

Le Métro de LILLE

Coût des tunnels de la ligne 1 bis.

2456

La ligne 1 bis se développe sur une longueur de 12 km env.. Les différents modes de réalisation et la variété des méthodes d'exécution ont été choisis en fonction de certaines contraintes imposées par la nature du sous sol, la densité urbaine et les impératifs financiers. Les campagnes de reconnaissance menées par des sondages et par des puits, ont permis d'obtenir une définition assez précise de la nature du sous-sol et de son comportement dans les zones les plus délicates.

D'une manière générale, la ligne 1 bis rencontre dans sa traversée de l'agglomération lilloise, un site géologique au relief très diversifié. Cependant, d'un point de vue géotechnique, 5 secteurs ont pu être dégagés:

- terrain argilo-sableux entre la rue du Grand But et la Maison des enfants à Lomme.
- puis des colluvions recouvrent ce site argilo-sableux pour se terminer en biseau sur l'assise de la craie blanche jusqu'à l'Avenue des Magnolias à Lambersart.
- ensuite la présence de craie blanche prédomine. De l'Avenue des Magnolias à la Deûle, elle est recouverte par des alluvions.
- de la Deûle à Saint Sauveur, elle est recouverte par du limon des plateaux ou quelques colluvions.
- puis de nouveau des alluvions recouvrent la craie blanche entre Saint Sauveur et Gares.

La présence de nappes phréatiques influe aussi sur les différentes options de génie civil:

- à l'ouest de la ligne, on trouve une nappe superficielle à moins de 2,50 ml env. et une nappe profonde à moins 17 mètres env.
- sur l'avenue de Dunkerque, entre l'Avenue des Magnolias et la Deûle: la nappe remonte de moins 14 mètres à moins 8 mètres environ.
- entre la Deûle et la Porte des Postes: nappe semi-profonde à moins 9 mètres environ.
- entre Saint Sauveur et Gares: nappe semi-profonde entre moins 8 mètres et moins 4 mètres environ.

De plus, la présence des nappes est variable selon la nature du sous sol et celles qui ont été repérées, circulent et communiquent entre elles.

La configuration générale de la ligne, résultant d'un compromis entre ces différents facteurs, se décompose comme suit:

- les viaducs (3107 ml) d'une part, à l'extrême ouest de la ligne entre la sortie du garage à Lomme près de l'Hôpital St Philibert et la rocade nord ouest sur 563 ml et d'autre part sur 2544 ml, au centre des Boulevards de ceinture de Lille (bld de Strasbourg, d'Alsace, et de Belfort) entre la rue Bayard et le Boulevard Louis XIV.

- la tranchée couverte (1742 ml), de 1340 ml sur le boulevard Montebello entre la rue Flamen et la rue Bayard, ensuite sur un secteur de 402 ml dans le boulevard du Maréchal Vaillant.

- le tunnel profond (6862 ml), d'une part de la rocade nord ouest en passant sous l'avenue de Dunkerque et sous la rue de Turenne jusqu'à la rue Flamen, d'autre part du boulevard du Mal. Vaillant au niveau de la rue Georges Lefevre jusqu'à l'arrivée à la station Gares.

La répartition géographique de ces différents ouvrages et leurs méthodes d'exécution se déclinent lot par lot comme suit:

Lot 1: Viaduc reliant le garage à la rocade nord ouest sur 563 ml.

Lot 6: Viaduc reliant la rue Du Guesclin à la rue Camille Guérin en passant par la place Guy de Dampierre: 2544 ml.

Sur le lot 1, la qualité médiocre du sous-sol constitué d'argiles des Flandres impose sur cette section la fondation des viaducs sur des pieux d'un diamètre de 1,20 ml à une profondeur de 15 à 20 ml. Les piles peuvent atteindre, en particulier sur l'une des voies de la rue du Grand But, une hauteur de 7 ml respectant ainsi la hauteur requise pour le franchissement des véhicules à gabarit exceptionnel.

La physionomie générale de l'ouvrage et la méthode d'exécution retenue sont sensiblement similaires à celles de la ligne 1.

Sur le lot 6, la craie se trouvant relativement proche de la surface, les fondations de l'ouvrage sont donc superficielles (2 ml) ou semi-profondes (5 ml) et ne nécessitent pas sur toute la longueur, d'ancrages par pieux, mais sont directement sur semelles.

Sur les deux lots, les viaducs sont constitués de tabliers distincts de 3 à 5 travées d'une portée moyenne de 40 mètres .

Le chantier a constitué une chaîne de production puisque l'ensemble des 2 lots comprend 75 travées (11 pour le lot 1 et 64 pour le lot 6). La cadence d'avancement, après la période de mise au point, a été d'une travée tous les 3 jours. Le nombre de travées étayées simultanément a été en moyenne de 6 à 7, ce qui a permis de réduire notablement l'impact des emprises au sol sur la circulation. La précontrainte utilisée pour la ligne 1 bis est du type précontrainte extérieure. Cette technique nouvelle constitue une amélioration importante par rapport au procédé utilisé sur la ligne 1 . On procède à la réalisation de la partie haute du viaduc travée par travée sur échafaudage complet en place.

Trois phases successives sont alors nécessaires:

- coulage du fond du caisson
- coulage des montants du caisson
- coulage de la partie supérieure.

La précontrainte a été réalisée à l'intérieur du caisson, cependant à la différence d'une précontrainte classique, les câbles n'ont pas été noyés dans le béton, ce qui permet:

- de réduire l'épaisseur des âmes du caisson et de réaliser une économie au niveau de l'utilisation du béton et de l'acier
- d'accéder facilement aux câbles et d'en changer si cela est nécessaire.

Les bandeaux ont été mis en place à l'aide d'une grue mobile après exécution du tablier.

Les travaux de gros oeuvre des viaducs, commencés en décembre 1984, ont été réalisés en 24 mois.

Coût au ml hors taxes en francs val. Août 84:

27100 F / ml.

Lot 2: Souterrain profond entre la Rocade nord ouest et la rue Fernand Guibert à Lomme: 1078 ml. (770 ml de tunnel).

La configuration géologique favorable à moyenne profondeur comportant de l'argile compacte des Flandres et des sables secs et cohérents d'Ostricourt, permet une exécution traditionnelle en souterrain. Ces terrains se situant hors de la nappe phréatique, un traitement préalable du terrain n'a pas été nécessaire.

Depuis la Rocade nord ouest en passant sous le cimetière du bourg jusqu'à l'Avenue de Dunkerque au niveau de la place du Mal Leclerc, les travaux s'effectuent en tranchée couverte sur 308 ml. Ensuite, la ligne plonge en tunnel profond à 15 mètres (770 ml) jusqu'à la rue Fernand Guilbert à Lomme.

La construction du tunnel voûté s'effectue en deux temps: exécution de la voûte, puis exécution de la partie inférieure. Après avoir creusé le terrain à l'aide d'une fraise mécanique qui grignote le front de taille et évacue les déblais, on réalise la partie centrale de la voûte maintenue par des cintres, puis on blinde. Ensuite, on élargit la fouille de chaque côté de ce four central et l'on pose les cintres.

L'arc supérieur étant ainsi creusé, on met en place la voûte de béton, grâce à un système de coffrage glissant. Enfin, on creuse et on bétonne la partie inférieure du tunnel. La durée des travaux a été de 21 mois.

Coût au ml en francs hors taxes val.Juillet 84:

61 000 Frs / ml.

Lot 3: Souterrain circulaire profond sous l'Avenue de Dunkerque entre la rue Fernand Guilbert et l'Avenue Max Dormoy à Lille sur 3593 ml. (3259 ml de tunnel).

On rencontre à partir du sol sur une grande épaisseur pouvant dépasser 20 ml, des formations alluviales argilo-sableuses; le niveau de la nappe qui s'établit normalement à quelques mètres sous le sol est rabattu localement à une dizaine de mètres de profondeur par l'influence des puissants pompages industriels de la Carnoy. Dans l'impossibilité d'utiliser sur cette section des procédés traditionnels, la solution du creusement du tunnel par bouclier à pression de boue a été retenue.

Dès le départ en juillet 86, le tunnelier atteint une vitesse de 14 ml / jour. Après le passage dans une zone alluviale, l'ouvrage était calé, comme l'avait prévu les sondages, dans des sables d'Ostricourt, horizon géologique favorable à la progression du tunnelier. Une proportion plus ou moins élevée de " fines" (éléments < 80 microns) a entraîné un phénomène de " proportions critiques d'argile, de silt et de sable " qui a changé le comportement du terrain et a entravé la marche du tunnelier. Il en est résulté une perte de cadence importante et un retard de quelques mois.

Des sondages complémentaires ont été nécessaires , une démarche de fond a été engagée et l'ensemble des paramètres ont été saisis pour établir un réel diagnostic. Des modifications ont été apportées au niveau du bouclier:

- des plaques en téflon ont été fixées sur les bras de l'étoile, afin de permettre au matériau de glisser plus facilement.
- des jets à haute pression ont été installés devant la grille et les outils centraux, afin de briser les mottes d'argile et nettoyer la chambre.
- le système d'alimentation en boue a été radicalement transformé: celui ci s'est effectué en partie haute du bouclier, afin de favoriser un brassage maximum. La densité de la boue traitée au niveau de la centrale a été diminuée afin de limiter le phénomène d'adhérence.

Le déroulement général du chantier a été entièrement révisé et l'ensemble des tâches recalé pour réduire les délais: ainsi les équipes qui étaient réparties sur 3 postes ont été renforcées afin de travailler 24 heures sur 24 , 7 jours sur 7.

Les points critiques du chantier franchis, la vitesse d'avancement a été conforme aux prévisions recalées et, certains jours, le tunnelier a même enregistré une progression de 25 mètres en une seule journée.

Diamètre de creusement : 7,70 ml
 Diamètre intérieur : 6,80 ml

Coût moyen de réalisation du tunnel circulaire
en Francs hors taxes val.Juin 84:

64 200 F / ml

Coût des mesures supplémentaires

50 000 F / ml

Lot 4: Souterrain profond entre l'Avenue Marx Dormoy et la rue Flamen à Lille sur 1241 ml.(1132 ml de tunnel)

L'ouvrage s'inscrit dans la craie en granules, altérée ou fissurée et dans les limons ou les alluvions qui la surmontent.

La hauteur de la nappe phréatique nécessite un traitement préalable du terrain par des injections de bentonite-ciment et gel de silice, afin de créer un manchon de terrains stabilisés d'une douzaine de mètres de diamètre à l'abri duquel on peut creuser un tunnel en toute sécurité.

Les injections ont été menées à partir de 3 centrales sur 18 mois de mars 85 à septembre 1986, le creusement du tunnel a duré 27 mois de janvier 1985 à avril 1987 et a été réalisé à partir de 3 puits d'attaque.

Pour l'ensemble du chantier, les cadences d'avancement ont atteint en moyenne 50 mètres par mois pour la construction de la voûte et 120 mètres par mois pour la demi section inférieure; ces cadences ont été obtenues grâce à l'évacuation des déblais par marinage hydraulique.

Des mesures particulières d'étanchéité ont été appliquées aux différents stades de la construction des tunnels, afin d'en augmenter la qualité.

Coût en Francs hors taxes par ml val.Août 1984

99 000 F / ml

Lot 5: Tranchée couverte entre la rue Flamen et la rue Bayard à Lille sur 1340 ml (ouvrage cadre sur 866 ml)

Cet ouvrage est implanté au plus près du sol, il est construit en majeure partie au dessus de la nappe phréatique. La construction du tunnel en tranchée couverte s'opère en 5 phases:

- forage des trous et mise en place de fer H ou pieux de la Berlinoise.
- creusement de la tranchée avec blindage bois dans la partie supérieure en vue du rétablissement ultérieur des réseaux, blindage béton dans la partie inférieure et pose de butons pour reprendre les efforts latéraux du terrain.
- exécution du cadre: béton de propreté, pose de l'étanchéité, coulage du radier, pose de l'étanchéité des parois latérales, coffrage, ferrailage des parois et de la dalle de couverture, finition de l'étanchéité.
- couverture par remblais.
- reconstruction d'une chaussée provisoire en attendant une chaussée définitive.

- une voie de circulation en sens unique est toujours maintenue pendant les travaux par des platelages couvrant la totalité de la fouille à l'emplacement des carrefours et au droit de l'Hôpital de la Charité.

Coût en Francs hors taxes par ml val. Déc.1984

- ouvrage courant entre berlinoises, profondeur du plan de roulement 6,60 ml sur 620 ml:

65 600 F / ml

- ouvrage de raccordement, parois au coulis, profondeur du plan de roulement de 7,00 à 13,00 ml:

109 700 F / ml.

Lot 7: Tranchée couverte dans le Bld du Mal Vaillant sur 402 ml

Bien que la longueur de ce lot soit relativement courte, il a été nécessaire, pour résoudre les contraintes liées à sa réalisation, de mettre en oeuvre plusieurs techniques de parois de soutènement, sans pour autant qu'une seule de ces techniques puisse s'appliquer sur la totalité du linéaire.

La réalisation de ce lot a été marqué par de très fortes contraintes de circulation et d'emprises de chantier:

- dans la partie centrale, au croisement du bld Louis XIV, la tranchée a du être réalisée en maintenant toujours 2 files de circulation. Pour respecter cette contrainte, 2 éléments d'autoponts récupérés ont été utilisés comme platelages;

- au droit de la station " Foire Commerciale " un platelage en encorbellement a été posé de façon à disposer d'une voie d'accès pour les véhicules de secours pendant la phase de creusement de la station.

A ces contraintes de circulation se sont ajoutées celles provenant d'un sous-sol particulièrement encombré, d'une part par un maillage de multitubulaires PTT dont la déviation était inenvisageable, d'autre part par un collecteur ovoïde dont le dévoiement était également impossible, faute de place disponible dans le sous-sol du boulevard.

La géologie du sous-sol du bld du Mal. Vaillant est caractérisée par la présence d'anciennes fortifications, ce qui s'est traduit par la mise à jour de blocs de maçonneries épars dans des remblais de qualités diverses, provenant d'anciens murs, casemates et fosses.

Le chantier commencé en octobre 1985 s'est déroulé sur 21 mois, y compris les travaux de déviations de réseaux.

Profondeur moyenne du cadre 9,60 à 12,00 ml par rapport au plan de roulement

Coût de la tranchée couverte entre parois moulées préfabriquées ancrées dans le tun en partie profonde:(3)

125 900 F HT / ml val. Déc. 84.

en partie peu profonde:(1 + 2)

103 200 F HT / ml.

Lot 8: Tunnel profond entre les stations " Foire Commerciale " et " Gares " sur 950 ml (782 ml de tunnel circulaire).

A l'origine du projet, le tunnel devait être réalisé par méthode traditionnelle après traitement des terrains par injections.

Dans le cadre de l'appel d'offres, l'entreprise Bouygues a proposé une variante avec utilisation d'un tunnelier à pression de boue qui a été retenue.

Cet ouvrage se situe sous la nappe phréatique, à une profondeur de 15 à 18 mètres, dans la craie fissurée.

Le percement a débuté en juin 86. Le tracé sinueux ne comportait que 30 ml d'alignement droit: cette contrainte a imposé l'utilisation d'un bouclier de faible longueur, capable de s'inscrire dans des courbes de rayon de l'ordre de 145 ml, selon ces rayons, les anneaux de voussoirs ont 2 largeurs différentes 1,12 ml et 0,80 ml.

Près de la Gare, le profil en long remonte passant d'une couverture de 8 ml à 4 ml pour rejoindre dans les alluvions, l'ouvrage de liaison avec la station " Gares ". Afin d'éviter des affaissements possible lors du passage du tunnelier, il a fallu procéder au préalable à des travaux de confortement de voûte.

De plus, l'organisation des travaux, prévue en 2 postes, 5 jours sur 7, a été transformée en travail à temps continu pour éviter d'éventuels tassements dus aux arrêts. Les travaux de creusement étaient terminés le 20 février 1987.

Coût en Francs hors taxes par ml val. Déc. 84:

109 000 F HT / ml

ouvrage supplémentaire:

56 000 F HT / ml

En résumé, sachant que les travaux décrits ci dessus comprennent les ouvrages courants hors stations et ouvrages particuliers, les déviations de réseaux, le platelage de la tranchée couverte, les réfections de voirie après exécution de la tranchée couverte, les injections et les travaux confortatifs liés à la méthode d'exécution (lot 4), on peut écrire le tableau suivant:

Lot	Longueur Lot en ml	Longueur Ouvrage en ml	Type	Sous-sol	Coût au ml F HT
1&6	3107		viaduc	argiles (lot 1) craie (lot 6)	27 100 Août 84
2	1078	770	tunnel traditionnel sans traitement	argiles des Flandres sables secs d'Ostricourt hors nappe	61 000 Juil.84
3	3593	3259	tunnel bouclier à pression de boue	alluvions argiles & sables dans la nappe	64 200 Juin 84 suppl. 50 000

Lot	Longueur Lot en ml	Longueur Ouvrage en ml	Type	Sous-sol	Coût au ml F HT
4	1241	1132	tunnel traditionnel injections	craie altérée limons & alluvions dans la nappe	99 000 Août 84
5	1340	866	tranchée couverte (- 6,60m) (- 7,00 à -13,00 ml)	craie hors nappe dans la nappe	65 600 Déc.84 109 700
7	402		tranchée couverte prof.moy. 9,60 à 12,00 ml	craie & fortifications	niveau - 3 125 900 Déc.84 niveau - 1, -2 103 200
8	950	782	tunnel bouclier à pression de boue prof.15 à 18 ml	craie fissurée dans la nappe	109 000 Déc.84 ouvr. supp. 56 000

Si l'on compare ces coûts avec ceux de l' APD établis en juillet 84, qui sont récapitulés dans le tableau ci-dessous, et qui comprennent les accès sur remblai vers le garage et vers le lot 2, les études et les contrôles; enfin le coût global comprend les VRD et dévoiement de réseaux y compris pour les stations ainsi que 15% d'aléas sur le génie civil . Ces montants sont hors génie civil des ouvrages annexes de ventilation ou d'épuisement et hors frais de maîtrise d'oeuvre:

Lot	Linéaire en ml	Type d'ouvrage	Coût au ml Frs H.T.	VRD Dévoiement Aléas en 10^3 Frs.	Coût global au ml Frs H.T.
1	563	viaduc & ouvrages d'accès	43 303	28 370	93 582
2	47 309 695	trémie d'accès tranchée couverte tunnel traditionnel sans traitement	51 294 " 53 374	15 931	68 475
3	3262	tunnel au bouclier	62 103	89 500 (1)	89 546

Lot	Linéaire en ml	Type d'ouvrage	Coût au ml Frs H.T.	VRD Dévoiement Aléas en 10^3 Frs.	Coût global au ml Frs H.T.
4	1120	tunnel traditionnel	94 480 (2)	38 008	132 435
5	891	tranchée couverte	64 649 (3)	83 018	157 840
6	2544	viaduc & accès	41 490	40 692	57 485
7	402	tranchée couverte	77 512 (4)	26 574	143 616
8	767	tunnel traditionnel	99 974 (5)	33 805	144 074

Nota: (1): ce montant comprend $5000 \cdot 10^3$ Frs d'injections.

(2): ce montant comprend $56 000 \cdot 10^3$ Frs d'injections soit 50 000 Frs / ml de tunnel

(3): ce montant comprend $4 598 \cdot 10^3$ Frs d'injections soit 5160 Frs / ml de tunnel.

(4): ce montant comprend les ouvrages d'accès, les trémies.

(5): ce montant comprend $34 100 \cdot 10^3$ Frs d'injections soit 44 458 Frs / ml de tunnel.

Si l'on compare ces coûts avec ceux obtenus après travaux, on constate:

Lots 1 & 6:

- le coût moyen au mètre linéaire de viaduc est très supérieur dans l'APD puisque le coût moyen obtenu sur les lots 1 & 7 est de 64 025 Frs H.T. contre 27 100 Frs. après travaux. Ces coûts tiennent compte des déviations de réseaux sur l'ensemble du lot considéré et donc dans l'emprise des stations ce qui peut expliquer une partie de l'écart entre le prix au ml après travaux et le prix avant travaux qui comprend 15% d'aléas et les déviations de réseaux dans l'emprise des stations.

Lot 2:

- la différence entre coût avant et après travaux est inférieure au 15% d'aléas incorporés dans le prix donné dans l'APD.

Lot 3:

- le coût après travaux n'apparaît pas clairement, est ce la somme de: $64 200 + 50 000 = 114 000$ Frs./ ml sur l'ensemble du lot ou simplement ce coût ne s'appliquerait que sur une partie difficile du lot, ce montant est à comparer à 89 546 Frs./ ml de l'APD. Le coût prévu serait alors inférieur à la réalité malgré les 15% d'aléas incorporés dans ce prix.

Lot 4:

- le coût prévu par l'APD est nettement supérieur au coût après travaux (33,7%).

Lot 5:

- le coût prévu par l'APD est aussi très supérieur au coût après travaux (140% pour la tranchée couverte normale et 43,8% pour la tranchée couverte profonde).

Lot 7:

- le coût prévu par l'APD est supérieur au coût après travaux (de 39% pour les niveaux - 1 et - 2 , de 14% pour le niveau - 3).

Lot 8:

- comme pour le lot 3 le coût définitif fait apparaître 2 prix :

$109\ 000 + 56\ 000 = 165\ 000$ Frs./ ml qui s'applique sur un certain linéaire du lot. S'il s'applique à l'ensemble, le coût après travaux est supérieur de 14,5% du coût estimé dans l'APD qui comprend 15% d'aléas.

Comparaison avec l'estimation de l'APS de la ligne 2.

On peut aussi comparer ces différents coûts avec les prix estimés de l'APS de la ligne 2. Le prix des tunnels sont basés sur la technique des tunneliers à pression de boue.

Une somme à valoir de 15% est prévue dans le coût de travaux en souterrain, de 10% pour les travaux exécutés à ciel ouvert, de 5% pour les viaducs et ouvrages aériens.

Ces prix ne tiennent pas compte des VRD et des frais de maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'oeuvre.

Selon les solutions et le linéaire d'ouvrages , les coûts selon le type d'ouvrage apparaissent dans le tableau suivant:

Tronçon	Viaduc				Tunnel cadre				Tunnel circulaire			
	sol A		sol B		sol A		sol B		sol A		sol B	
	qté ml	coût F/ml	qté ml	coût F/ml	qté ml	coût F/ml	qté ml	coût F/ml	qté ml	coût F/ml	qté ml	coût F/ml
T1					258	77000	120	77000			126	71500
T2	2067	33800			1778	79000					3457	71500
T3	3669	40900									2240	71500
											2025	77 000
T4	- 1								714	85900	714	77000
									714	89200		
T5	- 1								2067	85900	2599	77000
									532	77000		
	- 2								1510	89200	2115	77000
									605	77000		

Tronçon	Viaduc		Tunnel cadre		Tunnel circulaire	
	sol A	sol B	sol A	sol B	sol A	sol B
T6			1064 77000			
T7					3201	77000
- 1						
- 2					3482	77000

La désignation des tronçons et le profil géologique correspondants sont dans le tableau ci-après:

	Désignation des tronçons	Profil géologique
T1	Gares - Romarin	12 à 13 mètres de remblai + alluvions reposant sur un substratum crayeux, nappe phréatique
T2	Romarin - Ht Vinage	5 à 7 mètres de remblais reposant sur l'argile de Louvil au sud et le tuffeau et sables au nord, nappe phréatique
T3	Ht Vinage - Douai - Cambrai	vallée de la Marque: alluvions sur tuffeau supérieur + sables et lentilles d'argiles yprésienne, nappe d'eau
T4	Douai - Cambrai - Chanzy	substratum unique d'âge yprésien, constitué par l'argile des Flandres présentant en tête une frange d'altération de 1 à 4 mètres d'épaisseur
	- 1 par l'Av. des Nations Unies	
	- 2 par l'Av. J.B. Lebas	
T5	Chanzy - Alsace	formation quaternaire épaisse de 2 à 5 mètres reposant sur l'argile
	- 1 par l'Av. des Nations Unies	
	- 2 par l'Av. J.B. Lebas	
T6	Alsace - Carliers	talweg à remplissage quaternaire épais de 15 m au dessus de l'argile de Roubaix.

T7 Carliers - Gramme

- 1 par le Bld de l'Egalité
- 2 par la rue de Gand

l'argile de Roubaix est recouverte d'un manteau quaternaire de 4 à 5 m, le profil du dernier secteur reste à établir

Les solutions présentées pour la ligne 2:

Solution A.

- Cette solution est orientée vers la recherche du coût de réalisation minimum, elle comporte une tranchée couverte entre " Gares " et " Buisson ", un viaduc entre " Buisson " et " Douai - Cambrai " (interrompu par le franchissement en tranchée couverte des autoroutes et de la voie ferrée à Ht Vinage), enfin un tunnel foré entre Douai - Cambrai et le terminus Gramme. Les coûts retenus pour les différents types d'ouvrages sont:

- Viaduc sur tronçon	T2: 33 800 Frs. / ml val Juil.86
"	T3: 40 900 Frs. / ml " " "
- Tunnel cadre sur tronçon	T1: 77 000 Frs. / ml val.Juil.86
"	T2: 79 000 Frs. / ml val. Juil.86
- Tunnel circulaire sur tronçon	T4: -1 85 900 Frs./ ml " "
"	T4: -2 89 200 Frs. / ml " "
"	T5: -1 85 900 Frs./ ml " "
"	T5: 77 000 Frs./ ml " "
"	T5: -2 89 200 Frs / ml " "
"	T5: 77 000 Frs./ ml " "
"	T6: 77 000 Frs./ ml " "
"	T7: 77 000 Frs / ml " "

Cette solution implique l'arrêt de l'exploitation du Mongy dès le début des travaux sur les grands boulevards et nécessite l'arrachage d'au moins une des rangées d'arbres du terre plein sud.

Solution B.

- Cette solution comporte un tunnel foré de " Romarin " jusqu'au terminus " Gramme ", elle préserve au maximum l'environnement et permet le maintien en service du Mongy pendant toute la construction de la ligne 2. Les coûts retenus pour les 2 types d'ouvrages sont:

- Tunnel cadre sur tronçon	T1: 77 000 Frs. / ml val.Juil.86
- Tunnel circulaire sur tronçon	T2: 71 500 Frs./ ml " "
"	T3: -1 71 500 Frs. / ml " "
"	T3: -2 77 000 Frs. / ml " "
"	T4: -1 77 000 Frs. / ml " "
"	T4:-2 89 200 Frs. / ml " "
"	T5: 77 000 Frs / ml " "
"	T6: 77 000 Frs / ml " "
"	T7: 77 000 Frs / ml " "

Solution C.

- Cette solution expose le passage de la ligne 2 par les centres de Wasquehal et Croix, elle n'est pas examinée ici.