CDG Express
Groupement d'Intérêt Économique

GIE CDG Express
40 rue d'Alsace
75010 PARIS
☎ : 01 40 18 83 80
🖷 : 01 40 18 60 52

ETUDE DE NIVEAU SCHEMA DE PRINCIPE DES INSTALLATIONS D'INFRASTRUCTURE

Etude complémentaire
APPROFONDISSEMENT DU PROFIL EN LONG ENTRE NOISY LE SEC ET TREMBLAY

NOTE DE SYNTHESE

SNCF
DIRECTION DE L'INGENIERIE

Rev.1	Date : 23/05/02	Modifications : Complément demandé par le GIE CDG Express suite à réunion du 11/04/02 : approfondissement de 10 m, décalage de tracé, données pour étude de nuisances vibratoires.	
Auteur : P. Fauvel		Vérificateur :L. Vautherin	Chef de projet : P. Fauvel
Date : 10/04/02	Echelle : /	N° affaire : QC32	N0 document : /

Paris, le 10/04/02

ETUDE DE NIVEAU SCHEMA DE PRINCIPE DES INSTALLATIONS D'INFRASRUCTURE

Etude complémentaire
APPROFONDISSEMENT DU PROFIL EN LONG ENTRE NOISY LE SEC ET TREMBLAY

NOTE DE SYNTHESE

1. Contexte de l'étude

Nous ne reviendrons pas sur les études qui ont conduit à envisager le projet tel qu'il est aujourd'hui : tracé direct par Tremblay, tunnel long de plus de 10 km, passage au sud du poste EDF à Mitry Mory, deux possibilités d'entrée dans l'emprise de l'aéroport avec phasage dans le temps : entrée en empruntant les voies de la LGV Jonction, puis, dans un deuxième temps, entrée indépendante par deux voies propres au projet.

A l'issue de la concertation préalable, les préoccupations du public semblaient axées sur deux points :

- Les nuisances en phase de travaux, notamment par rapport aux tassements de surface,
- Les nuisances en phase d'exploitation, essentiellement dues aux vibrations transmises par les sols.

Ces deux questions pourraient à l'évidence trouver réponse par un approfondissement du profil en long. L'effet des tassements, du moins en ce qui concerne la valeur de leur amplitude, est a priori atténué par un éloignement (obtenu par un approfondissement) du chantier de creusement, sachant en revanche que la zone d'influence s'en trouve théoriquement augmentée en surface. L'effet des vibrations, toutes choses égales par ailleurs, se trouverait également atténué par un approfondissement du projet. Encore ne faut-il pas oublier que certains terrains, s'ils sont plus favorables au creusement d'un tunnel de par leurs bonnes caractéristiques mécaniques, peuvent aussi être plus favorables à l'émission et à la propagation d'ondes vibratoires.

Par ailleurs, dès les études préliminaires, une réflexion avait déjà eu lieu sur le calage optimum du tunnel, les horizons du Lutétien (les Marnes et Caillasses, et mieux encore, le Calcaire Grossier) semblant constituer le milieu le plus favorable pour le creusement du tunnel. Pour des raisons liées à l'hydrogéologie et à la logistique (construction et gestion du puits de la Poudrette, centre névralgique des travaux), les études préliminaires avaient conclu à un calage différent du profil en long (ce point est repris plus bas).

Toutes ces interrogations ont conduit le GIE CDG Express à demander plusieurs études en parallèle : analyse hydrogéologique en vue du dossier loi sur l'eau confiée au BCOM assisté du LREP (voir § 5.1 plus loin) pour bénéficier de sa connaissance du contexte géologique local, analyse des risques de tassement confiée à Scetauroute,, analyse des risques de nuisances liées aux propagations des ondes vibratoires dans le sol confiée au bureau D2S, analyse d'un approfondissement du profil en long d'un point de vue constructibilité et coût de l'ouvrage confiée à la SNCF.

C'est de cette dernière étude dont il est question dans ce dossier.

2. Rappel du cahier des charges et contenu de la présente étude

2.1) Données générales

Les données générales de l'étude restent inchangées par rapport aux études précédentes :

- Gare de départ, Paris Est,
- Ligne actuelle jusqu'à Noisy le Sec,
- Tunnel entre Noisy le Sec et le secteur de Tremblay,
- Raccordement avec la LGV Jonction,
- Desserte de la gare TGV de Roissy CDG 2,
- Matériel Z TER à 3 caisses en UM (de 2 éléments maximum),
- Temps de trajet de l'ordre de 15 minutes.

2.2) Particularités

La prise en compte du projet « Normandie Roissy » demande que le matériel retenu pour l'évaluation des performances soit aussi, outre les rames Z TER, des rames TGV Duplex.

Le tracé reste inchangé par rapport à l'étude précédente, l'entraxe des voies est 3.62 m, la section utile du tunnel est 47 m2.
Pour être conforme aux conclusions de l'étude précédente de septembre 2001 (complément à l'étude de niveau schéma de principe, raccordement à la gare TGV), en plus de la solution desservant la gare TGV de Roissy CDG 2 par raccordement avec la LGV Jonction (solution 2'S), sont aussi examinés les temps de parcours de la solution 3'S (desserte de la gare TGV de Roissy CDG 2 par voies propres au projet).

La reprise du profil en long ne concerne que la zone comprise entre l'extrémité sud du tunnel côté Noisy le Sec et l'extrémité nord du tunnel côté Tremblay.

2.3) Méthode proposée

La méthode retenue pour mener à bien cette étude consiste dans un premier temps à établir le profil en long en cherchant à le caler, autant que faire se peut, au niveau du Calcaire Grossier. Dans un deuxième temps, les performances des matériels envisagés sont évaluées dans les deux sens de circulation et sont comparées à celles attendues. Si les critères demandés ne sont pas satisfaits, des modifications de profil en long peuvent être faites jusqu'à obtenir le résultat souhaité. Cet objectif atteint, le profil en long peut être qualifié d'optimum quant aux performances.

Ce profil en long fait alors l'objet d'une analyse destinée à réévaluer le coût de construction du tunnel.

24) Documents

Le détail des documents fournis est indiqué en annexe.

3. Evolution du profil en long depuis l'origine des études préliminaires

Si un retour sur les principales conclusions des études précédentes ne semble pas utile, il est en revanche intéressant de rappeler quelques points traités lors du démarrage des études préliminaires : la définition du profil en long, l'établissement des temps de parcours et l'aérodynamique.

3.1) Définition du profil en long et évolution

Au cours des études préliminaires, le premier profil en long envisagé était relativement profond, avec une couverture de 43 m au droit de la zone industrielle de la Poudrette. La pente était de 35 mm/m sur 446 m, puis 13mm/m sur 1 597 m, puis 5 mm/m sur 1 588 m. Le tunnel était alors essentiellement creusé dans les Marnes et Caillasses du Lutétien, terrains présentés comme globalement favorables en terme de creusement, si ce n'est la présence de la nappe et les risques de poches de dissolution du gypse. La grande profondeur du point bas et la volonté de réduire les pressions s'exerçant sur le tunnel et de trouver un accès intermédiaire « aisé » pour le chantier ont conduit à proposer un profil en long moins profond avec des rampes moins fortes et un point bas situé au même endroit mais avec une couverture de 20 m environ. La pente était de 35 mm/m sur 776 m, puis 2mm/m sur 2 881 m. Le tunnel était alors essentiellement creusé dans les Sables de Beauchamp et le Calcaire de Saint Ouen, ce qui était tout à fait acceptable dans le cas d'un creusement par méthode mécanisée.

Les deux profils avaient été présentés. Dans les 2 cas le tunnel était entièrement sous nappe. Le puits de la Poudrette avait une profondeur de 34 m ou de 58 m.

3.2) Temps de parcours

Les temps de parcours avaient été établis sur le profil dit « Bas ».

Par la suite, les études de niveau schéma de principe ont été établies sur la base du profil dit « Haut ». Cela était dû à un décalage dans le temps des études comme expliqué plus bas.

On peut rappeler cependant que l'introduction de rames TGV Duplex demandée en cours d'étude par le GIE CDG Express avait modulé un peu cette conclusion. Les critères de confort et de résistance aux effets de souffle testés pour des vitesses de croisement à 130 km/h dans les 2 sens, et de 130 km/h dans un sens et 190 km/h dans l'autre sens conduisaient à recommander un entraxe de 4 m plutôt que de 3.62 m.

4. Temps de parcours, consommation d'énergie

NOTA IMPORTANT : Les temps de parcours annoncés ci-dessous concernent des marches tendues auxquelles il conviendra d'ajouter une détente de 1.25 mn (5 mn pour 100 km), plus une marge dite « marge horairiste ». Les consommations énergétiques calculées sur la base de ces marches tendues sont en revanche surévaluées par rapport à une marche normale.

4.1) Temps de parcours et consommations pour le profil en long de référence.

Il s'agit du profil en long qui a été établi dans le cadre de l'étude de niveau « schéma de principe » de mars 2001. Il se caractérise en tunnel dans le sens impair comme suit :

- Pente de 33.72 mm / m sur 776 m ;
- Pente de 2 mm / m sur 2 881 m ;
- Rampe de 2 mm / m sur 6 659 m ;
- Rampe de 35 mm / m sur 604 m ;
- Rampe de 16.9 mm / m sur 30 m.

- ***Profil en long de référence pour la solution 2'S***

Dans la solution 2'S, le projet CDG Express se raccorde sur la LGV Jonction avant l'entrée dans l'aéroport

Solution 2'S Entrée dans CDG par LGV		Temps de parcours	Vitesse aux points caractéristiques			Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
SENS IMPAIR			Entrée du tunnel PK 9+401	Sortie du tunnel PK 20+351	Entrée dans CDG PK 23+934 T.C. 100 m2		
Z TER	Vmax 230	13.69 mn	122 km/h	165 km/h	123 km/h	178 km/h	260 kWh
Z TER	Vmax 160	13.91 mn	122 km/h	148 km/h	123 km/h	160 km/h	247 kWh
TGV duplex	Vmax 230	13.30 mn	120 km/h	177 km/h	123 km/h	230 km/h	676 kWh
TGV duplex	Vmax 160	14.07 mn	120 km/h	158 km/h	123 km/h	160 km/h	531 kWh
SENS PAIR			Sortie du tunnel PK 9+401	Entrée du tunnel PK 20+351	Sortie de CDG PK 23+970 T.C. 100 m2	Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
Z TER	Vmax 230	11.97 mn	119 km/h	157 km/h	106 km/h	192 km/h	218 kWh
Z TER	Vmax 160	12.43 mn	119 km/h	157 km/h	106 km/h	160 km/h	185 kWh
TGV duplex	Vmax 230	11.63 mn	128 km/h	167 km/h	104 km/h	230 km/h	559 kWh
TGV duplex	Vmax 160	12.49 mn	128 km/h	160 km/h	104 km/h	160 km/h	380 kWh

- ***Profil en long de référence pour la solution 3'S***

Dans la solution 3'S, les voies CDG Express sont totalement séparées de celles de la LGV Jonction jusqu'à la gare TGV de Roissy CDG 2.

Solution 3'S Entrée dans CDG par LGV		Temps de parcours	Vitesse aux points caractéristiques			Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
SENS IMPAIR			Entrée du tunnel PK 9+401	Sortie du tunnel PK 20+351	Entrée dans CDG PK 23+921 (tunnel 47 m2)		
Z TER	Vmax 230	13.80 mn	122 km/h	165 km/h	114 km/h	178 km/h	267 kWh
Z TER	Vmax 160	14.01 mn	122 km/h	148 km/h	114 km/h	160 km/h	254 kWh
TGV duplex	Vmax 230	13.41 mn	120 km/h	177 km/h	114 km/h	230 km/h	691 kWh
TGV duplex	Vmax 160	14.18 mn	120 km/h	158 km/h	114 km/h	160 km/h	547 kWh
SENS PAIR			Sortie du tunnel PK 9+401	Entrée du tunnel PK 20+351	Sortie de CDG PK 23+921 (tunnel 47 m2)	Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
Z TER	Vmax 230	12.14 mn	119 km/h	156 km/h	89 km/h	192 km/h	225 kWh
Z TER	Vmax 160	12.61 mn	119 km/h	156 km/h	89 km/h	160 km/h	192 kWh
TGV duplex	Vmax 230	11.81 mn	128 km/h	167 km/h	85 km/h	230 km/h	572 kWh
TGV duplex	Vmax 160	12.68 mn	128 km/h	160 km/h	85 km/h	160 km/h	396 kWh

4.2) Temps de parcours et consommation pour le profil en long abaissé.

Il s'agit du profil en long qui a été établi dans le cadre de la présente étude. Il se caractérise en tunnel dans le sens impair comme suit :

- Pente de 33.72 mm / m sur 2 157 m ;
- Pente de 2 mm / m sur 1 500 m ;
- Rampe de 2 mm / m sur 5 160 m ;
- Rampe de 35 mm / m sur 2 103 m ;
- Rampe de 16.9 mm / m sur 30 m.

- ***Profil en long abaissé pour la solution 2'S***

Dans la solution 2'S, le projet CDG Express se raccorde sur la LGV Jonction avant l'entrée dans l'aéroport

Solution 2'S Entrée dans CDG par LGV		Temps de parcours	Vitesse aux points caractéristiques			Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
SENS IMPAIR			Entrée du tunnel PK 9+401	Sortie du tunnel PK 20+351	Entrée dans CDG PK 23+934 T.C. 100 m2		
Z TER	Vmax 230	13.56 mn	122 km/h	140 km/h	122 km/h	183 km/h	262 kWh
Z TER	Vmax 160	14.03 mn	122 km/h	122 km/h	122 km/h	160 km/h	246 kWh
TGV duplex	Vmax 230	13.16 mn	120 km/h	177 km/h	122 km/h	230 km/h	640 kWh
TGV duplex	Vmax 160	14.07 mn	120 km/h	154 km/h	122 km/h	160 km/h	573 kWh
SENS PAIR			Sortie du tunnel PK 9+401	Entrée du tunnel PK 20+351	Sortie de CDG PK 23+970 T.C. 100 m2	Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
Z TER	Vmax 230	11.82 mn	118 km/h	157 km/h	106 km/h	200 km/h	207 kWh
Z TER	Vmax 160	12.45 mn	118 km/h	157 km/h	106 km/h	160 km/h	189 kWh
TGV duplex	Vmax 230	11.59 mn	128 km/h	167 km/h	104 km/h	230 km/h	495 kWh
TGV duplex	Vmax 160	12.51 mn	128 km/h	160 km/h	104 km/h	160 km/h	407 kWh

- ***Profil en long abaissé pour la solution 3'S***

Dans la solution 3'S, les voies CDG Express sont totalement séparées de celles de la LGV Jonction jusqu'à la gare TGV de Roissy CDG 2.

Solution 3'S Entrée dans CDG par LGV		Temps de parcours	Vitesse aux points caractéristiques			Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
SENS IMPAIR			Entrée du tunnel PK 9+401	Sortie du tunnel PK 20+351	Entrée dans CDG PK 23+921 (tunnel 47 m2)		
Z TER	Vmax 230	13.67 mn	122 km/h	140 km/h	114 km/h	183 km/h	268 kWh
Z TER	Vmax 160	14.13 mn	122 km/h	122 km/h	114 km/h	160 km/h	253 kWh
TGV duplex	Vmax 230	13.27 mn	120 km/h	177 km/h	114 km/h	230 km/h	653 kWh
TGV duplex	Vmax 160	14.18 mn	120 km/h	154 km/h	114 km/h	160 km/h	574 kWh
SENS PAIR			Sortie du tunnel PK 9+401	Entrée du tunnel PK 20+351	Sortie de CDG PK 23+921 (tunnel 47 m2)	Vitesse maximum en tunnel	Consommations d'énergie
Z TER	Vmax 230	12.00 mn	118 km/h	158 km/h	89 km/h	200 km/h	214 kWh
Z TER	Vmax 160	12.63 mn	118 km/h	158 km/h	89 km/h	160 km/h	195 kWh
TGV duplex	Vmax 230	11.77 mn	127 km/h	167 km/h	85 km/h	230 km/h	507 kWh
TGV duplex	Vmax 160	12.68 mn	127 km/h	160 km/h	85 km/h	160 km/h	409 kWh

4.3) Comparaison des profils en long en termes de performance

Les résultats évoqués plus haut, y compris ceux acquis lors des études préliminaires, peuvent être synthétisés comme suit :

	Temps de parcours	Vitesse maximum	Consommation d'énergie
Z TER, vitesse non limitée SENS IMPAIR			
Etude préliminaire	13.72 mn	178.3 km/h	251 kWh
Profil de référence	13.69 mn / 13.80 mn	178 km/h	260 kWh / 267 kWh
Profil abaissé	13.56 mn / 13.67 mn	183 km/h	262 kWh / 268 kWh
Z TER, vitesse non limitée SENS PAIR			
Etude préliminaire	12.08 mn	191.3 km/h	214 kWh
Profil de référence	11.97 mn / 12.14 mn	192 km/h	218 kWh / 225 kWh
Profil abaissé	11.82 mn / 12.00 mn	200 km/h	207 kWh / 214 kWh
Z TER, vitesse limitée à 160 km/h SENS IMPAIR			
Etude préliminaire	13.96 mn	160 km/h	236 kWh
Profil de référence	13.91 mn / 14.01 mn	160 km/h	247 kWh / 254 kWh
Profil abaissé	14.03 mn / 14.13 mn	160 km/h	246 kWh / 253 kWh
Z TER, vitesse limitée à 160 km/h SENS PAIR			
Etude préliminaire	12.49 mn	160 km/h	184 kWh
Profil de référence	12.43 mn / 12.61 mn	160 km/h	185 kWh / 192 kWh
Profil abaissé	12.45 mn / 12.63 mn	160 km/h	189 kWh / 195 kWh

NOTA : Pour le profil de référence et le profil abaissé, le 1er chiffre correspond à la solution 2'S, le second chiffre correspond à la solution 3'S.

En tout état de cause, et dans tous les cas de figure, les temps de parcours restent inférieurs en marche tendue aux 15 minutes requises. En marche détendue, dans le sens impair, les 15 minutes seraient légèrement dépassées (le cahier des charges initial demandait un temps de parcours inférieur à 20 mn). Comme nous l'avions noté dès les études préliminaires, il y a une dissymétrie des performances (temps de parcours et consommations) en défaveur du sens impair.

Les performances du profil de référence et du profil abaissé sont comparables, 15/100 de minute d'écart au maximum lorsque la vitesse n'est pas limitée en faveur du profil abaissé, 12/100 de minute d'écart au maximum lorsque la vitesse est limitée à 160 km/h en faveur du profil de référence (2/100 seulement dans le sens pair).

A l'exception du sens pair en vitesse non limitée, le bilan énergétique est plutôt en défaveur du profil abaissé. Mais les valeurs sont du même ordre.

On notera enfin que l'adoption de la solution 3'S fait perdre environ 10/100 de minute dans le sens impair par rapport à la solution 2'S, environ 20/100 de minute dans le sens pair. Elle consomme également 7 kWh de plus. Cela s'explique par un profil en long légèrement plus tourmenté dans l'emprise de l'aéroport.

4.4) Profil « optimum » retenu pour la suite de l'étude

Si les performances restent comparables d'un profil à l'autre en exploitation normale, elles ne le seraient vraisemblablement plus dans le cas d'un service dégradé, par exemple dans le cas d'une rame Z TER arrêtée en pied de rampe et ne disposant pas de sa motorisation complète. Le profil abaissé se trouverait alors pénalisé. Malgré cette réserve, le profil en long abaissé sera qualifié d'optimum au sens de cette étude. C'est lui qui fera l'objet de l'analyse qui suit.

5. Analyse du profil en long « optimum »

5.1) Profil géotechnique proposé par le Laboratoire de l'Est Parisien (LREP)

Les principales informations apportées par le LREP sont les suivantes :

- L'ancienne usine Kodak de Sevran a effectué pendant longtemps des pompages importants (200 m3/h), d'où une concentration de fontis issus des Marnes et Caillasses dans son voisinage,
- Vers Aulnay – Pavillons, le projet est perpendiculaire aux lignes d'écoulement de la nappe du Bartonien (niveau très perméable au droit du Calcaire de Ducy où le projet est calé), dans un secteur où la nappe est sub-affleurante (notamment à Sevran) ; un effet barrage pourrait provoquer une remontée sensible de la nappe d'où risques d'inondations de caves,
- En partie centrale du projet, on peut observer un épaississement du Lutétien (Marnes et Caillasses et Calcaire Grossier) attribuable à une accumulation de gypses.
- La nappe du Soissonais assure l'alimentation en eau potable de la ville du Blanc Mesnil,
- Le LREP enrichit l'information géologique par la prise en compte de sondages déjà réalisés, mais souvent distants (de l'ordre de 200 m) et propose un profil en long géologique légèrement modifié, notamment vers Bondy – Pavillons où une inflexion vers le bas des couches de St Ouen et de Beauchamp est mise en évidence.

Nous nous approprions l'ensemble de ces informations à l'exception de la dernière :

- d'une part, le sondage n° 11 857 du profil LREP, d'évidence identique au sondage SC 2 de notre campagne de reconnaissance, fait l'objet d'une erreur d'interprétation quant aux cotes de niveau,
- d'autre part, grand nombre de sondages très éloignés du projet ont été projetés sans tenir compte des pendages, d'où une figuration « en dent de scie » des couches assez peu conforme à la réalité.

Le radier du tunnel se trouvera être davantage encore implanté dans les Sables du Soussonais.

5.2) Conséquences de l'approfondissement sur la construction du tunnel

L'approfondissement du projet conduit à augmenter de façon considérable la pression d'eau : la hauteur de 20 m par rapport au niveau du rail du projet de référence passe à 70 m environ, c'est à dire que d'un projet souterrain aux caractéristiques courantes, on passe à un projet aux caractéristiques que l'on peut qualifier d'exceptionnelles. Les conséquences en sont les suivantes :

- les tunneliers devront être conçus de façon à être capables de reprendre ces pressions (et de les reprendre réellement contrairement au Tunnel sous la Manche qui a bénéficié de la couche imperméable de la Craie Bleue qui ici n'existera pas), d' où :
    - l'adoption d'une autre technologie de joints,
    - des reconnaissances au front de taille incontournables mais plus délicates (adoption de sas pour contenir la pression),
    - des procédures plus complexes pour assurer la maintenance (cycles a priori plus serrés à cause d'une plus grande usure des outils due à une roche plus dure, interventions plus longues à cause des procédures de mise en sécurité de la chambre d'abattage),
    - l'adoption d'une technologie de confinement à pression de boue, pourtant aujourd'hui la plus fiable (dans la mesure où le front de taille est reconnu) est compromise (conception du circuit de marinage notamment).
- l'ouvrage lui-même devra être capable de résister aux efforts d'où :
    - l'épaississement du revêtement de l'ordre de 10 cm (passage de 0.4 m à 0.5 m),
    - l'adoption de doubles joints d'étanchéité.

L'ensemble de ces conséquences pèsent sur les délais et sur les coûts.

Par ailleurs, il apparaît illusoire de bénéficier d'une économie sur les traitements de terrain sous prétexte de passer sous les zones de dissolution des gypses localisées dans les Marnes et Caillasses, car les traitements seront incontournables quel que soit le calage du profil en long.

5.3) Conséquences de l'approfondissement sur le puits de la Poudrette

D'une profondeur de 30 m, le puits de la Poudrette passe à une profondeur de 80 m. Il est évident que sa desserte s'en trouvera pénalisée, de même que sa construction.

La technologie des parois moulées, pourtant la seule en mesure d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage, n'est plus applicable sans une multiplication des phases de travaux (longueur maximale envisageable, 40 m environ). La sécurité du puits est très dépendante de son étanchéité qui est très précaire compte tenu des pressions à reprendre (les incidents en la matière ne sont pas rares). Les conséquences en sont les suivantes :

- Nécessité de réaliser les parois en deux temps avec une reprise à mi-profondeur, d'où un élargissement de la partie supérieure,
- Nécessité d'assurer une parfaite étanchéité d'où :
    - soit ancrer les parois moulées dans un niveau étanche, ici les Fausses Glaises dont la profondeur n'est pas connue,

- soit réaliser un bouchon en fond de puits dans des matériaux très difficilement injectables ce qui risque de conduire à adopter la congélation des sols (la question de l'opportunité de tels traitements se pose dans la mesure où la nappe concernée alimente en eau potable la ville du Blanc Mesnil),
- pompes plus puissantes ou multiplication de leur nombre pour assurer l'exhaure.

L'ensemble de ces conséquences pèsent sur les coûts, la sécurité et l'environnement.

5.5) Délais

Cet approfondissement pèsera, mais relativement peu (sauf pour le puits de la Poudrette) sur les délais. En revanche, les risques de dérives, c'est à dire les aléas seront importants.

5.6) Coûts

Le surcoût brut de l'approfondissement est estimé à 450 MF. Il porte le coût brut estimé du tunnel de 1 880 MF à 2 330 MF. Ces prix intègrent les 29 MF consécutifs à l'allongement au nord de 250 m suite à l'optimisation du tracé faite dans le secteur de Tremblay (étude de septembre 2001) et les 186 MF de provision pour traitement des terrains (50 MF) et mesures éventuelles de sécurité (36 MF + 100 MF du fait de l'abaissement inclus dans les 450 MF) qui ont toujours été prises en compte.

Au surcoût brut, il faut ajouter, conformément aux études précédentes, une provision pour aléas et imprévus (15 %), puis les frais de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage (respectivement 10 % et 4 %), ce qui porte le total du surcoût à 590 MF.

Le montant total de l'estimation des travaux de la solution 2'S annoncé en septembre 2001 à 3 715 MF (- 10 %/ + 20 %) serait donc porté à 4 305 MF.

6. Conclusions

Le profil abaissé présente des performances (temps de parcours et consommation) comparables à celles du profil de référence. Cela est vrai en situation normale, mais non en situation perturbée où il est très péjoré. La quantification de cette perte de performance resterait à faire en cas d'adoption du profil abaissé. De même, du fait de la longueur des rampes à 35 mm / m faudrait-il poursuivre l'étude par la révision de l'implantation des signaux telle qu'elle figure dans l'étude de septembre 2001.

Les difficultés de construction du tunnel, mais surtout celles du puits (nous sommes en limite de faisabilité), ne plaident pas pour l'adoption de ce profil abaissé dont le surcoût total est estimé à 460 MF. Cette conclusion a été retenue lors de la réunion de présentation de cette étude au GIE CDG Express le 11/4/02. Il a été admis ce jour là que le profil de référence devait être considéré du point de vue de la constructibilité comme le profil optimum.

Mais il a été demandé d'intégrer certains éléments apportés par les études confiées par ailleurs à d'autres organismes : à Scetauroute pour l'analyse des risques liés aux tassements, le bureau d'études D2S pour l'étude d'impact acoustique et vibratoire. Tout éloignement du projet par rapport au bâti, que ce soit en plan ou en profil irait bien évidemment dans le bon

sens, que ce soit vis à vis des risques de tassements que des nuisances sonores. Aussi a t-il été demandé d'examiner d'une part, les conséquences financières d'un abaissement de l'ordre de 10 m, d'autre part une implantation du tracé dans l'axe du canal de l'Ourcq.

7. Etude complémentaire

7.1) Estimations des coûts d'un abaissement de 10 m ou d'un décalage de tracé

L'abaissement de 10 m permet au tunnel d'éviter le niveau très perméable (au droit du Calcaire de Ducy, c'est à dire au contact entre les Sables de Beauchamp et le Calcaire de St-Ouen) cité par le LREP comme pouvant être à l'origine d'un effet barrage (cf. § 5.1 plus haut). Il permet en outre de réduire la longueur de projet où la distance entre voûte et fondations est inférieure à 25 m, critère jugé comme important vis à vis des nuisances sonores et vibratoires selon les études de D2S.

Une implantation sous le canal de l'Ourcq permettrait de réduire très sensiblement le nombre d'immeubles susceptibles d'être concernés par les risques de tassements.

L'étude complémentaire est présentée en annexe. A l'exception des modifications à apporter, dans l'un comme dans l'autre cas, au puits de la Poudrette, les conséquences sur la construction du tunnel sont assez peu sensibles. L'approfondissement de 10 m apporte un surcoût brut de 23 MF lié à l'approfondissement du puits, le décalage du tracé à l'aplomb du canal de l'Ourcq apporte un surcoût brut de 100 MF lié à la création d'un rameau reliant la base du puit au tunnel à construire. Ce rameau a été envisagé suffisamment large pour que sa présence ne puisse avoir de conséquences fortes sur la logistique de chantier et donc sur les délais de construction du tunnel. Les conditions hydrogéologiques (+ 10 m de pression) et géologiques (implantation dans les Marnes et Caillasses, siège de la dissolution des gypses) n'ont pas été jugées suffisamment différentes de celles du projet de référence pour être de nature à modifier la conception des tunneliers et donc avoir une influence sur les coûts, sachant que quel que soit le calage du profil en long, les traitements de terrain sont incontournables comme déjà indiqué plus haut (§ 5.2). Cependant, à la demande du GIE CDG Express, pour être homogène avec le rapport de Scetauroute qui évalue sur l'ensemble du chantier le traitement des terrains (domaine hautement aléatoire selon les termes du rapport) dans une fourchette de 15 à 25 M €, soit 100 à 165 MF, la somme totale prévue pour ce poste dans les études antérieures de 112 MF (62 MF au métré + 50 MF de provisions) a été portée à 130 MF, centre de la fourchette proposée par Scetauroute. En intégrant cette variation de 18 MF, ainsi que l'augmentation (25 MF) de la provision pour mesures éventuelles de sécurité du fait de l'abaissement, le surcoût brut pour l'abaissement de 10 m peut être estimé à 66 MF. Celui du décalage de tracé peut être estimé à 118 MF, variation sur le coût des traitements intégrée.

La prise en compte, conformément aux études précédentes, d'une provision pour aléas et imprévus (15 %), puis des frais de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage (respectivement 10 % et 4 %), permet de résumer l'estimation des travaux de la solution 2'S comme suit :

Projet de référence	Abaissement de 10 m	Décalage du tracé
Surcoût :	85 MF	155 MF
3 715 MF (- 10 %/ + 20 %)	3 800 MF (- 10 %/ + 20 %)	3 870 MF (- 10 %/ + 20 %)

7.2) Données pour l'étude d'impact acoustique et vibratoire

Les principaux facteurs qui interviennent sont la profondeur du projet (distance entre la voûte du tunnel et les fondations), la nature des terrains de couverture, le type de circulation (en l'occurrence, Z TER ou TGV Duplex) et la vitesse de circulation.

Afin de permettre une meilleure approche de cet aspect, il a donc été proposé de sectoriser la longueur du tunnel urbain entre Noisy le Sec et Tremblay en fonction des vitesses pour chaque type de circulation en indiquant en parallèle la distance entre la voûte et la surface (assimilée au niveau de fondation des maisons individuelles, bâtiments les plus sensibles) et la nature des terrains.

Les vitesses ont été obtenues selon les simulations présentées plus haut au § 4, mais avec un découpage plus fin. Les vitesses prises en compte ont été calculées sur le profil de référence sachant comme l'indiquent les études présentées plus qu'elles sont assez peu sensibles aux variations de profil. Elles sont donc applicables au profil abaissé de 10 m.

Le profil abaissé de 10 m n'a pas été dessiné précisément en termes d'étude ferroviaire, mais il a été déduit du profil de référence avec une précision suffisante d'autant plus que la distance entre voûte et surface ne peut être déterminée qu'avec une précision très grossière compte tenu de l'absence au stade actuel des études d'un lever topographique spécifique.

Les données sont rassemblées dans le tableau ci-dessous. Elles concernent à la fois le profil de référence et le profil abaissé de 10 m.

Elles devraient permettre de définir les zones jugées trop peu profondes vis à vis des effets vibratoires où des techniques de pose de voie conçue pour en réduire les effets pourraient être envisagées.

PK	SENS IMPAIR		SENS PAIR		Distance voûte / sol base / appof.	Nature de la couverture **approf.** base
	Z TER	TGV Duplex	Z TER	TGV Duplex		
9.401	122	120	119	128	0	
9.5	130		120	130	0	
9.6		130			2	MIG
10.18			130		22	SO-MIG
10.23				130	22 / 24	SO-MIG
10.45		130	140	140	23 / 32	**SB**-SO-MIG
10.65			150	150	24 / 33	**SB**-SO-MIG
10.75		140			24 / 33	**SB**-SO-MIG
10.9	140		160	160	24 / 34	**SB**-SO-MIG
11.1		150	170	170	25 /35	**SB**-SO-MIG
11.4			180	180	26 / 36	**SB**-SO-MIG
11.5		160			26 / 36	**SB**-SO-MIG
11.7			190	190	27 / 37	**SB**-SO-MIG
11.73	150				27 / 37	**SB**-SO-MIG
11.9		170			27 / 37	**SB**-SO-MIG
12				200	27 / 37	**SB**-SO-MIG
12.3				210	28 / 38	**SB**-SO-MIG
12.4		180			29 / 39	**SB**-SO-MIG
12.7			**192**	220	29 / 39	**SB**-SO-MIG
12.8	160				30 / 40	**SB**-SO-MIG
12.9		190			30 / 40	**SB**-SO-MIG
13.06				**230**	30 / 40	**SB**-SO-MIG
13.26			**192**		30 / 40	**SB**-SO-MIG
13.6		200			30 / 40	**SB**-SO-MIG
14.4		210			29 / 39	**SB**-SO-MIG
14.64			190		29 / 39	**SB**-SO-MIG
15.31	170				28 / 38	**SB**-SO-MIG
15.4		220			28 / 38	**SB**-SO-MIG
16.53		**230**			27 / 37	**SB**-SO-MIG
16. 9				**230**	26 / 36	**SB**-SO-MIG
17.8				220	25 / 35	**SB**-SO-MIG
18.6				210	24 / 34	**SB**-SO-MIG
18.7		**230**			24 / 34	**SB**-SO-MIG
18.8			180		24 / 34	**SB**-SO-MIG
19		220			24 / 34	**SB**-SO-MIG
19.3				200	24 / 34	**SB**-SO-MIG
19.4		210			21 / 28	**SB**-SO-MIG
19.7	**178**	200			11	SO-MIG
19.72	**178**				10	SO-MIG
19.8				190	8	SO-MIG
19.95		190	170		3	MIG
20.1	170			180	1	MIG
20.25		180	160	170	0	
20.351	165	177	157	167	0	

Nota : le tableau établi pour une vitesse limite de 230 km/h reste applicable pour une vitesse limitée à 160 km/h en remplaçant toute valeur supérieure par 160.

P.J. : Liste des documents annexés.

ETUDE DE NIVEAU SCHEMA DE PRINCIPE DES INSTALLATIONS D'INFRASTRUCTURE
ETUDE COMPLEMENTAIRE, APPROFONDISSEMENT DU PROFIL EN LONG

Liste des documents annexés

- *Etudes de tracé*
  - *Profil en long (1/25000, 1/2500))*

- *Ouvrages souterrains entre Noisy et Tremblay*
  - *Note technique+ estimation*
  - *Profil en long géologique*
  - *Puits de la Poudrette, installation en fond de puits*
  - *Puits de la Poudrette, coupe AA (projet de référence et projet abaissé)*
  - *Coupe en travers, zone Bondy (kilomètre 1 de la planche)*

- *Ouvrages souterrains entre Noisy et Tremblay, étude complémentaire : approfondissement du prolil en long de 10 m*
  - *Note technique+ estimation*
  - *Profil en long géologique*
  - *Puits de la Poudrette, élévation*