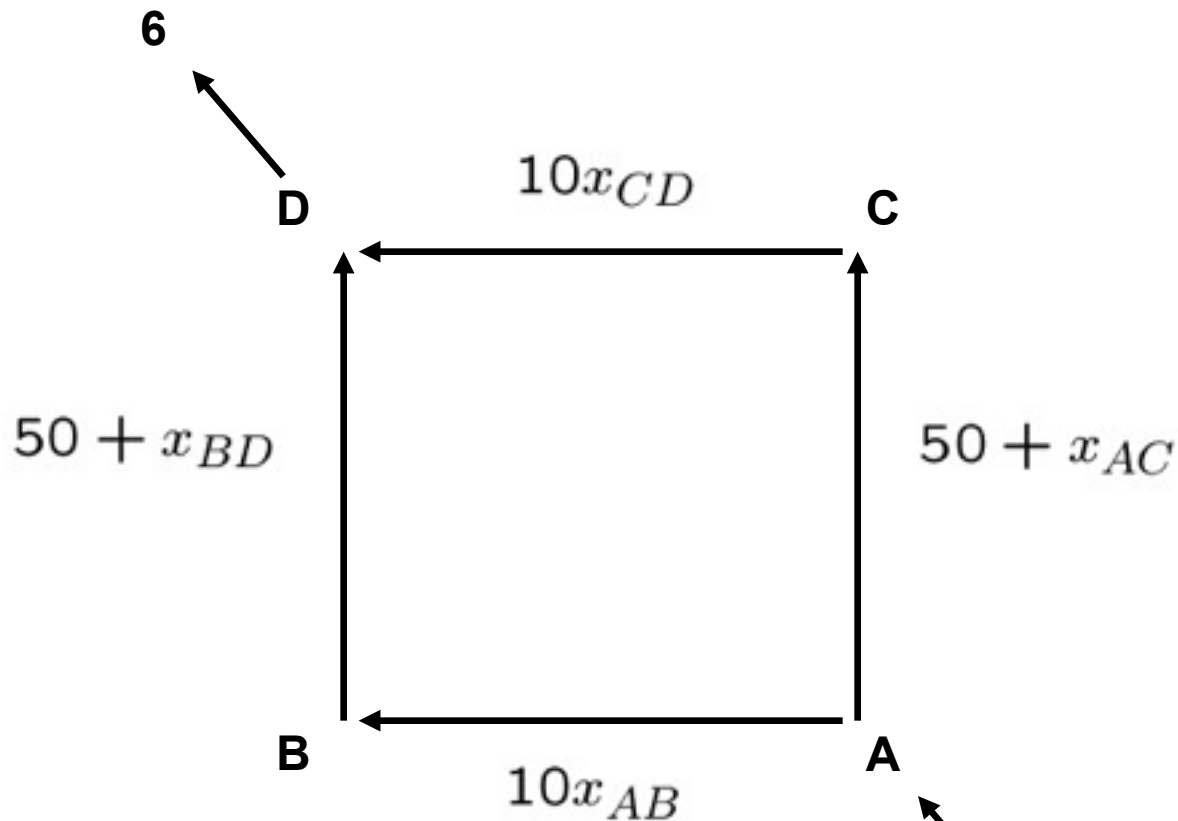
Comment ne pas modérer ses transports!

# Plus courts chemins : facile ?

- Prise en compte en **temps réel** des facteurs d'**incertitude** : par exemple, tempête de neige (« Canadian Traveller Problem ») !
- Graphe de très grande taille : des **millions de sommets** !
- « Longueurs » négatives ?
- Attention aux circuits de longueur négative !
- Longueurs = temps de parcours
  - Limite sur la longueur totale
  - Fenêtres de temps
  - Congestion

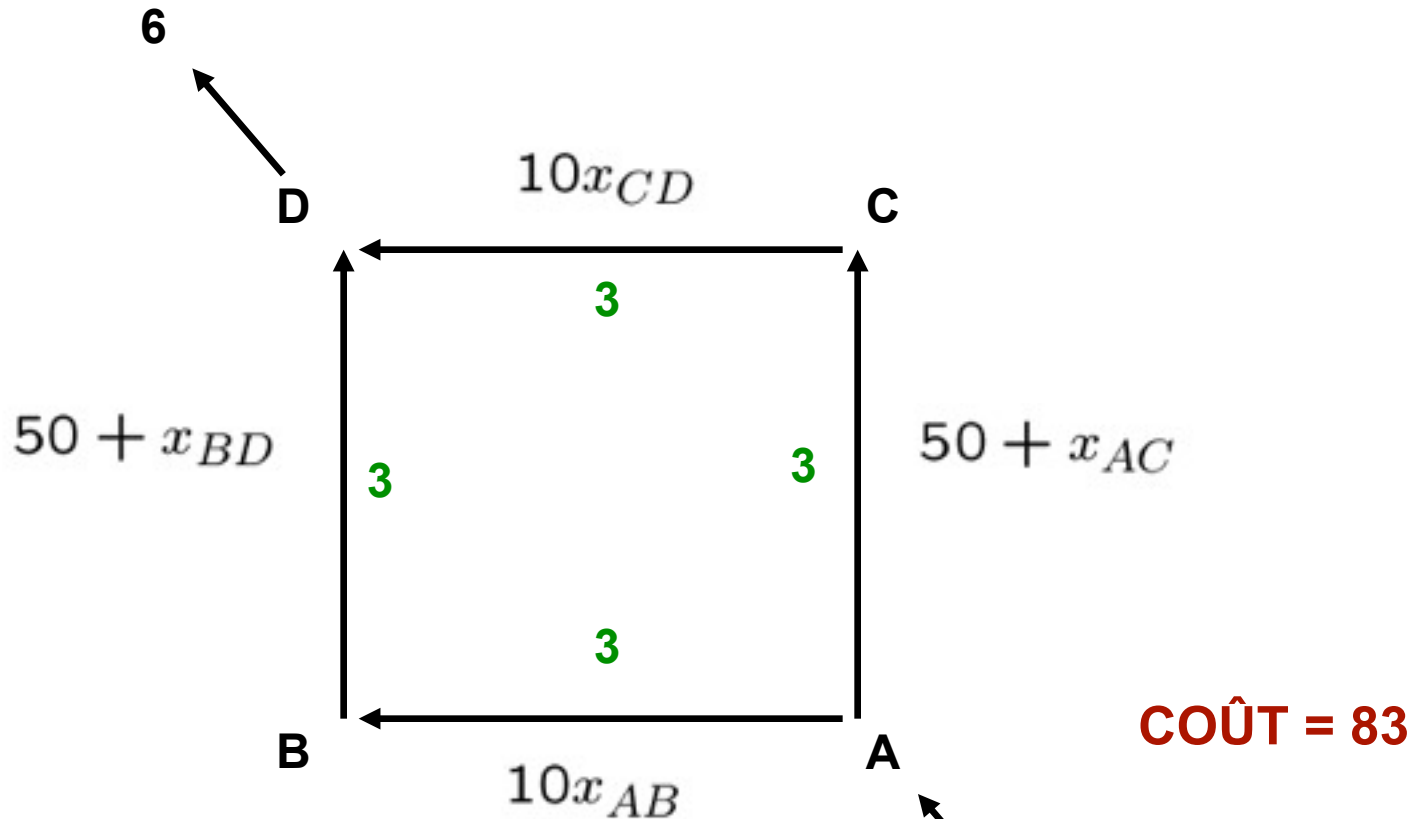


# Équilibre de trafic



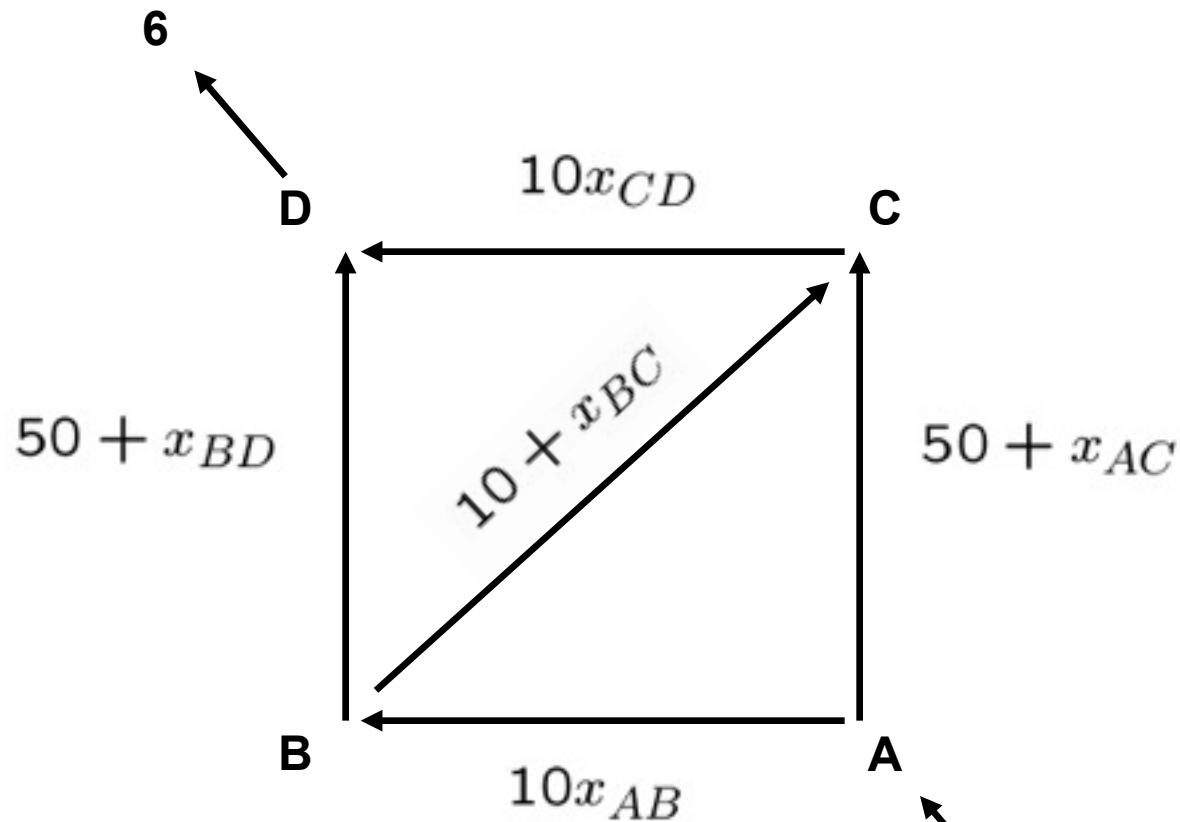
Comment ne pas modérer ses transports!

# Équilibre de trafic



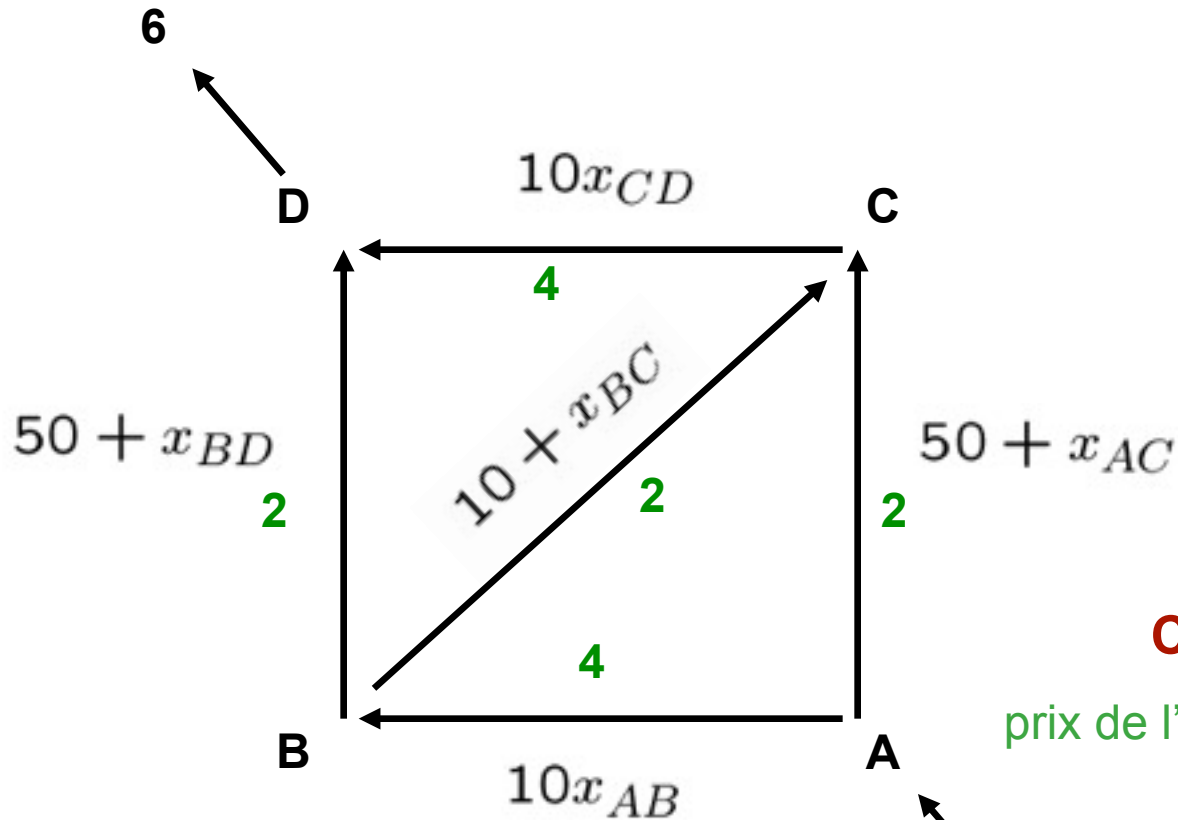
Comment ne pas modérer ses transports!

# Équilibre de trafic



Comment ne pas modérer ses transports!

# Équilibre de trafic



**COÛT = 92**

prix de l'anarchie = 1,108...

Comment ne pas modérer ses transports!

# INRO

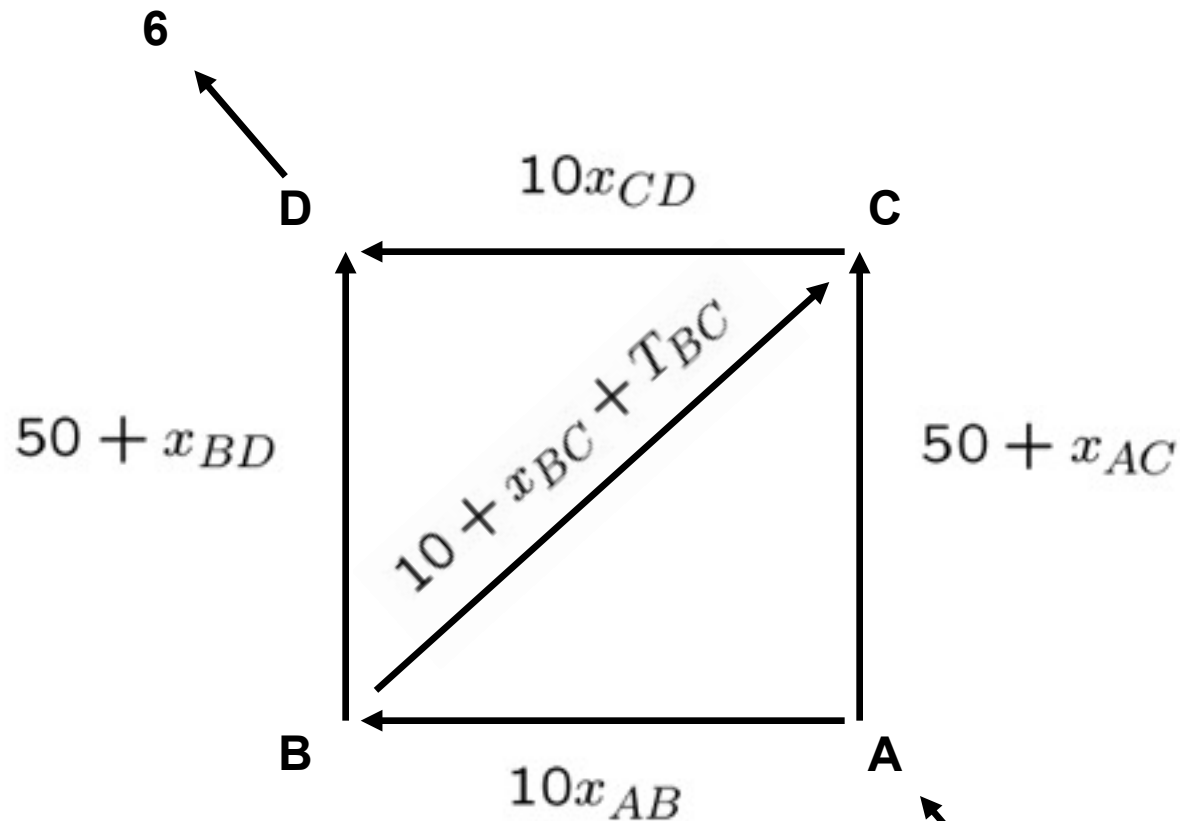


# INRO



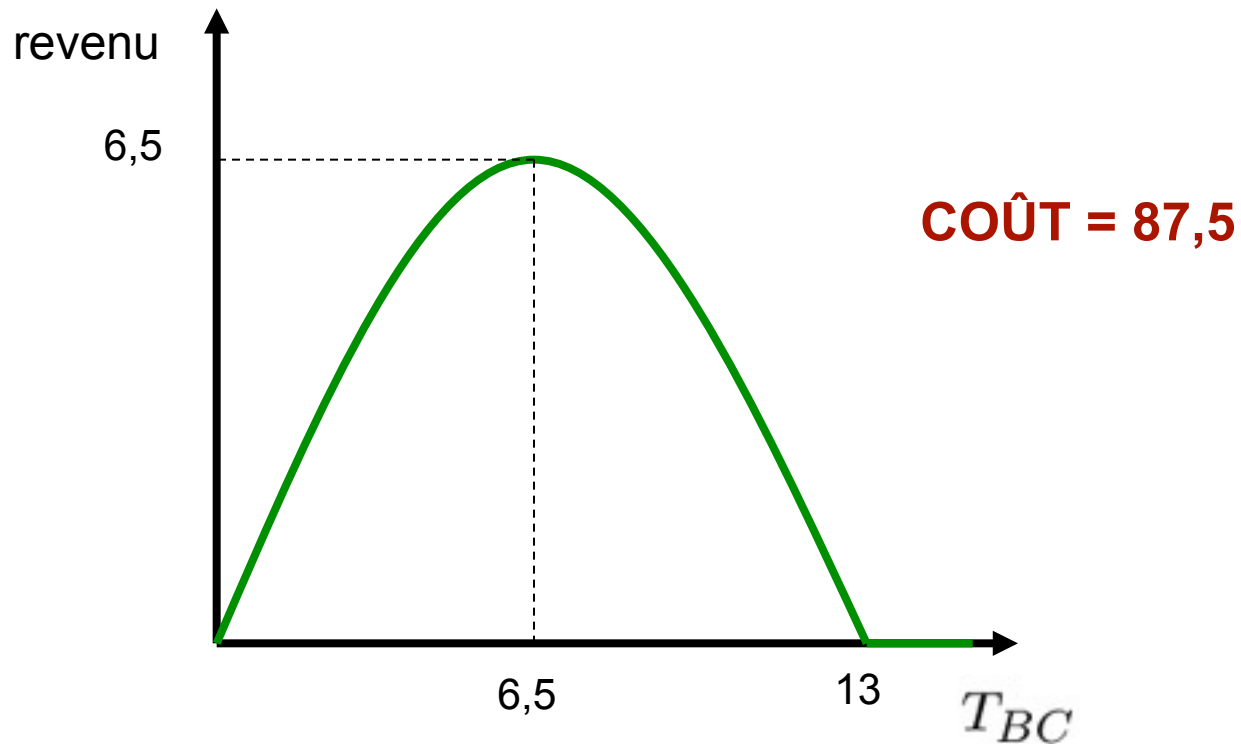
Comment ne pas modérer ses transports!

# Tarification et gestion du revenu

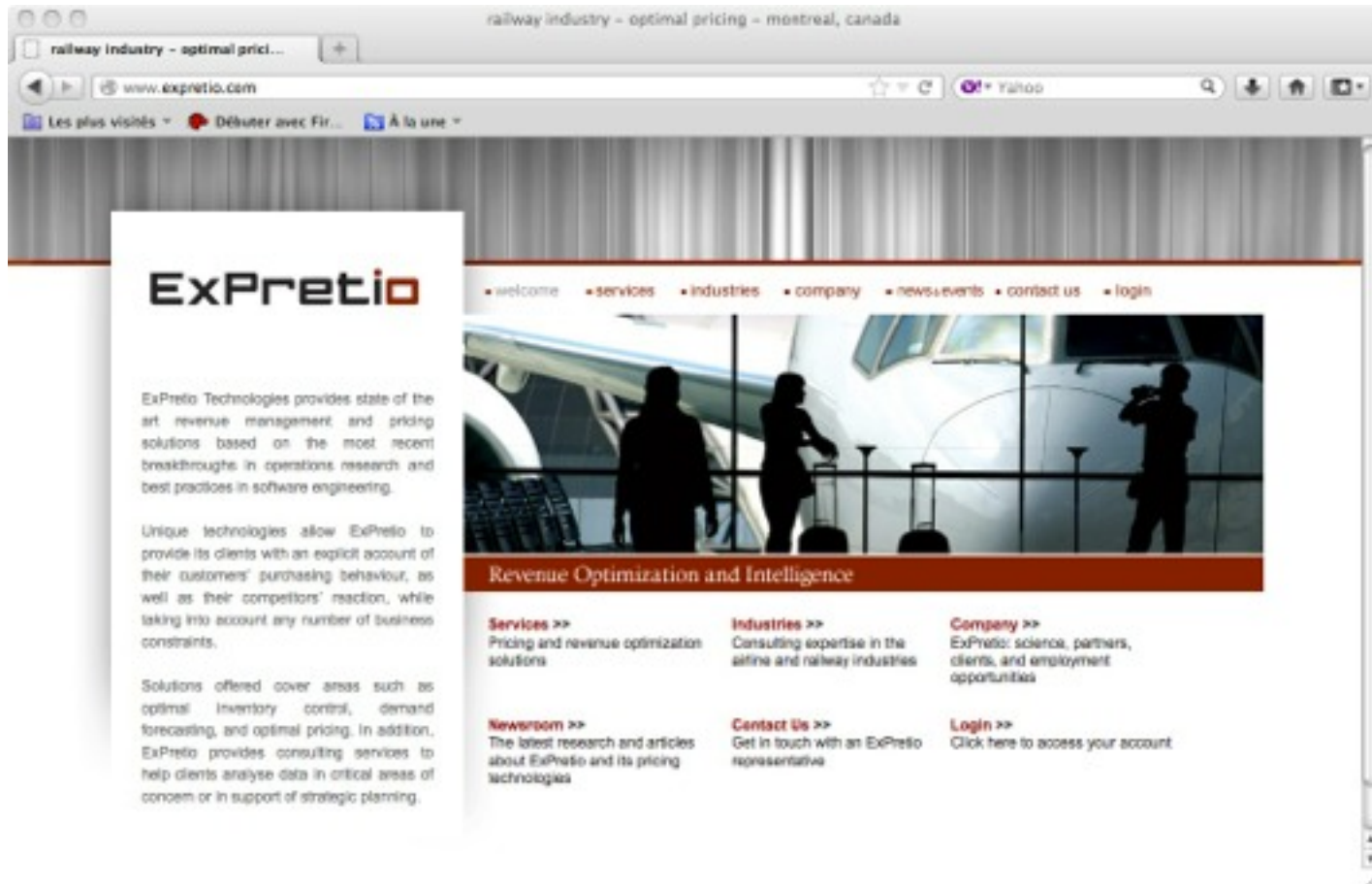


Comment ne pas modérer ses transports!

# Tarification et gestion du revenu

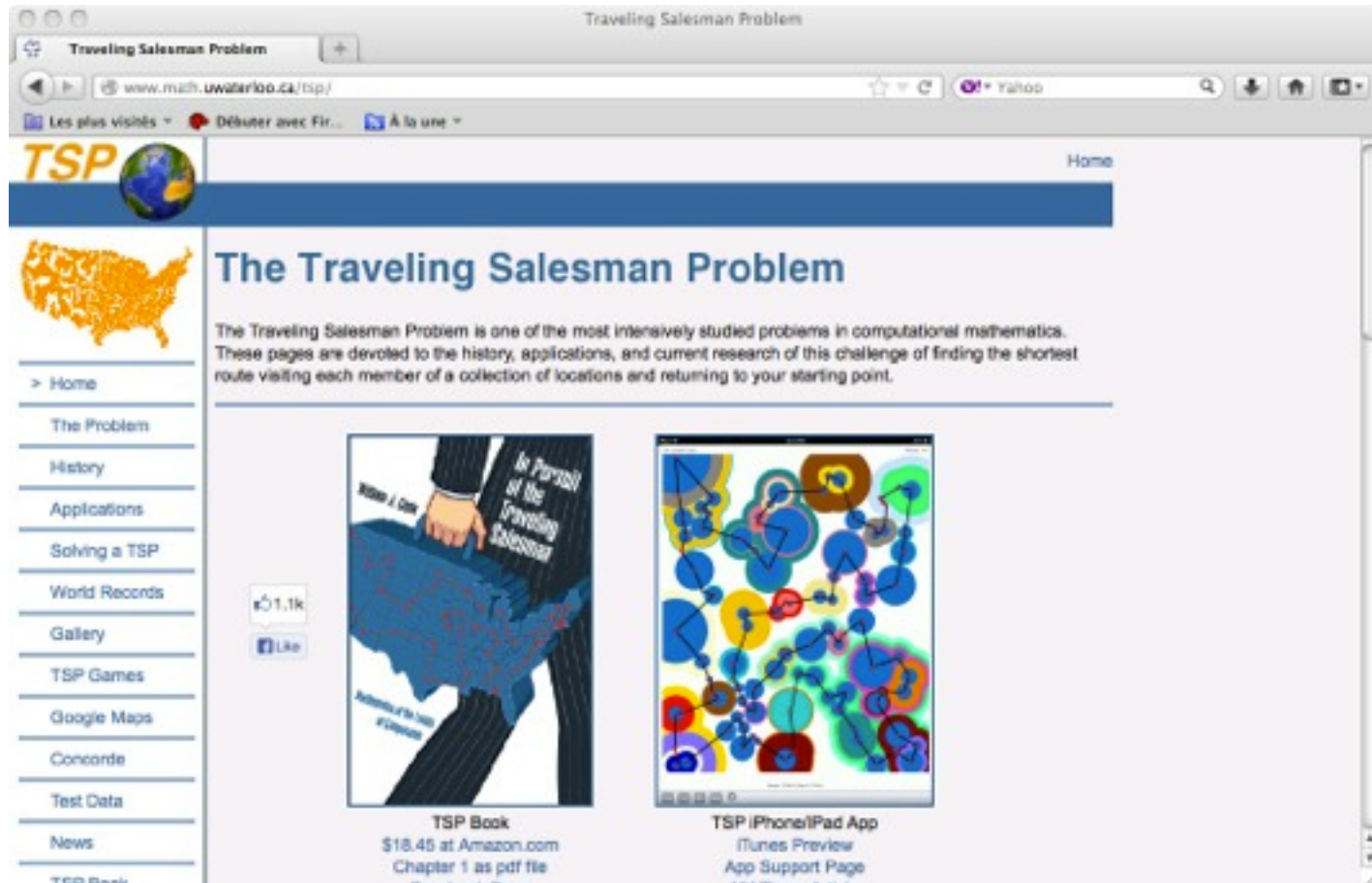


# ExPretio



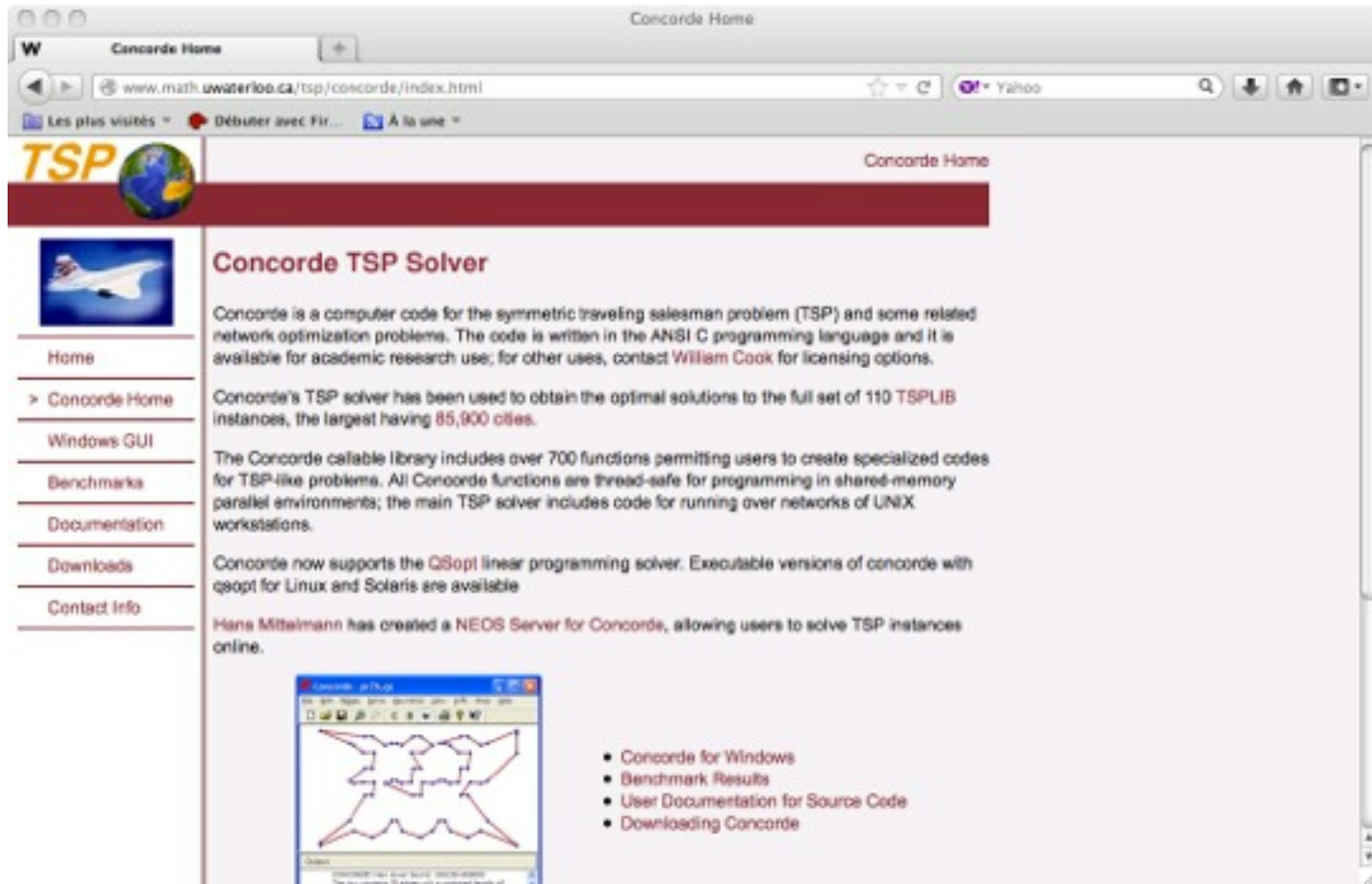
Comment ne pas modérer ses transports!

# Voyageur de commerce (TSP)



Comment ne pas modérer ses transports!

# Concorde



The screenshot shows a web browser window titled "Concorde Home" with the URL [www.math.uwaterloo.ca/tsp/concorde/index.html](http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/concorde/index.html). The page features a navigation menu on the left with links: Home, Concorde Home, Windows GUI, Benchmarks, Documentation, Downloads, and Contact Info. The main content area is titled "Concorde TSP Solver" and contains the following text:

Concorde is a computer code for the symmetric traveling salesman problem (TSP) and some related network optimization problems. The code is written in the ANSI C programming language and it is available for academic research use; for other uses, contact [William Cook](#) for licensing options.

Concorde's TSP solver has been used to obtain the optimal solutions to the full set of 110 TSPLIB instances, the largest having **85,900 cities**.

The Concorde callable library includes over 700 functions permitting users to create specialized codes for TSP-like problems. All Concorde functions are thread-safe for programming in shared-memory parallel environments; the main TSP solver includes code for running over networks of UNIX workstations.

Concorde now supports the [QSOPT](#) linear programming solver. Executable versions of concorde with qsopt for Linux and Solaris are available.

[Hans Mittelmann](#) has created a [NEOS Server](#) for Concorde, allowing users to solve TSP instances online.

Below the text is a small window titled "Concorde - aTSP" showing a complex TSP tour. To the right of this window is a list of links:

- [Concorde for Windows](#)
- [Benchmark Results](#)
- [User Documentation for Source Code](#)
- [Downloading Concorde](#)

Comment ne pas modérer ses transports!

# Tournées de véhicules (VRP)

- Généralisations du voyageur de commerce : **plusieurs véhicules** au lieu d'un seul !
- Nombreuses contraintes réelles :
  - Livraison et collecte
  - Capacité des véhicules
  - Plusieurs dépôts
  - Plusieurs types de véhicules
  - Fenêtres de temps
  - ...



# Vélos en libre-service (VLS) et VRP

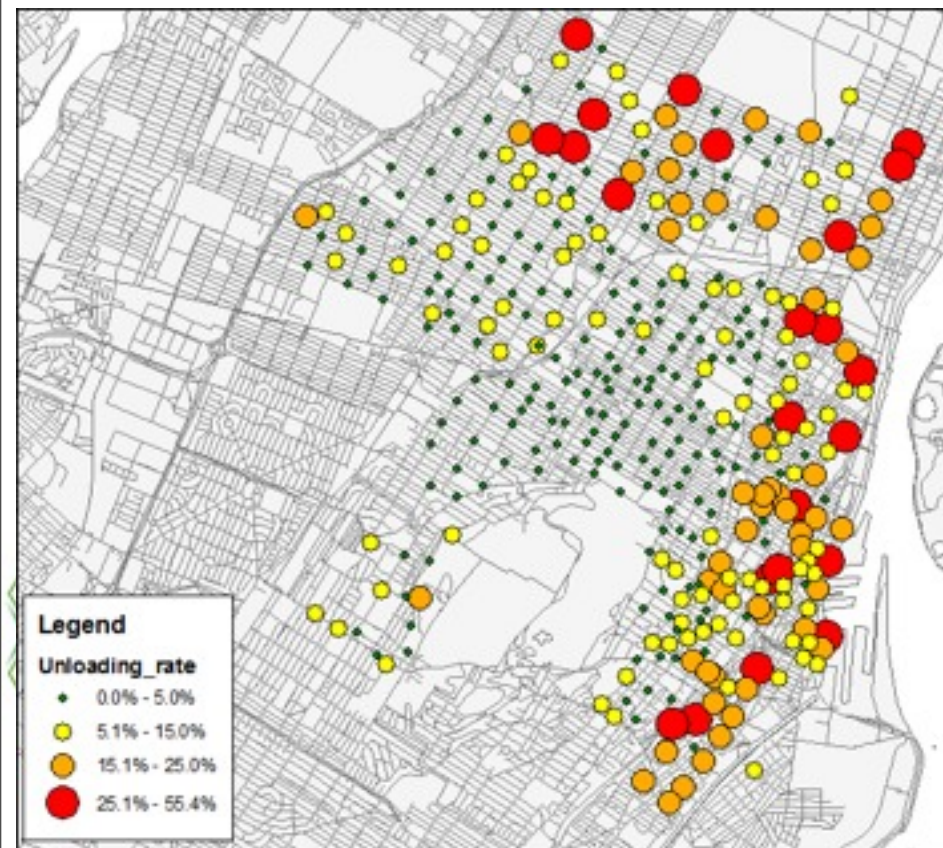
- À la fin d'une journée, un grand nombre de stations de VLS sont vides et un grand nombre sont pleines !
- Durant la nuit, il faut rééquilibrer l'offre entre les stations de VLS
- Une flotte de camions doit donc être opérée à cette fin : problème de tournées de véhicules !



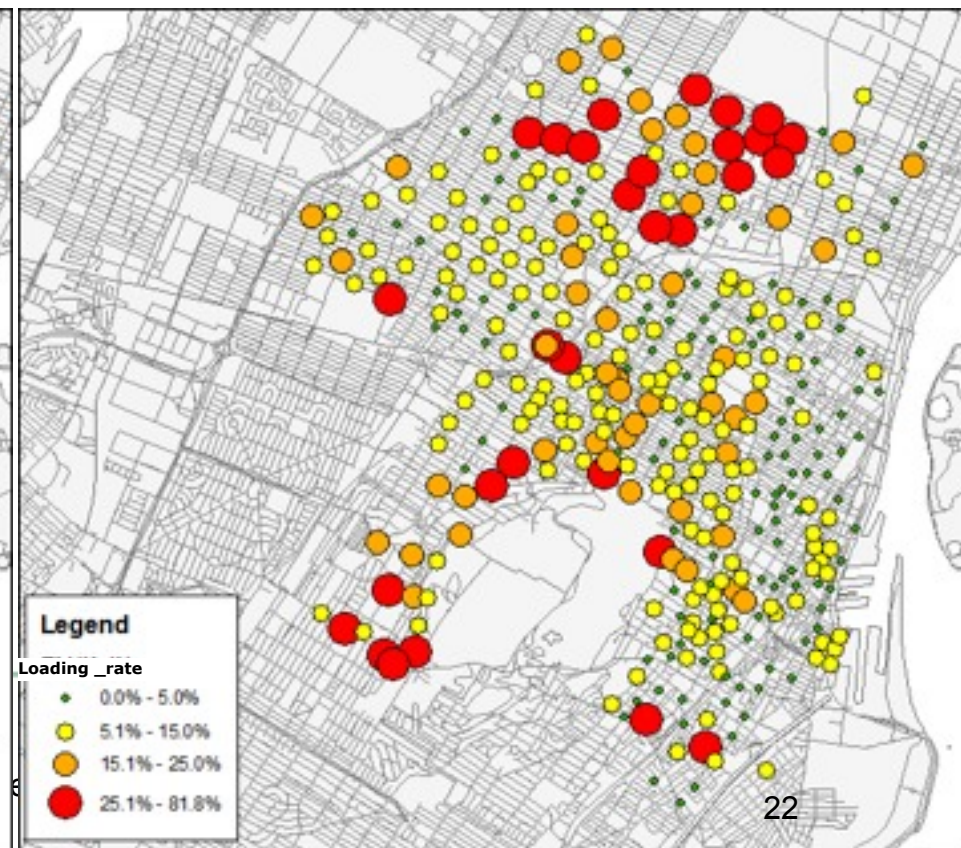
# Vélos en libre-service (VLS) et VRP

- Transferts entre les stations (2009)

% collectes



% livraisons



# Horaires et transports

- Deux niveaux de décisions complexes :
  - Déterminer des itinéraires permettant de satisfaire la clientèle
  - Affecter des employés à des tâches en respectant un grand nombre de règles
- Les entreprises de transports sont confrontées à ces deux niveaux de décisions **simultanément** !
- Transport par autobus
- Transport aérien



# GIRO

GIRO - leader reconnu en logiciels pour le transport public et la livraison postale

www.giro.ca/fr/

Les plus visités ▾ Débuter avec Fir... À la une ▾

GIRO

Accueil | Plan du site | Coordonnées | Assistance à la clientèle

Vous êtes ici : Accueil

L'ENTREPRISE ▾  
 NOS PRODUITS ▾  
 ÉVÉNEMENTS ▾  
 SALLE DE PRESSE ▾

**GIRO, leader reconnu en logiciels pour le transport public et la distribution postale.**

Quoi de neuf !	Événements
Keolis Bordeaux étend son utilisation d'HASTUS	CTA - Conférence annuelle 15-16 octobre Anaheim, CA, E.-U.
Réunion des utilisateurs francophones européens d'HASTUS 18-20 novembre, Toulouse (France) - Programme préliminaire et inscription	FPTA - Conférence annuelle 27-29 octobre Clearwater, FL, E.-U.
Toutes les nouvelles...	Tous les événements...

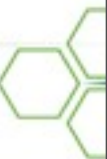
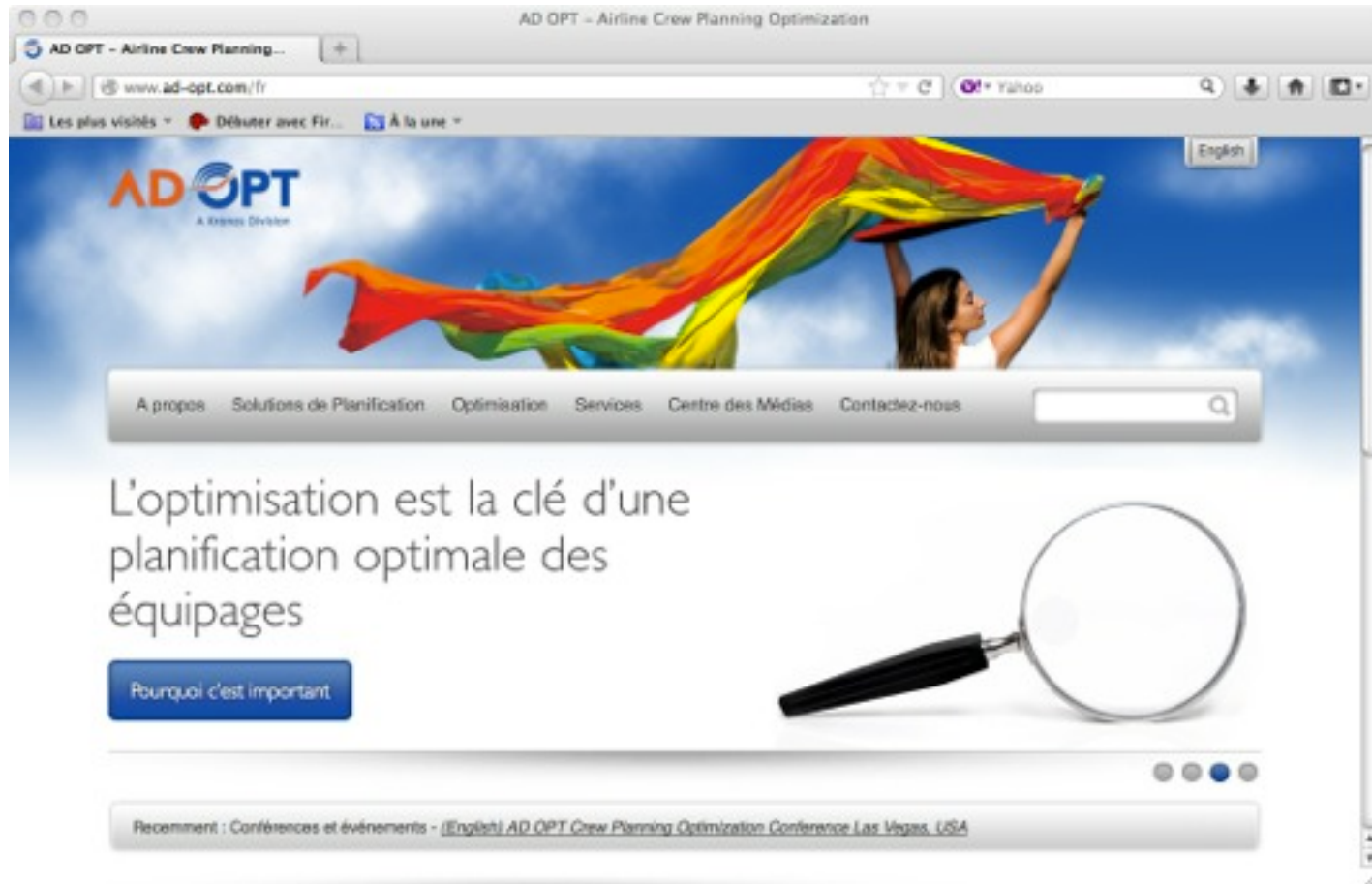
HASTUS  
 GeoRoute  
 GIROACCES

Microsoft Partner  
Éditeur de logiciels

Tous droits réservés. ©GIRO Inc. 2013 www.giro.ca  
Webmaster : webmaster@giro.ca  
Crédits | Informations Keolis  
Concepteur et développeur : Espace Courbe

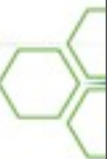
Comment ne pas modérer ses transports!

# Ad Opt



# Réseaux logistiques

- Le transport compte pour une partie importante des coûts des entreprises dans de nombreuses industries
- Le transport ne peut être optimisé isolément :
  - Coûts d'installation et d'opération des infrastructures
  - Coûts d'inventaire
  - Coûts de production
  - ...
- L'optimisation des réseaux logistiques permet de prendre en compte tous ces coûts !



# Conception de réseaux logistiques

- Flots multi-produits multi-modes
- But : satisfaire les demandes « à long terme » de la clientèle
- Quelles sont les infrastructures (usines, entrepôts, routes, ...) à construire et à opérer ?
- Quelles quantités de produits faut-il extraire/transformer/transporter/stocker et où dans le réseau ?
- Concepts fondamentaux :
  - Consolidation
  - Collaboration



# STAN (INRO)



The screenshot shows the INRO STAN website in a web browser. The browser's address bar displays 'www.inrosoftware.com/fr/products/stan/index.php'. The website header features the INRO logo and the tagline 'L'évolution de la planification du transport'. A navigation menu includes links for 'Produits', 'Ventes', 'Formation', 'Assistance', 'Communauté', 'Télécharger', and 'Recherche'. The main content area is titled 'STAN' and describes it as 'La planification du transport national et régional de marchandises'. It includes a brief description of the software's capabilities and a sidebar with links to 'Pochette d'information', 'Dépliant STAN', 'Achetez une licence STAN', 'Consultez le calendrier des cours', 'Recherche dans les articles', and 'Besoin d'aide?'. The sidebar also contains a search bar and a 'Recherche' button.

Comment ne pas modérer ses transports!

# Contrôle routier Québec (CRQ)

- CRQ a pour mission d'assurer la surveillance du transport routier de personnes et de marchandises
- Pour la surveillance du transport de marchandises, deux types de ressources sont déployées sur l'ensemble du territoire québécois :
  - Des **infrastructures** (postes et aires de contrôle servant par exemple à la pesée des camions)
  - Des **véhicules de patrouille** (avec à leur bord des agents experts en ciblage des infractions à la sécurité routière)



# Optimisation de la couverture

- CRQ vise à déployer ses ressources de façon à optimiser sa couverture du territoire « à long terme » : problème de **conception de réseaux** !
- Compromis entre les **infrastructures** et les **véhicules de patrouille** :
  - Le déploiement d'infrastructures est intéressant uniquement là où le flot des camions le justifie, mais le coût est élevé
  - Les véhicules de patrouille sont efficaces pour le ciblage, mais permettent de contrôler peu de véhicules/heure
- Les camions non conformes ont tendance à fuir les infrastructures de contrôle !



# CIRRELT

- **Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport**
- Le seul centre de recherche universitaire au Québec consacré à l'étude des réseaux logistiques et de transport
- Le plus important au Canada dans ce domaine
- L'un des trois principaux au monde – avec MIT et Georgia Tech
- Un centre interuniversitaire et interdisciplinaire
- « Ancêtre » : **Centre de recherche sur les transports (CRT)**

# Survol du CIRRELT

- **8** universités partenaires: UdeM, ULaval, Poly, UQÀM, HEC, McGill, Concordia, ÉTS
- **67** chercheurs et **44** chercheurs associés
- Environ **500 étudiants** (MSc, PhD) et **20** stagiaires postdoctoraux
- **40** professionnels de recherche, techniciens et membres du personnel administratif et de secrétariat
- **18** initiatives majeures: **6** Chaires de recherche du Canada, **5** chaires industrielles, **4** chaires universitaires, **1** consortium, **2** réseaux
- Budget de recherche annuel: plus de **14** millions de dollars

# Professeurs du DIRO au CIRRELT

- Fabian Bastin
- Jacques Ferland
- Emma Frejinger (titulaire Chaire CN)
- Bernard Gendron
- Pierre L'Ecuyer
- Patrice Marcotte
- Jean-Yves Potvin
- **Abdelhakim Hafid**
- *Teodor Gabriel Crainic (professeur associé)*
- *Michel Gendreau (professeur associé)*
- *Michael Florian (professeur émérite, membre honoraire)*





# CIRRELT





# CIRRELT



# Optimisation de réseaux de transport

- Un domaine fascinant qui combine :
  - Informatique
  - Recherche opérationnelle
  - Mathématiques
- Les défis sont énormes :
  - Modélisation de problèmes « réels »
  - Très grande taille des applications
  - Temps réel
  - Prise en compte de l'incertitude
  - Présence de nombreux acteurs aux objectifs conflictuels

