Le Tramway Sans Rail intelligent: TSRi

intégré, flexible, fiable, accessible, économique

Document adressé à CDPQ Infra dans le cadre de son mandat d'identifier

« Le meilleur système de réseau de transport structurant pour Québec et sa région »

Denis Poussart
Professeur émérite
Fellow de l'Académie canadienne du génie
Université Laval
poussart@gmail.com

Martine Ouellet
Ingénieure, MBA
Ancienne ministre des Ressources naturelles,
co-responsable de la politique d'électrification des transports
martine.ouelletqc@gmail.com

Clément Gosselin
Professeur titulaire
Fellow de la Société Royale du Canada
Université Laval
gosselinclm@gmail.com

mars 2024

Avertissement

Au moment où CDPQ Infra est appelé à proposer « le meilleur système de réseau de transport structurant pour Québec et sa région » et où nous déposons notre propre contribution à cet égard, l'analyse est confrontée à deux incertitudes majeures:

- L'état des ponts de Québec et Laporte n'est pas connu comme le permettrait la publication officielle d'une analyse technique exhaustive du Ministère des transports. Il y a cependant lieu d'anticiper que des travaux majeurs de réparation ou de remplacement devront être effectués.
- Les données publiées sur la fréquentation du transport public, et en particulier suite à la pandémie Covid, ne sont que fragmentaires : l'anticipation des besoins est caduque et n'a pas été mise à jour. De plus la publication des données origine-destination vient d'être retardée. L'adéquation des moyens est des besoins est donc en cause. La mise en service prochaine d'unités électriques Novabus pourrait cependant permettre de valider certains besoins actuellement non comblés.

Les réflexions, observations et recommandations qui suivent en tiennent compte.

Nous les présentons comme raisonnées et raisonnables, de par la flexibilité de la technologie choisie, la robustesse du tracé rejoignant les deux rives, et la gestion de son déploiement en banlieue.

Les choix retenus permettent des coûts raisonnables, bien inférieurs à ce qu'aurait coûté le tramway, tout en obtenant une couverture beaucoup plus grande et conforme au mandat du gouvernement.

Nous exprimons ici nos opinions personnelles, sans engagement de nos rattachement professionnels. Elles s'appuient sur nos expertises respectives, complémentaires et reconnues par nos pairs. Ce document a été rédigé bénévolement et en absence de tout conflit d'intérêt qui pourrait teinter notre jugement.

Table des matières

Résumé **5**

« Le meilleur système de réseau de transport structurant pour Québec et sa région … » **9**

Comprendre les contraintes fondamentales **10**

Le tracé régional Québec - Lévis - banlieue **11**
- Fondement 11
- Base du tracé recommandé : les analyses détaillées des années 2010 11
- Mise à niveau du tracé initial 13
- Extensions et accès à la banlieue 13
- Observations sur le déploiement 14

La traversée du fleuve: sécuriser le transport collectif inter-rives **15**

Aménagement du territoire **16**

Le Tramway Sans Rail Intelligent (TSRi) **17**
- Confort 17
- Fluidité 17
- Fiabilité 17
- Agilité 17
- Préservation de l'environnement 17
- Coûts modestes 17

Évaluation des coûts pro-forma **18**
- Tracé du réseau régional de la Capitale 18
- Marques de guidage 18
- Voies réservées 18
- Stations pour l'embarquement des passagers 18
- Points de recharge 19
- Gares et stationnements incitatifs (nombre) 19
- Évaluation du coût des gares 20
- Matériel roulant : technologie TSRi 20
- Centre d'exploitation et d'entretien (CEE) 21
- Plans et devis 21
- Conclusion sur les coûts du TSRi 22

Avancées techniques et expertises **23**
Batterie 23
Recharge: profonde au garage ou en appoint le long du parcours? 25
Le TSRi repensé 26
Intelligence artificielle en temps réel : navigation et voie réservée 27
Intelligence artificielle : Québec – Ville intelligente 29

Observations sur la prévision des besoins **30**
Impact de la COVID 30
Transformation future du marché du travail avec l'IA générative 31

Environnement: les avantages du TSRi **32**
Diminution des GES par le transfert modal 32
Réduction importante des impacts sur le tissu urbain: pas de béton, pas de rails, pas de fils et pas de coupe d'arbres 33
Flexibilité du TSRi qui s'adapte à la topographie de la ville de Québec 33
Réduction des nuisances sonores 34
Exiger un développement urbain responsable 34

Conclusion **35**
Susciter un réel transfert modal et ainsi réduire les GES 35
Avec un rapport coût-bénéfice aussi favorable que possible 35
Dans l'accélération des changements et les incertitudes du futur: demeurer agile 35
Mettre en valeur l'expertise québécoise 35
Faire de la Ville de Québec une vitrine mondiale 36

Recommandations **37**

Résumé

Avec la crise climatique qui se fait déjà sentir, le premier objectif d'investissement en transport collectif doit être la réduction des GES, en maximisant la migration modale de la voiture vers le transport public. Il est évident que l'ancien projet proposé d'un tramway, avec un seul axe est-ouest sur René Lévesque, avait relativement peu d'impact sur l'achalandage étant donné qu'il ne reliait pas de nouvelles clientèles. Le BAPE avait bien mentionné qu'il ne produirait pas une augmentation significative de l'achalandage du transport public.

En 2024, il est incontournable de présenter la vision d'un transport collectif qui relie l'ensemble de la région métropolitaine, Québec, Lévis, Charlesbourg, Lebourneuf, l'Aéroport et Beauport.

Doter la ville de Québec et sa région d'un tel réseau de transport structurant représente un défi technique exceptionnel. En effet on y retrouve la combinaison d'un dénivelé de 100 mètres, d'un hiver redoutable, de rues étroites d'une ville ancienne et de la traversée du St-Laurent: ces contraintes sont uniques.

La question du transport public remonte aux années 2010. Elle a fait l'objet d'une tentative d'implantation qui s'est soldée par un échec en 2023: celle-ci a dû être annulée suite aux coûts prohibitifs des infrastructures requises par l'insertion d'un tramway, une technologie inappropriée choisie malgré l'avis contraire du BAPE et le manque d'acceptabilité sociale.

Heureusement, sa reprise se produit à un moment où deux technologies, le stockage par batterie et l'intelligence artificielle, confirment leur performance et leur pertinence : celles-ci sont en voie de transformer radicalement la vision internationale du transport urbain collectif.

Ce qui suit propose la synergie de deux éléments-clé:

1. Le recours à la technologie du *Tramway Sans Rail Intelligent* (TSRi), propulsé par batterie, synthèse réussie des avantages du tramway (confort) et de l'autobus (flexibilité) qui efface leurs défauts respectifs (infrastructures lourdes, capacité limitée). Une analyse pro-forma détaillée confirme que cette technologie permet de rejoindre la grande banlieue de la région à un coût 9 fois inférieur à celui du tramway maintenant rejeté. Utilisant les empreintes des voies réservées déjà existantes – dont la mise à niveau est prévue – la technologie du TSRi autorise une implantation progressive, en harmonie avec celle des nouveaux autobus tout-électriques dont la mise en service vient de s'amorcer.
2. Un grand Réseau Québec-Lévis constitué d'un circuit central qui comporte une suite d'extensions greffées sur le circuit central et qui dessert les banlieues des deux villes

Ce grand réseau, d'une longueur de plus de 70 km, est rendu possible grâce au coût relativement modeste de la technologie du TSRi, lequel provient de sa capacité à circuler sur des voies réservées mises à jour, radicalement plus économiques que l'infrastructure rigide et profonde d'une base bétonnée permanente.

> Comme nulle autre, cette combinaison est apte à répondre au défi de la topographie exceptionnellement difficile de notre région.
>
> Comme nulle autre, elle offre la capacité adaptative nécessaire pour maintenir la qualité du service et s'adapter à l'évolution des besoins dans un avenir de grande incertitude, notamment ceux des nouveaux modes de travail hybride apparus depuis la Covid, et du développement rapide de l'intelligence artificielle générative qui viendra bouleverser l'ensemble du milieu du travail.

Le document recommande que la région exploite les ressources de l'intelligence artificielle pour améliorer la circulation générale, comme d'autres villes sont à le faire. Ici des premiers pas facilitateurs ont déjà été réalisés. Le réseau devra les encourager à ce qu'ils se poursuivent. Avec le concept de la mobilité comme service qui s'y greffera, notre région pourra s'afficher parmi la liste encore restreinte des villes authentiquement intelligentes.

La réalisation du système proposé pourra compter sur une suite de belles capacités industrielles, techniques et scientifiques québécoises.

Sans le moindre doute, particulièrement de par sa configuration qui favoriserait la proximité aux usagers, et de ses extensions vers les quartiers en périphérie, il pourra susciter le transfert modal recherché afin de contribuer aux obligations de l'urgence climatique.

Introduction

Le 20 novembre 2023, madame Guilbeault, vice-première ministre et ministre du transport, a confié un mandat à la Caisse de dépôt et placement du Québec, CDPQ Infra, intitulé *Projet structurant de transport de la Communauté métropolitaine de Québec* afin de lui recommander "la ou les solutions qui permettront d'identifier un projet de transport structurant permettant d'améliorer le transport en commun pour la Ville de Québec et d'améliorer la mobilité et la fluidité dans la Communauté métropolitaine de Québec, notamment entre les deux rives."

Ce mandat couvre donc les Villes de Québec et de Lévis, leurs banlieues respectives sur les 2 rives, en visant un accès facilité à certains secteurs plus éloignés comme Sainte-Brigitte-de-laval, la côte-de-Beaupré, Neuville ou encore Saint-Étienne de Lauzon, secteurs qui sont aussi directement touchés par l'engorgement de la circulation sur le territoire ciblé.

Le décret gouvernemental a suivi la décision, communiquée au maire le 7 novembre 2023, de soustraire la Ville de la maîtrise de réalisation du projet de tramway engagé depuis plusieurs années. Cette décision faisait vraisemblablement suite à l'explosion des coûts du projet[1] et au déficit chronique et grandissant de son acceptabilité publique[2].

Le mandat confié à CDPQ Infra nous convie aussi à suggérer des éléments de solution, d'où le présent document.

Le domaine du transport public urbain a beaucoup évolué, en particulier avec de nombreuses considérations sociales et environnementales qui se sont ajoutées. Au plan technique, au-delà de la fonctionnalité, nous affirmons que le choix judicieux doit s'articuler autour de filières technologiques déjà mûres et validées, *mais qui s'inscrivent aussi dans les perspectives fortes du long terme*. Il doit aussi respecter des impératifs sociaux et environnementaux.

[1] Entre 2018 et fin octobre 2023, le coût total du projet de tramway de Québec a connu une hausse fulgurante, passant du 3,3 $G initial à une évaluation de 12 à 13 G$, pour revenir soudainement à 8,9 G$, ceci alors que certains éléments du projet initial avaient été soustraits. Cette hausse de plus de 300% dépasse considérablement les effets de l'inflation. A notre sens, elle relève d'une analyse plus réaliste des aléas inhérents à l'incompatibilité physique d'une infrastructure de tramway dans un site aussi peu propice que la ville de Québec.

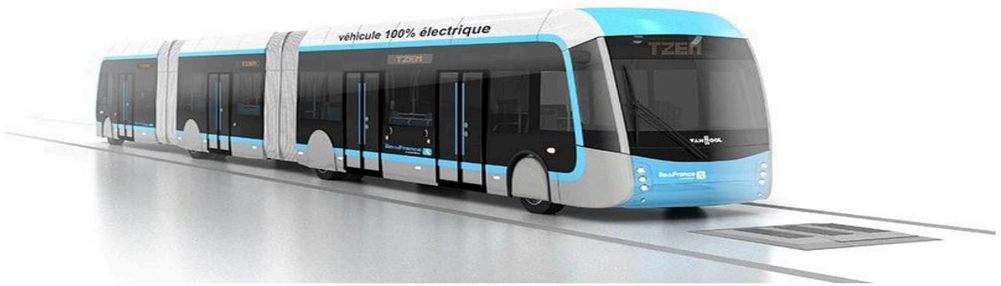
[2] Les sondages ont toujours mesuré un niveau d'acceptation sociale minoritaire. Ce niveau se situait autour de 36 % en octobre 2023 : https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2021781/sondage-appuis-tramway

C'est ainsi que nous mettons de l'avant le *Tramway Sans Rail Intelligent* (TSRi).

Nous désignons ainsi un tramway libéré de ses rails et de ses caténaires. Cette technologie est fréquemment nommée sous d'autres appellations, comme *Trambus*. Nantes, par exemple, les appelle des E-BusWay. En anglais l'étiquette Trackless est fréquente[3]. Il s'agit d'une technologie innovante, issue d'avancées techniques majeures et choisie dans l'expansion de nombreuses villes : il n'y a là rien de surprenant car elle possède d'immenses avantages intrinsèques.

Notre choix du TSRi vient de ce qu'il se trouve remarquablement compatible avec la topographie et l'environnement géographique de notre ville et de sa région. Cette conformité se traduit par un coût raisonnable. Le TSRi offre de plus une pleine flexibilité vis-à-vis l'incertitude de certains besoins futurs.

Exemples de TSRi:



Le TSRi Van Hool choisi par Île-de-France Mobilités en 2022

Le TRSi *Exquicity* (Hess) choisi par la ville de Nantes en 2019

[3] Voir Is it a bus? Is it a train? Notes on transport naming, https://www.sydney.edu.au/business/news-and-events/news/2018/03/05/bus-or-train-notes-on-naming.html

« Le meilleur système de réseau de transport structurant pour Québec et sa région … »

Nous projetant dans les décennies à venir, si le futur réseau de transport urbain se confirme comme avoir été le meilleur, ***c'est qu'il aura réussi à inciter une importante migration modale de la voiture à un transport collectif public "propre".***

Cet objectif repose sur la réalisation de 5 conditions essentielles, soit un système

1. dont l'usager perçoit spontanément la qualité : fluide, efficace, fiable, ponctuel, confortable, silencieux, agréable,
2. qui dessert toute la Communauté métropolitaine de Québec avec un nombre minimal de transferts,
3. qui minimise les impacts environnementaux tels que les émissions de GES, la coupe d'arbres, le bruit et la vibration, la pollution visuelle,
4. dont le coût demeure modeste malgré les défis particuliers de notre territoire, et qui n'impose pas une lourde hypothèque financière présente et future.
5. qui pourra s'adapter, sans investissement majeur, à l'évolution rapide des besoins en mobilité reliés au bouleversement du milieu du travail qu'entraînera la croissance de l'intelligence artificielle.

Comprendre les contraintes fondamentales

A l'évidence, toute implantation d'un système de mobilité urbaine doit s'effectuer en harmonie avec son terrain – physique, social et environnemental. Il s'agit d'une obligation fondamentale de tout projet d'ingénierie d'envergure.

Les contraintes physiques de la région de Québec sont très sévères :

1- La topographie de la ville de Québec s'étend sur plusieurs plateaux, entraînant un dénivelé de l'ordre de 100 mètres, entrecoupé de falaises relativement abruptes. Les côtes y sont nombreuses et exigent un entretien assidu.

2- Son hiver est exceptionnellement rigoureux, avec de fortes chutes de neige[4]. Le dégagement des rues exige que le passage des chasse-neiges et de leurs camions ne soit pas obstrué par le transport public. Avec le réchauffement climatique, la présence de verglas est devenue plus fréquente.

3- Québec, ville relativement ancienne, possède des rues et avenues relativement étroites, ce qui conditionne le déploiement d'un système de transport collectif – le choix de sa technologie comme de son tracé. Cette considération est primordiale[5] car le coût de l'ensemble est typiquement dominé par celui des travaux à effectuer[6].

4 - Dans les dernières décennies, la croissance de la population a entraîné l'étalement urbain et l'accroissement de la banlieue. La desserte de cette population est essentielle et cette exigence est explicitée dans le mandat confié à CDPQ Infra. Ce paramètre n'apparaissait pas dans le projet de tramway récemment annulé. Aujourd'hui il entraîne encore davantage l'obligation de choisir une solution qui offre une rapport qualité-coût élevé.

[4] La ville de Québec reçoit typiquement 3 mètres de neige chaque année.

[5] Le 4 avril 2022, nous avons transmis à Madame Guilbault un document détaillé lui signalant ce type de contrainte. On y trouve un tableau de la largeur entre trottoirs en plusieurs endroits du boulevard René Lévesque, comme celle de 12,8 m à l'intersection de la rue Cartier. Ce document, de Denis Poussart et co-signé par Jacques Huot, Ing., est encore disponible à l'adresse https://docs.google.com/document/d/1d3RgauHjBYWMIPgqPmNP_i1K2GJvw0gDWSK7U7Dve6w/edit?pli=1

[6] L'étroitesse des rues nous semble parmi les sources d'augmentation des coûts estimés, au fur et à mesure que l'analyse plus fine a mieux tenu compte de cette question. Dans le projet du tramway – épaisse dalle de béton à ménager sur 20 km, déplacement des aqueducs et égouts, tunnel – l'étroitesse forçait à procéder à de gros travaux en phases plus nombreuses et entre-coupées par les hivers, à creuser des tranchées profondes dont on doit consolider les parois verticales pour remplir les exigences de la CST. Le coût d'évacuation et de remplissage des excavations (d'un volume, selon J. Huot, Ingénieur. estimé à 65 000 voyages aller-retour de camions de 20 tonnes) était aussi considérable.

5 - À ces contraintes s'ajoute celle - impérative - que ce réseau rejoigne la ville de Lévis, et qu'il s'intègre au réseau d'autobus RT-Lévis[7].

Le passage obligé entre les deux rives introduit une problématique additionnelle avec l'état de santé des deux ponts. Cette question n'a jamais été abordée: lors des études de 2010, cet état n'a pas semblé être suffisamment préoccupant pour retenir l'attention des analyses. Quand ou projet de tramway, il l'a tout simplement ignoré, comme il a ignoré une foule de paramètres, avec les conséquences que l'on connait.

La suite de ce document aborde cette question de front et en propose une solution.

Le tracé régional Québec - Lévis - banlieue

Fondement

Dans la perspective de maximiser le transfert modal pour diminuer le nombre de véhicules, un seul tracé est-ouest couvrant seulement la rive-nord ne peut, en aucun cas, répondre au besoin. Il est essentiel de relier premièrement Lévis, mais aussi les quartiers que sont Charlesbourg, Lebourneuf, Beauport, Ancienne Lorette et l'aéroport. Nous présentons donc une vision intégrée du transport collectif permettant aux résidents de la grande région de la Capitale de s'interconnecter au TSRi, par un système de rabattement ou par l'utilisation des stationnements incitatifs qui prévoient des espaces pour les vélos et des services de mobilité tels que *Communauto* aux gares de desserte des quartiers.

Depuis le dépôt du « Plan de mobilité durable de la Ville de Québec » en juin 2010, le grand projet de bâtir un réseau structurant a été au cœur de l'actualité. Aujourd'hui, presque 15 années plus tard, et dans le contexte particulier de la pause décrétée par le Premier Ministre du Québec, l'heure est venue de choisir les bonnes pièces de ce grand puzzle et de les placer aux bons endroits.

Base du tracé recommandé : les analyses détaillées des années 2010

La configuration que nous recommandons se fonde sur un tracé de référence qui a été développé en 2011 dans le cadre du *Rapport final - Étude faisabilité Tramway SRB*[8] coordonnée par le Ministère des transports du Québec ainsi que les Ville de Québec et de Lévis. Plusieurs experts y ont collaboré, notamment le Consortium CIMA, AECOM, SETEC ainsi que Roche, SNC Lavalin, et leurs partenaires, Régis Côté groupe. Pendant presque dix années, le tracé dont il est question ici a été mis à l'épreuve et maintenu par les autorités politiques, administratives et par les experts qui ont travaillé de concert à faire avancer une vision commune; il est préfacé et co-signé par le maire de Québec à l époque, Régis Labeaume, et par le maire actuel de Lévis, Gilles Lehouillier[9].

[7] Comme le RTC de Québec, celui-ci s'est vu octroyé un certain nombre d'autobus électriques NovaBus LSE+.

[8] *Rapport final - Étude faisabilité Tramway SRB,* https://tramwaydequebec.info/docs/etude-faisabilite-technique/05-MANDAT%205%20RAPPORT%20FINAL%20%C3%89TUDE%20FAISABILIT%C3%89/RP_ET%20TWAY%20SRB_VF.pdf

[9] En mars 2018, quelques mois après les élections municipales, ce tracé a subitement été mis de côté, sans consul-

tation ni explication: l'interconnexion avec Lévis est disparue pour subitement donner place au projet de tramway de Québec circulant sur le Boulevard René-Lévesque et sans déserte de la rive sud.

Cette reprise du tracé de base initial – lequel privilégiait le Boulevard Charest – comporte plusieurs avantages. Le boulevard René Lévesque est déjà développé au niveau urbain et la qualité de vie liée au tissus social et environnemental doit être préservée et même bonifiée. Nous ne pouvons nous permettre de détruire l'existant, couper les arbres pour construire des édifices de dizaines d'étages qui viendront défigurer le quartier. Il faudra aussi prévoir des liens qui relient la haute-ville à la basse ville aux différentes stations le long du boulevard Charest pour traverser l'escarpement de la colline.

Mise à niveau du tracé initial

Tel que schématisé sur la figure, ce tracé comprendrait un circuit central qui relie Québec à Lévis: d'un tronçon du boulevard Guillaume-Couture à Lévis, il traverse le fleuve par le pont de Québec, suit le boulevard Laurier jusqu'à l'université Laval, puis rejoint le boulevard Charest jusqu'au Carré Jacques-Cartier.

Ce trajet comporte plusieurs segments avec une pente prononcée; cet aspect ne pose aucun problème au TSRi.

Des gares avec stationnements incitatifs sont prévues à de multiples endroits, comme à l'intersection de l'autoroute Duplessis (540) et du Chemin des Quatre-Bourgeois, au croisement de la route 132 et du Chemin du Sault, de la route 132 et de la 4e Avenue et finalement au pôle Desjardins pour desservir les résidents de Lévis et plus au sud.

Extensions et accès à la banlieue

Afin de maximiser le transfert modal, le circuit central n'est pas suffisant. Il est essentiel de permettre aux résidents des quartiers en périphérie du centre-ville de rejoindre le centre-ville avec un transport collectif efficace et confortable pour qu'ils aient un réel avantage à délaisser l'automobile. Le coût du TSRi au km étant presque 9 fois moins cher que ne l'aurait été le Tramway (voir plus loin), il devient tout à fait économiquement possible d'envisager des extensions vers ces quartiers.

Cette proposition comporte la construction de gares et de stationnements incitatifs destinés à faciliter le transfert modal de l'automobile vers le transport public.

Ligne jaune : Charlesbourg - Parc du Moulin

La ligne jaune part du circuit central (ligne bleue), emprunte la 73 avec une première gare et stationnement incitatif à l'intersection de la route 369 à Charlesbourg, pour se rendre dans Orsainville au Parc du Moulin, avec une 2^{e} gare et stationnement incitatif. Elle desservira donc de nombreux résidents et permettra un accès facile pour les citoyens aux espaces verts que constitue le Parc du Moulin.

Ligne orange : Lebourneuf - Wendake

La ligne orange part du circuit central (ligne bleue), emprunte le boulevard Robert Bourassa pour desservir Lebourneuf et se rendre aux installations touristiques de Wendake. Elle desser-

vira aussi les résidents de Neufchâtel est. Nous proposons un 1er stationnement incitatif à l'intersection du boulevard Robert Bourassa et de la route 358, et un 2e à l'intersection de la route 369 et de la rue des Dames-Ursulines.

Ligne verte : Aéroport - Ancienne Lorette- Val Bélair

La ligne verte part circuit central avec une gare à l'intersection de l'autoroute Duplessis et du chemin des Quatre-Bourgeois, pour desservir les résidents à l'ouest du tracé avec une gare et un stationnement incitatif. Elle se poursuit ensuite en suivant l'autoroute Duplessis jusqu'à l'aéroport où une 2e gare ainsi qu'un stationnement incitatif à l'intersection de la route de l'Aéroport et la route Principale desservent le quartier Ancienne Lorette ainsi que l'Aéroport. Elle finit sa route avec une 3e gare à la jonction de la route de l'Aéroport et de la Montagne et un stationnement incitatif pour desservir les résidents de Val Bélair et plus au nord.

Ligne violette : Estimauville - Beauport

La ligne violette part du circuit central, emprunte la route 360 est pour une première gare à Estimauville avec stationnement incitatif. Elle poursuit sa route avec une 2e gare à l'intersection de Seigneurial. Elle bifurque pour rejoindre la route 369 et se termine au Centre de Plein Air Beauport avec une 3e gare et stationnement incitatif. Cette 3e gare dessert l'ensemble des quartiers au Nord et donne aussi un accès en TSRi à une infrastructure nature que constitue le Centre de Plein Air Beauport à l'ensemble des résidents de la région de la Capitale.

Desserte de Lévis et accès externes

Le passage du circuit central sur le boulevard Armand-Couture, la disponibilité de stationnements incitatifs, et la liaison directe avec la rive Nord, à proximité du Pôle Desjardins, fournissent l'armature d'une couverture de qualité du transport public par le TSRi dans cette région en expansion rapide.

Sur la rive nord comme sur la rive sud, le réseau prévoira évidement des liens de communication avec les régions situées à l'externe de la Capitale.

Les traversiers existants

Notre proposition assume que les traversiers existants, qui font la navette entre les deux parties basses de nos centres-villes sont non seulement préservés, mais leur fréquence est augmentée pour offrir une traversée du fleuve de centre-ville à centre-ville pour le transport actif. Ils font partie intégrante de la vision globale que nous avons développée et proposons pour Québec.

Observations sur le déploiement

En principe, le coût modeste du tramway sans rails – dont nous justifions le choix dans les pages qui suivent – maximise le déploiement des interconnections qui permettront au plus grand nombre d'adopter le nouveau grand réseau structurant sur notre territoire commun.

Deux questions suscitent cependant la prudence quant au calendrier et à l'ordonnancement de ce déploiement.

Une première, très sérieuse, relève de l'absence de mise-à-jour des données origine-destination dont on apprenait récemment qu'elles ne seraient probablement pas disponibles avant 2025[10], ce qui s'joute au fait que les prévisions générales de fréquentation remontent à la période pré-pandémie et sont donc caduques.

Une seconde, favorable, concerne la réception progressive des 113 unités électriques Novabus LFSe+ dont la mise en service est déjà amorcée en mode expérimental[11]. Il est concevable - et nous le recommandons si la chose s'avère administrativement possible - que, dans un premier temps, le RTC utilise ces nouvelles unités au delà des circuits de banlieue actuels pour obtenir une appréciation qualitative d'impact d'ici à ce que des données validées soit disponibles.

En tout état de cause, le détail du tracé régional augmenté que nous proposons ici n'est présenté qu'à titre indicatif. Il devra être revu de façon à assurer un arrimage efficace avec les autobus électriques prochainement mis en service par le RTC et le RTLévis.

La traversée du fleuve: sécuriser le transport collectif inter-rives

Le Réseau de transport ciblé exige la disponibilité ininterrompue d'un des deux ponts – de Québec où Laporte – pour relier la Capitale nationale et sa banlieue. Cette liaison est critique.

- Or les commentaires publics signalent un état de dégradation des deux ponts, alors que des réparations d'urgence sont en cours.
- Nous ne disposons pas de données officielles à cet égard, ni de l'expertise pour commenter l'action qui pourrait s'avérer nécessaire, mais le remplacement ou une réparation d'envergure d'un des ponts, entrainant une fermeture complète et prolongée du passage inter-rives est plausible; elle entrainerait une rupture opérationnelle du réseau.
- En tout état de cause, *dés à présent,* il est fréquent que des travaux de routine forcent la fermeture temporaire d'un des deux ponts et que toute la circulation soit alors déviée sur l'autre pont. Il est donc essentiel que le moyen de transport ait la flexibilité de pouvoir s'adapter d'un tel re-routage.
- À l'évidence toute décision responsable sur le futur réseau structurant doit tenir compte de cette contrainte incontournable.
- **La technologie TSRi, couplée à celle des *Voies Réservées intelligentes* (voir plus loin) est la seule qui puisse le faire avec son agilité.**

[10] *Enquête Origine-Destination : probablement pas de nouvelles données pour la CDPQ Infra,* https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2048224/enquete-deplacement-mobilite-mandat-cdpq

[11] *Le RTC accueille les premiers clients à bord de ses autobus électriques,* https://www.rtcquebec.ca/medias/communiques/le-rtc-accueille-les-premiers-clients-bord-de-ses-autobus-electriques

Aménagement du territoire

L'aménagement du territoire revêt une importance cruciale dans la planification du tracé et la réussite du transfert modal pour le projet de transport collectif structurant prévu pour les villes de Québec et de Lévis. Ce projet doit être pleinement intégré dans une vision d'aménagement du territoire axée sur l'accessibilité au transport collectif pour l'ensemble des citoyens, des étudiants, des familles et des travailleurs.

Les urbanistes et les architectes sont des acteurs essentiels dans cette démarche, appelés à repenser le développement urbain dans une perspective de justice climatique. Il est impératif de réserver des terrains pour la construction de logements abordables, de promouvoir les espaces verts, et de planifier les nouveaux développements selon les normes les plus élevées en matière d'efficacité énergétique. Des considérations telles que la géothermie et les diverses mesures d'adaptation à la crise climatique, telles que la réduction des îlots de chaleur, les toits verts ou blancs, la gestion des eaux de ruissellement et la protection de la canopée, doivent être intégrées dès la phase de planification.

La conception des nouvelles constructions doit favoriser la vie de quartier en offrant des services de proximité, des espaces verts et des infrastructures pour la mobilité active. Il est également essentiel de prendre en compte la revitalisation des secteurs dévitalisés afin de les transformer en espaces dynamiques et attractifs.

Les urbanistes et les architectes possèdent l'expertise nécessaire pour proposer un modèle de développement urbain novateur, conciliant beauté et adaptabilité tout en améliorant la qualité de vie des habitants. En travaillant de concert avec les autorités responsables du projet de TSRi, ils peuvent contribuer à façonner un environnement urbain responsable et agréable pour les générations à venir dans la région de Québec.

En fournissant un accès direct généralisé, la mise en œuvre d'un circuit central autour des deux rives, avec ses extensions vers les quartiers résidentiels, nous apparaît comme la meilleure manière d'envisager la mise en place d'un grand projet de transports collectif et actif pour Québec et sa grande région.

Pour emprunter un chemin garant de projets acceptables et efficients, il faut s'assurer que les principes de la Loi québécoise sur le développement durable soient respectés en tout temps. Et ne jamais oublier que les étapes d'études, d'information, de consultation, d'amélioration des projets, bref, que les contributions d'expertise – professionnelle et citoyenne – sont essentielles. Nous devons faire nos devoirs dans une perspective de moyen et long terme en intégrant la qualité de vie des citoyennes et citoyens comme objectif ultime dans un environnement de changement climatique et de travail que constituent le télétravail et l'impact en devenir de l'intelligence artificielle. L'agilité doit devenir le mot d'ordre dans la planification de nos infrastructures de transport collectif.

Le Tramway Sans Rail Intelligent (TSRi)

Le TSRi est une technologie innovante qui procure de multiples avantages. Elle bénéficie de la souplesse que procure la source d'énergie par batterie et de l'intégration de certains aspects de l'intelligence en matière d'autonomie (capteurs, informatique embarquée, interfaces).

Voir la Section *Avancées techniques et expertises* pour détails sur cette technologie

Confort

- Aménagement intérieur similaire à un tramway
- Plancher bas, grande accessibilité
- Douceur de roulement sur pneumatiques, suspension adaptative
- Silence intérieur et extérieur
- Absence de vibrations induites dans le voisinage

Fluidité

- Entrée et sortie à l'avant et à l'arrière des unités, circulation le long de la rame
- Roule sur des voies réservées dont il contrôle lui-même la priorité par une signalisation intelligente
- Se déplace sous conduite humaine assistée ou en mode autonome, selon son infrastructure

Fiabilité

- Maîtrise des côtes par l'adhérence supérieure des pneus
- Absence de caténaires : immunité au verglas
- Absence du contact métal-métal, d'aiguillages ou de caténaires à déglacer
- Fonctionnement sécuritaire d'une ressource considérée comme critique, gérée par un ensemble de capteurs et de moyens informatiques et de communications en temps-réel, embarqués et centralisés.
- Absence de point de rupture unique, substitution rapide en cas de problème

Agilité

- Aligné sur les développements des moyens contemporains de transport intelligent et autonome
- Déploiement progressif, sans travaux majeurs, mise en service progressive sur le réseau
- Routage peut être rapidement modifié en cas de besoin
- Tracé éventuellement modifiable avec évolution de la population ou des besoins

Préservation de l'environnement

- Impacts environnementaux relativement faibles lors de la construction
- Impact sur les émissions de GES quasi nul pour l'opération des véhicules
- Empreinte minimalement invasive, impact faible sur la canopée

Coûts modestes

- Solution à coût modeste due à une infrastructure relativement légère
- Intégration harmonieuse avec la flotte d'autobus électriques Novabus LFSEe+, tant pour la recharge que pour l'expertise en formation et maintenance.

Évaluation des coûts pro-forma

Tracé du réseau régional de la Capitale

1. Trajet Circuit central Québec – Lévis (ligne bleue sur le dessin): 30.9 km
2. Trajet Aéroport – Val Bélair (ligne verte): 13.5 km
3. Trajet Lebourneuf – Wendake (ligne orange): 9.4 km
4. Trajet Charlesbourg – Parc du Moulin (ligne jaune): 12.4 km
5. Trajet Beauport (ligne violette): 7.9 km

Un total de 74 km

Marques de guidage

Le coût d'installation d'un TSRi est estimé à 2 M US$[12] par km pour l'installation des pilotes[13] insérés dans la route pour faciliter son guidage. Comme il y a deux voies par trajet; une pour l'aller et l'autre pour le retour, cela donne 148 km de voie à couvrir.

Donc 74 km de trajet x 2 voies par trajet x 2M US$/km[14] = 400 M$

Voies réservées

Il devra probablement y avoir des travaux pour mettre à niveau les voies réservées. Comme nous n'avons pas le détail de ces travaux, nous nous basons sur une évaluation qui a été faite pour le projet de tramway initial. Avec la révision des coûts, en juin 2020, nous avons appris que ce sont 84.7 M$[15] qui étaient prévus pour 34.9 km de voies réservées. En faisant une règle de trois pour les 74 km de trajet avec deux voies; une pour l'aller et l'autre pour le retour, nous arrivons à 358 M$ pour les 148 km de voies réservées.

L'expérience démontre que l'entretien des voies réservées nécessitera une sous couche en béton pour éviter les sillons qui risquent de se creuser par les passages fréquents du TSRi comme ce qui se fait pour plusieurs tronçons d'autoroute avec le passage des camions lors des réfections de la chaussée[16]. Ces coûts n'ont pas été évalués et ils devront être pris en considération dans l'entretien des voies réservées.

Stations pour l'embarquement des passagers

Le tramway initial de Québec avait 33 stations pour 20 km. En faisant une règle de trois nous pouvons évaluer le nombre de stations à environ 244 stations pour 74 km en prenant le scénario le plus coûteux soit celui des voies réservées à droite de la chaussée qui ne permettent pas un partage des stations. Si les voies réservées étaient centrales, il y aurait donc une économie sur cet élément.

[12] https://bee-eng.com/art-le-tramway-sans-rails-et-autonome-chinois/

[13] https://www.youtube.com/watch?v=HTBIcJenRUQ

[14] Taux de change à 1.35$ canadien pour 1 $ américain

[15] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1715981/tramway-quebec-abandon-trambus-labeaume-finances-transport-commun

[16] *Do Trackless Trams need stronger roads? – the "weight" of evidence,* https://trid.trb.org/View/2239970

Nous estimons le coût d'une plateforme pour une station à 170 000$ basé sur les prix de BC transit Shelter[17] et de station à Melbourne[18] avec un toit vert et avec une bonne marge de manœuvre. Donc 244 stations x 170 000$ par abris nous donne 42M $ pour l'installation des stations d'embarquement pour les passagers du TSRi.

Points de recharge

La technologie des batteries a beaucoup évolué dans les dernières années et continuera d'évoluer grandement. Il sera important d'avoir un groupe de veille sur l'avancement technologique. Dans les premiers modèles de véhicules de transport collectif électrique, il était prévu de faire plusieurs recharges rapides le long du parcours. Chicago, qui est une ville qui connait également l'hiver, a adopté la recharge en bout de parcours[19]. C'est l'approche que nous retenons pour faire l'estimé des coûts. Il est toutefois à noter que les différents experts s'entendent pour dire que dans le futur proche, avec l'évolution de l'efficacité des batteries, ce sera la recharge en garage qui sera privilégiée. Il faudra donc effectuer une veille technologique rapprochée pour cet élément.

Nous avons 5 Trajets. Cela nous donne donc 10 points de recharge en fin de parcours. Nous ajoutons un point de recharge le long du parcours du Trajet Québec-Lévis par mesure de sécurité, pour un total de 11 points de recharge équipés de 4 chargeurs chacun. Cela nous donne donc 44 chargeurs.

Coût du chargeur : 150 000 $[20] Donc 150 k$ x 11 points de recharge équipés de 4 chargeurs chacun = 6.6 M$ pour les points de recharge.

Gares et stationnements incitatifs (nombre)

Il devra y avoir une gare à l'extrémité de chacun des tracés. Ainsi que des gares pour desservir les clientèles des quartiers.

- Pour le Circuit central Québec – Lévis, nous proposons un 1er stationnement incitatif à l'intersection de la 540 et Chemin des 4 Bourgeois, un 2e à l'intersection 132-4e avenue et finalement un 4e stationnement incitatif à la Station Desjardins. Donc 4 stationnements incitatifs.
- Pour le Trajet Aéroport – Val Bélair, nous proposons un stationnement incitatif à l'intersection de la route de l'Aéroport et de la rue Principale ,qui desservirait l'aéroport de Québec et Ancienne Lorette, et un 2e à l'intersection de la route de l'Aéroport et de la rue de la Montagne qui desservirait Val Bélair. Donc 2 stationnements incitatifs.

[17] https://www.bctransit.com/documents/1529710350967

[18] https://www.melbourne.vic.gov.au/community/greening-the-city/urban-forest-fund/funded-projects/Pages/tram-stop-green-roofs.aspx

[19] https://apnews.com/article/chicago-electric-bus-cold-weather-eea4314383f4678c01d78ff202936d68

[20] Basé sur le coût du chargeur rapide de 110 000$ avec une marge, https://roulezelectrique.com/quelle-technologie-pour-les-autobus-electriques-recharge-lente-ou-recharge-rapide/

- Pour le Trajet Lebourgneuf - Wendake, nous proposons un 1er stationnement incitatif à l'intersection du boulevard Robert Bourassa et de la route 358 et un 2e à l'intersection de la route 369 et de la rue des Dames-Ursulines. Donc 2 stationnements incitatifs.
- Pour le Trajet Charlesbourg - Parc du Moulin, nous proposons un 1er stationnement incitatif à l'intersection des routes 73 et 369 qui desservirait Charlesbourg et un 2e stationnement incitatif au Parc du moulin qui desservirait Orsainville. Donc 2 stationnements incitatifs
- Pour le Trajet Beauport, nous proposons un 1er stationnement incitatif à la station d'Estimauville, un 2e à l'intersection des routes 360 et Seigneuriale et un 3e stationnement incitatif au Centre de plein air de Beauport. Donc 3 stationnements incitatifs

Pour un total de 13 gares avec stationnements incitatifs.

Évaluation du coût des gares

Basé sur les coûts de construction de la nouvelle gare Vaudreuil Dorion[21] de 22,3 M$, nous évaluons le coût pour la construction d'une gare de TSRi à 25 M$. Comme nous avons 13 gares, cela nous donne 325 M$

Stationnements incitatifs

Pour chacune des gares, il faudra construire un stationnement incitatif. Comme estimé des coûts, nous nous basons sur celui du stationnement incitatif souterrain du pôle échange Sainte-Foy de 37 M$ pour 342 places. Ce coût est relativement élevé comme les stationnements sont souterrains. Nous avons arrondi le chiffre à 40 M$. Le choix reste libre de construire le stationnement incitatif en souterrain ou en surface. Il est évident que pour le même prix, un stationnement incitatif en surface permettra un nombre beaucoup plus grand de places de stationnement. Comme il faudra un stationnement incitatif pour chacune des 13 gares cela nous donne 520M$ pour les stationnements incitatifs.

Matériel roulant : technologie TSRi

Le coût d'une unité est évalué à 2.2 M US $[22]. Chaque rame TSRi pourra comprendre de 1 à 5 unités, qui pourront accueillir de 100 à 500 personnes.

Selon nos consultations d'experts du transport collectif, il faudrait 75 à 96 wagons pour le tracé du projet initial de tramway de Québec pour assurer un bon service. En prenant le chiffre le plus élevé de 96 unités pour assurer un service aux 10 minutes, cela nous donne 8 rames de 3 wagons pour chacune des 2 voies pour un trajet de 10 km.

Avec une règle de trois basée sur le kilométrage cela nous donne le nombre de 355 unités nécessaires pour l'ensemble du réseau régional de la Capitale que nous proposons.

Soit 355 wagons x 2.2M US $[23]/wagon = 1 055 M$ pour le matériel roulant.

[21] https://www.neomedia.com/vaudreuil-soulanges/actualites/societe/410212/une-gare-de-223-millions-de-dollars-a-vaudreuil-dorion

[22] Documentaire de CNBC, https://youtu.be/cRF8sz5HC6U

[23] Taux de change de 1.35 $ canadien pour 1$ américain

Station du trambus de Melbourne
Source : Render by Realview Studio + Yarra Trams 2022
https://www.melbourne.vic.gov.au/community/greening-the-city/urban-forest-fund/funded-projects/pages/tram-stop-green-roofs.aspxgreen-roofs.aspx

La métamorphose de la gare de Vaudreuii, 2020
https://www.neomedia.com/vaudreuil-soulanges/actualites/societe/410212/
une-gare-de-223-millions-de-dollars-a-vaudreuil-dorion

Centre d'exploitation et d'entretien (CEE)

Comme le projet que nous présentons comporte un nombre d'unités substantiellement plus grand de véhicules que le projet initial, nous proposons l'implantation de 2 centres d'exploitation et d'entretien, alors que le projet initial n'en proposait qu'un seul. Nous évaluons le coût d'un CEE à 500 M$ basé sur les coûts du Garage métro Côte Vertu[24]. Nous considérons cette évaluation très élevée. Il y aurait très certainement des efforts de réduction de coûts à réaliser. Sans effort de réduction de coût, cela donne donc un coût total de 1 000 M$ pour les deux CEE qui est donc un coût très conservateur.

Plans et devis

Le coût des plans et devis est évalué à 200 M$. Nous basons cet estimé sur les coûts des plans et devis du tramway initial de Québec de 215,3 M$[25]. Nous considérons qu'avec toute la réflexion et les évaluations déjà réalisées, il devrait y avoir des économies substantielles mais pour rester conservateur nous indiquons 200 M$.

[24] https://www.journaldemontreal.com/2020/05/23/une-explosion-des-couts-a-la-stm

[25] https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl/?id=00000146900

Conclusion sur les coûts du TSRi

Ces estimés sont évidemment sujets à caution. Les sources de coûts afférents sont multiples (assurance, frais de financement…). Globalement nous les estimons cependant valables car certains ont sciemment été augmentés par mesure de précaution.

Cela nous donne un coût estimé de 69 M$ du km comparativement à 625 M$ du km pour le projet du tramway traditionnel de Québec. Nous parlons donc d'un coût plus de 9 fois moins cher avec la technologie du TSRi.

Description	Coûts
Installation des marques de guidage	400 M$
Voies réservées	358 M$
Stations	42 M$
Points de recharge	6.6 M$
13 gares	325 M$
13 stationnement incitatifs	520 M$
Technologie du TSRi matériel roulant	1 055 M$
Centre d'exploitation et d'entretien	1 000 M$
Plan et devis	200 M$
Sous-total	**3 907 M$**
Gestion 15%	586
Imprévu 15%	586
Total	**5 079 M$**

Il découle de cet exercice que la technologie TSRi que nous préconisons projette une économie considérable: pour bien moins que les estimés du projet de tramway traditionnel (12.5 G$) la région obtient une desserte près de 4 fois plus considérable (74 km contre 20 km) rejoignant de surcroît Lévis sur la rive-sud. Le TSRi est tout aussi comparable en termes de capacité, tout aussi confortable, beaucoup plus flexible et beaucoup moins cher pour les contribuables que le tramway traditionnel sur rails avec fils.

Avancées techniques et expertises

L'innovation d'un nouveau type de véhicule de transport urbain – que nous dénommons TSRi – est apparue en Chine en 2018[26]. Cette avancée a été principalement motivée par la montée industrielle de la batterie électrique comme source de stockage et de distribution flexible d'énergie et par le désir de s'affranchir des contraintes du tramway. La commercialisation et la diffusion du concept a été rapide, d'abord en Chine (BYD, CRR), puis en Europe par Hess[27] et Van Hool[28]. Ses avantages étant convaincants, de nombreuses villes l'ont adopté, soit pour la création de nouveaux circuits justifiés par leur croissance territoriale, par exemple en Ile de France[29], soit pour le remplacement de circuits jusqu'alors desservis par le tramway, comme à Brisbane (Australie)[30] ou à Nantes[31].

Cette innovation se poursuit avec une vitalité incessante. Nous en évoquons ci-dessous certaines facettes particulièrement pertinentes pour notre ville.

Batterie

Le stockage d'énergie électrique par batterie s'est rapidement inséré parmi les plus grandes industries, avec des efforts de R&D gigantesques dans le monde entier[32]. Le marché, qui a grandi avec la mobilité automobile, a bondi avec le stockage d'énergie verte, comme l'éolien et le solaire dont la disponibilité fluctue constamment. Il en existe diverses filières, dont la plus connue est basée sur le lithium : son coût a diminué plus rapidement que prévu, pour rejoindre aujourd'hui US$99 / kWh. La firme Goldman Sachs prévoit la poursuite de cette diminution, et l'estime à 11% / an d'ici 2030[33].

La charge et la décharge d'une batterie implique une réaction chimique, simple en principe, mais sensible à la nature de son anode, de sa cathode et de l'électrolyte via lequel s'effectue le transfert d'électrons. Parmi ces diverses filières, celle où l'électrolyte n'est pas liquide mais plutôt constitué d'une mince couche isolante (de céramique par exemple) – d'où son nom d'*état solide* – suscite le plus d'intérêt pour l'utilisation véhiculaire.

---

[26] *World's first smart bus begins test operation in central China*, https://www.youtube.com/watch?v=G8cGwYfr6vg

[27] *Lyon and Geneva order hundreds of electric buses*, https://www.electrive.com/2023/09/22/lyon-and-geneva-order-hundreds-of-electric-buses/

[28] *Belgian bus builder Van Hool has secured an order to build 21 fully 'zero-emission' electric trambuses - aka a common-sense light-rail alternative - for Swedish operator Nobina, the largest passenger transport company in Scandinavia, it reports*, https://www.sustainable-bus.com/news/van-hool-trambuses-nobina-malmo/

[29] *Van Hool, Alstom and Kiepe partnering for 56 Exqui.City's for Île-de-France Mobilités*, https://www.busworldeurope.org/news/van-hool-alstom-and-kiepe-partnering-56-exquicitys-iie-de-france-mobilites

[30] *First all-electric "trackless tram" arrives in Brisbane for testing*, https://thedriven.io/2022/04/22/first-all-electric-trackless-tram-arrives-in-brisbane-for-testing/

[31] *HESS lighTram® 25 TOSA - Nantes*, https://www.youtube.com/watch?v=hKSK3Tgo72o&t=19s

[32] https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/strategies/strategie-quebecoise-de-developpement-de-la-filiere-batterie

[33] https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/electric-vehicle-battery-prices-falling.html

En effet elle promet la possibilité de recharges nombreuses et rapides sans baisse significative de capacité, et ceci même à des températures inférieures au point de congélation.

Mais entre un principe bien compris et son succès pratique, le chemin exige de nombreux raffinements. Avec l'importance des retombées anticipées, la compétition y est intense, depuis la recherche fondamentale jusqu'aux processus de fabrication et de mise en forme[34].

Le Québec possède de grands atouts naturels dans ce secteur. Il l'a bien compris avec ses investissements majeurs[35]. Signalons :

- L'expertise exceptionnelle du *Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie* d'Hydro-Québec[36], avec plus de 250 brevets et un axe de R&D spécifiquement concentré sur la batterie à état solide[37].
- La firme Blue Solutions[38] (Boucherville) du grand consortium français Bolloré, et sa première mondiale d'une batterie à état solide commercialisée, notamment utilisée dans des véhicules Mercedes. On a récemment rapporté que Volkswagen, qui semble déçue de la lenteur des progrès de l'américaine QuantumSpace, projetait une entente avec Blue Solutions[39].
- La firme Nano One (Burnaby, Colombie britannique) vise à commercialiser la filière LiFePO4[40]. Elle a récemment fait l'acquisition du producteur québécois Johnson Matthey Battery Materials Ltd à Candiac, en banlieue de Montréal[41].
- Les nouvelles se suivent : en mai 2023, Ultium CAM, société en commandite de General Motors (GM) et de POSCO Future a reçu une prêt pour la construction d'une usine de production de matériaux de batterie à Bécancour[42].

Parmi les grands efforts de R&D, notons aussi ceux qui portent sur les aspects environnementaux et le recyclage. Là aussi le Québec vise à devenir un chef de file[43].

[34] *Volkswagen and rivals plug away at solid-state battery puzzle,* https://www.reuters.com/technology/volkswagen-rivals-plug-away-solid-state-battery-puzzle-2024-01-16/. Voir aussi https://www.prnewswire.com/news-releases/prologium-opens-the-worlds-first-giga-level-solid-state-lithium-ceramic-battery-factory-302041841.html

[35] https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/strategies/strategie-quebecoise-de-developpement-de-la-filiere-batterie

[36] https://www.hydroquebec.com/ce-electrification-transports-stockage-energie/

[37] *Hydro-Québec prépare l'arrivée d'une batterie tout solide révolutionnaire,* https://www.hydroquebec.com/ce-electrification-transports-stockage-energie/batteries-a-electrolyte-solide.html.Voir aussi https://youtu.be/hLIQep-sLsA

[38] https://www.blue-solutions.ca/

[39] Volkswagen taps French company for solid state batteries, https://electrek.co/2024/01/16/vw-turns-to-another-solid-state-battery-maker-after-delays-with-quantumscape/

[40] https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery

[41] https://nanoone.ca/news/news-releases/nano-one-to-acquire-johnson-matthey-battery-materials-canada/

[42] https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/developpement-de-la-filiere-quebecoise-de-la-batterie-quebec-soutient-une-premiere-usine-de-plus-de-600-m-pour-des-composants-de-batteries-pour-vehicules-electriques-48233

[43] https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/fabriquer-les-batteries-les-plus-vertes-au-monde-au-quebec-50867

Recharge: profonde au garage ou en appoint le long du parcours?

Les études à venir sur l'implantation du *Tramway Sans Rail intelligent* dans notre espace régional et son climat devront choisir la position des points et des modes de recharge en tenant compte des caractéristiques de la batterie, de la qualité de sa gestion à bord du véhicule, de la configuration du trajet et de la diminution d'efficacité du stockage par grand froid.

La principale technologie de recharge a été développée par le géant japonais Hitachi sous le nom Grid-eMotion® Flash. Elle opère par un bras mobile que le véhicule déploie lorsqu'il est situé sous une borne de recharge et effectue alors une recharge partielle en quelques secondes[44]. Adoptée sous licence par d'autres fabricants comme Kiepe[45], elle est normalisée internationalement comme norme SAE J-3105 depuis 2020[46].

Ce système est à l'essai au Réseau de Transport de la Capitale, à Québec. La technologie a été sélectionnée pour être testée dans le cadre d'un projet pilote en 2022 suite à un appel d'offre remporté par Hitachi Energy. Le projet de trois ans représente une étape importante vers l'électrification ultime de l'ensemble de la flotte et des infrastructures avec l'arrivée au RTC d'autobus Novabus LFSe+[47]. Le projet pilote fournit également des données précieuses sur les meilleures stratégies pour recharger un grand nombre de véhicules.

On peut s'attendre qu'avec les avancées de la batterie à état solide l'autonomie du TSRi en arrive au point où la recharge en route ne soit plus nécessaire et qu'elle s'exécute par branchement-câble au garage.

On se questionne à juste titre, sur la perte de performance de l'énergie par batterie en présence de grand froid. Des essais récents dans des régions bien plus froides que Québec montrent qu'il est possible d'y remédier[48].

Notons finalement que les moteurs d'un TSRi sont automatiquement mis en mode régénératif lors du freinage : une fraction importante de l'énergie cinétique est ainsi récupérée et renvoyée vers la batterie pour la recharger.

[44] https://www.hitachienergy.com/ca/en/products-and-solutions/substations/railway-traction-power-supply/grid-emotion-charging-solutions-for-e-mobility/grid-emotion-flash.

[45] https://www.electrive.com/2023/10/06/kiepe-electric-premiers-mobile-high-power-charging/

[46] https://www.sae.org/news/2020/02/sae-j3105-promotes-safe-charging-for-buses-and-heavy-duty-vehicles

[47] https://novabus.com/wp-content/uploads/2019/10/LFSe_brochure_Mars2021_FR.pdf

[48] *Yutong U12 e-bus underwent testing in Norway and Kazakhstan, with dedicated technologies for cold climate*, https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/yutong-testing-norway-cold-climate-technologies/

Le TSRi repensé

Le format général du TSRi, développé par la Chine et adopté par des fabricants européens comme Hess, avec sa configuration articulée et son plancher plat, est familière : de nombreuses villes l'ont choisi.

Pantero Group[49] est une compagnie fondée en 2009 dont les bureaux sont situés à Montréal. Ses dirigeants possèdent une expérience et une expertise exceptionnelles dans le domaine du transport urbain, ayant occupé des postes de premier plan en conception et / ou en administration chez Nova Bus (Volvo), Orion Bus Industries, GE Transport, et Alstom. Ayant conclu que le futur du transport urbain gravitait autour du concept du tramway sans rail, ils ont choisi de le repenser "de la route au transport" plutôt qu'à l'inverse comme les dérivés de la conception chinoise. Pantero vise à solutionner certaines lacunes opérationnelles, comme la manoeuvrabilité en tracé exigu, la stabilité sur voies difficiles et la traction sur voies enneigées[50].

Ces avancées sont protégées par plusieurs brevets[51].

Ces brevets décrivent des progrès remarquables sur la concurrence. A la différence des autres fabricants, les 2e, 3e et 4e unités d'une rame ne sont pas simplement tractées par la première comme des remorques à 2 roues : elles sont dotées de 4 roues motrices, chacune avec leur moteur, assurant une meilleure traction dans des rues en pente ou glissantes. L'orientation des roues de la seconde unité est automatiquement asservie à celle la première, avec un angle et un retard calculés par l'ordinateur embarqué et en tenant compte de la vitesse. Et ainsi de suite pour les 3e et 4e unités, lorsque la rame les inclut. On obtient ainsi une manoeuvrabilité exceptionnelle, avec un arc de rotation compact nécessaire pour emprunter des rues étroites. Le poids des batteries représentant une masse morte importante, Pantero réussit à réduire le poids de la « coquille » de ses unités par optimisation 3D de leur architecture.

Les études techniques et les simulations ayant été menées à bien, de notre lecture de leurs brevets et de l'expertise qu'ils démontrent, nous estimons plausible que la firme sera en mesure de publier des annonces intéressantes dans l'année qui vient.

Pantero décrit ainsi sa configuration-ciblée :

"Nos véhicules seront disponibles en plusieurs configurations de 2, 3 ou 4 modules (appelons-les« Tram Bus » ou « Road Trams » selon leur format), reléguant les bus articulés dans l'histoire. Ils comblent le fossé entre les bus et les tramways de milieu de gamme. La version ultime à quatre modules mesure 37 mètres de long - la taille d'un tramway moyen - et peut transporter jusqu'à 260 à 340 passagers. Équipé de jusqu'à 8 moteurs d'entraînement électriques et d'un

[49] https://www.panterogroup.com/rd/, https://www.roadtram.com/, https://www.quebecentreprises.com/groupe-pantero-inc-jprb/

[50] https://www.panterogroup.com/assets-public/pdf/Pantero-White-Paper-EN-2020.pdf

[51] Voir *System for driving the drive wheels of an electric or hybrid vehicle*, https://patents.justia.com/patent/9630482, *Semi-independent suspension system for a low-floor vehicle*, https://patents.justia.com/patent/9527368, *Articulation system for commercial road vehicles,* https://patents.justia.com/patent/11298996

système de direction intelligent, ce véhicule surpasse tous les autres. Il fonctionne même là où d'autres rencontrent des problèmes, comme dans les zones urbaines denses, sur des pentes abruptes et dans les conditions hivernales intenses du Canada." [52]

Intelligence artificielle en temps réel : navigation et voie réservée

La circulation efficace – rapide, ponctuelle, sécuritaire– du TSRi comporte deux dimensions :

• **Comment améliorer la circulation urbaine elle-même** afin de minimiser les périodes où l'embouteillage entrave ses déplacements, et ce faisant mitiger le problème de l'« empilage » des véhicules de transport public aux heures de pointe[53]? Le domaine de la navigation autonome – sécuritaire, et efficace – a donné lieu au développement mondial de l'automobile intelligente. Le transport urbain public peut évidemment bénéficier des mêmes apports de l'IA. Sans rentrer ici dans les détails techniques, mentionnons qu'il s'agit d'approcher la problématique comme celle d'un système constitué d'éléments multiples – piétons, signalisation, automobiles, bicyclettes, unités de transport – dont on vise à optimiser le comportement harmonieux dans les contraintes de rues et avenues (et de l'incidence de diverses conditions telles pluie ou neige).

Le système urbain est éminemment complexe et dynamique. Sa gestion optimale en temps réel relève du schéma contemporain de l'Internet des Objets intelligents (IdO)[54]. Elle implique une modélisation préalable (à partir de connaissances physiques ou par apprentissage IA) suivie de simulations qui mènent à des protocoles opérationnels. Ceux-ci peuvent alors être invoqués selon les données temps-réel provenant de capteurs qui observent les mouvements (caméras) et qui identifient la nature des objet (piétons, bicyclettes par exemple) ou d'observations géo-référencés avec lesquels existe un lien de communication, comme le seront le TSRi. L'optimisation se concrétise alors par un contrôle direct – devenu adaptatif – des feux de circulation.

> Ce concept est riche et a fait l'objet de multiples analyses. Il est bien connu et enseigné dans nos universités[55]. Avec la disponibilité croissante et peu coûteuse des éléments électroniques et informatiques nécessaires, il s'est matérialisé en une technologie maintenant commercialisée[56].
>
> La ville de Toronto est à l'implanter[57] pour l'aider à gérer ses embouteillages en fonction de la réalité du moment et non selon des patrons pré-définis. *La ville de Québec serait bien avisée d'examiner la possibilité de faire de même.*

[52] https://www.roadtram.com/

[53] *Bus Bunching and Bus Bridging : What Can We Learn from Generative AI Tools like ChatGPT?*, https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9625

[54] Plus connu sous l'acronyme technologique des *IoT*. Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet_des_objets. Voir *Transforming urban mobility with internet of things : public bus fleet tracking using proximity-based bluetooth beacons*, https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/friot.2023.1255995/full.

[55] Voir *Introduction to Traffic Flow Theory,* 2023, https://moodle.polymtl.ca/pluginfile.php/727075/mod_resource/content/4/2%20-%20Introduction%20to%20Traffic%20Flow%20Theory.pdf

[56] https://notraffic.tech/

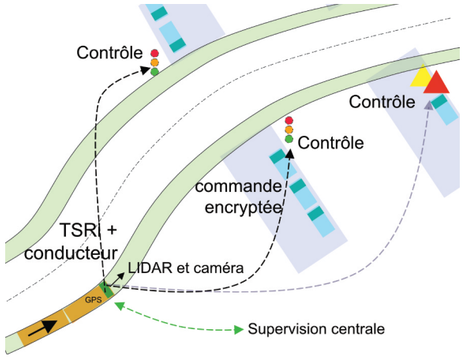
[57] Voir *Can AI help solve Toronto's never-ending gridlock?*, https://www.thestar.com/news/gta/can-ai-help-solve-toronto-s-never-ending-gridlock/article_7707a9fc-7424-5a8f-aa34-7c56dfa68cdb.html

• Comment guider le TSRi dans l'espace urbain: *Voies Réservées intelligentes*

Dans un encadré à la page 33 du Rapport final - Étude faisabilité Tramway SRB déjà cité, le document décrit l'avantage de voir les unités du transport structurant circuler éventuellement en site propre, c'est-à-dire dans des couloirs comportant une barrière physique infranchissable qui les sépare de la voie publique.

Nous divergeons d'opinion à cet égard, pour de multiples raisons.

- Elle entraîne des frontières nuisibles aux liens de voisinage social qui font partie de la culture locale des quartiers.
- Dans une ville comme Québec et ses rues étroites, elle interfèrerait gravement avec la raison d'être des voies publiques, comme l'accès aux commerces et aux services; a fortiori avec la nécessité de dégager ces voies de la neige en hiver.
- Elle entraîne des coûts d'infrastructure considérables, qui dépassent de loin celui du matériel roulant lui-même. De surcroit, inamovible et permanente, l'adopter supposerait que la région urbaine de Québec est et demeurera une entité statique, sans évolution de ses besoins en transport public sur un long horizon. Cette hypothèse est intenable avec la vitesse des changements qui s'opèrent (voir Observations sur la prévision des besoins).
- Cette vision d'un système de transport assisté par l'IA se retrouve dans le concept de *Voies Réservées Intelligentes*[58], que nous avons proposé pour la sécurisation des véhicules du réseau structurant :



«En quelques mots, le TSRi télécommande lui-même les feux de circulation et les panneaux d'arrêt des rues transversales qui sont devenus dotés de nouveaux modules de contrôle. L'autobus, qui connaît sa position avec une précision GPS de quelques mètres, réquisitionne sa priorité absolue de passage au moment où il s'approche de chaque unité de signalisation (dont la localisation est également connue). Le TSRi effectue le calcul, en temps et en distance, des signaux à émettre pour produire autour de lui une *bulle dynamique de sécurité*. Ce faisant, il ordonne aux feux contactés de se mettre au rouge et aux panneaux d'arrêt d'être plus visibles par lumière clignotante. Cette bulle sécurisée précède et accompagne automatiquement l'autobus. Celui-ci dispose aussi de capteurs qui surveillent sa voie avant : il réagit automatiquement et adéquatement à toute entrave susceptible de ralentir son passage ou de menacer sa sécurité. Une fois l'intersection passée, la signalisation reprend son cycle habituel et la circulation transversale redevient possible, y compris les virages à gauche.

La technologie VRi utilise les voies réservées actuelles ou futures, mais ainsi augmentées. Les temps de parcours sont réduits grâce à cette sécurisation dynamique, permettant ainsi d'atténuer les problèmes de surcharge aux heures de pointe.

[58] Ce texte est adapté de l'article https://www.lesoleil.com/2022/02/25/lautobus-electrique-un-rtc-repense-pour-quebec-ville-intelligente-et-verte-15e7b1eebd27debc8ac02a39f44cd2f4/

> Le conducteur demeure «seul maître ultime à bord», mais comme pour un pilote de ligne, son jugement et son expérience sont assistés par ce support automatique qui assure sécurité et performance[59].»

Dans notre esprit, cette assistance au conducteur pourrait consister en un guidage semi-automatisé le long de l'empreinte de la voie réservée et lors des arrêts devant les stations.

Le guidage de véhicules urbains a fait l'objet de nombreuses études[60] et remonte aussi loin que les années '60, alors sous la forme de capteurs optiques qui suivent des marques peintes sur la chaussée. Cette approche, utilisée avec succès dans les premiers TSRi chinois[61], n'a cependant pas toujours donné les résultats espérés[62] et apparaît à fortiori incompatible avec notre enneigement. Le suivi de marqueurs métalliques insérés dans la chaussée et qui sont détectés par capteurs magnétiques placés sous le véhicule nous apparaît en principe plus favorable[63] et nous le retenons comme hypothèse dans l'énoncé de budget pro-format.

Le futur s'oriente assez clairement vers une automatisation intégrale rendue possible par le transfert vers le transport urbain de la technologie IA de conduite automobile autonome[64]. Pour l'avenir prévisible, la sagesse nous recommande cependant de conserver son plein rôle au conducteur tel que nous le connaissons et l'apprécions aujourd'hui.

Intelligence artificielle : Québec – Ville intelligente

La mise en place d'un système avancé de transport urbain, tel que nous le proposons ici, constitue le premier pas vers la réalisation du concept de *ville intelligente*[65]. Québec possède toute la capacité d'y accéder. Là aussi, elle pourra et devra s'appuyer sur ce que permettra l'intelligence artificielle en matière de soutien à un nouveau type de gestion orientée vers les besoins personnalisés.

En prologue, nous avons écrit que le réseau qui se dessine ne sera véritablement structurant que s'il réussit à accomplir un transfert modal significatif. Déjà des villes d'avant-garde pré-

[59] Nous préconisons la présence d'un conducteur. Notons cependant l'important projet en cours à Berlin, *BeIntelli*, d'un consortium impliquant de multiples partenaires, dont l'*Université technique de Berlin* et la filiale *Mobileye* (bien connue en automobiles autonomes) de la compagnie Intel, qui vise à rendre cette présence non-nécessaire : https://www.tu.berlin/en/logistik/forschung/forschungsarbeit/aktuelle-forschungsprojekte/beintelli.

[60] Voir *Recommended Practice, Americam Public Transport Association, Implementing BRT Intelligent Transportation*, https://www.apta.com/wp-content/uploads/Standards_Documents/APTA-BTS-BRT-RP-005-10.pdf
Systems. Voir aussi Guided Bus, Encyclopedia, Science News & Research Review, https://academic-accelerator.com/encyclopedia/guided-bus

[61] *This Train Runs On Virtual Tracks*, https://www.youtube.com/watch?v=eBdkSb-uR4A

[62] *Debunking the myths around the optically-guided bus (trackless trams)*, https://www.sydney.edu.au/business/news-and-events/news/2019/01/21/debunking-the-myths-around-optically-guided-bus--trackless-trams.html

[63] *Vehicle Trajectory Tracking Through Magnetic Sensors : A Case Study of Two-lane Road*, https://arxiv.org/pdf/2209.09020.pdf

[64] Mais ce problème est difficile et l'exagération médiatique est aujourd'hui rattrapée par la réalité : Autonomous Vehicles 2023, Part II, https://rodneybrooks.com/autonomous-vehicles-2023-part-iii/

[65] *Ville intelligente*, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ville_intelligente# :~ :text=Le%20concept%20de%20Smart%20Cities,%C2%AB%20transactionnelle%20%C2%BB%20avec%20ses%20citoyens.

parent la phase suivante, de la *Mobilité comme Service*[66]. Seulement depuis le premier janvier de cette année, on répertorie déjà plus de 100 articles et conférences sur le sujet[67].

De manière plus générale, il apparaît clairement que l'application du concept de *jumeau numérique* [68], qui est en voie de révolutionner le design industriel, se retrouvera au cœur de la démarche des futures villes intelligentes[69].

Observations sur la prévision des besoins

Impact de la COVID

Taux d'achalandage en 2023 par rapport à 2019 selon les trajets express du RTC	
Les eXpress 200 - desserte de la colline parlementaire	43%
Les Express 300 - desserte de l'Université Laval et des Cégeps	65 %
Les eXpress 500 - desserte du boulevard Laurier et de la route de l'Église	51%
Taux global pour les eXpress	**51%**

L'émergence de la Covid au début de l'année 2020 et de la pandémie qui a suivi ont radicalement transformé le monde du travail. Soudainement, et avec l'accès généralisé aux communications numériques, rapides et sécuritaires, le domicile est devenu un second lieu de travail. D'abord par nécessité puis, graduellement, sont apparus les avantages de ce mode hybride, avec une meilleure conciliation du rapport travail-famille et sans perte de productivité.

La pandémie s'est maintenant estompée mais cette perception positive du mode hybride demeure, pour les employés comme pour leurs employeurs, et sa présence est devenue normalité: le mode hybride est là pour demeurer[70].
De plus, comme l'a récemment révélé une grande enquête, la semaine de 4 jours s'est généralisée comme la nouvelle norme chez grand nombre d'entreprises[71].

La prévision du nombre futur de passagers utilisant le transport public, publiée en 2015, anticipait une croissance continue. La pandémie de 2020 a transformé ce paysage en celui d'une diminution considérable des besoins de déplacement, lequel se maintient jusqu'à ce jour. Il en va

[66] https://en.wikipedia.org/wiki/Mobility_as_a_service

[67] Sur Google, rechercher "smart city mobilty as a service", janvier 2024

[68] https://fr.wikipedia.org/wiki/Jumeau_num%C3%A9rique

[69] Sur Google, rechercher «municipal digital twins:optimization of bus, car, pedestrian and bicycle trafic»

[70] *ChatGPT opens the door to a 4-day workweek, Nobel Prize winner says*, https://financialpost.com/fp-work/chatgpt-4-day-workweek-nobel-prize-winner. Voir aussi *Return-to-Office Mandates*, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4675401

[71] *Four-day week made permanent for most UK firms in world's biggest trial*, https://www.theguardian.com/money/2024/feb/21/four-day-week-made-permanent-for-most-uk-firms-in-worlds-biggest-trial

de même pour l'université et dans les Cégeps, où le passage de l'enseignement régulier en mode virtuel s'est généralisé. Comme l'indique le tableau ci-joint[72], l'hypothèse d'augmentation anticipée, utilisée pour justifier le passage au transport par tramway, s'est avérée erronée.

Transformation future du marché du travail avec l'IA générative

Un second événement majeur est survenu le 30 novembre 2022, lorsque ChatGPT – dont les bases se préparaient depuis plusieurs années – est apparu au grand public. L'impact a immédiatement été ressenti sur la planète entière et n'a cessé de s'amplifier depuis. En effet, il s'agit d'un type d'IA nouveau, dit *IA générative*, capable de produire des textes, des images et des videos dont la qualité peut donner l'apparence que le produit provient d'une intelligence humaine.

Si nous signalons cet événement, c'est que ses conséquences pourraient s'avérer radicales : la pandémie Covid a déplacé le lieu du travail mais l'IA contemporaine est à transformer sa nature-même[73]. Il s'ensuivra une cascade de conséquences complexes – en particulier sur les besoins en déplacement – dont le détail est imprévisible. La seule certitude est que ces nouvelles technologies vont survenir, et qu'elles modifieront notre ville, comme toutes les autres.

La discipline qui s'intéresse à la prise de décision enseigne que devant une situation à la fois critique dans ses conséquences plausibles et incertaine dans sa forme, l'attitude à cultiver consiste à demeurer *agile*. Entendant par là à privilégier la capacité à s'adapter à tout changement qui survient, qu'il soit imprévu parce qu'accidentel, ou imprévisible parce que provenant de forces externes incontrôlables. Si nous proposons le TSRi, c'est qu'en plus de pouvoir s'acquitter correctement de l'ensemble des requis actuels d'une mobilité urbaine de qualité, il est le seul à procurer cette qualité essentielle pour le Québec-Lévis de demain, celle de l'agilité[74].

[72] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2036499/banlieue-desserte-express-rtc-autobus-achalandage

[73] *GenAI Will Change How We Design Jobs. Here's How,* https://hbr.org/2023/12/genai-will-change-how-we-design-jobs-heres-how

[74] Pour apprécier cette assertion, voir sans faute *La recette pour l'échec*, https://www.lapresse.ca/actualites/chroniques/2024-01-08/la-recette-pour-l-echec.php, et surtout *How Big Things Get Done*, https://www.dangardner.ca/publication/how-big-things-get-done, une analyse détaillée d'un grand nombre de projets majeurs qui ont tous échoué pour avoir oublié ce principe de la décision en situation incertaine et complexe.

Environnement: les avantages du TSRi

Diminution des GES par le transfert modal

L'implantation d'un TSRi pour la ville de Québec représente une opportunité exceptionnelle de favoriser le transfert modal vers des moyens de transport collectif qui permettront de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). L'objectif premier de cette initiative est de diminuer le nombre de véhicules sur les routes, ce qui constitue une étape cruciale dans la lutte contre la crise climatique.

Au cœur de cette démarche se trouve la volonté d'accroître très significativement la part des déplacements effectués en transport collectif. C'est d'ailleurs, sur cette base que devrait être mesuré le succès du projet. Au Québec, où l'électricité est d'origine renouvelable, le secteur des transports demeure une source très importante d'émissions de GES. Nous ne pouvons nous permettre de nous concentrer uniquement sur l'électrification des automobiles, il est impératif d'offrir une alternative de transport public efficace, abordable et confortable.

À cet égard, l'approche axée uniquement sur l'axe est-ouest se révèle insuffisante. Notre proposition inclut des axes nord-sud vers des destinations clés telles que l'aéroport, Lebourgneuf, Charlesbourg, Beauport, et surtout vers Lévis, jouant un rôle central dans une vision globale du transport collectif à Québec. L'idée maîtresse est que le temps de trajet en transport collectif devrait être dans les mêmes ordre de grandeur que celui en voiture particulière.

Le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) avait sévèrement critiqué le projet de tramway étant donné qu'il n'y avait pas d'augmentation du transfert modal:

> « Néanmoins, la commission conclut de ses analyses que le projet de tramway en tant que tel n'améliorerait pas significativement la mobilité des personnes dans les banlieues, qui connaissent la plus forte croissance, et qu'après la mise en place du RSTC, la proportion de citoyens qui utiliseraient le transport en commun y resterait sensiblement la même qu'avant son implantation. (…) Il reste que le transfert modal de l'automobile vers le transport collectif espéré à la suite de l'implantation du tramway apparait modeste en regard des investissements prévus de 3,3 G$. »

La raison fondamentale de ces investissements de milliards de dollars n'était même pas atteinte. Comment dans un tel contexte justifier le maintien du projet. C'est d'ailleurs une des raisons qui ont conduit le BAPE à faire une recommandation négative face au projet du tramway traditionnel et son tracé. Imaginez si la Commission avait su que les coûts allaient exploser à 12.5 G$? Nous n'utilisons pas les coûts de 8.5 G$ avancés par le maire Bruno Marchand puisqu'ils n'ont pas été démontrés. Toutefois, la Commission était d'avis que la Ville de Québec mérite l'implantation d'un meilleur système de transport collectif.

> « Au terme de ses travaux, la commission considère qu'un réseau structurant de transport en commun pour la ville de Québec est souhaitable, et constate que de nombreuses études se sont penchées sur sa configuration et ses modalités de réalisation au cours des dernières années. Le projet présenté, tout spécialement quant à la technologie retenue, soit le tramway, et du tracé privilégié, n'apparaît toutefois pas optimal au regard des besoins de mobilité de la ville et de la région de Québec et du niveau de service obtenu par rapport aux investissements consentis. »

> « Le projet doit être défini dans une perspective régionale et devrait préfigurer des phases ultérieures de bonification du réseau sur le plan des technologies, des tracés et des stratégies de financement[75]. »

Nous partageons cette vision de la nécessité d'un transport collectif structurant pour l'ensemble de la Communauté urbaine de la ville de Québec afin d'agir sur le transfert modal.

La technologie du TSRi, moins coûteuse que le tramway traditionnel, permet d'envisager une expansion du réseau de transport collectif structurant. L'objectif est d'atteindre les citoyens là où ils résident en mettant en place des stationnements incitatifs et un système de rabattement par autobus. Les exemples au Québec et à travers le monde nous l'ont démontré, lorsque que le transport collectif est attrayant, les citoyens sont nombreux à opérer le transfert modal pour leur tranquillité d'esprit et pour économiser. Cela nous permet de faire d'une pierre trois coups. En délaissant leur voiture personnelle, les citoyens diminuent les émissions de GES, la pollution atmosphérique et également le trafic. En créant un système de qualité, incitant au transfert modal, nous aspirons à façonner un avenir où le transport public devient l'option de prédilection pour les citoyens, contribuant ainsi à la préservation de notre planète.

Réduction importante des impacts sur le tissu urbain: pas de béton, pas de rails, pas de fils et pas de coupe d'arbres

La technologie du TSRi présente un avantage significatif en termes de préservation du tissu urbain, se distinguant nettement de la technologie du tramway traditionnel. En éliminant la nécessité de dalles de béton, de rails, de fils et de coupes d'arbres, le TSRi offre une solution non invasive qui évite de défigurer des quartiers urbains. L'absence de dalle de béton, qui traditionnellement supporte les rails, élimine les fractures de quartier et les obstacles infranchissables pour les piétons et les cyclistes, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre associées à la fabrication et à l'installation de ces dalles.

Le choix de ne pas installer de rails et de fils réduit considérablement l'impact sur l'environnement et sur le tissu urbain, minimisant également la pollution visuelle. Cette approche novatrice du TSRi permet de préserver la beauté naturelle et la verdure de la ville de Québec. En évitant les interventions intrusives, le TSRi offre une solution de transport collectif qui s'intègre harmonieusement dans le paysage urbain, favorisant ainsi une cohabitation fluide et respectueuse de l'environnement.

Flexibilité du TSRi qui s'adapte à la topographie de la ville de Québec

Une caractéristique distinctive du TSRi réside dans sa flexibilité opérationnelle, se démarquant ainsi du tramway traditionnel. Contrairement à ce dernier, le TSRi ne requiert pas un grand rayon de courbure et n'est pas contraint par des rails pour les pentes, éliminant ainsi la nécessité de construire d'immenses viaducs pour permettre son passage de la basse-ville à la haute-ville de Québec.

---

[75] *Bureaud'audiences publiques surl'environnement: Rapport 356 Projet de construction d'un tramway à Québec,* https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl?id=00000182989

Cette souplesse opérationnelle supprime également la contrainte de devoir envisager la construction coûteuse et risquée de tunnels sous des quartiers historiques. Les risques potentiels pour les fondations des bâtiments centenaires, liés au creusement de tunnels, sont ainsi évités, préservant l'intégrité architecturale et historique de la ville. En choisissant le TSRi, nous optons pour une solution de transport collectif qui s'adapte efficacement aux contraintes topographiques de Québec sans sacrifier l'identité et l'héritage précieux de ses quartiers historiques.

Réduction des nuisances sonores

Le TSRi se distingue également par son impact réduit en termes de nuisances sonores, représentant une avancée significative par rapport au tramway traditionnel. Grâce à son système sur pneumatique, le TSRi génère considérablement moins de bruit lors de son déplacement par rapport au tramway conventionnel, qui opère sur des rails donc en fer sur fer. Cette différence notoire offre un environnement sonore beaucoup plus paisible aux citoyens et résidents riverains du réseau de transport. De plus, il est essentiel de prendre en compte la propagation des vibrations dans le sol, une nuisance souvent négligée associée au tramway traditionnel, mais absente avec le TSRi. En optant pour cette technologie novatrice, nous aspirons à minimiser l'impact sonore global, améliorant ainsi la qualité de vie des habitants tout en préservant la quiétude des quartiers traversés par le système de transport collectif.

Exiger un développement urbain responsable

Au-delà de son caractère novateur, cette initiative doit également être envisagée comme une occasion de mettre en œuvre des bonnes pratiques en matière d'environnement et d'équité sociale dans le développement immobilier associé. La planification urbaine qui accompagne le déploiement du TSRi peut jouer un rôle crucial dans la création d'une ville durable. Cela englobe l'implantation de logements abordables, la promotion de surfaces perméables pour contrer les problèmes d'infiltration d'eau, la réduction des îlots de chaleur par la création d'un couvert végétal et une canopée attrayante, ainsi que la proximité des commerces de base pour encourager le transport actif et renforcer le tissu social des quartiers.

Gagnant en terme de mobilité, le projet de *Tramway Sans Rail intelligent* offre une opportunité de repenser la ville dans sa globalité. En plaçant les principes de durabilité et d'inclusion sociale au cœur de cette initiative, Québec pourrait non seulement devenir un exemple pour d'autres villes, mais également contribuer activement à la construction d'un avenir urbain plus durable et équitable. La vision de Québec comme une ville modèle, non seulement pour notre territoire mais également pour la planète, se concrétiserait ainsi à travers cette démarche audacieuse et novatrice.

Conclusion

En conclusion, l'implantation d'un système de transport collectif structurant à Québec, basé sur la technologie novatrice du *Tramway sans Rail Intelligent* (TSRi) et combiné avec un tracé repensé, se présente comme la solution optimale pour répondre aux défis contemporains de mobilité et d'environnement dans notre région. Nous soulignons à nouveau les raisons qui justifient le système proposé ici.

Susciter un réel transfert modal et ainsi réduire les GES

La première raison impérative réside dans la nécessité d'opérer un transfert modal afin de réduire significativement le nombre de voitures sur les routes de la ville et de sa région métropolitaine. Dans le contexte actuel de crise climatique, nous nous devons de faire tous les efforts et de mettre en place des solutions collectives plus robustes et ayant plus d'impact. Ce transfert modal est le meilleur moyen de réduire les GES du secteur du transport. La clé de ce succès réside dans le tracé, visant à couvrir l'ensemble de la Communauté urbaine de Québec-Lévis plutôt qu'un simple axe est-ouest. Il est évident que la fréquence du service doit également être au rendez-vous. La qualité du service, le confort, la rapidité de transit feront du TSRi un choix de prédilection pour les déplacements dans la Communauté métropolitaine de la Ville de Québec.

Avec un rapport coût-bénéfice aussi favorable que possible

La deuxième composante essentielle consiste à adopter la technologie du TSRi, déjà déployée avec succès dans plusieurs villes à travers le monde. Cette alternative révolutionnaire au tramway traditionnel offre tous les avantages d'un système de transport collectif structurant, sans les inconvénients des rails et des fils, avec une flexibilité supérieure et à un coût de 5 à 10 fois moindre qu'un tramway. Cette technologie de pointe favorise ainsi l'implantation d'un réseau étendu, aligné sur les impératifs économiques actuels.

Dans l'accélération des changements et les incertitudes du futur: demeurer agile

La flexibilité constitue une réponse adaptative aux changements rapides de notre société. Avec la pandémie, la montée du télétravail, et les avancées de l'intelligence artificielle, le TSRi se révèle modulable et ajustable aux besoins, avec une capacité de modification de trajets à peu de frais. Cela garantit une adaptation facile aux évolutions futures de la demande de déplacements et à d'autres développements majeurs de la région.

Mettre en valeur l'expertise québécoise

En outre, le quatrième volet souligne l'expertise québécoise dans le développement et la production du TSRi. Bien que cette technologie ait été initialement conçue en Chine, des entreprises européennes la déploient déjà avec succès, et des initiatives québécoises, telles que Pantero, émergent rapidement. Avec des acteurs québécois renommés tels qu'Autobus Lyons, TM4, et Bombardier Transport, le Québec dispose d'une base solide pour maîtriser l'ensemble de la chaîne de production, depuis la carrosserie jusqu'à l'électrification des transports. Nous possédons ici également une expertise solide en robotique et en systèmes intelligents. Il est essentiel

de viser une production locale, affirmant ainsi la volonté de privilégier le « fabriqué au Québec » pour assurer le succès et la pérennité de ce projet de transport collectif avant-gardiste.

Faire de la Ville de Québec une vitrine mondiale

L'implantation du TSRi à Québec offre une opportunité unique de positionner la ville comme une vitrine de transfert modal tant pour le Québec que pour la planète. Si ce projet voit le jour, la Ville de Québec serait pionnière en devenant la première ville à déployer de manière aussi étendue ce **nouveau mode de transport collectif structurant**. La ville de Québec deviendrait une référence en tant que ville novatrice et intelligente. Cela constituerait non seulement une avancée majeure pour la ville, mais aussi une source d'inspiration pour d'autres régions du Québec et du monde entier.

Pour réussir la mobilité durable sur notre territoire commun il faut s'assurer que les principes de la *Loi québécoise sur le développement durable*[76] soient respectés en tout temps. Et que les modalités, voies et moyens qu'elle implique sont suivis avec vigilance.

Nous avons tout pour réussir le grand projet de bâtir un réseau de transport structurant durable, rassembleur et porteur de fierté. Nous espérons que le contenu des pages qui précèdent vous en auront convaincus.

[76] *Loi sur le développement durable,* op.cit

Recommandations

En suivi des données, observations et analyse détaillée qui précédent, nous espérons que le rapport que CDPQ Infra transmettra au Gouvernement du Québec fera sienne les recommandations suivantes:

1. Qu'une consultation publique à l'échelle de la région métropolitaine de Québec soit mise en place permettant à l'ensemble des citoyennes et citoyens et de tous les acteurs concernés par le projet et le territoire de s'exprimer et d'enrichir le projet.
2. Que le Réseau de Transport de la Communauté urbaine Québec-Lévis adopte la technologie du *Tramway Sans Rail intelligent* (TRSi) pour son réseau structurant de transport collectif pour maximiser le transfert modal pour chaque dollar investi, pour minimiser les impacts environnementaux ainsi que pour obtenir l'agilité et la flexibilité à s'adapter aux changements à prévoir avec l'IA et les dérèglements climatiques.
3. Que le concept du *Circuit central Québec-Lévis,* avec ses extensions vers les quartiers résidentiels, soit adopté comme fondement du tracé à partir duquel il deviendra possible d'y connecter tous les réseaux secondaires qui couvriront l'ensemble du territoire.
4. Que les études origines-destinations des déplacements soient mises à jour et qu'une évaluation de l'impact du télétravail ainsi que de l'IA soit prise en considération dans les projections futures. Que le déploiement du réseau s'appuie sur ces études.
5. Qu'une étude sur l'état des deux ponts existants soit réalisée et rendue publique.
6. Que l'utilisation des *Voies Réservée intelligentes* soit disponible en tout temps et qu'à cette fin que les repères de guidage soient installés sur les deux ponts afin de permettre le changement rapide de routage en cas de besoin.
7. Que les règles d'urbanisme régissant les projets de développement soient mises à jour en lien avec le tracé pour assurer une planification urbaine durable pour la qualité de vie des citoyens et qu'elle réponde à nos besoins actuels et futurs.

8. Que l'expertise québécoises ainsi que les manufacturiers québécois soient priorisés pour mettre en valeur notre savoir-faire ainsi que d'assurer le maintien et le développement du génie québécois.
9. Que la transparence sur le déploiement du réseau structurant soit assurée, notamment avec une plate-forme d'information spécifique, ouverte, accessible, permettant au public d'en connaître les principaux éléments de suivi et leur état d'avancement.
10. Que des fonds soient alloués aux deux villes pour qu'elles implantent le plus rapidement possible la commande optimisée, en temps réel et adaptative, des contrôles des intersections critiques tel que le permet le développement de l'intelligence artificielle.
11. Que dans les travaux liés au remplacement graduel des autobus actuels par des unités tout-électrique NovaBus, on effectue une mise à niveau des voies réservées, du soutien à la recharge et des moyens de maintenance en tenant compte des besoins anticipés du TSRi de façon à assurer la pleine synergie opérationnelle entre les deux types de véhicules qui ont de nombreux points communs.