

ADAPTATION D'INFRASTRUCTURES EXISTANTES À LA CIRCULATION DES TRAINS PENDULAIRES



SOMMAIRE

RAPPELS THÉORIQUES	3
LES NORMES DE BASE.....	3
<i>La sécurité des circulations</i>	3
<i>Le confort des voyageurs</i>	3
CONFORT ET SÉCURITÉ.....	6
LA VITESSE.....	7
<i>Influence de l'insuffisance de dévers et du rayon</i>	7
<i>Influence de l'armement</i>	7
GAINS DE TEMPS	9
<i>Augmentation de vitesse</i>	9
<i>Augmentation de l'insuffisance</i>	9
LA QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE	10
<i>Notions de base</i>	10
<i>Le couple performances ⇔ maintenance</i>	10
INSUFFISANCES DE DÉVERS ET QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE ASSOCIÉE	12
CONCLUSIONS.....	13
ADAPTATION D'ITINÉRAIRES AUX TRAINS PENDULAIRES	14
DEUX ÉTUDES : DIJON - NEVERS, AISY – VALLORBE	14
<i>L'axe Aisy – Vallorbe</i>	14
<i>L'axe Dijon - Nevers</i>	15
DIJON - NEVERS	17
<i>la voie</i>	17
<i>Les ouvrages d'art</i>	17
<i>Les télécommunications</i>	18
<i>Les PAssages à niveau</i>	18
<i>La signalisation</i>	18
<i>Temps de parcours</i>	21
<i>Les Gains de temps</i>	21
<i>l'impact sur l'environnement</i>	22
<i>INvestissements</i>	22
<i>Conclusions</i>	23
AISY – VALLORBE	24
<i>la voie</i>	24
<i>les gabarits</i>	24
<i>la caténaire</i>	24
<i>la signalisation</i>	24
<i>coûts, gains de temps</i>	24

RAPPELS THÉORIQUES

Avant d'analyser plus en détail l'adaptation d'une infrastructure existante à la circulation des trains pendulaires, je vais faire un rapide rappel des notions théoriques permettant de mieux cerner le contexte dans lequel évolue cette réflexion en France

LES NORMES DE BASE

Elles résultent de deux considérations principales :

- ✓ La sécurité des circulations
- ✓ Le confort des voyageurs.

T 2

LA SÉCURITÉ DES CIRCULATIONS

Il s'agit ici d'éviter, avec une bonne marge de sécurité, le déraillement des trains et la déformation de la voie.

LE CONFORT DES VOYAGEURS

Il s'agit de limiter à des valeurs acceptables les accélérations transversales, verticales et aléatoires

Le voyageur assis est sensible aux accélérations aléatoires.

Pour le voyageur debout ce sont les valeurs d'accélération quasi statiques (constantes) résultant, soit en vertical des rayons de changement de pente, soit en transversal de la force centrifuge non compensée, et la vitesse avec laquelle ces accélérations sont appliquées, qui créent une impression désagréable.

Dans le plan transversal, on peut admettre des valeurs plus élevées que dans le plan vertical. En effet, les actions physiologiques des accélérations continues ou à très basses fréquences agissent dans le plan vertical au niveau viscéral et peuvent assez rapidement provoquer des nausées (cinétose), surtout si elles sont dirigées vers le haut; dans le plan transversal ce sont des problèmes d'équilibre qui interviennent. Le voyageur est disposé à accepter des accélérations transversales quasi statiques (constantes) relativement grandes lorsqu'il se tient debout, à condition que les accélérations aléatoires soient faibles.

Ces accélérations sont basées sur les constatations suivantes

Confort	Valeurs de γt en m/s^2 pour un voyageur		$d \gamma t / dt$ en m/s^3
	assis	debout	
Très bien	1	0,85	0,30
Bien	1,2	1	0,45
Acceptable	1,4	1,2	0,70
Acceptable exceptionnellement	1,5	1,4	0,85

CONDITIONS DE	ORIGINE	FORMULES
Sécurité	Théorie du dévers (renversement, gauche)	$R_{\min} = \frac{11,8 V^2}{I + D}$
	Limites de déformations (pose sur traverses bétons)	$I \leq 500 + \frac{2250}{P} - 1,5V$
Confort	Limites d'insuffisance	$I \leq 160 \text{ mm}$
	Variation d'accélération	$\frac{dI}{dt} \leq 90 \text{ mm / s}$ $\frac{dD}{dt} \leq 60 \text{ mm / s}$
Technique	Arrêt en courbe	$D \leq 180 \text{ mm}$

V = Vitesse en Km/h

D = dévers en mm

I = insuffisance en mm

P = poids des essieux en tonnes

Ces normes correspondent à une limitation de l'accélération transversale et de la variation de celle-ci :

$$\gamma_r \leq 0,15g \quad \text{et} \quad \frac{d\gamma_r}{dt} \leq 0,10g / s$$

Tableau récapitulatif des limites admissibles pour les circulations voyageurs sur lignes classiques, en voie courante correctement armée

T 3

Vitesses (km/h)		$V \leq 160$		$160 < V \leq 200$		$200 < V \leq 220$
Type de circulation		Catégorie II	Catégorie III	Catégorie II	Catégorie III	TGV
Dévers (mm)		160	160	160	160	160
Insuffisance de dévers (mm)	normale	150	160	150	160	160
	except.	160	180			
$\Delta l / \Delta t$ (mm/s)	normale	75	75	75	75	65
	except.	90	90	90	90	75
$\Delta D / \Delta L$ (mm/m)	normale	180/V	180/V	180/V	180/V	180/V
	except.	216/V	216/V	216/V	216/V	216/V

CONFORT ET SÉCURITÉ

Pour une voie correctement armée, la limite de sécurité des déformations de la voie permet des insuffisances de dévers nettement supérieures à celles tolérées pour des raisons de confort.

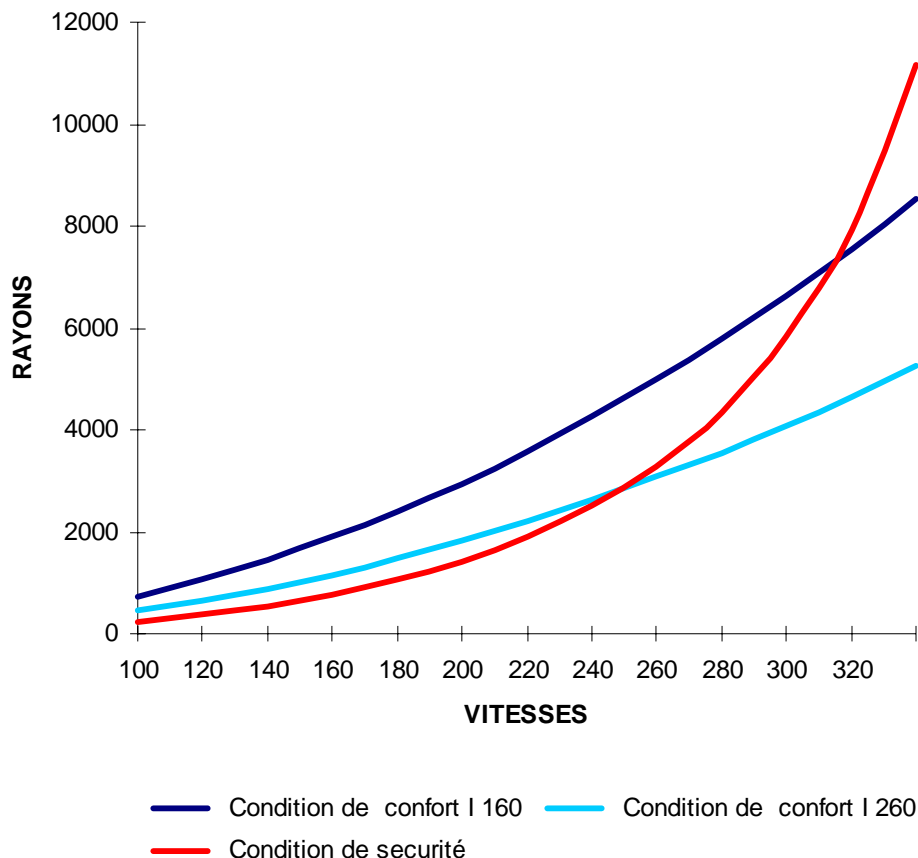
La pendulation, en améliorant le confort (compensation d'environ 2/3 de l'insuffisance ressentie par les voyageurs), permet de s'affranchir des conditions d'insuffisance de dévers et donc de tirer un meilleur parti de l'armement de la voie puisque seule la résistance de celui-ci aux efforts imposés par la vitesse entre en ligne de compte. On constate, toutefois, qu'une insuffisance de 260 mm (173 mm ressentie voyageur) est proche de la limite imposée par la condition de sécurité. La marge de sécurité étant plus faible, il est impératif de maîtriser les facteurs intervenant sur l'importance des efforts subis par la voie comme la qualité géométrique ou la vitesse.

En revanche, pour les grandes vitesses comme les TGV, la pendulation n'apporte plus rien puisque c'est la condition de sécurité qui devient prépondérante.

T 4

CONDITIONS DE CONFORT ET DE SECURITE

(Calcul pour 17 tonnes à l'essieu)



LA VITESSE

INFLUENCE DE L'INSUFFISANCE DE DÉVERS ET DU RAYON

La vitesse est proportionnelle au rayon de courbure et au dévers choisi. Un même tronçon de ligne est circulé par des trains de nature et de vitesse différente (Fret, voyageurs). Dans le but d'harmoniser l'usure des différents constituants de la voie, notamment celle des deux rails, la SNCF utilise un dévers pratique calculé à l'aide d'un coefficient fonction de la répartition des différentes circulations (tonnage, vitesse) par tronçon. En outre, en raison de déraillements de train lent constaté en sortie de courbe de faible rayon et à fort dévers, ceux-ci sont limités en fonction du gauche dans les raccordements (règle du $R - 100 / 2$).

T 5

INFLUENCE DE L'ARMEMENT

L'armement doit être compatible avec :

- ✓ la vitesse des circulations Voyageurs (et la charge à l'essieu des engins moteurs)
- ✓ la vitesse et la charge des circulations FRET

Un classement dit DEMAUX compare entre eux les divers types d'armement au moyen de la valeur du rapport $(I / V) / L$ qui caractérise le travail du rail à la flexion sous charge verticale où :

I = moment d'inertie vertical du rail, compte tenu de son usure, par rapport à l'axe neutre horizontal (dans la pratique, la valeur de I prise en compte considère le rail à 1/2 usure tant que celle-ci n'est pas atteinte et à usure réelle dans le cas contraire).

V = distance entre l'axe neutre horizontal et le patin du rail.

L = espacement entre axes des traverses les plus écartées.

Cinq groupes sont définis.

Le tableau ci-après indique pour les trains remorqués (cat II) et les véhicules privilégiés (cat III) la relation admise à la SNCF entre :

- ✓ le dimensionnement de l'armement de la voie, la masse à l'essieu maximale des engins moteurs,
- ✓ la vitesse maximale autorisée,
- ✓ l'insuffisance de dévers maximale admise.

T 6

N° Groupe DEMAUX	Armement I/V/L (mm2)	Masse maximale à l'essieu des engins moteurs (t)		Vitesse maximale (km/h)		Insuffisance de dévers maximale (mm)	
		cat II	cat III	cat II	cat III	cat II	cat III
1	100/140	17	16	70	80	80	125
2	141/179	18	17	85	90	120	130
3	180/235	20	17	95	100	140	150
4	236/300	21,6	17	115	115	150	160
	301/350	21,6	17	120/160 ⁽¹⁾	160	150/160 except	160/180 except
5	> 350	22,5	17	200	220	150/160 except si $V \leq 160$ 150 si $V > 160$	160/180 except si $V \leq 160$ 160 si $V > 160$

(1) en limitant la masse maximale à l'essieu de l'engin moteur à 20 t.

L'armement doit être également dimensionné en fonction de l'importance du trafic circulant sur la voie, représentée par le tonnage fictif journalier calculé à partir de :

- ✓ la charge du trafic voyageurs,
- ✓ la charge du trafic marchandises pondérée suivant la prépondérance d'essieux lourds,
- ✓ la charge des engins de traction,
- ✓ un coefficient fonction des vitesses maximales des trains de voyageurs, ou de l'absence de trafic voyageurs.

T 6

Les lignes sont de ce fait classées du point de vue maintenance en 9 groupes dits UIC

À titre d'exemple :

L'armement LRS 46 kg/m sur 1666 traverses béton bibloc légères est utilisable jusqu'à 120 km/h

L'armement LRS 50 kg/m sur 1666 traverses bois ou béton . est utilisable jusqu'à 200 km/h (220 TGV)

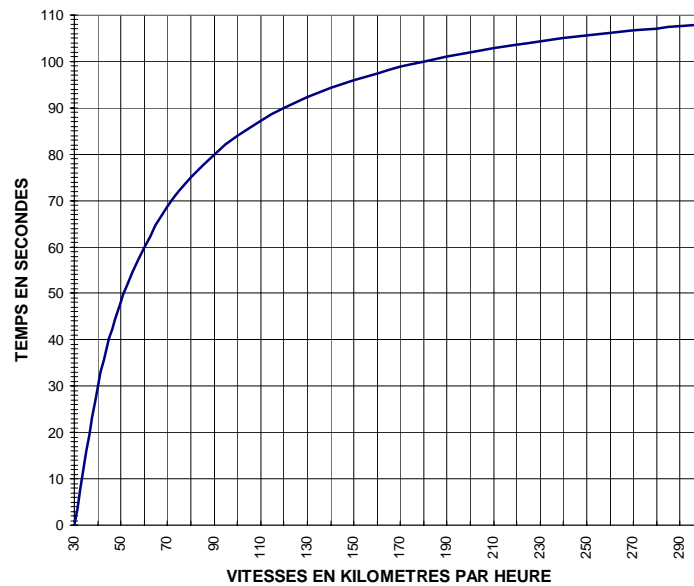
GAINS DE TEMPS

T 7

AUGMENTATION DE VITESSE

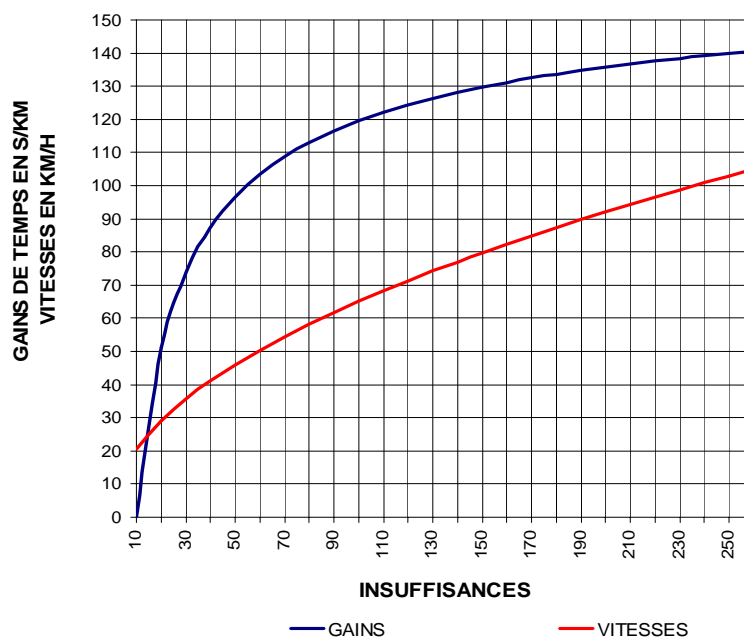
T 8

GAINS EN SECONDES PAR KILOMETRE



AUGMENTATION DE L'INSUFFISANCE

GAINS DE TEMPS EN FONCTION DE L'AUGMENTATION DE
L'INSUFFISANCE
(Rayon de 500 m)



LA QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE

NOTIONS DE BASE

La qualité géométrique de la voie ne se juge pas uniquement sur les défauts ponctuels mais également sur son évolution et sur la rapidité d'apparition des dégradations éventuelles en tenant compte de l'âge de la voie et de son armement.

Elle est appréciée en fonction des deux derniers enregistrements réalisés par la voiture de mesure MAUZIN ou l'automoteur MATISA. Ces enregistrements donnent la position et l'amplitude des irrégularités de la géométrie des deux files de rail dans le plan vertical et dans le plan transversal.

Les contrôles concernent :

- ✓ le nivellement longitudinal des 2 files de rail, (NL en mm)
- ✓ le nivellement transversal, affaissement de la file extérieur, (NT ou Ed écart de dévers en mm)
- ✓ le gauche, (mm/m)
- ✓ le dressage, (D mm)
- ✓ la variation de l'écartement (E base 1435 mm)

Les défauts mesurés (leurs nombres et leur amplitude) traduisent le niveau de qualité de la voie, ce dernier devant être compatible avec la vitesse envisagée.

Pour les vitesses supérieures à 160 km/h, un enregistrement dit «base allongée» (31/33m) est en plus nécessaire pour contrôler les défauts de plus grande longueur d'onde.

LE COUPLE PERFORMANCES ⇔ MAINTENANCE

La norme française X60-010 définit la maintenance comme étant :

« L'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management ».

La maintenance se divise en 3 parties :

- ✓ La maintenance préventive : vérifications ou interventions systématiques s'appliquant aux éléments ayant une incidence directe sur la sécurité (ex : tournée Mauzin)
- ✓ La maintenance conditionnelle : s'applique en cas de franchissement de seuils prédéterminés
- ✓ La maintenance prévisionnelle ou prédictive : subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres

Étude pendulaire

L'augmentation de vitesse sur une voie de qualité géométrique moyenne augmente la rapidité avec laquelle celle-ci va se dégrader aussi, ces seuils ont été déterminés en fonction de la vitesse pratiquée. Quatre valeurs ont été définies :

- ✓ **VO** valeur d'objectif → valeur à ne pas dépasser après intervention ou pose neuve.
- ✓ **VA** valeur d'alerte → le défaut doit être corrigé à moyen terme (avant le contrôle suivant)
- ✓ **VI** valeur d'intervention → le défaut doit être corrigé dans les 15 jours à un mois suivant la rapidité de son évolution.
- ✓ **VR** valeur de ralentissement → Baisse immédiate de la vitesse pratiquée

Exemple de seuils pour quelques paramètres :

		VO	
		V ≤ 130	130 < V ≤ 200
Pose neuve	Km/h		
	Nivellement longitudinal	≤ 3	≤ 3
	Dressage	≤ 3	≤ 3
Autres cas	Nivellement longitudinal	≤ 5	≤ 4
	Dressage	≤ 5	≤ 4

VA				
Km/h	100 < V ≤ 120	120 < V ≤ 140	140 < V ≤ 160	160 < V ≤ 220
Nivellement longitudinal	[9 → 15[	[8 → 13[	[8 → 12[	[8 → 11[
Dressage	[10 → 12[	[8 → 10[	[7 → 9[	[6 → 8[

VI				
Km/h	100 < V ≤ 120	120 < V ≤ 140	140 < V ≤ 160	160 < V ≤ 220
Nivellement longitudinal	≥ 15	≥ 13	≥ 12	≥ 11
Dressage	≥ 12	≥ 10	≥ 9	≥ 8

VR				
Km/h vrai	60	80	100	160
Nivellement longitudinal	[26 → 28[	[24 → 26[	[22 → 24[	[18 → 22[
Dressage	[23 → 28[	[21 → 23[	[17 → 21[	[14 → 17[

INSUFFISANCES DE DÉVERS ET QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE ASSOCIÉE

T 11

Normes établies pour la circulation de l'ETR 460 entre Lyon et Modane

Valeurs d'insuffisances de dévers proposées pour les véhicules pendulaires :

	Classe de qualité géométrique définie par la vitesse maximale de ligne	Insuffisance de dévers maximale des véhicules pendulaires	Vitesse maximale autorisée en fonction de l'armement
Voies à armement lourd	220	260	220
	160	260	
	140	250	
	120	240	
	100	230	
Voies à armement moyen plancher homogène ⁽¹⁾	220	240	160 (exceptionnellement 220)
	160	240 - 230	
	140	230 - 220	
	120	220 - 210	
	100	210	
Voies à armement léger	160	200 - 210	140 (exceptionnellement 160)
	140		
	120		
	100		

(1) : Les voies sur plancher mixte sont considérées à armement léger.

Limitations supplémentaires dans les faibles rayons

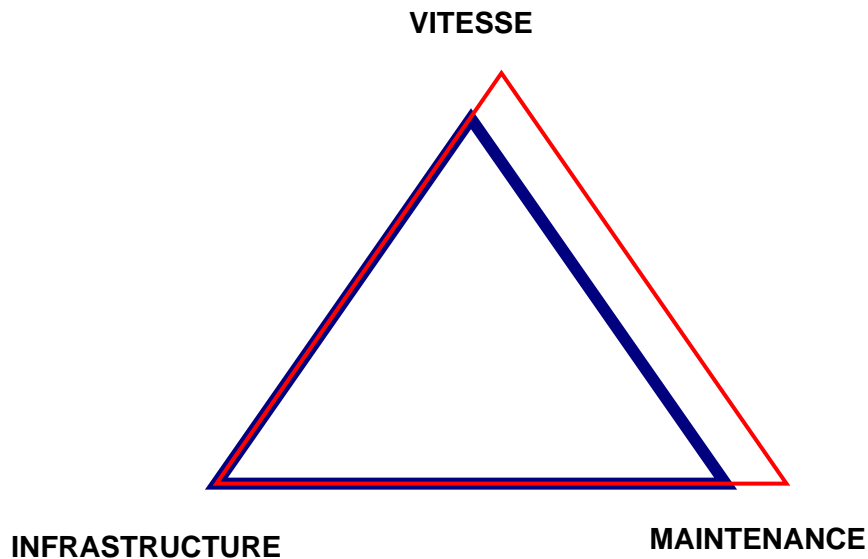
$R \leq 300 \text{ m}$	$300 > R \leq 350 \text{ m}$	$350 > R \leq 400 \text{ m}$	$400 > R \leq 450 \text{ m}$
$I \leq 180 \text{ mm}$	$I \leq 200 \text{ mm}$	$I \leq 220 \text{ mm}$	$I > \leq 240 \text{ mm}$

Avec une maintenance accrue (équivalent entretien 140/160 km/h)

$R \leq 270 \text{ m}$	$270 > R \leq 300 \text{ m}$	$300 > R \leq 350 \text{ m}$	$350 > R \leq 400 \text{ m}$
$I \leq 180 \text{ mm}$	$I \leq 200 \text{ mm}$	$I \leq 220 \text{ mm}$	$I \leq 240 \text{ mm}$

CONCLUSIONS

J'ai voulu montrer, à travers ces quelques rappels, que la performance des trains ne peut être dissociée de la performance de l'infrastructure ainsi que de sa maintenance. L'insertion de circulations plus perforantes sur celle-ci conduit à une analyse détaillée de ses constituants mais également à la prise en compte de l'impact des vitesses pratiquées sur les coûts de maintenance ultérieurs.



ADAPTATION D'ITINÉRAIRES AUX TRAINS PENDULAIRES

DEUX ÉTUDES : DIJON - NEVERS, AISY – VALLORBE

L'AXE AISY – VALLORBE

Il est composé de plusieurs tronçons de ligne de classement DEMAUX 4 et 5 c'est à dire acceptant des insuffisances de dévers de 240 à 260 mm.

Aisy – Dijon :

- ✓ gr 3 UIC 60,8 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 160/140 km/h
- ✓ Double voie, qualité géométrique NL 1,05 (objectif 0,98)
- ✓ Énergie électrique 1500 v cc
- ✓ Bloc automatique lumineux

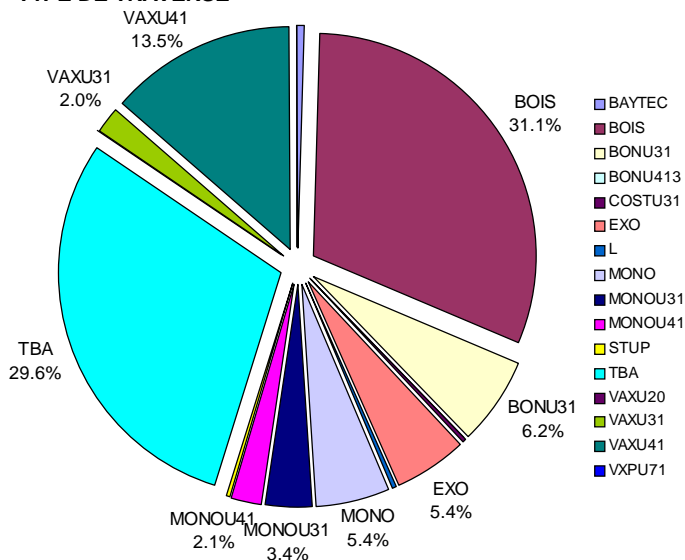
Dijon – Dole

- ✓ gr 4 UIC 25 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 160 km/h
- ✓ Double voie, 9 passages à niveau (PN), qualité géométrique NL 1,35
- ✓ Énergie électrique 1500 v cc
- ✓ Bloc automatique lumineux

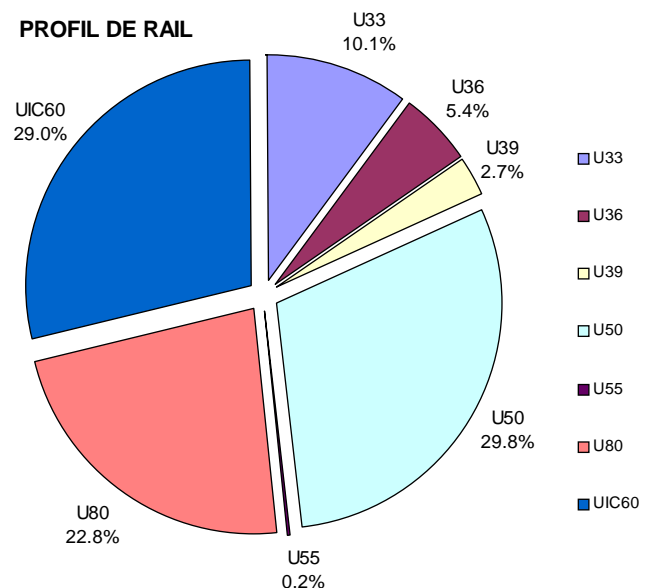
Dole – Vallorbe

- ✓ gr 5 UIC 12,5 / 9,9 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 110/140 km/h
- ✓ Voie unique et double voie, 19 PN, qualité géométrique NL 1,13
- ✓ Énergie électrique 25 000 v ca
- ✓ Bloc automatique lumineux

TYPE DE TRAVERSE



PROFIL DE RAIL



T 12

T 13

Étude pendulaire

L'AXE DIJON - NEVERS

Il est composé de plusieurs tronçons de ligne de classement DEMAUX 4 et 5 c'est à dire acceptant des insuffisances de dévers de 240 à 260 mm. Toutefois compte tenu de son classement UIC faible (6 et 7 AV) du fait du peu de trafic, l'insuffisance maximale admissible a été limitée à 240 mm pour ne pas entraîner de surcoût ultérieur de maintenance.

Dijon – Chagny

- ✓ gr 2 UIC 80,1 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 160 km/h
- ✓ Double voie, 6 PN, qualité géométrique NL 1,05 (objectif 0,98)
- ✓ Énergie électrique 1500 v cc
- ✓ Bloc automatique lumineux

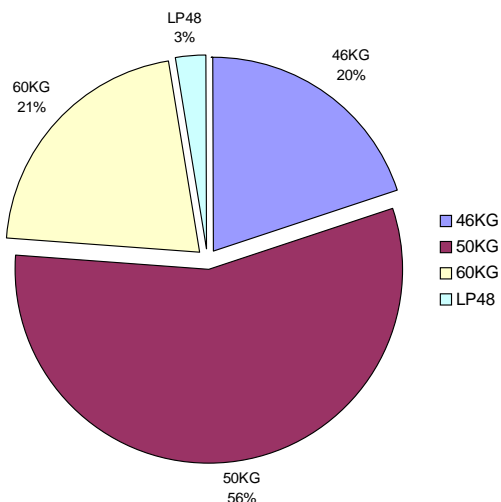
Chagny – Montchanin

- ✓ gr 6 UIC 8,2 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 120/130 km/h
- ✓ Double voie, 21 PN, qualité géométrique NL 1,26
- ✓ Traction diesel
- ✓ Bloc automatique lumineux à permissivité restreint (cantons longs 12/15 km)

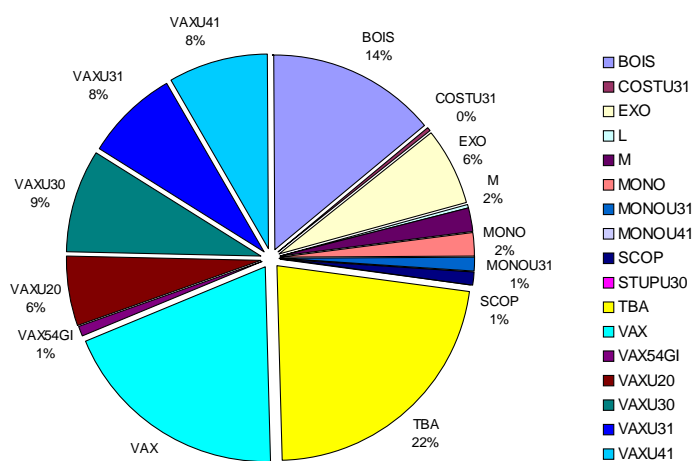
Le Montchanin - Nevers

- ✓ gr 7 UIC 5,4 milliers tonnes brutes par jour
- ✓ V 100/140 km/h
- ✓ Double voie, 64 PN, qualité géométrique NL 1,26
- ✓ Traction diesel
- ✓ Bloc manuel

PROFIL DE RAIL



TYPE DE TRAVERSE



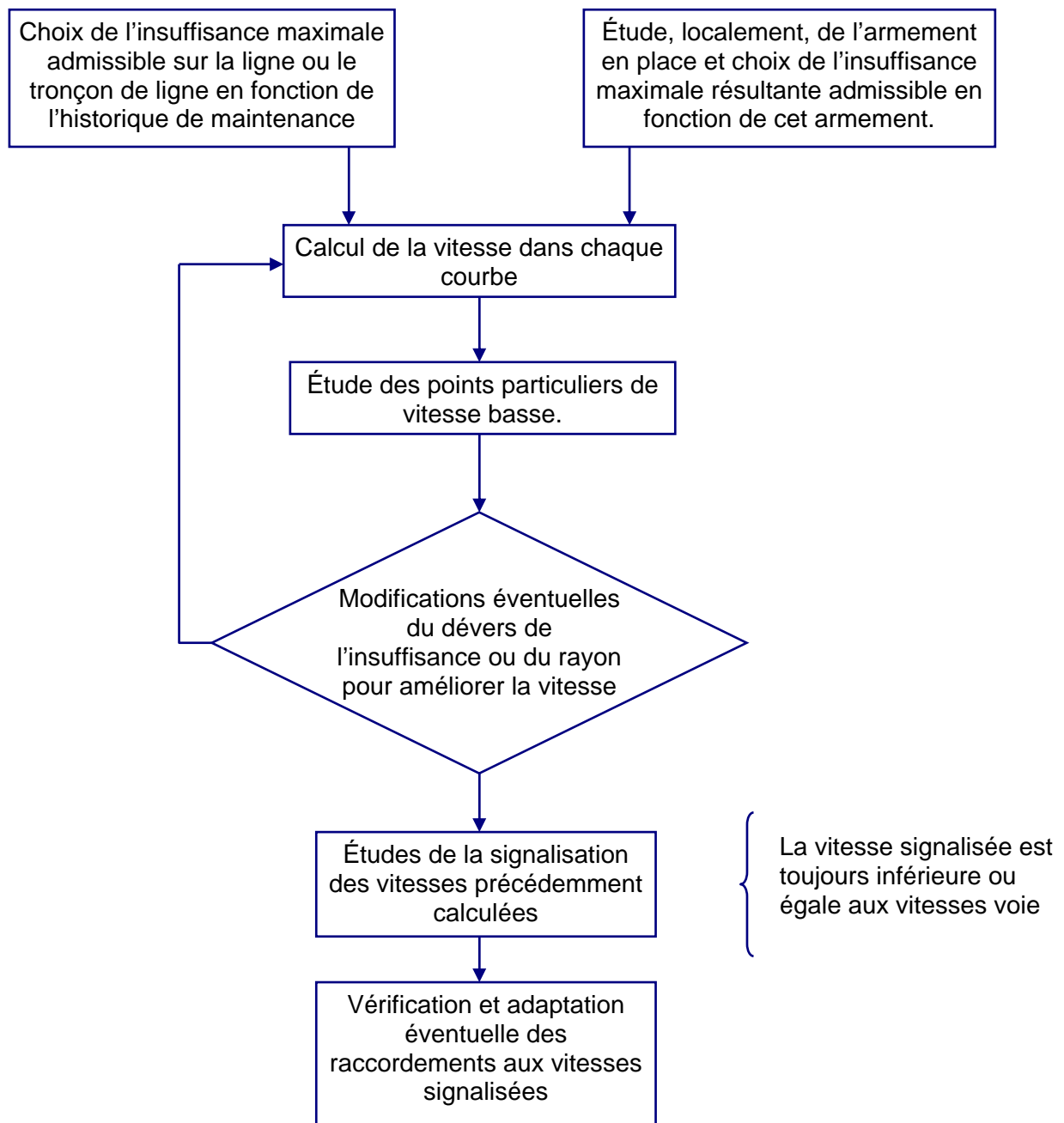
T 14

T 15

ÉTUDES DES VITESSES

Ces études se déroulent principalement en trois étapes :

- ✓ Déterminer la vitesse maximale permise par le tracé et l'armement
- ✓ Déterminer la vitesse pouvant être signalisée
- ✓ Adapter l'infrastructure et les superstructures aux nouvelles vitesses issues de la signalisation

T 16

DIJON - NEVERS

- Les critères utilisés dans cette étude pour apprécier l'aptitude de la voie actuelle à supporter les contraintes particulières générées par la technique pendulaire ont été choisis pour limiter les surcoûts d'entretien ultérieur.
- la vitesse maximale est fixée à 160 Km/h. En effet les gains de temps obtenus avec des vitesses supérieures sont de moins en moins significatifs (voir graphique ci-dessous) et conduisent, entre autre, compte tenu de la réglementation actuelle, à la suppression des 100 passages à niveau pour un coût de l'ordre d'un milliard de francs.
- Les études ont été conduites avec, pour objectif, un coût minimum d'adaptation des infrastructures. C'est pourquoi elles n'intègrent pas de profondes modifications comme des déplacements de la voie actuelle.
- Les temps de parcours ont été calculés avec quatre arrêts, MONTCHANIN, LE CREUSOT, ETANG, DECIZE. comme pour la meilleure offre commerciale actuelle.

LA VOIE

L'étude exhaustive des 673 courbes des sens DIJON - NEVERS et NEVERS - DIJON a permis de déterminer la vitesse maximale possible pour chacune d'elles et les insuffisances de dévers résultants de la signalisation adoptée

MF

Remplacement de traverses par U41	1.3
Remplacement de ballast	1.8
Relevage de 150mm y compris ballast	0.3
Relevage de 100mm y compris ballast	0.2
Bourrage mécanique lourd (BML)	0.05
Meulage mécanique du rail	0.03
Assainissements localisés	0.2

Compte tenu de la bonne qualité de l'armement actuel de l'axe DIJON - NEVERS (V. ÉTAT DES LIEUX), les travaux se résument à du relevage de 100 mm et 150 mm, à du bourrage mécanique lourd et à du meulage pour adapter la qualité géométrique actuelle à l'augmentation de vitesse.

Il est nécessaire de remplacer les traverses dans le tunnel du CREUSOT sens DIJON - NEVERS compte tenu de l'armement actuel ne supportant pas le surcroît d'insuffisance de dévers du au faible rayon existant. Ce remplacement de traverse induit le remplacement du ballast correspondant.

Des assainissements localisés sont également réalisés pour améliorer la tenue de la plate-forme entre ETANG et DECIZE.

LES OUVRAGES D'ART

MF

Confortement de tabliers	0.5
--------------------------	-----

Compte tenu de la vitesse maximale limitée à 160 Km/h et après vérification des 218 ouvrages d'art, notamment ceux possédant un tablier métallique, il semblerait que seuls deux ouvrages doivent faire l'objet d'un confortement de façon à créer des conditions d'encastrement élastique pour permettre la vitesse envisagée.

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Il n'y a pas d'incidence de ce projet sur les télécommunications en particulier du fait de la limitation de la vitesse maximale à 160 Km/h.

LES PASSAGES À NIVEAU

- 46 nécessitent un allongement des annonces
- 3 doivent être munis de barrières automatiques en remplacement de panneau STOP
- 7 doivent être modifiés

LA SIGNALISATION

La limitation de la vitesse maximale à 160 Km/h permet de garder le type de block).

Les travaux de signalisations consistent:

- À remplacer les tableaux indicateurs de vitesse (TIV) pour les adapter aux nouvelles vitesses et à ajouter les panneaux spécifiques aux trains pendulaires.
- À installer en certains points particuliers un contrôle de vitesse par balises (KVB) afin d'éviter qu'une circulation franchisse à une vitesse trop élevée une courbe de petit rayon ($l > 390$ mm)
- À Allonger les distances d'annonce de 46 passages à niveau (PN) par déplacement des pédales de commande.
- À munir 7 PN d'un dispositif permettant de les commander automatiquement ou manuellement
- À remplacer 3 PN non gardés par des PN automatiques à signalisation lumineuse du fait du relèvement de la vitesse de 140 Km/h à 160 Km/h.

MF

KVB	0.32
Panneaux	0.27
TIV pancartes réflectorisées	0.005
TIV fixes éclairés	0.026
Modification des annonces PN, allongement	0.16
Modification A/M (pour mémoire)	0.156
Installation SAL 2 (pour mémoire)	0.98

Étude pendulaire

VITESSES LIMITES DIJON - NEVERS (Km/h)
 résultant de l'application des règles de signalisation

Voie	Points de transition de Vitesse	Vitesse actuelle	Vitesse pendulaire
1	Nevers km 0.....	60	60
	Z 100/110-km 1,413.....		
	R km 3,278.....	100	110
	Z 110/130-km 6,700.....	125	140
	R km 7,020.....	110	130
	Z 110/120-km 14,620.....	125	140
	R km 17,740.....	110	120
	Z 110/120-km 23,000.....	130	140
	R km 25,220.....	110	120
	Sougy-km 31,716.....	130	140
	Z 90/100 km 36,850.....	125	
	R km 39,680.....	90	100
	Z 80/90-km 52,518.....	140	160
	R km 53,300.....	80	90
	km 63,400.....	120	160
	Z 110/120-km 68,300.....		
	R km 71,500.....	110	120
	Avree - km 73,650.....		140
	Z 110/120-km 81,300.....	125	
	R km 82,300.....	110	120
	St-Didier sur Arroux-km 98,072.....	125	140
	Etang-km 104,678.....	110	125
	km 109,758.....		135
	km 118,768.....	120	160
	Marmagne s/s Creusot 119,375.....		120
	Z 100/110-km 123,871.....		
	R km 125,411.....	100	110
	TIV 30-Aiguilles km 132,755.....		120
	Montchanin P2-km 133,61 l.....	30	30
	St-Julien Ecuisses-km 137,284.....	110	125
	Z 120/130-km 149,205.....	120	135
	R km 149,450.....		130
	Z 80-km 160,870.....	130	140
1R	Z 90/110-km 2,941.....	80	80
2 bis	R km 363,500.....	90	110
2	km 318,100.....	160	160
	Z 50-km 314,987.....	140	140
	Dijon-Ville km 314,208.....	50	50

Étude pendulaire

VITESSES LIMITES DIJON - NEVERS
 résultant de l'application des règles de signalisation

Voie	Points de transition de Vitesse	Vitesse actuelle	Vitesse pendulaire
1	Dijon-Ville km 314,208.....	60	60
	R km 314,987.....		
	Perrigny Poste 1 km 316,175.....	120	120
	km 318,100.....	140	140
	Chagny V.1 bis km 363,153.....	160	160
1 bis	Z 70/60-km 0,220.....	60	60
	Z 100/90-km 1,092.....		70
2 R	Z 80-km 0,561.....	90	100
	Voie 2 Nevers-R km 160,776.....	80	80
2	Z 130-km 149,458.....	130	140
	R km 149,205.....	120	130
	St.Julien Ecuisses-km 137,284...		135
	TIV 30-Aiguilles km 133,700.....	110	125
	Z 60-km 132,686.....	30	30
	R km 132,467.....	60	60
	TIV 100/110Z-km 125,411.....		115
	R km 125,250.....		110
	Tête côté Marmagne souterrain..	100	115
	du Creusot-Z 120-km 124,100....		
	R km 121,104.....		120
	Marmagne 119,375.....		135
	km 118,768.....		
	km 109,758.....	120	160
	Etang-km 104,678.....		135
	St-Didier sur Arroux-km 98,072..	110	125
	Z 110/120-km 82,300.....	125	140
	R km 81,300.....	110	120
	Z 110/120-km 71,500.....	125	140
	R km 68,300.....	110	120
	Fours - km 59,669.....	145	160
	Z 80/100-km 53,300.....	120	
	R km 52,601.....	80	100
	Cercy-la-Tour km 52,376.....	120	160
	Z90/100-km 39,680.....	140	
	R km 36,850.....	90	100
	Sougy-km 31,716.....	125	140
	Z 110/120-km 25,220.....	130	
	R km 23,000.....	110	120
	Z 110/120-km 17,740.....	130	140
	R km 14,620.....	110	120
	Z 100/110-km 3,216.....	125	140
	60 km 1,4.....	100	110
	Nevers km 0.....	60	60

T 17

TEMPS DE PARCOURS

Définitions

- MARCHE DE BASE:** Calcul théorique qui tient compte des paramètres relatifs:
- aux performances du matériel roulant (puissance de l'engin moteur, tonnage, capacité d'accélération et de freinage).
 - à la potentialité de la ligne (armement de la voie, géométrie de la ligne, dénivelées, système d'espacement des trains).
- MARCHE TYPE:** C'est la marche de base à laquelle est ajoutée une marge de régularité pour aléas et travaux éventuels.
- MARCHE COMMERCIALE:** C'est celle donnée par les indicateurs horaires. Elle tient compte des conditions de trafic liées aux périodes de circulation et ajoute à la marche type les temps d'arrêt en gare.

Les règles propre à la signalisation, l'ergonomie de conduite et les faibles possibilités d'accélération de convois de plusieurs dizaines de tonnes - 1,273 Km pour passer de 0 à 100 Km/h, 4,836 Km de 100 à 160 Km/h pour l'automoteur X 72500 en palier - provoquent l'écrêtage des vitesses potentielles voie.

LES GAINS DE TEMPS

Les simulations ont été réalisées sur la base de données théoriques. Elles comparent le meilleur temps actuellement réalisé par une rame réversible régionale (RRR) aux nouveaux matériels automoteurs TER X 72500 et X 73500.

Les gains de temps ont été calculés pour chaque tronçon, en comparant les marches types des différents matériels TER prévus à celle du matériel RRR.

Les temps de parcours ont été calculés en appliquant les gains de temps à la meilleure marche commerciale actuelle. Le temps de stationnement est limité à une minute pendant les arrêts à MONTCHANIN, LE CREUSOT, ETANG, DECIZE.

NOTA: Bien qu'ayant des accélérations similaires (X72500) ou légèrement inférieures (X73500) au matériel RRR, on observe un gain de temps pour les TER futurs avec la signalisation actuelle car ces trains plus légers sont autorisés à rouler à des vitesses supérieures à celles pratiquées par les RRR plus lourds.

L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Dans cette études seul le bruit est concerné (relèvement de vitesse)

Des mesures ont été réalisées le long de la voie pour comparer le matériel futur au matériel actuel. Il ressort de ces études qu'à la vitesse future, le nouveau matériel ne sera pas plus bruyant que celui circulant actuellement (plus ancien)

INVESTISSEMENTS

Outre les coûts relatifs aux travaux de voie, d'ouvrage d'art, de signalisation, d'aménagement de passage à niveau, il faut ajouter ceux correspondant au rehaussement des quais dans les gares d'arrêt. En effet, des arrêts limités à une minute conduisent à utiliser au maximum les possibilités du nouveau matériel à embarquer ou débarquer rapidement les voyageurs, or, celles-ci ne sont obtenues qu'avec des quais mi-hauts (0,55m au dessus du rail).

Les coûts ont été déterminés par tronçons, par sens et par nature de travaux.

NATURE DES TRAVAUX	COUTS EN MF CE 1/06/97					
	Rac. CHAGNY MONTCHANIN	MONTCHANIN LE CREUSOT	LE CREUSOT ETANG	ETANG DECIZE	DECIZE NEVERS	TOTAL
	~ 31 Km	~ 8 Km	~ 21 Km	~ 67 Km	~ 38 Km	RUB.
RUBRIQUE 1						
Remplacement de traverses par U41			0.45			0.45
Remplacement de ballast			0.63			0.63
Relevage de 150mm y compris ballast	16.07	0.79	16.48	32.14	7.23	72.70
Relevage de 100mm y compris ballast				3.46	2.79	6.25
Bourrage mécanique lourd (BML)	1.50	0.90	0.09	1.05	0.29	3.83
Meulage mécanique du rail	2.51	0.62	1.70	4.12	1.19	10.14
Assainissements localisés				1.32	0.66	1.99
sous total rubrique	20.08	2.30	19.35	42.09	12.16	95.99
RUBRIQUE 3						
Confortement de tabliers					1.35	1.35
sous total rubrique					1.35	1.35
RUBRIQUE 4						
KVB				5.19	2.59	7.78
Panneaux				1.09		1.09
TIV pancartes réflectorisées	0.07	0.02	0.07	0.08	0.06	0.30
TIV fixes éclairés				0.35	0.21	0.56
Modification des annonces PN	1.95		1.73	5.19	1.08	9.95
Modification A/M			0.21	0.84	0.42	1.48
Installation SAL 2				3.97		3.97
sous total rubrique	2.01	0.02	2.02	16.72	4.37	25.14
RUBRIQUE 7						
Aménagement quais (sécurité voy.)				0.81		0.81
sous total rubrique				0.81		0.81
TOTAL GENERAL	22.09	2.32	21.37	59.63	17.88	123.29

Le coût des travaux est de 150 MF

L'étalement de l'investissement à également été étudié. Compte tenu de la nature des différents travaux et de leur chronologie, une période de 9 ans semble possible pour leur réalisation en gagnant 2 à 3 minutes tous les 2 ans pour un investissement de 9 à 24 MF par ans

Le temps minimum de réalisation est de 3 ans.

CONCLUSIONS

Le nouvel automoteur X 72500 non pendulaire apporte un gain de temps de 5 minutes par rapport au meilleur temps de parcours actuel.

La technique pendulaire n'apporte qu'un gain de 10 minutes par rapport au matériel non pendulaire équivalent

La relation DIJON - NEVERS en moins de deux heures ne peut être obtenue qu'avec le matériel pendulaire

Le gains de 15 minutes sur le meilleur temps actuel peut être obtenu avec la technique pendulaire à la vitesse de 160 Km/h.

AISY – VALLORBE

C'est la même étude avec, cependant, des particularités liées à la traction électrique et à la modification de dévers.

LA VOIE

La modification de dévers dans certaines courbes entraînent la vérification des normes de dévers admissibles dans les appareils de voie posés dans celles-ci.

LES GABARITS

Les entraxes insuffisants dans deux tunnels limitent la vitesse à 170 et 150 km/h

LA CATÉNAIRE

Apte à 160 km/h elle l'est également à 200/220 (section équivalente de cuivre, régularisation). La vérification du gabarit pantographe est nécessaire (insuffisances supérieures en courbe).

Le renforcement de l'alimentation électrique se révèle nécessaire pour que les TGV puissent utiliser toute leur puissance. Il entraîne la création de sous-station.

La puissance utilisée génère des courant de retour traction trop importants pour les bobinages des selfs des circuits de voie datant de la fin des années 50, il faut prévoir leur remplacement entre Frasne et Vallorbe.

LA SIGNALISATION

Problème de canton court à V 180 km/h entre Malain et Dijon. Usage de la préannonce (vert cli)

COÛTS, GAINS DE TEMPS

Hypothèses	Temps de parcours		Diff .	Coûts MF	Ratios MF/mn
	Actuel (LGV 270)	Projet (LGV 300)			
Non pendulaire	3h33	3h21	12'	440	44
Pendulaire V 160 km/h	3h33	3h12	21'	483	28