

Le tramway, essentiel pour réduire les émissions de GES et augmenter la densité dans la région de Montréal

Luc Gagnon, M. Sc., Ph.D.

- 14 ans d'enseignement universitaire, École de technologie supérieure et UQAM
- 20 ans à Hydro-Québec, Conseiller principal, Changement climatique
- Président de Transport2000, en 2008-2009
- « Réviseur expert » du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat

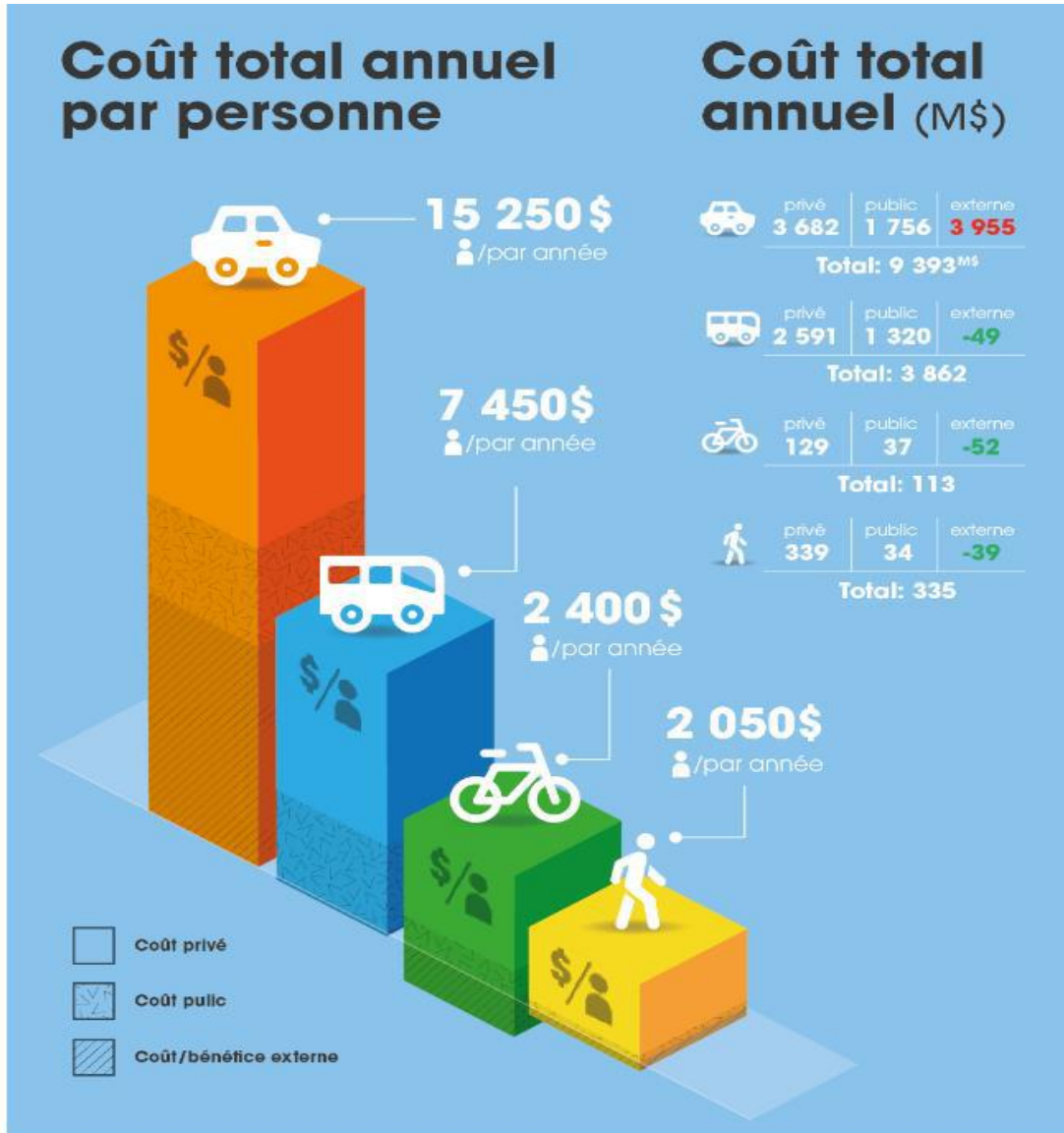


Pourquoi réduire l'usage de l'auto ?

À cause de ses coûts publics et sociaux

Description des coûts au Québec en 2015 (sans tenir compte des coûts privés)	\$ par véhicule /an
Routes : construction et entretien	1600
Stationnements hors-rue gratuits	1000
Polices, pompiers, coûts des accidents	360
Polluants atmosphériques :	
- Effets sur la qualité de l'air : 100\$	350
- GES (long terme 80\$ /t CO ₂) : 250\$	
Environnement : ressources, pollution eau	300
Coûts publics + coûts sociaux	3610
Taxes carburant, immatriculation, SAAQ	500
Coûts de la congestion (Montréal 2018)	3000+

Étude récente sur coûts des transports (HEC)



Incluant les coûts privés et les coûts de la congestion

LES COÛTS SOCIAUX DES TRANSPORTS
 GABRIELLE BEAUDIN, MURIEL JULIEN ET DAVID BENATIA
 JUIN 2024 RAPPORT D'ÉTUDE, HEC

L'étalement urbain, multiplicateur de consommation énergétique

Développement de **faible densité** multiplie les besoins en:

- Chauffage
- Aqueducs, égouts, rues, trottoirs
- Distribution d'énergie

Éloignement des développements peuvent multiplier la longueur des déplacements par un facteur de 10:

- Autos, transport scolaire, transport collectif, livraisons
- Besoins en routes, viaducs, ponts

Incluant les ressources requises: ciment, acier...

Conséquences publiques de l'étalement urbain

Consensus : l'étalement urbain

multiplie les dépenses publiques:

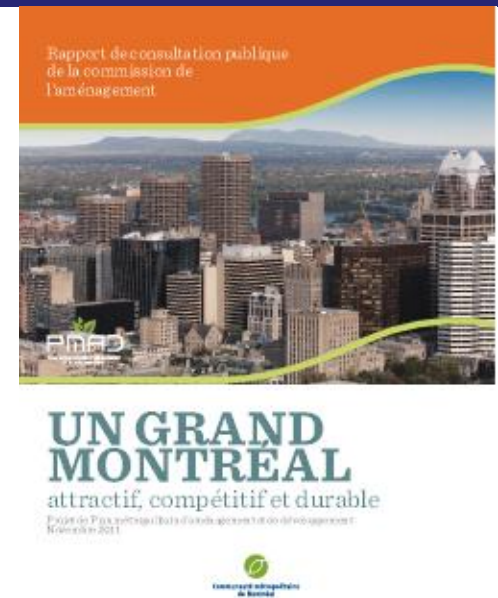
- Ministère des Affaires municipales
- Plan d'aménagement de la CMM

Dépenses:

- Écoles, transport scolaire
- Besoins en routes, trottoirs, aqueducs, égouts, usines de filtration, d'épuration

Étalement de faible densité

- Forte dépendance à l'auto
- Difficultés à financer le transport collectif



Pourquoi autant d'étalement urbain ?

Subventions à l'auto

Description des coûts au Québec (16 000 km/an) (sans tenir compte des coûts privés)	\$ par véhicule /an
Routes : construction et entretien	4 000
Stationnements hors-rue gratuits	
Polices, pompiers, coûts des accidents	
Polluants atmosphériques :	
Environnement : ressources, pollution eau	
Ménage de banlieue qui a plusieurs véhicules Pour un total de 64 000 km /an	
Subventions annuelles équivalentes à	16 000

Émissions de GES au Québec

Les transports : premier responsable

	Québec: % du total	
Carburant	Tuyaux d'échappement	41 %
+ Cycle de vie de production	<ul style="list-style-type: none"> • Carburants +25% • Véhicules +14% 	15 %
+ Climatiseurs des véhicules	Pertes moyennes de HFC de 220 g par véhicule /an	3 %
+ Entretien des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • Garages • Lubrifiants, pneus 	1 %
+ Réseau routier	<ul style="list-style-type: none"> • Ciment, asphalte • Métaux ponts, lampadaires 	4 %
	Équivalent	64%

Action, peu efficace, politiquement facile : Subventionner les autos électriques

- Consensus dans les analyses de cycle de vie :
si l'électricité est produite avec du charbon,
les autos électriques ne réduisent pas les émissions
- De nombreux pays soutiennent le concept de
zero-emission vehicles
même si leur électricité provient du charbon et du gaz

Si l'électricité est produite avec du gaz
ou de l'hydroélectricité ?

Analyses de cycle de vie des batteries Lithium

Controverses:

comparaison des résultats des nombreuses ACV

→ Émissions de CO₂ éq.

Facteurs utilisés pour l'Europe, « Science & Vie » **2018**

= 150 à 200 kg CO₂ par kWh de batteries

Étude chinoise 2017

= 95 à 107 kg CO₂ par kWh de batteries

Étude américaine, 2021

= 73 kg CO₂ par kWh de batteries produites aux États-Unis

Mais la Chine continue à dominer la production

Combien d'années pour effacer les émissions de GES de la fabrication des batteries?

Véhicule électrique	Fabrication des batteries 100 kg CO2 /kWh de batteries	Délais avant de commencer une réduction nette	
		Électricité hydro	Électricité de gaz naturel
Chevrolet Bolt remplace une Honda Civic	65 kWh = 6,5 tonnes CO2	2,5 ans 40 000 km	6 ans 90 000 km
Autobus électrique vs bus hybride	466 kWh = 47 tonnes CO2	9 mois	1,5 ans

Distances typiques par année : 15 000 km pour une automobile
50 000 km pour un autobus

Les autos électriques pour réduire les émissions de GES au Québec ?

- La quantité d'hydroélectricité produite à chaque année est fixe: elle dépend des précipitations.
- Chaque kWh en excès de la consommation québécoise est exporté vers les États-Unis, remplaçant du gaz naturel
- Chaque kWh qui est consommé par une auto électrique ne peut plus être exporté

Quel est l'effet, au Québec, de remplacer un véhicule à essence par une auto électrique?

Il y a baisse des GES de 3 tonnes au Québec et une hausse de 2 tonnes aux États-Unis.

Une nouvelle production d'électricité propre est nécessaire.

Les autos électriques sont-elles en supplément des autres véhicules?

Fabriquer une auto émet environ les mêmes GES que la faire rouler à l'essence pendant deux ans

En 2021, aux États-Unis,
44% des ménages qui possédaient une auto électrique
sont des ménages à 3, 4 ou 5 véhicules

Energy Institute Blog, 2021

Subventionner l'auto électrique
= une autre subvention à l'étalement

Erreur du REM1: un tracé qui ne répond pas aux besoins



Principe du bon mode au bon endroit
On doit implanter des tramways là où les bus sont surchargés

REM : un vrai coût de 10 milliards \$

Investissements officiels

- 3,6 milliards \$ de la Caisse de dépôt ?
- 2,56 milliards \$ des gouvernements

Subventions ou pertes de revenus publics

- 340 millions \$ d'Hydro-Québec
- 512 millions \$ du Québec (plus-value foncière publique)
- 600 millions \$: redevances sur plus-value privée
- 600 millions \$: gare de l'aéroport payée (Qc et fédéral)

Actifs donnés à la CDPQ (privatisation)

- 1,5 milliard \$ en actifs publics pris à l'AMT
(ligne Deux-Montagnes et tunnel du Mont-Royal)
- 1 milliard \$ pour les 2 voies sur le Pont Champlain

Pertes en actifs maintenant inutiles de l'AMT

- 400 millions \$ (3 centres d'entretien, locomotives...)

10 milliards \$ sans augmentation significative du nombre d'usagers

Prévision d'achalandage:

environ 160 000 déplacements /jour (2025)

Donc 80 000 usagers

Selon le BAPE

- 90% des usagers utilisent déjà le transport collectif
- Sur les 10% de nouveaux usagers, 80% vont prendre leur auto pour aller stationner au REM
- Donc 10\$ milliards pour convaincre 1600 automobilistes à laisser leur auto à la maison

Erreur des REM1 et REM2 : le choix de technologie

Skytrain automatisé = en hauteur ou en souterrain

Stations coûteuses,
donc **peu nombreuses**

= peu d'usagers pourront
accéder aux stations à pied



Grands stationnements gratuits, qui empêchent la création
de quartiers adaptés au transport collectif (TOD)

REM1: Effets sur les coûts d'exploitation

Historiquement les dépenses de la STM, AMT... ne comprenaient que les frais d'exploitation, car les infrastructures étaient payées par les gouvernements provincial et fédéral

- La CDPQ vise un rendement de 8-9% sur son investissement de 3,6\$ milliards

= 600\$ millions /an en frais de fonctionnement en 2031

- Tarifs payés (avant pandémie) par tous les usagers de la région : environ **800 millions \$ /an**

Le REM1 va faire augmenter les tarifs
et les taxes municipales

Objectifs qui semblent faire consensus à Montréal

- Réduire les émissions de GES responsables du changement climatique
- Réduire la dépendance à l'automobile privée
- Réduire l'étalement urbain
- Augmenter la densité urbaine

Par quels moyens peut-on atteindre tous ces objectifs ?

L'autobus diesel réduit-elle les GES ?

Comparaison des GES du cycle de vie	Facteur de charge	g CO ₂ éq. / passager - km	
		Énergie utilisée	Cycle de vie
Auto intermédiaire	solo	Essence	300
Auto hybride compacte			200
Moyenne au Québec (9 litres par 100 km)	1,2		200
Autobus urbain (STM)	Élevé	Diesel	150
Autobus urbain	Moyen		200
Autobus de banlieue	Faible		270
Tramway	Moyen	Hydro	20

Les autobus diesel ou hybrides réduisent très peu les GES

Les réseaux d'autobus diesel ne favorisent pas la densification

- Autobus diesel ou hybrides : très bruyants et polluants

Indicateur indirect : la valeur des propriétés

- La proximité d'un arrêt d'autobus réduit la valeur d'une propriété
- *Findings suggest that increasing regular bus frequencies results... in lower house values for properties located in the vicinity of regular routes* (FD Rosiers - 2010)
- Comparaison de quartiers sans service de bus en Finlande (Kurvinen et Sorri) : l'ajout d'un service de bus a fait augmenté la valeur des propriétés de 1%

En faire trop avec des autobus : exemple d'Ottawa



- SRB = Système « rapide » de bus ?
- Les autobus se nuisent constamment
 - 2 lignes : achalandage de 70 000 /jour
 - Fréquence typique en pointe :
un autobus /minute
 - Ottawa a remplacé ces réseaux par 2 lignes de tramway



Émissions de GES du cycle de vie:

Le métro et le tramway réduisent les GES

Options	Facteur de charge	g CO2 éq. / déplacement /km	
		Énergie utilisée	Cycle de vie
Auto intermédiaire solo	1 p /auto	Essence	300
Petite auto hybride solo			200
Autobus urbain (STM)	Élevé	Diesel hybride	150
Autobus urbain	Moyen		200
Autobus de banlieue	Faible		270
Train de banlieue	Faible		110
Skytrain du REM	Moyen	Hydro- électricité	60
Train de banlieue	Moyen		30
Tramway	Moyen		20
Tramway	Élevé		15
Trolleybus	Moyen		30
Métro (premier 30 ans)	Moyen		70
Métro (premier 30 ans)	Élevé		40
Métro (après 30 ans)	Élevé		10

Tableau détaillé disponible dans Test-climat du REM

Les prolongements du métro ou du *skytrain* ne sont pas adaptés aux besoins

	Coûts de construction	Exemple
Métro	600\$ M /km et plus	Ligne Bleue 1 200\$+ M /km
<i>Skytrain</i> pilotis	400\$ M /km	
Tramway	80-100\$ M /km	

Comparaison par km ou par station:

- Métro environ 10 fois plus cher que le tramway**
200 stations de tramway produiront beaucoup plus de bénéfices que 20 stations de métro
- REM2 dans l'Est de Montréal:**
4-5 fois plus cher qu'un tramway

Principe de gestion en transport collectif: ***Le bon mode au bon endroit***

Choix de mode en transport collectif

- Choix de trop grande capacité
= faible efficacité; coûts élevés par passager
- Choix de trop faible capacité
= congestion, mauvaise qualité du service

Le métro ou le *skytrain*, un bon mode au bon endroit ?

Mode	Passagers / rame	Déplacements typiques /jour	
		Normale /élevée (une ligne)	
Métro (Azur)	1500	200 000 / 250 000	Ligne Bleue 50 000 ?
<i>Skytrain</i> 80m rame double	600	80 000 / 100 000	REM 180 000 ? équivalent 2 lignes
Tramway (ou tram-train)			
Rames doubles 90m	662	80 000 / 100 000	
54 m	404	55 000 / 70 000	
45 m	331	45 000 / 60 000	
27 m	192	25 000 / 35 000	

Les autobus électriques à batteries, des concurrents au tramway ?

Capacité des autobus électriques moindre que celle d'un autobus diesel:

3-4 tonnes de batteries (minimum) = poids de 50 passagers

Les autobus électriques peuvent remplacer des autobus diesel dans les petits réseaux, mais ils ne peuvent pas remplacer des tramways

Petite rame de tram = 4 autobus électriques
Grande rame de tram = 7 autobus électriques

Mode	Passagers / rame	Déplacements typiques /jour	
		Normale /élevée (une ligne)	Cas extrêmes
Métro (Azur)	1500	200 000 / 250 000	Ligne Orange 400 000 Ligne Bleue 80 000
Tram-train ou tramway			
Rames doubles 90m	662	80 000 / 100 000	
54 m	404	55 000 / 70 000	
45 m	331	45 000 / 60 000	Tramway Lachine ?
27 m	192	25 000 / 35 000	
Autobus			
Articulé	105	14 000 / 20 000	SRB Pie IX 70 000
Diesel, hybride	75	10 000 / 15 000	STM 20 000 / 30 000
Électrique batteries	55	7 000 / 10 000	

Le tramway, le choix approprié pour remplacer les gros réseaux d'autobus de la STM

Mode	Passagers / rame (4 pass. /m ²)	Déplacements typiques /jour	
		Normale /élevée (une ligne)	Cas extrêmes
Tram-train ou tramway			
54 m	404	55 000 / 70 000	
45 m	331	45 000 / 60 000	
27 m	192	25 000 / 35 000	
Autobus diesel hybride			
Articulé	110	14 000 / 20 000	SRB Pie IX 70 000?
Régulier	80	10 000 / 15 000	STM plusieurs lignes de 30 000

La STM fait avec des autobus ce que les autres villes modernes font avec des tramways.

Pourquoi le tramway densifie les villes en contraste avec l'autobus ?

- Réseau plus visible
- Réseau accepté comme permanent
- Plus silencieux
- Moins polluant
- Plus fiable, notamment en hiver
- Capacité équivalente à 3-5 autobus, donc moins de congestion dans les quartiers denses

Autre avantage important:

- Accessibilité universelle, évitant beaucoup de transport adapté

La valeur de propriétés à proximité d'une station de tramway: +40% (Victoria Transport Policy Institute)

Le Québec *versus* le reste du monde occidental

	Lignes de tramway	Km de lignes
Asie Pacifique	133	1090
Eurasie	735	3483
Europe	1276	9296
Québec	0	0

Pourquoi autant les lignes de tramway, partout dans le monde?

Les économies annuelles en coûts d'exploitation compensent pour les coûts d'implantation

	Tramway 45 m	Voies réservées pour autobus diesel
Rame vs autobus	Pour chaque rame	3-5 autobus diesel
Exploitation du réseau		3-5 fois plus de chauffeurs
Efficacité énergétique	90%	20% donc 4 fois plus d'énergie
Émissions de GES	Forte baisse	Aucune baisse
Durabilité matériel roulant	30-40 ans	15 ans

Le tramway adapté à l'hiver

Ville	Janvier T° normale max / min	km des lignes
Toronto (2021)	-1 / -7	140
Waterloo (2021)	-3 / -10	19
Minneapolis	-5 / -14	19
Montreal	-5 / -15	0
Ottawa (2021)	-6 / -14	13
Edmonton	-6 / -15	24
Québec	-8 / -18	0
Moscou	-6 / -12	208
St-Petersberg	-5 / -11	350
Minsk	-4 / -10	123
Kiev	-3 / -8	140
Oslo	-2 / -7	50
Helsinki	-2 / -7	71
Stockholm (2030)	-1 / -5	55
Tallinn	-1 / -7	20
Riga	-1 / -6	99
Prague	0 / -5	142



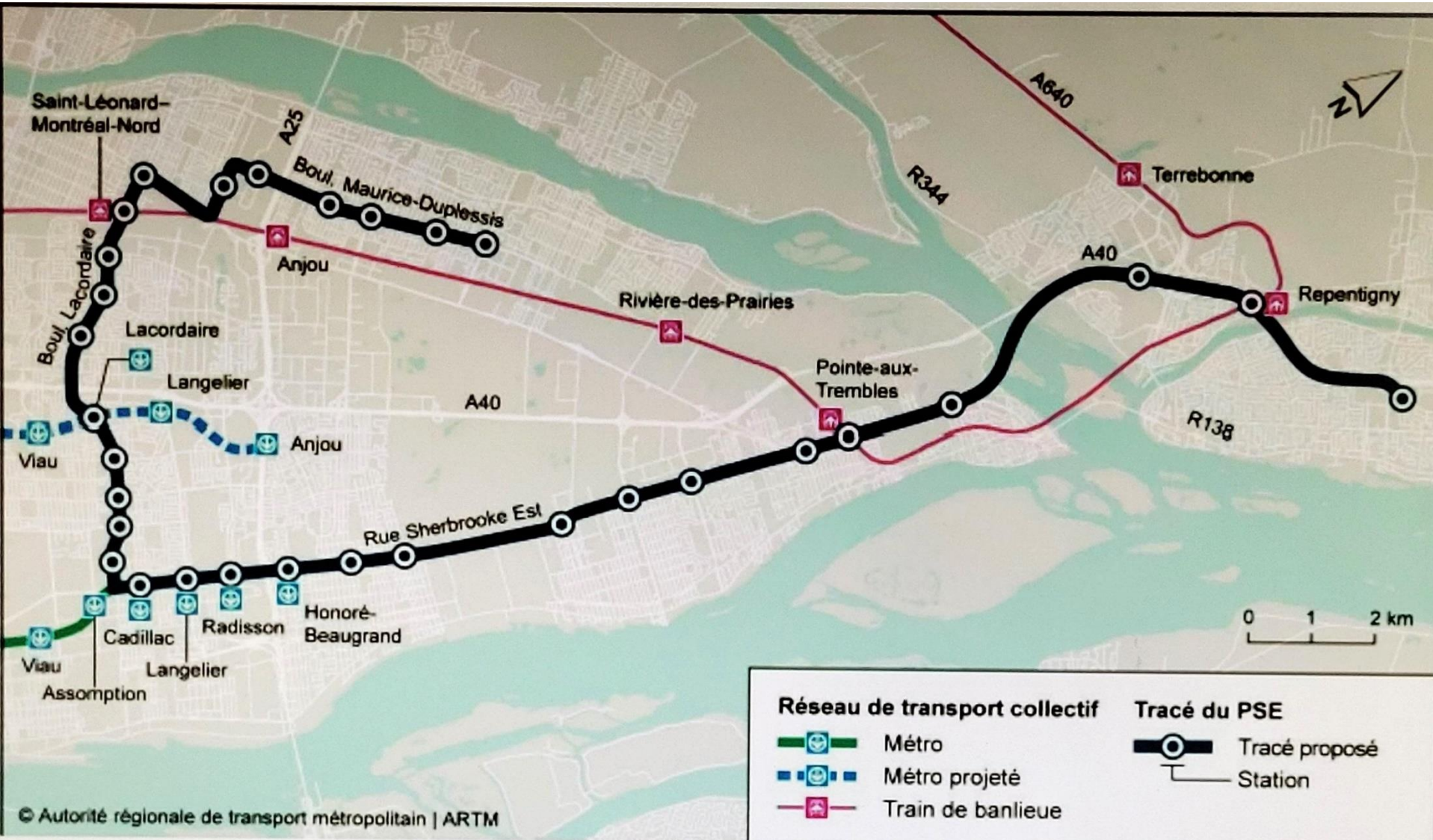
Coûts d'exploitation: SRB *versus* tramway

(Hamilton Study)

	Passa- gers /jour	Km	Pass. /km	Autobus \$ (us) par passager	Tramway \$ (us) par passager	Diffé- rence
Pittsburg	28300	42	671	4.29	6.00	+1.71
Denver	86900	76	1143	3.60	2.17	-1.43
San Diego	122400	86	1422	2.62	1.59	-1.03
Portland	17000	12	1441	3.27	2.04	-1.23
Minneapolis	30100	20	1520	3.20	2.41	-0.79
Houston	38300	21	1859	3.18	1.29	-1.89
Pie IX	70000	13	5385	?	?	

Économie probable : au moins 1.00\$ par passager

Projet Structurant de l'Est : proposition de tramway de l'ARTM



Projet Structurant de l'Est : Choix du Tramway

L'ARTM a prévu un achalandage de 97 000 déplacements /jour.

En fonction de cet achalandage, l'ARTM fait le bon choix de mode.

L'étude confirme que

- Un Skytrain comme le REM, est inacceptable en termes d'impacts sur le milieu urbain.
- Un métro léger souterrain serait trop coûteux.
- Des autobus sur voie réservée, n'ont pas la capacité requise. Un tel réseau serait congestionné dès la première année, avec aucune possibilité d'accroître l'achalandage.
- Le tramway est parfaitement adapté et aurait l'effet d'attirer beaucoup de développement.

Projet Structurant de l'Est : Coûts annoncés

Nouvelle méthode cumulative?

La provision de 50% pour le risque (3,9 G\$) a été calculée sur la contingences de construction de 2,1 G\$?

Peut-être une méthode prudente

Cette méthode n'est jamais utilisée pour les projets routiers (Troisième lien serait à combien ?)

Projet Structurant de l'Est : Coûts pour l'Île et la Rive-Nord (M \$)

Objet	Île de Montréal 63%	Rive nord 37%
Coûts de construction	2 899	1 702 \$
Contingences de construction	1 334	783 \$
Services professionnels	466	273 \$
Gestion de projet	212	124 \$
	4 911	2 882 \$
Stations	28	3
Coûts par station	175	961

Coût implicite du tunnel vers la rive-nord : 2G \$

Projet Structurant de l'Est : Réaménagement des rues

Objet	Coûts MS	Total
Coûts pour 3 station sur la Rive-Nord, incluant le tunnel (37%)		2 882 \$
Coûts pour les 2 lignes sur l'Île de Montréal: 28 stations		4 911 \$

Rappel important pour Montréal :
L'évaluation des coûts inclut le réaménagement complet des rues impliquées.

Tramway Dorval /Lachine /métro

1\$ milliard

40 000 déplacements par jour de semaine (plus avec l'antenne vers LaSalle)

Plusieurs zones avec fort potentiel de développement, dont le futur ÉcoQuartier de Lachine-Est et le centre d'achat de la 32^e Avenue



Expériences nord-américaines: vocabulaire

Exemples	Catégorie	Termes anglais	
Métro Montréal	Métro souterrain	Metro, subway	
Train de Deux-Montagnes	Train de banlieue	Heavy rail transit Commuter train	
Skytrain automatisé	SLR Système léger sur rail	Skytrain LRT Light Rail Transit	Vitesse max 100 km /h
Tram-Train	SLR	LRT	Vitesse max 100 km /h
Tramway	SLR	LRT <i>Streetcar</i> (un wagon)	Vitesse max 70 km /h
Trolleybus	Autobus	Trolley	
Autobus ou bus	Autobus	Bus	

Abus de l'expression SLR, qui inclue des modes différents
Toronto : Nombreuses lignes de *LRT*