

## Tramway de Québec (RSTC)

**THEME :**  
**COÛT D'UN TUNNEL de TRAMWAY**

**PROBLEMATIQUE POTENTIELLE :**

- Quel est l'ordre de grandeur du coût d'un tunnel ?

**RESUME :**

- D'une manière générale, sans études détaillées, il est extrêmement difficile de fournir une estimation même approchée du coût d'un tunnel, car la bonne technique dépend de la nature des sols
- Au-delà de la construction des tunnels, les stations souterraines constituent des ouvrages majeurs et un élément de coût très important, lui aussi dépendant de la nature des sols
- Même en disposant de sondages détaillés, il subsiste un aléa géotechnique important qui rend les estimations aléatoires
- Ces aléas rejaillissent sur la durée de construction, qui rejaillit à son tour sur le coût
- Les équipements électromécaniques de ventilation, éclairage, pompage, lutte contre l'incendie, etc... sont un autre poste de coût important
- L'on se trouve donc en présence d'ouvrages qui non seulement sont porteurs d'aléas forts, mais de surcroît pèsent lourd dans l'estimation totale du projet.
  
- Par ailleurs, il existe extrêmement peu de tunnels aux Québec permettant de disposer d'une base de données de coût locale et fiable

## **ÉLÉMENTS DÉTAILLÉS :**

### **Base de données au Québec**

Il existe peu de retour d'expérience concernant la construction des tunnels au Québec – à part les tunnels du métro de Montréal qui ont été construits entre les années 1960 et la dernière extension ligne orange au milieu des années 2000. On note que ces tunnels ont tous été creusés, soit en excavation traditionnelle, soit en tranchée couverte. Le REM en construction exploite le très ancien tunnel du Mont Royal datant du début du XX<sup>e</sup> siècle, et empruntera un nouveau tunnel sous les pistes de l'aéroport ; ce dernier sera le premier creusé au tunnelier au Québec, mais il est à voie unique donc la comparaison est peu pertinente. Enfin, les quelques tunnels routiers existants sont peu comparables (tunnels routiers superficiels bâtis en tranchée couverte, et de grande largeur avec mur séparatif entre voies de circulation).

### **Tunnels creusés en France**

Nos éléments proviennent donc des données du CETU Français (Centre d'Etudes Techniques des Tunnels). Voir l'étude du CETU Français de 2016 extrêmement bien fournie :

[http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DIPrixTunnels-CETU\\_Document-complet\\_03-2016.pdf](http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DIPrixTunnels-CETU_Document-complet_03-2016.pdf)

Attention : les éléments de ce rapport sont exprimés en € (avant taxes) donc à multiplier par 1,5 environ toutes choses égales par ailleurs pour des valeurs en Ca\$.

### **Technique de creusement**

Le rapport CETU distingue les ouvrages creusés en technique traditionnelle et ceux creusés au tunnelier. Il ne traite pas des tranchées couvertes. Les données extraites du rapport CETU que nous présentons ci-dessous ne portent que des ouvrages creusés en traditionnel, en effet :

- Le tunnel de la colline Parlementaire est nécessairement assez profond et ne saurait à notre avis être creusé en tranchée couverte
- Avec les illustrations donc nous disposons, ce tunnel semble présenter un rayon de courbure qui nous paraît incompatible avec un creusement au tunnelier (qui se prête mal aux virages serrés).

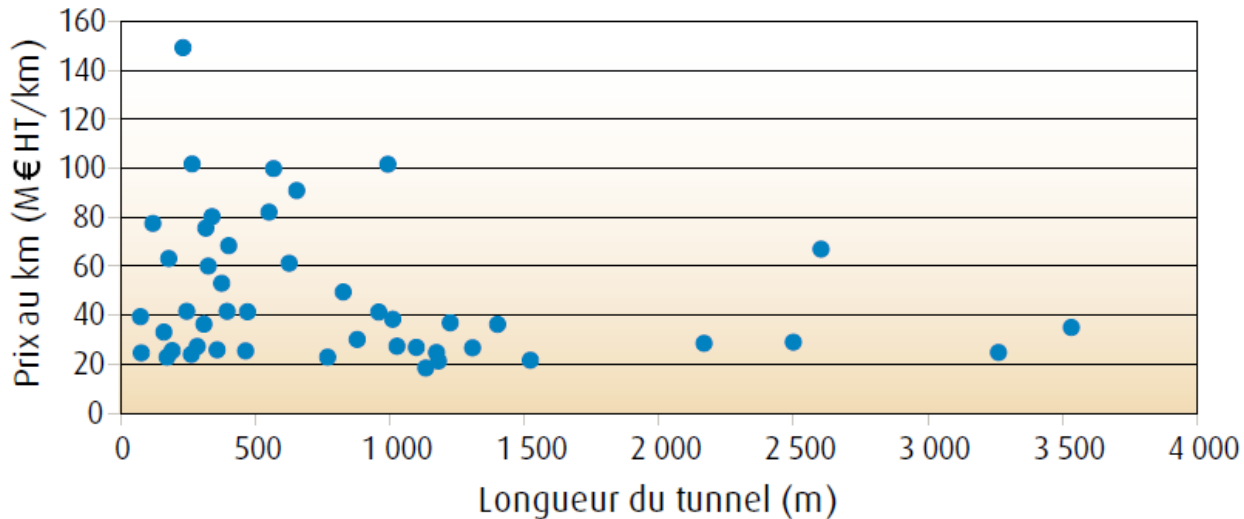
Noter que la technique de creusement (explosif ou mécanique) constitue un facteur de second ordre dans un contexte de creusement « traditionnel » ; il arrive du reste que, selon les conditions géotechniques rencontrées, on panache du creusement mécanique et du creusement à l'explosif pour un même tunnel. Ce qui fait le coût de l'ouvrage c'est avant tout les ouvrages de maintien en place des terrains, soit son radier et sa voûte structurelle, ainsi que les éventuels traitements de sols par injection et ancrages.

Enfin, nous attirons l'attention sur le fait qu'il existe des tunnels métro mono-tubes et bi-tubes. Sachant que Québec serait un mono-tube, les éléments ci-dessous extraits de l'étude CETU portent sur ce cas d'un mono-tube.

### **Prix du génie civil du tunnel de métro (mono-tube)**

Même dans ces conditions, disposant d'une solide base de données portant sur de très nombreux tunnels construits en France (soit routiers, soit de métro, soit ferroviaires), il existe une très grande dispersion des prix.

Le diamètre du tunnel joue évidemment un rôle, c'est pourquoi certaines estimations sont données au m<sup>3</sup> plutôt qu'au km excavé. Un diamètre de 8,20m paraît un standard pour un métro souterrain, un peu moins pour un tramway souterrain, mais pour cette approche nous en restons aux tunnels « métro » de 8,20m.



*Illustration 7 : Variabilité de la répartition du prix de génie civil des métros urbains ramené au kilomètre de tunnel excavé – Prix du gros œuvre de génie civil seul hors traitement de terrain*

#### **Difficulté du chantier, durée et lien avec le coût**

Le CETU note une corrélation étroite du coût des ouvrages de tunnel avec la durée de la réalisation ; cela reflète le fait que des conditions géotechniques difficiles, dans une emprise nécessairement confinée, se traduisent directement dans le délai de creusement qui à son tour engendre des coûts très importants. Le CETU note que « en travaux souterrains, la part des coûts liée au temps représente généralement plus de la moitié de l'ensemble des coûts. Cette proportion est même supérieure pour les ouvrages creusés en méthode conventionnelle, pour lesquels l'ensemble des coûts de main d'oeuvre et matériel pour le seul poste de creusement-soutènement peut atteindre les deux tiers (2/3) du coût.

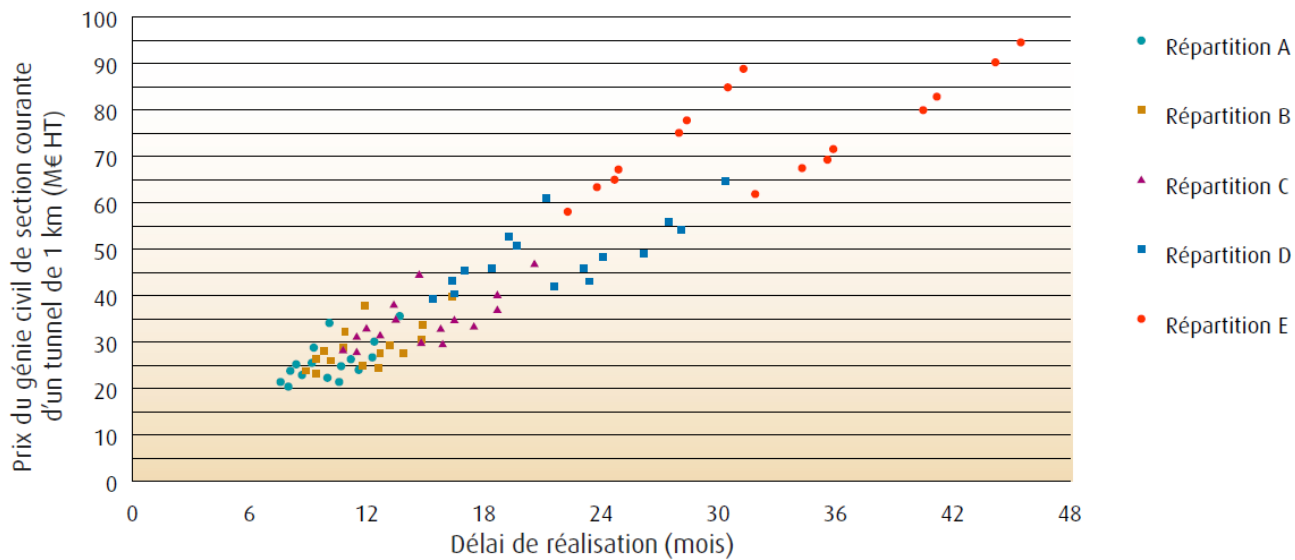


Illustration 10 : Prix du génie civil de section courante d'un tunnel de 1 000 m, toutes géométries confondues, en fonction du délai de réalisation

(les différentes « répartitions » A à E traduisent des conditions géotechniques de plus en plus difficiles – et donc sans surprise des délais de plus en plus longs).

On note que ces éléments :

- Sont hors traitement de terrain (injections, ancrages...) pour limiter les venues d'eau ou pour conforter la voûte
- Sont hors stations...
- et hors électromécanique

### Aléas géotechniques

Le rapport du CETU consacre un fascicule complet aux aléas géotechniques (fascicule 1 d'une vingtaine de pages) et à la manière de les provisionner dans l'estimation. On peut citer la présence de failles et de karsts, de lentilles de matériaux meubles – ou durs au contraire comme des blocs morainiques, les venues d'eau erratiques...)

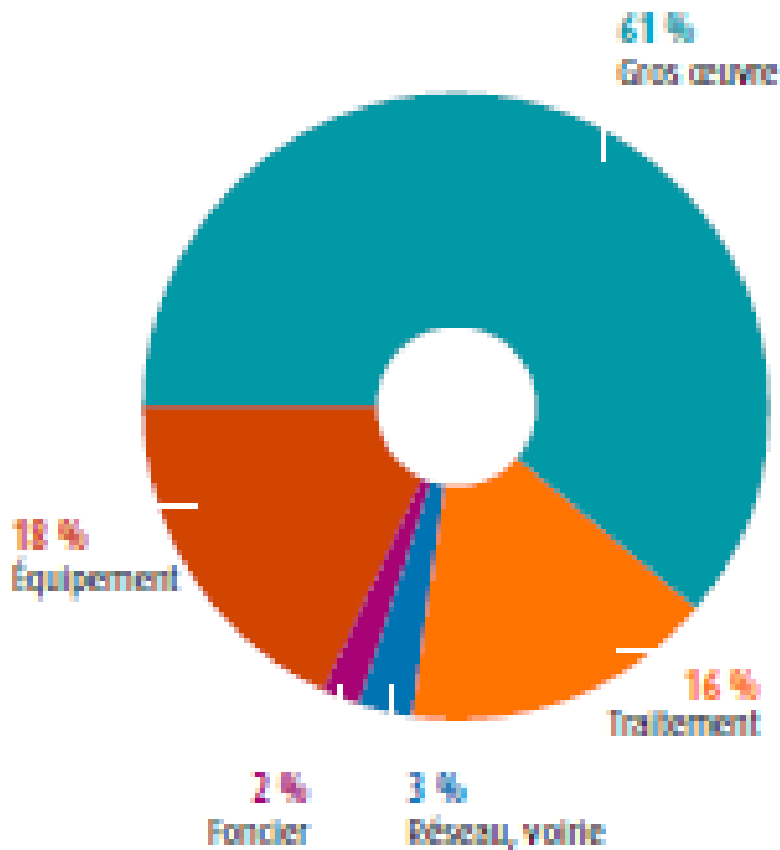
A titre d'exemple, avec un diamètre de 8m, il est très possible que la section d'un tunnel recoupe plusieurs natures de terrain éventuellement très différentes ; il est arrivé que de telles conditions inattendues justifient de dévier le tracé ou le profil.

### Traitements de sols

Hors génie civil proprement dit, des traitements de sols importants – dépendant du contexte et de l'aléa géotechnique – interviennent. Il s'agit notamment d'injections de consolidation de terrain, ou destinés à étancher des venues d'eau...

Le CETU remarque que Le « gros oeuvre » 2 représente entre 50 et 70 % du coût global tandis que le poste « équipements » ne représente que 15 à 20 % environ. En fonction des cas, le poste « traitement de terrain » peut représenter plus de 20 % du coût de l'ouvrage, ce qui est caractéristique des ouvrages souterrains en site urbain sensible.

## Répartition indicative des postes d'une EPP



*Illustration 6 : Répartition indicative des différents postes pour les tunnels de métros urbains*

(EPP = Enveloppe Prévisionnelle Plafond)

### Équipement électromécanique

Ces équipements apparaissent dans le graphique ci-dessus. Nous mettons en garde le lecteur contre l'application directe du fascicule 4 du rapport CETU car 1/ il est davantage consacré aux tunnels routiers, et 2/ les équipements électromécaniques (notamment de ventilation) sont souvent inclus dans les stations enterrées.

### Stations enterrées

Ce poste dépend fortement :

- De la profondeur des quais
- De la longueur des quais
- De la géotechnique naturellement

- Des dispositions architecturales
- S'agit-il de stations simples ou en correspondance
- Des équipements électromécaniques du tunnel inclus ou non
- Servant un tunnel mono-ou bi-tube ?

Compte tenu de toutes ces variables, il est encore plus difficile d'estimer un coût par station.

### **Exemples récents en Europe : tramway de Nice, Grand Paris ligne 18, et HS2 au Royaume-Uni**

INGEROP vient de suivre la construction de la ligne 2 du tramway de Nice, qui partage avec Québec l'existence d'une section souterraine, longue à Nice de 3,6km profonde, creusée au tunnelier, et 6 stations traitées en parois moulées avec quais de 50m. Les valeurs observées à l'issue du chantier sont de l'ordre de 100 M€/km, plus 30 à 60M€ par station souterraine selon l'aménagement et les conditions, et incluant l'électromécanique.

On note le marché tout récemment attribué pour le génie civil uniquement du Grand Paris Express ligne 18 Orly-Massy, soit 800 M€ pour 3 stations souterraines et 12km de tunnel au tunnelier.

Enfin, les tunnels du lot C2 de la lignes HS2 (ligne à grande vitesse au Nord de Londres) sont construits par Bouygues pour 700M€ pour un bi-tube de 16km (soit 32km de tube diamètre 9m), au tunnelier, en rase campagne.

### **Conclusion**

Une section en tunnel est à la fois très lourde financièrement, et porteuse de forts aléas.

Nous mettons fortement en garde contre toute utilisation des valeurs ci-dessus en l'absence d'une étude à la fois géométrique, technique et géotechnique sérieuse, et en l'absence de véritable base de données au Québec.

**PREPARE PAR : Laurent AUZEL**

**REVISION : 2020-07-09**