

Annexe : Réflexion initiale sur la vitesse

Ligne Nouvelle Paris-Normandie
Pré-études fonctionnelles
Lot B - Etudes techniques et environnementales
« Réflexion initiale sur la vitesse »

IDENTIFICATION

	Projet	N° doc	indice	nb. pages	Identifiant projet
Identification interne	3742 AA	RE 100243	A	19 pages	3742

	établi par	vérifié par	approuvé par
prénom, nom	C. GAVTACHE / P. ROFIDAL	B. TRIPLET	C. GAVTACHE
fonction	Ingénieurs	Expert Coûts	Chef de Projet
date	05/11/2010	08/11/2010	10/11/2010
visa			

OBJET

Le paramètre « vitesse » est un élément fondamental d'un projet de ligne nouvelle ferroviaire.

Dans le cadre des études techniques et environnementales préalables au Débat Public du projet de Ligne Nouvelle Paris-Normandie (LNPN), la présente note a pour objet d'apporter un éclairage sur :

- Les implications techniques et économiques de la vitesse sur les principales composantes d'un système de ligne nouvelle (infrastructure / matériel roulant) ;
- Les éventuels effets de seuils (paliers de vitesse significatifs) ;
- Les impacts acoustiques en fonction de la vitesse.

SOMMAIRE / TABLE DES MATIERES

1. COUTS DE CONSTRUCTION D'UNE LIGNE NOUVELLE	3
1.1 Répartition des coûts d'une ligne nouvelle par postes	3
1.2 Sensibilité des postes principaux à la vitesse	4
1.2.1 Approche réglementaire « Infrastructure »	4
1.2.2 Approche générale	5
1.2.2.1 La géométrie de la ligne	6
1.2.2.2 Les ouvrages d'art	7
1.2.2.3 L'acoustique	8
1.2.3 Effets de la vitesse sur les postes à poids de coûts importants	9
1.2.3.1 Terrassements	9
1.2.3.2 Ouvrages d'Art	10
2. LE BRUIT ET LES VIBRATIONS	13
2.1 Le bruit	13
2.1.1 Le cadre réglementaire	13
2.1.2 Les lois de variation quantité de trafic / vitesse	14
2.2 Les vibrations	15
3. CONSOMMATION ELECTRIQUE	15
4. MAINTENANCE ET ENTRETIEN	15
5. DUREE DE VIE DES EQUIPEMENTS	15
6. MATERIEL ROULANT	16
7. VITESSE DE POINTE ET TEMPS DE PARCOURS COMMERCIAUX	18

1. COÛTS DE CONSTRUCTION D'UNE LIGNE NOUVELLE

1.1 Répartition des coûts d'une ligne nouvelle par postes

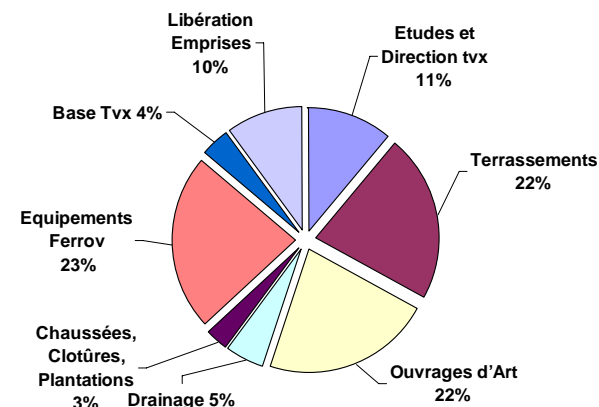
Les postes à « poids de coût » majeurs d'un projet de ligne nouvelle sont les suivants :

- Le génie civil, incluant notamment les ouvrages en terre, les ouvrages d'art courants et non courants (y compris certains ouvrages hydrauliques), dont la variation de coût est assez sensible aux contraintes de l'aire d'étude ;
- Les équipements ferroviaires, dont la variation de coût est moins sensible au contexte de l'aire d'étude. Le coût des équipements ferroviaires est en effet plus souvent lié au linéaire du projet, hormis quelques aspects particuliers identifiables au cas par cas ;
- Le foncier et la libération des emprises.

Les autres postes sont plus mineurs et leurs variations en fonction de la vitesse ont peu d'impact sur le coût global de construction d'une ligne.

La répartition des coûts de construction d'un projet de ligne nouvelle à double voie est en moyenne la suivante :

Postes	Ratios en % par km de LN
Etudes et direction des travaux (MOA + MOE)	11%
Génie Civil	49%
<ul style="list-style-type: none"> • Terrassements • Ouvrages d'Art • Ouvrages hydrauliques et drainage des plates-formes 	22% 22% 5%
Équipements ferroviaires	23 %
<ul style="list-style-type: none"> • Voie : rails, traverses, ballast, appareils de voie • Signalisation • Énergie de traction • Télécommunications : GSM-R 	11,5% 5% 6% 0,5%
Acquisitions foncières et dégagement des emprises	10%
Base travaux	4%
Autres postes : Chaussées, équipements des rétablissements, clôtures, séparateurs, plantations	3%



Compte tenu de la répartition des coûts constatée, les postes représentant les « poids de coûts » les plus importants sont dans la plupart des cas les suivants (à adapter au contexte du projet) :

- Terrassements ;
- Ouvrages d'art ;
- Voie ;
- Acquisitions foncières et dégagement des emprises ;
- Etudes et direction des travaux, évaluées selon un pourcentage du montant total des travaux.

Les coûts des gares nouvelles, des raccordements et des aménagements du réseau ferré national (RFN) sont en général estimés forfaitairement, selon les typologies rencontrées.

1.2 Sensibilité des postes principaux à la vitesse

1.2.1 Approche réglementaire « Infrastructure »

Les vitesses usuellement identifiées sur les lignes Voyageurs sont les suivantes :

- V = 160 km/h ;
- V = 220 km/h ;
- V = 230 km/h ;
- V = 250 km/h ;
- V = 270 km/h ;
- V = 300 km/h ;
- V = 350 km/h.

Du point de vue réglementaire, il convient alors de distinguer :

- Le référentiel technique dit « ligne classique », établi par RFF et SNCF, d'application pour les lignes parcourues à des vitesses inférieures ou égales à 220 km/h (IN 0272 – version du 12/09/2006 – pour le volet Infrastructure),
- Le référentiel technique pour la réalisation des « Lignes à Grande Vitesse », également établi par RFF et SNCF, d'application pour les lignes parcourues à des vitesses supérieures ou égales à 230 km/h (notamment l'IN 3278 pour la partie Génie Civil des lignes Voyageurs – version du 22/03/2006).

L'IN3278 précise son champ d'application :

- Dans le chapitre 3 d'une part : « *Les prescriptions de ce document [l'IN3278] s'appliquent aux études d'avant projet des lignes ferroviaires à grande vitesse (lignes parcourues à des vitesses supérieures ou égales à 230 km/h) et de leurs raccordements au réseau existant* ».
- Dans le chapitre 2 du Tome I – Caractéristiques Générales d'autre part : « *Les prescriptions de ce document [l'IN3278] concernent les lignes à grande vitesse uniquement dédiées au trafic « voyageurs » et supportant un tonnage maximal de 22,5 tonnes par essieu. Elles sont conformes aux spécifications techniques d'interopérabilité (STI) relatives au sous-système « Infrastructure » du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse arrêté par la Commission Européenne ainsi que sur les exigences de l'arrêté « Infrastructure » relatif au réseau ferré national qu'elles complètent* ». Pour les vitesses inférieures à 230 km/h (cas des raccordements), le référentiel infrastructure relatif aux lignes classiques parcourues à $V \leq 220$ km/h doit être appliqué [l'IN0272 mentionné ci-dessus]. »

Il convient toutefois de signaler que la version du 22/03/06 de l'IN3278 fait référence à la version du 30/05/02, laquelle a fait l'objet d'une mise à jour avec édition d'une nouvelle version en date du 20/12/07. Cette dernière version n'a pas donné lieu à une mise à jour de l'IN3278.

1.2.2 Approche générale

En première approche, et dans un souci de simplification, seules les vitesses V220, V270 et V350 ont été considérées. Ces vitesses sont en effet représentatives de l'application du référentiel « Ligne Classique » d'une part (V220), et du référentiel « Grande Vitesse » d'autre part (V270 et V350).

Pour l'évaluation de la sensibilité à la vitesse des postes de coût majeurs, nous présentons ci-après les principaux paramètres techniques d'un projet de ligne nouvelle susceptibles d'avoir une incidence sur ces postes et pour lesquels les valeurs caractéristiques varient en fonction la vitesse.

Les paramètres présentés sont essentiellement liés à la géométrie de la ligne (tracé en plan, profil en long, profil en travers, sections des ouvrages souterrains, etc.), laquelle conditionne en effet fortement les coûts des terrassements et des ouvrages d'art (ouvrages souterrains et viaducs), ainsi que les coûts de dégagements des emprises et d'acquisitions foncières.

Un éclairage est également apporté sur la problématique de l'acoustique et des effets de la vitesse sur le dimensionnement des protections phoniques. En effet, bien que ces protections ne présentent pas un poids de coût important (en comparaison avec les autres postes),

l'acoustique reste néanmoins un sujet de forte préoccupation pour les riverains et collectivités locales pour lequel des réponses doivent être systématiquement apportées.

1.2.2.1 La géométrie de la ligne

1.2.2.1.1 Le tracé en plan

Dans la plupart des cas, plus la vitesse de conception géométrique d'une ligne est réduite, plus les zones à enjeux (bâti, réseau d'infrastructures existantes, topographie accidentée, zones sensibles, etc.) peuvent être facilement évitées ou interceptées dans de meilleures conditions.

Le tableau ci-après indique les valeurs minimales de rayons en plan usuellement appliquées pour la conception des lignes nouvelles à des stades d'études amont. On remarquera que des augmentations de vitesses de V220 à V270 et de V270 à V350 doublent quasiment les valeurs de ces rayons.

Vitesse	Rayon en plan
V220	2000 m
V270	3600 m
V350	7000 m

1.2.2.1.2 Le profil en long

Les réductions de vitesses permettent d'appliquer des rayons de raccords de déclivités plus petits. Dans ces conditions, le profil en long d'une ligne peut d'autant plus facilement s'adapter aux variations du terrain naturel que la vitesse de conception est réduite. Cela permet en particulier d'optimiser les longueurs des ouvrages d'art (franchissement optimal des vallées, des infrastructures existantes, etc.), les travaux de terrassements (réduction des volumes de matériaux extraits et mis en œuvre, meilleur équilibre des déblais et remblais, réduction des distances de transports de matériaux, etc.) et de réduire les emprises du projet.

1.2.2.1.3 Le profil en travers

La valeur de l'entraxe (E) des voies est fonction de la vitesse :

- Pour $250 < V \leq 350$, $E = 4,50$ m ;
- Pour $230 \leq V \leq 250$, $E = 4,00$ m ;
- Pour $V \leq 220$, l'entraxe est celui des lignes classiques, variant entre 3,67 m et 4,00 m.

De même, la distance minimale (d) à respecter entre la piste latérale longeant chaque voie et le bord extérieur du rail le plus proche de la piste est également fonction de la vitesse :

- Pour $V = 350$ km/h, $d = 3,50$ m.
- Pour $V = 320$ km/h, $d = 2,30$ m ;
- Pour $220 \leq V \leq 300$ km/h : $d = 2,00$ m.

Les paramètres cités ci-dessus ont en particulier une incidence sur les largeurs et ouvertures des ponts-rails et ouvrages souterrains, sur les longueurs des ponts-routes, sur les ouvrages en terres (largeur de plateforme) et donc les terrassements, et donc sur les emprises.

1.2.2.2 Les ouvrages d'art

1.2.2.2.1 Les ouvrages souterrains

La présence d'un ouvrage souterrain (tunnel ou tranchée couverte) peut-être liée à divers facteurs, dont notamment :

- Une topographie accidentée ne permettant pas un passage en déblais-remblais selon les hypothèses de hauteurs maximales choisies (en première approche : 30 m pour les remblais et 25 m pour les déblais) ;
- Une zone bâtie très dense pour laquelle seul un passage en souterrain est envisageable économiquement ;
- La présence de fortes contraintes environnementales.

Les textes réglementaires en matière d'ouvrages souterrains sont :

- L'ITI (Instruction Technique Interministérielle) n°98.300 du 08/07/98 ;
- La STI « Tunnels » du 20/12/2007.

Selon l'ITI, des dispositions particulières en matière d'équipements et de sécurité de tunnels sont à mettre en œuvre pour les ouvrages souterrains ayant une longueur supérieure à 400 m. En termes d'équipements et de sécurité, les tranchées couvertes présentant des longueurs supérieures à 400 m sont alors assimilées à des tunnels et doivent donc se conformer aux directives et instructions y afférentes.

D'autre part, au stade des études actuelles, le choix entre un tunnel monotube (deux voies) ou bitube (deux tubes avec une voie par tube et par sens) peut être fait selon le critère de la longueur de l'ouvrage (à mettre en lien avec les critères de sécurité à assurer au sein de l'ouvrage). Ainsi, pour des longueurs supérieures à 5 km, un tunnel bitube sera envisagé tandis que pour des longueurs inférieures à 5 km, un ouvrage monotube devra être privilégié.

La section d'un ouvrage souterrain est notamment fonction de la vitesse, du type de matériel roulant qu'il est prévu d'y faire circuler et de sa longueur.

La sensibilité du coût de l'ouvrage souterrain ne saurait toutefois se limiter à ces seuls paramètres. En effet, la nature géologique des terrains interceptés et les éventuelles difficultés géotechniques (nécessitant alors des dispositions constructives particulières) qui pourraient être rencontrées, parfois variables selon les ouvertures des ouvrages, constituent également des poids de coûts importants.

La section d'un ouvrage souterrain doit être déterminée dans le respect des gabarits cinématiques et des règles de sécurité du personnel, à partir d'une étude aérodynamique. Le critère de sécurité tympanique fixe notamment la limite de variation de pression extérieure à 10.000 Pa, sans considération de temps.

Nous donnons ci-après quelques valeurs (à dire d'expert) de sections d'air de tunnels monotube en fonction de la vitesse. Le calcul de la section d'un tunnel étant complexe et nécessitant toujours une étude de détail au cas par cas, les valeurs données ci-après sont purement indicatives :

- Pour $V270 \leq V \leq V350$: les sections sont de l'ordre de 100 m² ;
- Pour $V250 \leq V < V270$: les sections sont comprises entre 70 et 80 m² ;

- Pour $V \leq 230$ km/h : les sections sont de l'ordre de 60 à 65 m².

Les tranchées couvertes de longueurs supérieures à 50 m doivent respecter des sections d'air minimales similaires à celles des tunnels indiquées ci-dessus.

Pour les tranchées couvertes ayant des longueurs inférieures à 22,50 m les valeurs suivantes de sections d'air peuvent être retenues :

- V350 : S = 74 m² ;
- V300 : S = 69 m² ;
- V270 : S = 67 m² ;
- V230 : S = 66 m².

1.2.2.2.2 Les viaducs

Les viaducs peuvent être nécessaires dans plusieurs cas de figure :

- Franchissement d'un cours d'eau important ou d'un vallon prononcé ;
- Franchissement d'un étang de grande surface ;
- Franchissement d'une grande voie de communication : autoroute, route nationale, voie ferrée existante,...
- Franchissement de plusieurs voies de communication et/ou cours d'eau proches.

Les caractéristiques d'un viaduc (longueur, largeur, hauteur, type d'ouvrage) sont très étroitement liées à la géométrie de la ligne. Ainsi, plus cette géométrie offrira de souplesse, notamment en profil en long, plus les viaducs pourront faire l'objet d'optimisations et de réductions de leur coût. Ces optimisations seront obtenues par une réduction des longueurs d'ouvrages (suite à un abaissement du profil en long de la ligne par exemple), des largeurs utiles (réduction du profil en travers) et par le choix de types d'ouvrages plus économiques.

Ces optimisations peuvent toutefois être limitées par des contraintes indépendantes de la géométrie :

- Dans le cas du franchissement d'un cours d'eau, des exigences environnementales peuvent imposer des longueurs minimales d'ouvrages (transparence hydraulique, objectif d'un impact nul sur une zone inondable,...) ;
- Dans le cas de franchissements de réseaux de communications (routes, voies ferrées) : le contexte de franchissement de ces voiries peut limiter la réduction de la longueur du viaduc ;
- Des enjeux de concertation peuvent également imposer des longueurs minimales d'ouvrages
-

1.2.2.3 L'acoustique

En réduisant la vitesse, les impacts acoustiques, et par conséquent les besoins en matière de protection phonique, sont moindres (cf. chapitre 2).

1.2.3 Effets de la vitesse sur les postes à poids de coûts importants

Il convient tout d'abord de préciser que selon le contexte dans lequel s'inscrit le projet (topographie, urbanisation,...), un même poste de coût peut être sensible ou non à la vitesse. En effet, si l'on considère le poste « foncier » par exemple, la traversée inévitable d'un secteur très fortement contraint peut avoir un même impact de coût quelle que soit la vitesse retenue. De même, sur un secteur ne présentant aucune contrainte foncière, ce même poste ne présentera qu'une faible sensibilité aux variations de vitesse.

Pour les postes dont la sensibilité aux variations de vitesse est liée au contexte, il est donc nécessaire de caractériser l'aire d'étude.

Cela concerne essentiellement le génie civil dont les postes à poids de coût les plus importants sont les terrassements, les ouvrages d'art et les postes d'acquisitions foncières et de dégagement des emprises.

L'impact de la vitesse sur la Voie (rails, ballast et appareils de voie) est relativement marginal. En effet, au stade des études amont, nous pouvons considérer que le coût de construction de la voie est plus sensible au linéaire de ligne construite qu'à la vitesse.

L'examen et la caractérisation de la topographie et de l'urbanisation de l'aire d'étude a permis d'évaluer la sensibilité des postes de coût « *Terrassements* » et « *Ouvrages d'Art* ».

La sensibilité du poste « Acquisitions foncières et dégagement des emprises » n'a pu être évaluée au stade actuel des études dans la mesure où un nombre trop important de paramètres, non connus à ce jour, sont susceptibles de faire varier très sensiblement cette évaluation.

1.2.3.1 Terrassements

L'appréciation des volumes de terrassements résulte essentiellement de la topographie des pentes marquées du terrain naturel dont l'orientation intercepte celle du projet. Au stade actuel des études, nous pouvons distinguer trois types de zones :

- Les zones à topographie « plate », pour des pentes du terrain naturel comprises entre 0 et 5% ;
- Les zones à topographie « moyenne » pour des pentes comprises entre 5 et 15% ;
- Les zones à topographie « accidentée » lorsque les pentes sont supérieures à 15%.

Typologie de topographie	Pourcentage de linéaire de LN (hypothèse)
Zone plate	89%
Zone « moyenne »	10%
Zone accidentée	1%

Les tableaux ci-après présentent les économies pouvant être générées sur le coût des terrassements suite à une réduction de la vitesse à V270 et V220, par rapport à un coût de référence établi à V350.

Les trois premiers tableaux sont relatifs aux économies générées pour chacune des catégories de topographie identifiées (plate, moyenne et accidentée). Le dernier tableau fournit une estimation globale de l'économie sur la base des caractéristiques et spécificités de l'aire d'étude.

1.2.3.1.1 Cas des zones à topographie plate

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-7%
V270	-6%
V350	Coût de référence

1.2.3.1.2 Cas des zones à topographie moyenne

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-17%
V270	-12%
V350	Coût de référence

1.2.3.1.3 Cas des zones à topographie accidentée

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-23%
V270	-20%
V350	Coût de référence

1.2.3.1.4 Bilan des effets de la vitesse sur les coûts des terrassements

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-8,15%
V270	-6,75%
V350	Coût de référence

1.2.3.2 Ouvrages d'Art

Les ouvrages d'art, et notamment les ouvrages exceptionnels, constituent l'un des poids de coût les plus importants d'un projet de ligne nouvelle. Ces ouvrages peuvent être des ouvrages souterrains ou des viaducs.

1.2.3.2.1 Ouvrages souterrains

Selon des estimations faites par l'UIC, la traversée des Pyrénées par un tunnel monotube à double voie, de section variable de 85 ou 100 m², représenterait un surcoût de l'ordre de 15% et 22% respectivement, par rapport à une section de 75 m².

L'UIC attire à juste titre l'attention sur le fait que « ces chiffres correspondent à un type de terrain donné et qu'ils ne peuvent être extrapolés qu'avec prudence à d'autres contextes géologiques et géotechniques ».

En retenant néanmoins cette base de comparaison, et en prenant comme coût de référence celui d'un ouvrage conçu à V350, l'effet de la vitesse sur les coûts d'un ouvrage souterrain serait évalué comme suit :

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220 ≤ V < V270	-18%
V270	-13%
V350	Coût de référence

1.2.3.2.2 Viaducs

De même que pour les terrassements, les effets de la vitesse sur le poste des coûts des viaducs ne peuvent être évalués que sur la base d'une caractérisation de l'aire d'étude, à minima en termes de « linéaire d'ouvrages ».

La répartition de ce linéaire selon les zones topographiques homogènes (plate, accidentée et moyenne) serait la suivante :

Typologie de topographie	Pourcentage du linéaire total de viaduc (hypothèse)
Zone plate	25% du linéaire de viaduc
Zone « moyenne »	45% du linéaire de viaduc
Zone accidentée	30% du linéaire de viaduc

Les tableaux ci-après présentent les économies pouvant être générées sur le coût des viaducs suite à une réduction de la vitesse à V270 et V220, par rapport à un coût de référence établi à V350.

Les trois premiers tableaux sont relatifs aux économies générées pour chacune des catégories de topographie identifiées (plate, moyenne et accidentée). Le dernier tableau fournit une estimation globale de la moins-value sur la base des caractéristiques et spécificités de l'aire d'étude (caractérisation de l'aire d'étude – cf. tableau ci-dessus).

1.2.3.2.3 Cas des zones à topographie plate

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-18%
V270	-10%
V350	Coût de référence

1.2.3.2.4 Cas des zones à topographie moyenne

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-40%
V270	-25%
V350	Coût de référence

1.2.3.2.5 Cas des zones à topographie accidentée

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-45%
V270	-30%
V350	Coût de référence

1.2.3.2.6 Bilan des effets de la vitesse sur les coûts des viaducs

Les effets de la vitesse sur les coûts des viaducs seraient alors les suivants :

Vitesse	Impact coût / coût de référence
V220	-36%
V270	-22,75%
V350	Coût de référence

2. LE BRUIT ET LES VIBRATIONS

2.1 Le bruit

2.1.1 Le cadre réglementaire

Le bruit des infrastructures ferroviaires, nouvelles ou faisant l'objet de modifications, est essentiellement réglementé par :

- les articles L 571-1 à L571-26 du livre V du Code de l'environnement reprenant la loi n°92.1444 du 31 décembre 1992, notamment l'article 9,
- les articles R571-44 à R571-52 du livre V du code l'environnement reprenant le décret n° 95-22 du 9 janvier 1995
- l'arrêté du 8 novembre 1999 (spécifique aux voies ferroviaires).

Ces dispositions ont pour objet de protéger, par un traitement direct de l'infrastructure ou, si nécessaire, par insonorisation des façades, les bâtiments les plus sensibles existant avant l'infrastructure.

Le maître d'ouvrage d'une infrastructure nouvelle doit prendre en compte les nuisances sonores diurnes et nocturnes dès la conception du projet d'aménagement, ce qui nécessite une véritable réflexion sur l'intégration acoustique de l'ouvrage.

Les seuils à respecter dépendent de l'état initial de l'ambiance sonore extérieure et de la nature des locaux – La contribution sonore de la ligne nouvelle doit être plus faible dans les zones d'ambiance sonore modérée.

Les niveaux de contribution sonore de la LN et de ses raccordements sont définis par le décret n°95-22 du 9 janvier 1995, relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres et par l'arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires.

Pour des trains circulant à des vitesses supérieures à 250 km/h, les niveaux de bruit sont donnés ci-après.

Typologie	LAeq (6h – 22h)	LAeq (22h – 6h)
Etablissements de santé, de soins et d'activités sociales. Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour des malades, ce niveau est abaissé à 57 dB(A) de jour	60 dB(A)	55 dB(A)
Etablissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et les locaux sportifs)	60 dB(A)	/
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	60 dB(A)	55 dB(A)
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante non modérée	65 dB(A)	60 dB(A)

Les niveaux de bruit sont majorés de 3 dB(A) pour des trains circulant à une vitesse inférieure à 250 km/h.

2.1.2 Les lois de variation quantité de trafic / vitesse

Les niveaux de bruit évoluent différemment selon que le paramètre quantité de trafic ou vitesse varie.

Les ordres de grandeur sont en :

- $10 * \log$ (ancienne quantité de trafic / nouvelle quantité de trafic)
- $30 * \log$ (ancienne vitesse / nouvelle vitesse)

En d'autres termes, le bruit varie plus vite avec la vitesse qu'avec la quantité de trafic.

Ancienne vitesse	nouvelle vitesse	Rapport des deux vitesses	Le bruit augmente de X dB(A)	Rapport de quantité de trafic	Le bruit augmente de X dB(A)
160	180	1.125	1.5	1.125	0.5
180	200	1.111	1.4	1.111	0.5
200	220	1.100	1.2	1.100	0.4
220	250	1.136	1.7	1.136	0.6
250	300	1.200	2.4	1.200	0.8
300	320	1.067	0.8	1.067	0.3
320	350	1.094	1.2	1.094	0.4

Ainsi, du point de vue acoustique, augmenter la vitesse de circulation agit plus sur le niveau sonore qu'augmenter le nombre de train.

2.2 Les vibrations

Le critère prépondérant pour les vibrations est le choix du matériel roulant (notamment son poids) et non la vitesse. A matériel roulant équivalent, le critère vitesse est quasiment négligeable.

3. CONSOMMATION ELECTRIQUE

La consommation de traction (pour un train de type TGV Duplex) augmente très rapidement selon la vitesse de circulation des trains. Ainsi, à vitesse de circulation constante :

- à 250 km/h : la consommation énergétique double par rapport à 200 km/h ;
- à 300 km/h : la consommation énergétique augmente de +80 % par rapport à 250 km/h.

Les consommations énergétiques pour l'accélération ne sont pas détaillées, mais c'est une échelle exponentielle avec la vitesse qui s'applique. La présence de nombreuses phases d'accélération pour des très grandes vitesses consomme donc beaucoup d'énergie.

4. MAINTENANCE ET ENTRETIEN

Les coûts de maintenance de la voie et des équipements varient également beaucoup en fonction de la vitesse.

Sur la base des études faites sur les coûts de loyer dans le cadre des PPP et des retours d'expériences sur les lignes LGV actuellement en service, nous avons estimé la variabilité des coûts de maintenance en fonction de la vitesse d'exploitation de la ligne :

Vitesse d'exploitation	Coût de maintenance	Surcoût de maintenance
V220	-28%	-100 M€
V250	-24%	-85 M€
V300	-14%	-50 M€
V350	Coût de référence	200 km de voies / 25 ans

5. DUREE DE VIE DES EQUIPEMENTS

Les équipements constitutifs de la voie (rail, ballast...) ont une durée de vie liée au tonnage fictif et donc à la vitesse. Les durées de vie augmentent comme suit :

Vitesse d'exploitation	Durée de vie
V220	+15%
V250	+11,5%
V300	+7%
V350	Durée de référence

6. MATERIEL ROULANT

La STI « Matériel Roulant » distingue deux classes de trains à grande vitesse :

- Classe 1: matériel roulant atteignant une vitesse maximale égale ou supérieure à 250 km/h.
- Classe 2: matériel roulant atteignant une vitesse maximale d'au moins 190 km/h (mais inférieure à 250 km/h)

Les trains de classe 1 sont des rames à véhicules automoteurs comportant une cabine de conduite à chaque extrémité et aptes à circuler dans les deux sens de circulation en respectant les performances énoncées dans la STI. Afin de permettre une adaptation de la capacité des trains aux besoins du trafic, le couplage fonctionnel de rames est permis pour une circulation en unités multiples. Le train ainsi composé de deux ou plusieurs rames unitaires doit respecter les spécifications et performances énoncées dans la STI. Le couplage fonctionnel de rames de conceptions différentes ou de trains d'autres entreprises ferroviaires n'est pas exigé.

Les trains de classe 2 sont des rames ou des trains de composition variable avec ou sans capacité de fonctionnement bidirectionnel. Ils doivent être capables d'atteindre les performances énoncées dans la STI. Afin de permettre une adaptation de la capacité des trains aux besoins du trafic, il est permis de coupler des trains de classe 2 pour une circulation en unités multiples ou d'ajouter des véhicules dans le cas de trains avec locomotives et wagons, dans la mesure où les formations définies sont conservées. Le train ainsi composé de deux trains ou plus doit respecter les spécifications et performances énoncées dans la STI. Dans des conditions normales, le couplage fonctionnel de rames de conceptions différentes ou de trains d'autres entreprises ferroviaires n'est pas exigé.

Les différences principales entre les deux classes de trains sont présentées ci-après :

- DBC intégrés obligatoires pour les trains de classe 1 ;
- Charge à l'essieu :

Tableau 1

Charge statique à l'essieu

	Vitesse maximale de service V [km/h]				
	190 ≤ V ≤ 200	200 < V ≤ 230	230 < V < 250	V = 250	V > 250
Classe 1				≤ 18 t	≤ 17 t
Classe 2 locomotives et motrices	≤ 22,5 t		≤ 18 t	sans objet	sans objet
Classe 2 unités multiples	≤ 20 t	≤ 18 t		sans objet	sans objet
Classe 2 voitures tractées par locomotives	≤ 18 t			sans objet	sans objet

• Variation de pression maximale en tunnel

Le matériel roulant doit être conçu de manière aérodynamique afin que, pour une combinaison donnée (scénario de référence) de vitesse du train et de section du tunnel, les exigences relatives aux variations de pression caractéristiques soient satisfaites lors du passage d'un train unique dans un tunnel tubulaire simple, non incliné (sans puits ni cheminées, etc.). Les exigences sont indiquées dans le tableau 15 (extrait de la STI) ci-dessous.

Nota : Le tableau indique que c'est la vitesse du train qui subordonne l'exigence, pas sa classe.

Tableau 15

Exigences applicables à un train interopérable lors du passage d'un train isolé dans un tunnel tubulaire non incliné

Type de train	Scénario de référence		Critères pour le scénario de référence		
	v _{tr} [km/h]	A _{tu} [m ²]	Δp _N [Pa]	Δp _N + Δp _{Pr} [Pa]	Δp _N + Δp _{Pr} + Δp _T [Pa]
v _{tr,max} < 250 km/h	200	53,6	≤ 1 750	≤ 3 000	≤ 3 700
v _{tr,max} ≥ 250 km/h	250	63,0	≤ 1 600	≤ 3 000	≤ 4 100

où v_{tr} est la vitesse du train et A_{tu} est la surface de la section transversale du tunnel.

• Emission de bruit

Les valeurs limites d'émission de bruit du train complet soumis aux essais L_{pAeq,TP} à 25 m de distance et à une hauteur de 3,5 m au-dessus de la surface des rails sont données dans le tableau 18.

Tableau 18

Valeurs limites de L_{pAeq,TP} pour le bruit au passage du matériel roulant

Matériel roulant		Vitesse [km/h]			
		200	250	300	320
Classe 1	Rame indéformable		87 dB(A)	91 dB(A)	92 dB(A)
Classe 2	Rame indéformable ou formation variable	88 dB(A)			

Une marge de 1 dB(A) est acceptée sur les valeurs figurant au tableau 18.

• Sections de séparation

Sur les trains de classe 1 qui sont exploités sur ces lignes les réactions aux informations reçues doivent être automatiques.

Sur les trains de classe 2 qui sont exploités sur ces lignes, l'engin moteur doit surveiller l'intervention du conducteur, et intervenir si nécessaire.

7. VITESSE DE POINTE ET TEMPS DE PARCOURS COMMERCIAUX

Sur une plage de distances entre destinations inférieures à 100 km, nous avons calculé les temps de parcours réalisés selon différentes vitesses de pointes.

Nous avons ensuite analysé le ratio entre le gain de temps potentiel sur le trajet rapporté à la différence de vitesse de pointe.

Tranche de vitesse	Nb de secondes gagnées pour 10 km/h supplémentaires
De 220 km/h à 250 km/h	40 s
De 250 km/h à 300 km/h	30 s
De 300 km/h à 320 km/h	20 s
De 320 km/h à 350 km/h	15 s

Ces valeurs montrent que le gain de temps supplémentaire, constaté pour chaque augmentation de 10 km/h, diminue avec la vitesse de pointe.

Autrement dit, sur des distances courtes, l'effet vitesse se réduit progressivement, le temps de parcours étant pénalisé par les distances d'accélération et de freinage.

Il faut par exemple parcourir 20 km pour atteindre le palier de vitesse de 300 km/h (8 km pour 220 km/h) et près de 7 km pour s'arrêter en situation commerciale (3.7 km pour 220 km/h), pour des durées respectives de 6 et 3 minutes (3.5 minutes et 2 minutes pour 220 km/h).

Réseau Ferré de France
92 avenue de France
75648 PARIS cedex 13

www.rff.fr

Cette étude a été financée
par les partenaires suivants:



Conception couverture:  Stratis